



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

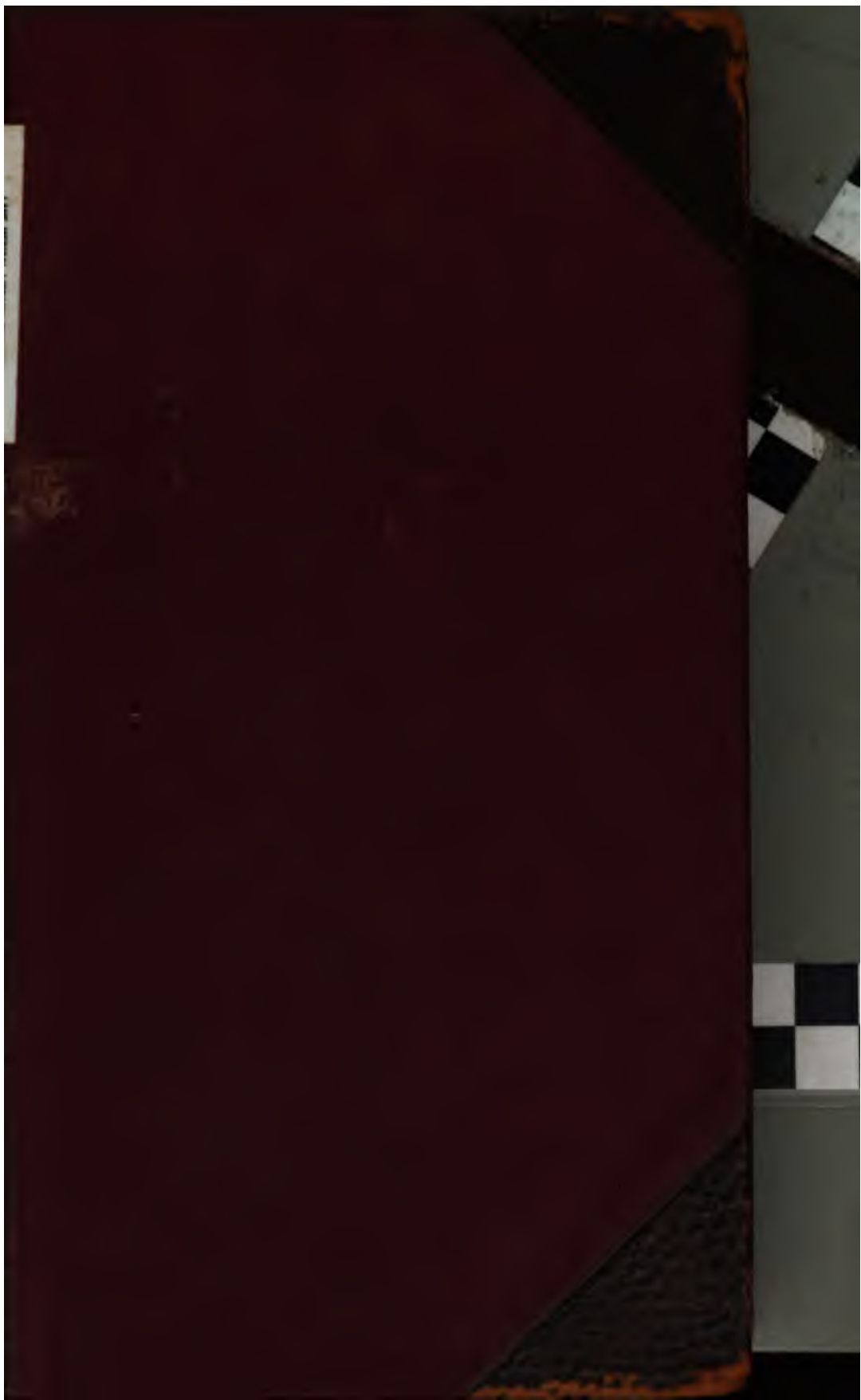
Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

- + *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
- + *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
- + *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
- + *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter <http://books.google.com> durchsuchen.



LANE

MEDICAL

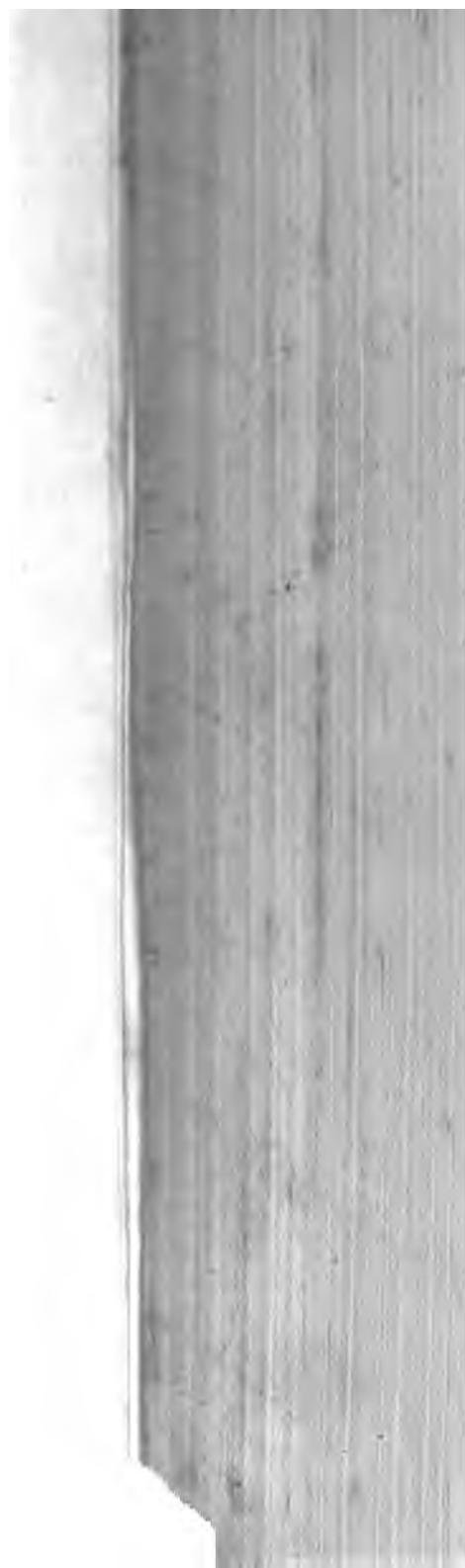


LIBRARY

GIFT
San Francisco County Medical
Society









**Elektrizität,
Magnetismus, Galvanismus
im Dienste des Menschen.**

(Ein
allgemein verständliches Lehrbuch für Jedermann
von
Dr. W. F. A. Zimmermann.

Fünfte Auflage.

Nach dem neuesten Stand der Wissenschaft bearbeitet
von **Bruno Dürigen** und **Franz Matthes.**

Mit 349 in den Text gedruckten Abbildungen.



Berlin 1891.
Ferd. Dummler's Verlagsbuchhandlung.

Alle Rechte vorbehalten.

BRITISH LIBRARY

B 521
Z 72
1891

Einleitung.

. (Bedeutung, Geschichte, Gegenstand der Physik.)

Die Wahrheit des Satzes, daß die Naturwissenschaften es sind, welche der Gegenwart ihr Gepräge aufgedrückt haben, wird von Jedermann, sofern man nur mit aufmerksamem Blick die Bestrebungen der Zeit verfolgt, anerkannt werden; kein anderes Gebiet unseres Wissens macht so zusehends Fortschritte, keins hat in der neueren Zeit so viele und so weittragende Erfindungen und Entdeckungen aufzuweisen, keins so unwälzend auf Handwerk und Kunstgewerbe, auf Landwirtschaft und Industrie, auf Handel und Wandel eingewirkt als die Naturwissenschaft und ganz besonders der Teil derselben, welcher sich mit der Betrachtung und Beobachtung der Natur-Erscheinungen, mit den sinnlich wahrnehmbaren Eigenschaften und Veränderungen der leblosen Naturkörper beschäftigt und die dabei zur Geltung kommenden Naturkräfte und Naturgesetze zu ergründen, festzustellen und dann zu verwerten sucht: die Naturlehre oder Physik. Zu ihr gehört im Grunde genommen auch die Chemie, da auch sie gewisse Natur-Erscheinungen, nämlich die in Zusammensetzung, Bildung und Zersetzung der mineralischen, pflanzlichen und tierischen Stoffe zum Ausdruck gelangenden, als Gegenstand ihrer Forschung anstrebt, während die Physiologie die Lebens-Erscheinungen der organischen Naturkörper (Tiere und Pflanzen) untersucht und zur eigentlichen beschreibenden Tier- und Pflanzenkunde, Zoologie und Botanik, hinüberleitet, denen sich als dritter Teil der beschreibenden Naturwissenschaften („Naturgeschichte“) die Mineralogie anschließt. Behandeln die genannten Wissenszweige einzelne Naturkörper und die an solchen sich bietenden Erscheinungen, so greifen die physikalische Geographie und Astronomie weiter aus; erstere sieht die ganze Erde als einen Naturkörper an und schildert ihn nach seinen Eigenschaften, Formen und Zuständen (Klima, Atmosphäre, Gebirge &c.), *die astrono-

Naturfr. I.

1

80075

mische oder mathematische Geographie betrachtet die Erde als einen Weltkörper und behandelt diesen in seinem Verhältnis zu anderen Himmelskörpern, hinsichtlich Gestalt, Bewegung u. s. w., und die Astronomie oder Sternkunde faßt das gesamte Weltall als ein Ganzes auf und lehrt die physikalische Beschaffenheit, die Verteilung und Bewegung der Himmelskörper und ihr gegenseitiges Verhältnis zu einander. Wenn wir nun bedenken, daß physikalische Geographie und Astronomie auf den Gesetzen der von der Mathematik unterstützten Physik ruhen, daß auch die Mineralogie auf physikalischen und chemischen Grundlagen sich weiter aus- und aufbaut und daß selbst die Physiologie die Lebens-Erscheinungen des Tier- und Pflanzenkörpers auf die Gesetze der Physik und Chemie zurückzuführen strebt — dürfen, ja müssen wir dann nicht die Physik als die eigentliche Naturlehre, als die Grundwissenschaft der gesamten Naturkunde bezeichnen? Und erscheint es da nicht Jedem, welcher in unserem Jahrhundert der Naturwissenschaften lebt, doppelt geboten, sich mit den Sätzen der Physik, welcher wir die größten Fortschritte der letzten hundert Jahre verdanken, vertraut zu machen, d. h. dem Sein und Wesen der um, unter und über uns wirkenden, schaffenden und zerstörenden Naturkräfte nachzugehen, von ihren Nutzbarmachungen, ihrem Einfluß auf unsere Erwerbs- und Betriebs-Verhältnisse sich zu überzeugen, um gegebenen Falls sie verwenden zu können?

Schon vor Jahrzehnten sagte Dr. Klencke in seinem Werke über den Einfluß der Physik auf das menschliche Leben, daß der in den Naturwissenschaften nicht Bewanderte mitten in seinem eigenen Vaterlande wie ein Robinson zwischen den Erscheinungen einer fremden Welt wandle; wie vielmehr erst trifft diese Bemerkung heute zu! Da rauchen die hohen, wie mächtige Obelisken zur Verherrlichung menschlichen Kunstfleißes sich in die Luft erhebenden Schornsteine der verschiedensten Fabriken, in ihren Werkstätten rauschen, brausen und klopfen die Naturkräfte wie titanische und cyklopische Sklaven im Dienste des menschlichen Haushalts und des Volkswohls — der „Fremdling“ genießt und verwendet das Erzeugnis dieser Arbeit, ohne zu wissen, daß die Naturgeschichte es ist, welche ihm den Zucker der heimischen Felder, das Metall seiner Erdscholle und andere unzählige Bedürfnisse des Lebens und des Luxus, bis herab zu dem winzigen und doch unentbehrlichen Zündhölzchen und der Stecknadel, liefert. Er fliegt im Gefolge der brausenden Lokomotive dahin, durch den früher unerreichbaren Raum, und hat nichts weiter als eine beklemmende oder wohlthuende Ahnung, daß eine gewaltige, einst nur zerstörend auftretende Naturkraft, gezügelt vom Willen des Menschen, es ist, welche ihn durch den Raum führt; er meldet seine Ankunft am Ziel der Reise aus weiter Ferne

den Zurückgebliebenen durch eine telegraphische Depesche, blickt mit gewisser Scheu auf den elektromagnetischen Apparat, späht der am Horizont sich verlierenden Drahtleitung nach und muß, indem er thatsächlich erfährt, daß seine Gedanken in demselben Augenblick den Draht durchfliegen und in ferner Heimat sich verständlich und lesbar machen, mit Beschämung eingestehen, daß er den ursächlichen Zusammenhang der Einrichtung nicht kennt. Er brennt seit Jahren in seinem Hause Gaslicht, er sieht die Straßen großer Städte durch elektrisches Licht in Tageshelle erscheinen, und hat keine Kenntnis davon, wie das eine oder das andere entsteht, was es ist und warum es ihm zu leuchten vermag; er sieht sein eigenes Bild innerhalb eines Momentes auf die Glasplatte des Photographen gebannt und weiß sich nicht zu enträtheln, welche Zauberkraft dem letzteren dies ermöglicht; er bewundert unterm Mikroskop die Welt des kleinsten Raumes, er hört durch das Telephon die Mitteilungen eines stundenweit von ihm wohnenden und mit ihm plaudernden Freundes und vermag sich auf die Frage: Wie ist dies zu erklären? keinen Aufschluß zu geben; er geht unter dem Himmel, der seine Sonnen auf ihn niederstrahlt, aber er kann sich nicht erklären, was sie sind und was sie sollen; er fleht den Himmel um Schutz an, jedoch er kennt die Gesetze nicht, die im Unermeßlichen walten und sich keiner menschlichen Bitte fügen, wohl aber dem Menschenverstand ihre Geheimnisse erschließen. Ein solcher Mensch ist fast zu vergleichen mit einem Heimatlosen, der auf eine fremde Erde unter fremde Natur-Erscheinungen verschlagen worden. Und doch sollte ein Mensch, welcher dem 19. Jahrhundert angehört, nichts zu seinem Leben gebrauchen und anwenden, was er nicht zu begreifen vermag; denn so unglaublich viel des Wunderbaren und Merkwürdigen geschehen, so ist doch alles dies Merkwürdige auf verhältnismäßig wenig Grundgesetze zurückzuführen, und das zu Lernende (die Naturlehre) ist gering im Vergleich mit dem auf die Wissenschaft der Naturlehre sich Stützenden. Und was kann es Interessanteres geben, als die Gesetze, nach denen die Natur wirkt, ihr abzulauschen und abzufragen, wie es der experimentierende Naturforscher macht, oder sie aus den Berichten des Forschers lennen zu lernen, wie es der gebildete Mensch überhaupt thut bezw. jeder thun sollte?

Schon wenn wir nur Einiges von dem betrachten, was unser Jahrhundert geleistet, so müssen wir staunen, denn es hat die pfadlose Wüste des Ozeans nach der Uhr befahren gelehrt (infolge Bestimmung der geographischen Länge durch den Ende des verfloffenen Jahrhunderts konstruirten Schiffs-Chronometer), es hat dem Schiff statt der Segel die Dampfmaschine gegeben, dem Wagen die Pferde ausgespart und durch den Dampf oder durch die Elektrizität ersetzt und Reisen am die Erde gewissermaßen in

Spazierfahrten verwandelt, indem es alle Entfernungen auf ein Zehnteil, auf ein Zwanzigstel verkürzt und den Adler in seinem Fluge überholt hat. Das neunzehnte Jahrhundert hat den Elektromagnetismus geschaffen, die Geschwindigkeit des Blitzes gemessen und gelehrt, unsere Gedanken mit der Geschwindigkeit des Blitzes an die fernsten Orte der Erde zu senden, es hat durch die Elektrizität Felsen gesprengt und „Berge verfehrt,“ dem Kunstgewerbe ein beachtenswertes Mittel zur Nachbildung und Vielfältigung von Medaillen, Holzschnitten zc. und zur Versilberung und Vergoldung (Galvanoplastik) an die Hand gegeben und den direkten mündlichen Verkehr zwischen stunden- und meilenweit von einander entfernten Personen möglich gemacht, es hat den Menschen unterwiesen, das in ein Instrument (Phonograph) gesprochene Wort aufzubewahren und es dann wieder ertönen zu lassen, es hat das Sonnenfeuer an Kraft und das Sonnenlicht fast an Helligkeit überboten, der Chemie ganz andere Wege eröffnet, neue Elemente aufgefunden und die Luftarten Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff in flüssige Körper verwandeln gelehrt, es hat gezeigt, vermöge der Spektral-Analyse Aufschluß über die chemische und physikalische Beschaffenheit des Sonnenballes und anderer Himmelskörper zu erhalten und vermöge eines besonderen Apparates mit Hilfe des Sonnenlichts in Sekundenschnelle Bilder hervorzuzaubern (Photographien oder Lichtbilder), es hat die Umdrehung der Erde um ihre Achse an der Bewegung des Pendels dargethan, den magnetischen Nordpol und Südpol entdeckt und mit Hilfe der zu ihrem Höhepunkte ausgebildeten Mathematik und der trefflichsten optischen Instrumente den menschlichen Geist und das menschliche Auge in die fernsten Himmelsräume geleitet und von diesen Besitz genommen — — und sollen wir noch mehr hervorheben? Schon das Wenige, was wir jetzt aus den Erfindungen und Entdeckungen unseres Jahrhunderts in allgemeinen Zügen schilderten, dürfte mahnen, die letzteren kennen zu lernen und sie zu verfolgen. Dies lohnt nicht nur der Mühe, es ist in unserer Zeit sogar nötig und unerläßlich, in unserer Zeit, in welcher die Naturwissenschaften immer tiefer in alle Verhältnisse eingreifen, in welcher der Leiter einer Fabrik über die Gesetze der Naturkräfte, mit denen er zu thun hat, im Klaren sein muß, ebenso wie der Maschinenbauer, Gürtler und Bronceur, der Färber, Brauer und Gerber, der Piano-forte- und Wagen-Fabrikant, der Tuchmacher wie der Glasschleifer u. v. A. ihren Erwerbszweig nicht mehr betreiben können, falls sie nicht die auf naturwissenschaftlichem Fundament ruhenden Grundsätze kennen, nach denen sie arbeiten müssen, wenn sie mit Vorteil arbeiten wollen. Ist doch die heut zu Tage so wichtige Lehre von den Grundlagen der Gewerbe, die Technologie, im großen Ganzen nur angewandte Naturwissenschaft, speziell Physik und Chemie!

Geschichte der Physik. Wenn wir oben sagten, daß der Physik die größten Fortschritte der letzten 100 Jahre zu danken sind, so soll damit den vorhergehenden Jahrhunderten keinesfalls ihr Ruhm geschmälert werden, denn sie haben ja die Naturlehre begründet und große wie kleine Bausteine zum Auf- und Ausbau derselben herbeigetragen. Schon das Altertum, soweit wir es von seiner wissenschaftlichen Seite kennen, hatte Natur-Erscheinungen wahrgenommen, Erfindungen und Entdeckungen gemacht; aber es gelangte nicht dazu auf wissenschaftlichem Wege, d. h. durch fortgesetzte zielbewußte Forschung, Beobachtung und Versuche (Experimente), sondern gewöhnlich durch den großen Entdecker „Zufall“. Die alten „Weisen“ dachten wohl kaum über den Grund einer ihnen bekannt gewordenen Erscheinung nach, ja man bemächtigte sich zunächst der Thatsache selbst nicht, man suchte nicht weiter, man verglich nicht, sodaß die Erscheinung als etwas Vereinzeltedastand. Wir haben Nachricht von mannigfachem Wissen, jedoch keine von einer zusammenhängenden Wissenschaft der Alten. Die Erkenntnis der Natur, wie wir sie jetzt auffassen und erstreben, war ein ihnen völlig fremder Gedanke. Und wieweil schon die ältesten Völker bei Herrichtung ihrer einfachen Maschinen physikalische Gesetze befolgten, so geschah dies doch nur unbewußt; in der Priesterkaste allein wurden wohl Geheimlehren, wahrscheinlich durch mündliche Ueberlieferung, aufbewahrt, welche dem Laien nicht mitgeteilt werden durften und vielleicht, wie Schweigger meint, aus einer „Urphysik“ herstammten, aus einer Zeit, welche für unser hebräisches und ägyptisches Altertum „das Altertum“ war, wenigstens war sie 2000 Jahre vor unserer Zeitrechnung nicht mehr vorhanden. Vermutlich hatten die einzelnen Bruchstücke der Kenntnis von Naturkräften nie in einem eigentlichen Zusammenhang gestanden und wurden von den Priestern nur zu ihren Zwecken verwendet, nicht aber um die Natur der Dinge zu erforschen. Von solchen Kenntnissen der alten ägyptischen „Weisen“ und „Zauberer“ wird uns übrigens noch im ersten Buch Moses erzählt, und aus Ägypten brachten jedenfalls die Hebräer mancherlei derartige Bruchstücke mit nach ihrem Lande, die aber bei ihnen nicht verwertet oder ausgebaut wurden. Dem handelsstüchtigen Volke der Phönizier schreibt man zwar die Erfindungen des Glases und der Purpurfarbe zu, doch sind auch sie nur auf Rechnung des Zufalls zu setzen.

Der denkende Geist der Griechen, lebhaft angeregt durch das geheimnisvolle Wissen der alten Ägypter und die sich bietenden Natur-Erscheinungen, zog zunächst die dabei auftauchenden Fragen nach dem Wie? und Warum? in den Kreis seiner philosophischen Betrachtungen, allein er versuchte sie nicht durch fortgesetzte Beobachtung und Sammlung des Thatsächlichen, also auf Grund von Erfahrungen, sondern irriger Weise durch bloßes Nachdenken

zu lösen. So entstanden zwar geistreich durchdachte Systeme der Weltentstehung u., aber die eigentliche Naturlehre, die Natur-Erkenntnis, wurde nicht gefördert und erweitert, weder durch jene sophistischen Ideen, noch durch Empedokles' (460 v. Chr.) Lehre von den vier Elementen, Feuer, Wasser, Luft und Erde, noch durch den Eifer des Vaters der beschreibenden Naturkunde, Aristoteles (384—322 v. Chr.), bis denn der berühmte Archimedes von Syrakus (287—212 v. Chr.) die Grundzüge der Mechanik und Hydrostatik richtig faßte, das nach ihm benannte Gesetz über den Gewichtsverlust fester Körper im Wasser und die darauf sich gründende Bestimmung der Dichte oder des spezifischen Gewichts eines Körpers, ebenso auch das Hebelgesetz entdeckte, das Aräometer (Senkwage), den Flaschenzug und die

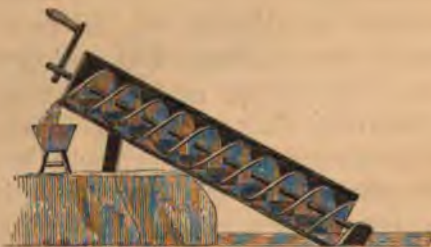


Fig. 1. Wasserschnecke.



Fig. 2. Heronsball.

Wasserschraube oder Wasserschnecke (Fig. 1) und der gleichzeitig lebende Mechaniker Hero in Alexandria den Heronsball bezw. Heronsbrunnen (Fig. 2) erfand*), während der scharfsinnige alexandrinische Astronom und Mathematiker Claudius Ptolemäus (70—147 n. Chr.), dessen zwar irriges, jedoch mit kühnem Geiste erdachtes Planeten-System erst von dem Deutschen Nikolaus Kopernikus (1473—1543) durchbrochen wurde, schon Versuche über Brechung des Lichts anstellte, ohne allerdings zu einem wirklichen Ergebnis zu kommen.

Leider fand die Wissenschaft in dem nun zur Weltherrschaft gelangten Rom keine Stätte, und wenn auch einige Gelehrte, wie der ältere Plinius, naturgeschichtliche Werke schrieben, so suchten sie dabei doch hauptsächlich auf Aristoteles, ein Streben nach Bereicherung der Naturlehre durch selb-

*) Selbstverständlich werden alle die in diesem geschichtlichen Überblick berührten Thatsachen und Gegenstände, von denen wir, des besseren Verständnisses wegen, die hauptsächlichsten bezw. weniger bekannten hier illustrieren, in den späteren Abschnitten durch Wort und Bild ausführlich erläutert werden.

ständige Forschungen, vergleichende Beobachtungen und wissenschaftliche Versuche vermissen wir. Es hatte ein fast anderthalb Jahrtausende umfassender Zeitraum begonnen, während dessen die Physik nebst ihren verwandten Zweigen sozusagen schlief, und diese Periode geistiger Dunkelheit wurde nur dadurch etwas erhellt, daß die die Naturwissenschaften, besonders Stern- und Witterungskunde, pflegenden Araber von den Kenntnissen des Morgenlandes und der Griechen manchen Schatz dem westlichen Europa und damit den christlichen Völkern unseres Erdteils zuführten. Allein die christlichen Gelehrten des Mittelalters beschränkten sich darauf, die Sätze der alten Weisen, insbesondere des Aristoteles, in ihrer Art auszulegen, die Glaubensherrschaft ließ keine frischgrüne Saat in dem Boden eigener Beobachtung und Erfahrung wurzeln. Der Erfindungen, Entdeckungen und Naturgesetze gedeihen und noch weniger reifen, der Sinn für Klauerei, der Hang zum Wunderbaren und Mystischen ließ die Physik zur Magie (Zauberei), die Chemie zur Alchemie, die Astronomie oder Sternkunde zur Astrologie (Sterndeuterei) herabsinken, so daß bei den damaligen Anschauungen selbst dem mit bedeutenden Kenntnissen in Physik und Chemie ausgerüsteten grundgelehrten Vertreter der Philosophie des Aristoteles, Albertus Magnus (gest. zu Köln 1280), die wirkliche Wissenschaft nur wenig zu fördern möglich war und der naturkundige Franziskaner und Lehrer Roger Bacon zu Oxford (gest. 1294) seiner Entdeckungen auf chemischem und physikalischem Gebiete (Vergrößerungsgläser) und seines Eifers gegen die Unwissenheit der Mönche wegen des Amtes enthoben und sogar zweimal eingekerkert wurde. Ist es da zu verwundern, wenn die Wissenschaft kümmerlich wenig Neues zu Tage förderte? Im Jahre 1181 lernte man den Kompaß (Fig. 3) kennen, welcher bei den Chinesen schon ebenso viele Jahrhunderte vor der christlichen Zeitrechnung im Gebrauch gewesen sein soll; gegen das Jahr 1300 wurden die Brillen erfunden, nach Angabe der Einen von dem Pisaner Mönch Alexander von Spina, nach Angabe der Anderen von dem Florentiner Edelmann Salvano degli Armati; fast zur selben Zeit auch gab Theodoricus von Freiberg eine Erklärung des Regenbogens, und um das Jahr 1365 baute Heinrich von Biele eine Gewichtsuhr mit Schlagwerk.

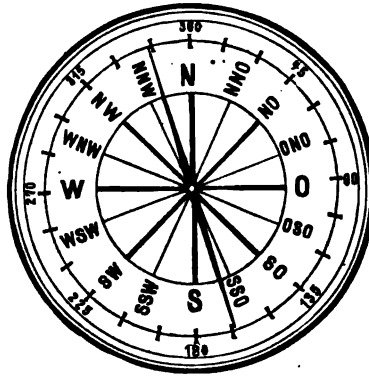


Fig. 3. Kompaß.

Erst im 15. Jahrhundert erwachte, nach der langen Nacht des Mittelalters, das geistige Leben Europa's, und mit diesem Umschwung begann auch für die Naturlehre die Zeit der Blüte, eingeleitet durch Joh. Müller Regiomontanus (1436—1476), Leonardo da Vinci (1452—1519) und Kopernikus. Regiomontan vervollkommnete die Mechanik, stellte parabolische Brennspiegel her, förderte durch Anfertigung von Erd- und Himmelsgloben u. a. m. die Astronomie und blieb dadurch nicht ohne direkten Einfluß auf den eigentlichen Begründer der heutigen Astronomie und den Schöpfer des neuen Weltsystems, Kopernikus; Leonardo da Vinci aber, der bedeutendste Physiker des 15. Jahrhunderts und berühmte Maler, forschte auf den Gebieten der Optik und Hydraulik, hatte z. B. hinsichtlich der letzteren schon Kenntnis von dem Aufsteigen des Wassers in engen Röhrchen (Kapillarität; Fig. 4), kannte die Camera obscura (ohne Linse) u. a. War durch die drei genannten Forscher die neue Epoche angebahnt, und

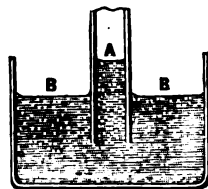


Fig. 4. Kapillar-Ercheinung.



Fig. 5. Einfaches Mikroskop.

hatten sich ihnen im 16. Jahrhundert Georg Hartmann in Nürnberg durch Entdeckung der Neigung der Magnetnadel oder Inklination (1544), sowie der Niederländer Stevin, welcher (1586) die Statik oder Lehre vom Gleichgewicht der Körper, anknüpfend an die Prinzipien des Archimedes, wieder auf richtige Anschauungen und Grundlagen zurückführte, und neben denen auch der Brillenschleifer Zacharias Jansen zu Middelburg in Holland, welcher 1590 das Mikroskop (Fig. 5) erfand, genannt werden muß, angereicht: so konnte vom Beginn des 17. Jahrhunderts an die junge Wissenschaft — denn zu einer selbständigen Naturwissenschaft erhob sich die Physik im 17. Jahrhundert — in ungeahnt schneller Folge überraschend großartige Resultate aufweisen. Man begnügte sich nicht mehr mit der Auslegung alter Lehrsätze, mit bloßer Beobachtung von Natur-Erscheinungen, um diese dann einem lediglich durch Nachdenken ausgeklügelten, nicht aber auf wirklicher Natur-Erkenntnis und Erfahrung beruhenden „Gesetz“ anzupassen bezw. diesem einzuordnen, sondern man schlug das umgekehrte Verfahren ein, man beschritt allgemein den bereits von Leonardo da Vinci vorgezeichneten und später auch von dem genialen englischen Gelehrten Francis Bacon von Verulam (1620) für die Philosophie empfohlenen, einzig sicher zur

Natur-Erkenntnis und zu gründlichem Wissen führenden Weg, d. h. man stellte in der Natur und an der Hand des Experiments genaue Beobachtungen an und gelangte somit auf Grund von Erfahrungen und Vergleichen zu folgerichtigen Schlüssen und Naturgesetzen. Diese sogenannte empirische Methode leitete aber auch zu den gewaltigen Erfindungen und Entdeckungen der damaligen und einer späteren Zeit.

Als der Grundpfeiler, der eigentliche Begründer der lebenskräftigen Wissenschaft ist der italienische Physiker Galilei, Professor an den Hochschulen zu Pisa und Padua (1564—1642), anzusehen, welcher auf eigenen genauen Beobachtungen fußend, mit Begeisterung für das Kopernikanische Weltssystem eintrat, i. J. 1602 die Gesetze der Fall- und Pendelbewegung und mit Hilfe des Fernrohrs (Fig. 6), welches er auf Grund der ihm aus Holland — wo Hans Lippershey 1608 das Fernrohr erfunden — zugegangenen Mitteilung selbst angefertigt, die Mondberge, die Jupiter-Monde, den

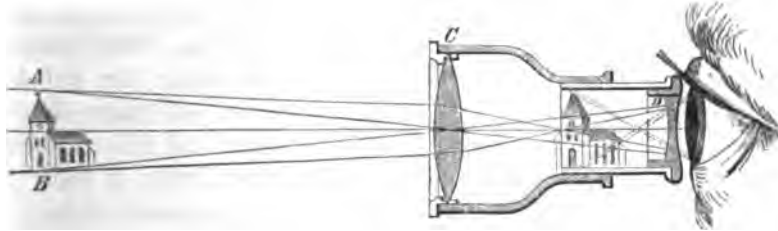


Fig. 6. Holländisches oder Galilei'sches Fernrohr.

Saturnring u. s. w. entdeckte, außerdem (1597) ein Luft-Thermometer erfand. Um Galilei gruppieren sich Gilbert, Kepler, Cartesius, Torricelli, ferner schließen sich an als Leuchten der Wissenschaft Pascal, Otto von Guericke, Huyghens, Boyle, Mariotte, Snell, Grimaldi, Olaf Römer, Newton.

Gleich mit Beginn des neuen Jahrhunderts, i. J. 1600, erschien das prächtige Werk „Physiologia nova de magneto“ William Gilbert's, Leibarzt der Königin Elisabeth von England (1540—1603), ausgezeichnet durch reiches Wissen, Scharfsinn und hohe Befähigung zur Ausführung von Experimenten und von Galilei um des Buches willen „beneidenswert groß“ genannt. Gilbert ist der Begründer der Lehre vom Magnetismus und der Elektrizität. Bestand bis dahin das ganze Wissen über diesen Gegenstand nur in der Kenntnis von der Anziehungskraft des Magnet und des geriebenen Bernsteins, so unterscheidet Gilbert zuerst zwischen magnetischen und elektrischen Erscheinungen, entdeckt die Eigenschaften des Bernsteins noch an anderen Harzen, Edelsteinen, Schwefel, Glas u. a., konstruiert ein Elektroskop u. s. w., und seinem Wissen vom Magnetismus hat

man überhaupt bis zum Jahre 1819 nichts hinzuzufügen vermocht. Ihm folgte der Freund Galilei's, der gelehrte Magdeburger Bürgermeister Otto

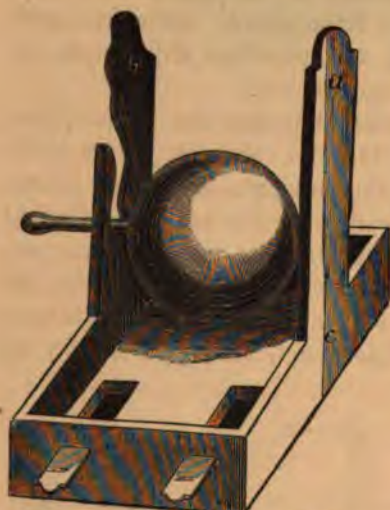


Fig. 7. Guericke's (Elektrifier-) Maschine.

von Guericke (1602—1696), welcher die Kenntnis elektrischer Erscheinungen bedeutend erweiterte, zum Studium der Elektrizität eine (Elektrifier-) Maschine (Fig. 7) erfand und seine Beobachtungen in dem berühmten Buche: „Experimenta nova Magdeburgica“ (1672) niederlegte; daß er außerdem i. J. 1650 die Luftpumpe (Fig. 8) erfand und die Gewalt des Luftdruckes an den sog. Magdeburger Halbkugeln (Fig. 9) zeigte, ist ja allgemein bekannt, weniger, daß er ein Manometer und die sog. Wassermännchen erfand, welsch' letztere vor Erfindung des Barometers als Wetter-Anzeiger benutzt wurden. Als weiterer Förderer der Elektrizitäts-Lehre in dieser Zeit

muß der Engländer Robert Boyle (1626—1691) genannt werden, der unter Anderem die elektrische Anziehung im luftverdünnten Raum feststellte.



Fig. 8. Guericke's erste Luftpumpe.



Fig. 9. Magdeburger Halbkugeln.

Die eben erwähnte Erfindung des Barometers fällt gleichfalls in diese Periode. Sie ist Galilei's Schüler, dem italienischen Physiker Torricelli (1608—1647), zu danken, welcher, seines Lehrers Anschauungen vom Luft-

druck verfolgend, durch die vermittelt einer mit Quecksilber gefüllten, 3 Fuß langen Glasröhre angestellten Versuche die Ursache des atmosphärischen Druckes erkannte und somit i. J. 1644 zum Erfinder jenes Instruments wurde. Der Franzose Pascal (1623—1662) setzte die Versuche fort und wies infolge der an einem Barometer, das auf die Kuppe des Puy de Dome gebracht worden, gemachten Beobachtungen nach, daß der Luftdruck mit zunehmender Erhebung über die Meeresfläche abnimmt. Auf gleichem Gebiete, außerdem auch auf dem der Mechanik, arbeitete der französische Physiker Edme Mariotte (1620—1684), doch hat nicht er das ihm gewöhnlich zugeschriebene und nach ihm benannte Gesetz von der Spannkraft der Luft entdeckt, sondern Boyle (1662).

Auf einem anderen Felde waren durch die Thätigkeit eines Kepler, Snell, Cartesius, Grimaldi, Bartholinus, Olaf Römer, Huyghens, Newton u. A. ungemeine Fortschritte zu verzeichnen: auf dem der Optik oder der Lehre vom Licht. Johannes Kepler (1571—1630), einer der berühmtesten



Fig. 10. Kepler'sches Fernrohr.

Deutschen, welcher durch Entdeckung der Bewegungsgesetze der Planeten ein Vorläufer Newton's wurde, konstruierte i. J. 1610 das astronomische Fernrohr (Fig. 10), ein Ergebnis seiner optischen Untersuchungen, und beschäftigte sich eingehend mit der Lehre vom Sehen u. s. w. Das Gesetz der Lichtbrechung, auf Grund dessen Kepler die Sätze von den Funktionen des Auges entwickelte, hatte 1620 ein junger niederländischer Gelehrter, der Professor Willebrord Snellius van Royen an der Leydener Hochschule (geb. 1591, gest. 1626), entdeckt; doch wurde es erst 1649 von dem französisch-holländischen Philosophen, Mathematiker und Physiker Renatus Cartesius (1596—1650), indem er es zur Erklärung des Regenbogens verwandte, veröffentlicht und daher oft die Ehre seiner Entdeckung auf letzterwähnten Forscher selbst übertragen. Die Beugungs- oder Inflections-Erscheinungen und die Farbenzerstreuung des Lichts beobachtete der Bologneser Gelehrte Francesco Maria Grimaldi i. J. 1650 und den folgenden Jahren; die Beobachtungen aber, welche der dänische Astronom Olaf Römer in der Zeit von 1672 bis 1676 an den Jupiter-Trabanten anstellte, hatten zugleich den schönen Erfolg, daß Römer aus den Verfinsterungen der letzteren die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit des Lichts berechnen konnte. Schon

i. J. 1669 hatte Erasmus Bartholinus (1625—1698) die durch den Kalkspat (isländischen Doppelspat; Fig. 11) bewirkte doppelte Brechung des Lichts wahrgenommen, jedoch erst der große niederländische Physiker Christian Huyghens (1629—1695), der Erfinder der Pendel-Uhren (1655), der



Fig. 11. Kalkspat-Krystall.



Fig. 12. Newton's Spiegelteleskop.

Entdecker der Bewegung des Mars *ic.* und Begründer der Undulationstheorie, d. i. der Lehre von der Wellenbewegung des Lichts, stellte die näheren Verhältnisse der Doppelbrechung fest und fand das Gesetz dieser Brechung bezw. der Polarisation. Immer siegreicher schritt die Optik vor-



Fig. 13. Laterna magica.



Fig. 14. Camera obscura.

wärts. Isaac Newton (1643—1727), einer der erleuchtetsten Geister, der Begründer der neueren mathematischen Physik und der physischen Astronomie, der berühmte Entdecker des Gesetzes der Schwere (Gravitation, 1666) und der Theorie der Schall-*Fortpflanzung* *ic.*, wandte sein Streben mit schönem Erfolg auch den Erscheinungen des Lichts zu, entdeckte die Zusammensetzung desselben, die prismatische Zerlegung desselben in seine farbigen Bestandtheile und baute das erste Spiegel-Teleskop (Fig. 12),

ein Instrument, das zwar bereits von Newton's Landsmann James Gregory i. J. 1661 erdacht worden war, jedoch wegen Mangel an mechanischen Hilfsmitteln von diesem noch nicht hatte fertig gestellt werden können.



Fig. 15. Sprachrohr.

Um 1640 konstruierte der gelehrte Vater Athanasius Kircher (1601—1680) seine Zauberlaterne oder Laterna magica (Fig. 13), deren eigentliche Erfindung, ebenso wie die der Camera obscura (Fig. 14), dem Neapolitaner Giambattista de la Porta (1538—1615) zuzuschreiben ist.

Noch einige andere Erfindungen und Entdeckungen aus dem 17. Jahrhundert seien erwähnt. Ein akustisches Instrument, ein Sprachrohr (Fig. 15) aus Kupferblech, verfertigte der englische Ritter Morland i. J. 1670; die von dem Physiker Denis Papin (1647—1712), welcher etwa 20 Jahre hindurch auch in Deutschland lehrte und sich mit den Erscheinungen des Luftdruckes und Dampfes beschäftigte, angestellten Versuche führten unter Anderem zur Erfindung des nach ihm benannten Dampfkochtopfes (Fig. 16) und einer Art Dampfmaschine (1688); und der

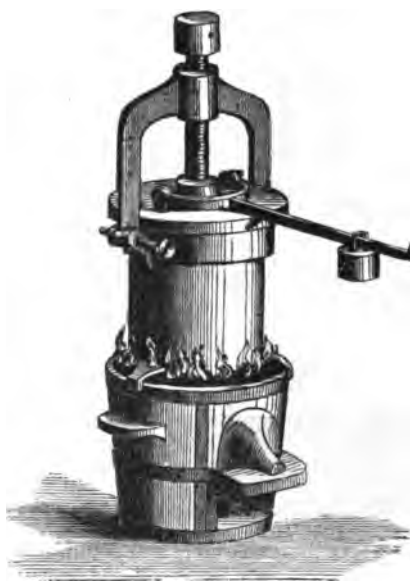


Fig. 16. Papin'scher Kochtopf.

französische Astronom Richer nahm i. J. 1672 an einer aus Paris mitgebrachten Pendel-Uhr in Cayenne (Süd-Amerika, 5 Grad nördlich vom Aequator) wahr, daß dieselbe hier täglich $2\frac{1}{2}$ Minuten nachging und daß sie erst wieder richtig zeigte, wenn das Sekundenpendel um etwa 2 mm verkürzt wurde, was zu einem wichtigen und richtigen Schluß auf die — von den Polen nach dem Aequator hin abnehmende —

Schwerkraft oder Anziehungskraft der Erde berechnete, wie wir später erörtern werden.

Das 18. Jahrhundert schritt auf dem vorgezeichneten Wege unaufhaltsam weiter, wenngleich vielleicht, mit Ausnahme der Elektrizitäts-Lehre, die während desselben gewonnenen Resultate in ihrer Gesamtheit nicht so imponieren, als die Erfolge des vorhergehenden und des nachfolgenden Jahrhunderts; ausdrücklich sei aber betont, daß wir ihm eine Anzahl der weittragendsten Erfindungen und Entdeckungen zu verdanken haben.



Fig. 17. Fallmaschine.

In das Gebiet der mechanischen Physik gehört die Erfindung der mit erwärmter Luft gefüllten Luftballons (Montgolfieren) durch die Gebrüder Montgolfier zu Annonay in Frankreich 1783 und die unmittelbar darauf im gleichen Jahre gemachte Erfindung der mittelst Wasserstoff gehobenen Luftballons (Charliären) durch den Physiker Charles zu Paris. J. M. Montgolfier konstruirte auch einen Fallschirm, und im Jahre 1784 baute der englische Physiker Atwood

(1745—1807) einen Apparat zur Veranschaulichung der Fallgesetze; die Fallmaschine (Fig. 17).

Der Begründer der wissenschaftlichen Akustik (Lehre vom Schall), Chladni

(1756—1827), entdeckte 1787 die sogenannten Klangfiguren (Fig. 18); optische Instrumente wurden erfunden von den Engländern Hadley und John Dollond: von Hadley 1731 der zum Messen von Winkeln, namentlich auf Schiffen verwendete Spiegel-Sextant (Fig. 19) und von Dollond 1758 das achromatische Fernrohr (Fig. 20), durch welches man ein einziges deutliches, weißes Bild des betrachteten Gegenstandes gewinnt, während die früheren Fernrohre eine Anzahl verschiedenfarbiger Bilder entstehen ließen, was den Beobachter ganz ungemün stört; Dollond hatte nach vielen vergeblichen Bemühungen die Versuche schon aufgegeben, und nur die Theorie des berühmten Berliner und Petersburger Professors Leonh. Euler (1707—1783) und der Nachweis eines Irrthums seitens des schwedischen Geometers Klingensierna veranlaßten ihn zu erneuten Versuchen, die denn auch zum Ziele führten.



Fig. 18. Klangfigur.

Der Begründer der wissenschaftlichen Akustik (Lehre vom Schall), Chladni (1756—1827), entdeckte 1787 die sogenannten Klangfiguren (Fig. 18); optische Instrumente wurden erfunden von den Engländern Hadley und John Dollond: von Hadley 1731 der zum Messen von Winkeln, namentlich auf Schiffen verwendete Spiegel-Sextant (Fig. 19) und von Dollond 1758 das achromatische Fernrohr (Fig. 20), durch welches man ein einziges deutliches, weißes Bild des betrachteten Gegenstandes gewinnt, während die früheren Fernrohre eine Anzahl verschiedenfarbiger Bilder entstehen ließen, was den Beobachter ganz ungemün stört; Dollond hatte nach vielen vergeblichen Bemühungen die Versuche schon aufgegeben, und nur die Theorie des berühmten Berliner und Petersburger Professors Leonh. Euler (1707—1783) und der Nachweis eines Irrthums seitens des schwedischen Geometers Klingensierna veranlaßten ihn zu erneuten Versuchen, die denn auch zum Ziele führten.

Eine merkliche Regsamkeit entwickelte sich auch auf dem Gebiete der Wärmelehre, und eine Anzahl schöner Erfindungen und Entdeckungen zeugen von der Aufmerksamkeit, welche man den Erscheinungen des Dampfes und der erwärmten Luft, aber auch der Zusammensetzung der Luft zuwandte. In letzterer Beziehung sei erwähnt, daß der Erfinder des Maximum- und Minimum-Thermometers (Fig. 21), Daniel Rutherford in Edinburg (1749 bis 1819), im Jahre 1772 den Stickstoff entdeckte, während der Sauerstoff von dem englischen Natur-

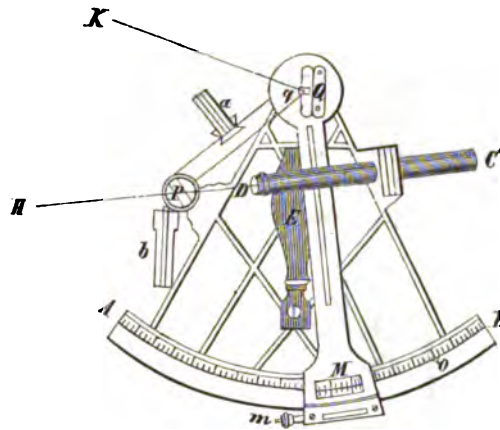


Fig. 19. Hadley's Spiegelthermometer.

forscher Priestley, dem Entdecker des Chlornwasserstoffs, Ammoniak's u. a., durch Erhitzen von Quecksilberoxyd und zur selben Zeit von Scheele durch Kochen von Braunstein mit Schwefelsäure dargestellt wurde. Die Versuche der Schüler Galilei's zwecks Herstellung eines praktischeren Thermometers hatten zur Erfindung des sogenannten florentinischen Thermometers geführt, aber dies wurde durch die zuerst im Jahre 1714 gefertigten, genau übereinstimmenden Quecksilber-Thermometer Fahrenheit's (1686—1736), eines in Danzig geborenen Glasbläfers, überflügelt



Fig. 20. Achromatische Linse.



Fig. 21. Maximum- und Minimum-Thermometer.

welchen im Jahre 1730 der Franzose Réaumur das achtzig- und der schwedische Astronom Celsius 1742 das 100teilige Thermometer folgen ließen. Ein Instrument zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalts der Luft (Wasser-

dampf), ein Hygrometer (Fig. 22), erfand 1783 der Genfer Naturforscher H. B. de Saussure (1740—1799), und auch zu diesem traten später Andere. Die Erscheinungen des Wasserdampfes, der Gedanke an eine ausgiebige Nutzbarmachung der Spannkraft des Dampfes, an eine Umwandlung der Wärme in Arbeit beschäftigte seit Papin die denkenden Köpfe immer mehr. Bereits 1698 ließ sich der englische Kapitän Thomas Savery seine erste Dampfmaschine (Fig. 23) patentieren, sie wurde verbessert durch Newcomen, dessen Maschine man zuerst im Jahre 1705 in den Bergwerken von Cornwallis zum Heben von Wasser verwendete, ferner durch Potter (infolge Erfindung der sogenannten Steuerung), Brindley u. A., aber erst der geniale

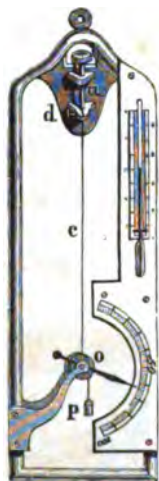


Fig. 22. Saussure's Haarhygrometer.

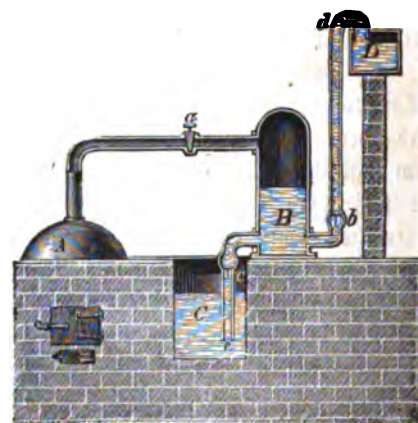


Fig. 23. Savery's Dampfmaschine.

Mechaniker James Watt (1736—1819) zu Glasgow wandelte sie so vollständig um, gab ihr auf Grund eigener Forschungen und Versuche über die Natur und Verwendbarkeit des Dampfes und vermöge wichtiger Erfindungen (Kondensator) so wesentliche Verbesserungen, daß sie überhaupt erst zur Dampfmaschine in unserem Sinne wurde und Watt's Namen unsterblich machte; 1769 ließ er sich eine einfachwirkende Dampfmaschine patentieren, seinen eigentlichen Triumph jedoch feierte er 1774 mit der Einrichtung der doppelwirkenden Dampfmaschine (Fig. 24), deren weitere Vervollkommnung er fortgesetzt im Auge behielt. Damit aber hatte die Menschheit eine ihrer größten — und bis dahin sicherlich die größte — Errungenschaften vor sich, denn keine andere Erfindung oder Entdeckung konnte sich rühmen, die Lebensweise der Kulturvölker so vollständig umgestaltet zu haben, als die Dampfmaschine es that.

Freilich schien es, als sollte der Glanz dieser Erfindung durch die auf einem anderen Gebiete, dem der Elektrizität, gemachten Erfindungen und Entdeckungen verdunkelt werden. Hatten Picard, Joh. Bernoulli, du Fay, Hawksbee, Stephan Gray, Bose, Gordon, Winckler u. A., den Fußstapfen Gilbert's, Guericke's und Boyle's folgend, die Elektrizitätslehre wesentlich gefördert und ausgebaut, hatten z. B. Hawksbee und dann

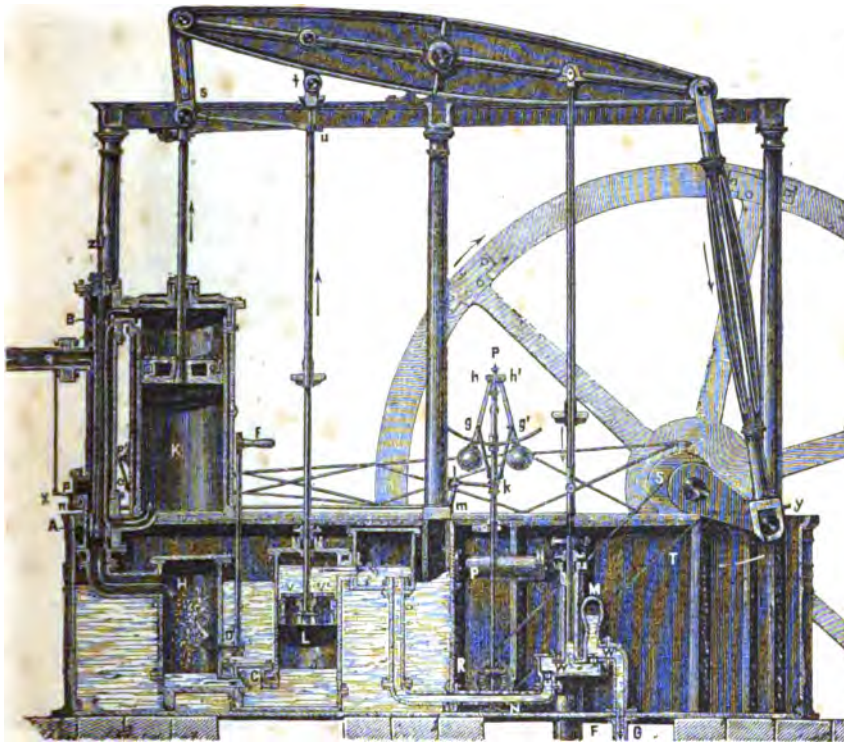


Fig. 24. Doppeltwirkende Dampfmaschine.

Bose in Wittenberg (1710—1761), Gordon in Erfurt (1744), Winckler in Leipzig, die Engländer Watson und Wilson (1746) die Verbesserung der Elektricitäts-Maschine mit Erfolg angestrebt, hatte der Engländer Stephan Gray 1727 Leiter und Nichtleiter unterschieden und 1732 den Isolirschmel (Fig. 25) erfunden, hatte du Fay (1698—1738) die beiden elektrischen Zustände entdeckt und als Glas- und Harz-Elektrizität bezeichnet, hatte endlich Bose 1741 einen isolierten Leiter (Konduktor) zur Ansammlung der Elektrizität an der Maschine erfunden — so gelangte am 11. Oktober 1745

Cunäus in Leyden durch Zufall zu der so wichtigen Erfindung der elektrischen (Kleist'schen oder Leydener) Flasche (Fig. 26), und der als Physiker wie als Staatsmann gleich große Benjamin Franklin (1706—1790), welcher mit kühnem Blick die Erscheinungen verfolgte, ihren Ursachen und Wirkungen nachging und seine Ansichten zu einer Theorie der Elektrizität gestaltete, erklärte bald darauf die Wirksamkeit jener Flasche, zeigte dasselbe an be-

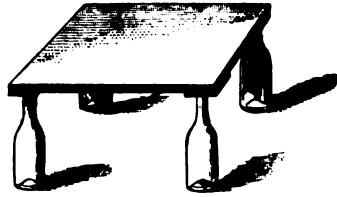


Fig. 25. Folierschemel.

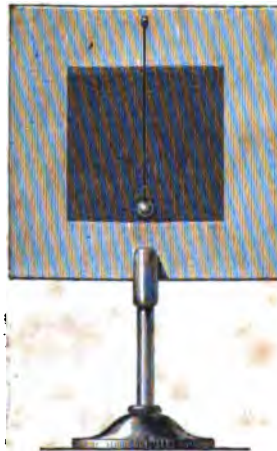


Fig. 27. Franklin'sche Tafel.



Fig. 26. Leydener Flasche.



Fig. 28. Benz'sche Maßflasche.

sonders hergerichteten (Franklin'schen) Tafeln (Fig. 27), erkannte zu Folge seiner Versuche mit einem aus Seidenzeug gefertigten und oben mit einer, die Schnur haltenden eisernen Spitze versehenen Drachen im Jahre 1752 die elektrische Natur des Blitzes und wurde der Erfinder des Blitzableiters. Weitere Forschungen, Erfindungen und Entdeckungen gingen nebenher oder drängten sich in rascher Folge. So benutzte, um nur Einiges herauszugreifen, S. F. von Waiz bereits 1745 ein Elektroskop (Seidenfäden mit kleinen Metallgewichten) zur Bestimmung geringer Elektrizitäts-Mengen, 1746 beobachtete Krüger gewisse chemische Wirkungen der elektrischen Ent-

ladung, zur selben Zeit machten Kragenstein in Halle u. A. schon Heilungsversuche mit Hilfe der Elektrizität, Versuche über das elektrische Glimmen luftleerer Röhren (Glimmlicht) stellte 1751 Watson an, im Jahre 1772 untersuchte Walsch den Zitterrochen und 1773 wies Hunter den elektrischen Charakter des Zitteraal nach, 1767 fertigte der Apotheker Lane in London, zur Messung der in einer Leydener Flasche enthaltenen Elektrizität, die nach ihm benannte Maßflasche (Fig. 28) an, Lichtenberg entdeckte 1777 die seinen Namen tragenden elektrischen Staubfiguren (Fig. 29) und erfand 1778 den Doppel-Elektrophor, der französische Genie-Offizier G. A. Coulomb lieferte durch seine gediegenen Arbeiten die Grundlage für die Lehre der Elektrostatik, stellte das Gesetz der elektrischen Anziehung und Abstoßung auf und konstruierte

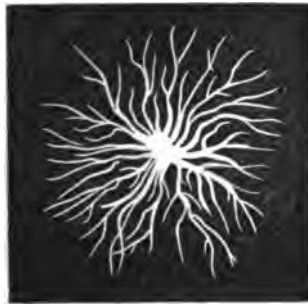


Fig. 29. Lichtenberg'sche Figur.

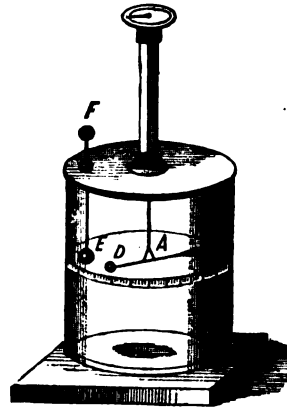


Fig. 30. Coulomb's Drehwage.

zum Nachweis desselben und zur Messung von Elektrizitäts-Mengen die seinen Namen führende Drehwage (Fig. 30); der große italienische Physiker Alessandro Volta (1745—1827) erfand 1775 den Elektrophor zur Erzeugung größerer Elektrizitäts-Mengen, 1788 das Strohhalm-Elektroskop, 1783 den auf dem Grundprinzip der Leydener Flasche beruhenden Kondensator — — all' das Erwähnte aber wird in seiner Bedeutung weitaus übertroffen durch die Entdeckung der Berührungselektrizität (Galvanismus) seitens des Vologneser Arztes Luigi Galvani (1737—1798) und des eben genannten Forschers, eine Entdeckung, welche der Erfindung der Dampfmaschine an die Seite gestellt zu werden verdient. Denn nachdem Galvani 1790 an den von ihm mittelst kupferner Drahtstangen an einem eisernen Gitter aufgehängten enthäuteten Froschhaken, wie wir an einer anderen Stelle näher besprechen werden, eigentümliche Zuckungen wahrgenommen und die Erscheinung als eine elektrische erkannte, ohne jedoch über ihre wirkliche

Ursache im Klaren zu sein, Volta aber auf Grund der angestellten Versuche die letztere in der Berührung der beiden verschiedenen Metalle, Kupfer und Eisen, fand („Berührungs-Elektrizität“) und später (1794) nachwies, daß bei jeder Berührung zweier Metalle wie überhaupt zweier verschiedenen Elektrizitäts-Leiter eine Elektrizitäts-Erregung stattfindet, indem der eine Körper positive, der andere negative enthalte, bezw. daß die beiden Metalle bei gegenseitiger Berührung entgegengesetzt elektrisch werden: kam Volta zu-

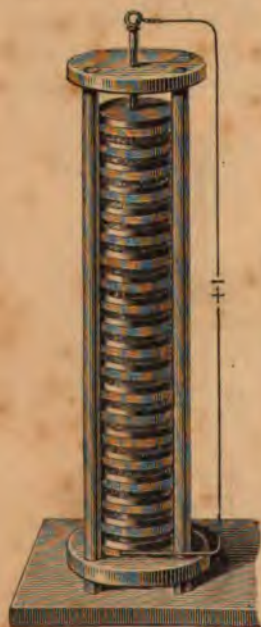


Fig. 31. Volta'sche Säule.

nächst auf die Zusammenstellung der Volta'schen Plattenpaare (Volta'sche, galvanische Elemente) und Ende 1799 vermöge Aufeinanderschichten vieler solcher aus je einer Kupfer- und Zinkplatte bestehenden, durch einen nicht metallischen Leiter (z. B. eine mit Schwefelsäure getränkte Tuchscheibe) getrennten Plattenpaare zu der Erfindung der „Volta'schen Säule“ (Galvanische Batterie oder Kette) — jenes bewundernswerten Apparates, welcher die Elektrizität in Form eines dauernden Stromes erzeugte und so mannigfaltige Verwertung finden sollte (Fig. 31). Kein anderes Forschungs-Ergebnis konnte das 18. Jahrhundert würdiger abschließen als diese Erfindung, welche der Praxis des Lebens wie der Wissenschaft wieder ganz neue Bahnen eröffnete und deren Anwendung und Ausbeutung nun Aufgabe des

19. Jahrhunderts wurde. Bereits im Jahre 1800 konnten Carlisle und William Nicholson in London Humboldt's Ansicht von der Zerlegung des Wassers durch den elektrischen Strom (1795) mit Hilfe des galvanischen Stromes wirklich nachweisen, gleich darauf, noch in demselben Jahre, zerlegte William Cruickshank (1745—1800) verschiedene Säuren und wässrige Lösungen von Salzen, wobei er schöne krystallinische Niederschläge von Kupfer, Silber, Gold etc. — was später zur Erfindung der Galvanoplastik führte — erhielt, ferner Kalkwasser u. a. m. Die schönsten Erfolge auf dem Gebiete der Elektrolyse, wie man diese durch den elektrischen oder galvanischen Strom hervorgerufene Zerlegung von Wasser (Fig. 32) und anderen zusammengesetzten flüssigen Leitern nach Faraday's Vorschlag nennt, erreichte jedoch der Londoner Chemiker Humphry Davy (1778—1829), der Erfinder der Sicherheitslampe (1815), da es ihm gelang, aus Alkalien, alkalischen Erden und Magnesiumsalzen die leichten und z. Th. neue Metalle,

z. B. Kalium, Natrium, Calcium, Magnesium abzuscheiden (1807/8). Die Erklärung der Elektrolyse und das Verfahren Davy's wurde für die Chemie von außerordentlicher Bedeutung; neben und nach ihm arbeiteten auf dem gleichen Felde der Schwede Berzelius (1779—1848), Th. v. Grotthuß (1785—1822), Michael Faraday in London (1791—1861), Boggendorff in Berlin (1796—1877), Bunsen in Heidelberg (1854 ff.), Rudolf Clausius, dessen 1857 ausgesprochene Theorie fast allgemein Anklang fand, u. A.

Eine der wichtigsten Verwendungen, wenn nicht überhaupt die wichtigste, fand der elektrische Strom in der Uebermittlung von Gedanken zwischen zwei mehr oder weniger von einander entfernten Orten, d. i. die Telegraphie. Optische

und akustische Telegraphen kannte man schon seit langer Zeit; den Anfang mit der elektrischen Telegraphie — abgesehen von den mit Reibungs-Elektrizität unternommenen Versuchen — machte 1809 der Naturforscher Sam. Thomas von Sömmering (1755—1830) in München, indem er galvanische Ströme benutzte, als Leitung aber anfangs 35, später 27 den einzelnen

Buchstaben und Zeichen entsprechende, durch Umspinnung mit Seide isolierte lange Drähte gebrauchte und im März 1812 damit auf eine Entfernung von mehr als 3000 m sich verständlich machte (Fig. 33). Die hohen Kosten einer solchen Einrichtung ließen die Erfindung nicht zu einer Verwertung im Großen kommen. Dies wurde erst nach der von dem dänischen Naturforscher Dersted (1777—1851) im Juli 1820 gemachten wichtigen Entdeckung des Elektromagnetismus, bezw. der Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen (elektrischen) Strom, möglich; denn nun reichte man mit zwei Drähten — zur Hin- und zur Rückführung des Stromes nach resp. von der entfernten Station — aus, da mit dem nach einer Station gesandten Strom die dort drehbar aufgestellte Magnetnadel beliebig nach rechts oder links abgelenkt werden und zur Gewinnung

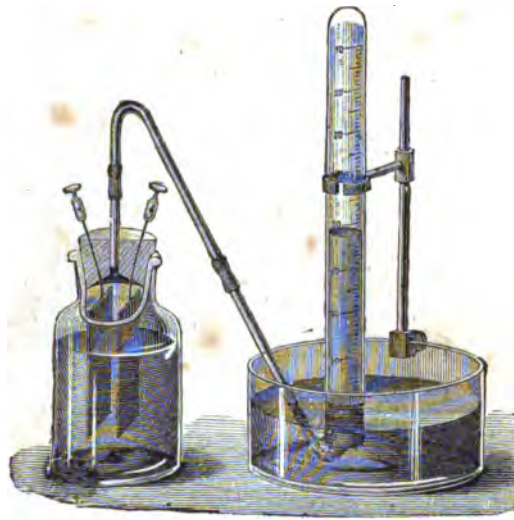


Fig. 32. Apparat zur Zerlegung des Wassers.

von Zeichen dienen konnte. Den ersten solcher Nadeltelegraphen richteten die Göttinger Gelehrten Gauß und Weber im Jahre 1833 zwischen der dortigen Sternwarte und dem physikalischen Kabinet, welche fast 9000 Fuß auseinander lagen, ein, nachdem inzwischen, und zwar bald nach Dersted's Entdeckung, im Jahre 1820 dem französischen Physiker Dom. François Arago (1786—1853) die Herstellung von Elektromagneten gelungen war, nachdem ferner Seebeck in Berlin (1770—1831) im folgenden Jahre die thermo-elektrischen Ströme, Professor A. M. Ampère in Paris (1775 bis

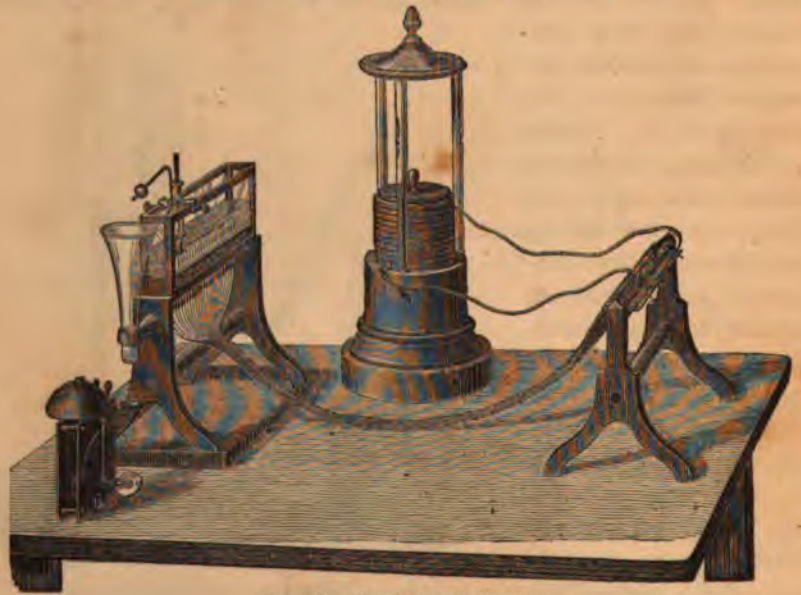


Fig. 33. Sommering's Telegraph.

1836), der Förderer der elektro-dynamischen Theorie, zur selben Zeit die gegenseitige Einwirkung elektrischer Ströme und das daraus sich ergebende Gesetz, der Kölner Gymnasial-Oberlehrer Ohm 1826 und 1827 das seinen Namen tragende berühmte Gesetz der Stromstärke und Faraday in London 1831 die Magnet-Induktion (Erregung elektrischer Ströme durch Magnete) und den Diamagnetismus — worüber später Näheres — entdeckt hatte.

Nun erfuhr die Telegraphie fast von Jahr zu Jahr wesentliche Neuerungen und Verbesserungen; neue Entdeckungen und Erfindungen reichten sich die Hand, diese so wichtige Anwendung der Elektrizitätslehre zu einem immer vollkommeneren Zweige der Elektrotechnik zu machen. Die wichtigste Entdeckung machte der Münchener Professor K. Aug. Steinheil (1801—1870): nachdem er 1837 verschiedene Verbesserungen des Apparates vorgenommen,

einen Beckapparat konstruiert und die Zeichen in Form einer Schrift fixiert hatte, entdeckte er 1838 die Leitungsfähigkeit der Erde, sodaß von nun an nicht nur die Kraft des Stromes bedeutend erhöht, sondern auch der bisher, zwecks Rückleitung des Stromes, stets nötige zweite Draht überflüssig wurde. Im Jahre 1837 nahmen Cooke, welcher bereits einen Signal-Apparat hergestellt, und Charles Wheatstone ein Patent auf einen Nadeltelegraph (Fig. 34), der, nachdem sie ihn zunächst auf der Bahnstrecke London-Birmingham eingeführt, vielfach Eingang auf englischen Bahnen fand; weitere Erfindungen Wheatstone's sind ein Läutewerk, das Relais (Übertrager) und ein Zeigertelegraph. Der Telegraph, welcher noch heute auf den meisten Telegraphenlinien Verwendung findet, ist ein Zeichendrucktelegraph (Stiftschreiber) und sein Erfinder der Amerikaner Samuel Morse (1791—1872); der erste Versuch mit dem erdachten Apparat gelang im September 1837, und im

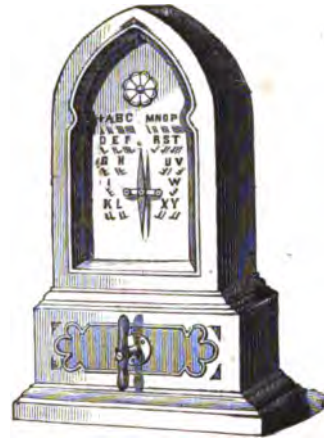


Fig. 34.
Nadeltelegraph von Cooke und Wheatstone.

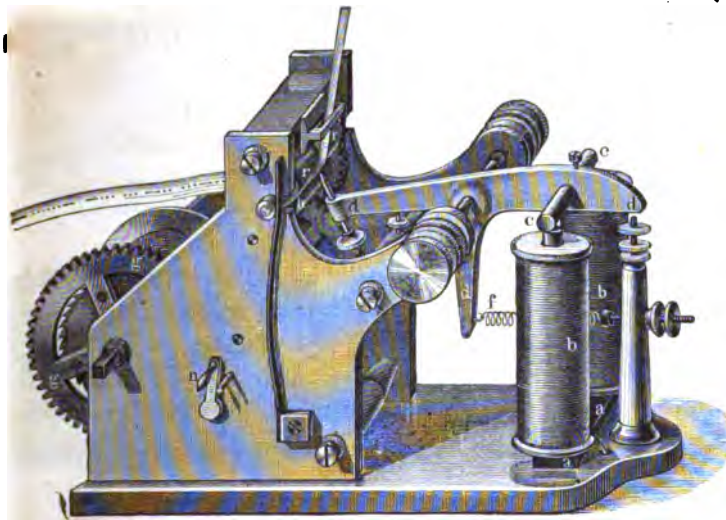


Fig. 35. Morse's Stiftschreiber.

Juni 1840 erhielt Morse ein Patent auf seinen Telegraphen, der allerdings seitdem manche Verbesserung erfuhr (Fig. 35). Dem Morse'schen Stiftschreiber macht der von David Edwin Hughes in London 1855 zu großer

Vollkommenheit gebrachte Typendrucktelegraph (Fig. 36) den Rang streitig, da er das Telegramm mit gewöhnlichen Buchstaben druckt und etwa dreimal so schnell arbeitet, als der Morse'sche Apparat. Einen Kopier-Telegraph,



Fig. 36. Hughes' Typendrucktelegraph, Stromlauf.



Fig. 37. Caselli'scher Telegraph: Schrift in Original und Nachbildung.

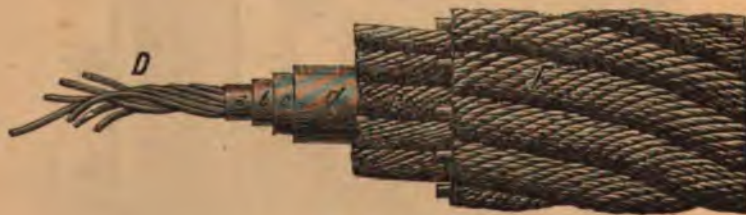


Fig. 38. Kabel.

welcher sogar Handschriften und Zeichnungen auf der Empfangstation in getreuer Nachbildung wiedergibt, konstruierte 1858 Caselli (Fig. 37), Farbschreiber verfertigten Jahn und Digney, sowie Siemens und Halske (1860). Durch eine unterseeische Telegraphenleitung (Kabel; Fig. 38) wurde

im Jahre 1851 Dover und Calais, und nach mehreren vergeblichen Versuchen im Juli 1866 Irland und Amerika verbunden. Schließlich sei erwähnt, daß der Oesterreicher Wilhelm Gintl, der Erfinder des nach ihm benannten chemischen Drucktelegraphen, 1853 zuerst einen Apparat zum Gegensprechen, d. i. zur gleichzeitigen Beförderung zweier Depeschen auf demselben Draht in entgegengesetzter Richtung konstruierte, im folgenden Jahre lieferte Siemens einen solchen Apparat u. s. f.; 1855 wurde auch das Doppelsprechen ausgeführt. Elektrische Uhren, deren man heute auf größeren Bahnhöfen findet, wurden zuerst von Steinheil (1839) hergestellt, Wheatstone, Siemens und Halske und Andere folgten; überhaupt entwickelte sich auf diesem Felde, der Einrichtung von elektrischen Uhren, Läutewerken, Haus-telegraphen u. dergl. ein reges Schaffen.

Neuerdings hat der Fernschreiber in dem Fernsprecher (Telephon) einen Partner gefunden; er übermittelt gesprochene Worte oder sonstige Laute mit Gedankenschnelle an einen anderen Ort. Nachdem der Lehrer Philipp Reis in Friedrichsdorf bei Homburg (1834 bis 1874), welcher sich schon seit 1852 mit Versuchen zur Schallübertragung beschäftigte, 1861 den ersten derartigen Apparat hergestellt und diesen 1863 und später mehrfach verbessert hatte, erfanden die Amerikaner Elisha Gray (1874) und Graham Bell in Boston (1875) weitere Einrichtungen, die beide am 14. Februar 1876 patentiert wurden und von denen der Bell'sche Apparat (Fig. 39), als der vollkommene, rasch Eingang und Verbreitung fand, doch wird er von dem Siemens'schen Telephon (1878) in seiner Wirkung beträchtlich übertroffen. Wesentlich zu Hilfe kam dem Telephon die 1877 von Hughes und fast gleichzeitig von Berliner in Boston und von Lüdige in Berlin gemachte Erfindung des Mikrophons (Fig. 40), das auch die schwächsten Schallerscheinungen noch zu Gehör bringt und daher mit dem Telephon verbunden wird. Endlich erfand Bell im Jahre 1880 noch das Photophon (Lichtsprecher; Fig. 41), welches menschliche Sprachlaute und Töne mittelst eines Bündels Lichtstrahlen auf telegraphischem Wege nach entfernten Orten überträgt.

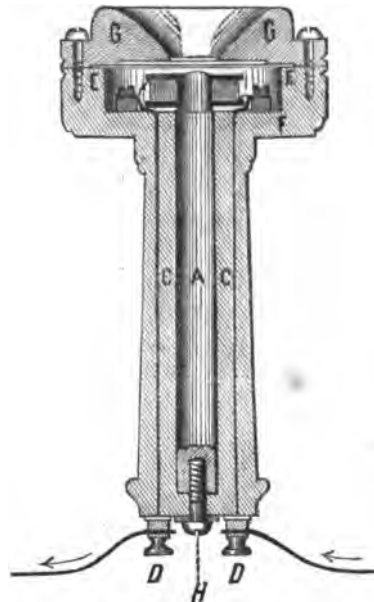


Fig. 39. Bell's Telephon (Durchschnitt).

Doch wir müssen noch andere Zweige der Elektrizitätslehre und ihrer Anwendungen überschauen. Die Kenntnis von der bei Temperatur-Veränderungen vor sich gehenden Elektrizitäts-Entwicklung schlecht leitender

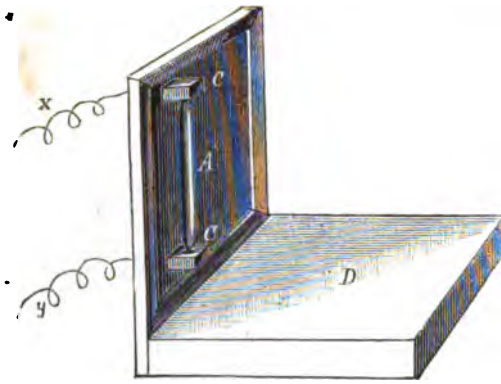


Fig. 40. Hughest's Mikrophon.

Kristalle, welche man im vorigen Jahrhundert zunächst am Turmalin beobachtet und festgestellt, wurde zu Ende vorigen Jahrhunderts durch Haüy, in unserem durch Brewster, G. Rose u. A., vornehmlich aber durch Prof. W. G. Hankel in Leipzig (geb. 1814) gefördert. Mit der Vervollkommnung der Elektrifizier-Maschinen hatten sich nach den früher (S. 17)

Genannten Riemayer in Wien, Lichtenberg, Nairne, Priestley beschäftigt, Planta hatte zuerst an Stelle der Glaszylinder Scheiben verwendet, ihm waren darin van Marum, Ramsden und Winter gefolgt, letzterer

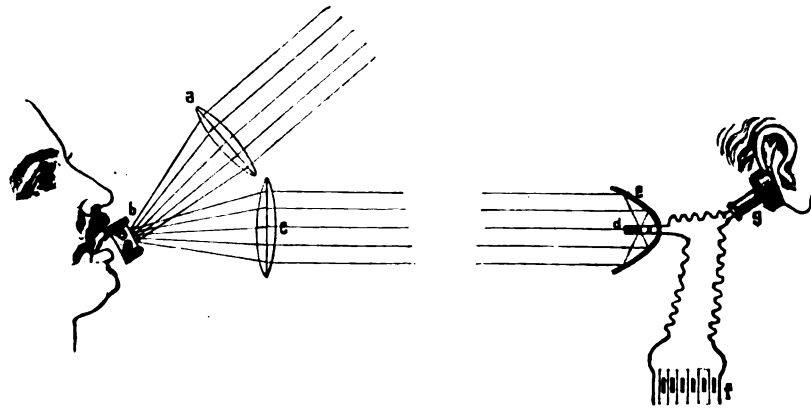


Fig. 41. Bell's Photophon (Schema).

brachte einen ringförmigen Konduktor an; allein diese Reibungs-Elektrifiziermaschinen werden in ihrer Wirkung, in der Kraft ihrer Funken-Entladungen übertroffen einerseits durch die von dem Mechaniker W. G. Armstrong im Jahre 1840 gebaute Dampf-Elektrifiziermaschine (Fig. 42), bei welcher sich die Elektrizität durch die Reibung der von Dampf mitgerissenen Wasser-



Fig. 42. Armstrong's Dampf-Generatormaschine.

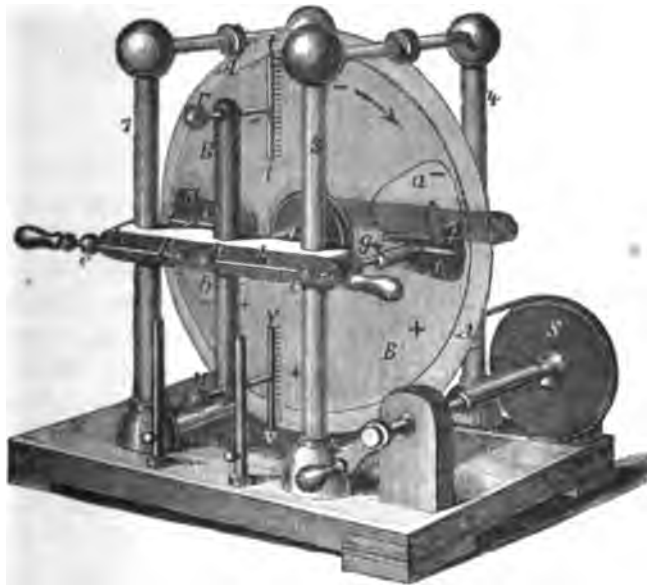


Fig. 43. Faraday's Inductionmaschine.

teilchen an den Wänden des Ausströmungsröhres erzeugt, und anderseits durch die sogenannten Influenzmaschinen (Fig. 43), welche 1865 Töpler in Dorpat (später in Dresden) und ebenfalls 1865 bezw. 1867 A. W. Holz

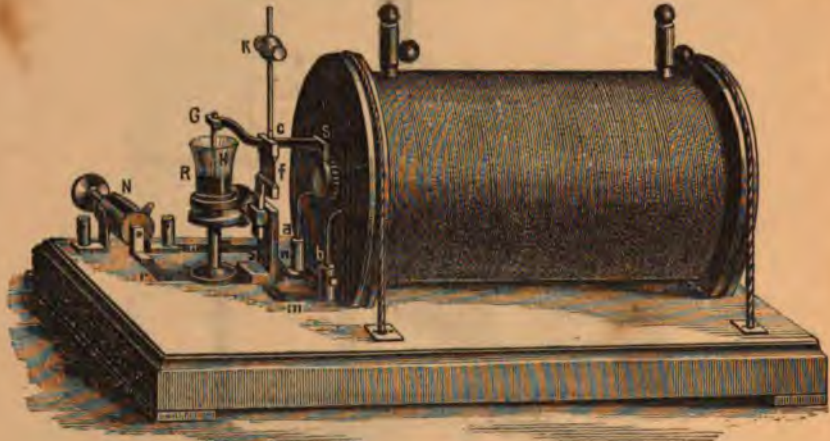


Fig. 44. Ruhmkorff's Funken-Induktor.

erfunden; auch mit Hilfe des von dem Mechaniker H. D. Ruhmkorff in Paris (geb. 1803 in Hannover) 1851 erfundenen Funken-Induktors (Fig. 44)

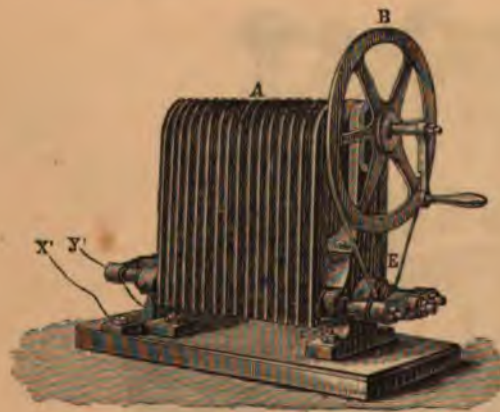


Fig. 45.

Kleine Siemens'sche magneto-elektr. Maschine mit Cylinder-Induktor.

lassen sich außerordentliche Wirkungen erzielen. Es würde viel zu weit führen, wollten wir hier, ohne gleichzeitige Erläuterung der betreffenden Erfindungen, Neuerungen und Verbesserungen, den Entwicklungsgang der auf die Induktions-Erscheinungen gegründeten (magneto-elektrischen) Maschinen von Faraday, dal Negro und Pixii (1832), Riessie und Saxton (1833) an verfolgen und die Einrichtung der Maschinen Page's (1839 ff.), Stöhrer's (1844), Rollet's (1849) und Stephard's (1856), die Erfindungen und Verbesserungen Ernst Werner Siemens' (1857 ff.; Fig. 45), Antonio Pacinotti's (1860), Wilde's

(1866), die Einführung des von W. Siemens 1866 aufgefundenen sogenannten dynamo-elektrischen Prinzips und die Konstruktion der dynamo-elektrischen Maschinen von Gramme (1871) und v. Hefner-Alteneck (1872) besprechen — dies muß späteren Kapiteln vorbehalten bleiben; eins aber sei jetzt schon betont: die hohe Bedeutung dieser Maschinen im praktischen Leben, denn sie leihen uns ihre Dienste zum Betrieb elektrischer Eisenbahnen und gewerblicher Einrichtungen, zur Herstellung der elektrischen Beleuchtung und bei galvanoplastischen Arbeiten, und vielfach schon sind sie an die Stelle der galvanischen Batterien getreten. Die Aufgabe der elektrischen Kraftübertragung wurde durch sie gelöst, bereits 1879 richteten Siemens und Halske auf der Gewerbe-Ausstellung zu Berlin eine elek-

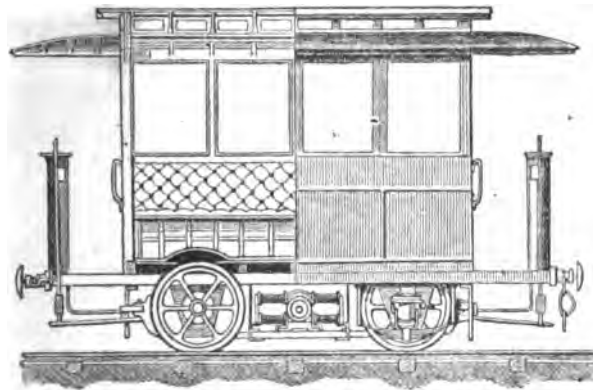


Fig. 46. Elektrische Eisenbahn.

trische Eisenbahn im Kleinen ein und 1871 folgte die den Anhalter Bahnhof in Lichterfelde mit der dortigen Kadetten-Anstalt verbindende Bahn von 2,5 km Länge (Fig. 46); Versuche, mit Elektrizität Schiffe zu treiben, gewerbliche Maschinen in Thätigkeit zu setzen und zu erhalten, Wasser zu heben u. a., sind ebenfalls schon gemacht worden, kurz, es läßt sich der Wert und die Vielseitigkeit der neugewonnenen Kraft noch gar nicht überschauen, jedes Jahr zeitigt neue Früchte.

Der Gedanke, Licht mit Hilfe der Elektrizität zu erzeugen, ist schon vor fast 50 Jahren aufgetaucht: 1838 machte Tobart in Brüssel den Vorschlag, das Glühen einer Kohle im luftleeren Raum*) praktisch zu verwerten, d. h. als Mittel zu einer elektrischen Beleuchtung, und Molesyns

*) Die Erscheinungen des elektrischen Lichts in luftverdünnten Räumen lassen sich aufs Schönste hervorrufen, wenn man Induktionsfunken mittelst Platindrähten durch mit verdünnten Gasen gefüllte, von dem Bonner Glastechniker Geißler (gest. 1879) im Jahre 1860 erfundene Glasröhren (Geißler'sche Röhren) leitet, da die Gase von den Funken zum Glühen und Leuchten gebracht werden.

Ursache im Klaren zu sein, Volta aber auf Grund der angestellten Versuche die letztere in der Berührung der beiden verschiedenen Metalle, Kupfer und Eisen, fand („Berührungs-Elektrizität“) und später (1794) nachwies, daß bei jeder Berührung zweier Metalle wie überhaupt zweier verschiedenen Elektrizitäts-Leiter eine Elektrizitäts-Erregung stattfindet, indem der eine Körper positive, der andere negative enthalte, bezw. daß die beiden Metalle bei gegenseitiger Berührung entgegengesetzt elektrisch werden: kam Volta zu-

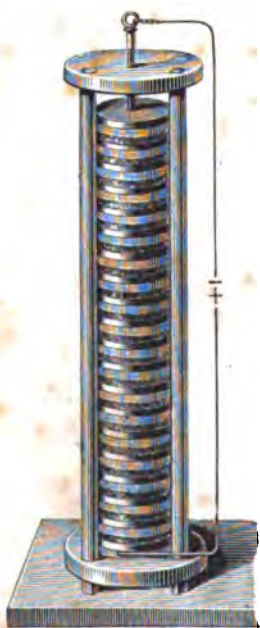


Fig. 31. Volta'sche Säule.

nächst auf die Zusammenstellung der Volta'schen Plattenpaare (Volta'sche, galvanische Elemente) und Ende 1799 vermöge Aufeinanderschichten vieler solcher aus je einer Kupfer- und Zinkplatte bestehenden, durch einen nicht metallischen Leiter (z. B. eine mit Schwefelsäure getränkte Tuchscheibe) getrennten Plattenpaare zu der Erfindung der „Volta'schen Säule“ (Galvanische Batterie oder Kette) — jenes bewundernswerten Apparates, welcher die Elektrizität in Form eines dauernden Stromes erzeugte und so mannigfaltige Verwertung finden sollte (Fig. 31). Kein anderes Forschungs-Ergebnis konnte das 18. Jahrhundert würdiger abschließen als diese Erfindung, welche der Praxis des Lebens wie der Wissenschaft wieder ganz neue Bahnen eröffnete und deren Anwendung und Ausbeutung nun Aufgabe des

19. Jahrhunderts wurde. Bereits im Jahre 1800 konnten Carlisle und William Nicholson in London Humboldt's Ansicht von der Zerlegung des Wassers durch den elektrischen Strom (1795) mit Hilfe des galvanischen

Stromes wirklich nachweisen, gleich darauf, noch in demselben Jahre, zerlegte William Cruickshank (1745—1800) verschiedene Säuren und wässrige Lösungen von Salzen, wobei er schöne krystallinische Niederschläge von Kupfer, Silber, Gold u. — was später zur Erfindung der Galvanoplastik führte — erhielt, ferner Kalkwasser u. a. m. Die schönsten Erfolge auf dem Gebiete der Elektrolyse, wie man diese durch den elektrischen oder galvanischen Strom hervorgerufene Zerlegung von Wasser (Fig. 32) und anderen zusammengesetzten flüssigen Leitern nach Faraday's Vorschlag nennt, erreichte jedoch der Londoner Chemiker Humphry Davy (1778—1829), der Erfinder der Sicherheitslampe (1815), da es ihm gelang, aus Alkalien, alkalischen Erden und Magnesiumsalzen die leichten und z. Th. neue Metalle,

nieur v. Hefner-Alteneck in Berlin 1879 durch Einführung der sogenannten Differentiallampe (Fig. 49) gelang, während schon 1876 die Erfindung der nach ihrem Erfinder Paul Jablotzky benannten elektrischen Kerzen (Fig. 50) als ein schöner Fortschritt begrüßt werden durfte —, vermochte die elektrische Beleuchtung den siegreichen Kampf mit der Gasbeleuchtung aufzunehmen.

Die Wärmewirkung des galvanischen Stromes, zum Entzünden von Pulverminen u., wurde zuerst im Jahre 1812 von Schilling dienstbar gemacht, und daß man auch sehr bald die chemische Wirkung des Stromes wahrnahm und zu benutzen trachtete, geht schon aus der Besprechung der Elektrolyse (S. 20) hervor. Für Kunst und Industrie aber kam der Strom in dieser Weise erst zur vollen Geltung, nachdem der französische Physiker Antoine César Bequerel (1788—1878) im Jahre 1829, abweichend von Volta und Anderen (s. S. 20), das erste sogenannte konstante (beständige) galvanische Element hergestellt hatte, welchem 1836 Daniell's (Fig. 51), 1839 Grove's, 1841 Bunsen's, 1859 Meidinger's, 1867 bezw. 1876 Leclanché's Element oder Batterie u. folgten, die in ihrer Zusammensetzung mehr oder minder von einander abweichen, wie wir später ja sehen werden — denn die zunächst von Bach 1830, dann von Daniell und 1837 von Moritz Hermann Jacobi in Dorpat an einem Kupfer-Zink-Element gemachte Beobachtung, daß das beim Durchgang des elektrischen (galvanischen) Stromes auf der Kupferplatte (am negativen Pol) aus der umgebenden Kupfervitriol-Lösung sich absetzende Kupfer sich leicht ablösen ließ und ein treues Abbild von den etwaigen Unebenheiten jener Platte lieferte, führte den Dorpater Physiker auf den Gedanken, das sich niedererschlagende Kupfer über bestimmte Formen gleichsam wachsen zu lassen, also Medaillen, Kunstgegenstände u. in Kupfer nachzubilden. Dies gelang, und somit wurde Jacobi der Erfinder der Galvanoplastik; im September 1838 machte

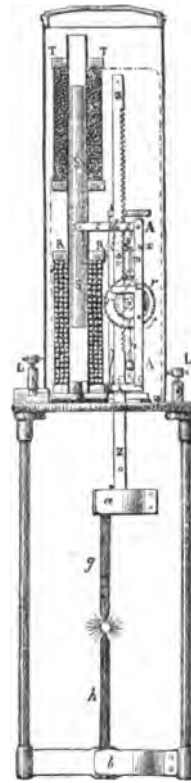


Fig. 49. Hefner-Alteneck's Differentiallampe.

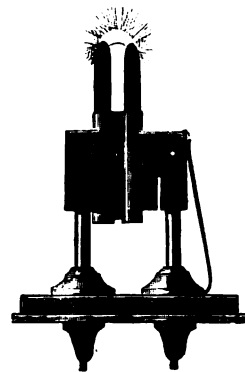


Fig. 50. Jablotzky'sche Kerzen.

Spencer in Liverpool selbständig die gleiche Erfindung; man lernte die galvanische Ver Silberung, Vergoldung, Vernickelung kennen u. s. w. (Fig. 52). — Zum Schluß sei, ohne auf die physiologischen Wirkungen des elektrischen Stromes und seine Verwendung in der ärztlichen Kunst jetzt eingehen zu können, wenigstens noch erwähnt, daß die Lehre von der „tierischen Elektrizität“ seit den 40er Jahren durch die jahrelangen gründlichen Versuche und Forschungen des berühmten Berliner Physiologen Emil du Bois-Reymond eine wissenschaftliche Basis erhalten hat, auf welcher erfolgreich weitergebaut werden konnte.

Wenn wir verhältnismäßig lange bei der Betrachtung der Fortschritte der Elektrizitätslehre und ihrer Anwendungen verweilen, so wird dies angesichts der staunenswerthen Entwicklung dieses jüngeren Zweiges der Wissen-

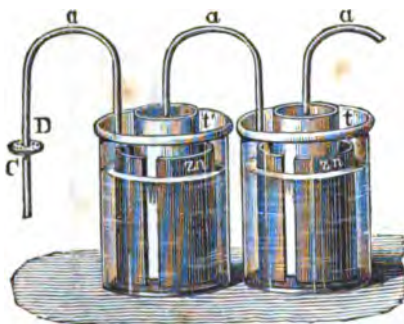


Fig. 51. Daniell's Element.

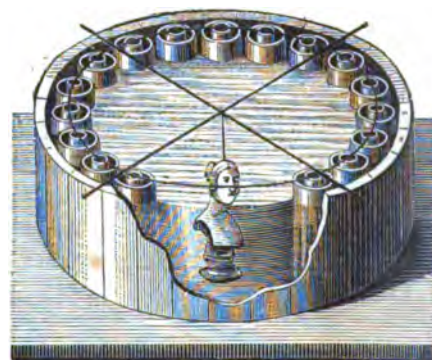


Fig. 52. Galvanoplastischer Apparat.

schaft und Technik durchaus gerechtfertigt erscheinen. Während des besprochenen Zeitraums blieben die anderen Gebiete der Naturlehre jedoch keineswegs unbeachtet liegen, vielmehr schritten auch sie rüstig weiter, und einzelne Teile erfuhren sogar eine völlige Umgestaltung.

Letzteres gilt in erster Linie von der Wärmelehre. Schon Rumford, welcher in Folge gewisser Beobachtungen veranlaßt worden war (1798), den Ursprung der Reibungswärme zu erforschen, kam auf Grund der angestellten Reibungsversuche zu dem Schluß, daß durch die Reibung eine der aufgewendeten Arbeit entsprechende Wärmemenge erzeugt worden sei, und daß demnach die Wärme nicht ein „unwägbarer, in die Körper eindringender und aus ihnen sich wieder abscheidender“ Stoff sein könne — wie man bisher angenommen —, sondern in einer Art Bewegung der kleinsten Körperteilchen (Moleküle) bestehe. Diese neue Anschauung wurde nicht nur durch die zu Beginn unseres Jahrhunderts gemachten Versuche

Humphry Davy's, sondern auch durch spätere, in den 30er und 40er Jahren unternommene Forschungen Forbes', Fizeau's und Foucault's, Knoblauch's, J. R. Mayer's, Joule's bestätigt. Denn dabei zeigte es sich, daß die strahlende (von einem Körper ausgehende) Wärme denselben Gesetzen wie das Licht folgt, daß also die Wärmestrahlen gleich den Lichtstrahlen zurückgeworfen, gebrochen und abgelenkt werden und bei etwaigem Zusammentreffen auf einander einwirken *z.* (Spiegelung, Brechung, Beugung, Interferenz, Polarisation). Somit lag die Folgerung nahe, daß die strahlende Wärme eine wellenförmige Bewegung des Äthers, verursacht durch Schwingungen der Teilchen des erhitzten Körpers, sein müsse. Der Heilbronner Arzt Julius Robert Mayer aber, der Entdecker des Satzes von der Erhaltung der Kraft, wies im Jahre 1842 nach, daß — vergleiche Humford's und Davy's Versuche — zwischen der erzeugten Wärmemenge und der zu ihrer Erzeugung notwendigen Arbeit — und umgekehrt zwischen der verbrauchten Wärme und der geleisteten Arbeit — ein bestimmtes und unabänderliches Verhältnis bestehe; man bezeichnet diesen Satz als „das Prinzip der Äquivalenz der Arbeit und Wärme“ und die Zahl, welche das bestimmte Umsetzungsverhältnis angiebt, als „das mechanische Äquivalent der Wärme“, weil eben, wie *z.* B. bei der Dampfmaschine, die Wärme zur Erzeugung mechanischer Arbeit (Bewegung) benutzt wird. Das erwähnte Umsetzungsverhältnis ermittelte der Engländer J. P. Joule in Salford, als ein Resultat jahrelanger gründlicher Versuche, im Jahre 1849; ein späteres Kapitel wird sich eingehend mit diesem interessanten Gegenstand beschäftigen, nur sei hier noch erwähnt, daß der Satz von der Erhaltung, von der Unzerstörbarkeit der Kraft im Jahre 1847 durch Helmholtz (jetzt Professor in Berlin) den Grundgesetzen der Mechanik gemäß wissenschaftlich begründet und angewendet wurde und nun geradezu die Grundlage einer neuen physikalischen Weltanschauung geworden ist. Nachdem die angeführten Sätze gewonnen, vermochte man die alte „Wärmestoff-Theorie“ zu verwerfen und auf sicherem Grunde eine „mechanische Theorie der Wärme“ aufzubauen; die eifrigste Förderung dieser Arbeit ist dem Physiker Rud. Zul. Em. Clausius, Professor in Bonn, zu danken. Mit Hilfe der neuen Theorie ließen sich nicht nur die bekannten Erscheinungen unter einem einheitlichen Gesichtspunkt zusammenfassen, sondern auch viele der noch nicht verstandenen Vorgänge erklären, und ebenso gab sie für die Technik (*z.* B. bezüglich der Arbeitsleistung der Dampfmaschinen) manch' beachtenswerten Fingerzeig. Ganz besonders aber entwickelte sich auf Grund der Wärmemechanik die Lehre von den Gasen, sodaß es unter Anderem 1877 den Physikern Raoul Pictet in Genf und Cailletet in Paris fast gleichzeitig glückte, die Luftarten oder Gase Stickstoff, Sauerstoff und Wasserstoff zu Flüssigkeiten

zu verdichten. Von Erfindungen verzeichnen wir noch die des Radiometers (Strahlungsmesser, Lichtmühle; Fig. 53) von Crookes (1874), durch welchen eine eigenartige mechanische Wirkung der Wärme, eine Bewegung infolge der Wärmestrahlung, veranschaulicht wird. Schließlich sei noch daran erinnert, daß auch die Erbauung des ersten Dampfschiffes und der ersten Lokomotive in unser Jahrhundert fällt; ersteres geschah 1803 durch den Amerikaner Robert Fulton, letzteres 1814 durch George Stephenson auf den Kohlenwerken bei Darlington in England (Fig. 54).



Fig. 53. Radiometer.

Auch in der Lehre vom Licht (Optik) brachen sich neue Anschauungen Bahn, auch sie hat weittragende Entdeckungen und Erfindungen aufzuweisen. Bereits bei Besprechung früherer Zeitabschnitte hatten wir Gelegenheit, einen Blick auf die bezüglich der Natur des Lichts bestehenden Ansichten und Theorien zu werfen. Die alte, von Newton in seinem schönen Werke „Optics“ (1704) entwickelte Stoff-, Emanations- oder Emissions-Theorie, welche das Licht als einen feinen unwägbaren, von dem leuch-

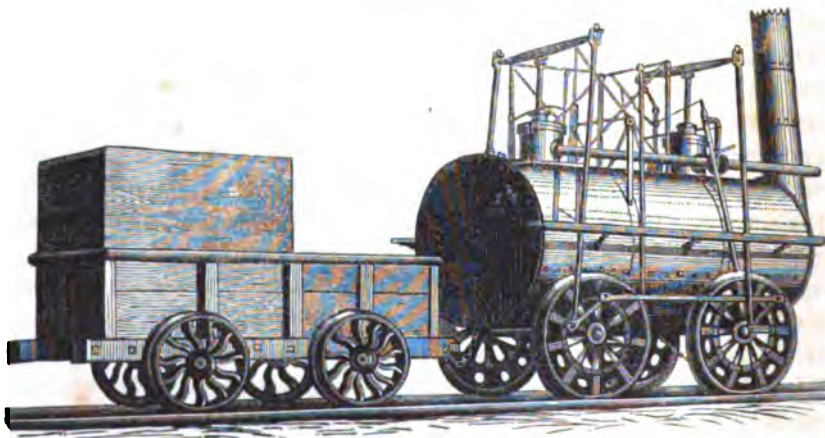


Fig. 54. Stephenson's erste Lokomotive.

tenden Körper ausströmenden Stoff, dessen Teilchen sich gegenseitig abstoßen, ansah, konnte sich trotz der von Huyghens begründeten Wellen- oder Undulations-Theorie — der zufolge das Licht eine Wellenbewegung, hervorgerufen durch die Schwingungen der kleinsten Teilchen (Moleküle) eines alle

Körper durchdringenden unwägbareren Stoffes (Äther), ist — bis in den Anfang unseres Jahrhunderts halten. Nun jedoch wurde der Kampf gegen dieselbe mit Eifer und schönstem Erfolg aufgenommen und bald beendet. Waren schon Robert Hooke in London (1635—1703) und Leonhard Euler in Petersburg bezw. Berlin (1707—1783) für Huyghens' Lehre eingetreten, so wurde nun, nachdem Thomas Young in London (1773 bis 1829) zu Beginn unseres Jahrhunderts die Bewegung des Äthers als Querschwingungen erkannt, Etienne Louis Malus in Paris (1775—1812) im Jahre 1808 die Polarisation bei Zurückwerfung des Lichts entdeckt und der gelehrte französische Ingenieur und Baumeister Augustin Fresnel (1788—1827) die letztere Erscheinung unter Anwendung der Young'schen Ansicht erklärt — die alte Lichtstoff-Theorie als unhaltbar erkannt und die Wellenlehre auf wissenschaftlicher Grundlage auf- und ausgebaut. Das wesentlichste Verdienst daran hat Fresnel, welcher durch seine weiteren, gemeinschaftlich mit François Arago (1786—1853) ausgeführten Versuche und Arbeiten zeigte, daß sich alle (damals beobachteten) Erscheinungen des Lichts aus ihr ableiten, durch sie erklären ließen. Die mathematische Begründung aber erhielt die neue Lehre durch einen dritten Pariser Gelehrten, Aug. Louis Cauchy (1789—1857), und diesen schloß sich, als vierter, Leon Foucault (1819—1868) an, welcher — indem er durch Versuche 1854 zeigte, daß sich das Licht im Wasser mit geringerer Geschwindigkeit fortbewegt, als in der Luft — die Folgerung der alten Lichtstoff-Theorie als direkt falsch hinzustellen, dagegen die Annahme der Wellenlehre als eine richtige nachzuweisen vermochte und somit endgiltig zu Gunsten der letzteren entschied. Angefügt sei hier gleich, daß zufolge des Umstandes, daß sich durch die reine, nur auf die Bewegungen des Äthers sich stützende Wellenlehre gewisse neuere Erscheinungen nicht genau erklären lassen, in jüngster Zeit eine neue, auf die Wechselwirkung zwischen Äther und Körperteilchen gegründete Lichttheorie angebahnt worden ist.

Werfen wir noch einen Blick auf die dem Gebiete der Optik angehörigen Erfindungen und Entdeckungen zurück! Im Jahre 1802 hatte William Hyde Wollaston in London (1766—1828) im Spektrum (Farbenbild) der Sonne verschiedene dunkle Linien wahrgenommen, der Optiker Joseph Fraunhofer in München (1787—1826) untersuchte sie 1814 genauer, maß und bezeichnete sie, weshalb sie den Namen „Fraunhofer'sche Linien“ führen, aber erst Gustav Robert Kirchhoff in Heidelberg (jetzt in Berlin), mit Bunsen der Entdecker der Spektral-Analyse, konnte 1863 durch Benutzung vollkommener Spektral-Apparate (Fig. 55) eine große Zahl solcher dunklen Linien nachweisen, sie studieren und nach ihrer gegenseitigen Lage im Spektrum genau verzeichnen. Überhaupt begann mit

Entdeckung der Spektral-Analyse (1860) eine neue Periode in der Entwicklung der Lehre vom Licht. Man lernte nicht bloß das Spektrum der Sonne und das anderer fester, sowie das glühender, flüssiger und luftförmiger Körper und die Bedeutung der dunklen und hellen Linien kennen, sondern man war nun auch, mit Hilfe der durch Forschung und Vergleichung gewonnenen Ergebnisse, im Stande, die chemische oder stoffliche Zusammensetzung eines Körpers nachzuweisen und über den chemischen und physikalischen Zustand der Sonne und sonstiger fernen Welten Aufschluß zu erhalten. So wurde der zu diesen Zwecken seine Dienste leistende Apparat,

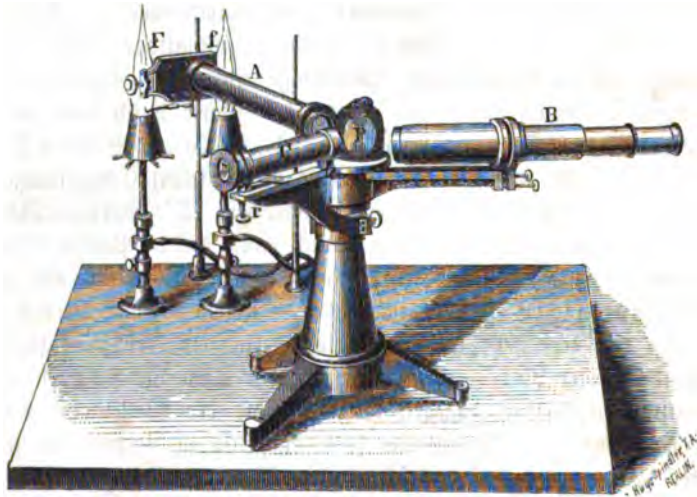


Fig. 55. Bunsen's Spectroskop.

das Spektroskop, ein Werkzeug von höchster Wichtigkeit einerseits für den Chemiker, das ihm sogar die Entdeckung einer Anzahl neuer Elemente oder Grundstoffe — Cäsium und Rubidium (durch Kirchhoff und Bunsen 1860 und 1861), Thallium (durch Crookes und Lamy 1861), Indium (durch Reich und Richter 1863) u. — möglich machte, und anderseits für den Physiker und Astronomen, da es ihn in den Stand setzte, das Wesen der Farben und in ungeahnter Weise die Beschaffenheit und Zustände der im weiten Himmelsraum schwebenden Sterne (Fixsterne, Kometen, auch Nebelflecke) zu ergründen. In letzterer Beziehung sind namentlich die Forschungen Angström's in Upsala und Stockholm, Huggins' in London, Lockyer's in Cambridge, Janssen's in Paris, Secchi's in Rom, Zollner's in Leipzig u. A. grundlegend für einen neuen Wissenszweig, die Astrophysik, geworden.

Die chemische Wirkung des Lichts wurde in der Photographie, welche auf der Zersetzung der Silbersalze durch das Licht beruht, nutzbar gemacht. Bereits um den Anfang unseres Jahrhunderts hatten Wedgwood und H. Davy „Sonnenbilder“ dargestellt, d. h. Bilder von flachen

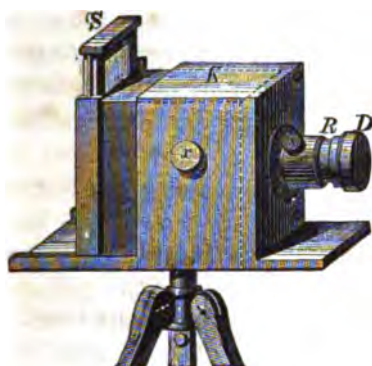


Fig. 56. Daguerre'scher Apparat.

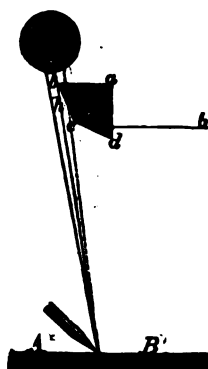


Fig. 57. Camera lucida.

Gegenständen, welche unmittelbar auf Chlor Silberpapier gelegt wurden; später erfindet der Franzose Niepce (1765—1833) die sogenannte Heliographie, indem er eine mit Asphalt überzogene Platte in der Camera obscura belichtete und deren Bild auf der Asphaltschicht fixierte; erst sein Landsmann Daguerre (1787—1851) stellte die Lichtbilder auf versilberten und jodierten Kupferplatten her, welches Verfahren man Daguerrotypie (Fig. 56) genannt hat, und 1842 machte Fox Talbot in London sein Verfahren bekannt: Lichtbilder auf Jod Silberpapier, welche vervielfältigt werden konnten, herzustellen (Talbotypie); 1851 endlich wurde das Kollodium eingeführt und durch dieses das Talbot'sche Papiernegativ ersetzt; damit war die eigentliche Photographie geschaffen. — Von sonstigen Erfindungen wollen wir noch die der Camera lucida (Fig. 57), d. i. eine Vorrichtung zum Abzeichnen von Gegenständen nach der Natur, zum schnellen Entwerfen von Panoramen u. durch Wollaston (1809) und die des Stereoskops (Fig. 58) von Wheatstone (1838), welches 1850 durch den Schotten David Brewster (1781—1868) die bekannte Form erhielt, vermerken.

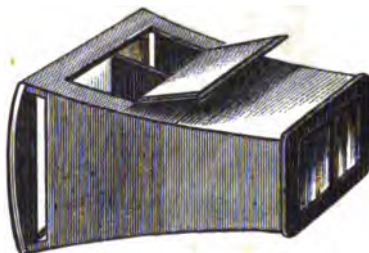


Fig. 58. Stereoskop.

Auf dem Gebiete der Akustik oder der Lehre vom Schall waren es wiederum die Untersuchungen von Helmholtz, welche einen neuen Zeitabschnitt herbeiführten; denn seine „Lehre von den Tonempfindungen“ (1862), die Begründung des Wesens der „Klangfarbe“ — worin er auf das Bestimmteste nachwies, daß die musikalischen Klänge (Töne) nicht aus je einem Ton bestehen, sondern aus einer Reihe einfacher Töne, nämlich einem „Grundton“ und den dazu gehörigen „Obertönen“, zusammengesetzt sind, und daß durch die verschiedene Zahl und Wirkung der Obertöne die zahlreichen Schattierungen der Klangfarbe, bezw. der eigentümliche Cha-

arakter der Töne oder der Klang jedes Instruments bedingt ist — hatte eine völlige Umgestaltung der bis dahin geltenden Anschauungen zur Folge. Als in einen früheren Zeitabschnitt gehörend, mag noch erwähnt sein, daß Arago im Juni 1822 bei Paris und Moll und van Beek 1823 in der Nähe von Utrecht Versuche über die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit des Schalles machten; Moll und van Beek stellten diese, bei einer Temperatur von



Fig. 59. Phonograph.

0 Grad, mit 332 m (1022,5 Pariser Fuß) für die Sekunde fest. Die neueste und interessanteste Erfindung auf unserem Gebiete aber ist die des Phonograph, Stimm- oder Tonschreiber (Fig. 59), durch Edison 1878, eine Vorrichtung, welche die ihr durch einen Schalltrichter zugeführten Worte auf ein Stanniolblatt aufzeichnet und nach beliebiger Zeit in denselben Lauten, wenn auch nicht mit dem gleichen Klange, deutlich wiedergiebt.

Die mechanische Physik schließlich, deren Feld wir schon auf Seite 33 streiften, hatte gleichfalls manche hübschen Erfolge aufzuweisen. Leon Foucault in Paris vermochte im Jahre 1851 durch seinen bekannten Pendel-Versuch (Fig. 60) einen neuen Beleg für die tägliche Umdrehung der Erde um ihre Achse zu liefern; das 1847 von dem Italiener Bidi erfundene

Aneroid-Barometer (Fig. 61), in welchem an Stelle des Quecksilbers die federnde Vorderwand einer luftleer gemachten und aus dünnem Metallblech gefertigten Metalldose der Einwirkung des Luftdruckes unterworfen ist und ihre kleinen Veränderungen (Einbiegungen) auf einen Zeiger überträgt, wurde 1853 durch Bourdon (Metall-Barometer und -Manometer; Fig. 62), 1864 durch Maudet und 1866 durch Becker und Goldschmid abgeändert und vervollkommenet und leistet jetzt bei barometrischen Höhenmessungen, namentlich aber als Taschenbarometer den Forschungsreisenden die trefflichsten Dienste; und die im 17. Jahrhundert schon benutzte Quecksilber-Luftpumpe wurde 1859 durch den Franzosen Gairaud und dann besonders durch Geißler in Bonn so verbessert (Fig. 63), daß man mit ihr einen weit höheren Grad der Luftverdünnung erzielen kann, als mit den Kolbenluftpumpen.

Damit schließen wir diesen Rück- und Ueberblick. Es war uns ja vorerst nur darum zu thun, ein Bild zu gewinnen von der Entwicklung der Naturlehre, ihren Fortschritten, ihren Anwendungen; die einzelnen Punkte und Gegenstände aber werden in den betreffenden Abschnitten der Physik eingehend zur Besprechung gelangen. —

Die Frage, welchen Rang die Naturlehre unter den Naturwissenschaften einnimmt, wurde schon im Eingang beantwortet. Aufgabe der Physik ist es, die Gesetze zu erforschen, nach denen die Natur-Erscheinungen, bezw. der Zusammenhang, die Bewegung, die Anziehung und Abstoßung, das Gleichgewicht u. der Naturkörper und Stoffe erfolgen, ohne daß eine lebendige Willenskraft auf sie ausgeübt werde. Die Körper also, mit denen sich die Physik beschäftigt, sind nicht lebende, sondern tote; die Eigen-

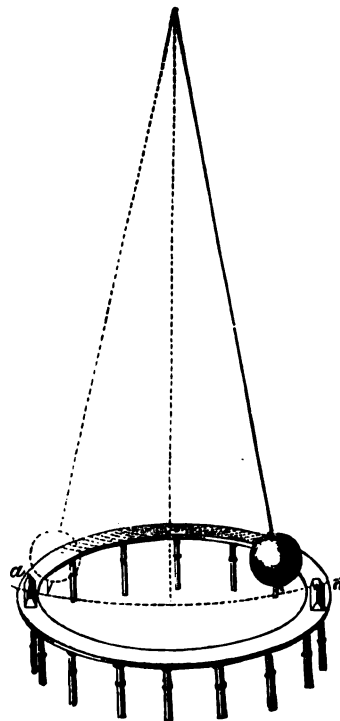


Fig. 60. Foucault's Pendel.



Fig. 61. Aneroid-Barometer.

schaften, welche sie untersucht, sind nicht von dem lebendigen Willen des Dinges, dem sie anhaften, abhängig, sondern es sind Eigenschaften und Kräfte, welche von ewigen Gesetzen abhängig in der Natur vorhanden sind und durch irgend einen Wunsch oder ein Wollen nicht verändert werden können. Diese Eigenschaften der Naturkörper, diese Kräfte der Natur zeigen sich uns in den sog. Natur-Erscheinungen — mit anderen Worten: alle Erscheinungen, welche wir durch unsere Sinne in der Natur wahrnehmen, liefern uns den Beweis, daß sowohl zwischen den verschiedenen Körpern, als auch zwischen den einzelnen Teilchen jeden Körpers eine gegenseitige Einwirkung stattfindet, welche in den „Naturkräften“ begründet liegt;



Fig. 62. Metallmanometer.

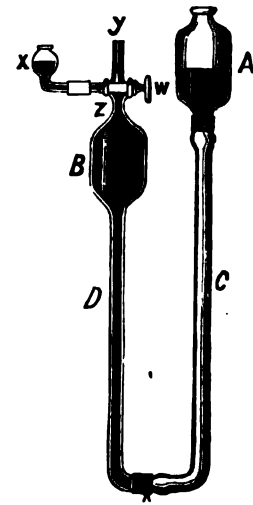


Fig. 63. Weisler'sche Quecksilber-Luftpumpe

die letzteren haben wir somit als die unsichtbaren Ursachen der Wechselwirkung zu betrachten. Ehe wir weiter darauf eingehen, sei ein Blick auf die Körper selbst geworfen.

Naturkörper, Moleküle, Atome. Was ein Körper sei, weiß wohl ziemlich ein Jeder, oder er glaubt es wenigstens zu wissen. Erde, Metalle, Wasser, Luft sind Körper. Der Mathematiker hat aber auch mit Körpern zu thun, allein in anderem Sinne als der Naturforscher. Dem Mathematiker, dem Vertreter der „Größenlehre“, kommt es nur auf die Raumverhältnisse, auf die Maße der Körper an, er fragt nicht nach dem Stoff, nach der Masse, welche den Raum füllt, d. h. den Körper ausmacht, er fragt auch nicht nach der Beschaffenheit, den Eigenschaften des Stoffes; ihm ist es gleich, ob der Würfel oder sonstige Körper, dessen Größenver-

hältnisse er berechnet, ein fester, dichter (kompakter) ist oder ob er ein hohler ist und nur Wasser oder Luft enthält. Der Naturforscher jedoch fragt gerade nach dem Stoff, welcher den Körper bildet bezw. ihn erfüllt, und diesen Stoff, mag derselbe einen kleinen oder einen weiten Raum erfüllen, bezeichnet man auch als „Materie“. Den Mathematiker beschäftigen die Formen, die Raum- oder Größenverhältnisse der Körper, den Naturforscher der den Raum füllende Stoff, die Eigenschaften und Erscheinungen der Körper; jener mißt und berechnet, dieser beobachtet und untersucht, oft aber muß der Mathematiker dem Physiker die Hand zur Hilfeleistung reichen.

Fragen wir nun, was ein Naturkörper sei? so wird die Antwort kurz lauten dürfen: ein Naturkörper ist ein mit Stoff (Materie) erfüllter Raum, und die Menge des Stoffes, aus welcher er besteht, nennt man die Masse des Körpers. Es braucht, Jedermann hat dies ja stets vor Augen, kaum noch hervorgehoben zu werden, wie verschieden groß und umfangreich die Naturkörper sind; die Naturlehre betrachtet mit demselben Recht den gewaltigen Metallklumpen als einen Naturkörper, wie den Wassertropfen; beide Dinge haben, so sehr bedeutend auch sie nach der Größe und Masse, nach Art und Beschaffenheit des sie bildenden Stoffes von einander abweichen, doch viel Gemeinsames, beide zeigen gewisse gleiche Eigenschaften und Erscheinungen, beide stehen unter der Herrschaft der Naturkräfte und Naturgesetze und folgen diesen; beide besitzen die Eigenschaften des Beharrungsvermögens, der Teilbarkeit und Porosität u. a., beide üben eine Anziehungskraft auf andere Körper aus, umgekehrt wirkt die Anziehung anderer Körper auf sie ein, das Gesetz der Schwere macht sich bei beiden geltend. Trotzdem lassen sich an jedem wieder besondere Erscheinungen beobachten; dies ergibt schon die verschiedene Beschaffenheit beider Körper: den einen nennen wir fest, den anderen flüchtig.

Vor auf gründen wir einen solchen Unterschied? Der Metallklumpen, den wir vor uns haben, läßt sich nur unter Anwendung erheblicher Kraft in Stücke zerschlagen. Dies rührt daher, daß die einzelnen kleinen Teile dieses Körpers große Zusammenhängskraft besitzen, und eben weil dies der Fall ist, weil die einzelnen Teilchen dauernd in derselben Lage zu einander verharren, so ist derartigen Körpern eine selbständige Gestalt oder Form eigen; der Metallklumpen z. B. behält seine eckige Form bei, mag ich ihn auf die Erde legen oder in einen Kasten packen. Anders mit dem Wasser, dem Quecksilber oder einer sonstigen Flüssigkeit. Eine Menge Wasser, welche etwa denselben Raum beansprucht wie jener Metallklumpen, nimmt, sobald ich sie in eine Tonne schütte, die Form dieser an, ändert aber die Gestalt sogleich, wenn ich sie in einen viereckigen Kasten gieße; das macht,

ihre Theilchen hängen nicht fest zusammen, schon die kleinste Kraft reicht hin, sie zu trennen. Solche Körper, welche stets die Form des sie umgebenden Gegenstandes annehmen und nur einen geringen Zusammenhang ihrer Theile zeigen, nennt man flüssige; feste Körper dagegen zeichnen sich durch selbständige Form und durch zähen Zusammenhang ihrer Theile aus. Die luftförmigen Körper endlich haben mit den flüssigen den Mangel einer selbständigen Form und die leichte Verschiebbarkeit oder den geringen Zusammenhang ihrer Theile gemein, sie besitzen aber auch keinen bestimmten Rauminhalt mehr; während ein Liter Wasser in einer drei Liter Wasser haltenden Flasche bloß den dritten Theil des Raumes beansprucht, erfüllt eine gleichgroße Portion Gas den ganzen Raum, in welchen sie gebracht wird, was eben nur dadurch möglich ist, daß die Theilchen des Gases sich weit von einander entfernen, der Stoff dehnt sich aus, er verdünnt sich.

Auf mechanischem Wege, durch Stampfen, Stoßen oder eine andere Thätigkeit, läßt sich jeder feste Körper in undenkbar viel kleinste Theilchen zerlegen, welche aus demselben Stoff bestehen, wie der ganze Körper. Aber diese Teilbarkeit hat ihre Grenzen, wenigstens hört sie für unsere (mechanische) Thätigkeit auf, sobald die Theile so klein, so winzig geworden, daß sie sich unserer sinnlichen Wahrnehmung entziehen. Man nennt die Theilchen eines Körpers, welche auf mechanischem Wege nicht weiter teilbar sind, Moleküle. Allein diese Theilchen brauchen noch nicht die einfachsten zu sein, noch können sie aus mehreren Stoffen bestehen, entsprechend dem Körper, welchen sie vorher bildeten. Kupferglanz oder Schwefelkupfer z. B. setzt sich zusammen aus Kupfer und Schwefel. Die Theilchen, in welche man ein Stück desselben zerpocht, bestehen, so winzig sie sein mögen, immer noch aus denselben Stoffen, sie sind demnach noch nicht die einfachsten. Solche schafft erst die Chemie: durch Erhitzen u. wird der Kupferglanz in seine Grundstoffe Kupfer und Schwefel zerlegt, und die kleinsten Theilchen Kupfer oder Schwefel sind wirklich die kleinsten und einfachsten. Die Theilchen eines Körpers also, welche weder auf mechanischem noch auf chemischem Wege noch weiter zerlegt werden können (da sie unserer sinnlichen Wahrnehmung entrückt sind), bezeichnet man als Atome; sie müssen als die kleinsten Theilchen des Stoffes, der Materie gelten, sie bilden die Moleküle, und durch Anlagerung derselben an einander, wobei sie unmerkbar kleine leere Räume zwischen sich lassen, entstehen die Körper^{*)}. Dies ist nicht nur bei den festen, sondern auch bei den flüssigen und luftförmigen Körpern bezw. Stoffen der Fall. Wenden wir nun die eben gewonnenen Aufschlüsse zur Beantwortung der Frage an, was ein fester, ein flüssiger oder ein luft-

^{*)} Einen schönen Beweis dafür haben wir in der Galvanoplastik, welche uns später beschäftigen wird.

förmiger Körper sei, so erhalten wir folgende Sätze, die sich selbstverständlich mit den bereits gegebenen Erklärungen decken:

Feste Körper sind solche, deren Moleküle sich nicht allein in einer bestimmten Entfernung von einander, sondern auch in einer bestimmten Lage zu einander befinden — flüssige solche, deren Moleküle zwar auch in bestimmter Entfernung von einander liegen, sich aber gegen einander leicht verschieben — gas- oder luftförmige endlich solche, bei denen sowohl die Entfernung der Moleküle von einander, wie auch die gegenseitige Lage derselben sehr veränderlich ist. Noch sei auf die bekannte Thatsache hingewiesen, daß die meisten Körper aus dem einen Zustand in einen anderen übergeführt werden können, namentlich durch Einwirkung der Wärme bezw. Kälte: Metalle werden flüssig, Wasser verdunstet und bildet Luftbläschen, die Luftarten Stickstoff, Sauerstoff und Wasserstoff vermag man zu verdichten zu flüssigen Körpern u. s. w.; von manchen Stoffen kennt man den festen, den flüssigen und den luftförmigen Zustand, z. B. vom Wasser (Eis, Wasser, Dampf). Die drei Zustände führen den Namen **Aggregat-Zustände**.

Aus dem Besprochenen geht weiter hervor, daß die Moleküle vieler, ja der meisten Körper aus verschiedenartigen Atomen bestehen, trotzdem sie gleichartig zu sein scheinen. Wie die Moleküle des Schwefelkupfers aus Kupfer-Atomen und Schwefel-Atomen gebildet werden, so die des Wassers aus Sauerstoff- und Wasserstoff-Atomen, die der atmosphärischen Luft aus Sauerstoff- und Stickstoff-Atomen. Dagegen bestehen die Moleküle des Kupfers, des Schwefels, des Sauer-, Wasser- und Stickstoffs allein nur aus Kupfer- bezw. Schwefel-, Sauerstoff-, Wasserstoff- oder Stickstoff-Atomen, mithin aus gleichartigen Atomen. Die Körper, deren Moleküle aus ungleichartigen Atomen zusammengesetzt sind, nennt man **chemisch zusammengesetzte** (Schwefelkupfer, Wasser, Luft u.); diejenigen jedoch, deren Moleküle aus gleichartigen Atomen bestehen und sich deshalb auch mit Hilfe der Chemie nicht in andere Bestandteile zerlegen lassen, einfache Körper, **Grundstoffe oder Elemente** (z. B. Kupfer, Schwefel, Sauer-, Wasser- und Stickstoff). Aus Elementen, deren man bis jetzt 64 aufgefunden, baut sich der ganze Weltkörper auf.

Naturkräfte und Natur-Erscheinungen. Die „atomistische Molekular-Theorie“ erscheint, wenigstens soweit sie im Vorstehenden berührt wurde, sehr einfach, ja als selbstverständlich, allein gehen wir ihren weiteren Folgerungen nach — es bleibt zuletzt ein Unbegreifliches, ein Etwas, das dem menschlichen Geist noch nicht zu ergründen möglich war, das ihn aber von dem Streben nicht abhalten wird, immer weiter auf dem Wege der Forschung vorzubringen. Es wurde schon früher gesagt, daß die von uns in

der Natur wahrgenommenen Erscheinungen den Beweis von einer sowohl zwischen den verschiedenen Körpern, als auch zwischen den einzelnen Theilchen jeden Körpers stattfindenden Wechselwirkung liefern, und daß wir die unsichtbaren Ursachen dieser gegenseitigen Einwirkung Kräfte nennen. Wir nehmen an, daß gewisse Kräfte vorhanden sind, welche in die Ferne wirken — so die Schwerkraft, welche den Fall der Körper bezw. ihre Annäherung an den Mittelpunkt der Erde herbeiführt, ferner die elektrischen und magnetischen Anziehungs- und Abstoßungskräfte —, und solche, deren Wirkung sich nur auf unmeßbar kleine Entfernungen oder auf die unmittelbar sich berührenden Körperteilchen (Moleküle resp. Atome) erstreckt; die letzteren nennt man Molekularkräfte. Man nimmt hinsichtlich dieser Kräfte also an, daß mit ihnen die Atome ausgerüstet sind, d. h. daß sie ihren Sitz in diesen haben, und ferner, daß sie zweierlei Art sind. Erstens üben die Körperteilchen, wie wir schon oben gesehen haben, eine Anziehung auf einander aus; diese Anziehungs- oder Kohäsionskraft wirkt, bei den einen Körpern (festen) mehr als bei anderen (flüssigen), einer etwaigen Trennung der Moleküle oder Atome entgegen. Allein wenn nur Anziehungskräfte vorhanden wären — die Kohäsion und die allgemeine Anziehung (Schwerkraft u.) —, so würde die Welt nicht bestehen können, denn alle Körper und Stoffe würden sich gegenseitig anziehen, die gesamte Materie würde zu einer einzigen Masse zusammenballen, und um dies zu verhüten, besitzen die Atome gleichzeitig — so nimmt man weiter an — eine Abstoßungs- oder Expansionskraft, welche nur eine gewisse Annäherung der Körperteilchen, eine gewisse Zusammendrückbarkeit (Kompression) fester oder flüssiger Körper zuläßt und das Bestreben der luftförmigen Körper, sich möglichst auszudehnen, bedingt.

Doch wie gesagt, dies sind vorläufig nur Annahmen oder Hypothesen, mit deren Hilfe sich allerdings eine große Anzahl verschiedener und eigenartiger, räthelhafter Erscheinungen erklären läßt. Das Schwierige liegt darin, daß die von uns angenommenen Kräfte nicht sichtbar, überhaupt nicht sinnlich wahrnehmbar sind; ihre Wirkungen, die durch sie verursachten Erscheinungen gehen vor unseren Augen vor sich, wir verfolgen sie mit unseren Sinnen, und die Kräfte selbst sind uns noch Geheimnis; wir vermögen durch die Annahme eines Vorhandenseins derselben die Natur-Erscheinungen zu erklären, zu enträtheln, und das Wesen der Kräfte selbst ist uns noch unbekannt; wir kennen den äußeren Zusammenhang der Dinge oder können ihn erforschen, der innere aber bleibt uns wenigstens vorläufig noch verschlossen. Hier sind für uns Staubgeborene „die Grenzen des Naturerkennens“, und keine sophistische Deutelei, keine wichtigthuende, gewöhnlich aber nur leere Phrasen zu Tage fördernde Klügelei — wie unter

Anderem der krasse Materialismus gewisser, als „Forscher“ gelten wollender Männer unserer Zeit — wird dieselben beseitigen. Die Grenzen weiter hinaus zu rücken, ist nur der exakten Forschung möglich, die Bahnen sind ihr vorgezeichnet und wir dürfen hoffen, daß in dem Maße, wie unsere Zeit gegen frühere Perioden der Wissenschaft und Erkenntnis vorgeschritten ist, auch kommende Geschlechter die Leuchte der Wissenschaft weiter tragen werden. Nie aber wird die Zeit kommen, daß der Forschung nichts mehr zu ergründen übrig bliebe, daß alles Geheimnisvolle, für jetzt Unbegreifliche enträtselt sei.

Beobachtung und Versuch. In dem Vorhergehenden wurde schon angedeutet, auf welchem Wege die Naturforschung zur Erkenntnis der Erscheinungen, zur Kenntnis der Naturgesetze gelangt. Die beschreibende Naturwissenschaft (Tier-, Pflanzen- und Gesteinskunde) erhält und fördert ihre Kenntnisse vorzugsweise durch Beobachtung der betreffenden Naturgegenstände, sie verfolgt z. B. wie die Pflanzen keimen, wachsen, blühen, Samen bilden, sich vermehren, endlich wieder absterben. Die Physik oder die Lehre von den Natur-Erscheinungen, von den Veränderungen in der leblosen Körperwelt und deren Zuständen (soweit sie nicht die innere stoffliche Natur der Körper betreffen), beobachtet auch in der Natur, aber ihr, welche doch stets nach dem Wie? und Warum? zu fragen hat, genügt dies nur zum kleinen Teil. Sie sieht z. B., wie aus den in der Luft schwebenden Wolken „Regen quillt“ und der letztere auf der Erde sich ansammelt zu kleinen Wässern, welche nach und nach wieder verschwinden, und dies um so rascher, je wärmer die Sonne scheint. Der Beobachter sieht aber auch in der Küche, wie beim Sieden Wasser verdunstet, als Dampf in die Höhe steigt, an der Decke zu Tropfen sich niederschlägt, welche unter Umständen herabfallen, und daß nach andauerndem Sieden das Wasser sichtlich abgenommen hat. Er schließt auf dieselbe Ursache, auf den Zusammenhang der Erscheinungen und vergewissert sich, indem er, vielleicht unter Abänderung des einen oder anderen Umstandes, weitere Versuche anstellt, welche eine Erklärung der Vorgänge ergeben. Ähnlich ist es in nicht gezählten Fällen geschehen, ebenso oder dementsprechend ist das Verfahren des Physikers heut noch und wird es bleiben. Erhält er in der Natur selbst nicht Antwort auf seine Fragen, so befragt er sie auf eine andere Art: er stellt Versuche oder Experimente an und nötigt somit die Körper u., gewisse Erscheinungen zu zeigen; aber dort wie hier beobachtet er streng, um der Erscheinung auf den Grund zu kommen, um mehrere Erscheinungen als gleichartige an einander reihen zu können. Gerade dem Versuch dankt die Physik so schöne Erfolge, so vorzügliche Förderung und Erweiterung ihrer Kenntnisse und Erkenntnisse, da man durch denselben



nicht nur die Art oder Natur der Wirkung einer vorliegenden Ursache zu erkennen und das Maß oder die Kraft der Wirkung festzustellen imstande ist, sondern auch die Natur-Erscheinungen in einer für unsere Zwecke passenden Reihenfolge — ohne also von der freien Natur abhängig zu sein — hervorzurufen und zu untersuchen vermag. Man spricht deshalb von einer „Experimental-Physik“. Selbstverständlich gehören zur Hervorbringung der Natur-Erscheinungen, zum Nachweis der gefundenen Sätze besondere Vorkehrungen, Instrumente und Apparate.

Aus den gemachten Beobachtungen und Erfahrungen werden die Gesetze abgeleitet, d. h. die Bedingungen festgestellt, unter welchen eine Natur-Erscheinung erfahrungsgemäß erfolgt oder erfolgen muß. Hier eilt aber oft die Kenntnis der Erkenntnis voraus; wir kennen z. B. längst die Gesetze, nach denen die elektrische Verteilung erfolgt, und haben heute noch nicht das Wesen der Elektrizität selbst erkannt. In diesem wie in anderen Fällen, in denen es sich um die inneren, unsichtbaren Ursachen der Erscheinungen, also um das Wesen der Kräfte handelt, ist es uns nicht möglich, Naturgesetze mit aller Schärfe und Gewißheit nachzuweisen — da ist es gestattet, Annahmen und Schlußfolgerungen zu machen, sich auf ähnliche, bereits erwiesene Erscheinungen und Erfahrungen zu stützen und Hypothesen, welche sonach auf noch nicht genügend bewiesenen Voraussetzungen beruhen, aufzustellen. Oft kommen diese Hypothesen der Wahrheit und Wirklichkeit sehr nahe, oft entfernen sie sich trotz aller Wahrscheinlichkeit weit von derselben. Je mehr eine Hypothese durch neue Beobachtungen bestätigt wird, je mehr Erscheinungen sich durch sie erklären, d. h. auf ihren gesetzmäßigen Zusammenhang unter sich und mit anderen Erscheinungen zurückführen lassen, desto mehr Wahrscheinlichkeit gewinnt sie für die Allgemeinheit, desto näher kommt sie einem voll und ganz begründeten und bewiesenen Naturgesetz.

Dies ist der von der exakten Naturforschung, von der Physik seit Beginn des 17. Jahrhunderts (s. Seite 8. 9) eingeschlagene und verfolgte Weg, er allein führt zur wirklichen, sicheren Natur-Erkennnis und zur gründlichen Wissenschaft, denn die durch diese sogenannte empirische oder induktive Methode gewonnenen Kenntnisse beruhen auf Erfahrung.

Die Gebiete der Physik. Wie der Naturwissenschaft überhaupt, so fällt, wie wir gesehen haben, ganz besonders der Physik die Aufgabe zu, zwischen den durch unsere Sinne wahrgenommenen Natur-Erscheinungen einen ursächlichen Zusammenhang zu finden und sie so an einander zu reihen, so zu ordnen, wie sie zusammengehören, d. h. wie sie gegenseitig Gemeinsames zeigen und einander erläutern. Erst dann, wenn die Stücke menschlichen Natur-Erkennens mit klarem Blick unter einheitlichen Gesichtspunkten

gruppiert sind, kann man von einer wirklichen Naturwissenschaft sprechen, wie sie unsere Zeit besitzt, während das Wissen der Alten nur einem ungeordneten Haufen zusammenhangsloser Beobachtungen oder Thatfachen zu vergleichen ist.

Früher teilte man die Physik wohl ein in eine allgemeine und eine besondere; die erstere beschäftigte sich mit den Körpern, den Aggregatzuständen und allgemeinen Eigenschaften derselben und den Kräften, welche auf sie einwirken, die letztere dagegen mit den Eigenschaften der sogenannten „unwägbar Stoffe“ (Imponderabilien), als welche man sich äußerst feine, elastische und leicht bewegliche Stoffe dachte, die die materielle Grundlage von Licht, Wärme, Elektrizität und Magnetismus bilden sollten. Der geschichtliche Überblick hat bereits gezeigt, daß man diese alten Stofftheorien seit Jahrzehnten verlassen hat und daß man Licht und strahlende Wärme als Erscheinungen einer Wellenbewegung der Äther-Atome auffaßt, während man die elektrischen und magnetischen Erscheinungen zwar meistens noch auf die Wirkung bzw. Bewegung zweier in den Körpern vorhandenen, entgegengesetzten elektrischen Fluida (höchst feine, elastische, flüssige Stoffe), nach neuerer Anschauung aber auf eigentümliche Schwingungszustände des zwischen den Körpermolekülen gelagerten Äthers zurückführt — wie denn überhaupt die heutige Physik zu beweisen bestrebt ist, daß Wärme, Licht, Magnetismus und Elektrizität, ja auch Schall und mechanische Arbeit, also alle Kräfte (Energien) der Natur, nur verschiedene Ausprägungen und Erscheinungsformen einer und derselben Grundkraft sind. Die folgenden Kapitel werden sich mit den Einzelheiten beschäftigen.

Überblicken wir das ganze Feld der Physik, so können wir dasselbe zunächst in zwei große Abteilungen trennen: in die Physik der Materie und die Physik des Äthers. Die erstere umfaßt die Lehre von den allgemeinen Eigenschaften, von dem Gleichgewicht und der Bewegung der Körper (mechanische Physik); den Teil derselben, welcher von den Erscheinungen des Zusammenhanges der Körperteilchen handelt, bezeichnet man auch als molekulare Physik. Die Akustik vermittelt gewissermaßen den Übergang zur zweiten Abteilung, der Physik des Äthers, welche sich mit den Erscheinungen des Äthers, d. i. eines — wie die Wissenschaft annimmt — durch den Weltraum und zwischen den Körperteilchen verbreiteten feinen elastischen Stoffes, beschäftigt. Zu ihr gehören die Lehre vom Licht, von der Wärme und von der Elektrizität und dem Magnetismus. Sonach haben wir fünf Hauptgebiete zu unterscheiden:

1. Die mechanische Physik, d. i. die Lehre von den allgemeinen Eigenschaften und von den Gesetzen des Gleichgewichts und der Bewegung fester, flüssiger und luftförmiger Körper (Statik und Dynamik);

2. die Akustik oder Lehre vom Schall;
3. die Optik oder Lehre vom Licht;
4. die Kalorik oder Wärmelehre;
5. die Lehre vom Magnetismus und von der Elektrizität.

Da die letztere in unserer Zeit die meisten und weittragendsten Fortschritte gemacht hat und stetig weiter macht, da ihre Anwendungen so tief in unsere Lebensverhältnisse eingreifen und einen ganz besonderen Zweig menschlicher Thätigkeit, die Elektrotechnik, hervorgerufen haben, so dürfen wir wohl — so viel man auch dagegen geltend machen könnte — dieses Gebiet der Physik, welches die Wissenschaft des 19. Jahrhunderts genannt zu werden verdient, den anderen voranstellen.

Elektrizität und Magnetismus.





1871

Erster Abschnitt.

Von der Reibungs-Elektrizität.

1. Erregung der Elektrizität durch Reibung.

Der Uneingeweihte oder Unerfahrene erschrickt förmlich, wenn er das Wort „Elektrizität“ aussprechen hört, weil er sich keinerlei Bild von dem Wesen, den Kräften, dem Wie und Warum der Erscheinungen der Elektrizität zu entwerfen vermag; er glaubt deshalb auch, daß zur Anstellung dahin zielender Versuche umfangreiche Vorkehrungen und große, zusammenge setzte Apparate unumgänglich nötig seien. Das Folgende wird zeigen, wie einfach die elektrischen Erscheinungen auftreten und mit welcher geringen Mitteln wir wenigstens die Grunderscheinungen vorführen können.

Zu dem ersten Versuch (Fundamental-Versuch) bedürfen wir nur einer Glasstange, eines Stück wollenen Zeuges oder eines seidenen Taschentuches und einer Anzahl kleiner Papier Schnitzel — alles Dinge, die zur Hand sind, denn statt eines massiven Glasstabes läßt sich auch ein Glaszylinder von etwa 3 cm Durchmesser verwenden. Zweck Ausführung des Versuchs nimmt man das Wollzeug oder Seidentuch in die linke Hand, umfaßt damit den Stab oder Zylinder und zieht ihn mittelst der rechten Hand, welche den Stab am unteren Ende ergreift, verschiedene Male kräftig hin und her; hält man ihn dann über die kleinen Papier Schnitzel (Fig. 64), welche man vorher auf ein Blatt Papier oder die Tischplatte streute, so wird man sehen, wie das geriebene Glas die Schnitzel anzieht, bald aber wieder von sich stößt. Einige Minuten vielleicht behält die Glasstange die eigentümliche Anziehungskraft, dann wird diese allmählich schwächer und hört ganz auf. Doch wird sie sogleich wieder hervorgerufen, wenn man die Stange aufs neue reibt.

Dieser einfache Versuch läßt sich mehrfach abändern. Statt des Glasstabes kann man eine Siegellack-, Hartgummi-, Harz- oder Schwefel-

stange oder ein Stück Bernstein verwenden und mit einem Stück Tuch oder Katzenfell reiben, oder man kann den Glasstab mittelst eines mit Kautschuk oder mit Zinn-Zink-Amalgam bestrichenen Lederlappens oder auch eine Kautschuk-Stange (Ebonit) mit Pelzwerk reiben; ebenso lassen sich die Papierschnitzel ersetzen: entweder durch Hollundermark-Kügelchen, die man sich im Winter aus dem Mark, welches man aus einjährigen Trieben des Hollunders ((Sambucus) durch streifenweises Herunterspalten des Holzes gewinnt, zurechtschneidet, oder durch auf ähnliche Weise hergestellte Kügelchen aus dem Mark der Sonnenblume (Helianthus), oder auch durch Federflaumen, Cigarrenasche und andere leichte Körper.

Nicht immer aber gelingt der Versuch oder wenigstens nicht in befriedigendem Maße. Dies hängt von geringfügigen Umständen ab. Zunächst



Fig. 64. Elektrischer Glasstab.

muß die Luft des Zimmers, in dem man die Versuche anstellt, recht trocken sein; der Grund wird sich weiterhin ergeben. Außerdem müssen Wolle, Seidenzeug oder die sonstigen zum Reiben benutzten Stoffe und die Markkügelchen, ebenso wie Glasstab, Siegellackstange u. durchaus trocken sein. Glas läßt in dieser Beziehung meist zu wünschen übrig, da es — die

eine Sorte mehr als die andere — hygroskopisch ist, d. h. den in der Luft enthaltenen Wasserdampf an sich zieht und dadurch auf seiner Oberfläche gern feucht wird. Um dem Übelstand zu begegnen, zieht man massive Glasstäbe den Glasylindern, welche eine größere Oberfläche besitzen, vor; ferner erwärmt man das Glas vor Beginn des Versuchs und reibt es mit warmen Tüchern ab; auf die Dauer aber hilft, wenn man die Glasäule mit einem dünnen Überzug einer Schellack-Auflösung — vor dem Auftragen des Schellacks ist das Glas zu erwärmen — oder mit einem dicken, undurchsichtigen Überzug von Siegellack, den man durch öfter wiederholtes dünnes Aufstreichen des Siegellacks herstellt, versieht. Aus dem oben Gesagten ergibt sich auch, daß man einfache Glasröhren, namentlich falls man dieselben vorher nicht erwärmt, bei Beginn des Versuchs gewöhnlich etwas länger reiben muß, bis die gewünschte Wirkung sich zeigt, während z. B. Siegellack nach leichtem

raschen Reiben mit Wollenzeug sehr bald und in kräftiger Weise jene Anziehungskraft äußert.

Von der letzteren kann man sich auch überzeugen, wenn man die geriebene Stange nahe an das Gesicht einer Person bringt und sie von oben nach unten an demselben vorbeiführt: die Person wird zurückzucken und mit der Hand über das Gesicht fahren, als ob sie ein Spinnengewebe entfernen wollte, denn sie hat das Gefühl, als ob sie in ein solches gerathen sei; thätlich wird dies dadurch hervorgerufen, daß die Stange, welche leichte Körper anzieht, auch auf die Härchen des Gesichts ihre Kraft ausübt und dieselben sich nahe zu bringen sucht, also aufrichtet.

Wie wir gesehen haben, können Glas, Siegellack, Harz und andere Körper durch Reiben in einen Zustand versetzt werden, in welchem sie zufolge einer vorher nicht vorhandenen Kraft auf in der Nähe befindliche Körper einwirken. Man nennt diesen Zustand den elektrischen, die Gegenstände, welche leichte Körperchen anziehen und nach der Berührung wieder abstoßen, elektrische Körper, und die Kraft, welche dies bewirkt: Elektrizität. Diese Ausdrücke sind von dem griechischen Worte Elektron (Bernstein) abgeleitet, weil die alten Griechen eben am geriebenen Bernstein die erwähnte Anziehungskraft zuerst wahrnahmen. Gewöhnlich schreibt man die erste Beobachtung dem griechischen Weisen Thales von Milet (640—548 v. Chr.) zu, wenigstens hat dieser, und in acht griechischer Weise, die Erscheinung zu erklären gesucht, indem er sagte, „es sei als ob eine Seele den Bernstein, wie den Magnetstein durchdringe, welcher Eisen anziehe, wie jener leichte Körperchen.“ Bei dieser Kenntnis blieb es, die Alten prüften und versuchten nicht weiter mit anderen Körpern, obwohl etwas später Theophrastos von Eresus (371 bis 286 v. Chr.) darauf hinwies, daß das Lynkursion — ob darunter der Turmalin, der Hyacinth oder ein anderer Edelstein zu verstehen ist, wissen wir nicht — die gleiche Eigenschaft wie der Bernstein habe. Auf diese geringen Kenntnisse*) blieb das ganze Wissen von der Elektrizität zwei Jahrtausende hindurch beschränkt, bis zu William Gilbert (1600 n. Chr.).

*) Auch die Chinesen besaßen dieselben schon vor langer Zeit. Der chinesische Physiker Kuopho sagte Anfang des vierten Jahrhunderts in seiner Lobrede des Magneten: „Der Magnet zieht das Eisen, wie der Bernstein die kleinsten Senfkörner an. Es ist wie ein Windeshauch, der beide geheimnisvoll durchwehet und pfeilschnell sich mittheilt.“ Interessant ist, daß Alexander von Humboldt sogar bei den rohen Stämmen der Eingeborenen am Ufer des Orinoko in Südamerika bemerkte, wie ihnen die Erregung der Elektrizität durch Reibung bekannt ist: die Knaben lieben die trockenen, platten und glänzenden Samen eines rankenden Schotengewächses so lange, bis sie Fasern von Baumwolle und Bambusrohr anjogen. (Humboldt's „Kosmos“, Stuttgart 1870, Band I, S. 120, 270).

2. Leiter und Nichtleiter der Elektrizität.

Der erste Versuch zeigte uns, daß Glas, Siegellack, Schwefel u. a. durch Reiben elektrisch werden und in diesem Zustande leichte Körperchen anziehen. Wir nehmen jetzt eine Stange oder Röhre von Messing oder Eisen in die Hand, reiben sie auf die angegebene Weise und halten sie über die Markkügelchen oder Papierschnitzel. Was zeigt sich? Die Stange äußert keine elektrische Anziehungskraft. Befestigen wir dagegen dieselbe Stange an einem Griff von Glas oder Hartkautschuk und erfassen wir sie mittelst des Griffes, so wird sie durch Reiben gleichfalls elektrisch, wie wir weiterhin sehen werden. Wenn aber in letzterem Falle die Metallstange elektrisch gemacht werden konnte, so mußte dies auch in ersterem Falle möglich sein. Daß wir das erste Mal nichts bemerkten, lag daran, daß die Stange die in ihr erregte elektrische Kraft sofort wieder verlor, indem diese sich von dem geriebenen Ende aus alsbald nach dem anderen Ende hin verbreitete und hier in die berührende Hand entwich; das zweite Mal jedoch wurde sie durch das Glas bzw. den Kautschuk am Entweichen verhindert.

Somit finden wir, daß ein Metallstab, den wir an dem einen Ende reiben, nicht nur an diesem Punkte, sondern in allen Theilen, dagegen ein Glas-, Harz-, Schwefel- oder Kautschukstab nur an dem geriebenen Ende elektrisch wird, oder mit anderen Worten: am Glase und den eben genannten Stoffen haftet die Elektrizität an der Stelle, wo sie hervorgerufen wurde, während sie sich in einem Metall-Körper über alle Theile verbreitet, von einem Ende bis zum anderen äußerst schnell fortgepflanzt oder geleitet wird. Davon kann man sich auch überzeugen, wenn man z. B. einen Messingstab an trockenen Seidenfäden aufhängt und dem einen Ende Elektrizität mittheilt; mit Hilfe eines der weiterhin beschriebenen Elektrizitäts-Anzeiger, eines Elektroskops, erkennt man leicht, daß auch das entgegengesetzte Ende des Messingstabes oder Messingdrahtes elektrisch ist, während dasselbe bei einer in gleicher Weise behandelten Glas- oder Harzstange u. nicht der Fall sein wird. Je nachdem sich die verschiedenen Körper in dieser oder in jener Weise verhalten, bezeichnet man sie als Leiter oder Nichtleiter.

Während man nämlich in früheren Jahrhunderten, wie erwähnt, nur die elektrische Anziehung des geriebenen Bernstein kannte, ergaben die Forschungen des englischen Arztes William Gilbert (f. S. 9), welcher dann auch jene eigentümliche Kraft zuerst die „elektrische“ nannte, daß die „Elektricitas“ auch dem Diamant und anderen Edelsteinen, dem reinen Glase, dem Schwefel, Gummilack und den meisten harzigen und spartigen

Stoffen esgen sei, daß dagegen Elfenbein, hartes Holz und die Metalle durch Reiben nicht elektrisch gemacht werden könnten^{*)}; er schied mit Bezug darauf die Körper in idioelektrische, welche durch Reiben elektrisch werden, und in anelektrische, bei denen dies seiner Meinung nach nicht der Fall ist. Gilbert's Landsmann, Stephan Gray, welcher seit 1720 elektrische Untersuchungen anstellte und dabei von seinem Freunde Granville Wheeler, einem Geistlichen, unterstützt wurde, klärte die letztere Anschauung. Er beobachtete im Jahre 1827, daß durch Reiben nicht bloß eine Glasröhre, sondern gleichzeitig auch der sie verschließende Korkstöpsel und ein in diesem steckendes, aus der Röhre hervorragendes Metallstäbchen mit elektrisch wurden und leichte Körperchen anzogen. Dies gab einen Wink hinsichtlich der Fortpflanzung oder Leitung der Elektrizität durch andere Körper und zeigte zugleich, daß auch sogenannte anelektrische Körper elektrisch gemacht werden konnten. Indem Gray die Versuche fortsetzte, fand er, daß eine an dem Kork befestigte, fußlange Hanfschnur die Elektrizität ebenfalls fortleitete, denn Spreu und ähnliche leichte Körperchen wurden von ihrem unteren Ende ebenso angezogen, wie von der geriebenen Glasröhre selbst. Dasselbe ließ sich wahrnehmen, als die Schnur auf 30 und mehr Fuß verlängert und schließlich eine etwa 700 Fuß lange Hanfschnur an seidenen Fäden aufgehängt wurde.

Höchst lehrreich war die Art, wie man diese Versuche anstellte, und was sich dabei ergab. Die Hanfschnur war zunächst an Bindfaden aufgehängt — die Versuche gelangen nicht. Gray's Genosse Wheeler schlug nun statt des Bindfadens Seidenfäden vor, und Gray ging darauf ein, weil die Seidenfäden „dünner“ waren als die gebrauchten Bindfaden. Bei Verlängerung der Hanfschnur rissen zwar die Seidenfäden, doch die Leitungsversuche gelangen. Nun nahm man ebenso feine Drähte, aber es geriet wiederum kein Experiment, obwohl ja die letzteren so dünn waren, wie die Seidenfäden. Schließlich kehrte man wieder zu diesen zurück, nur machte man sie stärker, und Alles glückte vollkommen.

Was zeigten diese Versuche? Daß Hanfschnur, gewöhnlicher Bindfaden und Metalldrähte die Elektrizität fortleiten (Bindfaden und Drähte lenkten dieselbe von ihrer Bahn längs der Hanfschnur ab), während Seidenschnüre nicht leiten, denn die Leitung in der Hanfschnur wurde in diesem Falle nicht gestört; zugleich erfuhr Gray, obgleich dies ja unwesentlich ist im Vergleich mit dem eben Gesagten, daß es in Betreff der dabei verwendeten Körper nicht so auf die Dicke oder Stärke, sondern auf die Sub-

^{*)} Gilbert betont, daß das Reiben zur Elektrifizierung der Körper durchaus erforderlich sei und die Lebhaftigkeit derselben die Stärke der Wirkung beeinflusse, daß ferner „fast alle Körper“ angezogen werden.

stanz, den Stoff derselben ankomme. Die Nichtleitbarkeit nahm Gray dann auch an Schnüren aus Wolle und Tierhaaren, an einem Harzkuchen u. s. w. wahr, was ihn zur Erfindung des weiterhin zu beschreibenden Folierschemels führte. Auf Grund der gemachten Entdeckungen prüfte der Forscher noch viele andere, durch Reibung nicht elektrisierbare Körper auf ihre Leitungsfähigkeit: ein lebendes Hühnchen, an Seide aufgehängt und in Verbindung mit einem elektrischen Körper gebracht, wurde selbst elektrisch; ein Knabe — dies ist der erste Fall vom Elektrisieren eines Menschen —, an seidnen Schnüren aufgehängt, zeigte dem erstaunten Gray, welcher seine Glasröhre an die Füße des Knaben hielt, eine elektrische Anziehung für die dem Kopfe des letzteren genäherten Metallblättchen; Seifenblasen und Wasser werden gleichfalls elektrifiziert und als Leiter befunden.

Hatte somit Gray den Beweis geliefert, daß auch die von Gilbert für anelektrisch gehaltenen Körper elektrisch werden, die erhaltene Elektrizität aber mit ungeheurer Geschwindigkeit weiter fortführen, so durfte er nun auch die Gilbert'sche Einteilung der Körper verlassen und dieselben in Leiter und Nichtleiter der Elektrizität scheiden; die ersteren decken sich mit den „anelektrischen“, die letzteren mit den „idioelektrischen“ Körpern. Als Leiter (Konduktoren) sind diejenigen Körper zu bezeichnen, welche die Elektrizität rasch aufnehmen, aber auch ungemein schnell fortpflanzen oder ableiten; sie behalten, wie wir gesehen haben, ihre Elektrizität nur dann, wenn sie von Nichtleitern umgeben oder vermittelt solcher vom Erdboden, welchem sie die erlangte Elektrizität mitzuteilen bestrebt sind, gewissermaßen abgesperrt, isoliert sind. Die besten Leiter bilden die Metalle, dann folgen Graphit, Holzkohle, Wasser und viele andere Flüssigkeiten, auch die mit Wasser überzogenen und von diesem durchdrungenen Substanzen und die bis zum Schmelzen erhitzten Salze, ferner gewisse Körper, sobald sie feucht sind, z. B. feuchte Luft, feuchte Schnur, Leinen- und Baumwollenfäden, feuchtes Hollundermark, Holz, Stroh und Papier — diese feuchten leitenden Körper können durch Austrocknen zu Nichtleitern werden —, endlich der Erdkörper, lebende Pflanzen, Tiere und Menschen.

Nichtleiter sind solche Körper, welche die in ihnen durch Reibung erzeugte Elektrizität bewahren, indem diese an der Stelle haftet, wo sie hervorgerufen wurde. Der Ausdruck „Nichtleiter“ ist eingebürgert, streng genommen müßte man ihn durch „Schlechte Leiter“ ersetzen, da es außer dem luftleeren Raum keinen eigentlichen Nichtleiter giebt; denn alle diese Körper und Stoffe gestatten der Elektrizität eine, wenn auch ganz geringfügige, ja kaum bemerkbare Fortpflanzung oder Leitung. Sürmerhin jedoch setzen sie, im Vergleich zu anderen Körpern, der Fortbewegung der Elektrizität einen bedeutenden Widerstand entgegen, sie sperren also die

Leitere ab oder isolieren sie und deshalb nennt man sie auch Isolatoren; ein Leiter aber kann isoliert werden, wenn man ihn nur mit Nichtleitern in Verbindung bringt, wie z. B. Gray die Hanffschnur oder das lebende Hühnchen z. nur mit Seidenfäden in Verbindung brachte. Solche Nichtleiter oder vielmehr sehr schlechte Leiter haben wir bereits kennen gelernt: Seide, Glas, Bernstein, Harz (Schellack, Siegellack), Kautschuk, Schwefel, Guttapercha; ferner gehören hierher: Kolophonium, Kollodium, Edelsteine, Porzellan, ganz trockenes Holz oder Papier, Haare und Federn, trockene Luft und andere trockene Gase. Nebenbei sei bemerkt, daß man die Isolatoren auch „dielektrische Körper“ oder „Dielektrika“ nennt.

Außer Leitern und Nichtleitern unterscheidet man gewöhnlich noch unvollkommene oder Halbleiter, welche hinsichtlich ihrer Wirkung in der Mitte zwischen beiden stehen. Zu ihnen zählt man: Äther, Alkohol, trockenes Holz, Papier, Baumwolle, Stroh, Leder und Pergament, Knochen, Marmor und viele andere Gesteine.

Bei einer Anzahl Körper kommt es also, wie wir erfahren haben, in Betreff ihrer Leitungsfähigkeit auf ihren jeweiligen Zustand an. So ist Wasser ein Leiter, Wasser im gefrorenen Zustande, also als Eis (bei etwa 10° unter Null), dagegen ein Nichtleiter; Eis wiederum, welches sich dem Nullpunkt nähert oder schmilzt, ein Leiter, Wasser in Luftgestalt (Wasserdampf) ebenfalls ein Leiter; frisches, nasses Holz ist ein Leiter, gewöhnliches Holz ein Halbleiter, ganz trockenes Holz ein Isolator; feuchte Luft ein Leiter, trockene Luft ein Isolator; trockene Seide ein Nichtleiter, feuchter oder nasser Seidenfaden ein Leiter der Elektrizität u. s. w. Deshalb sagte der große Berliner Physiker Dove, mit Bezug auf Gray's Versuche, in seiner vor 40 Jahren erschienenen Abhandlung über Elektrizität so treffend: „Ein Feder erkennt in dem horizontalen Bindfaden (Gray's) den Kupferdraht längs den Eisenbahnen und in den seidenen Schnüren die trockenen Holzstangen, über welche er geführt ist, um ihn von der Erde zu isolieren. Wenn es stark thaut, gelangen Gray seine Versuche nicht, auch ist das Telegraphieren schwieriger, wenn ein starker Regen die Stangen genäßt hat.“

Was übrigens den letzteren Punkt anbelangt, so hat man, wie ein Blick auf die Telegraphenleitung lehrt, besondere Vorkehrungen getroffen, damit die Telegraphendrähte die empfangene Elektrizität nicht an das Holz abgeben können, welches sie in die Erde ableiten würde. Man hat die Drähte isoliert, indem man sie nicht unmittelbar an den Stangen befestigt, sondern sie über die an den Stangen angebrachten Isolatoren, nämlich über Porzellanbecher (sogenannte Isolierköpfe) führt. Ebenso hat man bei unterirdischen und unterseeischen Telegraphenleitungen durch besondere Maß-

regeln vorgebeugt, daß die Elektrizität den Kupferdrähten nicht durch die Erde entzogen werden kann: man überzieht die Drähte mit Guttapercha und schließt dadurch die den letzteren mitgeteilte Elektrizität von dem Erdboden ab. Eine andere wichtige Anwendung von der Leitungsfähigkeit der Metalle zeigt uns, woran schon hier erinnert sein mag, der Blizableiter.

Aus dem in diesem Kapitel Erörterten erhellt nun auch, weshalb elektrische Versuche, wie im vorigen Abschnitt besprochen, in feuchter Luft und bei Anwendung feuchter Gegenstände und Stoffe nicht oder doch nur unvollkommen gelingen: selbst die vollkommensten Isolatoren werden Leiter, sobald sich Wasserdampf auf ihnen niederschlägt, also ihre Oberfläche mit einer wenn auch ganz geringen Wasserschicht beschlägt, und wemngleich der Glasstab z. durch Reiben elektrisch wird, so nimmt doch der Wasserdampf oder die feuchte Luft die Elektrizität in sich auf und verteilt sie. Die am besten isolierende feste Substanz ist guter Schellack.

3. Elektrisches Pendel. Positive und negative Elektrizität.

Um die Eigentümlichkeiten der Elektrizität weiter kennen zu lernen, stellen wir zunächst noch einige Versuche an.

Zur Ausführung derselben haben wir uns vorerst ein elektrisches Pendel zu beschaffen, d. i. ein an einem trockenen, am besten ungefärbten, von Baumwolle freien Seidenfaden aufgehängtes leichtes Kügelchen aus Hollundermark (s. S. 52). Man verfertigt sich dasselbe einfach selbst, indem man einen 10—15 cm langen, unten mit einem Knoten versehenen Seidenfaden mittelst der Nähnadel durch das Kügelchen führt und dann so straff anzieht, daß der Knoten in dem letzteren (Fig. 65 a) verschwindet. Das Kügelchen wird nun so aufgehängt, daß es wie ein Uhrpendel frei hin- und herschwingen kann; man befestigt also den Faden an einem rechtwinkelig oder auch in anderer Weise gebogenen Draht (Fig. 65 b), dessen unteres Ende entweder in einen Holzfuß (Fig. 65 und 66) oder in den Korbstöpsel einer mit Sand gefüllten und somit sicher stehenden Glasflasche gesteckt wird. Statt des Drahtes wendet man auch wohl eine dünne, in der angegebenen Form gebogene Glasröhre an, wodurch eine noch sorgfältigere Isolierung erzielt wird, die jedoch bei Benutzung von einem reinen trockenen Seidenfaden überflüssig erscheint.

Nähert man nun dem Markkügelchen eine durch Reiben mittelst Seidenzeugs elektrisch gemachte Glasstange, so wird es von derselben angezogen, um alsbald, nachdem es das Glas berührt hat, wieder abgestoßen zu werden; es zeigt sich also dieselbe Erscheinung, wie bei dem ersten von uns gemachten Versuch. Nähert man jetzt dem Kügelchen denselben oder einen zweiten,

auf gleiche Art geriebenen Glasstab, so läßt sich keinerlei elektrische Anziehung wahrnehmen (s. Fig. 66). Diese äußert sich jedoch wieder, sobald ich das Kügelchen mit dem Finger berührt habe: das letztere wird von der Glasstange angezogen und auf's neue abgestoßen, es sucht nach der Berührung des Glasstabes diesen zu fliehen. Und so kann man den Versuch nach Belieben fortsetzen, die Erscheinungen wiederholen sich lediglich.

Die Erklärung dafür liegt nahe. Wie wir wissen (Seite 51), ziehen elektrische Körper leichte, unelektrische Körperchen an und stoßen dieselben nach der Berührung wieder ab. Im vorliegenden Falle ist die Glasstange der durch Reiben elektrisch gemachte Körper; er zieht das Kügelchen an und teilt ihm im Augenblick der Berührung von seiner eigenen Elektrizität mit, sodaß dasselbe selbst elektrisch wird. Dieser Vorgang läßt sich in

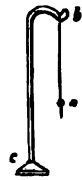


Fig. 65. Elektrisches Pendel.

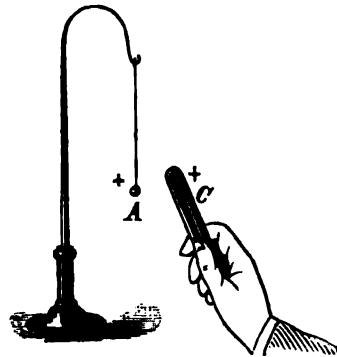


Fig. 66. Elektrisches Pendel.

gewissem Maße durch den Augenschein verfolgen. Man beobachtet nämlich, wenn man den Versuch im Dunkeln und bei recht trockener Zimmerluft anstellt, daß im Moment des Berührens beider Körper ein feiner bläulicher Funke aus der Glasstange in das Kügelchen überspringt — dieser elektrische Funke wird uns später eingehender beschäftigen —, und damit geht ein Teil der Glas-Elektrizität in das Kügelchen über. Beide Körper besitzen jetzt also die gleiche Art Elektrizität; aus dem eigentümlichen Verhalten des Kügelchens nach erfolgter Berührung oder Elektrifizierung aber erkennen wir die auffallende Thatsache, daß zwei gleichartig elektrische Körper einander abstoßen. Berühren wir nun die Markkugel mit dem Finger, so nehmen wir ihr die Elektrizität, diese wird durch den Finger und unseren Körper, bekanntlich ein guter Leiter, in den Erdboden geführt und das dadurch unelektrisch gewordene Kügelchen läßt sich von der elektrischen Glasstange auf's neue anziehen, womit sich die gleichen Erscheinungen wiederholen.

Einen zweiten Versuch stellen wir ganz in derselben Weise an, nur nehmen wir statt des Glasstabes eine mit Wollenzug geriebene Harz- oder Siegellackstange. Das Ergebnis stimmt mit dem vorigen überein, auch hier zeigt es sich, daß das Kügelchen, sobald es von der Harz-Elektrizität — denn Siegellack besteht doch im Wesentlichen aus Harz bezw. Schellack — empfangen hat, die Stange zu fliehen sucht, daß demnach auch diese gleichartig elektrischen Körper einander abstoßen.

Zu einem dritten Versuch hängen wir beide (unelektrischen) Pendel dicht neben einander auf, entweder an dem gebogenen Draht oder in der Weise, wie es Abbildung 67 erläutert. In letzterem Falle sind die beiden

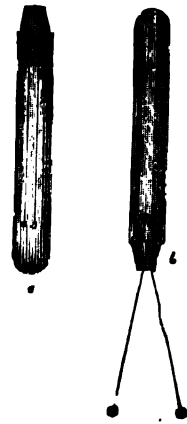


Fig. 67. Elektrische Pendel.

Markkügelchen mittelst des Kokon- oder Seidenfadens an dem Pfropfen eines unten geschlossenen zylindrischen Glases befestigt; werden die Pendel nicht benutzt, so können sie bequem aufbewahrt werden, wie es Fig. 67 a angiebt, beim Gebrauch dagegen steckt man den Korkpfropfen so in das Glas, daß die Pendel heraushängen (Fig. 67 b). Berühren wir die beiden Kügelchen mit dem elektrischen Glasstab, so stoßen sie sich alsbald gegenseitig ab (Fig. 67 b), um jedoch, nachdem wir sie mit den Fingern angefaßt, in ihre erste Lage zurückzukehren; berühren wir sie nun aber mit einer elektrischen Siegellackstange, so stoßen sie sich ebenfalls gegenseitig ab. Hier haben wir also wiederum die Bestätigung des Satzes, daß gleichartig elektrische Körper — oder kürzer: gleichartige Elektrizitäten — einander abstoßen.

Beim vierten Versuch hängen wir die Pendel gesondert auf. Nachdem wir das eine durch Berührung mit der elektrischen Glasstange und das andere mit der Siegellackstange elektrisch gemacht und beide einander vorsichtig genähert, bemerken wir, daß sie sich gegenseitig anziehen. Oder: Nähern wir einem Kügelchen den elektrischen Glaszylinder, so wird es von diesem angezogen und dann abgestoßen; nähern wir ihm nun eine elektrische Harzstange, so wird es von dieser nicht auch abgestoßen, sondern, trotzdem es vorher nicht mit den Fingern angefaßt worden war, sehr lebhaft angezogen; dasselbe zeigt sich, wenn wir zunächst die Harzstange und dann den Glaszylinder anwenden und dies fortsetzen. Oder: Bringen wir mit der rechten Hand den elektrischen Glasstab und mit der Linken die elektrische Siegellackstange dem Kügelchen nahe, sodaß dieses zwischen ihnen schwebt, so wird es von der Glasstange angezogen und abgestoßen, dann vom Siegellack angezogen und abgestoßen und so fort, man sieht mithin, wie

das Kügelchen eine Zeit lang wie ein Pendel von der einen Seite zur anderen hin- und herschwingt, bis sich die Elektrizität aus den beiden geriebenen Körpern verloren hat.

Diese Versuche lassen sich mit Hilfe der elektrischen Nadel etwas abändern, doch das Resultat ist ein gleiches. Die Nadel besteht gewöhnlich aus einem etwa 6 cm langen und 2 mm dicken Metall- (Messing-) Stäbchen, welches an jedem Ende in ein Knöpfchen endigt und in der Mitte mit einer kegelförmigen Vertiefung bezw. einem Hütchen versehen ist (Fig. 68 A A), sodaß es wie eine Magnetonadel auf eine von einem Glasfuß getragene, d. h. mittelst eines straff anliegenden Stückes Kautschuchschlauch oder mittelst Siegellack auf diesem befestigte Metallspitze aufgesetzt werden kann. Die Nadel A A zeigt, sobald man ihr einen elektrisierten Körper nähert, die Elektrizität desselben an, indem sie von ihm angezogen und dann abgestoßen wird, wie das elektrische Pendel, und deshalb zählt man beide Vorrichtungen zu den später noch näher zu besprechenden Elektroskopen (Elektrizitäts-Anzeiger) — für die Zwecke des oben angedeuteten Versuchs brauchen wir jedoch statt der Nadel je einen Glas- und Harzstab von etwa 10 bis 12 cm Länge, der in der Mitte entsprechend eingerichtet ist.

Setzen wir den elektrisch gemachten Glasstab (Fig. 68 B B) auf die Spitze des Stativs und nähern wir ihm einen zweiten, gleichgroßen, auf ganz gleiche Weise und in derselben Stärke elektrisierten Glasstab, so nehmen wir wahr, daß der erstere, drehbare Stab dem zweiten ausweicht, daß sie sich also gegenseitig fliehen oder abstoßen. Dasselbe beobachtet man, wenn man zwei Harz-, Hartgummi- oder Siegellackstangen auf gleiche Art elektrisch macht, die in der Mitte mit einem Hütchen versehene (Fig. 68 C C) auf die Metallspitze setzt und die zweite ihr nähert. Wie bereits betont, nehme man Glasstäbe bezw. Siegellackstangen von gleicher Länge und Dicke, damit man, um die richtige Wirkung zu erzielen, in den beiden zu einem Versuch zu benutzenden Stäben durch Reiben den gleichen Grad von Elektrizität entwickeln kann.

Wer übrigens keine in der beschriebenen Weise hergerichteten Glas- und Harzstäbe und keinen dazu gehörigen Fuß besitzt, vermag das gleiche Resultat zu erreichen, wenn er eine 10—12 cm lange geriebene Glas- oder Siegellackstange an einem ungedrehten Seidenfaden (Rohseide, Kokonfaden)

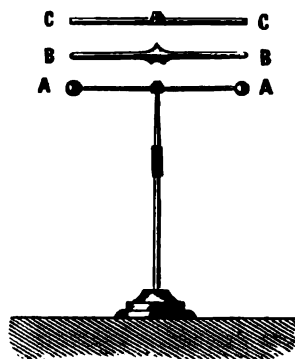


Fig. 68. Elektrische Nadel.

aufhängt und ihr die zweite gleichartige Stange nähert; um den richtigen Schwerpunkt der Stange sogleich zu treffen, sucht man diesen schon vor dem Reiben und kennzeichnet die betreffende Stelle mittelst der Feile, so daß die dadurch erhaltene Einkerbung gleichzeitig einem Verschieben des Fadens beim Experimentieren vorbeugt; noch besser ist es, an dem Faden eine durch Zusammenbiegen eines Kartenblattes hergestellte 3 cm lange Hülse zu befestigen und in diese die geriebene Glas- oder Harzstange zu legen.

Aus den gemachten Beobachtungen lernen wir, daß die Glas- und die Harz- (Siegellack-) Stange sich in verschiedenen elektrischen Zuständen befinden, denn sie üben auf das Markkugelnchen oder auf gleichartige Stangen entgegengesetzte Wirkungen aus. Nun hat man die verschiedensten Körper durch Reiben oder auf andere Weise elektrisch gemacht und sie dann auf ihr gegenseitiges Verhalten hin geprüft, aber stets hat man gefunden, daß sie sich z. B. dem durch den Glas- oder den Harzstab elektrisch gemachten Kugelnchen gegenüber entweder wie Glas oder wie Harz (Siegellack) verhalten, daß es also nur zwei elektrische Zustände giebt (S. 53), als deren Ursache man zwei Modifikationen der elektrischen Kraft oder zwei verschiedene Elektrizitäten annimmt, die man nach dem Vorgang ihres Entdeckers du Fay (1733*) als Glas- und Harz-Elektrizität oder nach einem späteren Vorschlage als positive und negative Elektrizität bezeichnet. Das gegenseitige Verhalten derselben aber läßt sich nach den gemachten Wahrnehmungen in das Gesetz zusammenfassen: Gleichnamige Elektrizitäten bezw. gleichartig elektrische Körper stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an. Diese Punkte führen uns nun von selbst auf die Frage:

4. Was ist Elektrizität?

Die Frage nach dem Wesen der Elektrizität, nach der eigentlichen Ursache, der Entstehung dieser geheimnisvoll wirkenden Naturkraft hat schon die Forscher des vorigen Jahrhunderts beschäftigt; allein trotz aller Forschungen und trotzdem sich die Elektrizität unseren Sinnen offenbart, befinden wir uns über das eigentliche Wesen derselben immer noch im Dunkeln, das letzte Wie? und Warum? ist uns noch nicht erschlossen, dies ist eins der von der Naturforschung noch zu lösenden Rätsel — ob es aber überhaupt jemals dem menschlichen Wissensdrang einen wirklich klaren Einblick gewähren wird?

*) Ch. Fr. Cisternay du Fay, geb. 1698, gest. 1739, welcher die Untersuchungen Gray's fortsetzte, war erst französischer Offizier, dann Direktor des Pariser Pflanzengartens.

Benjamin Franklin in Philadelphia (1706—1790), der Erfinder des Blitzableiters, stellte zuerst eine umfassendere Theorie (Hypothese) über das Wesen der Elektrizität auf, nachdem kurz vorher, 1748, William Watson in London (1715—1785) zu den gleichen Ansichten gelangt war. Diese Lehre schreibt die elektrischen Erscheinungen und Wirkungen dem Vorhandensein eines einzigen elektrischen „Fluidum“ zu, welches „Elektrikum“ heißt und mit der Materie des Feuers und Lichts identisch sein sollte. Man stellte sich dieses Fluidum als einen unsichtbaren, schwerelosen, außerordentlich feinen und ausdehnungsfähigen elastischen, die Körper nach dem Grade ihrer Leitbarkeit mit wachsender Leichtigkeit durchdringenden Stoff (Flüssigkeit) vor, dessen Teilchen sich wechselseitig abstoßen, dagegen auf die Teilchen (Atome, Moleküle) der wägbaren Körper anziehend wirken. Enthalten die Körper, so sagte Franklin weiter, gerade soviel von dem elektrischen Fluidum, als ihnen ihrer Masse und Natur nach zukommt, so erscheinen sie ohne elektrische Kraft oder unelektrisch; wird ihnen jedoch durch eine äußere Veranlassung, z. B. durch Reiben, eine größere Menge Elektrizität mitgeteilt bezw. auf ihrer Oberfläche angehäuft, so zeigen sie sich positiv elektrisch, im umgekehrten Falle aber, sobald ihnen ein Teil von der normalen Menge der elektrischen Materie verloren geht, negativ elektrisch. Franklin sah also die Elektrizität als etwas Einheitliches an — weshalb man ihn und die Freunde seiner Anschauung „Unitarier“ nennt — und erklärte die in den Erscheinungen sich darbietenden ~~Veränderungen~~ durch einen Überschuss oder einen Mangel von Elektrizität im Vergleich zu dem gewöhnlichen Zustande der Körper, und daher schreiben sich auch die Bezeichnungen + E (+ gleich plus oder mehr) und - E (- gleich minus oder weniger) für den positiv und negativ elektrischen Zustand resp. für positive und negative Elektrizität.

Franklin's Theorie fand, da sie viele bis dahin rätselhaft gebliebene Erscheinungen dem Verständnis erschloß und unter einem einheitlichen Gesichtspunkt zusammenfaßte, lebhaften Anklang und zahlreiche Anhänger unter den Physikern, von denen namentlich der Petersburger Professor Franz U. Theod. Aepinus aus Rostock (1724—1802), welcher die Lehre übersichtlich und geordnet darstellte und dadurch weiten Kreisen zugänglich machte, ferner sein Landsmann Joh. K. Wille aus Bismar (1732—1796), die Engländer Cavendish (1731—1810) und Liberius Cavallo (1749 bis 1809) und der große Italiener Alessandro Volta (1745—1827) erwähnt seien, allein sie vermochte nicht alle elektrischen Erscheinungen, so z. B. die elektrische Abstößung zweier negativ elektrischer Körper, zu erklären.

Der letztere Umstand veranlaßte den Engländer Robert Symmer (gest. 1763) im Jahre 1759 eine neue Theorie, welche zwei entgegengesetzte elektrische

Fluida („Elektrika“), nämlich eine positive und eine negative elektrische Flüssigkeit, annimmt und danach die dualistische Hypothese genannt wird, aufzustellen. Symmer hatte beobachtet, daß seine Seidenstrümpfe, von denen er immer zwei Paar verschiedener Farbe übereinander trug, beim Ausziehen sich stark und zwar entgegengesetzt elektrisch zeigten. Diese Wahrnehmung und eine Reihe darauf hin gemachter interessanter Versuche bewogen ihn, die Erscheinungen auf zwei verschiedene elektrische Flüssigkeiten (Fluida) zurückzuführen. Zu der gleichen Ansicht war nun zwar schon 25 Jahre früher du Fay gelangt, allein Symmer baute die Theorie weiter aus, und obgleich dieselbe anfangs gegenüber den Franklin'schen Sätzen sich keiner besonderen Zustimmung seitens der Physiker erfreute, so neigten sich ihr doch, nachdem unter Anderen die französischen Forscher Augustin Coulomb (1736—1806) und Simeon Dionys Poisson (1781 bis 1840) in Paris sich für dieselbe erklärt, immer mehr Gelehrte zu und allmählich wurde sie allgemein angenommen, da sie die uns bekannten elektrischen Erscheinungen auf die einfachste Weise erklärt. Ehe wir ihren Inhalt kurz wiedergeben, seien zwei Versuche angestellt.

Die früheren Versuche haben uns gelehrt, daß ein Körper entweder glas- oder harz-elektrisch gemacht werden kann, oder daß sich, wie die Experimente mit dem elektrischen Pendel bewiesen, die auf einem geriebenen Körper erregte (Glas- oder Harz-) Elektrizität durch Berührung des letzteren mit einem Leiter auf diesen verpflanzen, übertragen läßt, ohne daß dabei die Art der Elektrizität sich ändert. Wir nehmen jetzt zwei durch Glasgriffe (Seite 54) isolierte Messingstangen oder Messingplatten und machen die eine glaselektrisch, die andere ebenso stark harzelektrisch. Daß sie gleich stark elektrisch sind, ersieht man, wenn sie, in gleichem Abstand von dem unelektrischen Markkugeln des Pendels gehalten, dieses gleich weit aus seiner senkrechten Lage abziehen. Berühren wir nun die beiden entgegengesetzt elektrischen Stangen oder Platten, so verlieren beide ihren elektrischen Zustand, sie zeigen sich nach erfolgter Berührung völlig unelektrisch. Daraus folgt, daß die Harz- und die Glas-Elektrizität, sobald sie in gleichen Mengen zusammengebracht werden, sich gegenseitig aufheben oder sich neutralisieren — in ähnlicher Weise, wie sich z. B. auf der Wasseroberfläche die beiden entgegengesetzten Größen, ein Wellenberg (positive Größe) und ein Wellenthal (negative Größe), beim Zusammenstoßen mit einander vereinigen und einander aufheben, sodaß sie eine Ebene bilden. Freilich wissen wir nicht, welche von den beiden entgegengesetzten Elektrizitäten als wirklich positiv oder negativ anzusehen sei, da die elektrischen Erscheinungen selbst uns darüber keinen Aufschluß geben, doch bezeichnet man durchweg die Glas-Elektrizität, wie sie ein mit amalgamiertem Leder-

lappen oder Seidenzeug geriebener Glasstab aufweist, als positive und die Harz-Elektrizität, welche z. B. eine mit Wollenzeug oder Pelz geriebene Siegellackstange äußert, als negative Elektrizität.

Reiben wir eine Glasstange mit einem Kautschuklappen und bringen wir dann den letzteren dem Markkugeln des elektrischen Pendels, welchem wir vorher negative Elektrizität mitgeteilt hatten, nahe, so wird das Kugeln abgestoßen, dagegen von der jetzt genäherten Glasstange angezogen. Da nun gleichartige Elektrizitäten einander abstoßen, ungleichnamige sich aber gegenseitig anziehen, so lernen wir aus dem eben gemachten Versuch, daß während die Glasstange durch das Reiben mit dem Kautschuklappen positiv, der letztere negativ elektrisch wurde. Und aus dieser Wahrnehmung dürfen wir nun gewiß den weiteren Schluß ziehen, daß die in einem Körper in gleicher Menge enthaltenen entgegengesetzten Elektrizitäten (neutrale Elektrizität) durch das Reiben von einander getrennt werden und die eine Art auf dem geriebenen Körper, die andere auf dem Reibzeug merkbar hervortritt, daß sie also durch das Reiben nicht erst entstehen; die beiden mit einander geriebenen Körper zeigen sonach stets entgegengesetzte Elektrizitäten, und zwar in gleicher Stärke.

Fassen wir nun die Grundlehren, nach denen die Symmer'sche dualistische Theorie die elektrischen Erscheinungen erklärt, kurz zusammen. Wie schon angedeutet, führt sie die letzteren auf zwei entgegengesetzte elektrische Fluida, d. h. unsichtbare, unseren Sinnen völlig verborgene, äußerst feine und ausdehnungsfähige elastische Stoffe bzw. Flüssigkeiten, zurück. Gewöhnlich sind die beiden Fluida in allen Teilen eines Körpers in gleicher Menge enthalten, sodas die anziehenden und abstoßenden Wirkungen dieser zwei entgegengesetzten „Elektrika“ sich aufheben (neutralisieren) und der Körper natürlich oder unelektrisch (neutral elektrisch) erscheint; dagegen zeigt sich ein Körper elektrisch und zwar entweder positiv oder negativ elektrisch, je nachdem das eine oder das andere elektrische Fluidum im Überschuss vorhanden ist. Die Teilchen jeder der beiden elektrischen Stoffe stoßen einander ab, dagegen ziehen die Teilchen der positiven die der negativen Flüssigkeit, oder umgekehrt, an, d. h. die Teilchen ungleichartiger (ungleichnamiger) Elektrizitäten suchen sich zu vereinigen und zu neutralisieren; die elektrischen Anziehungen und Abstosungen der Körper sind mithin nur als eine Folge der Anziehungen und Abstosungen, welche die in ihnen enthaltenen elektrischen Flüssigkeiten — die infolge des Widerstandes der nicht leitenden Luft von den Körpern sich nicht entfernen können — aufeinander ausüben, zu betrachten. Beim Reiben eines Körpers werden die beiden in ihm gleichstark vorhandenen, aber neutralisierten elektrischen Fluida — oder kurz: Elektrizitäten — getrennt, die neutrale Elektrizität

wird in positive und negative Elektrizität zerlegt; die eine Art Elektrizität zeigt sich nach dem Reiben am geriebenen Körper, die andere häuft sich im Reibzeug an (siehe Kapitel 5), jeder der beiden Körper hat dann also den erwähnten Überschuß der einen Art Elektrizität erlangt und zeigt sich somit elektrisch: die positive sowohl wie die negative Elektrizität wirkt nun abstoßend bei gleichnamig, anziehend bei ungleichartig elektrischen bezw. unelektrischen Körpern.

Wie schon erwähnt, lassen sich mit Hilfe der eben skizzierten sog. dualistischen Theorie die bekannten Erscheinungen der Elektrizität auf die einfachste Weise erklären. Doch haben einige neuere Physiker die Annahme (Hypothese) von elektrischen Fluidas fallen lassen und an Stelle der letzteren den Welt- oder Lichtäther — ein feiner, elastischer, durch den Weltraum und zwischen den Teilchen der Körper verbreiteter Stoff — gesetzt. Einige der Gelehrten nehmen nun an, die positive Elektrizität eines Körpers entstehe dadurch, daß sich auf demselben jener Äther frei und zwar im Überschuß ansammle, während ein Körper negative Elektrizität zeige, sobald er weniger Äther aufweise, als ein Körper im natürlichen, unelektrischen Zustand. Wir finden in dieser Theorie Anklänge an die Hypothese Franklin's und der anderen Unitarier, welche ja auch nur einen unsichtbaren Stoff als Grundursache der elektrischen Erscheinungen annimmt.

Diese Äther-Theorie spricht wenig an, dagegen hat eine andere neue, ebenfalls auf die Annahme des Weltäthers gegründete Hypothese große Wahrscheinlichkeit für sich. Ihr zufolge rührt die Elektrizität, entsprechend dem Licht, von eigentümlichen Schwingungszuständen des zwischen den Körpermolekülen gelagerten Äthers und vielleicht auch von gewissen Bewegungszuständen der kleinsten Körperteilchen selbst her. Als Vertreter dieser Ansicht sind insbesondere James Clerk Maxwell in London (1831 bis 1880), welcher die elektrischen Vorgänge auf Bewegungen des den Raum erfüllenden Lichtäthers zurückführte, und der durch seine Forschungen über Elektrizität bekannte Leipziger Physiker Prof. Wilh. Gottl. Hankel (geb. 1814), welcher die Elektrizität als kreisförmige Schwingungen (Wirbel) des Äthers ansieht und die Entstehung von positiver oder von negativer Elektrizität der verschiedenen (entgegengesetzten) Richtung der Schwingungen zuschreibt, namhaft zu machen. Wenngleich diese Theorie der betreffs der Entstehung von Licht und Wärme herrschenden neueren Anschauung entspricht, so harret sie doch noch der allgemeinen Ein- und Durchführung; im Großen und Ganzen wird immer noch an der oben ausführlicher behandelten Annahme von zwei entgegengesetzten elektrischen Fluidas festgehalten, obgleich auch diese Hypothese uns über das eigentliche Wesen der Elektrizität noch im Dunkeln läßt. —

Je nach den Mitteln, durch welche die Elektrizität erweckt wird, erhält sie verschiedene Namen. Bisher haben wir nur von der Reibungs-Elektrizität, welche durch Reiben zweier Körper erregt wird, gesprochen. Geschieht die Erregung der Elektrizität durch Berührung zweier verschiedenen Metalle, so nennt man sie Berührungs-Elektrizität (Galvanismus). Außerdem wird Elektrizität durch Temperatur-Veränderung bezw. Wärme, oder aber beim Erwärmen und Abkühlen gewisser Krystalle, oder durch Magnetismus, oder im Körper bestimmter Tiere (Fische) durch eigentümliche Organe erregt, und man spricht demgemäß von Thermo-, Pyro-, Magneto- und tierischer Elektrizität; die in der atmosphärischen Luft auftretende Elektrizität aber bezeichnet man als atmosphärische oder Luft-Elektrizität.

5. Spannungsreihe für Reibungs-Elektrizität.

Das vorige Kapitel hat uns gezeigt, daß beim Reiben eines Körpers die in diesem enthaltene neutrale Elektrizität in positive und negative Elektrizität zerlegt wird und daß dabei die eine Art auf dem geriebenen Körper, die andere Art auf dem Reibzeug merkbar und in übereinstimmender Stärke hervortritt. Die Art der Elektrizität nun, welche der geriebene Körper annimmt, hängt sowohl von seiner eigenen Beschaffenheit und der seiner Oberfläche (Glätte, Politur) als auch von der Natur des Reibzeuges ab. Wir wissen, daß z. B. eine Glasstange, mit einem Kautschuklappen oder mit Wolle gerieben, positiv elektrisch, der Kautschuk und die Wolle aber dabei negativ elektrisch wird; umgekehrt wird eine mit Wolle geriebene Siegellackstange negativ, die Wolle dagegen positiv elektrisch. Oder: eine Schwefelstange zeigt nach dem Reiben mit Wolle negative, nach dem Reiben mit Kollodium positive Elektrizität.

Man hat nun in zahlreichen Versuchen je zwei verschiedene Körper miteinander gerieben und dadurch festgestellt, welche Art der Elektrizität jeder der beiden Körper annimmt; die verschiedenen Körper aber hat man dann in eine Reihe gebracht, dergestalt, daß jeder derselben mit einem der nachfolgenden gerieben positiv, mit einem der vorhergehenden gerieben negativ elektrisch wird, und daß die Erscheinung um so stärker hervortritt, je weiter die Körper in der Reihe auseinander stehen. Die Reihe bezeichnet man als die Spannungsreihe für Reibungs-Elektrizität, weil man die Kraft, vermöge welcher die beiden ungleichartigen Elektrizitäten nach erfolgter Trennung sich wieder zu vereinigen bestrebt sind, ihre Energie oder Spannung nennt. Dahinzielende Versuche und Zusammenstellungen hat namentlich der Berliner Physiker Prof. Peter Theophil Nieß (1805

bis 1883) gemacht und in seiner „Lehre von der Reibungs-Elektrizität“ (Berlin 1853) veröffentlicht. Eine solche Reihe hat folgende Anordnung:

+			
Haare (Raggenfell)	Flintglas	Holz	Guttapercha
Flanell	Baumwolle	Metalle.	Elektrisches Papier
Elfenbein	Leinwand	Kautschuk	Kolloidum (Schießbaumwolle)
Federkieme	Seide	Siegellack	baumwolle)
Bergkrytall	Menschliche Hand	Schwefel	—

Flintglas mit Baumwolle gerieben, ist also positiv, die Baumwolle dagegen negativ elektrisch u. s. w.

6. Elektrische Verteilung (Influenz).

1. Influenz der Leiter. Die angestellten Reibungs- und Pendel-Versuche haben uns gelehrt, daß ein Körper durch Reibung und durch Berührung (Mitteilung) elektrisch werden kann; es giebt aber auch noch einen dritten Weg. Um dies nachzuweisen, stellt man einen unelektrischen, isolierten Leiter, z. B. einen auf einem Glasfuß ruhenden, an beiden Enden gerundeten Metallcylinder (Fig. 69 a b) in die Nähe einer durch eine geriebene Glasstange positiv elektrisch gemachten und ebenfalls isolierten Metallkugel (R). Man bemerkt alsbald, daß die an dem Metallcylinder bei a und b leitend befestigten elektrischen Doppelpendel (an leinenen Fäden hängende Hollundermark-Kügelchen) divergieren, d. h. daß jedes der Pendelpaare, deren Kugeln soeben noch dicht aneinander lagen, auseinander geht (s. Abbildung). Sie verraten hierdurch, daß die Stellen des Cylinders, an welchen sie hängen, elektrisch und die beiden Pendel jedes Paares gleichnamig elektrisch geworden sind; da aber der Cylinder weder gerieben noch von einem elektrischen Körper berührt wurde, so kann in ihm die Elektrizität nur infolge Annäherung der elektrischen Kugel bezw. infolge Fernwirkung der der letzteren eigenen Elektrizität erregt worden sein.

Weitere Untersuchungen ergeben, daß die beiden Enden des Cylinders a und b entgegengesetzt elektrisch sind. Man kann sich davon überzeugen, wenn man einen mit Wolle geriebenen Hartgummistab (negativ elektrisch) an die Pendelpaare bringt: das Pendelpaar a wird von ihm abgestoßen, das Paar b von ihm angezogen. Daraus erkennen wir, daß das der positiv elektrischen Metallkugel (+ E) nächstliegende Cylinder-Ende und Pendelpaar a negativ (—), das entfernte Ende und Pendelpaar b positiv elektrisch geworden. Diese Ladung der Enden mit negativer resp. positiver Elektrizität ist um so stärker, je näher man die Kugel R an den Cylinder heranrückt. Andererseits läßt sich aber auch z. B. durch Anbringung von Doppelpendeln an verschiedenen Stellen des Cylinders leicht beobachten,

daß die Stärke der Elektrizität von den Enden bis zur Mitte des Cylinders stetig abnimmt, ja daß sich in der Mitte des letzteren, da sich hier die Doppelpendel nicht abstoßen, ein unelektrischer Gürtel (Zone) befindet, welchen man den indifferenten Gürtel oder die neutrale Zone nennt.

Das Gesagte kann man durch einen hübschen, von Waszmuth angegebenen Versuch noch in anderer Weise ersichtlich machen, nämlich durch Bestreuen des Cylinders mit Mennige-Schwefel-Pulver. In einem solchen, in einem Pulverglase enthaltenen Gemisch von fein gepulverter Mennige und Schwefel, welches man durch ein über den Hals des Glases gespanntes Stück dichten Gazezeuges beutelt, wird in Folge Reibung der Schwefel negativ, die Mennige positiv elektrisch. Streut man ein solches Pulver auf positiv



Fig. 69. Elektrische Verteilung.

und negativ elektrische Körper, so haftet vermöge der elektrischen Anziehung der Schwefel an den positiven, die Mennige an den negativen Stellen. Wird nun in entsprechender Weise der Metallcylinder a b mit dem Gemisch bestreut, so verteilt sich dasselbe gleichmäßig über seine Oberfläche, so lange der Cylinderelektroskop unelektrisch ist; nähert man ihm jedoch die positiv geladene Metallkugel R, so häuft sich die rote Mennige an dem der Kugel zugewandten, negativ elektrischen Ende a, der gelbe Schwefel aber auf dem entgegengesetzten Ende b an, und diese Wirkung äußert sich um so stärker, je näher R heranrückt; in der Mitte des Cylinders dagegen (indifferente Zone) haftet das Pulver nicht, diese Stelle ist demnach unelektrisch.

Entfernt man die elektrische Kugel R allmählich von dem Leiter a b, so werden die elektrischen Wirkungen immer schwächer, die Doppelpendel fallen zusammen, der isolierte leitende Cylinderelektroskop kehrt in seinen natürlichen, unelektrischen Zustand zurück. Ändern wir den ersten Versuch in der Weise

ab, daß wir einen gerade in der Mitte, wo sich die indifferente Zone befindet, trennbaren isolierten Leiter verwenden und diesen während der Einwirkung des influierenden Körpers R in seine beiden Hälften (a und b) scheiden, so werden die verteilten Elektrizitäten, wenn wir die Kugel R entfernen, an der Wiedervereinigung gehindert und die Hälfte a bleibt mit negativer, die Hälfte b mit positiver Elektrizität geladen — vorausgesetzt, daß sie, vielleicht durch Glas, vollständig isoliert sind, was dadurch geschehen kann, daß jede Hälfte auf einem Glasfuß ruht oder daß bei a und b gläserne Handgriffe angebracht wurden. Ebenso interessant ist es, wenn wir mehrere isolierte Leiter neben einander in der Weise aufstellen, daß die entgegengesetzten Enden je zweier Leiter (Cylinder) durch etwa 1 oder 2 cm große Zwischenräume getrennt sind. Nähert man jetzt einen positiv elektrischen Körper R , so wirkt dieser in der angegebenen Art zunächst verteilend auf den ersten Leiter a , dessen nun bei b angesammelte $+E$ ruft die gleichen Erscheinungen am zweiten Leiter vor u. s. w.; angehängte Pendel werden dies zeigen, gleichzeitig aber erkennen lassen, daß die fortgepflanzte Influenz stetig schwächer wird. Noch sei hervorgehoben, daß die Kraft, mit welcher die erregende positive Elektrizität des Körpers R die ungleichnamige Influenz-Elektrizität des Leiters (bei a) anzieht, zufolge der geringeren Entfernung größer ist als jene Kraft, mit welcher die positive Influenz-Elektrizität des Leiters in b von der gleichnamigen der Kugel R abgestoßen wird.

Wir haben also gesehen, daß in einem unelektrischen isolierten Leiter (Metallcylinder) durch einen ihm genäherten elektrischen Körper (Metallkugel) gleichzeitig beide Arten Elektrizität erregt werden und zwar die ungleichnamige Art an dem ihm zugekehrten, die gleichnamige an dem ihm abgewendeten Ende des Leiters; der elektrische Körper wirkt sonach schon aus gewisser Entfernung (ohne ihn zu berühren) auf den unelektrischen Leiter ein, er trennt und verteilt die in diesem vorhandenen, vorher aber neutralisierten Elektrizitäten. Man nennt diese Fernwirkung des elektrischen Körpers oder die durch denselben in dem unelektrischen Leiter bewirkte Elektrizitäts-Erregung elektrische Verteilung oder Influenz oder auch elektrostatische Induktion und die hervorgerufene (influenzierte) Elektrizität Influenz-Elektrizität; die ungleichnamige Influenz-Elektrizität bezeichnet man auch als „Influenz-Elektrizität erster Art,“ die gleichnamige als solche „zweiter Art.“ Es braucht wohl kaum betont zu werden, daß eine mit negativer Elektrizität geladene Metallkugel in dem unelektrischen Leiter bei Annäherung ebenfalls Influenz-Elektrizität hervorruft, nur zeigt sich dann der Cylinder bei a positiv und bei b negativ elektrisch.

Rieß'scher Verteilungs-Apparat. Daß der Cylinder a b nicht durch Mitteilung, d. i. durch Berührung mit dem elektrischen Körper elektrisch geworden, geht schon daraus hervor, daß der Cylinder beide Arten Elektrizität getrennt aufweist und diese bei Entfernung der Metallkugel schwindet; im anderen Falle — und ebenso bei Erregung der Elektrizität durch Reibung — würde er nur einerlei (neutrale) Elektrizität besitzen und diese in bleibender Stärke behalten, wenngleich die Kugel entfernt würde. Übrigens wird jeder Zweifel beseitigt, wenn man zwischen Metallkugel und Metallstab eine gläserne Scheibe bringt, denn dieser Nichtleiter (Isolator) macht jede Mitteilung von Elektrizität des elektrischen Körpers an den unelektrischen Leiter unmöglich, trotzdem aber lassen sich jene Erscheinungen in ganz derselben Weise beobachten. Eine solche Glascheibe besitzt der Verteilungsapparat von Rieß.

An diesem Apparat (Figur 70) sehen wir zunächst wieder, als die beiden Hauptteile, den Metall- bzw. Messingcylinder (a c) und die Metallkugel (e); beide auch sind wiederum isoliert, indem sie von wagerechten, in Metallhülsen steckenden, an dem hölzernen, metallenen oder gläsernen Stativ f mittelst Schrauben befestigten Glasstäben gehalten werden, jedoch am Stativ auf- und abwärts bewegt werden können. Der mittlere wagerechte Glasstab trägt eine horizontale Glascheibe d; der Mittelpunkt der Kugel e liegt in der Verlängerung des Cylinders a c und ihr höchster Punkt ist von dem unteren Ende des letzteren (a) 2—3 cm entfernt; an dem beiderseits gut abgerundeten Cylinder hängt bei a, b und c je ein elektrisches Pendel (Hollundermark-Kügelchen an etwa 3 cm langen Leinwandfäden). Wird die Metallkugel e mittelst einer geriebenen Glasstange positiv elektrisch gemacht, so werden die bis dahin an dem Cylinder herabhängenden Pendel a und c von diesem abgestoßen und sie nehmen die gezeichnete schräge Stellung ein, während Pendel b in Ruhe weiter verharrt. Wir machen somit hier die gleiche Erfahrung, daß der Cylinder a c, ohne daß die elektrische Kugel ihn berührte oder ein Funke übersprang, elektrisch geworden ist und nur in der Mitte bei b eine unelektrische indifferente Zone bleibt,

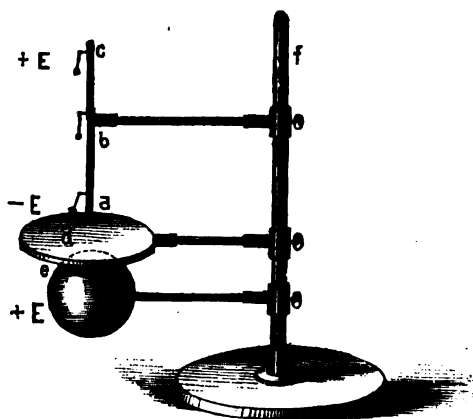


Fig. 70. Elektrischer Verteilungs-Apparat.

und prüft man die Pendel a und c auf die oben angegebene Weise mit der geriebenen, also negativ elektrischen Hartgummi- oder Siegellackstange, so wird man den Cylinder bei a und das dort hängende Pendel negativ, die entfernten Punkte c positiv elektrisch finden. Bringen wir Cylinder und Kugel weiter auseinander, so vermag die letztere keine Wirkung mehr auszuüben. Das Ergebnis dieses Versuchs stimmt sonach mit dem des ersten überein.

Erklärung der elektrischen Influenz. Um die elektrische Verteilung erklären zu können, müssen wir uns der in Kapitel 4 entwickelten Lehre von dem Wesen der Elektrizität erinnern. Wie jeder unelektrische Körper, so ist auch der von uns benutzte isolierte Leiter (Metallcylinder) vor dem Versuch neutral elektrisch (\pm), er enthält beide Arten Elektrizität in gleicher Menge, sodaß sie sich das Gleichgewicht halten (sich aufheben oder neutralisieren), mithin keine elektrische Wirkung äußern. Beim Influenz-Versuch nun wirkt der dem isolierten Leiter genäherte elektrische Körper (Metallkugel) in der Weise auf ersteren ein, daß er die ungleichnamige Elektrizität des isolierten Leiters anzieht, die gleichnamige jedoch abstoßt, daß er also die neutrale Elektrizität in jedem Teilchen des Leiters trennt, und da auf einem Leiter die Elektrizitäten frei beweglich sind, so sammelt sich nicht nur die angezogene, ungleichnamige Elektrizität an der dem elektrischen Körper zugekehrten, die gleichnamige, abgestoßene Elektrizität aber auf der entfernt liegenden Seite des Leiters an, sondern diese Erscheinungen treten auch sogleich hervor, sobald man den elektrischen Körper dem isolierten Leiter genügend genähert hat. Entfernt man aber den elektrischen Körper wieder, welcher durch seine Nähe die Trennung oder Verteilung der neutralen Elektrizität des isolierten Leiters hervorrief, so ziehen sich die beiden Arten Elektrizität des letzteren gegenseitig wieder an, sie vereinigen sich aufs neue zu neutraler Elektrizität und der Leiter erscheint unelektrisch wie vor dem Versuch.

2. Freie und gebundene Elektrizität. Wir haben bei unseren Versuchen als elektrischen Körper eine positiv elektrische Metallkugel benutzt — mit negativ elektrisch geladener Kugel lassen sich natürlich ganz entsprechende Influenz-Erscheinungen erzielen. Es leuchtet wohl ein, daß der isolierte Leiter, d. i. der Metallcylinder a b, positiv elektrisch erscheint wie die Metallkugel, sobald ich beide Körper, statt sie zuletzt voneinander zu entfernen wie vorhin, miteinander in Berührung gebracht habe; denn die positive Elektrizität ist im Übergewicht und die negative (Influenz-)Elektrizität des Cylinders wird durch einen Teil der positiven Elektrizität der Kugel neutralisiert, Kugel und Cylinder sind mithin gleichnamig elektrisch geworden, wie es ja stets nach Berührung eines elektrischen mit einem un-

elektrischen Körper eintritt und wie es uns die Pendelversuche zur Genüge bewiesen haben. Die erfolgte Berührung von Kugel und Cylinder bringt demnach ein ganz anderes Resultat, als wenn man die influierende Kugel von dem isolierten Cylinder entfernt, denn in letzterem Falle tritt der oben geschilderte „Rückschlag“ ein, indem sich die beiden Arten Influenz-Elektrizität vereinigen. Noch anders gestalten sich die Erscheinungen bei folgendem Versuch.

Man bringt Metallkugel und Cylinder einander wieder so nahe, daß sich, wie beim ersten Versuch, die Wirkungen der elektrischen Kugel R äußern, d. h. die Elektrizitäten in dem isolierten Leiter a b getrennt, verteilt sind und die Pendel die in Fig. 69 gezeichnete Lage einnehmen. Berührt man nun, ohne Kugel und Cylinder zu verrücken, den letzteren mit dem Finger, so fallen alsbald die Pendel in ihre natürliche Lage zurück: auf dem Cylinder herrscht jetzt keine natürliche Spannung mehr, denn indem man ihn mit dem Finger berührte, schaffte man der von der positiv elektrischen Kugel durch Influenz in a b abgestoßenen und nach b gedrängten gleichnamigen (+) Elektrizität einen Ausweg, sie entwich durch den Finger und unseren leitenden Körper in die Erde. Trotzdem bleibt der isolierte Cylinder elektrisch, da die an dem der elektrischen Kugel zugekehrten Ende a des Cylinders angehäuften negative Elektrizität von der ungleichnamigen, positiven Elektrizität der influierenden Kugel R angezogen und festgehalten oder, wie der dafür gebräuchliche Ausdruck lautet, gebunden wird und nicht eher aus dem Cylinder abgeleitet werden kann, als bis der elektrische Körper entfernt ist. Nimmt man zunächst den Finger vom Cylinder und dann die Kugel aus dessen Nähe, so fahren alsbald alle Pendel (auch die in der Mitte hängenden) auseinander. Dies kommt daher, daß die vorher bei a gebundene — E infolge Entfernung des influierenden Körpers R frei beweglich wird, sich über die ganze Oberfläche des isolierten Leiters a b verbreitet und sich auch den Pendeln mitteilt, sodaß nun diese in den Besitz gleichnamiger Elektrizität gelangten Körperchen abgestoßen werden, divergieren. Von dem tatsächlichen Vorhandensein negativer Elektrizität in Cylinder und Pendeln überzeugt der Augenschein, indem eine mit Wolle geriebene, gleichnamig elektrische und den Pendeln genäherte Stiegellackstange die Markkugeln abstößt, ein mit Wolle geriebener, positiv elektrischer Glasstab dieselben jedoch anzieht. Der Cylinder ist sonach jetzt negativ geladen und zwar durch den Einfluß eines positiv elektrischen Körpers (R), ohne daß dieser von seiner eigenen Elektrizität dem Cylinder etwas mitgeteilt hat.

Der Versuch hat uns gelehrt, daß wir die mit Hilfe eines influierenden (verteilenden) Körpers in einem isolierten Leiter erregten bzw. getrennten

oder verteilten Elektrizitäten je nach der Art entweder ableiten oder binden können; die der Elektrizität des influierenden Körpers gleichnamige Elektrizität des isolierten Leiters vermögen wir (bei Gegenwart des ersteren) leicht zur Erde abzuleiten, die ungleichnamige dagegen — Influenz-Elektrizität „erster Art“ — wird an der dem influenzierenden Körper nächstliegenden Seite des Leiters „gebunden“ und erst nach Entfernung des letzteren „frei“. Sobald dies geschehen, erscheint der zweite Körper, d. i. der durch Influenz elektrifizierte und völlig isolierte Leiter, andauernd elektrisch. Selbstverständlich können die letzteren Versuche ebenfalls mit dem auf Seite 71 beschriebenen Verteilungs-Apparat angestellt, und ebenso kann die verteilende Metallkugel durch eine geriebene, positiv elektrische Glasstange oder, falls man den isolierten Leiter mit positiver Elektrizität

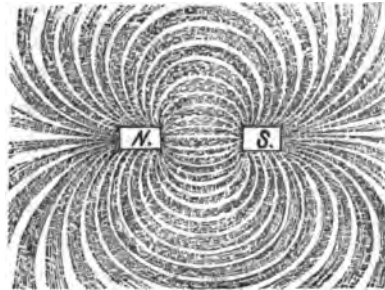


Fig. 71. Magnetische Kurven.

laden will, durch eine geriebene, negativ elektrische Siegellack- (Harz-) Stange, die man dem Cylinder nähert, ersetzt werden. Auch treten die Influenz-Erscheinungen sehr hübsch an dem weiterhin zu beschreibenden Goldblatt-Elektroskop hervor.

3. Elektrisches Feld. Influenz der Nichtleiter. Wie schon aus dem Vorangegangenen erhellt, erstreckt sich die verteilende Wirkung eines elektrischen Körpers nur auf eine

gewisse Entfernung, sie macht sich nur bis zu einem gewissen, nach allen Seiten des elektrischen Körpers gleichweit reichenden Abstand bemerkbar. Diesen Wirkungskreis, dessen Mittelpunkt der verteilende Körper bildet, nennt man das elektrische Feld, auch wohl die elektrische Wirkungssphäre oder die elektrische Atmosphäre. Man denkt sich das elektrische Feld von elektrischen Strom- oder Kraftlinien durchzogen, deren Bedeutung für die Elektrizität etwa mit der der Strahlen für das Licht zu vergleichen ist; doch sind die Kraftlinien, welche die Bahnen sich bewegender Punkte darstellen, im allgemeinen krummlinig, die Lichtstrahlen dagegen stets geradlinig. Wir werden bei Besprechung der magnetischen Erscheinungen gleichfalls solchen Kraftlinien begegnen, den bekannten „magnetischen Kurven“ (Fig. 71). Wie diese Kurven in anschaulicher Weise, indem man auf ein über den Magnet gelegtes Papierblatt Eisenfeilspäne sibt, sichtbar gemacht und dann auch leicht fixiert werden können, so lassen sich auch nach Ricco's Angabe die zwischen zwei stark elektrifizierten Messingkugeln auftretenden elektrischen Kraftlinien ersichtlich machen, „indem man mittels

eines Haarfiebes Lycopodium-Pulver (Bärlappfamen, Herenmehl) oder feinste Feilspäne dazwischen fallen läßt und sie in einer Dunkelkammer durch einen Sonnenstrahl erleuchtet“.

Je kräftiger elektrisch der influierende (verteilende) Körper ist und je vollkommener der influenzierte Körper (Metallcylinder) leitet, desto leichter geht die elektrische Verteilung vor sich. Immerhin aber können auch Nichtleiter durch Influenz elektrisch werden, wengleich sich Unterschiede gegen die Elektrifizierung der Leiter ergeben. Statt des leitenden Metallcylinders a b setzen wir hier einen kurzen dicken Stab oder Cylinder von Harz, Hartgummi oder dergl. der Wirkung einer genäherten positiv elektrischen Metallkugel aus. Bei genügender Dauer der Influenz zeigt der Harzcylinder die Erscheinungen des Metallcylinders (z. B. beim Versuch mit Rennige-Schwefel-Pulver); auch vereinigen sich in ihm die getrennten Elektrizitäten wieder — der Cylinder erscheint wieder unelektrisch —, sobald der verteilende Körper entfernt wird und die Influenz nicht zu lange andauert hat; macht man aber den oben erwähnten Versuch mit einem in zwei Hälften zu zerlegenden Harzcylinder, so zeigen sich die letzteren, falls man sie nach kurz andauernder Einwirkung des Metallkörpers von einander trennte, unelektrisch und erst nach längerer Influenz beobachtet man das, was bei dem leitenden Metallcylinder als sofortige Folge der Annäherung der verteilenden Metallkugel eintritt: die eine Hälfte erscheint positiv, die andere negativ elektrisch.

Somit sehen wir, daß die Influenz der elektrischen Nichtleiter langsam vor sich geht bzw. schwächer auftritt, als bei den Leitern. Man führt dies darauf zurück, daß in Nichtleitern die elektrischen Fluida nicht frei beweglich wie in den Leitern, sondern unbeweglich sind; deshalb erklärt man sich den Vorgang der Influenz bei Nichtleitern in anderer Weise und wendet auch andere Bezeichnungen dafür an. Man nimmt an, daß die Influenz der Nichtleiter durch eine ähnliche „Polarisation“ wie bei den Magneten erfolgt. Da wir in dem Abschnitt über Magnetismus näher darauf eingehen werden, sei hier nur Folgendes bemerkt. Die Einwirkung des influierenden Körpers (Metallkugel) auf den Nichtleiter erstreckt sich zunächst darauf, daß entsprechend der elektrischen Verteilung binnen kurzer Zeit die beiden elektrischen Fluida oder Elektrizitäten jedes Moleküls voneinander getrennt oder — wie der hierfür gebräuchliche Ausdruck lautet — polarisiert werden; da sie aber nicht frei beweglich sind, vermögen sie nicht aus ihren Molekülen herauszutreten und sie vereinigen sich bald wieder zu neutraler Elektrizität, nachdem sie infolge Entfernung des influierenden Körpers der Einwirkung der verteilenden Kraft desselben entrückt sind. Diese Vorgänge in den Nichtleitern nennt man dielektrische

Polarisation und die Nichtleiter selbst auch Dielektrika oder dielektrische Körper (S. 57). Dauert aber die Influenz an, so geht langsam und allmählich durch Leitung die Elektrizität von einem Molekül zum andern über.

4. Geschichtliches. Bereits Otto von Guericke (S. 10) und Stephan Gray (S. 17. 55) hatten Influenz-Erscheinungen wahrgenommen, doch sie nicht zu deuten vermocht, auch dem Leipziger Physiker Winkler, welcher dieselben auf einen beim Reiben eines Körpers gewissermaßen durch Verdunstung elektrischer Materie um den letzteren sich bildenden elektrischen Dunstkreis (Atmosphäre) zurückführen wollte, gelang dies nicht. Erst Sohn Canton (1718—1772) ist als der eigentliche Entdecker der elektrischen Influenz zu bezeichnen, denn er entdeckte nicht nur viele hierhergehörige Erscheinungen, sondern lieferte 1753 auch den Nachweis, daß einerseits die Art der hervorgerufenen Elektrizität abhängig von dem Reibzeug und der Oberfläche des geriebenen Körpers, nicht aber dem letzteren eigentümlich sei, und daß andererseits bei Annäherung eines isolierten Leiters an einen elektrischen Körper das diesem zugekehrte Ende des Leiters stets die der Elektrizität des elektrischen Körpers entgegengesetzte Elektrizität zeige. Wilke (S. 63), welcher weitere Untersuchungen anstellte, fügte 1757 dann hinzu, daß diese Influenz-Elektrizität nur in der Nähe des elektrischen Körpers bemerkbar sei und mit der Entfernung desselben wieder schwinde. Aepinus (S. 63) machte gleiche Beobachtungen an Nichtleitern und führte die Influenz-Erscheinungen auf die im elektrischen Körper vorhandene Elektrizität, deren Wirkung sich überhaupt auf eine gewisse allseitige Entfernung („elektrischer Wirkungskreis“) hin erstreckte und, möglicherweise durch Vermittelung der (elektrisierten) Luft, jene Erscheinungen hervorrufe, zurück. Damit war das Wesentliche gefunden; eine vollständige Theorie dieser wie aller elektrischen Erscheinungen aber gab Michael Faraday i. J. 1839.

Auf den Gesetzen der elektrischen Verteilung beruhen drei physikalische Apparate: das Elektroskop, der Elektrophor und die Influenzmaschine, von welchen wir zunächst nur die beiden ersteren besprechen wollen.

7. Elektroskop.

Seit man sich eingehender mit der Erregung der Elektrizität beschäftigte, ist man auch bestrebt gewesen, über die Stärke derselben oder über den elektrischen Zustand eines Körpers Aufschluß zu erhalten. Bereits im vorigen Jahrhundert bemühte man sich, Elektrizitäts-Anzeiger oder Elektroskope zu verfertigen, welche auf dem Gesetz der elektrischen Abstufung beruhen. Die einfachsten derselben, das elektrische Pendel und

die elektrische Nadel, haben wir schon in Kapitel 3 kennen gelernt, selbst die unter Einwirkung einer geriebenen Glas- oder Harzstange hüpfenden Markkugeln (Seite 52) können wir als Elektrizitäts-Anzeiger, freilich ein zu rohes Hilfsmittel, betrachten. Der Abt Jean Ant. Nollet in Paris suchte in den 40er Jahren des vor. Jahrh. die Stärke der elektrischen Erregung mit Hilfe zweier frei nebeneinander hängenden Fäden, die bei Annäherung eines elektrischen Körpers auseinanderfahren, zu bestimmen; J. F. Waïtz benutzte um dieselbe Zeit Seidenfäden mit anhängenden kleinen Metallgewichten, Canton verwendete zwei Leinen- oder Seidenfäden mit Mark- und Korfkugeln, der englische Naturforscher Josef Priestley (1767) an Kokonfäden hängende Flaumfedern; die jetzt übliche Form der Elektroskope schreibt sich jedoch von Cavallo (Seite 63) her, welcher i. J. 1780 feine, beweglich aufgehängte Silberdrähte zum Schutz gegen äußere Einflüsse in ein Glas brachte („Flaschen-Elektrometer“); Volta ersetzte bald darauf die Silberdrähte nebst Korfkugeln durch dünne, glatte Strohhälmschen und der Engländer Abraham Bennet 1787 durch schmale Streifen von Blattgold. Das Bennet'sche

Goldblatt-Elektroskop wird noch jetzt als das empfindlichste und brauchbarste anerkannt und fast allenthalben benutzt. Es beruht, um dies noch einmal zu betonen, auf der Erscheinung, daß zwei nebeneinander aufgehängte und von demselben Körper elektrifizierte elektrische Pendel sich abstoßen und zwar umso mehr, je stärker sie elektrisch geworden sind. Das Goldblatt-Elektroskop ist mithin, gleich dem Volta'schen, Cavallo'schen u. a., ein Doppelpendel-Elektroskop und besteht im Wesentlichen, wie Abbildung 72 zeigt, aus einem mittelst Siegellack in ein Glasröhrchen eingekitteten Messing-(Metall-)Stäbchen, welches am oberen Ende eine Messingscheibe (Fig. 72) oder eine Messingkugel (Fig. 73) und am unteren zwei gleichgroße schmale Blattgoldstreifen trägt; die letzteren nebst dem unteren Teil des Messingstäbchens (Glasröhrchens) sind, um sie gegen Beschädigung, Luftzug und Feuchtigkeit zu schützen und um zugleich eine schnelle Zerstreung der Elektrizität zu verhindern, in einem Glasgefäß eingeschlossen, in dessen Hals das durch das Glasröhrchen oder aber (falls man dieses fortläßt) durch Schellack isolierte und durch einen Kork hindurchgeführte Metallstäbchen eingesetzt ist. Die Form des Glases thut nichts zur Sache: es kann eine cylindrische oder eine bauchige Flasche (Fig. 72) oder eine auf einem hölzernen Fuß festgekittete Glaskugel sein, nur nehme man, des leichten Verschlusses wegen, enghalsige Gefäße. Es empfiehlt sich, das



Fig. 72.
Goldblatt-Elektroskop.

obere Ende des Drahtes mit Gewinde zu versehen, um nach Belieben eine Kugel oder Scheibe aufschrauben zu können.

Ein derartiges Elektroskop kann man sich ohne Mühe selbst anfertigen. Man durchbohrt einen Kork, welcher in die zu verwendende enghalsige, etwa 15—20 cm hohe Flasche genau paßt, steckt in die erhaltene Öffnung ein Glasröhrchen, sodaß es ein Stück auf der unteren Seite hervortragt, befestigt in dem Röhrchen mittelst Siegellack einen am oberen Ende eine Metallkugel tragenden Messingdraht in der Weise, daß das untere, keilförmig zugefeilte Ende aus dem Röhrchen herausragt, und klebt an die Drahtspitze zwei je 4—6 cm lange und 3 oder 4 mm breite, glatt geschnittene Streifen aus Blattgold, welche man sich herstellt, indem man das Blattgold zwischen glattes Papier legt und mit scharfem Messer und Lineal in Streifen schneidet; die miterhaltenen Streifen des Deckpapiers werden natürlich vor dem Ankleben der Goldblättchen entfernt. Das eigentliche Elektroskop ist nun fertig, und nachdem die Flasche durch Erhitzen gut getrocknet worden, setzt man das erstere, d. h. den Kork nebst Röhrchen u., in den Hals fest ein. Gewöhnlich bestreicht man dann noch den oberen Teil der Flasche und die Glasröhre mehrmals mit einer starken Lösung von feinem Siegellack in Spiritus und zuletzt noch ein- oder zweimal mit reiner Schellacklösung, damit ein harter, glänzender Überzug erzielt werde. — Wer statt der Goldblättchen Strohhälmchen, zarte trockene Grasspitzen oder auch Stückchen Binsenmark verwenden will, muß in das untere Ende des Messingdrahtes zwei Löcher bohren, in welches je ein aus feinstem Silberdraht gemachtes und ein Hälmchen tragendes Häkchen gehängt wird.

Benutzung. Das Elektroskop dient zur Wahrnehmung geringer Elektrizitäts-Mengen. Diese Elektrizität kann ihm entweder durch Berührung mitgeteilt oder in ihm durch elektrische Verteilung erregt werden. Im ersteren Falle berührt man die Scheibe oder Kugel des Messingstäbchens mit einem elektrischen Körper, z. B. einer geriebenen Glasstange; hierdurch werden Scheibe und Goldblättchen gleichnamig elektrisch, die letzteren stoßen sich deshalb ab und bilden einen Winkel (Fig. 72. 73), welcher um so größer wird, je kräftiger die mitgeteilte Elektrizität ist.

Gewöhnlich jedoch, namentlich wenn man das Vorhandensein stärkerer Elektrizität annimmt, läßt man diese durch Annäherung des elektrischen Körpers, also durch Influenz auf das Elektroskop einwirken. Nähert man der Scheibe oder Kugel des letzteren z. B. einen positiv elektrischen Körper — geriebene Glasstange oder die zu den Influenz-Versuchen verwendete Metallkugel —, so fahren die Goldblättchen (Doppelpendel)

auseinander, weil nach den im vorigen Kapitel behandelten Gesetzen der elektrischen Influenz der positiv elektrische Glasstab die neutrale Elektrizität des dem Elektroskop eigenen Metallkörpers in positive und negative Elektrizität zerlegte, die negative in die Messingscheibe (Messingknopf) heranzog, die gleichnamig positive aber abstieß bis in die Blattgoldpendel, welche nun auch gleichnamig elektrisch geworden, sich ebenfalls gegenseitig abstoßen. Berührt man nun, ohne den influierenden Körper zu entfernen, die Messingscheibe des Elektroskops mit dem Finger, so wird durch diesen die positive Elektrizität der Goldblättchen zur Erde abgeleitet, sodaß die letzteren, jetzt wieder unelektrisch, zusammenfallen, während die negative Elektrizität infolge der Gegenwart des influierenden Körpers in der diesem naheliegenden Messingscheibe gebunden bleibt. Sie wird jedoch frei beweglich, sobald ich den Finger von dem Leiter, d. i. die Messingscheibe, wegnehme und dann auch den verteilenden Körper entferne, verbreitet sich über die ganze Oberfläche des isolierten Messingstabes nebst Scheibe und macht die Blättchen gleichfalls negativ elektrisch, sodaß diese sich aufs neue abstoßen. Das Elektroskop ist somit durch den Einfluß eines positiv elektrischen Körpers mit negativer Elektrizität dauernd geladen (Seite 73) — ebenso kann man selbstverständlich das Elektroskop mittelst eines negativ elektrischen Körpers, z. B. einer mit Wolle geriebenen Siegellackstange, positiv elektrisch laden —. Nähert man nun dem negativ geladenen Elektroskop einen ebenfalls negativ elektrischen Körper, etwa die eben erwähnte Siegellackstange, so gehen die Goldblättchen noch weiter auseinander, da infolge Annäherung der Stange eine neue Menge gleichnamiger Elektrizität in die Pendel getrieben und deren negative Spannung somit vergrößert wird; im umgekehrten Falle, also wenn man dem negativ geladenen Elektroskop einen positiv elektrischen Körper, z. B. jene geriebene Glasstange, wieder nähert, wird die Divergenz (Abstoßungswinkel) der Goldblättchen verringert, die negative Spannung vermindert, weil der Glasstab vermöge seiner verteilenden Wirkung positive Elektrizität in die Pendel treibt und negative aus ihnen herauszieht, um sie in der Messingscheibe oder Kugel zu „binden“.

Aus den gemachten Beobachtungen ergibt sich, daß das Elektroskop einen doppelten Zweck erfüllt: erstens zeigt es das Vorhandensein von freier Elektrizität in einem zu prüfenden Körper und zweitens (d. h. immer im geladenen Zustande) die Art dieser Elektrizität, ob positive oder ob negative, an. Doch ist hierbei Eins zu bemerken, daß man nämlich aus dem Zusammengehen der Pendel allein — also aus der Verminderung der elektrischen Spannung oder der elektrischen Anziehung — den Schluß, der genäherte Körper sei sicher elektrisch, nicht ohne Weiteres ziehen darf; denn die Divergenz der Pendel nimmt auch ab, wenn man dem geladenen

Elektroskop einen nicht elektrifizierten Leiter, z. B. die Hand, nähert. Diese Erscheinung ist ebenfalls eine notwendige Folge der Gesetze der elektrischen Verteilung: die der Metallscheibe des Elektroskops eigene Elektrizität wirkt verteilend auf die neutrale Elektrizität der genäherten Hand und trennt dieselbe in positive und negative, die abgestoßene gleichnamige entweicht aus der Hand durch unseren gutleitenden Körper in den Boden, die angezogene ungleichnamige dagegen bleibt in der Hand gebunden und zieht überdies einen Teil der Elektrizität des Elektroskops zu sich heran in die Scheibe, um sie hier zu binden, wodurch naturgemäß die elektrische Spannung der Pendel gemindert wird und diese zusammengehen.

In den Gesetzen der elektrischen Verteilung (Influenz) haben wir nun auch die eigentliche Erklärung für die in den früheren Kapiteln behandelten Erscheinungen der Anziehung und Abstoßung. Wenn wir, wie in Kapitel 3 beschrieben, einen elektrischen Körper, z. B. die geriebene Glasstange, dem im natürlichen Zustande befindlichen und an einem Seidensfaden hängenden Markkugeln des Pendels nähern — ohne die beiden Körper in Berührung kommen zu lassen —, so trennt er die beiden Elektrizitäten des Kugelhens, die gleichnamige kann (weil der Seidensfaden isoliert) nicht entweichen und wird auf die hintere Seite der Kugel zurückgedrängt, die ungleichnamige aber häuft sich auf der Vorderseite an, weil sie von der Elektrizität des elektrischen Körpers angezogen wird und zwar infolge der geringeren Entfernung mit einer Kraft, welche größer ist als die die Abstoßung der gleichnamigen Elektrizität bewirkende (s. Seite 70); die Kraft also, welche das Kugeln gegen die Glasstange hintreibt (anzieht), ist dem Unterschied der beiden entgegengesetzten Kräfte — Anziehung und Abstoßung — gleich, die Anziehung aber überwiegt. Berührt nun die angezogene Markkugel den positiv elektrischen Glasstab, so wird ihre vermöge der vorher erfolgten elektrischen Verteilung erregte negative Elektrizität durch eine gleichgroße Menge positiver Elektrizität des Glasstabes aufgehoben (neutralisiert), die positive Influenz-Elektrizität der Kugel bleibt jedoch, weil eine Ableitung fehlt, auf dieser zurück und bewirkt, daß das Kugeln den Glasstab flieht — „es wird abgestoßen“ —, solange, bis man die letztere Elektrizität durch Berührung der Kugel mit dem Finger zur Erde ableitet. Hängt das Kugeln an leinenem Faden, so leitet dieser die abgestoßene Elektrizität ab und die Anziehung des Kugelhens ist kräftiger. Da in einem elektrischen Nichtleiter, wie wir (Seite 75) gesehen haben, durch den genäherten elektrischen Körper sehr schwer und langsam die elektrische Verteilung bewirkt werden kann, so ergibt sich auch, daß z. B. ein Schellack- oder Harzkugeln bei Annäherung eines elektrischen Körpers nicht angezogen wird.

Elektrometer. Auf den vorangehenden Seiten haben wir dargethan, welche Bedeutung das Elektroskop hat und wie die Divergenz der Pendel eines Elektroskops, d. i. die Weite des Auseinandergehens derselben oder der von ihnen dabei gebildete Winkel, einen Schluß auf die Stärke der elektrischen Spannung zu ziehen gestattet; je kräftiger die Elektrizität in den Blättchen, desto größer der von ihnen gebildete Winkel. Immerhin aber beruht der gezogene Schluß nur auf oberflächlicher Schätzung; um die Bestimmung mit mehr Sicherheit vornehmen zu können, verwendet man Elektrometer. Die gewöhnlichen Elektrometer (Fig. 73) sind ganz nach Art der Elektroskope eingerichtet, nur befestigt man auf dem Boden des Gefäßes — welches aus diesem Grunde weit sein muß — einen in ein Stückchen Holz eingelassenen (elfenbeinernen) Gradbogen, an welchem man die Abweichung oder den Ausschlagswinkel der Pendel (Goldblättchen, Strohhälmchen) ablesen kann; die Einrichtung der Elektrometer läßt somit eine Messung der elektrischen Abstoßung und dadurch eine messende bezw. abschätzende Vergleichung der mitgetheilten Elektrizitäts-Menge oder der elektrischen Spannung zu. Andere und wichtigere Elektrometer, so die Coulomb'sche Drehwage u. a., werden wir später kennen lernen, ebenso das Goldblatt-Elektroskop mit Kondensator, das Quadranten-Elektroskop und verwandte Apparate. Angefügt sei hier nur noch, daß man, wie Beech 1876 gezeigt hat, das Bild der divergierenden Goldblättchen auf einen Schirm projizieren und damit einem größeren Publikum vor Augen führen kann, indem man das Elektroskop — dessen Gefäß zu diesem Zweck jedoch nicht cylindrisch oder bauchig sein darf, sondern flache, ebene Glasplatten als Wände haben muß — zwischen die Beleuchtungs- und Projektionslinse eines Skioptikons, worüber in der „Optik“ Näheres mitgeteilt wird, bringt.



Fig. 73. Strohhalmelektrometer.

Im allgemeinen sei noch daran erinnert, daß man bei Herrichtung eines Goldblatt-Elektroskops oder -Elektrometers das Glas von solcher Weite bezw. Goldblättchen von solcher Kürze nehmen möge, daß die letzteren beim Auseinandergehen die Glaswände nicht berühren können, weil die Blättchen in diesem Falle schwer loszubringen sind und bei dahinzielenden Bemühungen oft Zerreibungen eintreten, abgesehen von der Unsicherheit der ferneren Versuche. In Hinsicht auf letzteren Punkt hat schon Cavallo vor etwa 100 Jahren eine Vorkehrung getroffen: er klebte an die inneren Seiten

des Glases, nach denen die Pendel sich hinbewegten, Stanniolstreifen, um die etwa anschlagenden Blättchen zu entladen und so die abgegebene Elektrizität in den Boden hinabzuleiten; der Apparat wird dadurch auch empfindlicher. Die Einrichtung empfiehlt sich für Strohhalm- oder Binsenmark-Elektroskope noch heute, bei Verwendung von den empfindlicheren Blättchen aus Blattgold jedoch beachtet man besser das eben Erwähnte oder benützt an Stelle des Blattgoldes das etwas schwerere Zwischgold.

8. Der Elektrophor.

Die früheren Kapitel haben uns gesagt, wie wir durch Reiben von Glas oder Harz Elektrizität erregen und dieselbe dann durch Berührung anderen Körpern mitteilen bezw. mit Hilfe eines elektrischen Körpers in



Fig. 74. Elektrophor.

einem anderen nach den Gesetzen der elektrischen Verteilung Influenz-Elektrizität hervorrufen können. Die erzielten Mengen waren indessen nur verhältnismäßig schwache und genügen weiteren Forschungen nicht. Als weit ergiebiger Quelle für Elektrizität besitzen wir, ohne noch zu den Elektrifizier-Maschinen schreiten zu müssen, den (das) Elektrophor oder Elektrizitätsträger — eine Vorrichtung, welche auf der elektrischen Verteilung beruht.

Der Elektrophor besteht, wie Abbildung 74 zeigt, aus einem Harzkuchen a, welcher entweder auf einer etwas größeren Metallplatte oder auf einem mit Stanniol überzogenen Brett c aufliegt oder aber in eine hölzerne mit Stanniol überzogene bezw. eine metallene Form, den sog. Teller, gegossen ist; dem Kuchen wird ein metallener, mittelst seidener Schnüre oder Glasgriff (Fig. 75) isolierter metallener Deckel b aufgesetzt.

Herstellung. Ein solcher Elektrophor läßt sich mit einfachen Mitteln unschwer selbst anfertigen. Man macht zunächst eine Form, indem man aus einem gut getrockneten, festen, etwa 2 cm starken Brett eine kreisrunde Scheibe von 30—45 cm Durchmesser schneidet, dieselbe am Rand schön abrundet und glättet, an einem warmen Ort vollständig austrocknet und sie während der Zeit mehrmals mit heißem Ölstrich tränkt; sollte sie sich nach vollendetem Austrocknen geworfen haben, so wird sie mit dem Hobel

wieder geebnet und nochmals mit heißem Firnis getränkt. In dieser Weise wird das Holz gegen die Einwirkung von Feuchtigkeit geschützt und verdient dann den Vorzug gegenüber einer blechernen Form, da eine solche, wenngleich sie sauberer aussieht und sich leichter herstellen läßt, bei Temperaturwechsel sich zu sehr ausdehnt oder zusammenzieht und der eingegossene Harzkuchen daher Risse und Sprünge erhält. Die hölzerne Form ist fertig, sobald man um den Rand der Scheibe einen genügend langen und den Boden derselben 6—9 mm überragenden Holzspan (Schachtelspan) genagelt, diesen gleichfalls mit heißem Firnis getränkt und nun das Ganze allseitig sorgfältig mit Stanniol oder unächtem Goldpapier beklebt hat.

Um den Harzkuchen herzustellen, schmilzt man in einer neuen irdenen oder einer messingenen Pfanne über mäßigem Feuer vorerst 1 Teil Wachs, setzt nun 1 Teil Terpentin und dann unter allmählicher Verstärkung des Feuers und beständigem Umrühren nach und nach in kleinen Portionen 5 Teile Schellack hinzu, wobei man stets abzuwarten hat, bis die vorher zugeetzte Portion wenigstens breiig geworden ist. Nachdem die Stoffe geschmolzen und das Gemisch gleichmäßig geworden, nimmt man die Pfanne vom Feuer, erwärmt die Form, stellt sie vollständig wagerecht und gießt von der Mischung soviel hinein, daß die Form eben voll wird. Da die Oberfläche des Kuchens vollständig glatt sein muß, so hat man beim Gießen die nötige Vorsicht walten zu lassen, um Bildung von Blasen zu vermeiden; sollten sie sich doch einstellen, so schmilzt man sie durch ein darüber gehaltenes glühendes Eisen oder man schneidet die Erhöhungen mittels eines scharfen Messers weg. In entsprechender Weise schmilzt man, um es hier gleich zu vermerken, den nach längerem Gebrauch rissig gewordenen Kuchen um: man führt in einer Entfernung von etwa 3 cm über der Harzmasse ein größeres glühendes Eisen herum. Über Unfälle, wie Rissigwerden u., hat man in der Regel nicht zu klagen, wenn der Kuchen frei liegt (Fig. 74 a). Ein solcher wird angefertigt, indem man auf ein völlig glattes, ebenes und leicht mit Öl bestrichenes Blech einen Rand aus Pappe stellt und in diese so erhaltene einfachste Form die Harzmasse gießt, nach deren Erstarren man den Kuchen ohne Mühe von Blech und Papier zu trennen vermag; derselbe wird dann umgekehrt, so daß die untere, völlig glatte und blankte Seite zur oberen wird, auf ein vollkommen ebenes und wagerecht liegendes, mit Stanniol überzogenes Brett (Fig. 74 c) gelegt und in dieser Weise auch aufbewahrt, damit er in der Sommerwärme nicht verzieht. Neuerdings verwendet man statt des Harzkuchens gern eine kreisrunde, 6—10 mm dicke, auf ein Metallblech („Teller“) gelegte Platte aus vulkanisiertem Kautschuk — sog. Hartkautschuk oder Ebonit, Kammasse —, da sie, obgleich sie anderseits weit teurer ist, einen vorzüglichen Elektrophor darstellt.

Der Deckel oder Schild des Elektrophors wird im Durchmesser um 6—10 cm kleiner gemacht als letzterer und entweder aus einer geglätteten bzw. geschliffenen Zink- oder anderen Metallplatte — in welchem Falle man einen aufwärts gerichteten Rand anzulöten hat — oder besser aus einem gut ausgetrockneten, 1 cm starken Brett geschnitten; die Holzscheibe ist am Rande sorgfältig zu glätten und, damit der Deckel leitend wird, durchweg mit Stanniol (Zinnfolie) zu überziehen. Als isolierenden Griff bringt man entweder eine Handhabe aus Glas (Fig. 75) oder drei durchaus reinseidene Schnüre, welche mit ihren oberen Enden zusammengeknötet werden (Fig. 74), auf der Oberseite des Deckels an; der Glasgriff wird mittels Siegellack in eine Vertiefung eingekittet, die Schnüre sind in kleine, abgerundete, in den Deckel eingeschlagene Drahtlösen zu knüpfen.



Fig. 75. Elektrophor alter Form.

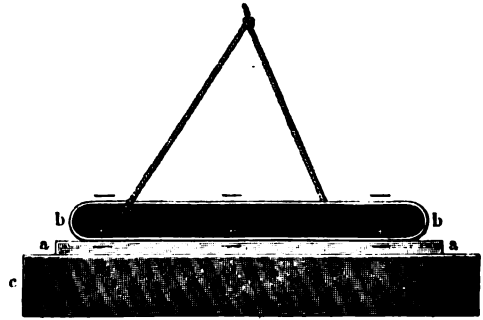


Fig. 76. Elektrophor, Durchschnitt.

Der in der beschriebenen Weise erzielte Elektrophor leistet sicherlich ganz treffliche Dienste. Eines Elektrophors, wie er in früheren Zeiten vielfach gebraucht wurde, jetzt jedoch längst seiner Unzweckmäßigkeit wegen verlassen worden, sei nur nebenbei noch gedacht; die beigegebene Zeichnung 75 veranschaulicht ihn. Die Abbildung läßt erkennen, daß der Teller nur zur Hälfte mit Harzmasse gefüllt ist; das ist schon ein Fehler, denn der Rand der Form darf ja den Kuchen nicht überragen. Der Deckel ist von Blech, und um ihm mehr Steifheit zu geben, sind noch drei in der Mitte zusammenlaufende Blechstreifen aufgelötet. Das in der Mitte des Deckels angelötete Stück Messingröhre enthält ein Gewinde, sodaß der Glasgriff eingeschraubt werden kann.

Gebrauch und Wirkung des Elektrophors. Reißt man den Harzkuchen mit einem Katzenfell, dessen vier Fußzipfel in die Hand genommen werden, oder mit einem Fuchsschwanz, indem man das Reibzeug bei jedem Schläge von einer Seite zur anderen über den Kuchen hinführt,

so wird er an der Oberfläche (Fig. 76 a) negativ elektrisch*). Das Vorhandensein einer genügenden Menge Elektrizität erkennt man daran, daß der Kuchen bei Annäherung des Knöchels kleine Funken giebt. Setzt man nun den isolierten Deckel gleichmäßig auf den Kuchen und hebt ihn, wiederum ohne ihn zu berühren, isoliert wieder empor, so zeigt er sich bei Prüfung mittels des Elektroskops unelektrisch; berührt man jedoch den auf dem Kuchen liegenden Deckel mit dem Finger, so erweist er sich nach dem Aufheben stark elektrisch, sodaß von ihm auf einen genäherten Leiter, z. B. die Hand, ein mit knisterndem Geräusch begleiteter kleiner Funke überspringt.

Diese Vorgänge erklären sich nach den Gesetzen der elektrischen Verteilung in folgender Weise: Die negative Elektrizität der Oberfläche des Kuchens (Fig. 76 a) wirkt trennend oder verteilend auf die in dem aufgesetzten Leiter, also dem Deckel, zu neutraler Elektrizität vereinigten Elektrizitäten, die positive (+) wird angezogen und an der unteren Seite des Deckels (Fig. 76 b) festgehalten, die negative (—) aber abgestoßen und an die Oberseite des letzteren hingetrieben. Hebt man nun den Deckel, ohne ihn berührt zu haben, empor, so vereinigen sich die gleichgroßen Mengen der beiden Elektrizitäten in ihm wieder zu neutraler Elektrizität, da der letztere zufolge seiner Entfernung der verteilenden Wirkung des Harzkuchens entrückt ist, und er erscheint demnach unelektrisch. Berührt man jedoch den auf dem Kuchen liegenden Deckel mit dem Finger, so leitet man die abgestoßene negative Influenz-Elektrizität zur Erde ab, während die positive an der Unterseite des Deckels gebunden zurückbleibt; sie wird aber frei, sobald man nach Entfernen des berührenden Fingers den Deckel mittels der isolierenden Handhabe emporhebt, verbreitet sich über die ganze Oberfläche des Deckels und kann ihm durch Nähern eines Leiters, z. B. des Fingers, entzogen werden, indem sie dann in Form jenes elektrischen Funkens auf den Leiter übergeht.

Der geschilderte Vorgang wiederholt sich bei jedem Aufsetzen und Aufheben des Deckels und zwar so lange, als die Kuchenoberfläche elektrisch ist, und dies bleibt sie bei aufgelegtem Deckel und trockener Luft geraume Zeit, denn dem Kuchen selbst wird ja durch das beschriebene Verfahren keine Elektrizität entzogen. Die Eigenschaft, daß er längere Zeit die in ihm durch Reiben oder Reiben erregte Elektrizität zu bewahren vermag („Elektrizitätsträger“), beruht aber auch und wesentlich auf dem Einfluß der leitenden Unterlage bezw. des Tellers (Fig. 76 c). Die erregte negative Elektrizität des Kuchens wirkt nämlich verteilend auf die Elektri-

*) Während des Winters sind Holz und Elektrophor vor dem Gebrauch längere Zeit in ein warmes Zimmer zu stellen oder auf andere Weise zu erwärmen, sonst gelingt es nicht, den Apparat elektrisch zu machen.

zitäten der Unterlage, indem sie die $-E$ derselben abstößt, sodaß diese nach dem Erdboden entweicht, während sie die $+E$ derselben an die Oberseite der Unterlage, also nach der unteren Kuchenfläche zieht, wo dieselbe festgehalten, gebunden wird. Diese gebundene $+E$ der Unterlage wirkt nun aber auch auf die $-E$ des Kuchens bindend, sodaß dieser auf leitender Unterlage weit kräftiger elektrischer als auf nichtleitender, anderseits aber auch die gebundene $-E$ des Kuchens verhindert wird, auf einen leitenden, mit der Kuchenoberfläche in Berührung gebrachten Körper überzugehen; von letzterem Umstande haben wir uns überzeugt, als wir den aufgesetzten Deckel wieder emporhoben, ohne ihn berührt zu haben, und ihn unelektrisch fanden. Daß aber die positive Influenz-Elektrizität der Unterlage wirklich auf die untere Kuchenfläche übergeht, wie vorhin bemerkt, erkennt man beim Abheben des Kuchens von der Unterlage: der Übergang der $+E$ zeigt sich dann durch kleine, knisternde Fünkchen. Wir ersehen hieraus, daß der nicht leitende Kuchen nun auf beiden Flächen mit entgegengesetzten Elektrizitäten geladen ist, sie ziehen sich gegenseitig an, beugen somit einer Zerstreuung an die Luft vor und bewirken, daß der Elektrophor geraume Zeit seinen elektrischen Zustand bewahrt. Das Gesagte wird zudem dadurch bewiesen, daß wenn man mehrere dem Harzkuchen ähnliche nichtleitende Platten aufeinanderlegt, der untersten eine leitende Unterlage (wie beim Elektrophor) giebt und dann die oberste durch Peitschen bezw. Reiben elektrisch macht — beim Auseinandernehmen jede der Platten auf der einen Fläche die positive, auf der anderen die negative Elektrizität aufweist, ganz entsprechend der auf leitender Unterlage ruhenden einen Platte (Harzkuchen) des Elektrophor.

Wie wir erfahren haben (s. vor. Seite), entweicht die negative Elektrizität des auf dem Kuchen aufgesetzten Deckels, sobald man den letzteren mit dem Finger berührt; man erhält dabei einen kleinen Funken. Berührt man aber nach dem Aufsetzen des Deckels Unterlage (Teller) und Deckel gleichzeitig mit dem Daumen und einem zweiten Finger, so gehen die $-E$ des Deckels und die $+E$ der Unterlage durch die Hand zu einander über und man bekommt einen elektrischen Schlag. Den Vorgang, daß der Deckel, welchem während des Aufliegens auf dem Kuchen durch Berühren mit dem Finger die $-E$ entzogen wurde, nach dem Aufheben mittelst der isolierenden Schnüre oder Handhabe bei Annäherung eines leitenden Körpers einen Funken positiver Elektrizität giebt, macht man sich zu nuzze, indem man z. B. dem Deckel den Messingknopf einer Leydener Flasche — welche später besprochen werden soll — nahe bringt und auf diesen den Funken überspringen läßt; wiederholt man dies öfter hintereinander, so wird die Flasche mit positiver Elektrizität ziemlich stark geladen; ein guter Elektrophor von mittlerer Größe giebt aus seinem Deckel Funken von 2 und 3 cm

Länge. Da man dies beliebig oft wiederholen kann, so vermag man auf einfache Weise während geraumer Zeit — ein Elektrophor behält unter günstigen Umständen seine Elektrizität Monate hindurch — ziemliche Mengen von Influenz-Elektrizität zu gewinnen; man ist überhaupt im stande, mit Hilfe des Elektrophors alle wesentlichen Erscheinungen der Elektrizität zu zeigen, er ist somit einer der wichtigsten elektrischen Apparate und geeignet, in vielen Fällen, namentlich bei kleineren Versuchen, die Elektrifiziermaschine zu vertreten. Für weitere Versuche muß man natürlich eine solche beschaffen; zur Erzeugung größerer Elektrizitäts-Mengen durch Verteilung, also auf dem Prinzip des Elektrophors beruhend, dient die später zu beschreibende Influenzmaschine.

Geschichtliches. Im Verfolg der Influenz-Erscheinungen (s. S. 76) zeigte Wilke im Jahre 1762, daß eine elektrifizierte Glastafel ihre beiderseitigen (abnehmbaren) Belegungen viele Tage und Wochen hindurch zu elektrifizieren im stande sei. Volta vertauschte 13 Jahre später, 1775, die Glastafel mit einem anderen Nichtleiter, einer mit abnehmbaren Belegungen versehenen Harzplatte — wie sie zuerst der Turiner Physiker Beccaria 1767 benutzte und zu laden vermocht hatte —, und da er auch ihre dauernde Wirksamkeit erkannte, führte er sie unter dem Namen „Elettroforo perpetuo“ (immerwährender Elektrizitätsträger) als neuen Apparat in die Wissenschaft ein, wogegen die eigentliche Erfindung durch Wilke unbeachtet blieb, sodaß P. Th. Rieß dazu bemerkte: . . . „es ist der in der Geschichte der Erfindungen nicht selten vorkommende Fall, daß der Eine das Verdienst hat, den Stuhl gezimmert, der Andere gezeigt zu haben, wie man sich darauf setzt“. Volta richtete den Apparat praktischer ein, indem er der nichtleitenden Platte als Unterlage eine leitende Platte gab und einen isolierten scheibenförmigen Leiter als Deckel aufsetzte. Der Göttinger Professor G. Chr. Lichtenberg (1742—1799) benutzte bald einen Elektrophor von 6 Fuß, später einen solchen von 7 Fuß, das Wiener physikalische Kabinet sogar einen solchen von 8 Fuß Durchmesser. Lichtenberg wies mit ihm das Irrtümliche der Franklin'schen Theorie von einer Art Elektrizität nach und zeigte, daß pulverförmige Körper, beim Durchschieben elektrisch geworden, auf dem Ruchen eines elektrifizierten Elektrophors zu eigentümlichen Gruppen, den sog. Lichtenberg'schen Figuren — worüber später Näheres — sich anordnen.

Berger's Elektrophor. In Form und Einrichtung weicht von dem vorstehend beschriebenen ein Elektrophor ab, welchen S. Berger („Humboldt“ 1883 S. 386) angiebt. Er ist einfach und sehr ausgiebig und besteht im Wesentlichen aus einem 3—4 cm hohen und 7—8 cm im

Durchmesser haltenden cylindrischen Kästchen von dünnem Blech, wie bei-
stehende Abbildung 77 veranschaulicht: es wird von der Hand an einem
Seidenfaden gehalten, der durch zwei gegenüberliegende Löchlein im oberen
Teil des Mantels hindurchgezogen ist.

Reibt man dieses Kästchen einige Male leicht auf einer Glasscheibe —
doch kann man auch jeden anderen Nichtleiter verwenden — hin und her,
so wird diese positiv elektrisch, in dem Kästchen selbst findet eine elektrische Ver-
teilung statt, die positive Elektrizität geht durch die führende Hand sogleich
fort. Hebt man es jetzt an dem Seidenfaden in die Höhe, so läßt sich ein
hübscher Funken daraus ziehen. — Legt man die Glasscheibe auf ein etwa
2—3 cm hohes, innen an Boden und Wänden mit Stanniol beklebtes

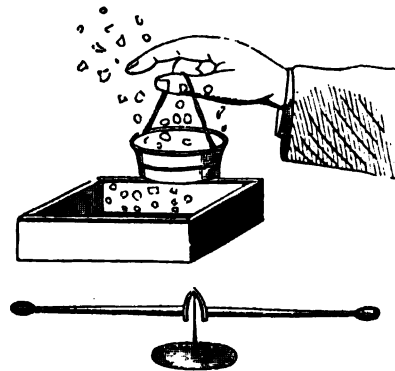


Fig. 77. Berger's Elektrophor.

Holzkästchen (s. Abbildung unten),
in welchem sich Korfkugeln, Papier-
schnitzel oder sonstige leichte Kör-
perchen befinden, so hüpfen diese
schon bei dem ersten Strich in die
Höhe, fallen wieder zurück u., man
sieht also den elektrischen Mark-
kugeltanz, wie man ihn beim Dre-
hen einer Elektrifiziermaschine beob-
achten kann. Oder legt man auf
das Blechkästchen ein Häufchen fei-
ner Hollundermarkschnitzel, reibt,
letztere mit der Hand verdeckend,
einige Male auf der Glasscheibe

hin und her, und hebt man es dann an dem Seidenfaden empor, so fliegen
die Schnitzel „vulkanartig“ empor. — Stellt man ferner in das Holz-
kästchen eine Messingnadel (s. Abbildung) auf eine Spitze und reibt man
die das Holzkästchen bedeckende Glasscheibe mit dem Blechkästchen bei-
spielsweise über dem rechten Ende der Nadel, so hebt sich dieses bis zur
Glasscheibe, und reibt man über dem niedergegangenem Ende stärker,
so hebt sich dieses. Reibt man aber die Glasscheibe in der Längsrichtung
der Nadel wiederholt vom rechten nach dem linken Ende (oder umgekehrt)
und zurück, so hebt sich abwechselnd das rechte und das linke Nadelende,
immer das Ende, von welchem man zu streichen angefangen hat, während
dasjenige, über welchem das Blechkästchen stehen bleibt, sich senkt. Hebt
man nun das Blechkästchen, doch nicht am Seidenfaden, auf und stellt
man es über dem emporgerichteten Nadelende auf die Glasscheibe, so
senkt sich das letztere sofort, manchmal auch nach wiederholtem Aufheben
und Wiederaufstellen.

Die gehabten Erscheinungen lassen sich in einfacher Weise nach den Gesetzen der elektrischen Influenz erklären: Durch die Reibung wird das Glas positiv, das Blechkästchen negativ elektrisch. An der Stelle, wo das Blechkästchen aufstehen bleibt, binden sich beide Elektrizitäten, an der aber, welche das Kästchen verlassen hat, wird die Glas- (positive) Elektrizität frei und zieht das Nadelende an, und hebt man es nun ab, so entweicht seine negative Elektrizität durch die Hand. Stellt man es jetzt über das andere Ende der Nadel, so wirkt die Glaselektrizität auf die neutrale Elektrizität des Kästchens verteilend, die abgestoßene positive wird wieder durch die Hand abgeleitet, die negative dagegen bindet die positive Elektrizität der betreffenden Glasstelle; die Folge ist, daß sich das nun nicht mehr angezogene Nadelende senkt, wogegen das andere bis zur Decke steigt, d. h. nur dann, wenn der über ihm befindliche Glasteil noch Elektrizität besitzt, während im entgegengesetzten Falle die Nadel ihre ursprüngliche wagerechte Lage wieder annimmt.

Noch Einiges läßt sich verfolgen. Streicht man mit dem Blechkästchen so über die Glas tafel hin und her, daß sein Weg fortwährend spitze Scheitelwinkel mit der Richtung der Nadel bildet, so dreht sich die letztere unter abwechselndem Auf- und Niederschwanke fortwährend um ihre Achse, da sie beständig von der soeben geriebenen Stelle seitlich angezogen wird. Stellt man die Nadel in dem Holzkästchen so hoch, daß sie ganz nahe an die dasselbe bedeckende Glascheibe reicht, und reibt man dann sehr rasch in einem Kreise von dem Halbmesser der halben Nadellänge auf letzterer herum, so gerät die Nadel in Rotation, sie bewegt sich um die eigene Achse und setzt dies auch noch einige Zeit fort, nachdem man zu reiben aufgehört hat.

9. Verbreitung der Elektrizität auf der Oberfläche leitender Körper. Spitzenwirkung.

Zu einem ersten Versuch benutzen wir eine hohle, auf einem isolierenden Glasfuß ruhende und oben mit einer Öffnung O versehene Metallkugel A (Fig. 78). Macht man die Kugel durch Berührung oder durch Verteilung elektrisch und berührt man dann mit einem sog. Probenscheibchen P — d. i. ein an einem dünnen mit Schellack überzogenen Glasstäbchen oder an einem Hartkautschuk-Federhalter befestigtes geglättetes Messingscheibchen mit 1—2 cm Durchmesser — irgend eine Stelle ihrer äußeren Oberfläche, so wird letzteres, wie man an einem Elektroskop leicht nachweisen kann, ebenfalls elektrisch; wird nun aber das wieder unelektrische Scheibchen durch die Öffnung O hindurch in das Innere der Kugel gebracht und die letztere an ihrer inneren Fläche berührt, so zeigt es sich bei Prüfung

am Elektroskop noch völlig unelektrisch, wodurch bewiesen wird, daß das Innere der Kugel ebenfalls unelektrisch ist, bezw. daß sich die der Kugel mitgeteilte Elektrizität nur über ihre Oberfläche verbreitet und hier ihren Sitz hat. Einige fernere Versuche werden dies bestätigen.

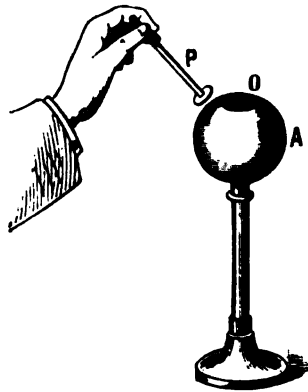


Fig. 78. Verbreitung der Elektrizität auf der Oberfläche.

Eine auf einem Glasfuß ruhende oder an einer isolierenden seidenen Schnur aufgehängte Metallkugel (Fig. 79 A) wird elektrisch gemacht. Bedeckt man sie nun mit zwei an gläsernen Handhaben gehaltenen metallenen Halbkugeln B B, welche gerade so groß sind, daß sie die Kugel völlig umschließen, so erweist sich die letztere nach Entfernung der Halbkugeln — auch wenn sie von diesen nur ganz kurze Zeit umgeben resp. berührt wurde — als unelektrisch, weil die Elektrizität auf die Halbkugeln, welche während der kurzen Zeit die eigentliche Oberfläche der Kugel bildeten, überging. Das Wegnehmen der Halbkugeln geschieht derart, daß man sie, in jeder Hand eine, mit einem Ruck auseinanderzieht und dabei die Kugel nicht wieder berührt.

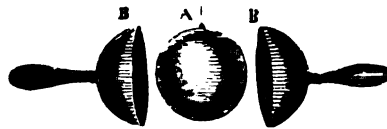


Fig. 79. Elektrische Halbkugeln.

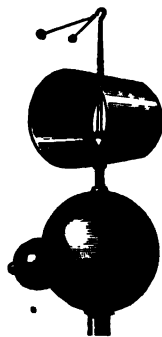


Fig. 80. Elektrisches Rohr.

In noch anderer Weise erfieht man die angegebene Art der Ausbreitung der Elektrizität durch folgenden Versuch. Man befestigt ein etwa 20—25 cm langes und 10—12 cm weites, aus Metall (Blech) oder aus mit Stanniol überzogener Pappe hergestelltes, beiderseits offenes Rohr mittels eines Metallstäbchens auf dem Konduktor einer später zu beschreibenden Elektrifiziermaschine und hängt sowohl auf als in dem Rohr ein Paar elektrische Pendel auf (Fig. 80). Wird nun die Maschine in Bewegung gesetzt, d. h. der Konduktor elektrisch, so gehen, wie die Abbildung veranschaulicht, nur die Kugeln der äußeren Pendel auseinander, weil sie durch die auf der Oberfläche des Rohres sich verbreitende Elektrizität gleichnamig elektrisch werden und deshalb sich gegenseitig abstoßen; dagegen zeigen die inneren Pendel durch Verharren in

ihrer Ruhelage an, daß auf der Innenfläche des Rohres keine Elektrizität vorhanden ist.

Der schon mehrfach erwähnte berühmte englische Forscher Michael Faraday wies die Wahrheit des Satzes, daß beim und nach dem Elektrifizieren eines elektrischen Leiters im Innern desselben sich keine Spur von Elektrizität vorfinde, in ebenso origineller als überzeugender Weise nach, indem er einen großen leitenden Würfel aus Holzstäben und Kupferdraht, mit Stanniol überspannt, anfertigen ließ und in diesen, mit einem Elektroskop in der Hand, selbst hineinstieg. Trotzdem nun aber der Würfel mit Hilfe einer Elektrifiziermaschine von außen sehr stark elektrifiziert wurde, so zeigten die Pendel jenes Elektroskops doch keinerlei Erregung. Man kann diesen Versuch in einfacherer Form wiederholen: Stellt man zunächst auf eine isolierte Metallscheibe einen Metallstab, an welchem ein mittels eines feinen Drahts befestigtes Markkugeln als elektrisches Pendel herabhängt, so gewahrt man bei Mitteilung von Elektrizität an die Platte, wie der leitende Metallstab das ebenfalls gleichnamig elektrisch gewordene Kugeln lebhaft abstößt; deckt man jedoch ein halbkugelförmiges Drahtgitter (Fliegengitter) über die Vorrichtung, so hängt das Pendel wie im unelektrischen

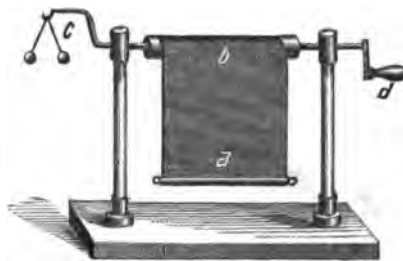


Fig. 81. Elektrisches Rouleau.

Zustande schlaff herab, weil sich jetzt alle Elektrizität auf die Oberfläche der Vorrichtung (Metallgitter) begeben hat. Dasselbe beobachtet man, wenn man das halbkugelförmige Drahtgitter, in dessen Innerem als elektrisches Pendel ein Paar Goldblättchen aufgehängt sind, auf eine isolierende Platte stellt und dasselbe stark mit Elektrizität ladet: auch hier bleiben die Pendel unelektrisch. Diese an den hohlen bezw. durchbrochenen Leitern gemachten Wahrnehmungen geben für die Praxis noch den Wink, daß die Metallteile an elektrischen Apparaten, die zur Ansammlung von Elektrizität bestimmten Leiter — mit welchen sich spätere Kapitel beschäftigen werden — nicht massiv zu sein brauchen, sondern daß sie ebenso gut hohl sein können.

Recht geeignet und lehrreich betreffs der Oberflächen-Verteilung der Elektrizität ist der mit dem sog. elektrischen Rouleau angestellte Versuch. Auf zwei Glasfüßen (Fig. 81) ruht eine von einem Stab getragene, etwa 10—15 mm im Durchmesser haltende Rolle oder Walze aus Blech; an dem einen Ende des Stabes, d, ist eine Kurbel, an dem anderen, c, ein Paar elektrische Pendel angebracht. Auf die Walze wird mit seinem einen

Ende ein breiter Streifen ächtes Gold- bezw. Metallpapier *h a* aufgeklebt; wenn die Leimstelle trocken, so rollt man das Papier, das oben also mit den Pendeln *c* in leitender Verbindung steht und unten um einen gleichbreiten Glasstab oder ein Stück Glasröhre befestigt worden, mittels der Kurbel *d* auf die Blechwalze auf. Elektrifiziert man nun das zusammengerollte Metallpapier, so gehen die beiden gleichnamig elektrisch gewordenen Pendel sehr weit auseinander; dieser Ausschlag der Pendel (die Divergenz)

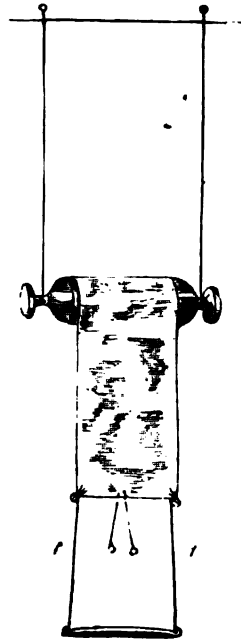


Fig. 82. Elektrisches Rouleau.

nimmt aber stetig ab, je mehr Papier von der Rolle herabgelassen wird, und umgekehrt, obgleich die Masse des Leiters fortwährend die gleiche bleibt.

Dieser Versuch läßt sich etwas abändern, indem man das Rouleau abweichend einrichtet. Als Rolle dient entweder ein an jedem Ende in einen Knopf endigender Metallcylinder, oder ein beiderseits mit einem durchbohrten Kork geschlossenes Blechrohr oder auch eine cylindrische, an beiden Enden gut zugerundete und durchweg mit Stanniol überklebte Röhre aus Pappe (Figur 82). Am bequemsten wird wohl das Blechrohr zu beschaffen sein. Durch die durchbohrten Korken desselben — ebenso kann man auch bei der Papp-Stanniol-Röhre verfahren — steckt man einen Holzstab, welcher an beiden Seiten aus der Rolle herausragen muß, damit man hier einen Knopf oder eine Kugel zu befestigen vermag. Zwischen Knopf und Rohr ist der Stab durchbohrt, um je eine ca. 50 cm lange Seidenschnur hindurchziehen zu können, oder mit einer Rinne versehen (Fig. 82); jedenfalls müssen die Fäden hier so fest verknüpft sein, daß sie sich nicht

drehen. Die oberen Enden der Schnüre werden beim Versuch entweder in der einen Hand oder besser durch irgendwo eingeschlagene Nägel gehalten. Der Streifen Metallpapier wird in der oben angegebenen Weise auf der Rolle bezw. mit dem unteren Ende um eine Glasröhre, an deren Enden wieder je eine Seidenschnur (Fig. 82 *f t*) geknüpft ist, befestigt, und das Pendelpaar — Markfögelchen an leinenen Fäden — hängt am unteren Ende des Goldpapiers. Zieht man, nachdem das Papier um das Rohr gewickelt und elektrifiziert worden, an den unteren Schnüren *f t*, so wickelt sich, während infolge Aufrollens der oberen Schnüre die ganze Vorrichtung in die Höhe gehoben wird, das Papier ab; gleichzeitig aber vermindert sich die Divergenz der Pendel,

welche beim Elektrifizieren des Apparats, d. h. bei zugerolltem Papier, stark auseinander gingen, stetig, ebenso wie sie wieder gleichmäßig zunimmt, sobald man das Goldpapier sich wieder zusammenrollen läßt. —

Fragen wir nun nach der Erklärung der wahrgenommenen Erscheinungen. Wir wissen, daß die Teilchen gleichnamiger Elektrizität sich gegenseitig abstoßen. Ist nun irgend ein leitender Körper elektrisch gemacht, mit der einen oder der anderen Art freier Elektrizität geladen, so wirken die Teilchen dieser freien Elektrizität abstoßend aufeinander und entfernen sich daher so weit, bis ein Nichtleiter ihrem Entweichen ein Ziel setzt. Naturgemäß wird also die abgestoßene Elektrizität aus dem Innern des isolierten Leiters nach außen auf die Oberfläche desselben getrieben, während umgekehrt eine Bewegung der der Oberfläche mitgetheilten Elektrizität von außen nach innen und eine Ansammlung derselben im Innern eben wegen der sich abstoßenden Elektrizitätsteilchen nicht statthaben kann. Befindet sich der Leiter in einem für die Elektrizität leicht durchdringlichen Raum, so wird sie sich selbst von der Oberfläche des ersteren aus noch weiter zerstreuen; gewöhnlich aber ist der Leiter von einem allgemein verbreiteten Nichtleiter, der Luft, umgeben, welcher unter gewöhnlichen Verhältnissen die Elektrizität zurückhält, so daß sie sich nur über die Oberfläche des Leiters zu verbreiten vermag. Ist die Oberfläche klein, so wird naturgemäß die über sie verbreitete Elektrizität beispielsweise auf elektrische Pendel eine weit stärkere Wirkung ausüben, als wenn sich dieselbe Elektrizitätsmenge auf einer größeren Oberfläche ausbreitet (wie uns die Versuche mit dem elektrischen Rouleau dargethan haben), denn im ersteren Falle hat sich die Elektrizität mehr zusammengedrängt, die Dichte oder Dichtigkeit der elektrischen Schicht ist beträchtlicher, als im zweiten Falle. Wir haben also die wichtige Erfahrung gemacht, daß mit der Verkleinerung der Oberfläche eines Leiters die Dichte der auf demselben vorhandenen Elektrizität und damit auch ihre Anziehungs- und Abstoßungskraft wächst, und daß bei gleichgroßer Elektrizitätsmenge und Vergrößerung der Oberfläche die umgekehrten Verhältnisse Platz greifen. Als Dichte oder Dichtigkeit der Elektrizität bezeichnet man, um dies nochmals besonders hervorzuheben, die auf einer Flächeneinheit vorhandene Elektrizitätsmenge.

Vergleichen wir nun verschiedene elektrische Körper hinsichtlich der Dichte oder der Verteilung der Elektrizität auf ihrer Oberfläche, indem wir das auf Seite 89 erwähnte Probefleischchen oder eine an einem entsprechenden isolierenden Griff befestigte kleine metallene Probekugel an verschiedene Stellen jedes Körpers anlegen und dann an das Elektroskop bringen — dessen Pendel uns durch matteren oder kräftigeren Ausschlag die kleinere oder größere Elektrizitätsmenge, welche an der berührten Stelle

des elektrischen Körpers haftete und bei der Berührung auf die Probekugel überging, angeben —, so werden wir lernen, daß die Art der Verteilung der Elektrizität bezw. die elektrische Dichte verschiedener Stellen des Körpers von der Form der Körper abhängt.

Auf der Oberfläche einer isolierten, frei stehenden leitenden Kugel verbreitet sich, wie wir uns schon (s. Fig. 78) überzeugt haben, die Elektrizität völlig gleichmäßig, die elektrische Schicht hat überall dieselbe Dichte, auf gleichen Flächenteilen ist die gleiche Elektrizitätsmenge vorhanden. Dies verlangt schon das Gesetz der Ebenmäßigkeit (Symmetrie) und des elektrischen Gleichgewichts, da ja alle Flächenteile einer Kugel gleichweit von der Mitte entfernt sind. Prüft man dagegen z. B. einen eiförmigen, mit einem recht stumpfen und einem spitzen Ende versehenen isolierten Leiter, so findet man die geringste Dichtigkeit der Elektrizität an den Stellen schwächster Krümmung, d. i. gegen das stumpfe Ende, die bedeutendste dagegen an der Spitze. Dies kommt daher, daß sich die einzelnen Teilchen der Elektrizität infolge der gegenseitigen Abstoßung möglichst weit voneinander entfernen, also sich vorzugsweise an den entferntesten Hervorragungen ansammeln. Wäre dies nicht der Fall, würde die mitgeteilte Elektrizität unfern vom Mittelpunkt des Körpers sich anhäufen, so würde sie das elektrische Gleichgewicht stören, indem sie vermöge ihrer Stärke eine verteilende (influierende) Wirkung auf die den inneren Punkten des Körpers eigene neutrale Elektrizität ausüben, dieselbe in positive und negative trennen oder verteilen und somit neue Anziehungs- und Abstoßungs-Vorgänge herbeiführen würde; von einer Gleichgewichtslage, einem Ruhezustande der Elektrizität könnte dann hier nicht mehr die Rede sein.

Wie auf dem eiförmigen Körper, so sammelt sich überhaupt auf länglichen Leitern die Elektrizität hauptsächlich an den vom Mittelpunkt entferntesten Teilen, d. i. den Enden bezw. den stärker gekrümmten Stellen an; beispielsweise häuft sie sich an den abgerundeten Enden eines Metallcylinders (vergl. S. 69) am stärksten, in der Mitte seiner Oberfläche am schwächsten an, die elektrische Dichtigkeit nimmt mithin von der Mitte nach den Enden hin zu. Je mehr ein Körper von der Kugelgestalt abweicht, desto ungleichmäßiger wird die Verbreitung der Elektrizität; stets aber häuft sie sich an den von der Mitte des Körpers entfernteren Teilen an und zwar um so beträchtlicher, je mehr diese Teile hervortragen, je dünner und je gekrümmter sie sind, sodaß der Satz allgemeine Gültigkeit beanspruchen darf: Die Stellen stärkster Krümmung oder Zuspitzung zeigen die größte elektrische Dichtigkeit. Solche Stellen oder Teile eines Leiters sind: Kanten, Ecken, Spitzen. Zum Teil ist der Satz schon durch die bisher gemachten Erfahrungen bewiesen, einige neue Versuche werden uns volle Bestätigung bringen.

Zunächst können wir uns leicht überzeugen, daß eine leitende Schelbe die größte elektrische Dichte am Rande aufweist. Einen anderen einfachen, aber lehrreichen Versuch giebt Mach an: Man fertigt aus Pappe, die mit Stanniol überzogen worden, ein beiderseits offenes Prisma, versteht es rechts und links mit einem isolierenden Glasgriff und bringt an der unteren Spitze ein Paar an Leinenfäden hängende Hollundermark-Kügelchen *a* an (Fig. 83). Elektrifiziert man das Prisma und drückt man es mittels der Glasgriffe zusammen, so schlagen die Pendel *a* am weitesten aus, sobald die Vorrichtung die auf der Abbildung links gezeichnete Form angenommen hat, weil die Elektrizität an dieser Stelle des Prisma, als einer der beiden hervorragendsten Spitzen, sich am stärksten angesammelt hat und mithin kräftigere Wirkung ausübt als vorher bei weniger scharfen Spitzen (Figur rechts).

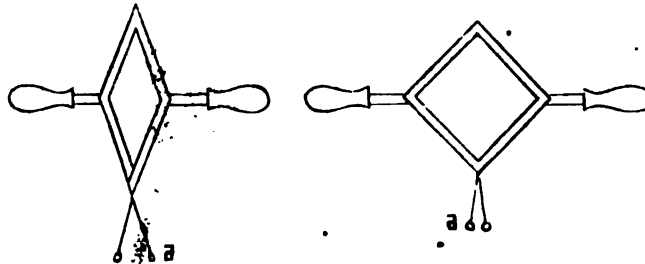


Fig. 83. Elektrisches Prisma.

Je mehr sich die Elektrizität an einem Punkte anhäuft, je größer hier ihre Dichtigkeit ist, desto eher tritt der Fall ein, daß sie hier den Widerstand der nichtleitenden Luft überwindet, d. h. sich an die umgebende Luft zerstreut oder an dieselbe übergeht, ausströmt. Es bedarf keiner Erklärung weiter, wenn wir sagen, daß dieses Ausströmen der Elektrizität in erster Linie von Spitzen aus stattfindet. Um nähere Beobachtungen machen zu können, setzt man am bequemsten eine Metallspitze auf den Konduktor einer Elektrifiziermaschine. Wird die Maschine bewegt und somit Elektrizität entwickelt, so strömt die letztere durch die Spitze lebhaft aus, und nähert man der Spitze die Hand, so hat man die Empfindung, als werde Luft auf die Hand geblasen. Dieser bemerkbare Luftstrom entsteht dadurch, daß die den elektrischen Körper (Metallspitze) berührenden Luftteilchen gleichnamig elektrisch und mithin abgestoßen werden und dies um so kräftiger, je größer die Dichte der Elektrizität auf dem Körper ist; an Spitzen entweicht daher die elektrifizierte Luft so energisch, daß sie sich der entgegengehaltenen Hand als Luftstrom oder „elektrischer Wind“ fühlbar macht und z. B., falls die Spitze wagerecht ist, eine genäherte

Kerzenflamme zur Seite weht. Die Abstoßung zwischen Spitze und Luft ist aber gegenseitig, sodaß die von der Spitze abgestoßene strömende Luft einen Rückstoß auf die Spitze ausübt und die letztere, falls dieselbe beweglich ist, selbst in Bewegung gesetzt wird, und zwar erfolgt diese Bewegung oder Umdrehung der Spitze in der der Strömung oder dem elektrischen Winde entgegengesetzten Richtung. Dies läßt sich hübsch durch das elektrische Flug- oder Spitzenrad veranschaulichen. Dasselbe besteht (Fig. 84) aus einem, besser aber aus zwei oder drei einige Centimeter langen dünnen Drähten mit zugespitzten, nach entgegengesetzten Seiten umgebogenen Enden, wels' letztere, nachdem die Drähte in der Mitte platt geschlagen und kreuzweis aufeinander gelötet, beim Drehen nach ein und derselben Richtung ihre Spitzen wenden; mittels der in der Mitte des Rädchens angebrachten

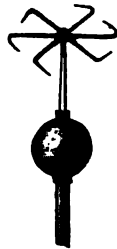


Fig. 84.
Elektrisches Spitzenrad.

Vertiefung wird es auf die Spitze des auf dem Konduktor der Maschine befestigten Metallstäbchens gesetzt, auf welcher es nun frei drehbar schwebt. Bringt man die Maschine in Gang, so strömt die Elektrizität durch die Drahtspitzen aus und das Rädchen beginnt sich in einem der Ausströmungsrichtung entgegengesetzten Sinne zu drehen. Entsprechende Verhältnisse von Rückstoß (Reaktion) ausströmender Flüssigkeiten oder Gase werden wir später kennen lernen. Einen Beweis dafür, daß in der That nur die zwischen den elektrischen Spitzen und der berührenden Luft herrschende Abstoßung als die bewegende Kraft anzusprechen ist, haben wir auch noch in dem Umstande, daß in luftleerem Raum eine Bewegung des Rädchens nicht vor sich geht.

Da ein mit einer Spitze versehener elektrischer Leiter die ihm mitgeteilte oder in ihm erregte Elektrizität infolge Ausströmens derselben aus der Spitze rasch verliert und also nicht oder nur schwach dauernd elektrisch gemacht werden kann, so ergiebt dies für die Praxis den Fingerzeig, bei Herstellung von leitenden Körpern oder Apparaten, welche die Elektrizität behalten sollen, alle eckigen Formen, scharfe Kanten und Spitzen zu vermeiden, vielmehr die Gegenstände allseitig abzurunden; sollen sie dagegen die Elektrizität rasch abgeben, so braucht man nur Spitzen anzubringen. Und aus der Thatfache, daß Elektrizität bei bedeutender Dichte und Spannung den Widerstand der Luft und anderer unvollkommenen Nichtleiter überwindet und an dieselben übergeht, folgt der Wink, bei Vorhandensein solcher Elektrizität die besten Isolatoren anzuwenden (vergl. S. 57).

Die Wirkung der Spitzen bezw. das Ausströmen von Elektrizität aus denselben äußert sich — abgesehen von den im Dunkeln beim Ausströmen an Spitzen und Ecken zu beobachtenden Lichterscheinungen, die uns später

befchäftigten werden — aber noch in anderer Weise. Nähert man mittels der Hand eine Metallspitze, z. B. eine Nadel, einer stark elektriferten Kugel oder dem Konduktor einer Elektrifiziermaschine, so erscheinen nach kurzer Zeit Nadel und Kugel unelektrisch. Dies kommt daher, daß die der Kugel eigene Elektrizität (positive oder aber negative) durch elektrische Influenz die neutrale Elektrizität in der Nadel in positive und negative Elektrizität zerlegt, die gleichnamige wird abgestoßen und durch unseren Körper in den Erdboden abgeleitet, die ungleichnamige hingegen wird von der Elektrizität der Kugel angezogen, und häuft sich in der der Kugel zugekehrten Nadelspitze so stark an, daß sie schließlich aus- und nach der Kugel überströmt und mit deren Elektrizität sich vereinnigt, weshalb dann die Kugel, ebenso wie die Nadel, neutral elektrisch (unelektrisch) erscheint. Man hat für diese Wirkung der Spitzen eine besondere, wenn auch nicht recht passende Bezeichnung, man sagt, die Spitze habe die Elektrizität des gegenüberstehenden Körpers — bei unserem Versuch eine Kugel — aufgesaugt. Aus dem Gesagten ergibt sich, daß wenn der betreffende Körper der Konduktor einer Elektrifiziermaschine ist, dieser nicht geladen werden kann, solange er unter dem Einfluß der Spitze steht, d. h. solange letztere in der bestimmten Nähe sich befindet.

Zu entsprechendem Resultat werden wir gelangen, wenn wir den auf S. 68 angegebenen Versuch (Fig. 69) in etwas abweichender, dem vorigen aber ähnlicher Form anstellen: Der Metallcylinder *a b* erhält bei *b* eine Metallspitze; nähert man nun die mit $+E$ geladene, isolierte Metallkugel *R*, so erregt diese in dem Cylinder durch Verteilung positive und negative (Influenz-) Elektrizität, die gleichnamige wird abgestoßen und entweicht durch die Spitze bei *b*, sodaß nun der Cylinder, auch wenn Spitze und Kugel entfernt werden, negativ elektrisch erscheint. Befestigt man jedoch an dem der Kugel zugekehrten Ende *a* die Spitze, so strömt — E , welche bei *a* in großer Dichte angehäuft ist, durch die Spitze aus und auf die positiv elektrische Kugel, von deren positiver Elektrizität sie angezogen worden, über und neutralisiert hier einen Teil der $+E$; der Cylinder aber erscheint nach diesem Vorgang positiv elektrisch. Eine wichtige Anwendung der erörterten Wirkung der Metallspitzen hat man bei der Einrichtung des Bligableiters, den wir weiterhin zu besprechen haben, gemacht.

10. Coulomb's Gesetz der elektrischen Anziehung und Abstoßung. Elektrische Fernwirkung, Drehwaage.

In den vorhergehenden Kapiteln haben wir aus Versuchen und Beobachtungen gelernt, daß zwei elektrische Körper (oder elektrische Teilchen) aufeinander mit einer gewissen Kraft einwirken, und zwar entweder anziehend oder abstoßend: anziehend, wenn sie ungleichnamig elektrisch — abstoßend

Kerzenflamme zur Seite weht. Die Abstoßung zwischen Spitze und Luft ist aber gegenseitig, sodaß die von der Spitze abgestoßene strömende Luft einen Rückstoß auf die Spitze ausübt und die letztere, falls dieselbe beweglich ist, selbst in Bewegung gesetzt wird, und zwar erfolgt diese Bewegung oder Umdrehung der Spitze in der der Strömung oder dem elektrischen Winde entgegengesetzten Richtung. Dies läßt sich hübsch durch das elektrische Flug- oder Spitzenrad veranschaulichen. Dasselbe besteht (Fig. 84) aus einem, besser aber aus zwei oder drei einige Centimeter langen dünnen Drähten mit zugespitzten, nach entgegengesetzten Seiten umgebogenen Enden, welch' letztere, nachdem die Drähte in der Mitte platt geschlagen und kreuzweis aufeinander gelötet, beim Drehen nach ein und derselben Richtung ihre Spitzen wenden; mittels der in der Mitte des Rädchens angebrachten



Fig. 84.
Elektrisches Spitzenrad.

Bertiefung wird es auf die Spitze des auf dem Konduktor der Maschine befestigten Metallstäbchens gesetzt, auf welcher es nun frei drehbar schwebt. Bringt man die Maschine in Gang, so strömt die Elektrizität durch die Drahtspitzen aus und das Rädchen beginnt sich in einem der Ausströmungsrichtung entgegengesetzten Sinne zu drehen. Entsprechende Verhältnisse von Rückstoß (Reaktion) ausströmender Flüssigkeiten oder Gase werden wir später kennen lernen. Einen Beweis dafür, daß in der That nur die zwischen den elektrischen Spitzen und der berührenden Luft herrschende Abstoßung als

die bewegende Kraft anzusprechen ist, haben wir auch noch in dem Umstande, daß in luftleerem Raum eine Bewegung des Rädchens nicht vor sich geht.

Da ein mit einer Spitze versehener elektrischer Leiter die ihm mitgeteilte oder in ihm erregte Elektrizität infolge Ausströmens derselben aus der Spitze rasch verliert und also nicht oder nur schwach dauernd elektrisch gemacht werden kann, so ergiebt dies für die Praxis den Fingerzeig, bei Herstellung von leitenden Körpern oder Apparaten, welche die Elektrizität behalten sollen, alle eckigen Formen, scharfe Kanten und Spitzen zu vermeiden, vielmehr die Gegenstände allseitig abzurunden; sollen sie dagegen die Elektrizität rasch abgeben, so braucht man nur Spitzen anzubringen. Und aus der Thatfache, daß Elektrizität bei bedeutender Dichte und Spannung den Widerstand der Luft und anderer unvollkommenen Nichtleiter überwindet und an dieselben übergeht, folgt der Wink, bei Vorhandensein solcher Elektrizität die besten Isolatoren anzuwenden (vergl. S. 57).

Die Wirkung der Spitzen bezw. das Ausströmen von Elektrizität aus denselben äußert sich — abgesehen von den im Dunkeln beim Ausströmen an Spitzen und Ecken zu beobachtenden Lichterscheinungen, die uns später

befchäftigen werden — aber noch in anderer Weise. Nähert man mittels der Hand eine Metallspitze, z. B. eine Nadel, einer stark elektrisierten Kugel oder dem Konduktor einer Elektrifiziermaschine, so erscheinen nach kurzer Zeit Nadel und Kugel unelektrisch. Dies kommt daher, daß die der Kugel eigene Elektrizität (positive oder aber negative) durch elektrische In-
fluenz die neutrale Elektrizität in der Nadel in positive und negative Elektrizität zerlegt, die gleichnamige wird abgestoßen und durch unseren Körper in den Erdboden abgeleitet, die ungleichnamige hingegen wird von der Elektrizität der Kugel angezogen, und häuft sich in der der Kugel zugekehrten Nadelspitze so stark an, daß sie schließlich aus- und nach der Kugel überströmt und mit deren Elektrizität sich vermischt, weshalb dann die Kugel, ebenso wie die Nadel, neutral elektrisch (unelektrisch) erscheint. Man hat für diese Wirkung der Spitzen eine besondere, wenn auch nicht recht passende Bezeichnung, man sagt, die Spitze habe die Elektrizität des gegenüberstehenden Körpers — bei unserem Versuch eine Kugel — aufgesaugt. Aus dem Gesagten ergibt sich, daß wenn der betreffende Körper der Konduktor einer Elektrifiziermaschine ist, dieser nicht geladen werden kann, solange er unter dem Einfluß der Spitze steht, d. h. solange letztere in der bestimmten Nähe sich befindet.

Zu entsprechendem Resultat werden wir gelangen, wenn wir den auf S. 68 angegebenen Versuch (Fig. 69) in etwas abweichender, dem vorigen aber ähnlicher Form anstellen: Der Metallcylinder a b erhält bei b eine Metallspitze; nähert man nun die mit + E geladene, isolierte Metallkugel R, so erregt diese in dem Cylinder durch Verteilung positive und negative (Influenz-) Elektrizität, die gleichnamige wird abgestoßen und entweicht durch die Spitze bei b, sodaß nun der Cylinder, auch wenn Spitze und Kugel entfernt werden, negativ elektrisch erscheint. Befestigt man jedoch an dem der Kugel zugekehrten Ende a die Spitze, so strömt — E, welche bei a in großer Dichte angehäuft ist, durch die Spitze aus und auf die positiv elektrische Kugel, von deren positiver Elektrizität sie angezogen worden, über und neutralisiert hier einen Teil der + E; der Cylinder aber erscheint nach diesem Vorgang positiv elektrisch. Eine wichtige Anwendung der erörterten Wirkung der Metallspitzen hat man bei der Einrichtung des Blitzableiters, den wir weiterhin zu besprechen haben, gemacht.

10. Coulomb's Gesetz der elektrischen Anziehung und Abstoßung. Elektrische Fernwirkung, Drehwaage.

In den vorhergehenden Kapiteln haben wir aus Versuchen und Beobachtungen gelernt, daß zwei elektrische Körper (oder elektrische Teilchen) aufeinander mit einer gewissen Kraft einwirken, und zwar entweder anziehend oder abstoßend: anziehend, wenn sie ungleichnamig elektrisch — abstoßend

hingegen, wenn sie gleichnamig elektrisch sind. Auch das ist uns schon klar geworden, daß diese anziehende oder abstoßende Kraft je nach der größeren oder geringeren Entfernung beider Körper voneinander und nach der Menge der dem einen oder dem anderen eigenen Elektrizität stärker oder schwächer ist; die Größe der Kraft hängt also nicht nur von der gegenseitigen Entfernung der Körper, sondern auch von der Stärke der elektrischen Ladung ab. Doch sind die Verhältnisse nicht ganz einfache. Sehen wir von einem einfachen Versuch aus.

Hängen wir zwei gleichlange elektrische Pendel — Hollundermark-Kügelchen an Seidenfaden — nebeneinander an ein und demselben Punkte auf und teilen wir ihnen mittels einer geriebenen Glasstange Elektrizität mit, so stoßen sie sich, da sie gleichnamig elektrisch geworden, ab. Je stärker die mitgeteilte Elektrizitäts-Menge, desto kräftiger die Abstoßung, wie wir dies bei früheren Versuchen schon bemerkt haben; und je mehr gleichnamige Elektrizität wir den Körpern (Kügelchen) nach und nach mitteilen, je größer also ihre elektrische Dichte (s. Kap. 9) wird, desto erheblicher wird die abstoßende Kraft. Machen wir zwei Körper ungleichnamig elektrisch, so beobachten wir hinsichtlich des Wachstums oder des Abnehmens der sich äußern den anziehenden Kraft dasselbe Verhältnis. In demselben Maße wie die Menge oder Dichte der Elektrizität wächst oder abnimmt, vergrößert oder verringert sich die abstoßende bezw. anziehende Kraft; das Verhältnis ist somit ein „gerades“.

Das Verdienst, dies nachgewiesen zu haben, gebührt dem französischen Forscher Charles Aug. Coulomb (1736—1806), welcher durch zahlreiche und mühselige Versuche nicht nur das eben besprochene, sondern auch das zwischen der Entfernung der Körper und der Größe der anziehenden oder abstoßenden Kraft bestehende Verhältnis erkannte und darauf hin 1785 sein berühmtes, mit Hilfe der Drehwage nachgewiesenes Gesetz von der elektrischen Anziehung und Abstoßung aufstellte.

Bei dem zweiten Teil des Gesetzes, dem Gesetz der elektrischen Fernwirkung, kommt ein umgekehrtes Verhältnis zur Geltung. Daß die Kraft der elektrischen Anziehung und Abstoßung um so mehr abnimmt, je mehr die Entfernung zwischen den beiden Körpern oder den beiden Elektrizitäten wächst resp. daß die Kraft der elektrischen Anziehung und Abstoßung mit kleiner werdender Entfernung sich vergrößert, lehren uns schon einfache Versuche, indem wir eine elektrische isolierte Metallkugel auf eine kleine gleichnamig oder ungleichnamig — je nachdem wir die Abstoßung oder Anziehung beobachten wollen — elektrisch gemachte, isoliert aufgehängte Metallkugel oder dergl. aus verschiedener Entfernung einwirken lassen; außerdem lassen uns auch die entsprechenden Erscheinungen und Verhältnisse

anderer, bekannter Kräfte solchen Schluß ziehen — aber Coulomb hat dies genau untersucht und nachgewiesen, daß die elektrische Kraft im umgekehrten Verhältnis des Quadrates ihrer Entfernung steht oder, anders ausgedrückt, daß die Kraft der Anziehung zwischen ungleichnamig, bezw. die der Abstoßung zwischen gleichnamig elektrischen Körpern umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung wirkt.

Bekanntlich ist das Quadrat einer Zahl diejenige Zahl, welche herauskommt, wenn man die betreffende Zahl mit sich selbst multipliziert; so ist 4 das Quadrat von 2 (zweimal zwei), 9 das Quadrat von 3 (dreimal drei), 16 das Quadrat von 4 (viermal vier) u. s. f. Wenn die Entfernung eines Gegenstandes von einem anderen veränderlich ist, sie also aus der Entfernung 1 in die doppelte, 2, oder in die dreifache, 3, u. übergehen kann, so sind die Quadrate dieser Entfernungen 1 mal 1 = 1, 2 mal 2 = 4, 3 mal 3 = 9, 4 mal 4 = 16. Verhält sich nun etwas (die Kraft) umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen, so bekommt man den betreffenden Wert, wenn man unter Verwendung der 1 als Zähler und der Quadratzahl als Nenner Brüche bildet, welche in den bezüglichen Fällen mithin heißen: $\frac{1}{1}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$. Auf das oben ausgesprochene Gesetz angewendet, lautet dies: Wenn zwei Körper sich in der Entfernung 1 abstoßen mit der Kraft 1, so stoßen sie sich bei der Entfernung 2, welche als Quadrat 4 giebt, mit der Kraft $\frac{1}{4}$, bei 3 mit der Kraft $\frac{1}{9}$, bei 4 mit der Kraft $\frac{1}{16}$ ab, d. h. also mit einer 4 bezw. 9 oder 16 mal geringeren Kraft als vorher. Verkleinert sich die Entfernung, so behält selbstverständlich dasselbe Gesetz Geltung; stoßen sich also zwei Körper in der Entfernung 1 mit der Kraft 1 ab, so in der Entfernung $\frac{1}{2}$ mit dem Quadrat $\frac{1}{4}$ umgekehrt, d. h. mit der Kraft $\frac{4}{1}$ oder 4, in der Entfernung $\frac{1}{3}$ mit der Kraft $\frac{9}{1}$ oder 9, in der Entfernung $\frac{1}{4}$ mit der Kraft $\frac{16}{1}$ oder 16, in den letztgenannten drei Fällen ist sonach die Kraft 4 mal bezw. 9 oder 16 mal so stark als bei der Entfernung 1. Man kann dies auch so ausdrücken: in der vierfachen Entfernung ist die Kraft der Abstoßung gleich $\frac{1}{16}$ von der Abstoßung in der einfachen Entfernung, in der dreifachen ist sie schon stärker, nämlich $\frac{1}{9}$ der einfachen, in dem doppelten Abstände ist sie gleich $\frac{1}{4}$ (also 4 mal so stark als bei vierfacher Entfernung, da $\frac{1}{4} = \frac{4}{16}$ ist) von der Abstoßung in der einfachen Entfernung.

Führen wir noch ein einfaches Beispiel an. Elektrifizieren wir die beiden oben erwähnten elektrischen Pendel, so stoßen sie sich, da sie gleichnamig elektrisch geworden, ab und zwar, wie wir annehmen wollen, auf eine Entfernung von 2 cm mit einer Kraft, welche dem Druck eines Milligramm gleich käme. Die Wiederholung Coulomb'scher Versuche würde nun ergeben, daß die abstoßende Kraft in der doppelten Entfernung (4 cm)

nur $\frac{1}{4}$ Milligramm, bei der halben Entfernung (1 cm) dagegen 4 Milligramm betragen würde u. s. f. Selbstverständlich gilt das bezüglich der abstoßenden Kraft Gesagte auch hinsichtlich der zwischen ungleichnamigen Elektrizitäten wirkenden anziehenden Kraft.

Wie erwähnt, hat Coulomb zum Nachweis seines Gesetzes einen sinnreichen Apparat erfunden, die nach ihm benannte Torsions- oder Drehwage. Die eigentliche Veranlassung zur Konstruktion derselben boten ihm die Beobachtungen, welche er bei eingehenden Untersuchungen über die Elastizität gedrehter Fäden gemacht hatte. Diese Drehungs- oder Torsions-Elastizität wird nämlich dadurch in einem gespannten Metalldraht, einem Glasfaden u. dergl. hervorgerufen, daß man denselben an seinem oberen Ende festklemmt und mittels eines am unteren Ende befestigten wagerechten Balkens (Hebel) dreht oder drückt. Die Kraft, mit welcher er in seine Ruhelage zurückzukehren bestrebt ist bezw. der Drehung widerstrebt, wächst in demselben Verhältnis wie der Winkel, um welchen gedreht wird, und daher kam Coulomb auf den Gedanken, mit Hilfe dieser Dreh- oder Torsionskraft die Wirkung schwacher Kräfte, also in unserem Falle die der elektrischen Abstoßung, zu messen.

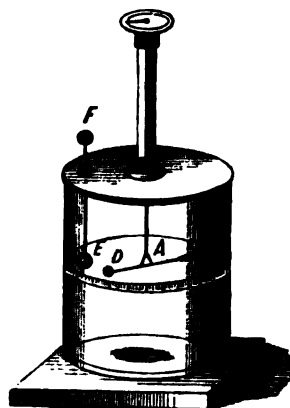


Fig. 85. Coulomb's Drehwage.

Wesentliche Teile der Drehwage sind zunächst Metalldraht und Hebel. Als Hebel oder Wagebalken dient ein dünnes gefirnissetes Glasstäbchen oder ein Schellackfaden, welcher

(Fig. 85 C D) in wagerechter Lage an einem feinen, hartgezogenen Silberdraht hängt und an dem einen Ende, bei D, eine kleine Metallkugel trägt, während das andere Ende C, um das Gleichgewicht zu erhalten, mit einem stärkeren Stückchen Schellack oder etwas Ähnlichem versehen ist. Zum Schutz gegen äußere Einflüsse ist die Vorrichtung in einem weiten, cylindrischen Glasgefäß (Trinkglas) untergebracht, welches von einem hölzernen Deckel oder besser einer runden, befestigten Glasscheibe geschlossen wird. Der Deckel hat in der Mitte eine Öffnung, in welche eine 15—20 cm lange und 2—3 cm weite, oben mittels Kork und Holzscheibchen geschlossene Glasröhre eingefittet ist, welche den Silberdraht aufnimmt; letzterer geht durch Kork und Holzscheibe, ist oben so aufgehängt, daß sein oberes Ende um die Achse des Instruments gedreht werden kann, und mit einem rechtwinklig zum Draht stehenden Zeiger (Torsionszeiger) versehen, welcher sich auf der auf der Holzscheibe angegebenen Kreisteilung bewegt und den

Drehungswinkel angiebt. Eine zweite Kreisteilung, in 360 Grade, besitzet der Umfang des Glases in halber Höhe des letzteren, an welcher man ablesen kann, um wieviel Grade der Wagebalken aus seiner ursprünglichen, mit Null bezeichneten Ruhe- oder Gleichgewichtslage gedreht worden ist; die Bezeichnung Null der oberen Teilung muß mit der gleichen der unteren Gradteilung zusammenfallen. Endlich gehört zur Drehwage noch die Standkugel (E). Diese befindet sich, der Hebelkugel D gegenüber, am unteren Ende eines seitwärts von der Glasröhre durch den Deckel hindurchgeführten und am oberen Ende ebenfalls eine Metallkugel (F) tragenden Drahtes.

Befindet sich der Hebel in der Ruhelage, so müssen sich die Hebel- und die Standkugel (D E) gerade berühren. Wird nun der Standkugel von außen mittels des Drahtes F E eine elektrische Ladung mitgeteilt, so verteilt sich letztere auf die beiden Kugeln E D, sie werden also gleichnamig elektrisch, stoßen sich mithin ab und der bewegliche Hebel D C wird demzufolge um eine Anzahl von Graden aus seiner Ruhelage abgelenkt; derselbe dreht sich so weit, bis die Kraft, mit welcher der Draht der Drillung widersteht (Torsions-Elastizität), der elektrischen Abstoßung das Gleichgewicht hält. Da nun jene Kraft in demselben Verhältnis (proportional) wächst, wie der Drehungs- oder Torsionswinkel — d. i. der Winkel, um welchen der Faden gedreht wird —, so kann aus der Größe des Drehungswinkels auf die Größe der elektrischen Abstoßung geschlossen werden, welche diesen Winkel ja entstehen läßt; er giebt somit ein Maß für die einwirkende Kraft, nämlich für die elektrische Abstoßung. Da ferner der Draht oben, wie erwähnt wurde, in besonderer Weise drehbar aufgehängt ist, so vermag man die Torsion des Drahtes beliebig abzuändern und den Drehungswinkel an einem auf der angebrachten Kreisteilung sich bewegenden Zeiger abzulesen.

Benutzung. Die Drehwage kann also zur Messung von Elektrizitäts-Mengen und zum Nachweis des Coulomb'schen Gesetzes über die elektrische Fernwirkung dienen. Berücksichtigen wir zunächst das Erstere. Teilen wir der Standkugel und damit der Drehwage überhaupt zu verschiedenen Zeiten verschieden große Elektrizitäts-Mengen mit, so werden diese natürlich je nach ihrer Stärke den Hebel in schwächerem oder bedeutenderem Maße aus seiner Ruhelage ablenken, wovon die Gradeinteilung am Glasgefäß den Beweis liefert. Doch können wir durch Drehung des Torsionszeigers den Hebel jedesmal auf ein und dieselbe Entfernung von der Standkugel zurückführen; je nachdem der dabei zur Geltung kommende Torsionswinkel des Drahtes größer oder kleiner ist, schließt man auf die zu vergleichenden Elektrizitäts-Mengen bezw. auf das Verhältnis derselben. Nehmen wir zwei verschiedene Elektrizitäts-Mengen, x und y , an und halten wir fest, daß der Hebel beide Male auf 10 Grad Entfernung von der

Standkugel zurückgelenkt wird. Wenn wir nun im ersten Falle zu diesem Zweck den Torsionszeiger um 30 Grad, im zweiten Falle um 80 Grad drehen mußten, damit eben der Hebel auf 10 Grad Entfernung von der Standkugel zurückgebracht wurde, so ersehen wir, daß die Drehung (Torsion) des Drahtes im ersten Falle 30 und 10 Grad, also thatsächlich 40 Grad, im zweiten Falle 80 + 10, also 90 Grad beträgt; die Kräfte der Abstoßung von x und y , verschieden groß, verhalten sich mithin bei gleicher Entfernung zu einander wie 40 zu 90 oder 4 : 9. Falls Hebel- und Standkugel gleich groß sind, so hat sich die der Standkugel mitgeteilte Elektrizitäts-Menge gleichmäßig auf beide Kugeln verteilt, im ersten Falle besitzt also jede Kugel $\frac{1}{2} x$, im zweiten Falle $\frac{1}{2} y$; die Abstoßungskraft ist sonach im ersten Falle $\frac{1}{2} x \times \frac{1}{2} x$, im zweiten $\frac{1}{2} y \times \frac{1}{2} y$ und der Satz lautet nun — die Entfernung bleibt in beiden Fällen sich gleich —: $\frac{1}{2} x \times \frac{1}{2} x$ verhält sich zu $\frac{1}{2} y \times \frac{1}{2} y$ wie 4 zu 9 und danach verhält sich $x : y$ wie 2 : 3, d. h. die Elektrizitäts-Mengen (x, y) stehen in den angeführten Beispielen im Verhältnis der Quadratwurzeln*) aus den zur Geltung kommenden Torsionswinkeln, und dies ist im allgemeinen überhaupt der Fall.

Die Drehwage dient ferner zur Nachweisung des auf S. 99 angegebenen Coulomb'schen Gesetzes der elektrischen Fernwirkung, daß die elektrische Kraft im umgekehrten Verhältnis des Quadrates ihrer Entfernung steht. Suchen wir uns dies wieder an einem Beispiel klar zu machen. Wir teilen der Standkugel eine elektrische Ladung mit und nehmen wahr, daß dieselbe den Hebel um 20 Grad aus seiner Ruhelage ablenkt. Daraus ist zu erkennen, daß die Kraft dieser elektrischen Abstoßung in einer dem Drehungswinkel von 20 Grad entsprechenden Entfernung groß genug ist, um einer Drehung des Drahtes von 20 Grad das Gleichgewicht zu halten. Dreht man nun den Torsionszeiger nach der der Ablenkung des Balkens entgegengesetzten Richtung, so wird die Drehung des Drahtes vergrößert und die beiden elektrisch gemachten Kugeln, Hebel- und Standkugel, kommen einander näher. Nehmen wir nun wieder an, wie im vorigen Falle, daß der abgelenkte Hebel durch uns auf 10 Grad Entfernung zurückgelenkt werden soll. Ist zur Erreichung dieses Zweckes eine Drehung des Torsionszeigers um 70 Grad notwendig, so folgt daraus, daß, da das obere Ende des Drahtes aus seiner Ruhelage um 70 Grad nach rechts, das untere Ende mit dem Hebel aber 10 Grad nach links gedreht worden, die Drehung des Drahtes insgesamt 80 Grad beträgt. Diese hält nun der elektrischen Abstoßung in der 10 Grad betragenden Entfernung des Hebels von der

*) Die Quadratwurzel einer Zahl ist bekanntlich die Zahl, welche mit sich selbst multipliziert das Quadrat der ersten giebt; so z. B. ist 2 die Quadratwurzel von 4 ($2 \times 2 = 4$), 3 die Quadratwurzel von 9 ($3 \times 3 = 9$) u. s. w.

Standkugel — d. h. also in der Entfernung beider elektrischen Kugeln — das Gleichgewicht, wogegen bei der zweifachen Entfernung, 20 Grad, eine viermal geringere Drehung des Drahtes (20 Grad) notwendig war. Nehmen wir jedoch statt der vergrößerten Entfernung eine verringerte an, so würde z. B., wie wir schon aus den Erörterungen von Seite 99 kennen, bei 3 mal kleinerer Entfernung eine 9 mal größere, bei 4 mal kleinerer Entfernung eine 16 mal größere Drehung erforderlich sein u. s. f. — denn die elektrische Kraft wirkt im umgekehrten Verhältnis des Quadrates ihrer Entfernung.

Ein weiteres Eingehen auf die bezüglichen Fragen und weitere mathematische Behandlung müssen wir uns versagen; übrigens wird man aus dem Gesagten bereits erkannt haben, daß die Drehwage weniger ein Instrument für die Hand des Laien, als vielmehr für den im Experimentieren erfahrenen Physiker ist. Ein noch empfindlicheres Elektrometer konstruierte Fr. Joh. Georg Dellmann (1805—1870), Gymnasiallehrer in Kreuznach, indem er 1842 die Standkugel des Coulomb'schen Apparats durch einen wagerechten, geraden, unter dem nadelförmigen Wagebalken angebrachten Messingdraht ersetzte und später eine bequeme Ladungsvorrichtung — als Zuleiter der Elektrizität dient nämlich ein in einer Seitenwand des Glasgefäßes befestigter, wagerechter starker Messingdraht, dessen äußeres Ende aufwärts gebogen und mit einem Gewinde versehen ist, damit man nach Belieben eine Metallkugel oder Scheibe aufschrauben kann — anfügte. Auf diese Weise erhielt der Apparat diejenige Form, welche im Wesentlichen noch jetzt gebräuchlich ist. Rud. Kohlrausch (1809—1858) brachte noch mehrere Verbesserungen an, machte dadurch das Elektrometer noch empfindlicher und richtete es zu wirklichen Messungen ein. Auf die Magnet-Elektrometer, bei welchen an Stelle der Torsionskraft des Drahtes oder Fadens die meßbare magnetische Kraft zur Verwendung gelangt und zu welchen die Sinus-Elektrometer von Kohlrausch (1853) und von Rieß (1855) gehören, können wir hier nicht eingehen; auch das Quadranten-Elektrometer u. a. wird später besprochen werden.

11. Elektrizitäts-Menge. Elektrische Dichte, Spannung, Einheit. Potential.

Bei Besprechung des Coulomb'schen Gesetzes der elektrischen Fernwirkung hatten wir als Beispiel (Seite 99) angenommen, daß sich zwei gleichnamig elektrisch gewordene Markkugeln auf eine Entfernung von 2 cm mit einer Kraft, welche dem Druck eines Milligramm (mgr) gleichkomme, abstoßen. Wir wissen ferner (vergl. S. 102), daß wenn wir den einen Körper, A, mit einem zweiten gleichgroßen, B, berühren, die Hälfte der dem ersteren eigenen Abstoßungskraft dadurch auf den zweiten

übergeht und daß nun jeder dieser beiden Körper, A und B, von dem ihnen gegenüberstehenden gleichnamig elektrischen Körper bei gleichbleibender Entfernung nur mit je $\frac{1}{2}$ mgr Kraft abgestoßen wird. Die Elektrizitäts-Menge oder Quantität des einen Körpers hat sich also infolge Berührung mit dem gleichen Körper B auf beide Körper gleichmäßig verteilt. Dies ist eine physikalische Thatsache, und wir vermögen den Teilungsvorgang weiter fortzusetzen. Berühren wir z. B. jeden der Körper A und B wiederum mit einem gleichen Körper, so besitzt nun jeder der vier den vierten Teil der ursprünglich dem Körper A allein angehörigen Elektrizitäts-Menge; der letztere besaß demnach ursprünglich eine viermal so große elektrische Dichtigkeit (S. 93) als gegenwärtig.

Wiewohl dies an und für sich schon klar ist, so können wir uns auch noch in anderer Weise ein Bild davon machen. Aus früheren Versuchen haben wir gelernt, daß die freie Elektrizität nur auf der Oberfläche leitender Körper sich verbreitet, daß sie hier gewissermaßen eine elektrische Schicht — je nach der Form des Körpers von gleicher oder ungleicher Dichtigkeit — bildet, und daß die Dichtigkeit um so geringer wird, je mehr sich die Oberfläche des Körpers vergrößert. Wenn nun im obigen Beispiel der Körper A die ihm mitgeteilte Elektrizität allein behalten durfte, so bildete diese an seiner Oberfläche eine Schicht von der Dichtigkeit 1 (wie wir vergleichsweise sagen wollen); im zweiten Falle, als wir ihn mit B berührten, verdoppelten sich die Größenverhältnisse der Oberfläche, die elektrische Schicht mußte sich über die zweifache Oberfläche ausdehnen und demgemäß ihre Dichtigkeit im umgekehrten Verhältnis, d. h. um die Hälfte, verringern, die Dichte betrug also $\frac{1}{2}$; und als wir die Größe der Oberfläche noch einmal verdoppelten, so mußte sich die elektrische Schicht wieder in entsprechendem Verhältnis verdünnen, d. h. die Dichtigkeit $\frac{1}{4}$ bekommen. Mit ab- oder zunehmender Dichtigkeit verringert oder steigert sich die Abstoßungs- und Anziehungskraft des Körpers.

Hierbei ist noch eines fachwissenschaftlichen Ausdrucks zu gedenken. Wir wissen, daß die einem Körper mitgeteilte oder in ihm durch Influenz erregte und auf der Oberfläche angesammelte Elektrizität hier von der umgebenden nicht- resp. schlechtleitenden Luft unter gewöhnlichen Umständen zurückgehalten wird und daß dabei die ständig nach außen strebende Elektrizität auf die isolierende Umgebung einen Druck ausübt. Diesen Druck der ruhenden Elektrizität*) auf ihre isolierende Umgebung nennt man

*) Der „ruhenden“ Elektrizität, welche uns bisher beschäftigte und in diesem Abschnitt noch weiter beschäftigen wird, steht gegenüber die „bewegte“ Elektrizität; mit der Lehre von der letzteren oder den elektrischen Strömen werden wir uns im III. Abschnitt (Galvanismus, Elektrodynamik) zu befassen haben; die Lehre von der „ruhenden“ Elektrizität nennt man „Elektrostatik“.

elektrische Spannung. In dem Maße, wie sich die angehäuften Elektrizitäts-Menge oder die elektrische Dichtigkeit auf einem isolierten Leiter oder einem Teil (Hervorragungen, Spitzen) desselben vergrößert, wächst auch die elektrische Spannung, wie wir uns bei früheren Versuchen (Seite 91 ff.) überzeugt haben. —

Elektrische Einheit. Um für etwaige Messungen oder Vergleichen von Elektrizitäts-Mengen einen feststehenden Ausgangspunkt zu haben, mußte man irgend eine bestimmte Elektrizitäts-Menge als Eins annehmen. Im Laufe der Zeit hat man hinsichtlich der elektrischen Einheiten verschiedene Wahl getroffen, sodaß in dieser Beziehung ziemliche Verwirrung Platz griff und es angezeigt erschien, eine endgiltige Regelung vorzunehmen. Letzteres geschah seitens eines i. J. 1881 zu Paris abgehaltenen Kongresses von Physikern und Elektrotechnikern. Indem wir auf die Festsetzungen desselben im III. Abschnitt näher eingehen werden, sei hier nur bemerkt, daß man auf demselben das sog. absolute elektrische Maßsystem angenommen hat. Diese Benennung rührt von den berühmten Göttinger Gelehrten Gauß und Weber her; der Erstere stellte das absolute Maßsystem zuerst (1833) für magnetische Messungen auf, Weber wandte es dann (1846) für die Elektrizität an, und eine englische wissenschaftliche Vereinigung (British Association for the advancement of science) hatte es (1863 ff.) in die Praxis eingeführt. Von dem System der letzteren ging jener Kongreß aus.

In dem absoluten Maßsystem werden die Einheiten für alle zu messenden Größen auf die drei Grundmaße der Mechanik, auf die Länge, Masse und Zeit zurückgeführt; die Einheit der Länge ist gleich 1 cm, die Einheit der Masse gleich 1 g (Gramm), die Einheit der Zeit gleich 1 Sekunde, und man bezeichnet demgemäß diese absoluten Einheiten mit C. G. S., d. i. das Centimeter-Gramm-Sekundensystem. Man nimmt also jene Elektrizitäts-Menge als Eins oder Einheit an, welche auf eine gleiche Menge in der Entfernung von 1 cm mit der Krasteinheit wirkt. Als Krasteinheit gilt wiederum die absolute Einheit, nämlich jene Kraft, welche der Masse eines Gramms beim Fallen einen Geschwindigkeitszuwachs von nur 1 cm in der Sekunde erteilen würde, nicht aber die von der Erde auf eine 1 g schwere fallende Masse ausgeübte Anziehungskraft (Schwerkraft), durch welche das fallende Gramm einen Geschwindigkeitszuwachs von 981 cm — also in abgerundeter Zahl 1000 cm — in der Sekunde erlangt. Sonach ist die absolute Krasteinheit fast 1000mal kleiner als die von der Erde, bei gleicher Masse und gleicher Zeit, ausgeübte Kraft und stimmt fast mit dem von einem Milligramm (mg) geäußerten Druck überein.

Elektrisches Potential. Aus der Besprechung des Coulomb'schen Gesetzes (Kapitel 10) wissen wir, daß die elektrische Anziehungs- und Abstoßungskraft im umgekehrten Verhältnis des Quadrates der Entfernung, welche zwischen den beiden elektrischen Körpern oder zwischen zwei elektrischen, die Kraft ausübenden Teilchen liegt, wirkt. Die Anziehungs- und Abstoßungskräfte leisten also dabei eine mechanische Arbeit, und für diese hat man einen mathematischen Ausdruck, elektrisches Potential. Wir müssen aber noch einen Augenblick hierbei verweilen.

Heben wir 1 Kilogramm (kg) 1 m hoch, so leisten wir, wie die technische Bezeichnung lautet, eine Arbeit von einem Kilogrammeter (1 kgm); heben wir 8 kg 3 m hoch, so wird eine Arbeit von 24 kgm verrichtet. Das Maß der geleisteten Arbeit erhält man durch Multiplikation des gehobenen Gewichts mit der Subhöhe, wobei wir uns in dem gehobenen Gewicht gewissermaßen die Anziehungskraft der Erde verkörpert denken können. Führen wir nun ein positiv elektrisches Teilchen P von der Menge Eins — wie auf voriger Seite erörtert worden — gegen einen positiv elektrischen Körper K hin, so haben wir, indem wir die Abstoßung zwischen dem Teilchen P und dem gleichnamig elektrischen Körper K überwinden müssen, ebenfalls eine Arbeit zu leisten, und Gleiches ist der Fall, wenn das Teilchen P von der Erde aus zu dem Körper K hinbewegt wird. Die bei dieser Bewegung geleistete Arbeit — vorausgesetzt, daß dabei die Verteilung der Elektrizität im Körper K keine Änderung erfahren — nennen wir das Potential des Körpers K. Ist also der Körper K mit der Erde leitend verbunden, so treten beide in Wechselwirkung: die Erde giebt an den Körper Elektrizität ab und von K strömt die positive Elektrizität, indem sie die gleiche Arbeit leistet, zur Erde; ist umgekehrt K negativ elektrisch, so erhält er von der Erde + E. Somit giebt uns das Potential eines Körpers jene Arbeit, welche bei der erwähnten Wechselwirkung dieses Körpers mit der Erde möglich ist. Zugleich aber giebt es uns ein Maß für den elektrischen Zustand des Körpers, es kennzeichnet denselben, während — wie die vorhergehenden Kapitel uns gelehrt haben — aus der Kenntnis der auf der Oberfläche eines isolierten leitenden Körpers angesammelten Elektrizitäts-Menge allein noch kein sicherer Schluß auf den elektrischen Zustand des Körpers überhaupt gezogen werden darf, da ja die Elektrizität verschieden verteilt sein kann und dann auch die Wirkung nach außen (Arbeit der Anziehung und Abstoßung) eine andere sein wird. Wir bestimmen also den elektrischen Zustand eines Körpers nach dem elektrischen Zustand der Erde, letzteren gewissermaßen als Nullpunkt betrachtend.

Bei den bezüglichen Bestimmungen verfahren wir entsprechend dem auf voriger Seite auseinandergesetzten C. G. S.-System und nehmen

auf dasselbe Bezug. Als Arbeits-Einheit gilt diejenige Arbeit, welche von der absoluten Kräfteinheit (s. oben) auf der Strecke von 1 cm geleistet wird. Müssen wir nun diese Arbeits-Einheit anwenden, um die positive, elektrostatische Einheit (Seite 105) von der Erde zu dem Körper hinaufzubringen, so sagt man, der Körper hat das Potential $+1$; ist bei demselben Vorgang die Aufwendung der Arbeits-Einheit jedoch nicht nötig, wird von uns vielmehr eine Arbeits-Einheit gewonnen, so hat der Körper das Potential -1 ; wird dabei überhaupt keine Arbeit geleistet, so hat er das Potential 0. Wir müssen bei den letzteren Verhältnissen an das Fallen eines Körpers denken, wobei die Anziehungskraft der Erde thätig ist, während wir keine Arbeit zu verrichten haben. Überdies haben wir uns zu vergegenwärtigen, daß eben nur dann, wenn zwei Leiter mit verschiedenem Potential miteinander in leitende Verbindung treten, Elektrizität vom Körper mit höherem zu dem mit niederem Potential übergeht, und zwar so lange, bis beide das gleiche Potential angenommen haben, ganz ebenso wie es bei zwei verbundenen Gefäßen mit ungleichem Flüssigkeitsdruck der Fall ist. Später werden wir diese Fragen wieder berühren.

Zum Schluß sei noch eines technischen Ausdruckes gedacht: Elektrische Kapazität. Man versteht darunter diejenige Elektrizitäts-Menge, welche ein isolierter Leiter bei dem Potential $+1$ aufnimmt.

12. Elektrifiziermaschinen.

Um die bisher besprochenen elektrischen Erscheinungen hervorrufen zu können, bedurfte man nur verhältnismäßig geringer Mengen Elektrizität; will man jedoch stärkere Wirkungen sehen, so muß man größere Mengen Elektrizität zu entwickeln und festzuhalten suchen. Diesem Zweck, d. h. der Erzeugung und Ansammlung reichlicher Mengen Reibungs-Elektrizität, dienen die Elektrifiziermaschinen. Wie wir nun bei unseren einfachen Versuchen Elektrizität in bezw. auf einem Körper erregt haben durch Reibung oder durch Verteilung (Influenz), so hat man auch Maschinen gebaut, welche entweder infolge fortgesetzter Reibung oder infolge wiederholter Influenz große Mengen Elektrizität liefern; man kennt demgemäß Reibungs-Elektrifiziermaschinen und Influenzmaschinen und rechnet zu den ersteren außer den gewöhnlichen oder eigentlichen Reibungs-Elektrifiziermaschinen noch die Dampf- oder Hydro-Elektrifiziermaschine, da bei ihr die Elektrizität gleichfalls durch Reibung, obschon in anderer Weise als bei jenen, entwickelt wird. Wir werden im Folgenden diesem Unterschied Rechnung tragen.

A. Reibungs-Elektrifiziermaschinen.

a) Kugel-, Cylinder- und Scheiben-Elektrifiziermaschinen.

Die Hauptteile einer Reibungs-Elektrifiziermaschine sind, was ja schon aus dem Zweck des Apparats erhellt, die Reibungsvorrichtung zur Hervorbringung und eine Vorrichtung zur Ansammlung der Elektrizität. Die erstere besteht — ganz entsprechend den bei unseren früheren Versuchen (Kapitel 1 ff.) getroffenen Anordnungen — aus einem geriebenen und einem

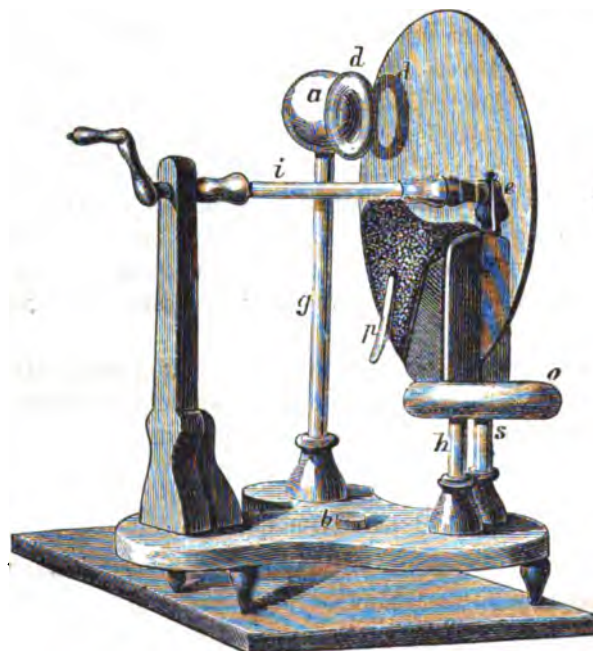


Fig. 86. Winter's Scheiben-Elektrifiziermaschine.

reibenden Körper. Der geriebene Körper ist ein Nichtleiter bezw. schlechter Leiter: gewöhnlich Glas, obwohl auch Harz, Kautschukmasse, Schwefel verwendet werden kann. Bei den zuerst konstruierten Maschinen hatte er die Gestalt einer Kugel, bald aber gab man ihm die Form eines Cylinders und später, wie jetzt allgemein gebräuchlich, die einer freisunden Scheibe (Fig. 86), welche aus starkem Spiegelglas hergestellt und mit einer gläsernen Achse (i) drehbar ist. Als Reibzeug, welches gut leiten muß, dienen jetzt gewöhnlich zwei flache, mit Amalgam bestrichene und in einem — durch einen Glasfuß (h) getragenen — Holzgestell steckende Ledertissen, deren amalgamierte Flächen mittels Stahlfedern mäßig gegen die Scheibe, welche also auf jeder Seite ein Riffen hat, gedrückt werden (bei Cylinder-

maschinen ist nur ein Riffen erforderlich). Die vermöge der Reibungsvorrichtung erregte positive Elektrizität wird von dem dritten Hauptteil, einem durch eine Glas Säule (g) isolierten kugelförmigen elektrischen Leiter (a) — welcher Konduktor oder Sammeltiegel heißt und mit einer zum „Einsaugen“ der Elektrizität bestimmten Vorrichtung, die aus zwei hölzernen, innen mit Stanniol beklebten (also leitenden) und mit mehreren Metallspitzen versehenen Holzringen (d d) besteht, ausgerüstet ist — aufgesammelt.

Dies sind die Hauptstücke einer Elektrifiziermaschine, deren Arbeit und Wirkung später besprochen werden soll. Zunächst handelt es sich für uns darum, den Entwicklungsgang dieser Apparate von ihren einfachen Anfängen an bis zu ihrer heutigen Vervollkommnung zu verfolgen.

Als Erfinder der Elektrifiziermaschine wird gewöhnlich der gelehrte Magdeburger Bürgermeister Otto von Guericke (1602—1686) bezeichnet, welcher 1671 statt der geriebenen Schwefel-, Harz- oder Glasstange zwecks leichterer Erregung von Elektrizität eine drehbare Schwefelkugel, bei welcher die Hand als Reibzeug diente, benutzte. Die ganze Vorrichtung bestand also (Fig. 87) aus einer großen aus Schwefel gegossenen Kugel, welche auf eine wagerechte

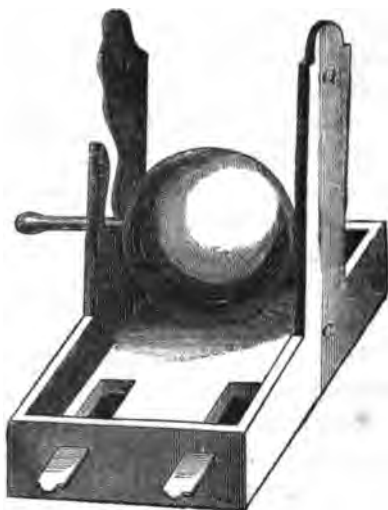


Fig. 87. Guericke's (Elektrifizier-) Maschine.

Achse gesteckt, in einem hölzernen Gestell (c a b) ruhte und gedreht wurde, während eine zweite Person ihre trockenen Hände an die Kugel legte und somit durch Reibung Elektrizität erregte. Da dieser einfache Apparat eines besonderen Reibzeuges und auch des Konduktors entbehrte, so kann man ihn füglich nicht als eine wirkliche Elektrifiziermaschine ansehen und man schreibt deshalb die eigentliche Erfindung derselben zwei anderen deutschen Gelehrten, dem Wittenberger Professor Bose (1743) und dem Leipziger Professor Winkler (1744) zu. Nichtsdestoweniger machte Guericke mit Hilfe seiner Erfindung, einer Vorläuferin der vollständigen Elektrifiziermaschine, hübsche Beobachtungen und Entdeckungen.

Daß leichte Körper durch geriebenen Schwefel u. angezogen werden, wußte man; aber daß sie bei erfolgter Berührung gleichfalls elektrisch würden, dann abgestoßen und von dem elektrifizierenden Körper nun so lange

nicht mehr angezogen würden, als bis sie mit einem anderen nicht elektrischen Gegenstand wieder in Berührung gekommen, dies entdeckte Guericke. Das war also Mitteilung und Entziehung, Ladung und Entladung von Elektrizität, das war auch schon Abstoßung gleichnamiger Elektrizitäten, wengleich der Begriff von gleichnamigen und ungleichnamigen Elektrizitäten erst viel später gefunden wurde. Daran schloß sich eine andere neue und wichtige Beobachtung: Guericke sah die geriebene Schwefelkugel im Dunkeln leuchten und hörte dabei ein knisterndes Geräusch, was beides, so schwach es auch sein mochte, in ihm bald den Gedanken an ähnliche oder verwandte Vorgänge bei der Entstehung dieser Erscheinung und dem Gewitter (Blitz und Donner) hervorrief — eine Vermutung, deren Richtigkeit später bestimmt nachgewiesen wurde, wenschon die Entdeckungen Guericke's zunächst unbeachtet blieben.

Etwa 30 Jahre später, zu Anfang des 18. Jahrhunderts, ersetzte der englische Mechaniker Francis Hawksbee die Schwefelkugel durch eine hohle Glaskugel und weiterhin durch einen Cylinder aus diesem Material, da er das Glas als wirksamer erkannt hatte; die Kugel wurde in einfacher Weise mittels Schnur und Rad gedreht und mit der Hand gerieben. Hawksbee war es auch, welcher zuerst die eigentümliche Empfindung bemerkte, die ein dem Gesicht genäherter elektrischer Körper hervorruft (siehe S. 59), und die verschiedenen Wirkungen der elektrischen Anziehung und Abstoßung an freihängenden Fäden (elektrischen Pendeln) wahrnahm.

Hawksbee's Reibungs-Vorrichtung hatte das gleiche Schicksal wie die Guericke'sche: sie blieb bei den Zeitgenossen unbeachtet, man bediente sich noch lange der zu reibenden Glasröhren, bis i. J. 1743 ein junger deutscher Gelehrter Namens Lignendorf den Professor Christian Aug. Hausen in Leipzig (1693—1743), bei welchem er Vorträge über Physik hörte, auf den Gedanken brachte, die Reibung des Glases auf bequemere Weise durch Umdrehung desselben um eine Achse zu bewerkstelligen. Hausen ging auf diesen, unabhängig von Hawksbee gemachten, Vorschlag sofort ein und ließ eine spinnradartige Maschine mit einer Glaskugel anfertigen, welche ebenfalls mit der Hand gerieben wurde. Die Maschine bot sonach gegenüber der älteren Hawksbee'schen Vorrichtung nichts Neues.

Dagegen vervollkommnete der Wittenberger Professor Georg Matthias Bose (1710—1761), welcher ebenfalls selbständig i. J. 1734 auf die Hawksbee'sche Vorrichtung gekommen war, die Maschine bedeutend, indem er sie durch einen die Ansammlung der Elektrizität bewirkenden isolierten Leiter, den Konduktor, ergänzte. Als solchen benutzte er eine beiderseits offene Röhre aus Eisenblech, aus deren einem Ende gewissermaßen als Saugvorrichtung ein Bündel Flachsfäden hervorstand und die Kugel fast

berührte; die Blechröhre ließ Bosc zuerst von einem auf einem Harzkuchen (isoliert) stehenden Menschen halten, später hing er sie an seidenen Fäden vor der Maschine auf. Infolge dieser Vervollkommnung erzielte man schon so lebhafteste Funken, daß der Feldmedicus Chr. Fr. Ludolf bei der ersten Sitzung der von Friedrich dem Großen begründeten Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 23. Januar 1744 zur außerordentlichsten Überraschung des anwesenden Hofes Schwefeläther, und Bosc selbst im April Weingeist, erwärmtes Siegellack, Öl u. d. damit entzünden konnte. „So zündete“, sagt Dove, „das in Magdeburg aufgegangene Licht (Guericke) erst 73 Jahre später und zwar zuerst in Berlin.“

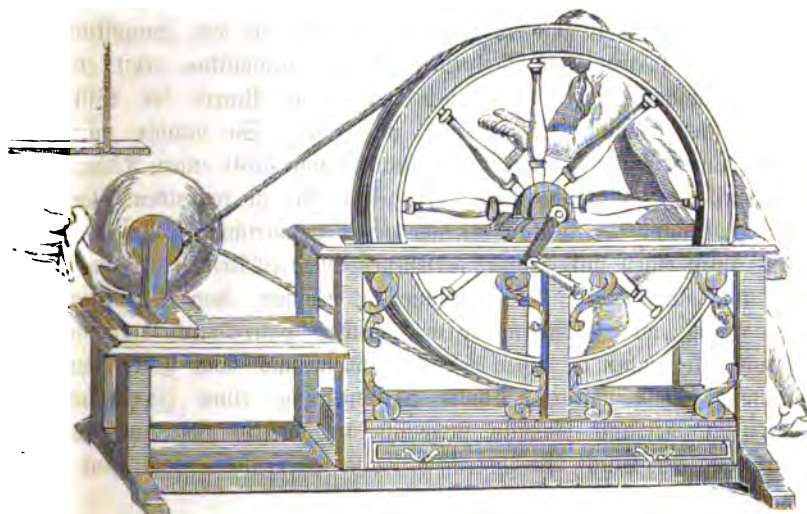


Fig. 88. Nollet's Kugel-Elektrifiziermaschine.

Ähnlich waren die Maschinen des Erfurter Professors Andr. Gordon, welcher 1744 an Stelle der Kugel einen Cylinder verwendete und das elektrische Flugrad, Glockenspiel — worüber später Näheres — u. erfand, die des Abtes Jean Ant. Nollet in Paris (1700—1770) zur selben Zeit und Anderer. Nollet's Maschine stellt die beigegefügte alte Originalzeichnung (Fig. 88) dar, welche sich eigentlich von selbst erklärt. Man sieht ein großes, durch einen Mann gedrehtes Rad, mit dem ein kleineres Rad, dessen Achse die Glas-Kugel trägt, in Verbindung gesetzt ist; das Reibzeug bildet die Hand; die durch die Drehung und Reibung, „welche manchem Tagelöhner eine Portion seiner Haut gekostet haben mag“, entwickelte Elektrizität wurde vermittelt einer von dem über der Kugel isoliert aufgehängten Konduktor herabhängenden Metallkette zu diesem geleitet.

Ein weiterer Schritt zur Vervollständigung der Maschine geschah zur selben Zeit, 1744, in Leipzig. Dort waren der Physiker Professor Joh. H. Winkler (1703—1770) und der Drechsler Joh. G. Gießing 1744 gleichzeitig, aber unabhängig voneinander auf den Gedanken gekommen, die reibende Hand durch ein besonderes Reibzeug, ein wollenes oder ein mit Haaren ausgestopftes Lederkissen, zu ersetzen. Während Winkler mit dem Plan noch zu Werke ging, zeigte Gießing eine fertige Maschine, deren Riffen er mittels Stellschrauben der Kugel bezw. dem Cylinder nähern konnte. Winkler verwarf jedoch, weil nicht recht zweckmäßig, die Schrauben und fügte 1745 an ihrer Stelle Metallfedern ein.

Mit Erfindung des Reibkissens war die Maschine zur wirklichen Elektrifiziermaschine in unserem Sinne geworden; die drei Hauptstücke: der zu reibende Körper, das Reibzeug und der Konduktor nebst einer Art Saugvorrichtung, waren vorhanden. Aber die Praxis der Wissenschaft förderte noch manche Verbesserung zu Tage. So brachte zwecks Erzielung starker Ladungen der Engländer Watson 1746 einen Ableiter an und konstruierte Maschinen mit vier gleichzeitig zu reibenden Glasugeln, sein Landsmann B. Wilson ersetzte die Saugvorrichtung Bosc's (Flachsfäden) durch einen mit Spitzen versehenen Metallkamm; John Canton gab, um die Wirkung der Maschine zu erhöhen, dem Reibkissen 1762 einen Belag von Zinnamalgam, welches später durch die vom Freiherrn v. Kienmayer in Wien 1788 erfundene und noch heute verwendete Mischung ersetzt wurde; behufs Verhinderung eines Entweichens der Elektrizität befestigte Cavallo ungefähr um dieselbe Zeit an dem Reibkissen noch ein Stück Wachstaffet, wie es ebenfalls noch heut in Gebrauch ist.

In dieser Weise hatten sich die Maschinen zu immer vollkommeneren Apparaten gestaltet. Eines hohen und gerechten Ansehens erfreuten sich um jene Zeit namentlich die Kugel- oder Cylinder-Maschinen von Lichtenberg in Göttingen, Josef Priestley in Leeds und dem Mechaniker G. Nairne (1787). Als Beispiel bilden wir die des Letzteren ab (Fig. 89). C stellt den mittels der Kurbel drehbaren Glaszylinder, A den positiven und B den negativen Konduktor aus Messing dar. Mit diesem ist das Reibzeug verbunden, von welchem aus ein Stück Wachstaffet sich an und auf den Cylinder legt, um die positive Elektrizität am Entweichen zu verhindern. Die Zeichen + und — an der linken Seite deuten an, daß hier die entgegengesetzten Elektrizitäten zusammentreffen, um sich zu neutralisieren im elektrischen Funken, welcher jedoch kräftiger erscheint, sobald einer der Konduktoren mit dem Erdboden ableitend (mittels Draht u.) verbunden wird. —

Bisher war nur von Kugel- und Cylinder-Maschinen die Rede; aber bereits ein Jahrzehnt nach der Winkler-Gießing'schen Vervollkommnung derselben wurde eine neue Art Maschine konstruiert:

Die Scheibenmaschine. Sie rührt von einem Schulmann, dem

Seminar-Direktor Planta aus Säß (Engadin) her, welcher zuerst im Jahre 1755 die Glaszylinder durch Glasscheiben ersetzte, die beiderseits durch Rissen gerieben wurden. Ihre Leistungsfähigkeit suchte man bald durch verschiedene Maßnahmen, namentlich dadurch, daß man sie im unge-

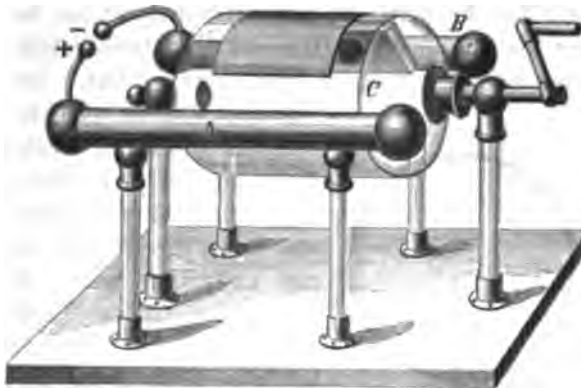


Fig. 89. Rairne's Cylinder-Elektrifermaschine.

wöhnlichen Größenverhältnissen baute, zu erhöhen. In dieser Beziehung zeichnete sich insbesondere der niederländische Arzt und spätere Direktor des

Leyler'schen Museums in Haarlem, van Marum (1750—1837), aus. Eine derartige gewöhnliche Maschine zeigt beigegebene alte Skizze (Fig. 90). Auf derselben bemerkt man rechts den in die Fußplatte eingelassenen, die Achse der freisunden Scheibe tragenden Ständer; um nicht auch auf der anderen Seite der Scheibe einen Ständer einfügen zu müssen, ist die Achse in der Nähe der Kurbel mit einem Gegengewicht ausge-

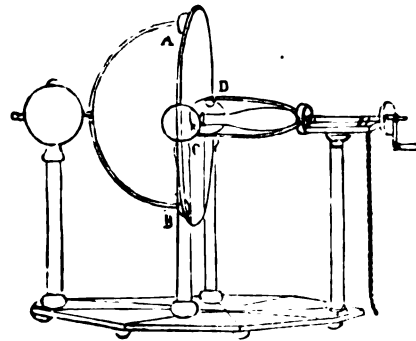


Fig. 90. Van Marum'sche Scheiben-Elektrifermaschine.

rüstet, welches das Gewicht der Scheibe ausgleicht. Als Reibzeug dienen schmale, flache, innen gepolsterte und mit Leder überzogene Vorrichtungen aus Holz, an deren äußerer Seite sich ein Scharnier befindet, mittels dessen sie an Druckfedern gehängt werden können; letztere sind an Metallkugeln (C D) befestigt, welche auf den zu beiden Seiten der Scheibe stehenden Glasäulen ruhen. Durch die Federn quer hindurchgehende, an den Enden Kugeln tragende Schrauben

bewirken den eigentlichen Druck der Reibzeuge gegen die Scheibe. Den kugelförmigen, von einem Glasfuß gestützten Konduktor nimmt man auf der linken Seite der Skizze wahr. Mittels Schraube ist an ihm ein halb-kreisförmiger Metalldraht (Messingröhre), der an jedem Ende (A B) mit einem sog. Kollektor oder Zuleiter versehen ist, befestigt; diese Vorrichtung führt dem Konduktor die positive Elektrizität von der Scheibe zu, während man ihn mit negativer Elektrizität laden kann, sobald man seine Zuleitungs-Arme mit dem Reibzeug in Verbindung setzt. In der Nähe der Kurbel sieht man auch die zur Erde ableitende Metallkette.

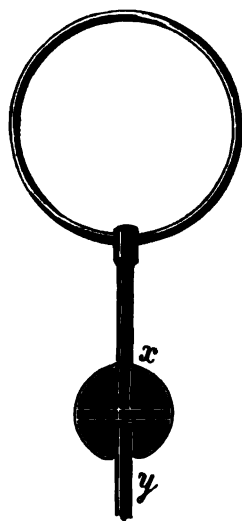


Fig. 91.
Konduktor der Scheibenmaschine
mit Winter'schem Ring.

Die größte und berühmteste solcher Scheibenmaschinen ließ van Marum durch den Amsterdamer Mechaniker Cuthbertson i. J. 1785 für das Leyler'sche Museum bauen, in welchem sie noch aufbewahrt wird. Sie besitzt zwei Glasscheiben von 165 cm Durchmesser, welche 19 cm voneinander stehen, und acht Reibzeuge; jede Scheibe hat zwei Saugkämme und der Konduktor eine Oberfläche von 2,2 qm. Diese Maschine, welche durch zwei Männer in Bewegung gesetzt werden muß, giebt in jeder Minute 300 Funken von 60 cm Länge und der scheinbaren Dicke eines Federkieles; ihre Influenz bezw. Einwirkung auf ein Elektroskop ist noch in einer Entfernung von mehr als 12 m wahrnehmbar; das sog. Büschellicht, welches wir weiterhin kennen lernen werden, hat 38 cm im Durchmesser.

Mit Vervollkommnung der Scheibenmaschinen beschäftigten sich u. A. die Mechaniker Ramsden und Winter. Die Maschinen Winter's in Wien, welcher vor nicht langer Zeit verstorben, erregten ganz besondere Aufmerksamkeit, weil sie im Verhältnis zu ihrer Größe sehr bedeutende Funken geben. Die gegenüber den Maschinen älterer Bauart (vor 1830) größere elektrische Spannung und somit auch beträchtlichere Funkenlänge wird erzielt einerseits durch die Einrichtung, daß das Reibzeug von der Saugvorrichtung weiter entfernt liegt und demnach die angesammelte Elektrizität nicht so leicht, wie bei den älteren Maschinen, von dem positiv elektrischen Konduktor nach dem Reibzeug zurückzuschlagen kann, und andererseits durch Aufsetzen eines von Winter erfundenen gutleitenden Ringes (Fig. 91). Dieser, je nachdem bis 1 m und darüber im Durchmesser groß, ist aus Holz gefertigt, etwa 3 cm dick, hohl und von einem Eisen- oder Kupferdraht

durchzogen, welcher auch durch den vielleicht 50 cm langen hölzernen Stiel, mittels dessen der Ring bei x in eine Öffnung des auf dem Glasfuß y ruhenden, auf der Abbildung im Durchschnitt gezeichneten Konduktors gesteckt wird, geführt ist, sodas Konduktor und Ring leitend verbunden sind.

Betrachten wir die Einzelheiten der Winter'schen Maschine, als der verbreitetsten, noch etwas näher, nachdem wir auf Seite 108 der Hauptteile derselben und der Elektrifiziermaschinen überhaupt durch Wort und Bild in Kürze schon gedacht haben.

Selbstverständlich werden die Maschinen in verschiedenen Größen gebaut, bei der Beschaffung kommt es schließlich auf die Wirkungen, die man erzielen will, und auf die zur Verfügung stehenden Mittel an; kann man doch bereits für einige zwanzig Mark eine Maschine kaufen, die immerhin schon Funken von einigen Centimetern Länge giebt. Die Leistungen der Maschine hängen in erster Linie von der Größe der Scheibe ab; eine mittelgroße Maschine mit einer 45 cm im Durchmesser haltenden Scheibe liefert bei zweckmäßiger Behandlung Funken von 25—30 cm Länge, und mit großen Apparaten hat man solche von 100—110 cm Länge erzielt. Die Scheibe einer mittleren Maschine, welche Gegenstand der folgenden Bemerkungen sein soll, ist aus etwa 8 mm dickem Spiegelglas hergestellt. Befestigt ist sie in Holzfassungen, deren eine in einem hölzernen, von einer Glas säule (s) gestützten Zapfen (e) endigt, während an die diesseitige die etwa 25 cm lange gläserne Achse (i) sich anschließt, welche am anderen Ende, wo sie auf einem hölzernen Ständer ruht, in eine Kurbel sich fortsetzt, durch welche die Achse nebst Scheibe in Umdrehung gesetzt werden kann. Bei dieser Bewegung wird die Scheibe zwischen zwei federnd gegen sie drückenden Lederkissen durchgezogen und somit an denselben gerieben. Die Grundlage der Reibkissen bilden, wie uns die Abbildung schon gezeigt hat, zwei flache, unten gabelförmig verbundene und von einer Glas säule (h) getragene Brettchen; die der Scheibe zugewendete Seite ist gepolstert und mit Leder überzogen; durch den Glasfuß h wird auch ein mit dem Reibzeug verbundener cylinderförmiger Konduktor, der Reibzeug-Konduktor (o), isoliert und gestützt. Um die Elektrizitäts-Erregung zu erhöhen, sind die Reibkissen durch Auftragen von Rtenmayer'schem Amalgam metallisch gemacht. Dieses Amalgam, aus einer Mischung von 2 Gewichtsteilen Quecksilber, 1 Teil Zink und 1 Teil Zinn bestehend, wird fein gepulvert auf das Leder, nachdem man dieses mäßig mit Fett bestrichen hat, gestreut und eingerieben; soll das Amalgam des Reibzeuges erneuert werden, so ist zunächst das alte mit einem stumpfen Messer abzuschaben.

Der dritte Hauptteil, der Konduktor, ist eine etwa 10 cm weite Kugel aus Messingblech (a), die von einer ungefähr 48 cm hohen Glas-

fäule (g) getragen wird. Figur 91, welche den Konduktor im Durchschnitt gezeichnet vergegenwärtigt, erläutert, wie derselbe auf dem Glasfuß y befestigt und wie oben (bei x) eine cylindrische Vertiefung eingelötet ist, in welche der Stiel des auf voriger Seite beschriebenen Holzringes gesteckt wird. Dieselbe Abbildung zeigt auch den Quertanal des Konduktors und dessen Scheidung in eine größere rechte und eine kleinere linke Hälfte. Links kann man eine an einem Messingstab befindliche kleinere Messingkugel, deren Zweck später angegeben werden soll, einstecken; rechts, an der der Scheibe zugewendeten Seite, wird die sog. Saugvorrichtung eingeschoben. Diese besteht, wie Fig. 86 uns veranschaulicht hat, aus zwei polierten, etwa 25 mm dicken und 12 cm im Durchmesser großen, an einem T förmigen Messingstück befestigten Holzringen (d d), zwischen denen die Scheibe sich hindurchbewegt. Jeder Ring hat auf der inneren, der Scheibe zugekehrten Seite eine mit Stanniol — wodurch die Leitung hergestellt wird — ausgekleidete Rinne, welche zudem mit einer Reihe feiner Metall- (Stechnadel-) Spitzen, die jedoch nicht über die Oberfläche des Ringes hinausragen, besetzt ist; die Wirkung dieser Spitzen erhellt schon aus den auf Seite 97 gemachten Mitteilungen, wird jedoch, wie überhaupt die Leistung der Maschine, in Kapitel 13 und 14 besonders zur Besprechung gelangen. Damit aber keine Elektrizität von der Glascheibe auf dem Wege vom Reibzeug bis zu der Saugvorrichtung seitlich verloren gehe, trägt jedes Reibkissen einen Flügel (Lappen) von isolierendem Stoff, gewöhnlich von Wachstaffet oder Seide, welcher sich, am Rissen angeleimt, von der Seite her gegen den unteren Teil der Glascheibe legt und bis ziemlich an die Holzringe reicht, wie Abbildung 86 deutlich erkennen läßt. Um diese Flügel auch während der Zeit der Nichtbenutzung des Apparats in steter Berührung mit der Scheibe zu erhalten und einem Verbiegen derselben vorzubeugen, sind aus Rohr verfertigte federnde Zwingen (p) vorhanden, welche man natürlich vor beginnender Drehung der Scheibe zu entfernen hat.

Gehe wir uns mit der Behandlung und Wirkung dieser Maschine beschäftigen, überblicken wir noch die anderen Arten Elektrifiziermaschinen.

b) Die Dampf- oder Hydro-Elektrifiziermaschine.

Im März 1781 hatten die französischen Gelehrten Lavoisier (1743 bis 1794) und Laplace (1749—1827) der Akademie der Wissenschaften in Paris Bericht erstattet über ihre Beobachtung, daß sich der bei Verdampfung von Wasser in einem eisernen Gefäß entwickelte Dampf elektrisch zeige; sie führten diese Erscheinung auf die Veränderung des Aggregatzustandes des Wassers zurück. Der Genfer Naturforscher Horace Ben. de Saussure (1740—1799) und der berühmte Italiener Volta (1746 bis

1827) teilten in ihren Schriften diese Ansicht und suchten aus jener Erscheinung die Entstehung der atmosphärischen Elektrizität herzuleiten, während der französische Physiker Pouillet (1791—1868) im Jahre 1825 nachwies, daß reines Wasser bei der Verdampfung in Tiegelu keine Erregung von Elektrizität verursache. Da sollte nun wieder einmal der mächtige Zufall, ein eigentümliches Ereignis Aufklärung schaffen.

Der Kessel einer in einer Fabrik zu Seghill bei Newcastle (England) befindlichen Dampfmaschine war im Oktober 1840 undicht geworden. Der Wärter, welcher den aus einem Spalt unweit des Sicherheitsventils hervorstömenden Dampf bemerkte und in der Absicht, das zu stark belastete Ventil zu regulieren, dieses mit der einen Hand faßte, geriet zufällig mit der andern Hand in den Dampfstrahl und erhielt im selben Augenblick einen gewaltigen, durch seinen Körper gehenden Schlag. Der in Newcastle lebende Techniker William George Armstrong (geb. 1810), auf die Nachricht von dem Geschehenen sogleich herbeigeeilt, konnte nur den rätselhaften Vorgang bestätigen. Er erkannte aber auch die elektrische Natur der Erscheinung und verfolgte die Entdeckung weiter. Als er sich auf einen Holierstuhl stellte und eine Eisenstange in den Dampfstrahl hielt, gab sein (nun in einen Konduktor verwandelter) Körper mächtige, rasch aufeinander folgende Funken*) ab. Die Stärke der letzteren und die Häufigkeit hing von der Spannung der Dämpfe im Kessel bezw. von der Gewalt ab, mit welcher sie aus dem Ventil strömten; die kräftigsten wurden erzielt bei Verwendung einer Lokomotive zu den Versuchen, weil deren Röhrenkessel sehr mächtige Dampfmenge in kurzer Zeit erzeugte, also das Öffnen des Sicherheitsventils zur Entlassung des Dampfes bei dem Versuch keine Verringerung der Dampfspannung im Innern des Kessels zur Folge hatte.

Da man bei der Untersuchung fand, daß die beim Ausströmen des Dampfes gewonnene Elektrizität die positive sei, so mußte der Kessel negativ elektrisch sein, und um dies nachzuweisen, ließ Armstrong eine Lokomotive isolieren. Diese Aufgabe war nun freilich keine leichte, und ein solch mechanisches Ungetüm läßt sich auch nicht auf Glasfüße bringen. Deshalb wurden die Räder auf harzige, mit Pech überzogene Holzklöße gestellt, welche zwei und zwei übereinander lagen und zwischen sich einen Reibkuchen hatten. Die auf vier derartigen Füßen stehende Dampfmaschine wurde nun geheizt. So lange diese Arbeit dauerte, zeigte sich bei der immer heißer werdenden Lokomotive keine Spur von Elektrizität, bis genug Dampf entwickelt war und derselbe durch das Ventil ausströmen durfte. Jetzt erwies sich der Kessel und die ganze Maschine so stark negativ elek-

*) Der elektrische Funke, wie überhaupt die elektrische Entladung wird einen Gegenstand der folgenden Kapitel bilden.

trisch, daß sie gegen einen dargebotenen Leiter eine fast ununterbrochene Reihe von kurzen, aber sehr starken Funken entließ. Der Umstand, daß die Funken nicht lang waren, ist den der Maschine eigenen zahlreichen Ecken und Spigen und der immerhin unvollkommenen Folierung zuzuschreiben.

Die nunmehr festgestellten Thatsachen gaben sowohl Armstrong, als auch seinem berühmten Landsmann Michael Faraday in London (1791 bis 1867) Veranlassung zu ausgedehnten Versuchen über die gelegentlich der Entstehung und Ausströmung des Dampfes erregte Elektrizität; Armstrong

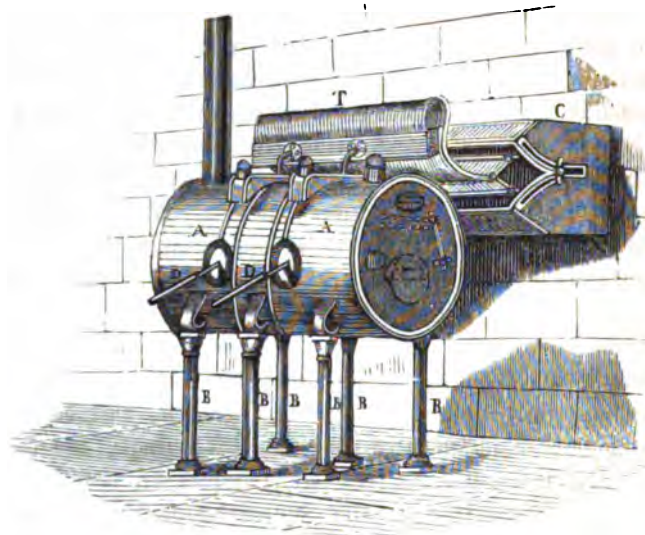


Fig. 92. Armstrong's große Dampf-Elektrifiziermaschine.

gelangte dahin, aus einem Dampfkessel eine Elektrifiziermaschine zu konstruieren, deren Wirkung die aller bis dahin bekannten Elektrifiziermaschinen weit übertraf, und Faraday wies nach (1843), daß die beobachtete Elektrizitäts-Entwicklung nicht bei der Dampfbildung an und für sich, sondern durch Reibung des mit flüssigen Wasserteilchen (Tröpfchen) vermischten Dampfes — welche dieser mit sich gerissen hat — an den Wänden des Ausströmungsröhres entsteht.

Die größte derartige Maschine wurde von Armstrong für das polytechnische Institut in London beschafft; unter Figur 92 geben wir die nach einer älteren englischen Originalzeichnung vor dreißig Jahren angefertigte Abbildung derselben. Der Hauptkörper ist ein $6\frac{1}{2}$ Fuß (210 cm) langer und $3\frac{1}{2}$ Fuß (115 cm) im Querdurchmesser großer Dampfkessel

A A von dickem, gewalztem Eisenblech, welcher einen ganz ungewöhnlich hohen Dampfdruck auszuhalten vermag. Der Kessel ist nach Art des Lokomotivkessels so eingerichtet, daß die im Feuerraum entwickelte heiße Luft in eine Anzahl messingener oder kupferner Röhren strömt und in diesen nochmals durch das Wasser des Kessels geführt wird, sodaß die erzeugte Wärme so schnell und so energisch als möglich zur Wirkung kommt, d. h. Dampf bildet; schließlich geht die heiße Luft und der Rauch durch einen Schlot aufwärts. An der oberen Wölbung des Kessels befinden sich vier dicke, aufsteigende Röhren von geringer Länge, welche in einen Kanal münden, der die Röhren (Ausflußöffnungen) zur Entlassung des Dampfes trägt; von letzteren besitzt die Maschine 46, auf der Abbildung unter T zusammengefaßt. Bei D D sieht man mit Holz bekleidete metallene Handhaben, mit deren Hilfe der Zutritt der Dämpfe des Kessels zu dem gemeinschaftlichen Kanal geregelt wird, jeder der mit diesen Handhaben verbundenen Hähne schließt oder öffnet die Hälfte der Röhren. Die Maschine steht auf sehr starken, einige Fuß hohen Glasäulen B . . . B, welche ihn isolieren, sodaß man nun in den Stand gesetzt wird, auch die negative Elektrizität des Kessels benutzen zu können.

Der aus dem Kessel abströmende Dampf geht durch die Röhren T, welche von dem gemeinschaftlichen Kanal über den Kessel beginnend, zuerst aufsteigen, dann sich in einen Bogen krümmen, noch unter die Hähne des Kanals sinken, dort wieder wagerecht werden und so in ihre Mündungen auslaufen. Die Krümmung und die Längen dieser 46 Röhren sind nicht willkürlich, sondern unter Verfolgung eines bestimmten Zieles gewählt. Bei der Untersuchung der Elektrizitäts-Entwicklung hat sich, wie schon oben erwähnt, erwiesen, daß nicht das Ausströmen des Dampfes an sich oder die Umwandlung des Wassers in Dampf die Quelle der Elektrizität, sondern daß dieselbe in der Reibung des Dampfes und des zu Tröpfchen niedergeschlagenen Wassers zu suchen sei, und zwar in der Reibung der Wasserteilchen vorzugsweise, denn die Elektrizitäts-Erregung war nach Faraday's sorgfältigen Experimenten eine sehr geringe, wenn nur reiner Dampf ausströmte. Der Dampf nun, welcher durch die gekrümmten und allseits dem Luftzutritt ausgesetzten Röhren strömt, wird zum Teil abgekühlt und in Wassertropfen verwandelt, der nicht niedergeschlagene Dampf aber reißt diese flüssigen Wasserteilchen mit sich fort und treibt sie gewaltfam, also unter heftiger Reibung, durch die Röhrenmündung; und um die Reibung noch zu vermehren, ist diese Mündung durch einen hohlen Holzcylinder noch bedeutend verengert, wie es Fig. 93 veranschaulicht: M N bezeichnet das an das Ende der Röhre angeschraubte messingene Mundstück, in welchem der die Fortsetzung der eigentlichen Röhre bildende

hohle Holzcylinder a b c d steckt, hinter dem die Röhre durch ein eingesehtes Metallstück so verengert wird, daß der durch die Spannung im Kessel getriebene Dampf den vom Pfeil angedeuteten Umweg machen muß, bevor er in den Holzcylinder eintreten und entweichen kann.

Der hoch gespannte Dampf tritt also in den sämtlichen Ausströmungs-Röhren gemeinsamen Kanal, aus diesem in die Röhren selbst und strömt aus der verengerten Öffnung unter heftiger Reibung hervor. Die Holzfütterung der Röhren vertritt das Reibzeug, der ausströmende Dampf den geriebenen Glaskörper; die Elektrizität des Dampfes ist somit die positive, der Kessel dagegen zeigt sich negativ elektrisch. Am lebhaftesten gestaltet sich der Vorgang, wenn man die Mündung der Röhren auf Metallspitzen oder auf einen mit der Erde leitend verbundenen und mit Metallspitzen versehenen Metallrahmen (Konduktor) richtet. Die beigegebene Abbildung

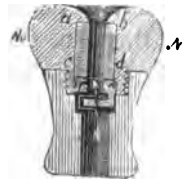


Fig. 93.
Ausströmungs-Öffnung.
Durchschnitt.

der großen Londoner Maschine (Fig. 92) zeigt den dabei zur Verwendung gekommenen Rahmen; er ist (C) in einen Kamin eingeseht, durch welchen die verdichteten Dämpfe als Wasser abfließen, die nicht verdichteten nach oben entweichen, doch läßt sich die Einrichtung, wie wir weiterhin sehen werden, auch in anderer Weise treffen. Sene große Armstrong'sche Maschine lieferte Funken von 50—60 cm (22 Zoll) Länge, welche mit ungeheurer Kraft und fast ohne Unterbrechung auf den Funkenzieher überströmten; gewaltige Flaschenbatterien (siehe Kapitel 17) wurden durch sie binnen 2 Minuten geladen, während eine große Scheibenmaschine mit zwei Scheiben von 6 Fuß Durchmesser zur gleichen Arbeit 5 Minuten brauchte. Überhaupt traten alle elektrischen Erscheinungen in großartigem Maßstab auf; man hatte mit Erfindung der Hydro-Elektrifiziermaschine eine Quelle der Elektrizitäts-Erregung entdeckt, wie sie bis dahin noch nicht bekannt, ja kaum für möglich gehalten war. Und es erscheint demnach als selbstverständlich, daß die Londoner Maschine vielfach in geringeren Größenverhältnissen nachgebildet wurde.

Eine solche kleinere Maschine stellt Figur 94 dar. Der Hauptkörper ist wiederum ein Dampfkessel, etwa 1 m lang und 40—45 cm im Durchmesser, isoliert durch vier Glasfüße. Die Feuerung (F) ist im Innern so eingerichtet, daß sie von dem zu erhitzenden Wasser umgeben wird. Der Dampf sammelt sich in dem auf der Mitte der oberen Dampfkesselwölbung angebrachten Hut, auf welchem ein kurzes, mittels Hahn verschließbares Messingrohr befestigt ist, durch das der Dampf in den aufzuschraubenden Ausströmungs-Apparat e gelassen wird. In der Nähe des Hutes bemerkt man ein Sicherheitsventil, dessen Gewicht verschiebbar ist und so weit

herausgeschoben werden kann, daß der Dampf einen Druck von 6 bis 7 Atmosphären*) äußern muß, um das Ventil zu heben.

Der Ausströmungs-Apparat c besteht aus einem gußeisernen Rohr (links), einem flachen viereckigen, mit kaltem Wasser gefüllten Kasten, der Kühlbüchse, aus Messing und mehreren an das Rohr sich ansetzenden, die Kühlbüchse in wagerechter Richtung durchziehenden und an der rechten Seite heraustretenden metallenen Ausströmungs-Röhren; die in dem Messing-

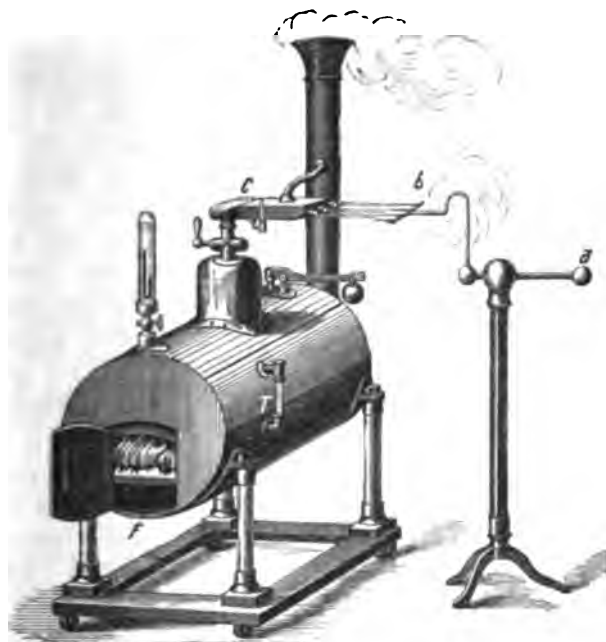


Fig. 94. Dampf-Elektrifermaschine.

kasten sich entwickelnden Wasserdünste entweichen, wie die Abbildung veranschaulicht, durch ein in die Oberseite des Kastens eingelassenes Messingrohr in den Schornstein. Die Mündungen der Ausströmungs-Röhren sind in der beschriebenen und durch Fig. 93 erläuterten Art eingerichtet. Falls die letzteren recht lang sind — wie bei der großen Londoner Maschine —, so erscheint eine besondere Abkühlungs-Vorrichtung überflüssig.

Wird nun, nachdem der Kessel geheizt worden und der Dampf die nötige Spannkraft erlangt hat, der auf dem Kesselhut befestigte Absperr-

*) Der Druck einer „Atmosphäre“ ist gleich dem Druck eines Gewichts von 1 kg (genauer: 1,033 kg) auf 1 □ cm oder 10330 kg auf 1 □ m. Näheres darüber folgt in der „Mechanik“.

hahn durch eine Viertel-Umdrehung geöffnet, so strömt der Dampf in den Apparat c und durchzieht, wobei sich jedoch ein Teil verdichtet und als Tröpfchen an den Röhrenwandungen niederschlägt, die Ausströmungsröhren, um aus diesen zu entweichen; die in den Röhren entstandenen Tröpfchen werden aber von dem stetig nachströmenden Dampf mitgerissen und reiben sich stark an der hölzernen Auskleidung der durch diese verengten Röhrenmündungen (Fig. 93). Hierdurch werden Röhren und Kessel negativ elektrisch, während der den zu reibenden Glaskörper vertretende Dampf die entgegengesetzte Elektrizität, d. i. die positive, zeigt. Dies läßt sich leicht nachweisen, sobald man den Dampfstrom auf einen durch Glasfuß isolierten Konduktor (Fig. 94 a b), welcher mit metallenen Saugspitzen (b) und Sammeltugel ausgerüstet ist, richtet: der Konduktor hat, wie eine Prüfung ergibt, positive Elektrizität erhalten. Bei diesem Verfahren, d. h. unter Verwendung eines isolierten Konduktors, hat man beide Arten Elektrizität zur Verfügung; die Wirkung tritt aber am stärksten auf, wenn man eine der beiden Elektrizitäten zur Erde ableitet. Will man also nur die negative Elektrizität des Kessels benutzen, so gebraucht man einen durchweg metallenen (messingenen) Konduktor, welcher die aufgenommene + E des Dampfes zur Erde abführt; beabsichtigt man indeß, unter Verzicht auf die — E des Kessels, gerade die + E des Dampfes zu erhalten und zu verwerten, so muß man wieder von dem isolierten Konduktor Gebrauch machen, kann aber als Dampferzeuger jede Lokomotive oder Lokomobile verwenden, sobald man ihr nur den oben beschriebenen Ausströmungs-Apparat angefügt hat. Denn daß lediglich die Reibung des mit Wasserteilchen vermischten, heftig ausströmenden Dampfes an den Wänden der Ausströmungs-Röhren, nicht aber die Bildung und nachherige teilweise Verdichtung desselben die Ursache der Elektrizitäts-Entwicklung ist, erkennt man zur Genüge aus dem Umstande, daß die letztere nicht eintritt, wenn beim Ausströmen des Dampfes — z. B. durch das geöffnete Sicherheitsventil — keine Reibung stattfindet, während doch Neubildung und Verdichtung von Dampf unausgesezt vor sich geht.

Faraday hat in dieser Beziehung manche ebenso interessante als lehrreiche Versuche angestellt. Dieselben lehrten unter Anderem, daß bei einer Auskleidung der Röhren-Mundstücke mit Elfenbein eine Elektrizitäts-Erzeugung nicht vor sich ging, während in dem Falle, daß man den Holzcylinder durch eine metallene oder gläserne Dampf-mündung ersetzte, die Wirkung mit der oben besprochenen übereinstimmte: der Dampf zeigte sich positiv, der Kessel negativ elektrisch. Dagegen wiederum erwies sich der ausströmende Dampf als negativ, der Kessel positiv elektrisch, nachdem man etwas Terpentin-, Lorbeer- oder Oliven-Öl oder Fette in die Ausflußröhren

gebracht hatte; führte man aber eine Salzlösung in die Röhren ein, so blieb die Elektrizitäts-Entwickelung aus.

Eine Dampf-Elektrifiziermaschine von den oben angegebenen Größenverhältnissen giebt bei einem 6 oder 7 Atmosphären betragenden Druck des Dampfes (Spannung) Funken von 25—30 cm Länge. Je höher der Dampf gespannt, je größer die Kesselfläche, je mehr Ausströmungs-Röhren vorhanden und je reiner und weicher das Kesselwasser, desto bedeutender die Wirkung der Hydro-Elektrifiziermaschine.

Obgleich dieselbe hinsichtlich der Leistung die gewöhnlichen Reibungs-Elektrifiziermaschinen weit übertrifft, so ist doch ihre Herstellung und Behandlung umständlich und in gewissem Grade sogar gefährlich, und deshalb kommt sie, seit man die ungemein ergiebigen Influenzmaschinen erfunden, kaum noch zur Verwendung.

B. Influenzmaschinen.

Wie schon erwähnt, wird bei einer zweiten Gruppe von Elektrifiziermaschinen die Elektrizität nicht durch Reibung, sondern durch elektrische Verteilung (Influenz) erzeugt. Der Vorgang spielt sich also in entsprechender Weise wie beim Elektrophor ab, und daher werden die Influenzmaschinen auch Elektrophor-Maschinen genannt. Unsere eigentlichen Influenzmaschinen sind zwar erst vor zwei Jahrzehnten erfunden und seitdem mehrfach abgeändert und vervollkommenet worden; allein Anfängen dieser Apparate begegnen wir schon vor 50, ja wenn wir den aus zwei Elektrophorkuchen bestehenden „Doppel-Elektrophor“ Lichtenberg's (1778) und den aus drei überstrichnen Platten — deren dritte, mit isolierendem Handgriff versehene, die Stelle des Elektrophordeckels vertrat — gebildeten Elektrizitäts-Verdoppler oder „Duplikator“ Bennet's (1787) in Betracht ziehen, sogar schon vor 100 Jahren; denn auch diese an und für sich noch einfachen Vorrichtungen dienten bereits dazu, durch wiederholte Influenz eine elektrische Ladung beträchtlich zu vergrößern. Bennet's Landsleute Cavallo und Nicholson verfolgten den Plan weiter: Cavallo war der erste, welcher die drei Platten auf Glasfüße senkrecht und parallel nebeneinander stellte, und in seinem neuen Instrument, dem sog. Multiplikator, fügte er noch eine vierte Platte ein, machte die letztere mittels drehbaren Hebels beweglich und stellte durch Drähte die behufs Entladung u. notwendigen Verbindungen und Leitungen her; Nicholson ging der Idee, die Umdrehung einer Platte zur Verstärkung elektrischer Ladungen zu verwerten, nach und konstruierte (1788 ff.) zwei Apparate, deren erster ähnlich dem Cavallo'schen Instrument aus zwei isolierten feststehenden Platten und einer ebenfalls isolierten runden, aber durch Drehung um eine Achse beweglichen und den

anderen gegenüber zu stellenden Platte bestand, während bei der zweiten Vorrichtung zwei wagerechte — eine festliegende untere und eine drehbare obere —, mit Hilfe von Stanniolbelegen u. den Zwecken dienlich gemachte Glasscheiben zur Verwendung kamen. Aber erst fast ein halbes Jahrhundert später (1831) gelang es dem Italiener Volta, einen Apparat zu konstruieren, mittels dessen durch Influenz fortdauernd Elektrizität entwickelt werden konnte und der deshalb als die erste Influenzmaschine bezeichnet werden darf. Freilich litt auch diese Vorrichtung, auf deren Beschreibung wir hier nicht eingehen können, an verschiedenen Unvollkommenheiten, und daher kam es, daß ihr wenig Beachtung geschenkt wurde.

Nachdem wiederum ein längerer Zeitraum verstrichen, wurden endlich unsere heutigen, eigentlichen Influenzmaschinen erfunden, bei welchen — wie beim Elektrophor — die erste elektrische Ladung durch die verteilende Wirkung (Influenz) einer schwachen Reibungs-Elektrizität erfolgt, worauf sie durch weitere Influenz ihre Ladung selbstthätig so bedeutend steigern, daß sie hinsichtlich der Wirkung die Reibungs-Elektrifiziermaschinen weit übertreffen. Die Erfindung wurde fast gleichzeitig, aber völlig unabhängig voneinander von zwei Physikern, Lößler in Dorpat (später Professor in Dresden) u. A. W. Holz in Berlin, gemacht; die Erfinder traten damit — Lößler zuerst — Anfang 1865 hervor. Die Maschinen weichen wohl betreffs der Einrichtung oder Anordnung ihrer Teile voneinander ab, doch ist schließlich die Wirksamkeit die gleiche, und deshalb genügt es, wenn wir die bekanntere, die Holz'sche, hier besprechen.

Die Maschine (Fig. 95) besteht aus zwei parallel gestellten Kreisrunden, gefirnisten, durch einen möglichst kleinen Zwischenraum getrennten Glasscheiben A und B, von denen die hintere (A) feststeht, während die vordere und um $\frac{1}{6}$ oder $\frac{1}{10}$ kleinere Scheibe B mittels Kurbel und Schnurlauf S um ihre aus Hartkautschuk gefertigte Achse x gedreht werden kann; die Zapfen der Achse sind in den von vier Glasäulen 1,2 (nicht sichtbar auf der Abbildung), 3,4 getragenen, ebenfalls aus Hartkautschuk hergestellten Querstücken k k und h gelagert. Die Glasäulen sind, wie die Zeichnung veranschaulicht, oben und unten in Holzteile eingelassen und hier (1 mit 2, 3 mit 4) durch je zwei wagerechte Glasstangen verbunden, auf welchen je ein mit einer Rinne versehener Hartkautschuk-Ring befestigt ist; zwischen diese Ringe wird die Glasscheibe A gestellt, sodaß die gläsernen Querstangen ihre Stütze bilden. Die Scheibe hat an zwei gegenüberliegenden Stellen Ausschnitte (a und b), an deren einem Rand auf der der beweglichen Scheibe B abgewandten, also hinteren Seite schmale Belegungen (sog. Armaturen) von Kartonpapier (c und d) aufgeklebt sind, von welchen aus je eine Papierspitze — auf der rechten Seite der Scheibe bei g ersichtlich —

in den Ausschnitt der Scheibe hineinragt. Diesen Papierbelegen gegenüber befinden sich vor der drehbaren Scheibe B zwei mit einer Reihe von Zähnen ausgerüstete messingene Saugvorrichtungen (Metallkämme oder Rechen, g g und i i), welche ihre Spitzen der Scheibe zuehren und als Konduktoren für die positive und negative Elektrizität dienen; die messingenen Stiele dieser Kämme gehen nach vorn durch den Querbalken k k und endigen in den Messingkugeln f und e. Diese Kugeln f e werden wiederum durchbohrt von den nach außen mit isolierenden Handhaben aus Hartkautschuk

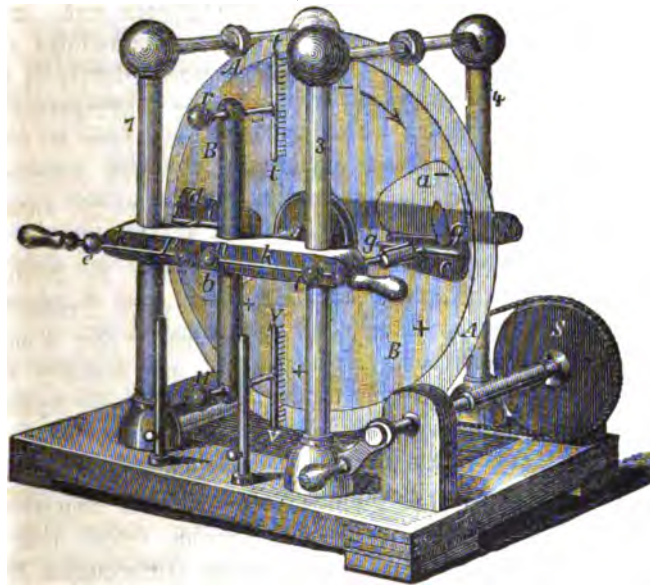


Fig. 95. Holtz'sche Influenzmaschine.

versehenen hin- und herschiebbaren Leitern (Konduktoren), das sind dicke, am inneren Ende messingene Kugeln (n p) tragende Messingdrähte.

Weniger Bedeutung haben einige andere, auf der Abbildung mit angegebene Stücke der Maschine. So trägt ein senkrechter, durch den Querbalken hindurchgehender Hartkautschuk-Stab r u an seinem oberen und unteren Ende je einen verschiebbaren senkrecht stehenden Saugkamm (t t und v v), die sog. überzähligen Kämme. Endlich bemerkt man noch an der Vorderseite des Fußbrettes zwei kleine Säulchen; sie können bis zu k k hinaufgeschoben werden und dienen dann als Vermittler, indem andere Apparate durch die Drähte, welche in die Säulchen gesteckt und hier von einer kleinen Schraube festgehalten werden, mit dem Querbalken resp. seinen Armen verbunden und in den elektrischen Strom gebracht werden können;

doch vermag man dies auch vermittelt der Kugeln e f zu erreichen, und deshalb sind jene Säulchen zu entbehren.

Benutzung. Die Maschine wird in Gang gesetzt, indem man eine durch Reiben mit Katzenfell negativ elektrisch gemachte Hartkautschuk-Platte hinter der festen Scheibe A nahe gegen den Papierbelag c hält und die bewegliche Scheibe B in der Richtung des Pfeils den Spitzen der Papierbelegungen entgegen dreht, während die sog. Elektroden, d. s. die Kugeln n und p der Konduktoren, sich berühren und die sog. überzähligen Rämme t t und v v von der Scheibe A zurückgezogen sind. Sobald B in Bewegung gesetzt worden, vernimmt man ein eigentümliches zischendes oder knisterndes Geräusch, das von der ausströmenden Elektrizität herrührt. Man entfernt nun die Kautschukplatte, welche die Elektrizitäts-Erregung hervorrief, dreht aber beständig weiter, und zieht man dann die Elektroden n und p mittels der vorhandenen Handhaben allmählich auseinander, so bemerkt man einen Funkenstrom zwischen den Kugeln, welcher andauert, so lange die Scheibe gedreht wird. Man darf aber die Kugeln nicht zu weit auseinander rücken, sonst hört der Strom und somit die Wirkung der Maschine auf; bei einer Maschine, deren Scheibe A einen Durchmesser von etwa 30 cm hat, kann die allmähliche Entfernung 5 oder 6 cm, unter günstigen Umständen auch etwas mehr betragen, und bezüglich der Umdrehungs-Geschwindigkeit der Scheibe rechnet man zwei bis vier Umdrehungen auf die Sekunde.

Die Wirkungsweise der Maschine gestaltet sich also folgendermaßen. Hält man die negativ elektrische Kautschukplatte wie oben angegeben gegen den Papierbelag c , so wird dieser negativ elektrisch, indem seine positive Elektrizität infolge der Anziehung ungleichnamiger Elektrizitäten durch die (auf der Abbildung nach oben, a , hingerrichtete) Papierspitze gegen die Kautschukplatte ausströmt, während die gleichnamige, negative Elektrizität zurückbleibt. Jetzt wird die Kautschukplatte bei Seite gelegt. Die — E des Papierbelags c wirkt nun nach den von uns bereits kennen gelernten Gesetzen verteilend und zwar sowohl auf die sich drehende Glasscheibe B als auch auf den messingenen Sauglamm g g , sie zieht in beiden Körpern die + E an, stößt dagegen die gleichnamige — E ab und treibt diese zurück, sodaß die Scheibe zunächst auf der hinteren, dem Papierbelag zugewendeten Seite positiv (+), auf der vorderen jedoch negativ (—) elektrisch wird. Da nun Glas ein Nichtleiter und der Messinglamm ein Leiter der Elektrizität ist, in einem Leiter aber — wie wir in Kapitel 6 erfahren haben — die elektrische Verteilung oder Influenz weit rascher und vollkommener vor sich geht als in einem Nichtleiter, so erhellt daraus, daß die aus den Spitzen des Messinglammes g g gegen die Scheibe B fließende

+ E nicht nur ausreicht, um die — E ihrer Vorderseite zu neutralisieren, sondern auch um die letztere selbst noch mit + E zu laden; daher ist jetzt die Hälfte der Scheibe, welche an dem Metallkamm g g vorbei gedreht worden ist (auf der Abbildung die untere Hälfte, B +), auf beiden Seiten positiv elektrisch.

Die elektrische Influenz erstreckt sich aber immer weiter. Bei der Umdrehung gelangt der soeben bezeichnete Teil der Scheibe B an die in den Ausschnitt b hineinragende Spitze des auf der festen Scheibe A angebrachten Papierbelags d, jene + E von B zieht hier aus der Papier Spitze die — E heraus und gleicht sich mit derselben aus, so daß der Belag d gleichfalls positiv elektrisch sich erweist. Nun aber wirkt diese + E des Belags d (in entsprechender Weise wie vorhin die — E des Belags c) verteilend auf die Elektrizität der beweglichen Scheibe B und des Messingkamms i i: aus den Kammspitzen strömt die angezogene — E auf die Scheibe B, die jetzt oben befindliche Hälfte der letzteren wird dadurch beiderseits mit — E geladen und diese — E geht, bei ununterbrochener Umdrehung am Ausschnitt angekommen, in den Papierbelag c über, um dessen negativ elektrische Ladung und verteilende (influierende) Wirkung zu erhöhen.

In dieser Weise wiederholt sich der Vorgang bei jeder Umdrehung und daraus ersieht man, daß die elektrische Ladung der beiden Papierbelege c und d in ganz kurzer Frist erheblich gesteigert wird. Die verteilende Wirkung der Belege verursacht auch, wie wir gesehen, eine Zurücktreibung der Elektrizitäten in die Metallkämme g g und i i, und von ersteren geht nun die positive aus dem Kamm i i nach der Kugel (Elektrode) p, die negative vom Kamm g g nach der Kugel n, um sich zwischen den beiden Kugeln auszugleichen, zu neutralisieren: die Elektrizität der Kugeln strömt infolge der auf ihnen erlangten großen Dichte in die Luft aus und geht durch die Luftschicht hindurch zwischen den Kugeln über, so daß man im Dunkeln von den letzteren ausgehende Lichtstrahlen bemerkt, die uns im 14. Kapitel beschäftigen sollen. Um das Ausgleichen der Elektrizitäten von Anfang an, wenn die Maschine erst in Gang gesetzt wird und die Ladung mithin noch schwach ist, zu ermöglichen, hat man die Kugeln, wie oben erwähnt, zunächst zusammenzuschieben (Fig. 96).

Bereits auf voriger Seite wurde daran gemahnt, die Elektroden n und p nicht zu weit auseinander zu rücken, da sonst der Strom und somit die Wirkung der Maschine aufhört; denn die auf den Elektroden angesammelten Elektrizitäten vermögen sich bei zu großer gegenseitiger Entfernung derselben nicht mehr auszugleichen, sie strömen durch die Kämme auf die Scheibe zurück — anstatt von der Scheibe auf die Konduktoren —

und machen deren Ladung verschwinden, oder sie kehren die Ladung sogar um, indem die Belegungen und die anderen Teile der Maschine das Zeichen ihres elektrischen Zustandes (+ oder —) ändern. Um ein derartiges „Erlöschen“ der Maschine bei zu großer gegenseitiger Entfernung der Elektroden zu verhüten, sind die verschiebbaren „neutralen“ oder „überzähligen“ Metallkämme t t und v v vorhanden, welche, bei unseren bisherigen Versuchen zurückgezogen, gegen die Scheibe vorgeschoben und durch einen Messingstab verbunden werden. Sind solche Kämme an der betreffenden Maschine nicht angebracht, so muß man die etwa unterbrochene Wirkung dadurch wiederherstellen, daß man die Kugeln n und p wie anfangs in Berührung miteinander bringt und dadurch die Konduktoren in leitende Verbindung setzt und, während die Scheibe gedreht wird, einem der beiden Papierbelege eine geriebene Kautschukplatte nähert.

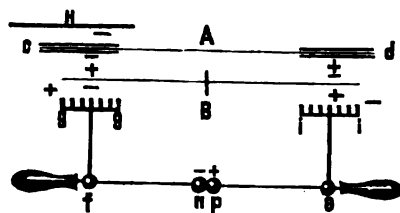


Fig. 96. Influenzmaschine. Schema.

Denn es braucht ja nicht gerade die rechtsseitige Belegung zu sein, hinter welche man die elektrische Kautschukplatte hält, um die erste Elektrizität auf der Maschine zu erregen; der Vorgang findet ganz in entsprechender Weise statt, wenn man sich an die andere Belegung wendet, wie dies Abbildung 96 — welche einen schematischen

Horizontal-Durchschnitt der Maschine und das Schema der Wirkungsweise derselben bietet — veranschaulicht. H bezeichnet die Hartkautschuk-Platte, A die feststehende, B die bewegliche Scheibe, c und d die Papierbelege, g g und i i die metallenen Saugkämme, f und e die Metallkugeln der Rammstiele, n und p die Messingkugeln (Elektroden) der verschiebbaren, mit Handgriffen versehenen Konduktoren. Die Figur vergegenwärtigt den Zeitpunkt, in dem die Maschine in Betrieb gesetzt wird: die Elektroden sind in Berührung gebracht, also die Verbindungen zwischen den Konduktoren hergestellt, hinter dem Papierbelag c befindet sich die erregende negativ elektrische Hartkautschuk-Platte H . Der Vorgang der Entwicklung und Verstärkung von Elektrizität vollzieht sich nun in der beschriebenen Weise und wir brauchen, umsomehr als die in Figur 96 gebrauchten Buchstaben mit den in Fig. 95 angegebenen sich decken, die Darstellung nicht zu wiederholen; nur sei bemerkt, daß, da jetzt die Elektrizität auf der linken Seite bei c erregt, die Scheibe an dieser Seite aufwärts gedreht wird, die obere Hälfte der Scheibe positiv elektrisch erscheint.

Die Wirkungsweise der Holz'schen Influenzmaschine beruht also, wie wir gesehen haben, darauf, daß die an einer Stelle der Scheibe (Belegung) erregte Elektrizität durch die Bewegung der Maschine selbst auf eine andere Stelle derselben übertragen wird — bezw. daß die andere Belegung infolge der Umdrehung der Scheibe die entgegengesetzte Ladung erlangt — und daß dann bei jeder Umdrehung die beiden elektrischen Ladungen einander gegenseitig verstärken, bis ein gewisser Grad erreicht ist. Dies Verfahren der Verstärkung oder Vervielfältigung wurde, allerdings in ganz anderer Form, im Grunde genommen schon von Volta und Lichtenberg angegeben und beim sogenannten Doppel-Elektrophor (Seite 123) angewandt: der Kuchen eines Elektrophors wird gerieben, mit dem Deckel des letzteren der Kuchen eines zweiten Elektrophors elektrifiziert, mit dessen Deckel wiederum der des ersten Elektrophors stärker geladen u. s. f. Und betrachten wir daraufhin die Maschine, so könnten wir sie als eine Vereinigung zweier Elektrophore mit gemeinschaftlichem, sich um die Achse drehenden Deckel bezeichnen; die beiden Papierbelege auf der gefirnigten feststehenden Scheibe vertreten die Kuchen, die bewegliche Scheibe den Deckel.

Aus der Art der Elektrizitäts-Erzeugung, die soeben noch einmal in Kürze wiederholt wurde, geht schon hervor, daß die Influenz-Elektrifiziermaschine bei gleichen Größenverhältnissen eine weit beträchtlichere Elektrizitäts-Menge bezw. lebhafteren Funkenstrom liefert, als die gewöhnlichen Reibungs-Elektrifiziermaschinen, deren Leistung im folgenden Kapitel zur Besprechung gelangt; sie eignet sich daher insbesondere zur Anstellung aller der Versuche, welche eine sehr reichliche Entwicklung von Elektrizität hoher Spannung erfordern. Die elektrische Spannung kann noch erhöht werden durch die der Maschine gewöhnlich beigelegte, von Holz erfundene Verstärkungs-röhre (Kondensator) oder durch Leydener Flaschen. Die erstere ist eine etwa 3 cm weite, gefirnigte, beiderseits durch gut gefirnigte Korkscheiben geschlossene, innen mit einem Stanniolstreifen und an den Enden außen mit Stanniolringen (von etwa 10 □ cm) beklebte Glasröhre, welche auf die Messingstiele der Sauglämme gelegt wird und so lang sein muß, daß die Stanniolringe auf die Messingstiele zu liegen, also in Berührung kommen. Diese Verstärkungs-röhre wirkt in derselben Weise wie zwei Leydener Flaschen, welche da, wo auf der Figur die Säulchen (Seite 125) angegeben sind, eingestellt und deren innere Belegungen mit den Konduktoren der Maschine, deren äußere Belegungen aber durch einen Stanniolstreifen unter sich verbunden werden. Das hierbei zu Beobachtende wird jedoch erst zur Erörterung kommen, nachdem uns die Leydener Flaschen selbst (Kapitel 17) beschäftigt haben. Betont sei aber hier schon, daß man die Influenzmaschine mit Vorteil zur Ladung größerer elektrischer Batterien verwendet.

Es wurde schon angedeutet, daß sich alle die mittels der Reibungs-Elektrifiziermaschinen anzustellenden Versuche (s. Kap. 14) mit Hilfe der Influenzmaschine erfolgreicher ausführen lassen; selbst chemische und magnetische Wirkungen vermag man mit ihr hervorzurufen: so reicht der Strom zur Wasserzerlegung und für Geißler'sche Röhren aus, das Leuchten der letzteren (zwischen den Konduktoren) zeigt sich in schönster Weise, Schießbaumwolle u. kann man augenblicklich entzünden u. a. m. Was aber noch besonders hervorgehoben zu werden verdient, ist, daß durch diese Maschine die von uns beim Drehen aufgewendete Arbeit in Elektrizität umgewandelt wird und zwar ohne daß die Reibung dazwischen greift. Dreht man die im geladenen Zustande befindliche Maschine, so fühlt man einen größeren Widerstand, als wenn sie nicht geladen ist, man hat also im ersten Falle eine erheblichere Arbeit zu leisten, dieses Mehr aber wird in Elektrizität verwandelt.

Als ganz selbstverständlich muß es erscheinen, daß nach Erfindung dieser Maschinen Gelehrte und Mechaniker mit Abänderungen und Verbesserungen derselben sich beschäftigten bezw. auf wissenschaftlichen Untersuchungen begründete Vorschläge machten und in der Praxis durchführten. Die Förderung der Theorie der Holz'schen Maschinen ließen sich namentlich die Berliner Professoren Joh. Christ. Poggendorf und Nieß, ferner G. Wiedemann u. A. angelegen sein; Umänderungen des Holz'schen Apparats lieferten Vertsch, Stöhrer, Zenger u. A.; Kaiser verband zwecks Erhöhung der elektrischen Spannung zuerst (1869) zwei Holz'sche Maschinen, indem er zu beiden Seiten der feststehenden Scheibe zwei bewegliche in Umdrehung versetzte, später vereinigte man sogar mehrere Maschinen. Im Jahre 1879 wurde eine Maschine konstruiert, welche die Prinzipien der Holz'schen und der Löpler'schen Vorrichtung vereinigte, und 1880 baute S. R. Bofz in Berlin eine ähnliche Maschine, die sich durch mehrere an der feststehenden Scheibe angebrachte und an Stanniol-Belegungen der beweglichen Scheibe schleifende Metallbürsten kennzeichnet. Wie die Holz'schen, so wurden auch die Löpler'schen Maschinen in großem Maßstab ausgeführt, und auf der Pariser Elektrizitäts-Ausstellung befand sich eine solche mit 60 sich drehenden Scheiben, deren Leistungen natürlich ganz außerordentliche sind.

13. Wirkungsweise und Behandlung der Elektrifiziermaschine.

Nachdem wir im vorigen Kapitel die Reibungs-Elektrifiziermaschinen eingehend besprochen, haben wir uns nun mit der Wirkungsweise und Leistung und dem Gebrauch derselben zu beschäftigen. Wir berücksichtigen dabei nur die Scheibenmaschinen — und zwar die Winter'schen —, da sie

jetzt allgemein verbreitet sind und, abgesehen von anderen empfehlenden Eigenschaften, gegenüber den Cylinder-Maschinen den Vorzug besitzen, daß bei ihnen beide Oberflächen (der Scheibe) gerieben werden, an der Cylinder-Maschine jedoch nur die äußere Mantelfläche.

Bewegt man mittels der Kurbel *i* (Fig. 97) die Glasscheibe in Umdrehung, so wird durch die nun stattfindende Reibung des Glases an dem amalgamierten Leder die Scheibe positiv, das Reibzeug hingegen negativ

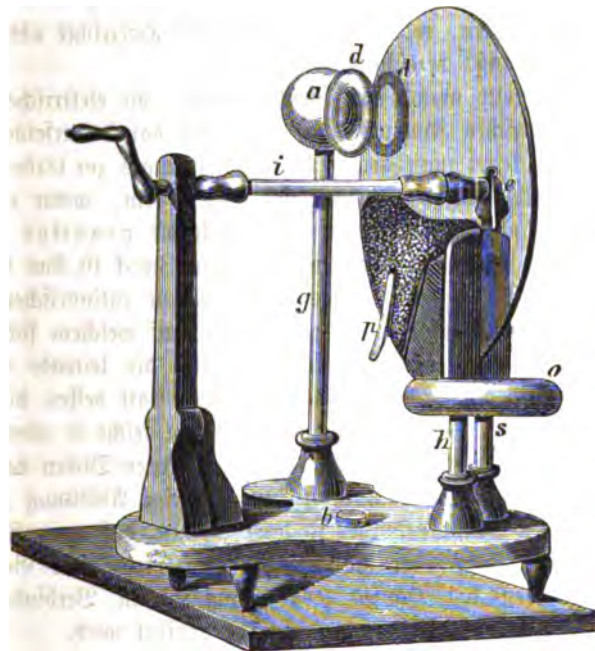


Fig. 97. Winter's Scheiben-Elektrifiziermaschine.

elektrisch. Die negative Elektrizität des letzteren wird während der Drehung der Scheibe gewöhnlich durch eine am Reibzeug angebrachte Kette oder einen Draht von Metall zur Erde abgeleitet, um zu verhindern, daß sie sogleich wieder einen Teil der positiven Elektrizität der Glasscheibe neutralisire. Diese + E, welche auf der Glasscheibe haftet und vermittelt eines Stückes Wachstaffet oder Seide (Seite 116) am Entweichen gehindert wird, gelangt nun beim Weiterdrehen zwischen die beiden mit Stanniolbeleg und Metallspitzen versehenen Holzringe *d d* des kugelförmigen Konduktors *a*, wirkt hier verteilend auf die neutrale Elektrizität dieses Leiters, treibt die + E in die Kugel *a* und zieht die - E an sich heran in die Spitzen der Ringe, aus welchen diese gegen die Scheibe strömt, um sich

hier mit deren positiver Elektrizität zu vereinigen, also die Scheiben unelektrisch (neutral) zu machen. Nach dem, was wir in früheren Kapiteln kennen gelernt haben, wissen wir, daß die Menge positiver Elektrizität, welche durch die übergeströmte $-E$ auf der Scheibe neutralisiert wurde, gleich ist der auf dem Konduktor angehäuften Menge positiver Elektrizität; denn letztere sowohl wie die übergeströmte $-E$ sind durch Influenz erzeugt und gleichstark; es hat aber den Anschein, als ob die Spitzen der Holzringe die $+E$ der Glasscheibe eingefaugt und dem Konduktor zugeführt hätten, weshalb man eben die Holzringe als „Sauger“ oder „Saugvorrichtung“ bezeichnet.

Gewöhnlich stellt man, wie schon bemerkt, die elektrischen Versuche am positiv elektrischen Konduktor (a) an; und damit derselbe möglichst viel $+E$ erhalte, leitet man die $-E$ des Reibzeuges zur Erde ab; Reibzeug und Konduktor dürfen nicht zugleich isoliert sein, wenn man schöne Wirkungen sehen will. Doch kann man auch die negative Elektrizität des Reibzeuges zu Versuchen benutzen. Zu dem Zweck ist das letztere mit isolierendem Glasfuß (h) versehen und mit einem cylindrischen, an den Enden abgerundeten Konduktor (o) ausgerüstet, auf welchem sich die $-E$ anhäuft; natürlich muß man ihn isolieren, also die leitende Verbindung des Reibzeuges mit dem Erdboden aufheben und statt dessen die $+E$ des Konduktors a ableiten. Bei kräftigeren Maschinen reicht es aber nicht aus, die ableitende Metallkette einfach bis auf die trockenen Dielen des Zimmers reichen zu lassen, sondern man muß, um gehörige Ableitung zu schaffen, die Kette oder den Draht entweder so lang machen, daß man sie auf dem Boden ausbreiten kann oder sie mit größeren metallenen Gegenständen bezw. Einrichtungen des Hauses (Gasleitung u.) in Verbindung setzen, durch welche die Leitung weiter, in die Erde geführt wird.

Behandlung der Maschine. Die Wirkung einer Elektrifiziermaschine hängt wesentlich von der Witterung, der Temperatur und Feuchtigkeit der Luft, ab. Vor allem muß die Luft (und gleicherweise die Maschinenteile) trocken sein, dies ist wichtiger als höhere oder niedere Temperatur; Feuchtigkeit in dem Grade, daß sie sich bei der jeweilig vorhandenen Temperatur dem Taupunkt nähert — d. h. daß der in der Luft vorhandene Wasserdampf gesättigt ist und sich zu verdichten beginnt —, ist unbedingt nachteilig für die Wirkung der Maschine. Schon bei Besprechung der einfachen elektrischen Versuche haben wir hervorgehoben, daß zu ihrem ausnahmslosen Gelingen in erster Linie trockene Luft nötig sei; in mindestens demselben Maße gilt dies hier. Eine Maschine, welche man in einem kalten, aber trockenen Zimmer in Thätigkeit versetzt, wird bessere Resultate liefern, als eine zweite, die bei höheren Wärmegraden in einem niedrigen

Raum mit stockigen Wänden steht. Im Herbst oder Frühling, wenn die Luft draußen warm und hefter ist, will die Maschine im Zimmer oft gar nicht recht wirken: draußen ist es trocken, drin aber feucht, und dann hilft nur gehöriges Lüften und Heizen vorher, sodaß die Stubenluft trocken und warm wird. Auch läßt sich, namentlich in größeren Schulzimmern, während des Winters beobachten, daß die Versuche mit der Maschine an dem einen Orte ganz gut, an einem anderen nur schlecht gelingen. Man hat hierbei Öfen und Fenster zu berücksichtigen: in der Nähe des geheizten Ofens ist die Luft trocken und warm, am Fenster jedoch — dem verhältnismäßig kühlfsten Teil der Stube — schlagen sich die in der Luft vorhandenen und durch das Ausathmen der Anwesenden beständig vermehrten Teilchen Wasserdampfes nieder und befeuchten auch die Glasteile der Maschine, sodaß diese Isolatoren nun zu Leitern der Elektrizität werden und ein Gelingen der Versuche ganz oder doch zum Teil vereiteln (vergl. S. 58). Aus dem soeben Gesagten erhellt auch, daß man Versuche in Räumen, die stundenlang schon mit Menschen gefüllt waren, gar nicht erst anstellen sollte, sofern man schöne Erfolge sehen will; man lüfte dieselben vielmehr vorher 1 oder 2 Stunden ordentlich aus und heize sie, wenn die Jahreszeit es erfordert, gehörig. Dem Anhäufen von Wasserdampf in der benutzten Räumlichkeit hat man jedenfalls vorzubeugen. Die Erklärung dafür, daß die Versuche in Zimmern mit Luftheizung verhältnismäßig am besten gelingen, ergibt sich von selbst.

Erinnert wurde bereits daran, daß die Glasteile der Maschine beim Versuch durchaus trocken sein müssen; man hat also die Scheibe und die Glasfüße vor Beginn des Experimentierens mit einem Seidenlappen oder einem wollenen, womöglich erwärmten Tuch abzureiben, selbstverständlich aber auch die anderen Stücke der Maschine sauber von Staub, Fett u. zu reinigen. Dies wird namentlich nötig, wenn der Apparat längere Zeit unbenutzt stand. In diesem Falle erscheint auch ein frisches Amalgamieren des Lederkissens unerläßlich; das letztere ist sonach in der beschriebenen Weise von dem alten Amalgam zu befreien, dann ein wenig einzufetten und nun durch Aufstreuen und Einreiben von Amalgampulver, welches nun einen blanken, zusammenhängenden Belag bilden muß, aufs neue dienstfertig zu machen. Sind die am Reibzeug befestigten Flügel aus Wachstaffet oder Seide durch Fett oder Amalgam beschmutzt, so müssen sie abgenommen und gesäubert und falls dies nicht mehr angeht, durch reine ersetzt werden. Selbstverständlich hat man auch die Lager, in welchen sich die Achse der Scheibe dreht, mit Fett einzuschmieren. Um die Ablagerung von Staub u. dergl. während des Nichtgebrauchs der Maschine auf dieser zu verhindern, bedeckt man sie in dieser Zeit mit einem ausreichend großen Baumwollentuch; ein Glaslasten wird meist zu teuer und auch umständlich sein.

14. Versuche mit der Elektrifiziermaschine.

Mittels der Elektrifiziermaschine lassen sich zahlreiche und mannichfaltige Versuche anstellen, welche uns mit Eigenheiten und Verhalten der Elektrizität bekannt machen. So vermag man mit ihrer Hilfe auch alle diejenigen Erscheinungen, und zwar in verstärktem Maße hervorzubringen, die in den früheren Kapiteln bereits besprochen wurden und auf den Gesetzen der elektrischen Anziehung und Abstoßung und der elektrischen Influenz beruhen, außerdem aber auch diejenigen, zu deren Hervorrufung eine größere elektrische Dichtigkeit und Spannung erforderlich ist, also insbesondere die in diesem Falle sich zeigenden verschiedenen Arten der elektrischen Entladung. Diesen Versuchen und Erscheinungen wenden wir uns jetzt zu. Manche der ersteren hat man in die Form von Spielereien gebracht, die jedoch trotzdem lehrreich sind.

Je größer die Glasscheibe der benutzten Maschine ist, je schneller dieselbe sich umdreht und je vollkommener die Ableitung der einen Art der erzeugten Elektrizitäten ist, desto wirksamer erweist sich, falls die anderen angegebenen Winke beobachtet werden, die Maschine. Die Ableitung erstreckt sich, wie wir wissen, fast immer auf die — E des Reibzeuges, denn die weitaus meisten Versuche werden am positiven Konduktor (a), der deshalb auch kurzweg „der Konduktor“ genannt wird, angestellt; auch wir werden dies im Folgenden festhalten.

Das Quadranten-Elektroskop.

Zunächst haben wir uns mit einer Vorrichtung bekannt zu machen, welche dazu dient, den elektrischen Zustand des Konduktors zu prüfen. Dies ist das Quadranten-Elektroskop, gewöhnlich Quadranten-Elektrometer genannt, erfunden im Jahre 1772 von Henley, verbessert etwa 30 Jahre später durch Sartorph. Da das Instrumentchen aber ein wirkliches Maß der vorhandenen Elektrizität nicht angiebt, sondern nur eine allgemeine Abschätzung derselben gestattet, so darf man es füglich nicht als Elektrometer bezeichnen, sondern zählt es besser zu den Elektroskopen.

Das Henley-Sartorph'sche Quadranten-Elektroskop (Fig. 98) beruht auf dem Prinzip der elektrischen Doppelpendel, also auf dem Gesetz der elektrischen Abstoßung; aber während bei den Doppelpendel-Elektroskopen (Seite 77) die beiden Pendel sich gegenseitig abstoßen, wird beim Quadranten-Elektroskop nur ein Pendel von einem leitenden Stäbchen oder Säulchen, indem beide ebenfalls gleichnamig elektrisch geladen werden, abgestoßen. Es besteht, wie Abbildung 98 veranschaulicht, aus einem runden Stab oder Säulchen, einem Pendel c d und einem halbkreisförmigen Grad-

bogen. Man verfertigt dasselbe, indem man zunächst aus zweckentsprechendem Holz einen etwa 25 cm langen, oben abgerundeten Stab drehen läßt, dann in Zweidrittel Höhe desselben einen kleinen messingenen Pendelträger (c) einschraubt und nun den elfenbeinernen Gradbogen, auf welchem die Teilstriche mittels einer Radiernadel eingeritzt und dann geschwärzt sind, einsetzt und zwar so, daß der Punkt, an dem der Pendelträger befestigt ist, den Mittelpunkt der Teilung bildet (Fig. 98 zeigt den Bogen von der Rückseite); das Pendel stellt man aus einem dünnen Streifchen Fischbein, Holz, einem Strohalm oder feinem Draht und einer Kugel (d) aus — ebenfalls je nach der Stärke der Maschine — Kork, Hollundermark oder Metall her, und da, wo die Kugel an dem Holzstab anliegt, schneidet man den letzteren ein, sodaß die erstere in die erhaltene Kerbe fällt. Um nun aber das Instrument leitend zu machen und auf den Konduktor der Maschine stecken zu können, schlägt man in das untere Ende des Stabes einen Messingstift ein, welcher bis in den soeben erwähnten Einschnitt reicht, sodaß hier im Ruhezustand die Kugel mit ihm in Berührung kommt.

Beim Gebrauch wird das Elektroskop mit dem aus dem Holzstab hervorragenden Metallende in eine passende Öffnung des Konduktors gesteckt. Solange der letztere unelektrisch ist, hängt das Pendel an dem Holzstab herab; sobald aber der Konduktor elektrisch wird, nimmt der Messingstift die gleichartige Elektrizität an und teilt diese dem ihn berührenden Kugelnchen d mit, welches demzufolge abgestoßen (siehe Abbildung) und sich an dem Gradbogen um so weiter erhebt, je stärker der Konduktor mit Elektrizität geladen ist oder wird.

Daß aber der jeweilig erreichte Grad ein unbedingtes Maß der vorhandenen Elektrizität nicht abgibt, wurde schon betont, man vermag nur eine allgemeine Abschätzung der auf dem Konduktor herrschenden elektrischen Dichtigkeit oder Spannung zu treffen, und zwar empfiehlt es sich, stets nur ein und dasselbe Elektroskop zu der verwendeten Maschine zu benutzen. Denn es leuchtet ein, daß ein jedes dieser Instrumentchen „eine besondere Sprache redet“, es müßten denn alle in derselben Weise und aus denselben Stoffen verfertigt und ganz genau verglichen sein, aber dann auch alle Maschinen unter sich gleich groß sein. Man prüft also dasjenige Elektroskop, welches man selbst hergestellt hat oder sich hat machen lassen, indem man zusieht, auf welchen Grad es zeigt, wenn man ein und dieselbe Maschine unter den in Kapitel 13 besprochenen günstigen Verhältnissen durch

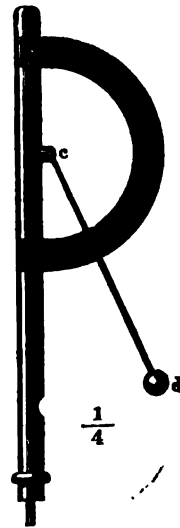


Fig. 98.
Quadranten-Elektroskop.

zehn oder fünfzehn oder dreißig *u.* Umdrehungen geladen worden, und man weiß nun: wenn das Pendel des Elektroskops diesen oder jenen Standpunkt einnimmt, so ist die Maschine so stark geladen, daß man Dieses oder Jenes damit ausrichten kann. Ist es mithin auch kein wirkliches Elektrometer (Elektrizitätsmesser), so hat es dennoch in der angegebenen Weise einen nicht zu verkennenden Wert.

Man hatte z. B. vor etwa einem halben Jahre einen elektrischen Versuch gemacht, welcher die Ladung einer Flaschenbatterie (siehe Kapitel 17) bis zu einem gewissen Grad erforderte und den letzteren damals durch vielleicht 30 Umdrehungen der Maschine erzielt. Jetzt wiederholt man ihn, allein der Versuch gelingt nicht, selbst 40 oder 50 Umdrehungen helfen nicht — warum? Damals war vielleicht das Reibzeug der Maschine frisch amalgamiert, jetzt ist es nicht, damals war das Zimmer geheizt und trocken, jetzt ist die Luft desselben feucht, u. s. f. Da giebt das Quadranten-Elektroskop Auskunft. Bei dem früheren Versuch zeigte es nach 30 Umdrehungen der Scheibe auf den 15. Grad, und der erstere gelang vollkommen; dies bestimmt mich, unter den ungünstigeren Umständen mehr Umdrehungen auszuführen, bis eben das Elektroskop wieder auf den 15. Grad zeigt und damit die frühere Ladung hervorgerufen ist.

A. Versuche mit der elektrischen Anziehung und Abstößung.

1. Der elektrische Papierbüschel. Wie das Quadranten-Elektroskop beruht auch der elektrische Papierbüschel (Fig. 99) auf der Abstößung gleichnamig elektrischer Körper. Man stellt sich diese Vorrichtung her, indem man auf einem starken Metalldraht oder einem Metallstäbchen von 20—30 cm Länge eine 3—5 cm im Durchmesser haltende, mit Stanniol überzogene, also leitende Pappscheibe befestigt und an deren Rand 5 oder 6 mm breite weiße oder des hübscheren Aussehens halber abwechselnd weiße und farbige Streifen aus Seidenpapier klebt, welche etwa Zweidrittel so lang sind als der Träger. Diese Vorrichtung steckt man, wie das Quadranten-Elektroskop oder wie den Winter'schen Ring, in ein auf dem Konduktor der Elektrifiziermaschine angebrachtes Loch, oder aber, falls dies nicht angeht, in den Kork einer Flasche und verbindet in letzterem Falle den Träger mit dem Konduktor durch einen Draht. Wird die Maschine gedreht, so werden die Papierstreifen alle gleichnamig elektrisch, stoßen sich gegenseitig ab und breiten sich wie ein Schirm auseinander.

Dieser Versuch läßt sich in mehrfacher Weise abändern: Man ersetze die Papierstreifen durch Fäden mit anhängenden Hollundermark-Kügelchen, verschlinge die freien Enden der Fäden zu einem Knoten und befestige diesen auf der Drahtspitze. In ruhigem Zustande hängen die

Kügelchen an dem Träger schlaff herab; sobald man jedoch die Maschine in Bewegung setzt, stoßen sich dieselben, alle gleichnamig elektrifiziert, ab und bilden, falls die Maschine kräftig ist, eine Art Stern, wie Abbildung 100 zeigt. Nur möchten wir darauf hinweisen, daß man nicht so viele Fäden, wie in der Figur angegeben, nehmen möge, da sie sich sonst zu leicht ineinander verschlingen. Um letzterem Übelstande aus dem Wege zu gehen, kann man auch statt der Fäden mit Kügelchen die Spitzen dünner glatter Gras- oder Strohhalme oder einen Busch feiner Glasfäden nehmen. Sehr hübsch gestaltet sich der Versuch, wenn man aus bunten und weißen Papierstreifen eine Blume fertigt und diese auf einen Metall-



Fig. 99. Elektrische Papierbüchel.

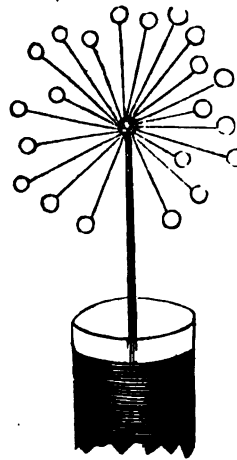


Fig. 100. Elektrische Kugeln.

stift steckt oder wenn man dazu einen eigenartigen kleinen „Luftballon“ verwendet. Diesen gewinnt man, indem man viele kleine, etwa 12 mm lange, aus den feinsten reifen Grasshalmen sauber geschnittene Halmstüchchen (Häufel) auf acht oder zehn ungefähr 25 cm lange Fäden reiht, die Fäden miteinander je oben und unten fest verknüpft und diese Vorrichtung an den Konduktor hängt: bewegt man die Maschine, so bauschen sich die Fäden auseinander und das Ganze erscheint wie ein kleiner Luftballon. — Ein Flöckchen zusammengedrückte Baumwolle auf den Konduktor gelegt, bläht sich auf, wenn man die Maschine in Thätigkeit bringt; ein auf den Konduktor gelegtes Markkügelchen springt beim Elektrifizieren in die Höhe und entfliehet; ein mit Wasser getränkter und durch einen Draht mit dem Konduktor verbundener Schwamm spritzt beim Elektrifizieren sein Wasser aus. Und so vermag man noch verschiedene Abwechselungen zu treffen, welche alle das Gesetz der elektrischen Abstoßung erweisen.

2. Der Korfkugeltanz. Bereits aus den zu allererst angestellten Versuchen haben wir gelernt, daß ein durch Reiben elektrisch gemachter Körper leichte unelektrische Körperchen (Markkugeln) anzieht, nach erfolgter Berührung wieder abstößt u. s. f. Diesen Versuch können wir mit der Elektrifiziermaschine wiederholen, indem man Korf- oder für schwächere Maschinen Hollundermark-Kugeln auf eine Metallplatte legt, welcher am Konduktor eine zweite, runde Metallplatte (siehe Fig. 102) oder eine kreisrunde, gut mit Stanniol überlebte Holzscheibe gegenüberhängt. Dreht man die Maschine, so wird die zweite Scheibe elektrisch und zieht demzufolge die Kugeln an. Da diese dabei aber schnell auseinanderfliegen und seitlich wegfallen, so schließt man sie in ein oben und unten offenes, weites, gut isolierendes cylindrisches Glas — ein solches ist dem in Fig. 101 abgebildeten vorzuziehen — ein, welches auf die ersterwähnte

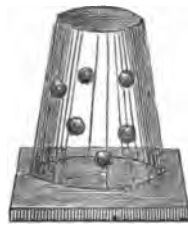


Fig. 101.
Elektrischer Kugeltanz.

Metallplatte gestellt und oben durch einen Metall- oder einen mit Stanniol überzogenen Pappdeckel, auf welchen die Metallkette des Konduktors herabhängt, geschlossen wird. Dreht man die Maschine, so leitet die Kette Elektrizität auf den mit ihr in Berührung sich befindenden Deckel, dieser zieht die Kugeln an, stößt sie aber, nachdem sie durch Berührung mit ihm gleichnamig elektrisch geworden, ab, um sie, nachdem sie beim Herabfallen auf die untere, mit dem Erdboden leitend verbundene Platte an diese ihre Elektrizität abgegeben haben, aufs neue anzuziehen, wieder abzustößen u., so daß die Kugeln fortgesetzt zwischen Deckel und unterer Platte auf- und niederhüpfen oder tanzen und in dieser Weise den Übergang der Elektrizität vom Konduktor zur Erde vermitteln. Statt der Kugeln kann man auch Streusand verwenden.

3. Der elektrische Puppentanz stellt nur eine andere Form dar, indem hier die Kugeln durch leichte, aus Pflanzenmark geschnittene, oben und unten spitz endigende, vielleicht 5 cm hohe und wohl auch mit Wasserfarben bemalte oder mit Papierflitterchen u. bekleidete Figürchen, „Länger“, ersetzt werden (Fig. 102). Bringt man also diese Bildwerkchen zwischen die beiden Platten — welche nicht viel über Figurenlänge voneinander abstehen dürfen —, so werden sie beim Drehen der Maschine von der oberen Platte angezogen und scheinen, wie die Abbildung wiederzugeben versucht, gegen dieselbe zu springen- oder zwischen den beiden Platten zu tanzen.

4. Die elektrische Spinne. Wenn man ein Stück Pflanzenmark rundlich schneidet und dasselbe an einen Faden hängt, der etwa 20 cm vom Konduktor entfernt ist, so wird beim Drehen der Maschine das Mark

gegen den letzteren fliegen, von ihm aber sofort wieder abgestoßen werden und nun gegen die ihm entgegengehaltene Hand eilen, um, nachdem es sich durch Berührung derselben entladen, abermals angezogen zu werden u. s. f. Man nennt diese einfache Vorrichtung die elektrische Spinne und giebt ihr noch mehr

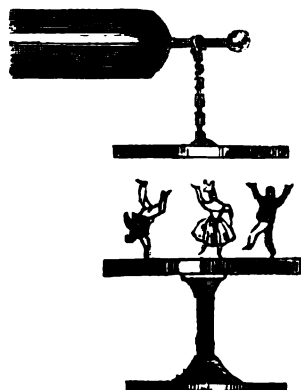


Fig. 102. Elektrische Tänzer.

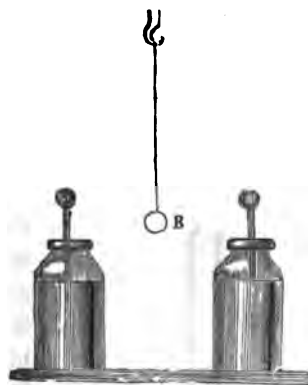


Fig. 103. Elektrische Spinne.

Ähnlichkeit mit einer wirklichen Spinne dadurch, daß man das Mark braun, grau oder schwarz färbt und es mit einigen spinnenfußartigen Ansätzen versehen. Hängt man (Fig. 103) die „Spinne“ B zwischen zwei Leydener Flaschen (s. Kap. 15), von denen die eine positiv, die andere negativ geladen ist, so springt sie zwischen den Knöpfen der Flaschen hin und her, bis beide entladen sind.

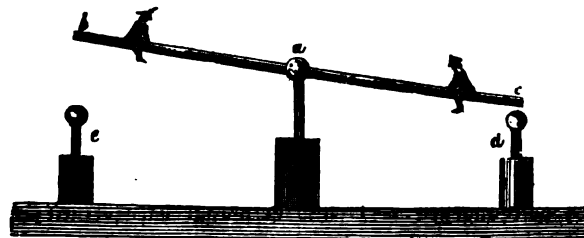


Fig. 104. Elektrische Schaukel.

5. Die elektrische Schaukel bietet eine ähnliche Erscheinung, weshalb wir sie gleich hier anfügen, obwohl sie nicht direkt mit der Elektrifiermaschine in Verbindung steht. Ein leichtes Stäbchen b c (Fig. 104), auf der unteren Seite mit Stanniol- oder Metallpapier beklebt, ruht bei a auf einer Glasstange, doch so, daß es hier leicht beweglich ist, und trägt an jedem Ende ein ganz leichtes Figürchen. Zwei Verstärkungsflaschen d und e,

von denen die eine positiv, die andere negativ geladen ist, werden so gestellt, daß ihre Knöpfe gerade unter b und c sich befinden. Bringt man nun das im Gleichgewicht schwebende Stäbchen b c in schwingende Bewegung, so wird es sofort von derjenigen Flasche angezogen werden, welche seinem sich neigenden Ende am nächsten ist (d zieht c an). Hat die Berührung stattgefunden, so tritt die Abstoßung ein; da jetzt aber der Stab b c mit d gleichnamig (abstoßend), im Verhältnis zur Flasche e jedoch ungleichnamig geladen, so tritt zu jener Abstoßung die zwischen e und b zur Geltung kommende Anziehung und b schlägt demzufolge auf e, wodurch sogleich die Rollen vertauscht werden, und dieser Vorgang wiederholt sich, bis die Spannung zwischen den verschiedenartig geladenen Flaschen sich ausgleicht.



Fig. 105. Elektrische Schaukel.

Diese Schaukel läßt sich, entsprechend der elektrischen Spinne, noch anders herrichten. Statt der „Spinne“ verwendet man ein leichtes Figürchen aus Kork oder Wachs, welches an zwei Seidenfäden hängt und zwischen den mit verschiedenartig geladenen Flaschen verbundenen Metallknöpfen zweier isolierenden Säulen a und b (Fig. 105) hin und her schwingt. Es empfiehlt sich zwar, als Schaukelstützen zwei Glasstäbe oder Glasröhren zu verwenden, doch thun ein Paar Stäbchen von recht trockenem harzigem Holz dieselben Dienste, nur müssen sie weit genug auseinanderstehen, damit die Figur dieselben beim Hin- und Herpendeln nicht streichen kann.

Der Vorgang bei diesen Experimenten ist folgender. Die geladene Flasche zieht den unsern hängenden unelektrischen Körper an und elektrifiziert ihn mit einem Teil der in ihr angehäuften — nehmen wir an: negativen — Elektrizität; abgestoßen und von der anderen Flasche angezogen, sättigt er gewissermaßen einen Teil von der positiven Elektrizität derselben mit seiner soeben empfangenen — E und empfängt dafür einen Teil der in der Flasche aufgespeicherten + E, mit dieser flieht er wieder die positive Flasche, wird von der negativen angezogen u. s. f. Selbstverständlich wird mit jedem Austausch die Spannung beider Flaschen geringer, weil zu der vorhandenen Elektrizität bei jeder neuen Berührung eine kleine Menge der entgegengesetzten tritt, welche eine ebenso große Menge der ihr ungleichnamigen freien Elektrizität bindet. Auf solche Weise gleicht sich nach und nach die Spannung aus.

6. Das elektrische Glockenspiel zählt zu den älteren Neben-Apparaten der Elektrifiziermaschine, denn es wurde schon im vorigen Jahr-

hundert von dem Erfurter Professor A. Gordon angegeben, und die mit demselben anzustellenden hübschen Versuche beruhen auf der elektrischen Anziehung und Abstoßung. In einfachster Form erhält man ein solches (Fig. 106) aus zwei Metallglocken — wie man sie z. B. in den Schwarzwälder Uhren hat — welche man mit einem genau in das Aufsteckloch passenden Holzpfropf versieht; durch letzteren wird ein Draht gesteckt und dieser oben und unten knapp am Holz zu einem Häkchen oder einer Nse umgebogen. Nachdem man so die Glocken vorbereitet, hängt man beide an einem etwa 5 cm langen gebogenen Draht a c auf und zwar die eine (bei c) vermittelt eines dünnen Drahtes, die andere (bei a) vermittelt eines Seidenfadens; die zweite Glocke, welche also isoliert aufgehängt ist, erhält durch eine Metallkette eine Ableitung nach dem Fußboden. Das Ganze wird vervollständigt durch einen in der Mitte zwischen beiden Glocken, etwa 2 cm von jeder entfernt an einem seidenen Faden aufgehängten metallenen Klöpfel, welcher z. B. aus einem dicklöpfigen Messingnagel leicht hergestellt werden kann. Wird nun die Vorrichtung mittels eines gebogenen Metalldrahtes b an den Konduktor der Elektrifiermaschine gehängt und die letztere in Bewegung gesetzt, so zieht die mit dem Konduktor leitend verbundene, mithin elektrifizierte Glocke c den Metallklöpfel an, um diesen, nachdem er durch Berührung gleichnamig elektrisch geworden, nach der Glocke a hin abzustößen, an welche er die soeben empfangene positive Elektrizität abgibt und nun wieder von der ersten Glocke c angezogen wird u. s. f. In dieser Weise schwingt der Klöpfel zwischen den beiden Glocken hin und her und bringt dieselben zum Tönen, solange durch Drehen der Maschine die dem Konduktor entzogene + E erneuert wird.

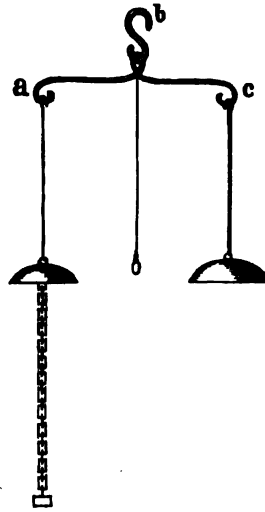


Fig. 106. Elektrisches Glockenspiel.

Hübscher noch gestaltet sich der Versuch, wenn man zu der Vorrichtung drei Glocken und zwei Klöpfel verwendet, wie es Abbildung 107 erläutert. Die beiden äußeren Glocken hängen an dünnem Draht, die mittelfte, von welcher ein Metalldraht oder eine Kette bis zum Tisch bezw. zum Boden reicht, und die beiden Klöpfel an reinseidenen Fäden. Bringt man den Apparat am Konduktor an und setzt man die Maschine in Thätigkeit, so werden die beiden äußeren Glocken elektrisch, ziehen die Klöpfel an, diese fliehen nach erfolgter Berührung gegen die mittelfte Glocke hin, welche die

von ihnen erhaltene $+E$ zur Erde ableitet, und so erneut sich das Spiel in der angegebenen Weise solange, als die Elektrizitäts-Quelle fließt. Hat man die drei Glocken vorher so ausgewählt, daß sie zusammen stimmen resp. einen Akkord erklingen lassen, so gewinnt man ein recht hübsches Glockenspiel. Man kann die Vorrichtung auch auf einem besonderen Gestell anbringen, indem man in einem hölzernen Fuß oder einer hölzernen Platte eine Glasröhre befestigt und in diese oben einen starken, in einem Bogen nach vorn gerichteten Metallstab einkittet, welcher die Vorrichtung trägt, deren Querstab ($a c$ in Fig. 106) bei Beginn des Versuchs durch einen besonderen Draht mit dem Konduktor verbunden wird.

Die Erklärung des Vorgangs wurde schon angedeutet: Die mit dem positiv elektrischen Konduktor in leitender Verbindung stehenden Glocken

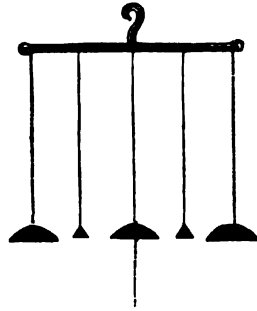


Fig. 107. Elektrisches Glockenspiel.

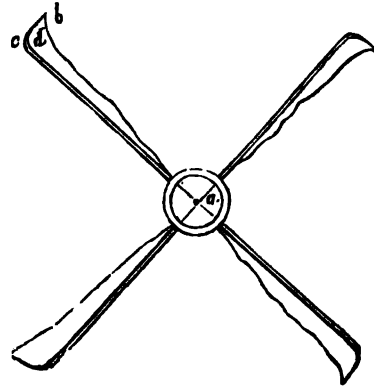


Fig. 108. Elektrische Windmühle.

werden gleichnamig elektrisch, und diese $+E$ der äußeren Glocken ruft durch elektrische Influenz auf der mittelften Glocke die entgegengesetzte, also $-E$ hervor. Ziehen nun die gleichnamig elektrisch gewordenen Glocken die Klöpfel bis zur Berührung an, so werden diese ebenfalls gleichnamig elektrisch ($+$) geladen und nach der mittleren Glocke ($-$) abgestoßen, bei deren Berühren sie neutralisiert und entgegengesetzt, d. h. negativ elektrisch geladen werden; da hierdurch mittlere Glocke und Klöpfel gleichnamig elektrisch geworden sind, so erfolgt die Abstoßung der letzteren seitens der Glocke und die Anziehung durch die Seitenglocken, nach welchen sie sich demnach hinbewegen, um das Spiel von neuem zu beginnen.

7. Elektrischer Wind und elektrisches Flugrad. Die Erscheinung des sog. elektrischen Windes oder elektrischen Hauches (*aura electrica*) wurde bereits auf Seite 95 gegeben und auf Seite 96 das auf diesem Vorgang beruhende elektrische Flug- oder Spitzenrad besprochen und abge-

bildet; ein nochmaliges Eingehen auf diese Punkte würde mithin nur Wiederholung bedeuten, doch darf wohl hier noch auf einige Abänderungen des Versuchs hingewiesen werden. Zu diesen gehört die sog. elektrische Windmühle (Fig. 108).

Durch die Mittellinie eines Korkpfropfens steckt man einen Draht, der als Achse für die Windmühlenflügel dienen soll, und in dem Umkreis des Korkes befestigt man vier Drähte von 10—12 cm Länge, deren spitze Enden alle nach einer Richtung umgebogen sind, wie Abbildung 108 vergegenwärtigt. Durch a wird der Kork mit der Achse, durch a c b der eine von den vier Drähten, durch d aber ein um den Draht geklebter Flügel von Seidenzeug oder Papier bezeichnet, welcher letzterer oben aber nicht so weit vorgreifen darf, daß er die Drahtspitze bedeckt. Diese Vorrichtung verbindet man in der Weise mit dem Konduktor, daß sie sich nach Art der wirklichen Windmühlen um eine wagerechte Achse dreht, während das Flugrad sich um eine senkrecht stehende Achse bewegt, die treibende Kraft bleibt hier wie dort dieselbe.

Eine andere ähnliche Spielerei ist das elektrische Mühlrad. Man fertigt dasselbe, indem man einen mäßig großen, aber guten cylindrisch geschnittenen Korkpfropfen mit einer Achse versieht, d. h. in der Längsrichtung durch denselben ein Stück Stricknadel oder Draht hindurchsteckt — doch muß der Kork sich leicht drehen können —, dann ringsum an der Cylinderfläche 12 bis 16 gleichlange und gleichdicke, zugespitzte Holzstückchen (Streichhölzer) in gleichen Abständen in den Kork steckt, so daß eine Art Stern entsteht, und nun an jedem Hölzchen ein Blättchen Kartenpapier von etwa 5 □ cm Fläche befestigt, was sehr leicht dadurch zu bewerkstelligen ist, daß man jedes Hölzchen an der Spitze etwas aufspaltet und das Blättchen in den Spalt klemmt. Es bleibt nur noch übrig daran zu erinnern, daß die Arme hinsichtlich der Schwere vielleicht durch angeklebte Wachsfügelchen ausgeglichen werden müssen, damit das wie ein unterschlächtiges Mühlrad aussehende und in seiner Achse unterstützte, aber leicht bewegliche Rädchen überall im Gleichgewicht steht. Wird dieses nun dem elektrischen Wind (siehe Seite 95) ausgesetzt, so gerät es in Umdrehung, als wenn man mit dem Mund dagegen bliese. —

Im Anschluß hieran sei noch das Lichtblasen mittels des elektrischen Windes erwähnt. Wir wissen, daß an einer auf den Konduktor einer Elektrifiziermaschine gesteckten Metallspitze beim Drehen der Scheibe die elektrifizierte Luft so energisch entweicht, daß sie sich der entgegengesetzten Hand

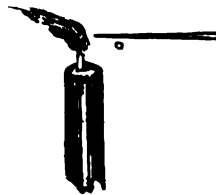


Fig. 108. Lichtblase.

als Luftstrom oder Wind fühlbar macht. Bringt man in den von einer wagerechten Spitze ausgehenden elektrischen Wind eine Kerzenflamme, so wird diese (Fig. 109) zur Seite geweht oder auch, falls der Strom sehr kräftig und der Kerzendocht kurz abgeschnitten ist, geradezu ausgeblasen.

Damit schließen wir diese Hinweise und gehen nun zu einer anderen Gruppe von Erscheinungen und Versuchen über.

B. Versuche mit Licht-Erscheinung.

Bei vielen unserer bisherigen Versuche haben wir eigentümliche Licht-Erscheinungen wahrgenommen. Um diese ihrem Wesen, ihrer Entstehung und Verschiedenartigkeit nach kennen zu lernen, müssen wir uns jetzt eingehender mit ihnen beschäftigen. Wir werden dabei drei Arten derselben kennen lernen.

a) Der elektrische Funke.

Berühren wir einen nur schwach elektrischen mit einem unelektrischen Körper, so teilt ersterer dem letzteren von seiner Elektrizität mit, und zwar ohne einen elektrischen Funken. Nähert man jedoch einem elektrischen Körper, z. B. einer isolierten Metallkugel, einen anderen, abgerundeten, aber unelektrischen Leiter — oder umgekehrt —, so wird, wie wir im 6. Kapitel erfahren haben, die in dem letzteren Leiter durch Verteilung (Influenz) gewekte Elektrizität immer stärker, je mehr die beiden Körper aneinander rücken; an den einander zunächst gelegenen Stellen beider häufen sich entgegengesetzte Elektrizitäten mit wachsender Dichte und Spannung an, die Anziehung zwischen der Elektrizität des elektrischen Körpers und der ungleichnamigen Elektrizität auf der ihm zugekehrten Seite des zweiten Leiters nimmt zu und erreicht bei gehöriger Annäherung eine solche Kraft, daß die beiden Elektrizitäten das ihrer Vereinigung entgegenstehende Hindernis, nämlich die sie trennende nichtleitende Luft, überwinden und je nach der Menge unter knisterndem Geräusch oder mit einem Knall als elektrischer Funke sich miteinander verbinden. Der elektrische Körper ist nun, wie man sagt, entladen und zwar auf äußerst schnelle Weise; diese elektrische Entladung eines Körpers durch Überspringen eines Funkens unter Knistern oder Knattern oder Knall heißt nach Faraday's Vorschlag die plötzliche oder disruptive Entladung, im Gegensatz zu der ruhigen konduktiven (kontinuierlichen) Entladung, welche wir unter b) näher kennen lernen werden.

Der elektrische Funke entsteht also, wenn einem abgerundeten elektrischen Körper ein zweiter abgerundeter, aber unelektrischer Leiter auf gewisse Entfernung genähert wird; er entsteht jedoch auch, wenn zwei ungleichnamig elektrische Leiter, die ebenfalls keine hervorragenden Ecken und

Spitzen haben dürfen, bis auf hinreichend geringe Entfernung aneinander gerückt werden; selbstverständlich bleibt in beiden Fällen eine Berührung der betreffenden zwei Körper ausgeschlossen. Die größte Entfernung nun, in welcher zwischen einem elektrischen Körper und einem genäherten Leiter bezw. zwischen zwei ungleichnamig elektrischen Leitern ein Funke überspringt, oder die Entfernung, auf welche hin noch Funken aus einem elektrischen Körper gezogen werden können, heißt die Schlagweite. Diese hängt, wie wohl schon aus dem Gesagten hervorgeht, außer von der Leitungsfähigkeit des Körpers, insbesondere von der Gestalt desselben und der Größe seiner Oberfläche und von der Stärke der elektrischen Ladung (der Dichtigkeit der Elektrizität) ab. Deshalb wurde daran gemahnt, bei einschlägigen Versuchen möglichst abgerundete Körper zu verwenden, denn aus eckigen Körpern und aus Spitzen strömt, wie Kapitel 9 (S. 95—97) uns bereits gelehrt hat, die Elektrizität ganz von selbst schon bei schwacher Dichte oder Spannung aus, wovon die im Dunkeln an den Ecken und Spitzen wahrzunehmenden Lichtbüschel Zeugnis ablegen, während auf runden oder wenigstens abgerundeten Körpern die Elektrizität sich mehr anhäuft, mithin eine beträchtlichere Dichtigkeit und Spannung erhält, was sich bei der Funken-Entladung durch größere Schlagweite äußert; Dichtigkeit der Elektrizität und Schlagweite des Funkens wachsen und verringern sich sonach in gleichem Verhältnis (sie sind einander proportional). Daß ferner die Wirkung der Elektrizität um so größer ist, je geringere Ausdehnung die Oberfläche des elektrischen Körpers hat, ist auch klar, denn in diesem Falle ist eben die Dichte der elektrischen Schicht wiederum bedeutender, als wenn sich umgekehrt die gleich große Ladung Elektrizität auf eine ausgedehntere Fläche verteilen muß. Berücksichtigen wir die gefundenen Thatsachen, so können wir die Frage nach Entstehung des elektrischen Funkens auch kurz dahin beantworten, daß derselbe hervorgerufen wird, wenn hochgespannte (sehr dichte) und entgegengesetzte Elektrizitäten in der Luft — oder in einem anderen schlechten Leiter — sich neutralisieren.

Um Funken aus der Elektrifiziermaschine zu gewinnen, nähert man, während die letztere in Thätigkeit ist, dem Konduktor einen abgerundeten, mit der Erde in Verbindung stehenden Leiter, den sog. Funkenzieher. Gewöhnlich benutzt man als solchen eine Messingkugel, die dem Konduktor gegenübergestellt wird. Da unser eigener Körper ebenfalls ein Leiter ist, so erklärt es sich, daß wir mit dem genäherten Fingerknöchel dem Konduktor ebenso gut Funken entziehen können, wie mit einem metallischen Körper. Je mehr Elektrizität dem Konduktor durch die thätige Maschine übermittelt wird, je größer also die elektrische Dichte auf demselben ist, bei um so größerem Abstände des Funkenziehers vom Konduktor tritt die durch

Überspringen eines elektrischen Funkens gekennzeichnete plötzliche Entladung ein, d. h. desto größer ist die Schlagweite.

Der elektrische Funke bietet durchaus nicht immer die gleiche Erscheinung, er zeigt sich verschieden in Länge und Kraft (Intensität), Gestalt und Farbe. Im Allgemeinen erscheint er als ein einfacher, hellleuchtender, scharf begrenzter Lichtstreif von ungemein kurzer Dauer. Ein einfacher Konduktor liefert Funken von ziemlicher Länge (bis 25 cm), aber nicht bedeutender Lichtstärke — bringt man auf den Konduktor ein Kolloidumblättchen, unter welchem sich die Elektrizität zu größerer Dichte anhäuft, so erzielt man besonders lange Funken —; dagegen erzeugt eine Batterie, die wir in einem der nächsten Kapitel besprechen werden, kurze und kräftige (sehr helle) Funken. Die letzteren sind geradlinig, ebenso die von gewöhnlichen Maschinen, während der Funke bei größerer Länge oder Schlagweite, wie er von sehr kräftigen Maschinen erzeugt wird, eine geschlängelte oder zickzackförmige Bahn beschreibt und dazu oft vielfach verästelt ist. Die Zickzack-Gestalt des langen Funkens rührt daher, daß er infolge seiner bedeutenden Geschwindigkeit die Luft vor sich her verdichtet und die stark verdichteten Partien ihm endlich einen solchen Widerstand entgegensetzen, daß er eine andere Richtung einschlagen muß. Das Gleiche ist der Fall bei jenem mächtigen elektrischen Funken, welcher zwischen zwei ungleichnamig elektrischen Wolken oder zwischen einer elektrischen Wolke und der Erde überschlägt und von uns Blitz genannt wird; der von uns erzeugte Funke mit seinem knisternden oder knatternden Geräusch ist nur ein kleines Abbild der gewaltigen Naturerscheinung des Blitzes und Donners (Gewitter).

Was endlich die Farbe des elektrischen Funkens und die Stärke des Leuchtens anbelangt, so hängt diese ab einerseits von der Beschaffenheit der Luftart, in welcher er überspringt resp. sich bildet, und andererseits von der Natur der Metalle, zwischen denen er übergeht. Hiervon kann man sich überzeugen, wenn man Kugeln von verschiedenem Metall mit dem Konduktor der Maschine verbindet und aus diesen Kugeln Funken zieht, und wenn man diese Kugeln in Röhren, die mit der einen oder anderen Luftart oder Gas (Kohlensäure-, Wasserstoffgas u.) gefüllt sind, einschließt, um im Dunkeln die in den Gasen zwischen den Kugeln überspringenden Funken zu beobachten. Erscheint der Funken der Maschine in atmosphärischer Luft lebhaft violett oder weißbläulich, so in Kohlensäuregas weiß und intensiv, in Wasserstoffgas rot und schwach, in Wasserdampf gelb, in Ätherdampf apfelgrün. Bei Zerlegung des Lichtes der betreffenden Funken durch das Prisma (Spektra) — worüber in der „Optik“ eingehende Mitteilungen folgen werden — zeigt dasselbe zahlreiche, je nach der Natur oder Beschaffenheit der Gase und Metalle verschiedene, helle Linien, und dies recht-

fertigt den Schluß, daß beim Übergehen des Funkens zwischen zwei Leitern eine Losreißung und Verflüchtigung und ein Erglühen ganz kleiner Teilchen der Entladungsstellen resp. ein Erglühen der Gasmasse stattfindet. Demnach darf man auch die elektrischen Funken als gerade oder zickzackförmige (geschlängelte), hellglänzende Lichtlinien, welche namentlich von losgerissenen, verflüchtigten Teilchen der Entladungsstellen herühren, bezeichnen.

Den elektrischen Funken benutzen wir nun zu weiteren Versuchen im Dunkeln, um noch einige Lichterscheinungen beobachten zu können. Die dazu nötigen Vorrichtungen beruhen auf einer und derselben Thatsache, nämlich der, daß der einfache Funke einer guten Elektrifiziermaschine eine Teilung oderervielfältigung — sowohl der Zeit als dem Raum nach — in zahlreiche kleinere Funken gestattet. Um eine Reihe unmeßbar schnell aufeinander folgender, also wie gleichzeitig nebeneinander erscheinender Funken zu erzielen, muß man den Leiter, durch welchen die Elektrizität (der elektrische Funke) von dem elektrischen Körper in den Erdboden überströmt, bezw. durch welchen der Körper entladen wird, oft unterbrechen. Dies geschieht, indem man einen Streifen Metallpapier auf einem Nichtleiter (einen Stanniolstreifen auf Glas) befestigt, dieses Metallpapier in viele rautenförmige Blättchen schneidet und alsdann einen Funken auf das eine Ende des metallischen Leiters schlagen läßt, während man das andere Ende ableitend berührt. Je nach der Form der Vorrichtung unterscheidet man Blitzröhre und Blitztafel.

1. Die Blitzröhre. Zur Herstellung derselben verwendet man eine Glasröhre von 2 bis 3 cm Durchmesser, welche unten (Fig. 110 b) mit einer kurzen Stanniolbelegung versehen und oben durch einen gut passenden, halbkugelförmig abgerundeten und mit Stanniol überzogenen Holzpfropfen (Fig. 110 a) geschlossen wird. Von hier aus werden in einer um die Röhre laufenden Schraubelinie oder weiten Spirale (Fig. 110), deren Gänge gegen 5 cm Abstand haben, kleine rautenförmige (schiefe viereckige) Stanniolblättchen, deren Form durch Fig. 111 dargestellt ist, so aufgeklebt, daß ihre einander zugewendeten Spitzen $\frac{1}{2}$ bis 1 mm voneinander abstehen. Die Blättchen dürfen nicht zu groß sein, gewöhnlich messen sie in der großen Ausdehnung von einer Spitze zur anderen, also in der Diagonale 3 bis 5 mm; auf Fig. 111 sind sie vergrößert dargestellt. Da das Aufkleben der vielen einzelnen Stückchen geraume Zeit in Anspruch nimmt und Mühe verursacht, so beklebt man einfacher die Röhre in der gedachten weiten



Fig. 110.
Blitzröhre.

Schraubenlinie mit einem etwa 5 mm breiten Stanniolstreifen und zerschneidet diesen, wenn er trocken, mittels eines scharfen Messers durch doppelte Kreuzschnitte, sodaß jene rautenförmigen, durch kleine Zwischenräume getrennten Blättchen entstehen, worauf die überflüssigen dreieckigen Stückchen mit dem Messer entfernt werden. Als Klebmittel

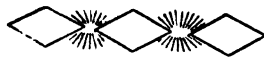


Fig. 111. Blitzröhre.

benutzt man gleichförmigen, leicht zerteilbaren Stärkekleister, welcher sehr dünn auf den Stanniol aufgetragen wird; nach dem legt man den bestrichenen Streifen auf das Glas, bedeckt ihn mit einem Blatt Papier und reibt mit Tuch auf diesem gleichmäßig hin und her, damit der Stanniol glatt anliegt. Unächtes Silberpapier bietet aus mehrfachen Gründen einen nur schlechten Ersatz für Stanniol (Glanzfolie).

Ist die Herstellung der Blitz- oder Brillantröhre („Aaronsstab“) gelungen und Alles gut trocken, so kann man experimentieren. Zu dem Zweck muß das untere Ende der Röhre (Fig. 110 b) mit dem Erdboden leitend verbunden und das obere Ende (a) dem Konduktor der thätigen Elektrifiziermaschine soweit genähert werden, daß reichliche volle Funken auf den Knopf a überspringen. Die Ableitung nach dem Boden geschieht am einfachsten dadurch, daß man das untere Ende b in die Hand nimmt, denn unser eigener Körper ist ja ein guter Leiter; doch vermag man sie auch z. B. in der durch Abbildung 112 angedeuteten Weise, wobei ein in dem das untere Ende der Röhre schließenden Pfropfen befestigter und durch das Fußgestell gehender Metalldraht die durch den Stanniol bis hierher gelangten elektrischen Funken aufnimmt und weiterführt, einzurichten. Im Dunkeln sieht man nun fortwährend zwischen je zwei Stanniolrauten Funken überspringen (Fig. 111), sodaß infolge der ungemein großen Geschwindigkeit der Elektrizität während der Drehung

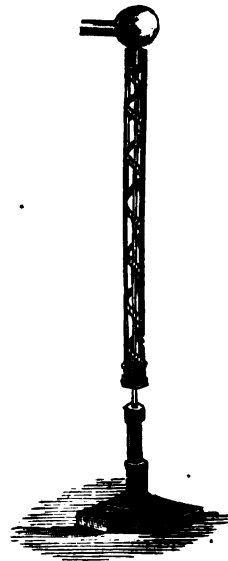


Fig. 112. Blitzröhre.

der Maschine eine fast zusammenhängende Lichtlinie auf der Röhre erscheint, was einen sehr hübschen Anblick gewährt.

2. Die Bligtafel wird in ganz entsprechender Weise hergerichtet und behandelt und besteht aus einer mit Stanniolbelegung (Fig. 113 f g h i) versehenen und in einen Holzrahmen gefaßten Tafel von gewöhnlichem Fensterglas (a b c d). Die Größe thut nichts zur Sache, sie kann nach Belieben gewählt werden. Die Stanniolbelegungen sind auf beiden

Seiten der Tafel anzubringen und müssen, wie es die Zeichnungen 113 und 114 veranschaulichen, am Rande der Tafel ringsum einen Streifen von ungefähr 5 cm Breite frei lassen. Die Belegung der Vorderseite, welche man gewöhnlich mit Lusche schwärzt, wird, nachdem sie fest ange-trocknet ist — das Ankleben geschieht in der vorhin angegebenen Weise —, durch doppelte Kreuzschnitte von etwa $\frac{1}{2}$ mm Breite in einzelne rautenförmige Stüchchen zerteilt. Man erreicht dies, indem man die Doppelschnitte mit scharfem Federmesser und Lineal zunächst in der einen Richtung ausführt, sodas man lauter Stanniolstreifen von 4 oder 5 mm



Fig. 113. Blitztafel.



Fig. 114. Blitztafel.

Breite (wie bei der Blitztafel) erhält, und dann in der entgegengesetzten Richtung, wodurch sich die Rauten von selbst ergeben; die infolge der gemachten aneinander herlaufenden Doppelschnitte entstehenden überflüssigen, $\frac{1}{2}$ mm breiten Streifen sind mit dem Messer herauszuschälen, damit die Trennung der einzelnen Stanniolrauten eine vollständige wird. — Zur Vervollständigung der Tafel gehört nun noch eine Vorrichtung zur Her- und zur Ableitung des elektrischen Funkens von der Maschine resp. zum Boden. Ersterem Zweck dient entweder eine oben (etwa bei b, Fig. 113) aufgesetzte hölzerne, mit Stanniol überzogene und an ihrem oberen äußersten Ende wohl auch mit einer Metallkugel ausgerüstete Klemme, die aber bis zur vorderen Stanniolbelegung der Tafel herunterreichen muß, oder — was bequemer und gebräuchlicher ist — ein mittels Siegellack auf der Vorderseite befestigtes kleines rundes Blech mit Metallring (Fig. 114). Die Ab-

leitung erfolgt durch eine auf der hinteren Seite des Rahmens unten eingeschlagene und mit der hinteren Belegung durch einen Stanniolstreifen in leitender Verbindung stehende Drahtöse oder Drahthaken, woran die Kette bequem befestigt werden kann. Obgleich man die Tafel bei Anstellung des Experiments auf den Tisch legen kann, so zieht man es doch vor, sie in einem Holzgestell anzubringen, wie es Fig. 114 zeigt.

Da die Theorie dieser Tafel in einem der folgenden Kapitel („Franklin'sche Tafel“) eingehend besprochen wird, so sei jetzt die Aufmerksamkeit nur der Erscheinung selbst zugewandt. Wird nämlich die hintere Belegung ableitend berührt bezw. mit dem Erdboden leitend verbunden und die vordere mit dem Konduktor einer bewegten Elektrifiziermaschine in leitende Verbindung gebracht, so sieht man von der Mitte der Tafel aus nach allen Seiten hin geschlängelte Funken oder Blitze über die zerschnittene Stanniolfläche zucken, weil die vom Konduktor auf die Tafel übergeschlagene Elektrizität hier von einer Naute zur anderen überspringt; und diese Erscheinung dauert während des Ladens der Tafel an, mit jedem neuen die Mitte der Tafel treffenden Funken wiederholt sie sich. Bei diesem Vorgang treibt die durch die bewegte Maschine auf der einen (vorderen) Seite der Tafel angehäuften (positive) Elektrizität die auf der hinteren Belegung befindliche gleichnamige fort, welche durch den Draht des Ausladers zum Erdboden abgeleitet wird, während die ungleichnamige dort gebunden zurückbleibt; man häuft mithin auf der vorderen Seite etwa so viel Elektrizität der einen Art an, als auf der hinteren vertrieben und daher ungleichnamige angezogen wird; dieser Vorgang bezw. die Ladung der Tafel geschieht allmählich, daher die aufeinander folgenden einzelnen Blitze. Nähert man aber den Auslader dem Konduktor, so geschieht die Ausgleichung der gespannten Elektrizitäten plötzlich, die bis jetzt geladene Tafel entladet sich mit einem Schläge und sie erscheint ganz mit blendenden Blitzen bedeckt — ein prächtiger Anblick.

3. Der leuchtende Name. Wie man durch Stanniolblättchen auf einer Glasröhre eine Spirallinie bilden kann, so vermag man auf ihr auch andere Zeichnungen auszuführen und ebenso auf einer Glastafel. Mittels eines Einschnittes setzt man eine kleine mit Stanniol überzogene Holzugel auf den Rand einer Glastafel und von der Uugel aus befestigt man rautenförmige Stanniolblättchen auf der einen Tafelseite, sodas sie irgend einen Namenszug oder eine andere Figur, z. B. Blüten oder Blätter, darstellen. Falls an einer oder mehreren Stellen kein Funke erscheinen soll, so klebt man dort einen ungetheilten Stanniolstreifen auf. Einen solchen führt man auch vom Ende des Namens bezw. der Figur an den der Uugel gegenüberliegenden Rand der Tafel, wo diese mit der Hand (ableitend)

erfaßt wird. Noch sei bemerkt, daß der Funke nicht selten auf der Tafel selbst größere Zwischenräume überspringt, um nur recht bald in die Hand übergehen zu können. Um jenes zu verhüten, dürfen die Stanniolstückchen einander nicht zu nahe kommen, man bildet also einen breiter gesperrten Namenszug oder eine weitzügige Figur, bringt auch einen Teil der Leitung auf der unteren Fläche der Tafel an. Beim Experiment hält man die Tafel am Ende der Leitung, d. i. des Stanniolstreifens, und läßt, indem man die Stanniolkugel dem Konduktor der bewegten Elektrifiziermaschine nähert, kleine Funken auf sie überspringen.

Man verfährt auch folgendermaßen. Eine Glastafel (Fig. 115) wird mit lauter parallelen Stanniolstreifen belegt, welche nach der in beigegebener Abbildung erläuterten Weise abwechselnd miteinander -- also rechts der erste mit dem zweiten, der dritte mit dem vierten, der fünfte mit dem

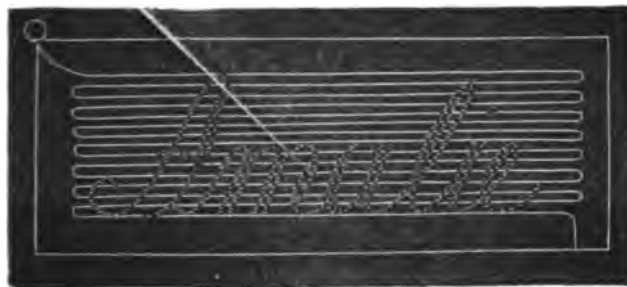




Fig. 115. Leuchtender Name.

sechsten, links der zweite mit dem dritten, der vierte mit dem fünften u. — verbunden sind, wodurch eine ununterbrochene Leitung von \circ nach dem unteren Ende, an welchem die Hand ansaßt, stattfindet. Die Züge, welche beim Elektrifizieren erscheinen sollen, trägt man nun, nachdem Alles völlig trocken geworden, zunächst mit Kreide auf die belegte Tafel und durchschneidet dann die Stanniolstreifen mittels scharfen Messers da, wo sie von den Zügen getroffen werden. An den auf diese Weise getrennten Stellen zeigen sich, wenn man vom Konduktor der dauernd in Bewegung gesetzten Elektrifiziermaschine Funken auf \circ überspringen läßt, kleine Funken, sodaß man ein sehr hübsches Bild gewinnt. Doch ist, um dies nochmals zu betonen, Bedingung zum Gelingen des Versuchs, daß die Stanniolstreifen nicht zu nahe bei einander vorbeilaufen, sonst springt der Funke leicht über ein paar hinweg und macht die Erscheinung unvollkommen.

4. Elektrisches Funkenpiel. Diese „ungemein schöne Abänderung des Versuchs mit der Glasröhre (Blitzröhre)“ beschrieb Zimmermann bereits in der ersten Ausgabe dieses Buches folgendermaßen:

Sechs bis acht gleichhohe Champagnerkelche, denen die Füße abgebrochen worden, sodaß sie abgestumpfte Kegeln vorstellen, belegt man wie die Blizröhre mit Stanniolblättchen in einer absteigenden Spirallinie und versieht die Spitze eines jeden mit einer Metallkugel; die Mündungen sind selbstverständlich nach unten gekehrt. Sodann befestigt man im Mittelpunkt einer kreisrunden, etwa 32 cm im Durchmesser haltenden und mit Stanniol überklebten Holzscheibe eine hinsichtlich der Höhe ungefähr den Glaskelchen gleichende Glasstange (Glasröhre) und setzt auf diese eine etwas mehr als zollgroße Kugel aus hartem Holz, welche eine starke, 25—30 mm hohe Drahtspitze trägt, auf der das beschriebene Flug- oder Spitzenrad schweben kann. Statt dieses Flugrades legt man aber einen Draht auf die Spitze, welcher die nebenstehende Form  hat und bei a, an der inneren Seite der Krümmung, mit einer Vertiefung versehen ist, damit er gesicherter ruht, ähnlich wie die elektrische Nadel (Seite 61). Bei c wird eine größere metallene Hohlkugel, bei b eine kleinere massive Kugel angefügt,  sodaß sie sich, wenn der Draht bei a auf die Drahtspitze der Glas Säule gelegt wird, gegenseitig das Gleichgewicht halten.

Ist Alles bis hierher vorbereitet, so stellt man die belegten Kelche in einem Kreise auf die mit Stanniol überzogene Scheibe und zwar soweit von der Mitte entfernt, daß die Hohlkugel bei den Umdrehungen an jeder Kelchkugel in der Entfernung von 3 mm vorbeistreicht. Führt man nun von einer kräftigen Elektrifiziermaschine dem schwebenden Apparat hinlängliche Elektrizität zu, so giebt er sofort dem nächsten Kelch resp. der auf diesem ruhenden Metallkugel einen Funken ab, und stößt man den Draht an, so dreht er sich auf seinem Stützpunkt und giebt bei jedem Vorbeistreichen an den Kelchen an diese Funken ab, welche die Stanniol-Spiralen erleuchten. Zu beachten hat man aber, daß die Elektrifiziermaschine leistungsfähig sei, daß die Elektrizität des Konduktors dem Apparat in richtiger Weise zugeführt werde — dies geschieht, indem man einen Draht mit seiner zugeseilten Spitze vom Konduktor beinahe bis auf a des gebogenen Drahtes b c herabgehen läßt — und daß endlich die Stanniol-Spirale der Kelche bis auf die Stanniolbelegung der Holzscheibe, welche mit dem Erdboden in leitender Verbindung steht, reiche. —

Die Dauer des elektrischen Funkens und die Geschwindigkeit der Elektrizität wird uns in einem der folgenden Kapitel („Batterie-Entladung“) beschäftigen.

b) Das elektrische Büschellicht.

In dem früher (Seite 144 ff.) Gesagten haben wir auseinandergesetzt, daß der elektrische Funke entsteht, wenn zwei abgerundete ungleichnamig elektrische bezw. ein elektrischer und ein unelektrischer Körper einander bis

auf gewisse geringe Entfernung genähert werden und daß er bei starken Maschinen oder größerer Schlagweite einen blitzähnlichen Verlauf nimmt, ähnlich wie es Abbildung 116 (in welcher der Funke zwischen dem Konduktor links und dem Funkenzieher rechts übergeht) zeigt. Allein die elektrische Entladung kann auch in anderer Weise vor sich gehen, der Konduktor kann sich auch freiwillig entladen.

Wir wissen (vergl. S. 95 ff.), daß die Entladung eines elektrischen Körpers von selbst langsam durch die Feuchtigkeit der ihn umgebenden Luft oder durch diese selbst erfolgt, indem die den Körper berührenden Dampf- und Luftteilchen als Elektrizitäts-Entzieher wirken; durch die von dem Körper erhaltene Elektrizität werden sie mit ihm gleichnamig elektrisch und daher von ihm abgestoßen, um jedoch alsbald durch neue Teilchen ersetzt zu werden, und da diese in gleicher Weise den Körper beeinflussen, so verliert er nach und nach seine ganze freie Elektrizität. Diese stetige, ruhige Entladung eines elektrischen Körpers infolge dauernden Ausströmens der Elektrizität in die ihn umgebende Luft nennt man die kontinuierliche („ruhige“, „stillschweigende“) Entladung.

In unserem Falle ist der betreffende elektrische Körper der Konduktor der Elektrifiziermaschine. Die eben besprochene ruhige Entladung findet hier also statt, wenn bei großer Dichtigkeit (Spannung) der Elektrizität auf dem Konduktor kein elektrischer Leiter in gehöriger Nähe steht, um die plötzliche (disruptive) Entladung zu bewirken, d. h. den elektrischen Funken zu erzeugen. Doch ist hierbei noch ein Unterschied wahrzunehmen, die dabei im Dunkeln zu beobachtenden Licht-Erscheinungen bieten sich in abweichender Form, als Büschellicht und Glimmlicht, und die jeweilige Entladung kann demgemäß als Büschel- oder als Glimm-Entladung bezeichnet werden. Wir betrachten zunächst die erstere.

Um diese Erscheinung in möglichst vollkommener Weise hervorzurufen, darf man nicht mit dem Konduktor selbst experimentieren wollen, sondern man steckt, wie auf S. 116 erwähnt, eine an einem vielleicht 15 cm langen Messingstab (Draht) befestigte kleine Messingkugel von 5—15 mm Durchmesser in denselben. Auf dieser Fortsetzung des Konduktors sammelt sich, wenn die Maschine bewegt wird, die positive Elektrizität in solcher Dichtigkeit an, daß sie mit einem schwachen, eigentümlich zischenden Geräusch in die Luft übergeht oder ausströmt und als ein nur im Dunkeln (verfinsterten Zimmer) wahrnehmbares, aus zahlreichen, nach außen auseinandergehenden bläulichen oder rötlichen Strahlen bestehendes elektrisches Lichtbüschel

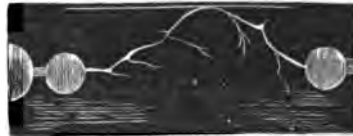


Fig. 116. Elektrischer Funke.

(Strahlenbündel) erscheint. Statt der kleinen Kugel kann man am Konduktor auch eine stumpfe Spitze oder ein stumpfes, kegelförmiges Holzstück anbringen oder Drähte, welche am Ende halbkugelförmig abgerundet sind, in denselben einstecken. Die schönsten Büschel erzielt man bei kräftigen Maschinen resp. bei Maschinen von größerer Schlagweite (Fig. 117); je kleiner diese ist, desto dünner muß der verwendete Draht sein, wenn man noch Büschel wahrnehmen will; verbindet man einen sehr dünnen Metalldraht mit dem Konduktor, so erscheint derselbe seiner ganzen Länge nach durch büschelförmige Strahlen leuchtend.

Eigentümlich ist es, daß nur die ausströmende positive Elektrizität kräftige, stark verästelte Lichtbüschel bildet. Versieht man nämlich den negativen Konduktor der Maschine

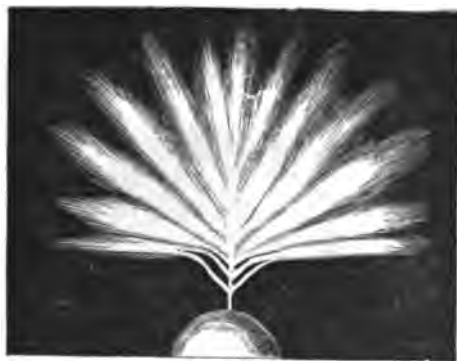


Fig. 117. Elektrisches Büschellicht.

mit einer stumpfen Spitze, so zeigt sich im Dunkeln an dieser kein Lichtbüschel, sondern ein kleiner, mit ruhigem, aber hellem Lichte glimmender Stern oder Lichtpunkt. Diese verschiedenen Ausströmungs-Erscheinungen lassen sich auch beobachten, wenn man mit der Hand einen am Ende abgerundeten Metalldraht das eine Mal dem positiven und das andere Mal dem negativ geladenen Konduktor der thätigen Maschine bis auf mäßige Entfernung nähert:

im letzteren Falle bemerkt man, weil positive Elektrizität vom Draht gegen den negativen Konduktor ausströmt, ein Lichtbüschel, im ersteren Falle hingegen, da der Drahtspitze negative Elektrizität entweicht, einen Lichtpunkt.

c) Das elektrische Glimmlicht.

Das soeben besprochene stetige, geräuschlose Ausströmen der Elektrizität, welches mit einem ruhigen Leuchten der Ausströmungsstelle verbunden ist, bezeichnet man als Glimm-Entladung und jedes geräuschlose, schwache elektrische Leuchten selbst als elektrisches Glimmen (Glimmlicht). Dieser Vorgang findet, wie wir schon gesehen haben, vorzugsweise an Spitzen statt, und wenngleich er speziell der negativen Elektrizität eigen ist, so werden unter gewissen Umständen auch die Büschel der positiven Elektrizität so klein, daß sie sich von den negativen Lichtsternen oder Lichtpunkten nur schwer unterscheiden lassen. Dies tritt ein, wenn die + E

durch sehr scharfe und feine Spitzen ausströmt. Man kann sich davon überzeugen, wenn man auf den (positiven) Konduktor eine Drahtspitze anbringt oder wenn man eine solche dem Konduktor in einiger Entfernung gegenüberhält. Im ersteren Falle strömt alle Elektrizität geräuschlos aus dem Konduktor durch die Spitze aus — die dabei wahrzunehmende Erscheinung des sog. elektrischen Windes und das darauf begründete Flug- oder Spitzenrad haben wir bereits auf Seite 95 und 96 kennen gelernt —, im zweiten Falle wird sie durch die der gegenüberstehenden Spitze entströmende entgegengesetzte Elektrizität neutralisiert; beide Male läßt sich ein elektrischer Funke nicht gewinnen, doch kann man das elektrische Glümlicht beobachten.

Auch die Influenzmaschine gewährt uns, wie auf Seite 127 angedeutet, die Erscheinung des elektrischen Glümlichts und Büschellichtes, sobald wir den Versuch im Dunkeln anstellen. Wenn man die beiden Elektroden weiter voneinander entfernt, so strömt die Elektrizität in Folge der auf den Kugeln erlangten Dichtigkeit in die Luft aus, und man bemerkt dann von ihnen ausgehende bläuliche oder violette Strahlen in Form eines Lichtbüschels (+ E). An den Spitzen des einen Kammes aber wird man Lichtpünktchen (— E) wahrnehmen können.

Im Grunde genommen dürfen wir das elektrische Glümlicht als ein Lichtbüschel von sehr geringer Ausdehnung betrachten, und es liegt ja gewissermaßen in unserer Hand, unter Abänderung der Verhältnisse das positiv elektrische Licht als Strahlenbüschel — was das Naturgemäße ist — oder als Lichtpunkt (Lichtstern) hervorzurufen. Schließlich sei schon hier daran erinnert, daß die an Drahtspitzen und Hervorragungen auftretenden Sterne und Büschel die Erklärung einer Erscheinung der atmosphärischen Elektrizität, des später zu besprechenden Elmsfeuers, geben; dasselbe zeigt sich zuweilen an den Spitzen der Schiffsmasten, Blitzableiter etc., wenn sich die Elektrizitäten der Gewitterwolken und der Erde ausgleichen.

Elektrisches Licht im luftverdünnten Raum. Die Lichterscheinungen, wie sie uns bisher beschäftigten, lassen sich in jedem trocknen, dunkeln Zimmer hervorrufen und verfolgen; hübsche Abwechslung jedoch läßt sich schaffen, wenn man die positive Elektrizität des Konduktors mittels eines Zuleiters in einen luft- oder gasverdünnten Raum — gewöhnlich in einen geschlossenen eiförmigen Glasballon — führt und am anderen Ende des Gefäßes eine Ableitung nach dem negativen Konduktor der Maschine oder nach dem Erdboden herstellt. Man wird dann erkennen, daß die zugeführte Elektrizität (Funken), weil die verdünnte Luft ihrer Fortpflanzung geringeren Widerstand entgegensetzt als Luft von gewöhnlicher Dichte, auf größere Entfernungen und leichter übergeht und daß das erzeugte Licht sich umso mehr ausbreitet und matter wird, je mehr man die Luft verdünnt.

Den einfachsten derartigen Versuch macht man mit einer etwa 1 m langen Glasröhre, wie sie als Blitzröhre zur Verwendung kam. Wenn man dieselbe an beiden Enden mit einer aufzukittenden Metallkapsel verschließt, von denen die untere mit einem Hahn versehen sein muß, dann die Röhre nach gutem Trocknen mit Hilfe der Luftpumpe luftleer macht und, während man das untere Ende in der Hand hält, die obere Metallkapsel dem Konduktor der thätigen Elektrifiziermaschine nähert, so gehen

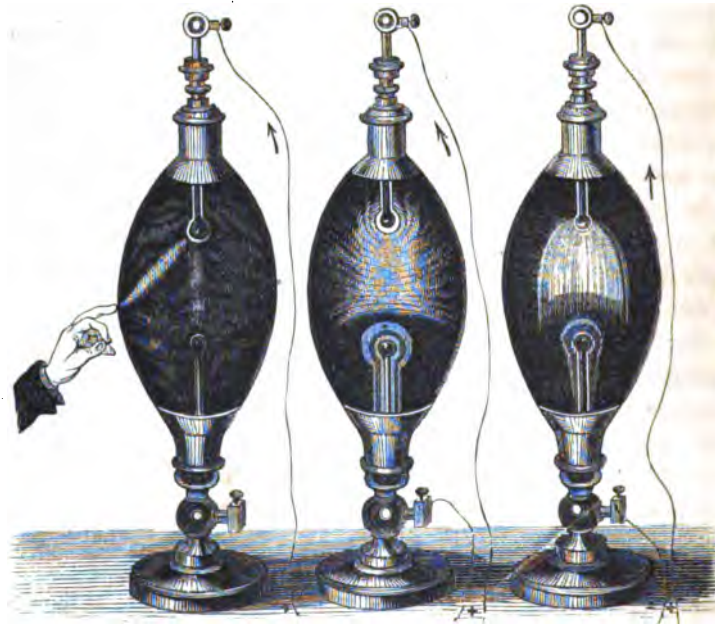


Fig. 118. Elektrisches Ei.

alsbald Funken auf die erstere über, welche nun in der Röhre prächtige blaßviolette Lichtgarben bilden und dieselbe durchziehen. Bei Benutzung einer schwächeren Maschine faßt man das Rohr etwa in der Mitte oder noch mehr gegen das obere Ende hin; natürlich reichen dann die Lichtströme auch nur bis zu der Stelle, wo sich die Ableitung, d. i. die Hand, befindet.

Oft gebraucht man statt der Glasröhre ein eiförmiges oder elliptisches Glasgefäß, das sog. elektrische Ei, welches in Fig. 118 dargestellt wird^{*)}. An den beiden spitzen Enden des Gefäßes, wo sich eine Öffnung befindet, wird je eine Metallfassung befestigt, durch welche ein starker Draht

^{*)} Bei der Besprechung der Lichtwirkungen der Induktionsströme werden wir auf die drei Abbildungen der Figur näher eingehen.

geht, der in dem Gefäß mit einer Kugel endigt; die untere Metallfassung trägt zudem einen Hahn und kann auf die Luftpumpe aufgeschraubt werden, um die im Innern des Gefäßes befindliche Luft zu verdünnen. Sobald dies geschehen, so schließt man den Hahn und bringt die untere Metallfassung mittels eines Drahtes mit dem Erdboden oder auch mit dem negativen Konduktor der Maschine in ableitende Verbindung. Läßt man nun Funken von dem positiven Konduktor auf den Ring des oberen Drahtstabes überschlagen, so zeigt sich an der positiven Kugel eine milde rötlich-violette Lichtgarbe, welche sich (siehe Fig. 118 Abbildung rechts) fast bis zur unteren, negativen Kugel — die von einer bläulichen Lichthülle umgeben erscheint — hin erstreckt und ein prächtiges Bild gewährt. Gestattet man der äußeren Luft durch Öffnen des Hahns allmählich wieder Zutritt zu dem Innern des Gefäßes, so nimmt die Lichterscheinung an Ausdehnung ab und immer mehr die Form an, welche sie in freier Luft besitzt, d. h. die Form des elektrischen Funkens.

Noch eine Abänderung vermag man zu treffen. Hängt man in dem luftverdünnten Glasrohr einen dünnen, in weiten Spiralen gebogenen Draht an die obere Metallkapsel und läßt auf diese, während man das untere Ende des Rohres in der Hand hält, aus dem Konduktor der Maschine Funken überschlagen, so wird der Draht durch jeden Funken leuchtend. Der Versuch gelingt aber nur, wenn man dafür sorgt, daß der Draht weder die untere Metallkapsel noch das Glas berührt.

Indem wir darauf hinweisen, daß in dem später folgenden Abschnitt über die Induktionsströme weitere im luftleeren Raum sich bietende elektrische Lichterscheinungen, insbesondere auch die Geißler'schen Röhren und die damit anzustellenden Versuche behandelt werden sollen, seien nur noch einige geschichtliche Daten erwähnt. Hatte bereits Otto von Guericke i. J. 1663 das Leuchten eines elektrisierten Körpers wahrgenommen, so bemerkte 1675 Jean Picard im luftleeren Raum der Barometer-Röhre bei Erschütterungen ein eigenartiges Leuchten, als dessen Ursache der Engländer Hawksbee die durch die Reibung des Quecksilbers an der Glaswand entwickelte Elektrizität erkannte, was ihm die Veranlassung bot zu verschiedenen Versuchen über das Leuchten luftleerer Glasugeln und Glasröhren, die durch Reibung oder durch Influenz elektrisch werden. Um die Mitte des vorigen Jahrhunderts schlug G. H. Grummert schon vor, jenes beim Ausströmen der Elektrizität in luftleeren Räumen erfolgende Leuchten in Bergwerken und an sonstigen feuergefährlichen Örtlichkeiten sich zu Nutzen zu machen. Hawksbee's Versuche wurden um dieselbe Zeit fortgesetzt, namentlich von seinen Landsleuten Watson, Canton u. A., Watson führte auch bereits das Elmsfeuer auf das elektrische Büschellicht

zurück. Der elektrische Funke, welchen zuerst Wall (1708) beobachtete, wurde erst von Priestley (1766) genauer untersucht, und Wollaston machte 1802 die Beobachtung, daß derselbe aus einer Reihe heller und dunkler Linien zusammengesetzt ist, welche letztere später Fraunhofer und Wheatstone als von einem zwischen den beiden Entladungsstellen stattfindenden Übergang glühender Teilchen (Seite 147) herrührend erklärten.

C. Zündungs- und Bohrversuche.

Mit Hilfe des aus dem Konduktor der in Thätigkeit befindlichen Elektrifiziermaschine gezogenen elektrischen Funkens lassen sich zunächst einige Zündungs-Versuche anstellen, denn er vermag ebensowohl Weingeist und Äther, als auch Knallgas zu entzünden.

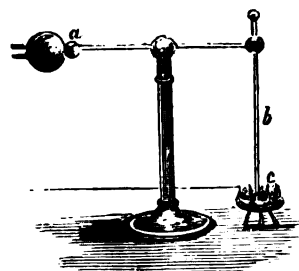


Fig. 119. Spiritus-Entzündung.

1. Entzündung von Spiritus und Äther. Experimentiert man mit einer schwächeren Maschine, so hat man den Spiritus (Weingeist, Alkohol) vorher etwas zu erwärmen, bei Schwefeläther jedoch ist dies nicht nötig. Besonderer Apparate bedarf man nicht. Man gießt die Flüssigkeiten in einen Eßlöffel oder besser — da häufig Funken nach dem Rand des Löffels gehen — in eine flache kreisrunde, mit metallnem Stiel und umgebogenem Rand versehene

Metallschale von 5—6 cm Durchmesser und legt in die Mitte derselben, um die Dicke der von dem Funken zu durchschlagenden Flüssigkeitsschicht zu vermindern, einen flachen Metallknopf; sodann nähert man die Schale einem abwärts gerichteten Knopf des Konduktors oder dem unteren Ring eines an den letzteren gehängten, beiderseits zu einem Ring umgebogenen starken Messingdrahtes und läßt Funken nach der Mitte der Schale schlagen.

Wer sich zu dem Versuch noch eine besondere Vorrichtung schaffen will, kann in zweifacher Weise verfahren, entweder wie sie durch Fig. 119 oder Fig. 120 erläutert wird; absolut nötig aber ist es nicht. Abbildung 119 zeigt eine auf einem Glasfuß ruhende Vorrichtung, welche aus einem wagerechten und einem senkrechten Messingdraht besteht; der erstere endigt beiderseits in einer Kugel und der letztere (b), welcher ebenfalls an beiden Enden eine kleine Metallkugel trägt, ist in der rechten Kugel des wagerechten Drahtes beweglich, so daß er auf- und abwärts geschoben werden kann; bei c bemerkt man das flache Metallschälchen, welches durch einen Draht oder eine Metallkette mit dem negativen Konduktor der Maschine oder mit

dem Erdboden ableitend verbunden ist. Zu Beginn des Versuchs wird der Apparat so nahe an den Konduktor der Maschine gerückt, daß die kleine Kugel a denselben berührt, und der senkrechte Draht b bis auf etwa 10 oder 12 mm Entfernung von der Spiritusfläche herabgeschoben, und nun die Maschine in Thätigkeit gesetzt.

Statt des Metallschälchens kann man zu dergleichen Versuchen einen Glasrichter (Fig. 120) verwenden, welchen man unten mittels eines Korkpfropfens verstopft, durch den ein beiderseits (n und h) zu einem Haken umgebogener oder nur am äußeren Ende (n) mit einem solchen und am inneren (h) mit einer Kugel versehener Draht geführt ist; der letztere dient zur Ableitung der Elektrizität. Um möglichst wenig Äther zu verbrauchen, genügt es, in den unteren Teil des Trichters Wasser zu füllen und nur über der Kugel eine Schicht Äther aufzugießen. Wird die Maschine in Thätigkeit gesetzt und der Trichter dem mit dem Konduktor verbundenen elektrischen Zuleiter 1 genähert, so schlagen Funken über und entzünden die Flüssigkeit.

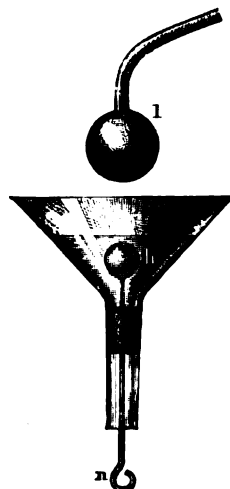


Fig. 120. Äther-Entzündung.

2. Entzündung von Knallgas. Zweck Ausführung dieses Versuchs bedarf man einer eigenen Vorrichtung, der sog. elektrischen Pistole, welche von Volta 1777 erfunden wurde und aus einem mit Knallgas gefüllten und mittels Korkstöpsel geschlossenen Gefäßes aus starkem Weißblech besteht; Fig. 121 stellt dasselbe im Durchschnitt dar. Zu beachten ist, daß es nur so groß sein darf, um höchstens $\frac{1}{4}$ Liter Gas fassen zu können. Wie die Abbildung erläutert, ist unten seitlich auf das Zündloch ein kurzer Blechstutzen gelötet, welcher ein 5–10 mm weites Glasröhrchen t t aufnimmt, durch das wiederum ein Draht b a geführt ist, der beiderseits in einer Kugel endigt oder zu einem Ring umgebogen ist und innerhalb (bei a) etwa 1 mm vom Boden des Gefäßes absteht. Hat man sich, indem man mit b den Konduktor der thätigen Maschine berührt, durch Hineinsehen in das Gefäß vergewissert, daß Funken zwischen dem Drahtende a und dem Boden des Gefäßes überspringen, so fittet man Draht und Glasröhre mit Siegelack in dem Blechstutzen fest.

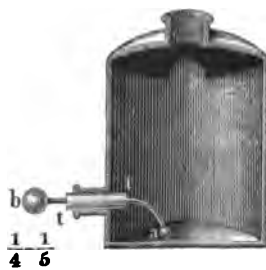


Fig. 121. Elektrische Pistole.

Nun wird die elektrische Pistole, d. h. das Gefäß geladen. Dies geschieht entweder in der Weise, daß man aus einer Wasserstoffgas- oder

Platinschwamm-Zündmaschine eine Portion Wasserstoffgas durch die obere Öffnung des Gefäßes zu der in demselben vorhandenen atmosphärischen Luft strömen läßt*) — sodas sich Knallgas, welches aus einem Gemenge von 2 Teilen Wasserstoffgas und 1 Teil Sauerstoffgas besteht, bildet — und dann den Korkpfropfen sogleich mäßig fest aufsetzt, oder aber besser in der Weise, daß man reines Knallgas aus einer Flasche, die etwa doppelt so groß ist als das Metallgefäß, in das letztere einführt. Zu diesem Zweck füllt man zunächst trocknen Sand, Schrotkörner, Erbsen oder dergl. in das Metallgefäß, öffnet die wagerecht gehaltene Knallgas-Flasche, setzt sofort die Mündung des Gefäßes auf die der Flasche, richtet beides aufrecht (sodas die Pistole jetzt „auf dem Kopf steht“) und umfaßt die Berührungsstelle beider Gefäße, damit möglichst wenig Gas nach außen entweichen kann; indem nun die Sandkörner u. aus dem Blechgefäß in die Flasche fallen, tritt das aus dieser entweichende Gas in die Pistole und nimmt

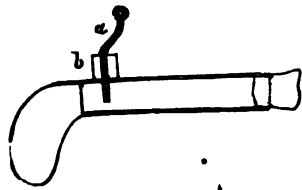


Fig. 122. Elektrische Pistole.

hier den frei gewordenen Raum ein; selbstverständlich muß dann die letztere schnell durch den Kork verschlossen werden, damit die Füllung gewahrt bleibt. Sobald man nun den Knopf b der Pistole mit dem Konduktor der thätigen Maschine in Berührung bringt, so springt ein Funke zwischen dem inneren Knopf a und dem Gefäßboden über, das Gasgemenge explodiert dadurch und der Korkpfropfen wird mit lautem Knall herausgeschleudert. Daß die Pistole dabei mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt sein muß, darf nicht vergessen werden; dies findet statt, indem man entweder das Gefäß in der Hand hält oder daß man es auf den Tisch stellt bezw. einen Draht von ihm zum Boden herabgehen läßt. Das letztere werden Viele, welche die Pistole nicht in der Hand halten mögen, vorziehen.

Man hat übrigens dem Gefäß auch die annähernde Form einer Pistole oder eines Kanonenhohres gegeben, wie es Fig. 122 in allgemeinen Umrissen andeutet. Die Einrichtung entspricht der des eben beschriebenen Metallgefäßes, nur befindet sich der aufgelöthete Blechstutzen (b) nebst Glasröhrchen und Drahtstab (a) — letztere beiden brauchen hier nicht gehoben zu sein — am hinteren, durchaus gut verschlossenen Ende, während das vordere durch einen Kork verstopft wird. Füllung und Handhabung dieser Pistole weichen von dem oben Gesagten nicht ab. Daß man die

*) Der Platinschwamm ist dabei vorher zu entfernen.

Mündung der Gefäße so richtet, daß der herausfliegende Kork keinen Schaden verursachen kann, bedarf wohl kaum der Betonung.

Auf dem Prinzip der elektrischen Pistole beruht eine Vorrichtung zur Bestimmung des Sauerstoffgehalts der atmosphärischen Luft, nämlich das von Volta 1777 angegebene Eudiometer oder Luftgütemesser. Ohne hier auf die Eudiometrie oder Luftgütemessung, deren Aufgabe in dem Nachweis der jeweiligen Zusammensetzung der atmosphärischen Luft bezw. in der Analyse derselben besteht, eingehen zu können, wollen wir nur anführen, daß unter den verschiedenen dazu benutzten Mitteln das Volta'sche Eudiometer das einfachste ist. Ähnlich wie bei der elektrischen Pistole wird bei dieser Vorrichtung ein elektrischer Funke durch ein gemessenes Gemenge von atmosphärischer Luft und Wasserstoff geleitet; dann verbindet sich der gesammte in der Luft vorhandene Sauerstoff mit einem Teil des Wasserstoffs zu Wasser; da nun aber, wie wir wissen, stets 2 Raumteile (Volumen) Wasserstoff mit einem Raumteil Sauerstoff zu Wasser verbrennen (verbinden), so folgt daraus, daß ein Drittel der nach jener Verbindung eingetretenen Volum-Verminderung des erwähnten Gasgemenges das Volumen des vordem vorhanden gewesenen Sauerstoffgases angiebt. Damit aber erhält man einen Maßstab zur Bestimmung der Güte der Luft, denn auf den Sauerstoff kommt es uns ja an.

3. Durchbohren von Glas. Obwohl die verschiedenen Durchbohrungs- und Sprengungs-Versuche von Glas u. a. gewöhnlich mit dem stärkeren elektrischen Funken der Leydener Flasche ausgeführt werden und auch von uns an betreffender Stelle zur Besprechung gelangen sollen, so vermag man doch mit dem Funken einer Elektrifiziermaschine schon manches Derartige auszurichten. Füllt man z. B. ein gewöhnliches Medizinfläschchen (Fig. 123) mit Öl, steckt durch den zugehörigen Korkpfropfen einen 2 bis 3 mm dicken, zugespitzten und in der durch die Abbildung veranschaulichten Weise gebogenen Draht, setzt ihn dann mit dem Draht so ein, daß die Spitze des letzteren mit einiger Federkraft gegen die innere Fläche der Glaswand drückt, hängt das Fläschchen mittels des äußeren Ringes an den Konduktor der Maschine und nähert nun, während diese in Thätigkeit versetzt wird, der äußeren Fläche der Flasche gegenüber der Drahtspitze rasch eine Metallkugel, so springt ein Funke über und durchbohrt das Glas. Freilich ist die Öffnung so fein, daß man sie nur mit der Lupe gut sehen kann und vielleicht erst nach tagelangem Stehen der Flasche ein Öltröpfchen



Fig. 123.

Durchbohren von Glas.

heraustritt; hat man jedoch die Drahtspitze zu straff an die Flaschenwand gelegt, so kann es geschehen, daß beim Durchschlagen des Funkens der Draht das dünne Glas durchbricht.

Auch Glasplatten lassen sich durchbohren. Zu dem Zweck empfiehlt es sich, die Platte beiderseits dünn mit Öl zu bestreichen und zwischen zwei Metallspitzen zu bringen, die federnd gegeneinander drücken. Leitet man nun einen kräftigen Funken zu, so hat dieser keinen anderen Ausweg, als durch die Glasplatte hindurch nach dem gegenüberstehenden Leiter, wobei er eben das Glas durchbohrt.

D. Wirkung des Funkens auf den menschlichen Körper.

Die bisher angestellten Versuche haben uns gelehrt, daß man einen Körper nicht nur an der Maschine selbst — durch Überströmen der Elektrizität aus dem Konduktor in den genäherten Körper —, sondern auch

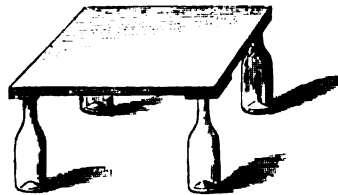


Fig. 124. Isolierschemel.

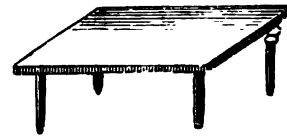


Fig. 125. Isolierschemel.

ebenso an einer dem Konduktor in Gestalt eines metallischen Leiters (Messingstab u.) gegebenen Fortsetzung elektrifizieren kann; aus der letzteren vermag man ebenso, wie direkt aus dem Konduktor, Funken zu ziehen. Nun können wir aber auch unseren eigenen Körper als die Fortsetzung des Konduktors verwenden. Doch geht dies nicht ohne Weiteres; vielmehr muß die Person, welche so elektrisch gemacht werden soll, daß ihr Kopfhaar vermöge der elektrischen Abstoßung sich sträubt und ihr elektrische Funken entzogen werden können, isoliert werden und den Konduktor dauernd mit der Hand berühren. Die Person ist isoliert, sobald sie sich auf eine Kautschukplatte oder auf einen sog. Isolierschemel stellt.

Der Isolierschemel oder Isolierstuhl (Fig. 124) besteht aus einem von Glasfüßen unterstützten Brett. Er wird einfach aus einem etwa 50 cm langen, 35 cm breiten und 3 cm dicken, an den Ecken und Kanten gut abgerundeten und an den Ecken durch Holzunterlagen verdoppelten Brett und vier gleichhohen Champagnerflaschen, welche in die Verdoppelungen eingelassen und mit Pechsiegellack festgekittet werden, gefertigt. Wer die etwas größeren Auslagen nicht scheut, mag statt der Flaschen vier etwa

30 cm hohe und nicht unter 3 cm starke Glasäulen oder Glasfüße (Fig. 125) verwenden. Gleichzeitig sei bemerkt, daß man für gewisse andere Versuche einen etwa ein Viertel so lang und breiten Isolierschemel mit nur 10 bis 15 cm hohen Füßen braucht, welcher auch durch ein Isoliertischchen oder Isolierstativ, wie es Fig. 126 zeigt, ersetzt werden kann. Holz und namentlich Glas werden — aus dem Seite 52 und 58 erwähnten Grunde — gut gefirnißt.

Faßt eine Person, welche auf dem gewöhnlichen Fußboden steht, den Konduktor der in Thätigkeit befindlichen Elektrifiziermaschine an, so geht die erhaltene Elektrizität durch den leitenden menschlichen Körper hindurch nach dem Boden resp. zur Erde; stellt sie sich jedoch auf den Isolierschemel und berührt nun direkt mit der Hand oder vermitteltst eines starken, an beiden Enden zu Ringen umgebogenen Drahtes den Konduktor, so vermag die auf den Körper übergeführte Elektrizität nicht in den Fußboden abzufließen, sie sammelt sich vielmehr auf dem Körper an, wie es sonst auf dem Konduktor geschieht.

Dieser Vorgang hat ganz eigenartige, obwohl in seiner Natur begründete Erscheinungen im Gefolge. So empfindet der Isolierte ein Grieseln der Haut, was daher kommt, daß alle feinen Härchen gleichnamig elektrisch werden und nun sich gegenseitig abstoßen; trockene Kopf- und Barthaare sträuben sich aus gleicher Ursache und richten sich auf, fallen aber zusammen, sobald aus dem Konduktor oder dem Körper des Isolierten ein Funke gezogen wird; sollten sich übrigens infolge geringerer Elektrizität die Haare nicht von selbst sträuben, so braucht eine zweite Person nur eine nicht isolierte Metallplatte oder auch nur die flache Hand über den Kopf der Isolierten zu halten, um die Erscheinung hervorzurufen und die Haare, falls man den Versuch im Dunkeln macht, leuchten zu sehen. Nähert man dem auf dem Isolierstuhl Sitzenden den Knöchel einer Hand oder einen anderen Leiter, so springt aus der betreffenden Stelle des isolierten Körpers ein elektrischer Funke auf den Leiter über, und in dieser Weise vermögen wir, wie erwähnt, aus jedem Körperteil des Isolierten Funken zu ziehen. Die letzteren verursachen an der Stelle, welche beim Uberspringen getroffen wird, einen stechenden Schmerz; bei größeren Elektrizitäts-Mengen bewirkt diese elektrische Entladung gleichzeitig Muskelzuckungen und eine unangenehme Empfindung in den Gelenken.

Aber nicht nur die Hautnerven, sondern auch die Nerven der anderen Sinneswerkzeuge (Auge, Ohr, Zunge, Nase) werden durch den elektrischen



Fig. 126.
Isolierstativ.

Funken oder die elektrische Entladung in eigenartiger Weise erregt: dem Auge erscheint der elektrische Schlag als Lichtblitz, dem Ohr der durch den Gehörnerv geleitete Schlag als Geräusch; die Zunge nimmt beim Ueberschlagen des Funkens einen eigentümlich salzigen Geschmack wahr, der wenigstens zum Teil auf eine chemische Wirkung der elektrischen Entladung, wovon bei Besprechung der Elektrolyse die Rede sein wird, zurückzuführen ist; eine chemische Einwirkung der Elektrizität, und zwar auf den Sauerstoff der atmosphärischen Luft, ruft auch den eigentümlichen „elektrischen“ Geruch hervor, welchen man empfindet, wenn beim Drehen einer kräftigen Elektrifiziermaschine aus dem Konduktor bezw. aus einer an demselben angebrachten leitenden Hervorragung Elektrizität ausströmt. Dieser Geruch war nun zwar schon im vorigen Jahrhundert bei arbeitenden Elektrifiziermaschinen und bei Blitzschlägen bemerkt und seit Franklin (1749) einer durch die Elektrizität hervorgerufenen Zersetzung zugeschrieben worden; allein man konnte über die eigentliche Ursache oder das Wesen desselben nicht zur Klarheit gelangen, und erst der Baseler Professor Chr. Fr. Schönbein (1799—1868) wies in den vierziger Jahren nach, daß der Geruch von einer unter dem Einfluß der Elektrizität sich bildenden Modifikation des Sauerstoffs herrührt, welche viel Ähnlichkeit mit dem Chlor hat und von Schönbein, ihrem Entdecker, Ozon genannt wurde.

Da die isolierte, den Konduktor berührende Person eine Fortsetzung desselben darstellt, so kann die in ihrem Körper aufgespeicherte Elektrizität — ganz so wie die des Konduktors selbst — zu manch' anderen Versuchen benutzt und der aus dem Körper gezogene Funke verschiedenschach verwendet werden. Der auf S. 158 beschriebene Versuch z. B. läßt sich dahin abändern, daß eine zweite Person das mit Schwefeläther gefüllte Metallschälchen der isolierten Person hält; nähert die letztere einen Knöchel oder eine Fingerspitze ihrer freien Hand dem Äther, so springt ein Funke über und entzündet die Flüssigkeit. Fassen wir die isolierte Person an, so hören alle jene Erscheinungen auf, weil unser eigener Körper, mit dem der ersteren nun in Berührung stehend, alsbald sämtliche Elektrizität zum Erdboden ableitet.

Wenn es, wie wir auf Seite 56 erfahren haben, dem Engländer Stephan Gray zuerst glückte, einen Menschen zu elektrifizieren, so war es der zur selben Zeit lebende und schon mehrfach erwähnte französische Forscher du Fay, welcher „zur allgemeinen Bestürzung“ aus einer isolierten Person den ersten Funken zog. Man erzählt sogar, daß diese Person du Fay selbst gewesen sei; er habe sich zur Vornahme elektrischer Versuche in ein seidenes Netz gehängt (isoliert), „aber wer beschreibt sein und seines Genossen Nollet Entsetzen, als dieser bei der Berührung aus du Fay's Körper

einen Funken in seinen Körper überspringen sieht und beide dabei einen stechenden Schmerz empfinden“!

Der Rückschlag. Zum Schluß muß noch des folgenden Versuchs gedacht werden. Hängt man an einem gut abgeleiteten Stativ mittels eines Drahtes einen enthäuteten Froschschenkel in der Nähe des Konduktors der Elektrifiziermaschine auf — man kann ihn auch in die Nähe desselben legen —, so beobachtet man jedesmal, wenn man den Konduktor durch die rasch daran geführte Hand entladet (einen Funken zieht), ein Zucken des Schenkels. Die Erscheinung beruht auf der elektrischen Verteilung oder Influenz (Kapitel 6). Die im Konduktor angesammelte positive Elektrizität hatte nämlich in dem Froschschenkel die beiden bis dahin vereinigten Elektrizitäten getrennt, die negative angezogen, die positive zurückgestoßen; entladet man nun plötzlich den Konduktor, d. h. entzieht man ihm seine Elektrizität, so hört auch seine verteilende Wirkung auf, infolge dessen die beiden getrennten Elektrizitäten des Froschschenkels sich plötzlich wieder vereinigen und dabei ein Zucken desselben hervorrufen.

Man nennt diese, beim Aufhören der verteilenden Einwirkung erfolgende plötzliche Rückkehr eines vorher durch Influenz elektrisch gewordenen Leiters in den unelektrischen (neutralen) Zustand den Rückschlag (S. 73). Dieser Rückschlag ist auch im großen Maßstabe in der Natur bei Gewittern wahrzunehmen. Wenn wir uns nämlich im Freien unter einer Gewitterwolke befinden, so wirkt dieselbe verteilend auf unseren Körper, sodaß sich derselbe mit der entgegengesetzten Elektrizität ladet; entladet sich nun die Wolke (Konduktor) durch einen Blitz (elektrischer Funke), so hört ihr Einfluß auf unseren Körper plötzlich auf und die nun ebenso plötzlich aus demselben zum Boden abströmende Elektrizität, welche sich in ihm angesammelt hatte, führt eine heftige Nerven-Erschütterung herbei, wodurch der Mensch nicht selten hingeworfen oder gar getödtet wird. In dem Kapitel über den Blitz wolle man Weiteres über die Natur der atmosphärischen Elektrizität nachlesen.

15. Elektrische Kondensatoren, Aufsammlungs-Apparate.

In dem Kapitel über die elektrische Verteilung oder Influenz (Seite 68 ff.) haben wir auseinandergesetzt, wie ein in der Nähe eines elektrischen Körpers stehender isolierter Leiter durch Verteilung elektrisch wird und daß er, mit dem Erdboden leitend verbunden, doch mit derjenigen Art Elektrizität geladen bleibt, welche der dem verteilenden Körper eigenen Art entgegengesetzt (ungleichnamig) ist — und ferner, wie zwei isolierte, nahe bei einander befindliche Leiter (Metallkörper), von denen der eine mit

positiver, der andere mit negativer Elektrizität geladen ist, sich wechselseitig in der Weise beeinflussen, daß jeder wenigstens einen Teil der Elektrizität auf dem anderen festzuhalten oder zu binden im Stande ist (Seite 73 und 85); je näher einander die beiden Arten Elektrizität gebracht werden, desto kräftiger ziehen sie sich an und desto vollständiger binden sie sich gegenseitig.

Auf diesem soeben entwickelten Prinzip beruhen gewisse physikalische Apparate, welche dazu dienen, auf isoliert sich gegenüberstehenden leitenden Platten (Metallflächen) die ungleichnamigen Elektrizitäten zu verdichten (zu kondensieren), also größere Mengen Elektrizität hier anzusammeln oder anzuhäufen; dadurch vermögen sie dann kräftiger zu wirken als die Elektrizitäts-Quellen (Elektrifiziermaschinen u.) an und für sich. Man nennt sie demzufolge elektrische Kondensatoren, elektrische Ansammlungs- oder Verdichtungs-Apparate. Sie bestehen im Wesentlichen alle aus zwei parallel zu einander gestellten und durch eine nichtleitende Schicht getrennten leitenden (metallischen) Platten, von denen die eine, die Kollektor-Platte, die Elektrizität zugeleitet erhält, die andere dagegen, die Kondensator-Platte, zur Erde abgeleitet wird. Als nichtleitende Schicht genügt aber eine Luftschicht keineswegs, denn bei Annäherung der beiden Leiter aneinander würde ihre Elektrizität die Luftschicht in Gestalt eines überspringenden elektrischen Funkens durchbrechen; man muß mithin zur Erzielung einer möglichst vollkommenen Bindung der Elektrizitäten einen widerstandsfähigeren Isolator (Dielektrikum; Seite 57) zwischen die Platten bringen, und als solchen nimmt man gewöhnlich Glas.

Zu den elektrischen Kondensatoren zählen außer dem eigentlichen Kondensator die Franklin'sche Tafel und die Leydener Flasche.

A. Der Kondensator.

Obzwar, wie erwähnt, auch die Franklin'sche Tafel und die Leydener Flasche zu den elektrischen Kondensatoren gehören, so verwendet man doch die Bezeichnung „Kondensator“ schlechtweg für solche Apparate, die nicht nur Elektrizität verdichten und dadurch mehr wahrnehmbar machen (anhäufen), sondern auch und insbesondere diese angesammelte Elektrizität nachweisen und messen; sie werden daher in Verbindung mit einem Elektroskop oder Elektrometer gebraucht.

Der gewöhnliche Kondensator (Fig. 127) besteht, kurz ausgedrückt, aus der Kondensations-Vorrichtung und einem Goldblatt-Elektroskop und darf demgemäß mit Recht Kondensations-Elektroskop genannt werden. Ueber das Elektroskop braucht hier, da dasselbe uns im 7. Kapitel ein-

gehend beschäftigt hat, nichts weiter gesagt zu werden; die beiden Platten der Kondensations-Vorrichtung sind kreisrund, von je 5 bis 6 cm im Durchmesser, 3 mm dick, möglichst eben abgeschliffen und am Rand gut abgerundet. Die eine Platte wird, wie die Abbildung zeigt, auf das Elektroskop aufgeschraubt — zu welchem Zweck ihr auf der Mitte der Unterseite eine Verdoppelung mit eingeschnittenem Gewinde (Schraubenmutter) aufgelötet ist —, sodas sie mit den Pendeln in leitender Verbindung steht, die andere dagegen wird vermittelst eines 10 cm langen Glasstabes, der in eine auf der Oberseite aufgelötete Hülse eingekittet ist, gehandhabt, d. h. je nach Bedarf auf die untere Platte aufgesetzt oder abgehoben; beide Platten — deren untere die Kollektor-, die obere die Kondensator-Platte bildet — aber sind auf den einander zugekehrten Flächen mit einem isolierenden Überzug von Schellackfirnis versehen, sodas sie nach dem Aufeinandersetzen nur durch diese dünne Harzschicht getrennt resp. an einer gegenseitigen leitenden Berührung gehindert sind. Der Umstand, das die isolierende Schicht sehr dünn, die Metallplatten also einander bis auf ganz geringe Entfernung genähert sind, bewirkt eine ungemein starke Bindung der Elektrizität, und dies ist ein wesentliches Moment des Kondensators; man vermag mit ihm selbst schwache Spuren von Elektrizität durch Verdichtung wahrnehmbar zu machen.

Gebrauch und Wirkung des Kondensators.

Bei dem Gebrauch des Apparats wird die obere (Kondensator-) Platte auf die untere (Kollektor-) Platte aufgesetzt. Denkt man sich aber zunächst nur die untere Platte auf dem Elektroskop allein vorhanden und mit einem ganz schwach elektrischen Körper verbunden, so wirkt dieser Körper zwar auf den Apparat ein, jedoch so wenig, das wenn auch die Platte — in ganz geringem Grade — elektrisch wird, das Elektroskop einen merklichen Einfluß nicht verspüren läßt, d. h. die Blattgoldpendel gehen nicht auseinander. Bedeckt man dagegen nun, unter Beibehaltung des einwirkenden schwach elektrischen Körpers, die untere Platte mit der oberen und berührt man die letztere ableitend mit dem Finger, so wirkt die von dem elektrischen Körper auf die untere Platte übergehende — nehmen wir an positive — Elektrizität den Gesetzen der elektrischen Influenz zufolge verteilend auf die neutrale Elektrizität der oberen Platte; sie stößt die gleichnamige (positive) Influenz-Elektrizität derselben ab, sodas dieselbe durch unseren Finger und Körper zur Erde ab-

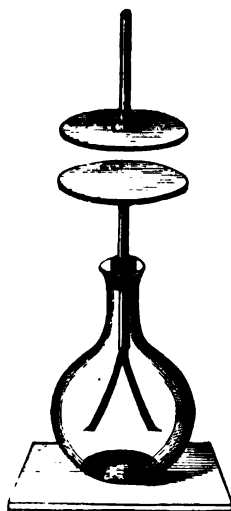


Fig. 127. Goldblatt-Elektroskop mit Kondensator.

geleitet wird, zieht dagegen die ungleichnamige (negative) an und hält sie fest oder bindet sie (vergl. S. 73 und 85); allein durch diese ungleichnamige (—) Influenz-Elektrizität der oberen Platte wird — in Wechselwirkung — jene von dem elektrischen Körper nach der unteren Platte übergegangene (positive) Elektrizität auf dieser ebenfalls größtenteils gebunden, sodaß auf ihr nur ein sehr kleiner Teil der ihr zugeführten (+) Elektrizität frei bleibt. Diesem Umstande ist es zuzuschreiben, daß von dem (positiv) elektrischen Körper aufs neue (positive) Elektrizität auf die Kollektor-Platte übergehen kann, wodurch infolge Influenz die ungleichnamige Elektrizität auf der Kondensator-Platte wiederum verstärkt wird, und indem sich die ungleichnamigen Elektrizitäten nach der isolierenden Zwischenschicht (Schellackfirnis-Überzug) hinziehen, sich hier gegenseitig binden und sich verdichten, wiederholt sich der geschilderte Vorgang so oft und so lange, bis die Dichtigkeit (das Potential) der auf der Kollektor-Platte noch frei gebliebenen Elektrizität, welche ja nur einen kleinen Bruchteil der gebundenen Elektrizität ausmacht, derjenigen des elektrischen Körpers — d. i. der elektrischen Quelle — gleich geworden ist; und von diesem Moment an ist jede fernere Ladung der Platten unmöglich. Es ergibt sich mithin, daß die auf der Kollektor-Platte angesammelte (resp. gebundene) Elektrizität eine weit größere Dichtigkeit besitzt, als die Elektrizität auf dem als Quelle benutzten und zu prüfenden Körper.

Wir haben also gesehen, daß eine Verdichtung der zugeführten Elektrizität in der unteren (Kollektor-) und ebenso der ungleichnamigen Elektrizität in der oberen (Kondensator-) Platte erfolgt. So lange nun die beiden Platten vereinigt bleiben, halten sich die auf ihnen angesammelten, ungleichnamigen Elektrizitäten auf beiden Seiten der isolierenden Firnis-schicht gegenseitig gebunden; unterbricht man jetzt aber die Verbindung des Apparats mit dem elektrischen Körper, nimmt den ableitenden Finger von der Kondensator-Platte weg und hebt die letztere mittels des isolierenden Handgriffs parallel zur unteren Platte ab, so wird die bis dahin gebundene, mit der des untersuchten Körpers gleichnamige Elektrizität der unteren Platte frei, verbreitet sich auch über die Goldblättchen und giebt sich durch das Auseinandergehen (die Divergenz) derselben — was die schwache Elektrizitätsquelle an und für sich nicht hervorzurufen vermochte — zu erkennen. Falls die Art der dem zu untersuchenden Körper eigenen Elektrizität nicht bekannt war, so läßt sich dies jetzt auf die uns von früher noch erinnerliche Weise: mittels einer der Elektroskop-scheibe genäherten geriebenen Glas- oder Siegellackstange, leicht feststellen.

Hinsichtlich des Gebrauchs des Kondensators beachte man, daß die entgegengesetzten Elektrizitäten sich auch in die Firnis-schicht hineinziehen und

daß der Kondensator demzufolge oft tagelang elektrisch bleibt; bei der Leydener Tafel wird uns ganz Entsprechendes begegnen. Um durch jenen Umstand veranlaßte Täuschungen zu umgehen, empfiehlt Fried, die Schicht mehrere Male in einiger Entfernung über der Flamme einer messingenen Spirituslampe hinwegzuführen; falls dies nicht helfen sollte und nicht tagelang gewartet werden kann, so muß man schließlich den Firnis mit Spiritus abwaschen und dann wieder neuen auftragen. Bevor man überhaupt einen Kondensator anwenden will, prüfe man, ob er schon auf eine Art geladen ist oder nicht; dies geschieht, indem man die obere Platte ableitend berührt und dann abhebt, ein Vorhandensein von Elektrizität wird nun durch das Elektroskop angezeigt. Ein guter Kondensator hält eine schwache Ladung bei günstigem Wetter mindestens 12 Stunden lang.

Es ist durchaus nicht Erfordernis, daß die beiden Metallscheiben wagerecht liegen und daß sie gerade mittels einer Firnissschicht vor gegenseitiger Berührung geschützt werden müßten; die ersteren können ebensogut senkrecht einander gegenüberstehen und durch eine andere isolierende Zwischenschaltung getrennt sein. Die beistehende Abbildung 128 vergegenwärtigt das Schema einer derartigen Vorrichtung: die beiden Metallplatten sind durch V und W, die zwischengeschaltete isolierende Glas- tafelf durch Z bezeichnet; die Platten ruhen auf isolierenden Trägern e und b; die elektrischen Pendel x und y dienen dazu, den jeweiligen elektrischen Zustand der entsprechenden Platte V oder W anzuzeigen.

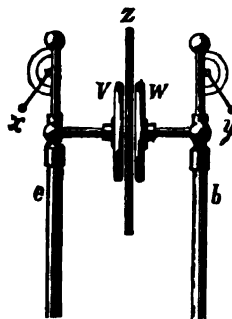


Fig. 128. Kondensator.

Nehmen wir wieder zunächst die Zuleitungs- oder Kollektor-Platte V als allein vorhanden an. Setzen wir sie mit der Elektrizitäts-Quelle, d. i. einem elektrischen Körper K oder dem Konduktor einer Elektrifiziermaschine, in leitende Verbindung, so strömt ihr so lange gleichartige Elektrizität — angenommen positive — zu, bis sie die elektrische Dichtigkeit und damit die elektrische Kraft oder Leistungsfähigkeit (Potential) von K erreicht hat, was sehr bald geschehen ist. Stellt man nun der Kollektor-Platte V die zweite Platte W gegenüber, so wirkt erstere durch die Glasplatte Z hindurch, welche nur ein Zusammenfließen der auf beiden Platten sich anhäufenden ungleichnamigen Elektrizitäten verhindern kann, verteilend auf die verbundenen Elektrizitäten der Platte W, zieht die ungleichnamige Influenz-Elektrizität (—) an und stößt die gleichnamige (+) ab. Die letztere fließt, sobald man die Platte W mit dem Finger berührt, durch unseren Körper zur Erde ab; die — E jedoch wird durch die + E der ersten Platte V

festgehalten oder gebunden, wirkt aber ebenso bindend auf diese zurück, sodaß V auß neue + E vom Konduktor oder Körper K aufnehmen kann u. s. w. In dieser Weise ziehen sich die entgegengesetzten Elektrizitäten nach der isolierenden Zwischenschaltung hin, binden sich gegenseitig und verdichten sich fortgesetzt. Bei Besprechung der Franklin'schen Tafel werden wir diesen Vorgang eingehender behandeln.

Da der gewöhnliche Kondensator oder das Kondensations-Elektroskop auch die kleinsten Elektrizitäts-Mengen anhäuft, dadurch ihr Vorhandensein anzeigt und auch ihre Art prüft, so verdient es die Bezeichnung Mikro-Elektroskop und findet Anwendung beim Nachweis auch nur schwacher Spuren von Elektrizität; es dient also dazu, um z. B. das Auftreten von Elektrizität beim Druck der Körper, beim Spalten eines Glimmerblattes (s. Kap. 18), bei der Verdunstung von Flüssigkeiten u. nachzuweisen.

B. Die Franklin'sche Tafel.

Während bei dem gewöhnlichen Kondensator (Kondensations-Elektroskop) die beiden Metallflächen wagerecht aufeinanderliegen und nur durch eine Firnissschicht getrennt sind, stehen sie bei der Franklin'schen Tafel einander gegenüber und erhalten als isolierende Zwischenschaltung eine Glastafel, und während man bei dem Kondensator die beiden Metallscheiben voneinander abzuheben und die isolierende Zwischenschicht gleichsam zu spalten vermag, bleiben bei der Franklin'schen Tafel Metallflächen und Isolator immer zu einem Ganzen vereint. Doch das sind Alles nur Form-Unterschiede, die Wirkungsweise beider Apparate stimmt überein.

Die Herstellung einer Franklin'schen Tafel (Fig. 129) erfolgt ohne sonderliche Mühe. Man belegt eine Glastafel, die etwa je 25 cm breit und hoch ist, beiderseits recht glatt mit einem je 15 cm langen und breiten Stanniolblatt, sodaß ringsum ein etwa 5 cm breiter Streifen frei bleibt, den man wiederholt mit Siegellack- und dann mit Schellacklösung firnist, damit das Glas vollständig überzogen und somit Niederschlag von Wasserdämpfen, der zwischen den beiden Stanniolbelegungen eine leitende Verbindung herbeiführen würde, vermieden wird (vergl. S. 58). Schließlich stellt man die Tafel auf einen Glas- oder Holzfuß und klebt mittels etwas Wachs an jede Seite derselben ein elektrisches Pendel (Leinensfaden mit Marktügelchen).

Gebrauch und Wirkung. Die beiden Stanniolbelegungen vertreten die Kollektor- und die Kondensator-Platte; ersterer wird die Elektrizität zugeleitet, die zweite wird mit dem Erdboden ableitend verbunden. Um die Tafel zu laden, muß man also die eine, als Kollektor-Platte zu be-

trachtende Belegung — nehmen wir an: die vordere Belegung in Fig. 129 oder die rechtsseitige in Fig. 130 — mit einer Elektrizitätsquelle leitend verbinden. Als solche dient die Elektrifiziermaschine, von deren (positivem) Konduktor ein Metalldraht oder Metallstab zu der Belegung geführt wird, sodas der letzteren positive Elektrizität zuströmt. Wenn wir zunächst wieder den Fall annehmen, das nur diese eine Belegung vorhanden wäre, so würde sich dieselbe bei Verbindung mit dem Konduktor nur soweit laden, bis die Dichtigkeit oder Spannung und damit das Potential (Kraft) ihrer Elektrizität der auf dem Konduktor erreichbaren gleich geworden ist. Diese Dichtigkeit der elektrischen Schicht (S. 93) ist im Verhältnis zu der später durch Kondensation erzielten keine bedeutende, denn wenngleich die Belegung elektrisch geworden ist, so hat doch keine Anhäufung von Elektrizität auf derselben stattgefunden. Nun steht aber der ersten (Kollektor-) Belegung eine zweite, hintere gegenüber. Die beiden Stanniolblätter wirken aufeinander ein, und obgleich die Glas Tafel eine Scheidewand bildet, welche das Überfließen der Elektrizität von einem Blatt zum anderen verhindert, so kann sie doch nicht verhüten, das die elektrische Influenz bezw. die Anziehung und Abstoßung durch das Glas hindurch sich Geltung verschafft. Zunächst übt die der vorderen Belegung vom Konduktor zugeleitete positive Elektrizität einen Einfluß auf die hintere Belegung dergestalt aus, das sie auf die beiden miteinander verbundenen Elektrizitäten derselben trennend wirkt, die ungleichnamige nach der Glasseite hin anzieht, die gleichnamige positive aber nach der anderen Seite hin abstößt. Bietet man dieser abgestoßenen Elektrizität keine Gelegenheit, von der Belegung zu entkommen (durch eine Ableitung), so bleibt der Zustand, wie er soeben beschrieben worden; alle der vorderen Belegung mitgeteilte Elektrizität bleibt frei, wie wenn die hintere Belegung nicht vorhanden wäre, und die Stärke ihrer elektrischen Ladung entspricht dem oben Gesagten, diese kann nicht beträchtlicher sein als im gewöhnlichen Falle, weil die in ihrer Gesamtheit freie Elektrizität gewissermaßen dieselbe Kraft — dasselbe Potential — hat wie die freie Elektrizität des Konduktors und daher ein weiteres Zuströmen der letzteren auf die Belegung sozusagen vereitelt. Ein weiteres Zuströmen und demzufolge ein Verdichten, ein Anhäufen der Elektrizität auf der vorderen



Fig. 129. Franklin'sche Tafel.

Belegung wird erst möglich, wenn die zuerst zugeleitete Elektrizität wenigstens zum Teil gebunden ist, wodurch ihre Kraft verringert resp. das Potential des Stanniolkörpers auf einen kleineren Wert gebracht wird.

Um diese Bindung und die derselben folgende Verdichtung der Elektrizität auf dem vorderen Stanniolblatt zu erreichen, muß die hintere Belegung mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt werden, was am einfachsten durch Berührung mit dem Finger geschieht. Hierbei entweicht jene, durch einfließende Einwirkung der vorderen Belegung abgestoßene gleichnamige positive Elektrizität des hinteren Stanniolblattes in die Erde, es bleibt somit auf dieser Belegung nur negative Elektrizität zurück, welche sich nach der der Glasaufseite anliegenden Seite des Stanniolblattes und zum Teil sogar auf das Glas selbst begiebt, um hier vermöge der durch das Glas hindurch anziehend wirkenden $+ E$ der vorderen Belegung festgehalten oder gebunden (gefesselt) zu werden. Allein diese $- E$ der hinteren Belegung wirkt auch bindend zurück auf die $+ E$ des vorderen Stanniolblattes und nötigt dieselbe gleichfalls zum größten Teil an der der Glasaufseite zugewendeten Seite des Stanniols und auf der Glasfläche selbst sich anzusammeln. Diese beiden entgegengesetzten Elektrizitäten haben in ihrem gebundenen Zustande nicht, wie sonst, das Bestreben zu entweichen, sondern sie suchen nur um so lebhafter sich zu vereinigen, und daher dringen sie beiderseits sogar bis zu einem gewissen Grade in die Glasaufseite ein, wovon man sich überzeugen kann, wenn man von einer nach obigem Verfahren geladenen Tafel die beiden Metallplatten abschiebt, dann beide entladet und sie wieder an die Glasaufseite legt: es zeigen sich jetzt beide Seiten der auf diese Weise wieder hergestellten Tafel noch elektrisch, wiewohl in etwas geringerem Maße als vordem; zugleich aber erhellt daraus, daß, wenn das Glas zu dünn ist und die Elektrizitäts-Mengen sehr kräftig sind, diese das Hindernis des Glases überwinden und durch dieses hindurch sich wirklich vereinigen, sodaß sie die Franklin'sche Tafel unbrauchbar machen.

Obgleich, wie wir gesehen, die $- E$ der zweiten Belegung bindend auf die $+ E$ der vorderen Belegung zurückwirkt, so vermag sie (weil sie geringer ist) dieselbe doch nicht vollständig zu fesseln, es bleibt immer auf dem vorderen Stanniolblatt eine gewisse geringe Elektrizitäts-Menge als freie Elektrizität übrig; und dieser Überschuss von positiver Elektrizität auf der vorderen Belegung muß vorhanden sein, damit die $- E$ der hinteren Belegung vollständig gebunden werde. Zum Nachweis der freien $+ E$ dienen die bereits erwähnten elektrischen Pendel der Tafel (Fig. 129 und 130). Während das Pendel der vorderen resp. rechten Seite der Tafel von der hier befindlichen Belegung abgestoßen wird, hängt das der hinteren Seite gerade herunter, wie Abbildung 130 veranschaulicht; die Vorrichtung

zeigt also, daß die Elektrizität der hinteren Belegung keine Spannung, keine Kraft besitzt, sondern vollständig gebunden ist, daß dagegen auf der vorderen Belegung neben der gebundenen freie und somit arbeitsfähige Elektrizität — wenn auch nur ein kleiner Teil — sich vorfindet. Immerhin aber ist die Spannung bezw. das Potential dieser frei gebliebenen Elektrizität eine weit geringere, als die der Elektrizität auf dem Konduktor, ihre Kraft (Potential) ist im Verhältnis zu dem erst angenommenen Fall: daß die hintere Belegung nicht ableitend berührt wurde oder ganz fehlte, durch die Anwesenheit des von dem vorderen influenzierten hinteren, abgeleiteten Stanniolblattes auf einen kleineren Wert gesunken. Infolge dessen strömt von dem Körper, dessen Elektrizität die höhere Spannung besitzt, also dem Konduktor, neue $+E$ auf die vordere Belegung über, welche nun wiederum auf die hintere Belegung verteilend wirkt und durch die hier wachgerufene $-E$ zum größten Teil gebunden wird u. s. f.

In dieser Weise binden und verdichten sich die beiden entgegengesetzten Elektrizitäten, welche in dem Streben nach Vereinigung selbst in die Glas Tafel eindringen, fortgesetzt weiter, die Ansammlung von positiver Elektrizität auf der vorderen Belegung geschieht solange, bis die Dichte und Spannung und damit auch die Kraft (das Potential) — dem elektrische Dichte und Spannung und elektrisches Potential stehen in gleichem Verhältnis — der auf ihr frei gebliebenen positiven Elektrizität derjenigen auf der Elektrizitäts-Quelle gleich geworden ist, so daß demnach von der Belegung gerade soviel Elektrizität in der gleichen Zeit ausströmen kann, als ihr vom Konduktor zugeführt wird. Mit diesem Moment ist die Grenze der Ladung der Tafel erreicht, eine weitere Ladung der Belege sonach unmöglich. Da nun, wie wir wissen, die auf der vorderen (ersten) Belegung frei gebliebene Elektrizität immerhin nur einen kleinen Bruchteil von der gesamten ihr zugeführten und auf ihr angesammelten Elektrizitäts-Menge ausmacht, so erkennt man sofort, daß die Tafel jetzt mit gebundener Elektrizität geladen ist, deren Dichtigkeit diejenige, welche auf dem Konduktor unmittelbar erreichbar wäre, weit übertrifft; die vordere Belegung hat also dadurch, daß eine zweite Belegung ihr gegenübergestellt und zur Erde abgeleitet wurde, eine viel größere Elektrizitäts-Menge aufnehmen können als in dem Falle, daß die zweite Belegung nicht ableitend berührt wurde oder überhaupt nicht vorhanden war, und wir dürfen mithin sagen: die Ladungsfähigkeit oder Kapazität einer leitenden (metallischen) Belegung oder Platte —

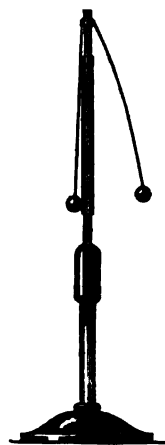


Fig. 180.
Franklin'sche Tafel.
(Seiten-Ansicht.)

oder allgemein: eines Leiters — wird durch die Anwesenheit einer zweiten, von der ersten influenzierten Metallfläche vergrößert. Dies aber ist das, auf Seite 166 in anderen Worten ausgedrückte Prinzip, auf welchem sowohl der eigentliche Kondensator, wie überhaupt alle elektrischen Ansammlungs-Apparate oder Akkumulatoren beruhen.

Von der soeben auseinandergesetzten Thatsache, daß die Grenze der Ladung der Tafel (resp. anderer Ansammlungs-Apparate) bei ableitender Berührung der zweiten Belegung weit später erreicht wird als im andern Falle, kann man sich leicht an der Maschine selbst überzeugen, indem ein viel längeres Drehen derselben notwendig ist, bis das Pendel an der vorderen Belegung aufsteigt und dadurch die Grenze der Ladung anzeigt, während dieser Fall bei Nichtberührung der zweiten Belegung schon nach wenigen oder gar schon nach einer Umdrehung eintritt. Weiter haben uns die in diesem Kapitel gemachten Erfahrungen die Wichtigkeit des bereits auf Seite 107 angeführten Satzes erwiesen: daß nur dann, wenn zwei Leiter mit verschiedenem elektrischen Potential (Kraft oder Leistungsfähigkeit) mit einander verbunden werden, Elektrizität von dem Körper mit höherem — d. i. der Konduktor — zu dem mit niederem Potential — d. i. die vordere Belegung — übergeht und zwar solange, bis beide das gleiche Potential angenommen haben.

Elektrisches Potential und Ladung eines Leiters stehen, wie das Gesagte uns gezeigt hat, in einem gewissen Zusammenhang; ein Körper mit kleinerem Potential nimmt mehr Elektrizität auf, als ein Körper mit höherem Potential, denn bei einer einzelnen Platte oder Belegung des Kondensators bezw. der Franklin'schen Tafel, deren Elektrizität frei bleibt und somit ein höheres Potential besitzt, ist die Grenze der Ladung sehr bald erreicht, wogegen die einer abgeleiteten (Kondensator-) Platte gegenübergestellte Kollektor-Platte oder -Belegung, deren Elektrizität zum weitest größten Teil gebunden ist und somit ein niederes Potential besitzt, eine beträchtlich höhere Ladungsfähigkeit aufweist. Für dieses Verhältnis hat man eine bestimmte Bezeichnung, nämlich Verstärkungszahl oder kondensierende Kraft. Man versteht demnach darunter das Verhältnis der elektrischen Ladungsfähigkeit (Kapazität) eines Kondensations-Apparats zu der Ladungsfähigkeit seiner Kollektor-Platte, sobald diese eben einfach, d. h. ohne Kondensation (Verdichtung) geladen wird. Die Verstärkungszahl eines Ansammlungs-Apparats — aber auch die Ladungsfähigkeit desselben selbst — hängt nicht nur von der Form und Größe seiner beiden Metallflächen (Platten, Belegungen), sondern auch und namentlich von der Natur und Dicke des zwischengeschalteten Isolators (Dielektrikum) ab. Da die Dicke der Zwischenschaltung die Entfernung der beiden Metallkörper

voneinander bestimmt, so können wir sagen: Je näher sich die beiden Metallflächen stehen, desto größer ist die Verstärkungszahl und die elektrische Kapazität des Apparats, sodaß mithin bei dicken Zwischen-Isolatoren der Überschuß an freier Elektrizität (S. 172) größer ist als bei dünnen; ebenso wachsen Verstärkungszahl und Kapazität im Verhältnis zur Plattenfläche und zur Dichtigkeit der zugeleiteten Elektrizität. Wie man nun das auf S. 174 erwähnte Verhältnis der beiden Potentiale messen kann, so läßt sich auch zahlenmäßig feststellen, wie vielmal die Kapazität eines Ansammlungs-Apparats durch Einschaltung eines Isolators oder Dielektrikum zwischen die beiden Metallflächen vergrößert wird, und die Zahl, welche uns dies angiebt, nennt man die Dielektrizitäts-Konstante des betreffenden Isolators; sie beträgt nach Volkmann z. B. für Hartgummi 3,15, für Schwefel 3,04.

Was endlich die Entladung der Franklin'schen Tafel anbetrifft, so kann dieselbe entweder allmählich oder plötzlich geschehen. Das erstere erfolgt, indem man zunächst diejenige Seite der geladenen Tafel, auf welcher sich ein Überschuß an freier Elektrizität befindet — also die vordere Belegung —, ableitend berührt, während die früher ableitend berührte hintere Belegung isoliert bleibt. Infolge dieser Berührung wird der freie Teil der positiven Elektrizität von dem vorderen Stanniolblatt durch unseren Körper zum Erdboden abgeleitet; die dadurch verringerte + E vermag nun nicht mehr die gesamte — E der hinteren Belegung zu binden, auf dieser wird demnach etwas — E frei, welche bei Berührung der Belegung mit dem von dem vorderen Stanniolblatt abgehobenen Finger ebenfalls abgeleitet wird. In dieser Weise läßt sich durch fortgesetzte abwechselnde Berührung der beiden Belegungen die Tafel allmählich völlig entladen. Berührt man jedoch beide Stanniolblätter (mit den Fingern der einen und der anderen Hand) zugleich, so erfolgt die Entladung plötzlich, wobei man einen starken elektrischen Funken sieht, einen lauten Knall hört und in den Händen bezw. Armen einen stechenden Schmerz empfindet. Um den letzteren Übelstand zu vermeiden, benützt man lieber einen sog. Auslader (vergl. „Leydener Flasche“), d. i. ein gebogener, mit einer isolierenden Handhabe und an jedem Ende mit einer Metallkugel versehener Metalldraht, dessen Kugeln an die Stanniolblätter gelegt werden. In demselben Augenblick, in welchem die Berührung beider Belege erfolgt, vereinigen sich die auf den letzteren angesammelten entgegengesetzten Elektrizitäts-Mengen unter den angegebenen Erscheinungen. Dieselbe plötzliche Entladung findet bei der Blightafel (s. S. 150), welche doch nur eine etwas abgeänderte Franklin'sche Tafel darstellt, statt, wenn die hochgespannten ungleichnamigen Elektrizitäten mittels des Ausladers zum Ausgleich gebracht werden; die dabei sich bietende prächtige Lichterscheinung haben wir bereits kennen gelernt.

C. Die Leydener Flasche.

Die Leydener, Kleist'sche oder Verstärkungs-Flasche, 1745 von Kleist in Kammin und fast gleichzeitig von Cunäus und Musschenbroef in Leyden erfunden, unterscheidet sich von der Franklin'schen Tafel nur durch die Form; man könnte sich dieselbe durch Zusammenbiegen der Tafel zu einem cylindrischen Gefäß entstanden denken. Sie besteht (Fig. 131) aus einem cylindrischen Glasgefäß (Trink- oder Einmacheglas oder Flasche), welches bis auf etwa drei Viertel seiner Höhe entweder innen und außen oder nur außen mit Stanniol beklebt und innen dafür mit einer leitenden Substanz (Feilspäne, Schrotkörner) gefüllt ist, während der nicht belegte Teil der besseren Isolierung wegen mit Siegellack- oder Schellackfirnis überzogen ist. Um der inneren Belegung Elektrizität zuführen zu können, geht durch die mittels gefirnigten Deckels verschlossene Mündung des Gefäßes ein Messingstab, welcher oben eine Zuleitkugel trägt und innen auf die eine oder andere Weise — durch mehrere von dem unteren Ende



Fig. 131.
Leydener Flasche.

des Stabes sich abzweigende Drähte (Fig. 131) oder Metallkette (Fig. 132) oder Metallborden u. — mit der Belegung in leitender Verbindung steht.

Herstellung der Leydener Flasche. Da man zur Ausführung

der Versuche verschieden starker oder mehr oder minder hoch gespannter Elektrizität bedarf, so hat man sich auch mehrere, verschieden große Flaschen anzuschaffen oder herzurichten. Man hat also demgemäß die zu verwendenden Gläser auszuwählen und dabei vor Allem darauf zu achten, daß deren Wände gleichmäßig dick und frei von Blasen und Sandkörnern sind, weil Gläser an zu dünnen oder an den mit Blasen bezw. Sandkörnern behafteten Stellen leicht durch Selbstentladung zertrümmern. Zwar sollen besonders kleinere Flaschen dünnwandig sein, doch muß dann diese Eigenschaft allen Teilen des Gefäßes gleichmäßig eigen sein; übrigens können solche

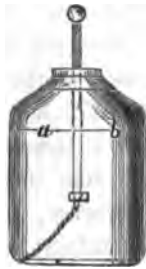


Fig. 132.
Leydener Flasche.

dünnwandigen Flaschen nicht für alle Versuche benutzt werden, zu Experimenten mit Elektrizität von hoher Spannung müssen sie Wände von 2 bis 3 mm Dicke haben. Im Allgemeinen erweisen sich die sogenannten Zuckergläser, mehr hohe als weite cylindrische grüne Gläser, als ganz vorzüglich für die gedachten Zwecke, nur müssen eben fehlerfreie ausgesucht werden. Außer einer für viele Fälle genügenden Flasche von mittlerer

Größe (etwa 2 Ltr. Inhalt), beschafft man eine kleine von 12—15 cm Höhe und 6 oder 7 cm Weite und ein oder zwei dickwandigere große Gefäße von 3 bis 5 oder 6 Ltr. Inhalt. Da das Isolierungs-Vermögen der verschiedenen Glasarten sehr ungleich ist, so prüft man die ausgewählten Gläser auf diese Fähigkeit hin, indem man sie nach erfolgtem Reinigen und Abreiben mittels trockener Tücher verkehrt aufstellt, auf den jetzt nach oben gerichteten Boden ein an einem metallenen Fuß befestigtes Doppelpendel (Markfögelchen mit leinenen Fäden) setzt und diesem Elektrizität mitteilt, um zu sehen, ob und wie lange die Kugeln auseinanderfahren; geht in trockener Luft die Elektrizität zu schnell verloren, so ist das betreffende Glas für unseren Zweck unbrauchbar.

Zum Belegen der Flasche benutzt man, wie bei der Franklin'schen Tafel, Stanniol und als Klebmittel ganz gleichförmigen, leicht zerteilbaren Stärkelleister. Zunächst überzieht man die Innenseite des Glases, und zwar zu allererst den Boden. Dies geschieht, indem man ein rundes, noch ein Stück die Seitenwände hinaufreichendes Blatt Stanniol schneidet, recht dünn mit Kleister bestreicht, auf den Boden legt, mit Papier bedeckt und mit einem zusammengeballten Stück Zeug anreibt, daß es völlig glatt und faltenlos anliegt. Die Seitenwände werden auf gleiche Weise mit senkrechten, gleichlangen und je nach der Größe der Flasche 5—10 cm breiten Stanniolstreifen beklebt, deren untere Enden an den Boden stoßen, während die oberen Enden alle in gleicher Höhe (Fig. 132 a b) abschneiden und je nach der Größe der Flasche einen 5—10 cm (bei großen Flaschen 18—20 cm) breiten Rand freilassen müssen. Sollten trotz Anreibens sich Blasen in der Belegung zeigen, so macht man mit einem scharfen Federmesser einen Schnitt in dieselben und reibt von neuem. Nach Fertigstellung des inneren Beleges wird das äußere ebenso ausgeführt. Falls die oberen Enden der Stanniolstreifen nicht gleichmäßige Höhe erreichen, so hat man mit dem Messer nachzuhelfen, damit eine ringsum in gleicher Höhe laufende Abschnittslinie geschaffen wird. Um die besprochenen Arbeiten vornehmen zu können, wird man selbstverständlich vorher solche Gläser auswählen, deren Mündung das Einfahren der Hand gestattet.

Der stanniolfreie Rand der Flasche muß jedenfalls dann, wenn man mit Elektrizität von hoher Spannung arbeiten will, einen Überzug von Siegellacklösung, welcher noch mit Schellackfirnis überstrichen wird, erhalten; bei einfacheren Versuchen mit kleineren Flaschen und namentlich in dem Falle, daß das Glas sehr gut isoliert, ist er nicht gerade erforderlich. Einen Firnis-Überzug giebt man auch dem Deckel der Flasche. Letzterer besteht bei enghalsigen Flaschen aus einem Kork, gewöhnlich aber muß man ihn aus Holz drehen lassen oder aus Pappe verfertigen. Dies geschieht einfach

in der Weise, daß man mehrere starke Pappscheiben aufeinander leimt, von denen eine oder zwei so groß sind, daß sie eben in die Mündung des Glases hineinpassen, während die obere etwas größer ist. Durch den Deckel steckt man einen etwa 3 mm starken Messingdraht — bei sehr großen Flaschen wohl auch Messingröhren von 8 mm Durchmesser —, schraubt oder lötet ihm oben eine 2—5 cm im Durchmesser haltende Metallkugel an, stellt die Verbindung seines unteren Endes mit der inneren Stanniolbelegung durch Drähte, kurze Metallkettchen oder Metallborden (Tressen) her und befestigt ihn mittels Siegellack auf der einen Seite des Deckels. — Ganz kleine

Leydener Flaschen kann man auch aus Medizinfläschchen herstellen, welche dann nur außen mit einer Stanniolbelegung versehen und mit Feilspänen, Schrotkörnern oder ähnlichen leitenden Stoffen gefüllt werden.

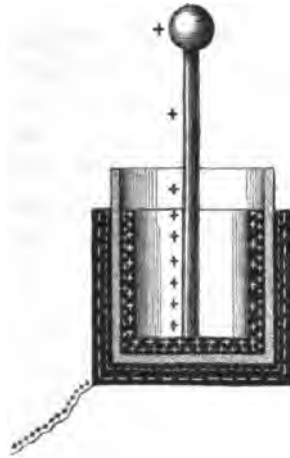


Fig. 182. Leydener Flasche.
(Ladungsweise.)

Gebrauch und Wirkungsweise. Wenn wir im Auge behalten, daß die Leydener Flasche nur eine veränderte Form der Franklin'schen Tafel darstellt, deren vordere (erste) und hintere (zweite) Belegung mit der inneren und äußeren Belegung der Flasche sich decken, so wird uns die Wirkungs-, die Ladungs- und Entladungsweise der letzteren ohne weiteres klar. Die Flasche wird also, kurz gesagt, geladen, indem man die innere Belegung resp. die Zuleitkugel mit dem Konduktor einer thätigen Elektrifiziermaschine in Verbindung setzt — oder sie oft dem elek-

trischen Elektrophordeckel nähert — und die äußere Belegung zum Erdboden ableitet; letzteres geschieht einfach dadurch, daß man die Flasche auf leitende Unterlage stellt oder sie an der äußeren Belegung in die Hand nimmt. Die der inneren Belegung durch den Metallstab zugeführte + E wirkt verteilend auf die neutrale Elektrizität der äußeren Belegung, stößt, wie Abbildung 133 schematisch zu veranschaulichen sucht, die gleichnamige + E ab, sodaß diese zur Erde abfließt, zieht dagegen die — E an und bindet diese auf der Glasseite der äußeren Belegung. Die — E wirkt aber auch bindend zurück auf die + E der inneren Belegung, und so spielt sich der Vorgang fortgesetzt weiter in ganz derselben Weise ab, wie bei der Franklin'schen Tafel, auf welche wir deshalb verweisen müssen. Bereits B. Franklin gab die richtige Erklärung der Wirksamkeit der Leydener Flasche und zeigte zugleich, daß dieselbe durch eine beiderseits bis auf einen frei

bleibenden Rand mit Stanniol belegte Glästaſel erſetzt werden könne; zwar hat dieſe „Franklin'ſche Taſel“ eine einfachere Geſtalt, allein zugleich den Nachtheil, daß ihre Elektrizität ſich mehr an die Luft zerſtreuen kann.

Wie bei der Franklin'ſchen Taſel, ſo iſt auch bei der Leydener Flaſche die gegenseitige Bindung der beiden ungleichnamigen Elektrizitäten keine vollſtändige, weil ſie durch einen Zwischenraum (Glas) getrennt ſind und ein elektriſcher Körper bezw. eine Art Elektrizität umſoweniger auf einen anderen einwirkt, je weiter er von demſelben entfernt iſt. Wäre die Glasdicke der Flaſche (oder der Taſel) eine verſchwindend kleine, ſo würde eine gewiſſe Menge poſitiver Elektrizität der inneren Belegung eine gleichgroße Menge — E der äußeren Belegung zu binden vermögen, und umgekehrt würde die + E der inneren durch die — E der äußeren Belegung vollſtändig feſtgehalten, gebunden werden. Da nun aber in Wirklichkeit die Dicke des Glases keine derartig geringe iſt, ſo kann die + E der inneren Belegung nur eine Menge — E der äußeren Belegung binden, welche kleiner als ſie ſelbſt iſt, und dieſe kleinere äußere Elektrizitäts-Menge vermag rückwirkend nicht ſämtliche innere (+) Elektrizität zu binden, eſ muß demnach auf der inneren Belegung ein Ueberſchuß von freier Elektrizität vorhanden ſein, welcher natürlich im Verhältnis zu der ganzen angehäuften Elektrizitäts-Menge um ſo kleiner iſt, je geringere Dicke das Glas beſitzt (ſ. S. 175). Dieſer Ueberſchuß läßt ſich zeigen, wenn man, ähnlich wie bei der Franklin'ſchen Taſel (Fig. 130), die geladene Flaſche auf eine nichtleitende Unterlage, z. B. Glas- oder Harzplatte, ſtellt und an ihrem Zuleitknopf und ihrer äußeren Belegung ein Paar elektriſche Pendel anbringt: während das Pendel an dem Zuleitknopf, d. h. der inneren Belegung, auf welcher ein Teil freie Elektrizität vorhanden iſt, abgeſtoßen wird, hängt das der äußeren Belegung ſchlaff herab, ſteigt jedoch, ſobald ich die Zuleitkugel berühre und dadurch die freie Elektrizität der inneren Belegung ableite u. ſ. f., wie auf S. 172 und 175 beſprochen; man ſieht dann alſo jedesmal bei ableitender Berührung der inneren Belegung bezw. der Zuleitkugel das an der äußeren Belegung befindliche Pendel abgeſtoßen werden, und umgekehrt, bis endlich durch oft wiederholte abwechſelnde Berührung der Kugel und der äußeren Belegung die Flaſche allmählich entladen iſt.

Der bei der Franklin'ſchen Taſel ſchon behandelte Punkt, daß inſolge Ableitung der die Kondensator-Platte vertretenden äußeren (hinteren) Belegung eine weit größere Elektrizitäts-Menge auf der, die Kollektor-Platte darſtellenden inneren (vorderen) Belegung angeſammelt werden kann, alſ eſ ohne jene Ableitung möglich wäre, erſieht man zweifellos aus folgendem Verſuch. Setzt man zunächſt die Flaſche auf einen gut iſolierenden Harztuchen oder eine Glasplatte und verbindet den Metallſtab der inneren Be-

legung durch einen Draht mit dem ein Quadranten-Elektroskop (S. 135) tragenden Konduktor einer Elektrifiziermaschine, so wird das Pendel des letzteren schon nach einer Umdrehung der Scheibe auf 20 oder 30 Grad steigen. Stellt man dagegen die Flasche auf leitende Unterlage wie gewöhnlich, so fällt das Pendel an der Stange herab, weil jetzt in der uns bereits bekannten Weise fast sämtliche Elektrizität, welche sich vordem im freien Zustande auf der inneren Belegung befand, gebunden wird, sodas nun neue + E vom Konduktor nach der letzteren überströmen kann; und da vielleicht 8 oder 10 Umdrehungen der Scheibe erforderlich sind, um das Pendel wieder bis zu seiner früheren Höhe aufsteigen zu lassen, so erhellt daraus, das bei Ableitung der äußeren Belegung die Flasche eine sovielman größere Elektrizitäts-Menge aufzusammeln im stande ist. Je größer eine Flasche, desto größere Elektrizitäts-Mengen lassen sich auf ihren Belegungen anhäufen.

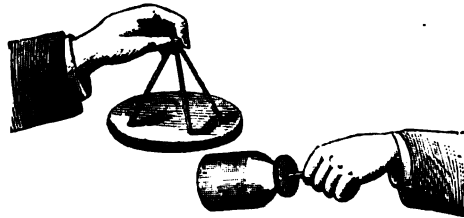


Fig. 134. Laden der Leydener Flasche mit — E.

Übrigens kann eine Leydener Flasche auch mit negativer Elektrizität geladen werden. Man nimmt zu dem Zweck die Zuleitkugel der Flasche (Fig. 134) in die Hand, nähert z. B. dem elektrischen Elektrophordeckel die äußere Belegung wiederholt und läßt in diese vielleicht 20 oder

30 oder mehr Funken überspringen. Setzt man dann, ohne die äußere Belegung zu berühren, die Flasche auf eine trockene Glasplatte oder dergl., läßt nun die Kugel los und fasst die Flasche an der äußeren Belegung, so ist sie (d. h. die innere Belegung) mit — E geladen. Einer besonderen Erklärung bedarf der Versuch und der Vorgang nicht. Doch werden wir im Folgenden, wie es im Vorhergegangenen schon der Fall war, stets nur die Ladung mit positiver Elektrizität ins Auge fassen.

Entladung. Der bei der Franklin'schen Tafel schon vorgesehene Fall, das sich diese Verstärkungs-Apparate unter Umständen von selbst entladen, tritt auch bei der Leydener Flasche manchmal ein, indem entweder ein Funke von der äußeren Belegung zu dem Zuleitstab überspringt, oder indem die gespannten ungleichnamigen Elektrizitäten durch das Glas hindurch sich ausgleichen und dabei dies letztere durchbrechen, wodurch die Flasche für die Folge unbrauchbar wird. Die regelrechte Entladung erfolgt entweder allmählich oder plötzlich; ersteres geschieht, wie besprochen (S. 175), durch abwechselnde Berührung der beiden Belegungen, letzteres durch Verbindung der beiden Belegungen mittels eines leitenden Körpers,

sodaß sich die auf den Stanniolblättern angesammelten entgegengesetzten Elektrizitäten sofort unter starker Lichterscheinung und heftigem Knall miteinander vereinigen (ausgleichen).

Die soeben erwähnte Verbindung läßt sich durch unseren eigenen Körper bewirken, indem wir mit der einen Hand die äußere Belegung, mit der anderen den zur inneren Belegung führenden Knopf anfassen. Allein dies erscheint namentlich bei stärkeren Ladungen durchaus nicht geraten, da die Entladung eine mehr oder minder heftige Erschütterung hervorruft, worüber im nächsten Kapitel gesprochen werden soll. Um diese Entladung durch unseren Körper zu vermeiden, bedient man sich der sog. Auslader, das sind starke, an jedem Ende mit einer Metallkugel ausgerüstete Metalldrähte oder Metallstäbe, deren einige durch die Abbildungen 135 bis 138 dargestellt werden.

Die einfachste Form des Ausladers besteht in einem etwa 1 m langen, 2—3 mm dicken Kupfer- oder Messingdraht, welcher an jedem Ende eine

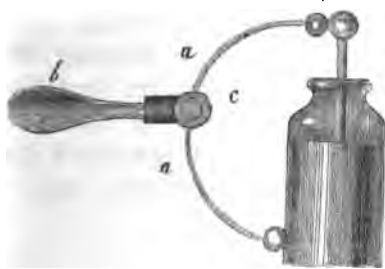


Fig. 135. Leydener Flasche mit Auslader.

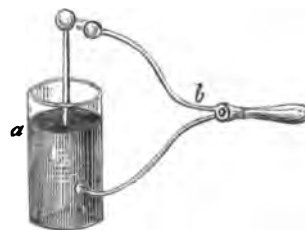


Fig. 136. Leydener Flasche mit Auslader.

Messingkugel von ca. 15 mm Durchmesser trägt, etwa in der durch Fig. 135 veranschaulichten Form gebogen und in der Mitte, damit die Hand nicht den Draht berührt, mit Seidenzeug oder Gummi (Kautschuk) überzogen ist. Hat man diesen Auslader in der Mitte zwei- oder mehrmal spiralförmig um einen Cylinder von 2 oder 3 cm Durchmesser gewunden, so kann man ihn vermöge dieser Windungen in der Hand durch einen leichten Druck krümmen und somit seine beiden Enden einander nach Bedarf nähern. — Andere Auslader sind mit einem oder zwei isolierenden (Glas-) Griffen versehen. Einen Auslader mit einem Griff zeigt Fig. 135: Zwei gebogene und mit je einer Messingkugel ausgerüstete Metall- (Messing-) Stäbe *a a* sind bei *c* durch ein Gelenk (Scharnier) verbunden, sodaß man die Arme in beliebige Stellung richten kann; das Scharnier sitzt auf einer Metallhülse, welche an der gläsernen Handhabe *b* befestigt ist. Die durch Fig. 136 (*b*) und 137 erläuterten Auslader zeigen die gleiche Einrichtung, nur haben die Messingarme andere Gestalt. Dagegen besitzt die in Fig. 138

abgebildete Vorrichtung zwei isolierende Handgriffe, nämlich jeder Arm einen, sodaß man die Entfernung der beiden Knöpfe leicht und bequem zu regeln vermag; damit der Auslader auch für größere Flaschen ausreicht, giebt man den Armen eine Länge von je 30 cm. Zu Handgriffen verwendet man 10—15 cm lange und 1—2 cm dicke grüne Glasstäbe oder Glasröhren, welche vorn eine kurze Messingfassung haben und somit leicht an die Drähte bezw. das Scharnier angelötet werden können.

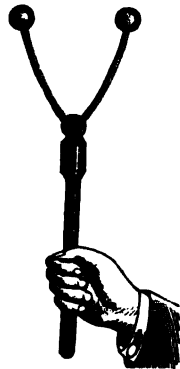


Fig. 137. Auslader.

Die Benutzung der Auslader geschieht in der Weise, daß man, wie es die Zeichnungen 135 und 136 veranschaulichen, den einen Knopf möglichst tief unten an der äußeren Belegung der Flasche ansetzt und den anderen Knopf rasch der Zuleitkugel der inneren Belegung nähert: schon in einiger Entfernung des Knopfes von der Kugel springt mit lautem Knall ein kräftiger Funke über, die Flasche ist also nun entladen.

Um den Entladungsfunke in bequemer Weise durch verschiedene Körper führen oder den Entladungsschlag bequem auf beliebige Gegenstände wirken lassen zu können, bedient man sich des von Henley (1775) erfundenen allgemeinen Ausladers (Fig. 139), bei welchem die Zuleitstäbe verschiebbar bezw. be-

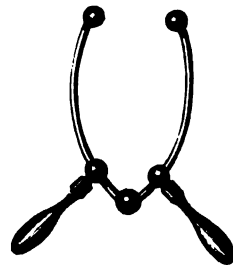


Fig. 138. Auslader.

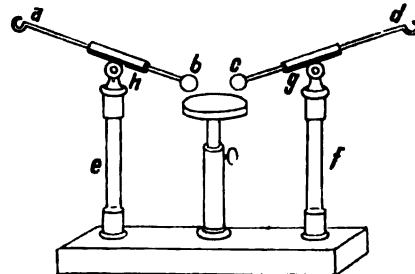


Fig. 139. Henley's Auslader.

weglich sind. Er läßt sich ebenfalls ohne sonderliche Mühe anfertigen. Auf einem viereckigen Brettchen und zwar in der Mitte desselben ist ein hohler Ständer befestigt, welcher eine Schraube trägt, mittels deren man ein mit dem Stiel in dem Ständer bewegliches Tischchen (Holz- oder Glasplatte) höher und niedriger stellen kann. Rechts und links von ihm sind je eine hölzerne Hülse angebracht, in welche Glasäulen (e f) eingelassen sind. Auf den Glasäulchen sitzen messingene Fassungen

mit Scharnieren, vermöge welcher man die daran befestigten Röhrchen *g h* in beliebige Neigung oder Richtung zu bringen im Stande ist. In den Röhrchen endlich stecken die am inneren Ende mit Knöpfen, am äußeren Ende mit Haken versehenen Metalldrähte *a b* und *c d*. Beim Experimentieren verbindet man den ersteren Draht (*a b*) mittels eines in den Haken *a* gehängten Drahtes oder Metallkettchens mit der äußeren Belegung der Leydener Flasche, den zweiten dagegen (*c d*) auf gleiche Weise mit der einen Kugel eines gewöhnlichen Ausladers (Fig. 137. 138) und nähert nun, nachdem der der Wirkung des Entladungsschlages auszuführende Körper auf das Tischchen zwischen die beiden Kugeln *b* und *c* gelegt worden, die andere Kugel des gewöhnlichen Ausladers rasch dem Zuleitknopf der Flasche. Mit den zu erzielenden Wirkungen selbst werden wir uns im nächsten Kapitel beschäftigen.

Elektrische Batterie. Wie wir wissen, lassen sich auf einer Leydener Flasche um so größere Elektrizitäts-Mengen ansammeln, je größer sie selbst ist. Da aber sehr große Flaschen beim Gebrauch unbequem und leicht zerbrechlich sind, so setzt man lieber, um kräftigste Wirkungen zu erzielen, mehrere mäßig große Flaschen in der Weise zu einem Apparat zusammen, daß alle äußeren Belegungen einerseits und alle inneren Belegungen anderseits miteinander in leitender Verbindung stehen. Eine derartige Zusammenstellung mehrerer oder vieler Verstärkungsflaschen, welche von dem Danziger Bürgermeister Orvalath 1746 erfunden wurde, nennt man eine elektrische Batterie.

Je nach der zu erreichenden Wirkung richtet sich die Zahl der zusammengestellten Flaschen; oft nimmt man nur vier bis sechs (Fig. 140. 141), zuweilen mehr (Fig. 142). Die Verbindung der äußeren Belegung sämtlicher Flaschen geschieht entweder in der Art, daß man die Flaschen auf ein mit Stanniol beklebtes Brett (Fig. 140) oder in einen passenden, mit Stanniol ausgekleideten Holz- oder starken Pappkasten bringt, oder dadurch, daß man um die Flaschen einen alle Belegungen berührenden weichen Messingdraht schlingt. Die inneren Belegungen verbindet man durch starke Messingdrähte, welche von Kugel zu Kugel oder von Stange zu Stange gehen und in letzterem Falle an den Enden gut hakenförmig umgebogen sind.

Die Flaschen-Batterie läßt sich auch noch anders einrichten. Man kann z. B. in die Mitte einer mit Stanniol beklebten runden Holzplatte eine Flasche stellen, welche eine große Messingkugel von 5—8 cm Durchmesser trägt, und die anderen Flaschen rings um die erstere anordnen und mit derselben in der Weise verbinden, daß man von den Zuleitkugeln oder Stäben der Flaschen gebogene starke Metalldrähte nach der großen Zuleitkugel der

ersten Flasche führt bezw. durch Löcher, mit welchen die Kugel versehen worden, in dieselbe einführt. Ist vermöge dieser Vorkehrung eine leitende Verbindung sämtlicher inneren Belegungen geschaffen, so war eine solche hinsichtlich der

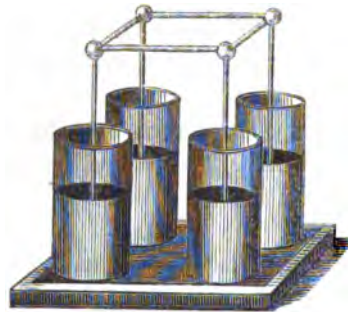


Fig. 140. Elektrische Batterie.



Fig. 141. Elektrische Batterie.

äußeren Belegungen schon durch das Stanniolblatt, auf welches die Flaschen stehen, bewirkt worden, die Bedingungen einer Batterie sind also erfüllt.

Bezüglich der Zu- und Ableitung, der Ladung und Entladung der

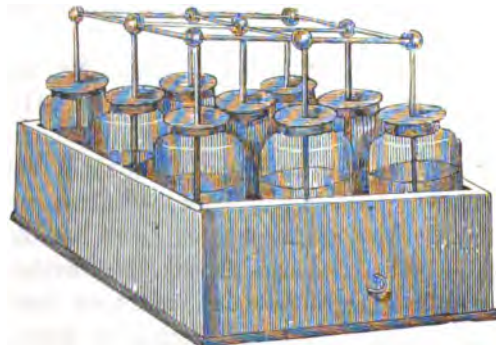


Fig. 142. Elektrische Batterie.

Batterie gilt das für diese Punkte von der Flasche Gesagte. Die Zuleitung zu der eben kurz beschriebenen Batterie z. B. erfolgt vermittelt eines die mittelfste Zuleitkugel und den Konduktor der Maschine verbindenden, circa 5 mm dicken Messingdrahtes; die Ableitung geschieht entweder durch eine ableitende Unterlage oder, falls die Batterie auf Glasfüßen

resp. einer isolierenden Vorrichtung ruht, ebenfalls durch einen Draht oder eine Metallkette, welche man an der mit dem Stanniol der Platte oder des Kastens in Verbindung stehenden Handhabe des Kastens befestigen kann; die Entladung findet statt, wenn ein Teil der äußeren Belegungen mit irgend einer Zuleitkugel in leitende Verbindung gebracht wird. Daß

man zur Ladung größerer Batterien statt der gewöhnlichen Elektrifiziermaschinen mit Vorteil Influenzmaschinen verwendet, wurde bereits auf Seite 129 erwähnt, ebenso auch, daß durch zwei eingestellte Leydener Flaschen, welche wie die dort beschriebene Verstärkungsrohre wirken, die elektrische Spannung dieser Maschine noch erhöht werden kann.

Will man eine Flasche oder eine Batterie mittels der Influenzmaschine laden, was übrigens schon binnen wenigen Sekunden geschehen ist, so setzt man die eine Belegung (der Flaschen) mit der einen, die zweite Belegung mit der anderen Elektrode der weit auseinander gezogenen Konduktoren in leitende Verbindung (s. S. 125); sie entladet sich dann auch wieder durch einen zwischen den Elektroden überspringenden Funken. Beabsichtigt man aber anstatt des andauernden Funkenstromes einzelne kräftige und stark leuchtende Funken zu erhalten, so verbindet man, wie die Abbildung 143 in schematischer Weise angiebt, die inneren Belegungen zweier Leydener Flaschen (N P) mit den Konduktoren (e f) bzw. den beiden Elektroden (n p) der Influenzmaschine und die äußeren Belegungen beider Flaschen etwa mittels eines Stanniolstreifens (Q) unter sich. Wird die Maschine in Thätigkeit gesetzt, so ladet sich jede Flasche innen mit der Elektrizität des betreffenden Konduktors, d. h. also

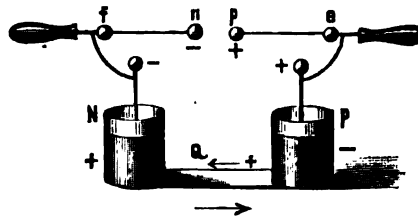


Fig. 143. Verstärkungsflaschen.

Flasche N mit $-$, Flasche P mit $+$ E, während auf der äußeren Belegung die gleichnamige Elektrizität abgestoßen wird und nun vermöge des Stanniolstreifens Q nach der äußeren Belegung der zweiten Flasche strömt, um hier die ungleichnamige Elektrizität der inneren Belegung zu binden, gleichzeitig aber auch in der früher geschilderten Weise von dieser (rückwirkend) selbst wieder gebunden zu werden. Dieser Vorgang setzt sich fort, und ist nach kurzer Zeit die erforderliche Spannung erreicht, so vereinigen sich die ungleichnamigen Elektrizitäten der inneren Belegungen durch einen mit heftigem Knall zwischen den Elektroden n p überspringenden starken Funken, wogegen die gleichzeitig frei werdenden Elektrizitäten der äußeren Belegungen durch den Stanniolstreifen sich ausgleichen.

Messung der Elektrizitäts-Menge. Lane's Maßflasche (Auslade-Elektrometer). Wir wissen, daß die Wirkung der Leydener Flasche beträchtlich verstärkt wird, wenn wir mehrere solche zu einer Batterie zusammenstellen; vier verbundene Flaschen z. B. wirken dann nahezu ebenso, wie eine einzige große Flasche von vierfacher Oberfläche und gleicher Glas-

dicke. Um nun die in einer Flasche oder Batterie angesammelte Elektrizitäts-Menge zu messen, bedient man sich der i. J. 1767 von dem Apotheker Lane in London erfundenen Maßflasche (Fig. 144), eines Apparats, welcher bei Versuchen mit der Leydener Flasche nicht entbehrt werden kann.

Die Maßflasche ist in der Weise eingerichtet wie die Leydener Flasche. Man verwendet dazu eine Flasche aus reinem, sehr dünnem Glas und von 1—2 Liter Inhalt, welche bis auf 3 cm vom Rande mit Stanniol belegt wird. Den Deckel hat man fest aufzukitten, da der Knopf zu ihr eine unveränderliche Stellung einnehmen muß. Aus Pappe wird ein Fuß für die Flasche hergestellt und mit diesem kommt sie in einen auf ein Brett geleimten Pappiring zu stehen (s. Abbildung), wenn man nicht zwecks Schaffung eines sicheren Standes vorzieht, in dem Brett einen zu dem



Fig. 144. Lane'sche Maßflasche.

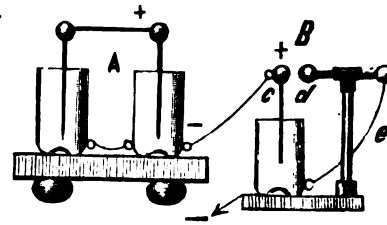


Fig. 145. Elektrische Batterie und Maßflasche.

Durchmesser der Flasche passenden, etwa 5 mm tiefen Kreis ausdrehen zu lassen. Auf demselben Holzboden ist auch eine hölzerne Säule a befestigt, und diese ist oben mit einer durchbohrten Klemme versehen, welche einen 3 mm dicken und an der einen Seite eine Kugel (c) tragenden Draht aufnimmt. Der letztere ist verschiebbar in der Klemme und kann somit in jeder Entfernung von der Zuleitkugel d — deren Drahtstab in einer Glasröhre steckt — festgehalten werden, zu welchem Zweck er eine Millimeter-Einteilung aufweist; mit der äußeren Belegung der Maßflasche verbindet ihn ein von seinem zweiten Ende abgehender feiner Messingdraht.

Wird die Maßflasche geladen, so erfolgt, wenn die Stellung der beiden Kugeln c und d eine gleiche bleibt, stets eine Entladung, sobald die Flasche bis zu derselben Stärke geladen ist. Beim Laden einer Leydener Flasche oder Batterie stellt man diese, wie Abbildung 145 (A) zeigt, auf eine durch Glasfüße getragene Platte, also eine nichtleitende Unterlage, und verbindet die vermöge der letzteren isolierte äußere Belegung der Batterie oder

Leydener Flasche durch einen Metalldraht mit dem Knopf c, d. h. der inneren Belegung der Maßflasche, während die zum Boden (Wasserleitung) abgeleitete äußere Belegung der letzteren mit der dem Knopf e in ganz geringer Entfernung (bis 6 mm) gegenüberstehenden Metallkugel d durch den Draht e verbunden ist. Wird nun der inneren Belegung der Batterie A von der Elektrifiziermaschine + E zugeführt, so bindet diese auf der äußeren Belegung — E, während ebensoviel gleichnamige (+) Elektrizität abgestoßen wird und nach der inneren Belegung (c) der Maßflasche wandert, um diese zu laden. Sobald aber die Ladung der Maßflasche eine gewisse Größe erreicht hat, entladet sich diese von selbst, indem zwischen den Kugeln c und d ein Funke überspringt, und so oft nun bei fortgesetztem Drehen der Maschine ein Funke zwischen c und d übergeht, so oft hat sich auch die Ladung der Batterie oder Leydener Flasche um eine gleiche Menge (Quantität) Elektrizität gesteigert. Die Anzahl der Entladungen giebt uns sonach ein Maß für die in der Batterie angesammelte Elektrizitäts-Menge, d. h. die Batterie enthält schließlich die zur Sättigung der Maßflasche nötige Elektrizitäts-Menge so vielmal, als wir Entladungen zählten. Daraus folgt weiter, daß man leicht mit Hilfe der Maßflasche eine Batterie oder Leydener Flasche wiederholt gleichstark zu laden vermag, denn man braucht ja nur bei unverändertem Abstand der beiden Kugeln c und d zwischen diesen gleichviel Funken überspringen zu lassen, um nun zu wissen, daß die Stärke der früheren Ladung erzielt ist; sind z. B. in zwei verschiedenen Fällen gleichviel Funken übergegangen, so sind auch die auf den geladenen Flaschen angehäuften Mengen gebundener Elektrizität in dem einen Falle so groß, wie in dem anderen, mögen die Flaschen hinsichtlich ihrer Zahl und Größe voneinander abweichen oder nicht*).

Ändert man dagegen die Entfernung der beiden Kugeln c d ab, so kann die Maßeinheit, welche sich uns in der Ladung der Maßflasche bietet, nach Belieben vergrößert oder verkleinert werden. Mit der Veränderung des Abstandes der Kugeln, d. i. die Schlagweite (S. 145), ändern sich sonach auch die Entladungen, sodaß z. B., gleichmäßiges Drehen der Maschine vorausgesetzt, die Entladungen bei einer Entfernung der beiden Kugeln von 1 mm doppelt so schnell vor sich gehen, als wenn die Entfernung 2 mm beträgt. Wie wir schon wissen (S. 145), wächst und verkleinert sich unter gleichen Umständen (gleichem Zustand der durchbrochenen Luftschicht) die Schlagweite in demselben Verhältnis, wie die elektrische Dichte an der

*) Die Maßflasche setzt uns aber auch in den Stand, die Wirksamkeit der Elektrifiziermaschine zu untersuchen, indem man von Zeit zu Zeit vergleicht, wieviel — bezw. ob immer dieselbe Zahl — Umdrehungen für eine Entladung bei gleichem Abstand der Kugeln (c d) erforderlich sind.

Entladungsstelle; die Schlagweite ist also der elektrischen Dichte proportional, und demnach muß, wenn die Schlagweite unverändert bleiben soll, einer aus vier gleichgroßen Flaschen bestehenden Batterie viermal soviel Elektrizität zugeführt werden, als einer einzigen derartigen Flasche.

16. Wirkungen der elektrischen Entladung.

Versuche mit der Leydener Flasche.

Die Wirkungen der elektrischen (Flaschen- oder Batterie-) Entladung sind gar mannigfaltiger Art, sodaß wir im Folgenden eine Anzahl der wichtigsten und lehrreichsten behandeln müssen. Zur Anstellung der Versuche, welche die Wirkung des Entladungschlages erläutern sollen, reicht man mit einer mäßigen Batterie bezw. einer oder zwei großen Flaschen, also mit etwa 40 □dem äußerer Belegung wohl aus, nur muß die Maschine wenigstens 6 cm Schlagweite haben und der unbelegte Rand der Flaschen dabei 10 cm hoch oder höher sein, um nötigenfalls hohe Spannung anwenden zu können. Hohe elektrische Spannung verlangen z. B. alle mechanischen Wirkungen der Flaschen (Glasdurchbohrung u.), während Versuche zur Erregung von Wärme in guten Leitern (z. B. Einschmelzen von Gold auf Glas u. a.) eine große Elektrizitäts-Menge erfordern. Daß die Wirkungen der elektrischen Entladung je nach ihrer Art und ihrem Grade von der Menge und Dichtigkeit (Spannung) der angehäuften Elektrizität abhängig sind — obwohl auch, wie später besprochen werden soll, die Beschaffenheit des Schließungsbogens von Einfluß ist —, braucht nach dem Gesagten kaum noch einmal hervorgehoben zu werden.

Ehe wir zu den Versuchen selbst übergehen, sei noch an Einiges in betreff der Ladung der Flaschen (Batterie) erinnert. Ob man eine Leydener Flasche oder eine Batterie lade, stets muß sie mit dem Konduktor der Maschine im Zusammenhang stehen. Da man nun den Zuleitknopf nicht immer unmittelbar an den Konduktor halten kann, so verbindet man beide, wie erwähnt, vermittelst 5 mm dicken Messingdrahtes, den man an beiden Enden hakenförmig umbiegt und gut abrundet; bei der Verwendung zu dünnen Drahtes würde leicht Verlust an Elektrizität eintreten. Letzteres würde auch der Fall sein, wenn man die Flaschen mit Funken, die man in die ersteren bezw. auf den Zuleitknopf überschlagen ließe, laden wollte. Von einer derartigen „Verschwendung“ der Elektrizität kann man sich wiederum mit Hilfe der Maßflasche überzeugen, indem man — die Isolierung der Leydener Flasche oder Batterie selbstverständlich vorausgesetzt — die Umdrehungen der Maschine zählt, welche in dem einen oder dem

anderen Falle nötig werden, um die Maßflasche zu einer Entladung zu bringen. Überhaupt empfiehlt es sich, namentlich bei solchen Versuchen, welche eine größere Anzahl von Umdrehungen der Maschine erfordern, in der Seite 187 beschriebenen Weise die Leydener Flaschen zu isolieren und deren äußere Belegung mit der Maßflasche, deren Kugeln (c d) einen bestimmten bleibenden Abstand erhalten, zu verbinden; denn hat man hierbei einmal festgestellt, bei wieviel Entladungen der Maßflasche die Entladung einer großen Leydener Flasche oder einer Batterie diese oder jene Wirkung erzielt, so hat man einen Maßstab für fernere Versuche gewonnen und keinen Zeitverlust zu beklagen. Dagegen bietet die Zahl der Umdrehungen an und für sich keinen annähernd sicheren Maßstab für die Ladung und ihre Wirkung, weil der wechselnde Zustand der Atmosphäre und andere Umstände einen Einfluß dahin ausüben. Ebenso wenig würde die Zahl der Funken — wollte man mit solchen laden — einen derartigen Maßstab abgeben; denn die Funken können je nach der Maschine groß oder klein sein, ferner ist bei ein und derselben Maschine die Funkenstärke verschieden, je nachdem sie frisch amalgamiert oder schon länger gebraucht oder je nachdem die Witterung feucht oder trocken ist u. s. w. Ein im Verhältnis zu der Zahl der Umdrehungen oder der Funken weit sicherer Anzeiger dafür, ob eine bekannte Flasche oder Batterie die nötige Ladung erhalten habe, ist das auf Seite 134 ff. besprochene Quadranten-Elektroskop, welches während des Ladens auf den Konduktor der Elektrifiziermaschine, mit der die Flaschen geladen werden, gesteckt wird; sobald das Elektroskop die erforderliche Höhe der elektrischen Dichte oder Spannung meldet, hebt man die Verbindung der Flasche oder Batterie mit dem Konduktor auf und nimmt das Experiment am besten sogleich vor, damit von der Ladung sich nichts verliert.

Wenn man zwei Leydener Flaschen mit ihren Zuleitknöpfen gleichzeitig an den Konduktor hält bezw. mit diesem verbindet, so werden beide halb so stark geladen, als eine Flasche in derselben Zeit oder bei gleichviel Umdrehungen geladen würde; sollen sie also die Stärke der Ladung annehmen, welche eine Flasche bei zehn Umdrehungen der Scheibe erlangen würde, so muß man beide Flaschen zusammen durch zwanzig Umdrehungen laden. Daß jetzt beide Flaschen mit gleichvieler und auch gleichnamiger Elektrizität geladen sind, erkennt man, wenn man mit jeder Hand eine an der äußeren Belegung faßt und dann ihre Knöpfe in Berührung bringt: die Berührung veranlaßt keinen Erschütterungsschlag, was doch der Fall sein würde, wenn die eine Flasche mit +, die andere mit — E, und noch dazu in ungleichem Maße geladen wäre. Stellt man eine zu ladende Flasche isoliert auf und hält man eine zweite an die äußere Be-

legung derselben, so ladet sich diese zweite Flasche ebenso stark und in eben derselben Zeit mit derselben Elektrizität, als ob man sie unmittelbar an den Konduktor gehalten oder mit diesem verbunden hätte. Wenn man nun die zweite Flasche ebenso isoliert wie die erste, und an die äußere Belegung der zweiten den Zuleitknopf einer dritten Flasche hält, so bekommt man drei gleichstark mit gleichnamiger Elektrizität geladene Flaschen. Man kann diese Art Ladung noch weiter fortsetzen und nennt sie, weil sie gewissermaßen durch einen Fall der Elektrizität von Stufe zu Stufe vor sich geht, die Ladung per Cascade und die Verbindung mehrerer Leydener Flaschen nacheinander eine Kaskaden-Batterie. Diese Verbindung geschah seitens ihres Erfinders, B. Franklin, in der Weise, daß von der Außenseite jeder Flasche ein Draht zur inneren Belegung (Zuleitstab) der nächstfolgenden geführt und die äußere Belegung der letzten Flasche mittels eines Drahtes zum Erdboden abgeleitet wurde, während der inneren Belegung der ersten Flasche aus dem Konduktor die Elektrizität zuflörmte. Die Kaskaden-Batterie erfuhr wohl auch Abänderungen, doch hat sie jetzt keine Bedeutung mehr.

In den weitaus meisten Fällen bleibt es sich gleich, ob man die Leydener Flaschen mit positiver oder mit negativer Elektrizität ladet. Benutzt man als Elektrizitäts-Quelle eine Maschine, welche beide Arten Elektrizität giebt, so kann man nach Belieben die eine oder die andere wählen, wird aber gewöhnlich zur stärkeren greifen. Liefert jedoch die benutzte Maschine nur positive Elektrizität, während man gerade mit freier negativer zu laden beabsichtigt, so verfährt man entsprechend dem auf Seite 180 gegebenen Hinweis: man ergreift die zu ladende Flasche beim Zuleitknopf, hält sie an diesem frei in der Hand und bringt die äußere Belegung an den Konduktor, sodaß die freie $+E$ in die äußere Belegung übergeht; statt die Flasche in der Hand zu halten, kann man sie auch auf einen Isolierschemel (Isolierstativ) stellen, die äußere Belegung mit dem Konduktor in leitende Verbindung setzen und den Zuleitknopf ableitend berühren. Sollte man nach ersterem Verfahren laden, so ist die Flasche nach geschahener Ladung auf den Isolierschemel zu stellen, was bei dem zweiten Verfahren vorher schon gethan worden, und in beiden Fällen nun die isoliert stehende Flasche an der äußeren Belegung zu erfassen; man hat jetzt auf der inneren Belegung negative Elektrizität zur Verfügung. Übrigens kann man eine Flasche auch dadurch negativ elektrisch laden, daß man zwei gleichgroße Flaschen nebeneinander auf einen Isolierschemel stellt, ihre äußeren Belegungen miteinander durch einen Stanniolstreifen verbindet und dann den Knopf der einen Flasche mit dem Konduktor der Maschine in Berührung oder leitende Verbindung bringt, während man den Knopf der

zweiten mit der Hand ableitend berührt; indem nun der ersten Flasche vom Konduktor + E zugeführt wird, ladet sich die innere Belegung der zweiten mit — E. Die Erklärung dieses Vorganges ergibt sich aus den Gesetzen der elektrischen Influenz von selbst. Hebt man die leitende Verbindung des Konduktors mit der ersten Flasche auf und nimmt gleichzeitig die Hand von dem Knopf der zweiten weg, so hat man zwei entgegengesetzt geladene Flaschen. —

Schließlich ist in betreff der Entladung der Leydener Flasche oder Batterie noch daran zu erinnern, daß man erstens die Kugel des Ausladers dem Zuleitknopf der Flasche recht rasch nähert, da davon in sehr zahlreichen Fällen der Erfolg oder der Effekt abhängt, und daß zweitens bei dieser Annäherung eines mit der äußeren Belegung verbundenen Leiters an den Zuleitknopf der Flasche niemals wirklich vollständige Entladung eintritt, es bleibt vielmehr ein Rückstand an Elektrizität, welcher um so größer ist, je öfter die Flasche nacheinander geladen, oder je länger sie geladen erhalten wird. Der letztere Umstand erfordert mithin Vorsicht bei der Behandlung entladener Leydener Flaschen und macht es nötig, daß der stanniolfreie Rand der Flaschen mit Siegellack- oder Schellackfirnis überzogen werde; unterläßt man diese Arbeit, so verbreitet sich Elektrizität auch auf das belegfreie Glas und fließt dann beim Entladen der Flasche der Belegung wieder zu, wodurch der „Rückstand“ vergrößert wird. Daß man bei Versuchen mit größeren Flaschen oder Batterien nicht die nötige Vorsicht außer Augen lassen darf, um sich vor Beschädigungen zu bewahren, versteht sich wohl von selbst.

A. Mechanische Wirkungen.

1. Durchbohren von Karten, Pappe, Holz u. Zur Durchbohrung eines einzelnen Karten- oder starken Papierblattes genügt schon eine sehr schwache Ladung der Leydener Flasche: das Blatt wird an die äußere Belegung der Flasche gelegt und die eine Kugel des Ausladers (s. Fig. 137 oder 138) darauf gehalten, während man die andere Kugel des letzteren rasch dem Zuleitknopf der Flasche nähert. Will man mehrere Kartenblätter durchbohren, so bindet man sie bequemer vorher zu einem Päckchen zusammen und bringt dieses auf das Tischchen des Henley'schen Ausladers zwischen die Kugeln b und c (Fig. 139), welche man einander so weit nähert, daß sie das Päckchen beiderseitig berühren. Statt der Karten kann man auch Pappdeckel oder ein 5—8 mm dickes, auf beiden Seiten gefirnissetes Brettchen verwenden. Der Versuch gelingt besonders, wenn man die Kugeln b c des Ausladers durch Spitzen ersetzt.

Eigentümlich ist es nun, daß die Ränder des Bohrloches auf beiden Seiten der Pappe oder Kartenblätter erhaben oder aufgetrieben erscheinen; es wird also nicht ersichtlich, in welcher Richtung die Durchbohrung stattgefunden hat, es sieht vielmehr so aus, als sei im Innern des durchbohrten Gegenstandes eine Explosion vor sich gegangen, welche nach beiden Seiten hin in gleicher Weise gewirkt habe. Macht man jedoch den Lullin'schen Versuch, d. h. stellt man die beiden Drahtenden, zwischen denen der Funke übergeht, einander nicht genau gegenüber, sondern das eine 1 oder 2 cm höher oder tiefer als das andere, so erfolgt die Durchbohrung der zwischengehobenen Blätter *z.* stets in der Nähe der mit der negativen Belegung leitend verbundenen Spitze. Diese merkwürdige Erscheinung ist auf die Beschaffenheit der Papier- oder Karton-Oberfläche und die durch dieselbe bedingte leichtere Ausbreitung der positiven Elektrizität zurückzuführen; denn bei Benutzung von anders beschaffenem Papier, z. B. Wachs- oder Fettpapier, findet die Durchbohrung gewöhnlich an dem positiven Drahtende statt. Wird der Entladungsschlag durch ein Stanniolblatt, welches man zwischen die in geringem Abstand befindlichen Enden des Ausladers gestellt hat, geleitet, so bemerkt man auf der Seite, wo sich freie Elektrizität befand, eine Vertiefung um die durchbohrte Stelle.

2. Durchbohren von Glasplatten. Wenn der einfache Konduktorfunkte nur dünne Glasplatten und zwar mit einer feinen Öffnung durchbohrt (s. S. 161), so vermag die Entladung einer starken Leydener Flasche oder einer Batterie starke Platten zu durchbrechen oder zu zersprengen. Es kommt dabei, wie schon Seite 188 angedeutet, hauptsächlich auf hohe Spannung der zu verwendenden Elektrizität an, die Größe der Belegung thut es keinesfalls; während man mit einer einzigen Flasche von etwa 8 □ dem äußerer Belegung ausreicht, sobald dieselbe nur hohe Spannung bezw. einen 18 oder 20 cm breiten belegfreien Rand hat und von einer Maschine, welche 5 oder 6 cm lange Funken giebt, bis nahe zur Selbstentladung geladen wird, kommt man bei vier- oder fünfmal so großer äußerer Belegung nicht zum Ziel, wenn die Spannung nur gering ist resp. die Breite des Randes bloß die Hälfte der angeführten beträgt.

Die zu durchschlagende Tafel darf nicht unter 15 oder 20 cm breit sein, weil das schlechtleitende Glas dem Durchschlagen des Funkens großen Widerstand entgegensetzt und deshalb bei geringer Breite der Tafel der Schlag die letztere umgeht. Das Durchschlagen wird dem Funken erleichtert, wenn man die zwischen die Enden (Spitzen) des Ausladers zu stellende Glascheibe vorher beiderseits mit einer dünnen Ölschicht überzogen hat; nach geschehener Entladung bemerkt man die eigentümliche Durchgangsöffnung des Funkens, sie erscheint wie ein weißer Zwirnsfaden mit glän-

zenden Flitterchen oder strahlig, weil der Funke eine eigenartig gezackte Bahn verfolgt und dabei die benachbarten Glaspartieen aufreißt. Auch noch auf andere Weise läßt sich die Durchbohrung der Glasplatte erleichtern, indem man nämlich eine der beiden Spitzen mit einem nichtleitenden Kitt auf der einen Fläche der Glasscheibe festkittet, sodaß die auf dieser Spitze angehäuften Elektrizität keinen anderen Ausweg hat, als durch das Glas hindurch nach dem zweiten, gegenüberstehenden Leiter. Hat man auf die eine Seite einer 1 oder 2 mm dicken Glasplatte einen Stearinring von mehreren Centimetern Durchmesser getropft, die beiden Spitzen zwar innerhalb dieses Ringes, aber nicht einander gegenüber, sondern gleichweit vom Mittelpunkt desselben entfernt senkrecht auf einen Durchmesser des Ringes gestellt, so entstehen bei hinreichend starker Entladung verschiedene Durchbohrungen am Innenrand des Ringes.



Fig. 146. Zersprengen einer Glasröhre.

3. Sprengen von Glasröhren und Gläsern. Der elektrische Funke schleudert die Teilchen einer Flüssigkeit mit Heftigkeit auseinander. Auf diesem Umstand gründet sich der folgende Versuch. Man nimmt eine grüne Glasröhre, führt durch jeden der beiden Korkstöpsel, welche zum Verschluss dienen sollen, einen beiderseits zu einem Ring umgebogenen Messingdraht (Fig. 146), verkorkt das eine Ende der Röhre, füllt diese mit Wasser, drückt nun auch den zweiten Stöpsel in dieselbe und nähert die Drahtringe im Innern der Röhre einander bis auf 6—10 mm Abstand. Setzt man nun die Vorrichtung, wie die Abbildung andeutet, durch Drähte bzw. Auslader einerseits mit der äußeren Belegung, andererseits mit dem Zuleitstab der geladenen Flasche in leitende Verbindung, so erfolgt zwischen den Ringen in der Röhre die Entladung, wodurch die Röhre zertrümmert wird, da die von dem Funken heftig auseinandergeschleuderten Wasserteilchen eine Explosion veranlassen. Die infolge derselben zuweilen umherfliegenden Glassplitter erheischen gewisse Vorsicht.



Fig. 147. Sprengen von Glas.

Auch offene Gläser lassen sich mit Hilfe des Entladungsschlages zertrümmern oder zersprengen, sobald man etwa 8—12 □ dem Belegung und eine starke Ladung zur Verfügung hat. Zweck Ausführung des Versuchs

bringt man am Rande eines mit Wasser gefüllten gewöhnlichen Weinglases (Fig. 147) zwei Drähte an, welche sich hier vermöge ihrer Federkraft selbst halten und außen zu Ringen umgebogen, innen mit kleinen Metallkugeln, die wieder einen Abstand von 6—10 mm haben, versehen sind. Die weitere Behandlung entspricht ganz dem eben Angegebenen.



Fig. 148.
Elektrischer Mörser.

4. Der elektrische Mörser. Ähnlich wie das Wasser durch einen in demselben überschlagenden elektrischen Funken stark ausgedehnt wird, so geschieht es auch mit Gasen, wie der folgende Versuch beweist. Man läßt sich aus Buchbaum- oder anderem harten Holz einen kleinen Mörser drehen — Abbildung 148 stellt ihn im Durchschnitt und in $\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe dar —, dessen Kanal (Seele) vorn an der Mündung halbkugelförmig erweitert ist, damit er eine passende kleine Hollundermark-, Kork-, Holz- oder Marmor- oder Mar-
morkugel aufnehmen kann, welche, wenngleich sie den Kanal gut schließen muß, doch nur lose in der Höhlung sitzen darf. Etwa in halber Höhe des Kanals reichen zwei von außen hereinführende, 2—3 mm dicke Leitungsdrähte in denselben, welche auf die schon mehrfach erwähnte Art mit der äußeren Belegung und dem Zuleitstab (Knopf) der Leydener Flasche ver-



Fig. 149. Blitz-Versuch.

bunden werden. Das kleine Geschütz liegt auf einer hölzernen Lafette und diese wird mit Kitt vielleicht auf einer starken Glasscheibe befestigt. Beim Versuch schlägt der Funke zwischen den Enden der Leitungsdrähte im Mörser über und bewirkt, daß die Kugel je nach ihrer Schwere und der Stärke der Ladung mit mehr oder minder Heftigkeit herausfliegt. — Man könnte den Versuch auch in der Weise anstellen, daß man in den Kanal Wasser füllte, ohne daß dieses die Kugel ganz erreicht; natürlich müßte zu diesem Zweck der Mörser durch tagelanges Liegen in Öl wasserdicht gemacht sein. Läßt man durch die Drähte einen starken

Schlag gehen, so wird das Wasser heftig zerteilt, es wirkt wie plötzlich entwickelter Dampf und schleudert die Kugel mit Gewalt heraus.

5. Die Macht des Blitzes läßt sich im ganz kleinen Maßstab durch folgenden Versuch zeigen bezw. nachahmen. Abbildung 149 vergegenwärtigt die Giebelwand eines Hauses A, an welcher ein Blitzableiter B C herabführt. Bei D ist in die Wand eine viereckige Öffnung ausgetieft, in

welche ein Stückchen Brett gerade paßt, ohne eigentlich festzusetzen. Der bei B eine Kugel tragende und bei C mit einem wohl abgerundeten Haken versehene Metalldraht ist hinter dem Brettchen bei dem Querstrich unterbrochen. Wird nun die Metallkugel B mit der inneren und der Haken C mit der äußeren Belegung der Flasche oder Batterie leitend verbunden, so springt bei D zwischen den Drahtenden des „Blitzableiters“ ein Funke über, welcher je nach der Stärke der Ladung das Brettchen mit bedeutenderer oder geringerer Kraft aus den Fugen herauswirft. Später wird uns ein entsprechender Versuch beschäftigen.

B. Optische Erscheinungen.

Über die elektrischen Lichterscheinungen: den Funken, das Büschel- und Glimmlicht und den Funken im luftverdünnten Raum, haben wir bereits im 14. Kapitel (S. 144 ff.) ausführlich gesprochen. So wissen wir, daß eine Batterie, bei deren Entladung eine bedeutende Menge Elektrizität auf nicht große Schlagweite übergeht, kurze und kräftige, sehr helle Funken liefert u. s. w. Es bleibt uns hier nur die Aufgabe, einige andere Erscheinungen zu betrachten.

1. Lichtenberg'sche Staubfiguren. Mit dem Knopf einer an der äußeren Belegung gehaltenen Leydener Flasche berühre man etwa die Mitte des Elektrophorkuchens oder einer anderen Harz- oder Kautschukplatte, sodaß sich der Oberfläche positive Elektrizität mitteilt. Stäubt man dann aus einem Florbeutelchen Bärlappsaamen oder Herenmehl (*Semen lycopodii*) auf die betreffende Stelle, so entsteht hier, wie der Göttinger Physiker Lichtenberg 1777 zuerst zeigte, eine Figur (Staubfigur), welche sich durch zahlreiche, vom Mittelpunkt ausgehende und vielfach zweigartig verästelte Strahlen auszeichnet (Fig. 150). Setzt man dagegen die Flasche, nachdem man sie zunächst auf den Folierschemel gestellt und am Knopf gefaßt hat, auf eine andere Stelle bezw. Harztafel, oder berührt man die letztere mit dem Knopf einer negativ elektrischen Flasche, so geht negative Elektrizität auf die Tafel — von welcher die Flasche alsbald wieder abzuheben ist — über und es erscheint auf ihr, nachdem man ebenfalls jene Bestäubung vorgenommen, eine aus kleineren und größeren rundlichen Flecken gebildete Figur; Abbildung 151 verdeutlicht dies und läßt den Kreis erkennen, welchen die Flasche beim Aufsetzen auf den Harzkuchen beschrieb.

Diese nach Lichtenberg benannten Staubfiguren, in welchen sich stets der Unterschied der positiven und negativen Elektrizität auf charakteristische Weise zeigt, kann man mehrfach abändern, indem man eine oder ver-

schiedene Harz- und Glasplatten und mannigfaltige Pulver anwendet etc. So z. B. deutet Abbildung 152 an, wie man durch den Knopf der positiv geladenen Flasche, wenn man ihn auf dem Harzkuchen umherführt und die



Fig. 150. Sichtenberg'sche Staubfigur (+).

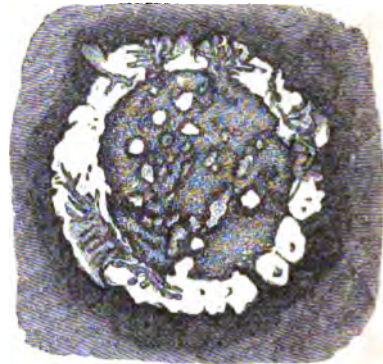


Fig. 151. Sichtenberg'sche Staubfigur (-).

Stellen dann bestäubt, allerlei verästelte Zeichnungen hervorzurufen vermag: der Knopf ist von dem Anfahrpunkt auf der Tafel etwa 2 cm weiter gerückt und dadurch ist die kreuzähnliche Figur entstanden u. s. w. Zum Bestäuben kann man statt des hellgelben Bär-lappsamens gleichfarbige Schwefelblumen und zur Markierung der negativen Figuren Mennigepulver benutzen.

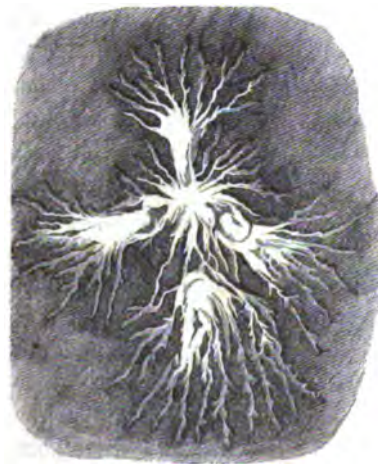


Fig. 152. Staubfigur (+).

Teilt man einer Harz- oder Kautschukplatte durch Berührung einzelner Stellen nacheinander positive und negative Elektrizität mit und bestäubt so dann die Platte mit einem von Willarsy (1788) angegebenen Gemenge aus Mennige- und Schwefelpulver, so sammeln sich die roten Mennigeteilchen an den negativ, die gelben Schwefelteilchen hingegen an den positiv elektrifizierten Stellen zur Bildung der bekannten Figuren.

Diese auffallende Verteilung der roten und gelben Körperchen rührt, wie schon Willarsy 1788 auf Grund der Cavallo'schen Untersuchungen (1780) — welche ergeben hatten, daß pulverförmige Körperchen beim Durcheinanderschütteln oder beim Beuteln durch ein Sieb, also beim Reiben

ziemlich stark elektrisch werden — gezeigt hat, davon her, daß beim Durchbeuteln (gegenseitigen Reiben) die Mennigteilchen positiv, die Schwefelteilchen negativ elektrisch, die ersteren somit von den negativ elektrifizierten, die letzteren von den positiv elektrifizierten Punkten der Harzplatte angezogen werden und nun die betreffenden Figuren hervorrufen. Die auf diese Weise erzeugten Lichtenberg'schen Figuren bieten demnach ein Mittel zur Erkennung der Art der Elektrizität oder zur Bestimmung des elektrischen Zustandes, wie es denn auch thatächlich in der Praxis angewendet worden. — Noch sei erwähnt, daß die Größe der elektrischen Staubfiguren in verschiedenen Luftarten, unter sonst gleichen Umständen, abändert und daß sie, wie Reitlinger ferner gezeigt hat, insbesondere mit den Erscheinungen übereinstimmen, welche W. Faraday an den elektrischen Büscheln (S. 154) beobachtete; sie sind „die fixierten Bilder“ der elektrischen Entladungen.

2. Elektrische Hauchbilder. Um die von Karsten (1842) erfundenen elektrischen Hauchbilder hervorzurufen, genügen isolierende Platte und Entladungsschlag nicht, es ist vielmehr noch ein Drittes erforderlich: ein „Modell“. Als solches dienen metallene Münzen. Man legt entweder eine Münze auf eine Glasstafel (sauberes Fensterglas), welche wiederum auf einer mit der Erde leitend verbundenen Metallplatte liegt — oder man legt genau unter die obere Münze eine zweite, sodaß beide Münzen durch die Glasscheibe getrennt sind und das Ganze gewissermaßen eine Franklin'sche Tafel (Glasplatte mit zwei Metallbelegungen) darstellt. Zur Ausführung des Versuchs vervollständigt man die Vorrichtung, indem man an die untere Münze einen am Ende zu einem Ring umgebogenen Draht schiebt und diesen gegen die obere Münze umbiegt, sodaß der Ring noch etwa 2—3 mm von der Münze entfernt bleibt. Läßt man nun, nachdem diese kleine „Franklin'sche Tafel“ mit ihrem Stativ unter den Konduktor einer Elektrifiziermaschine gebracht worden, von dem letzteren eine Metallkette auf die obere Münze herabhängen und dreht man die Maschine, so erfolgen rasch aufeinander Selbstentladungen, natürlich im kleineren Maßstabe als bei den elektrischen Kondensatoren: Franklin'sche Tafel und Leydener Flasche (Batterie). Haben sich viele — einige hundert — solcher Entladungen vollzogen, so zerlegt man den Apparat wieder, und haucht man nun gegen das Glas, so erscheinen die Abbildungen der Münzen auf demselben. Nicht selten gewahrt man diese noch nach Monaten und nach wiederholtem Abwischen des Glases, sobald dasselbe aufs neue angehaucht wird. — Eine Abänderung des Versuchs besteht darin, daß man zwei Glasplatten auf je einer Seite bis gegen den Rand hin mit Stanniol beklebt, sie dann, die Belegungen nach außen, aufeinander — und zwischen

beide eine aus Papier geschnittene Figur legt; wird jetzt in der beschriebenen Weise einige Zeit elektrifiziert, so erscheint das Hauchbild der Figur ebenfalls auf dem Glase.

Läßt man, ohne Benutzung eines Modells, die elektrischen Entladungsfunken über Glas oder auch Glimmer zc. gehen, und behaucht man dann die Oberfläche der Tafel, so zeigen sich sogenannte Hauchfiguren, welche von Rieß (1838) angegeben wurden. Diese Hauchfiguren entsprechen hinsichtlich ihrer Entstehung somit den Staubfiguren, indem auch bei ihnen ein Modell ausgeschlossen bleibt.

3. Elektrische Staubbilder. Wie sich die elektrischen Hauchbilder und Hauchfiguren dadurch unterscheiden, daß bei ihrer Entstehung ein „Modell“ mitwirkt oder nicht, so auch die elektrischen Staubbilder und Staubfiguren. Die Staubfiguren treten auf, wie wir gesehen, bei freier Entladung bezw. bei Mitteilung von Elektrizität an eine Harz- oder Kautschukplatte und demnächst erfolgtem Bestäuben der letzteren, die Staubbilder zeigen sich, wenn die Entladung gegen ein Modell — also in der unter 2) beschriebenen Weise, nur unter Verwendung einer Harzplatte — erfolgt und die Platte dann wie bei Hervorrufung der Staubfiguren bestäubt wird. Bilden sich also die Staubfiguren durch die einer Harztafel mitgeteilten Elektrizität, so die Staubbilder vornehmlich durch diejenige Influenz-Elektrizität, welche der dem Modell mitgeteilten Elektrizität entgegengesetzt ist; und während die Staubfiguren deutliche und bestimmte Kennzeichen der positiven und negativen Elektrizität abgeben, ist dies bei den Staubbildern nicht der Fall. —

Schließlich sei hier anhangsweise noch eine andere Art von Figuren erwähnt, welche mit den vorgenannten nichts zu thun haben. Schon bei Besprechung des elektrischen Funkens (S. 146) fanden wir die Annahme gerechtfertigt, daß beim Übergehen des Funkens zwischen zwei Leitern eine Losreißung, Verflüchtigung und Drydation ganz kleiner Teilchen der Entladungsstellen und ein Erglühen der Gasmasse stattfindet. Läßt man nun den Funken zwischen zwei polierten Metallplatten übergehen, so zeigt sich wirklich die Spur desselben an den von ihm getroffenen Stellen in Gestalt feiner Punkte; und sind die Entladungen stärker (Batteriefunken), so erscheint die Spur des Funkens an den berührten Stellen in Form farben-glänzender Ringe. Diese Ringe, welche 1766 zuerst von Priestley bemerkt und ganz richtig als von Drydation herrührend bezeichnet wurden, nennt man die Priestley'schen Ringfiguren.

Ihre Entstehung beruht auf den chemischen Wirkungen der Elektrizität, zu welchen uns ein späterer Abschnitt dieses Kapitels (F) führen wird.

C. Thermische (Wärme-) Wirkungen.

Die Wärme-Wirkungen einer Batterie oder einer großen Leydener Flasche sind sehr bedeutend, weil die Dichte bezw. Spannung und damit die Leistungsfähigkeit oder Kraft (das Potential) der auf diesen Kondensations-Apparaten angesammelten Elektrizität eine weit erheblichere ist, als auf dem Konduktor der Elektrifiziermaschine; deshalb lassen sich mit der Flaschen- oder Batterie-Entladung viel beträchtlichere Wirkungen erzielen, als mit dem einfachen Konduktorfunkeln. Vermochten wir schon mit diesem, wie wir Seite 158 ff. besprochen haben, Spiritus, Schwefeläther und Knallgas zu entzünden, so wird der viel stärkere Batterie- oder Flaschenfunke selbst in der Technik zu Zündungen und Sprengungen verwendet. Wir stellen zunächst einige einfache Versuche an.

1. Erwärmen, Glühen, Schmelzen von Eisendraht u. Verbindet man die beiden Kugeln b c des allgemeinen Ausladers (Fig. 139) durch einen sehr dünnen Eisendraht, so wird derselbe erwärmt, wenn ein schwacher Entladungsschlag hindurchgeht; ist die Ladung stärker, so erglüht der Draht, und bei sehr großen Elektrizitäts-Mengen schmilzt er sogar, wobei er in einzelnen Kügelchen geschmolzenen Eisens auseinanderfährt. Das Schmelzen gelingt aber nur, wenn, wie schon angedeutet, der Draht sehr dünn ist und ein Apparat (Flasche, Batterie) mit 50 bis 70 □ dem äußerer Belegung und eine Maschine von 4 bis 6 cm Schlagweite zur Benutzung kommt. Da Eisendraht von solch geringer Dicke, wie sie zum sicheren Gelingen des Versuchs nötig ist, kaum oder überhaupt nicht beschafft werden kann, so präpariert man sich denselben, indem man ein 10—12 cm langes Stück recht dünnen Eisendraht so in Salpetersäure legt, daß die beiden Enden je 3 cm herausragen, läßt ihn nun zu großer Feinheit abätzen, spült ihn dann wiederholt in reinem Wasser, trocknet ihn vorsichtig zwischen Fliesspapier und befestigt ihn schließlich mittels der dickeren Enden an den Kugeln (b c) des Henleyschen Ausladers.

Leichter gelingt der Versuch mit Platindraht, welcher überdies von größerer Feinheit im Handel vorkommt und deshalb ein besonderes Präparieren nicht verlangt. Der Versuch kann mehr oder minder abgeändert werden. Biegt man z. B. ein Stück feinen Platindraht in Form einer Schlinge, führt diese in eine Glasflasche ein und klemmt sie im Hals der letzteren mittels eines Glasstöpfels in der Weise fest, daß die Enden des Drahtes hervorstehen, um mit den beiden Belegungen des Apparats in Verbindung gebracht werden zu können, und läßt man nun einen Entladungsschlag hindurchgehen, so bemerkt man, wie der Draht erschüttert

wird, wie Dampf von ihm in die Höhe steigt, wie er dann glühend und zerrissen und bei starker Ladung geschmolzen wird.

Andere Drähte als Eisen- und Platindraht kann man nur mit sehr kräftigen Maschinen und großen Batterien zu schmelzen versuchen. Wenn man statt des Eisendrahtes z. B. Kupferdraht verwendet, so wird dieser bei Benutzung einer gleich starken Elektrizitäts-Menge zwar heiß, doch nicht glühend werden und noch weniger schmelzen, man müßte denn eine 6 oder 7 mal größere Elektrizitäts-Menge und anderseits einen noch feineren bzw. einen bei gleicher Dicke viel kürzeren Draht gebrauchen.

Rieß' elektrisches Luftthermometer. Wie wohl schon aus dem Vorhergehenden geschlossen werden kann, herrschen bei der Erwärmung dünner Drähte durch den Entladungsschlag gewisse Gesetze. Zur Nachweisung derselben dient das elektrische Luftthermometer von Rieß. Hatte bereits W. Franklin um die Mitte des vorigen Jahrhunderts wertvolle Untersuchungen über die Erwärmung guter Leiter durch den elektrischen Strom angestellt und mit Hilfe desselben zuerst das Schmelzen von Metallen bewirkt und sein Landsmann C. Rinersley in Boston 1764 zum ersten Mal durch das gleiche Mittel einen feinen Eisendraht zum Glühen und Zerfließen gebracht, hatte ferner der schon mehrfach erwähnte englische Forscher Josef Priestley 1766 auf Anregung Franklins hin verschiedene Metalle nach der Leichtigkeit des Glühens und Schmelzens im Vergleich zur Leitungsfähigkeit geprüft und in eine Reihe geordnet, so vermochte doch erst der Berliner Physiker P. Th. Rieß, nachdem Snow Harris (1830) vorgearbeitet, im Jahre 1837 die zwischen der Erwärmung und dem Leitungswiderstand eines Metalldrahtes, zwischen der Erwärmung des Drahtes, der angehäuften Elektrizitäts-Menge und der Oberfläche der Batteriebelegung zur Geltung kommenden Beziehungen und Gesetze zu ermitteln. Bei diesen Untersuchungen benutzte Rieß das elektrische Luftthermometer, welches Rinersley i. J. 1761 zur Messung der durch Erwärmen herbeigeführten Ausdehnung der Luft beim Durchgehen eines elektrischen Funkens erdacht hatte, von ihm aber verbessert worden war.

Die Abbildung 153 zeigt das Rieß'sche Luftthermometer in etwa $\frac{1}{8}$ der natürlichen Größe. Der Apparat besteht im Wesentlichen aus einer mit Luft erfüllten Glaskugel (A), welche von einem spiralförmig gewundenen Platindraht (von B nach B¹) durchzogen ist und unten in ein enges, einige Tropfen gefärbtes Wasser enthaltendes Glasrohr (C D) ausläuft. Die hohle Glaskugel hat einen Durchmesser von 8 oder 9 cm Durchmesser und vier Öffnungen: bei B, B¹, E und C. Die zwei einander direkt gegenüberliegenden Öffnungen B und B¹ sind mit luftdicht einge-

kitteten Messingklappen versehen, in welchen der zum Versuch dienende, ca. $0,08$ mm starke Platindraht ruht, dessen zwischen den Öffnungen befindliches immer gleichlanges (13 cm) Stück spiralig gewunden ist. An den äußeren Enden besitzen die Messingfassungen B und B¹ Hülfsen mit Schrauben, welche durch starken Draht — auf der Abbildung ist dies nur angedeutet — mit jener auf dem Gestell befestigten Klammer verbunden sind, zu welcher der Zuleiter von der Elektrizitäts-Quelle geführt wird. Die dritte Öffnung (E) dient nur dazu, um vor jedem Versuch den Druck der Luft in der Kugel mit dem der äußeren Luft ins Gleichgewicht oder beide auf gleiche Spannung zu bringen, und wird während des Versuchs verkorkt. An die Kugel ist ein im Lichten 1 mm weites, bei C rechtwinkelig gebogenes und am anderen Ende in ein trichter- oder fingerhutförmiges kleines Gefäß (D) auslaufendes Glasrohr angeschmolzen, sodaß Kugel, Röhre und Trichter ein Stück bilden. Die Röhre liegt auf einer Gradleiter (Skala) und ist nebst dieser durch Klammern oder dergl. auf einer hölzernen Unterlage befestigt, welche aus zwei, am unteren Ende (siehe Abbildung) mittels Scharnier verbundenen Brettchen besteht, deren oberes mit Hilfe einer Stütze und Schraube leicht schräg gestellt und in dieser Lage erhalten werden kann.

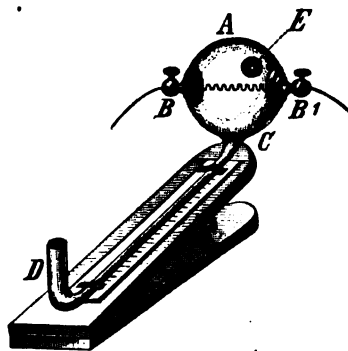


Fig. 153. Elektrisches Luftthermometer.

Zur Ausführung des Versuchs bringt man in den Trichter D einige Tropfen gefärbte Flüssigkeit (Wasser oder Weingeist), giebt der Glasröhre durch schräge Stellung des oberen Brettchens eine geringe Neigung gegen den Horizont — je nach der Neigung steigt die Flüssigkeit mehr oder minder hoch in der Röhre, was bequem an der Gradteilung abgelesen werden kann — und verschließt die Öffnung E mittels des Stöpsels; ist letzteres genau gemacht, so ist die Kugel durchweg luftdicht verschlossen, da ja auch nach unten hin ein Verschluss durch die Flüssigkeit hergestellt worden, und somit muß die geringste Temperatur-Veränderung, welche die innerhalb oder außerhalb der Kugel befindliche Luft trifft, an dem Stande der Flüssigkeit in der Röhre sich bemerkbar machen. Wird nun das Luftthermometer in den Stromkreis eingeschaltet, d. h. die eine Klemmschraube durch das hier (B) eingeklemmte eine Ende des Schließungsbogens (starker Draht) mit der inneren oder positiven Belegung, die andere Klemmschraube (B¹) durch das zweite Ende des Schließungsbogens mit der äußeren oder

negativen Belegung der Batterie (Flasche) leitend verbunden, so geht der Entladungsschlag durch den spiraligen Draht. Hierbei wird der Draht erwärmt und giebt die entwickelte Wärme sogleich an die ihn umgebende Luft (in der Kugel) ab, sodaß diese — da bekanntlich Wärme eine Ausdehnung der Körper bewirkt — sich ausdehnt und demzufolge die Flüssigkeit in der engen Röhre vor sich herschiebt; man nimmt mithin ein Sinken der Flüssigkeit in der Röhre (nach dem Trichter D hin) wahr. Je stärker die Erhitzung des Drahtes und damit die Ausdehnung der Luft war, desto weiter wird die Flüssigkeit herabgetrieben; aus dem Grade des Sinkens der Flüssigkeit kann demnach auf die entwickelte Wärmemenge geschlossen werden.

Der Apparat lehrt aber noch mehr: die Erwärmung oder Erhitzung des Drahtes ist um so größer, je dünner derselbe ist und je schlechter er leitet oder — mit anderen Worten — je mehr er dem Durchgang der Elektrizität Widerstand leistet; die in einem Draht erzeugte Wärmemenge ist sonach dem Leitungswiderstand des Drahtes direkt proportional, d. h. sie wächst oder fällt in gleichem Verhältnis mit dem Leitungswiderstand. Dies zeigt sich an dem stärkeren oder geringeren Fallen der Flüssigkeit. So findet das Sinken der letzteren bei Anwendung des gutleitenden Kupferdrahtes in weit geringerem Maße statt als bei Eisendraht. Ebenso kann man durch dieses Instrument erfahren, wieviel Elektrizität zu gleicher Wirkung bei verschiedenen Metallen erforderlich ist. Rieß hat gefunden, daß man, wenn Eisen, Neusilber, Platin, Palladium, Messing, Silber und Kupfer — vorausgesetzt, daß die von den Metallen verwendeten Teile sämtlich gleichlang und gleichdick sind — durch einen Entladungsschlag zum Glühen gebracht werden sollen, bei Kupfer 6mal soviel Elektrizität braucht als bei Platin, bei Silber nur 5mal soviel; Kupfer leitet also 6mal soviel Elektrizität als ein gleichgroßes Stück Platin. Messing leitet $2\frac{1}{2}$ mal besser als Platin, Palladium $1\frac{7}{10}$ mal so gut, dagegen leitet Neusilber schlechter als Platin.

Bei den Rieß'schen Versuchen wurden ferner durch einen und denselben Draht bezw. Schließungsbogen nacheinander verschiedene und verschieden stark geladene Batterien — also verschieden große Elektrizitäts-Mengen — entladen und die zur Anwendung gelangenden Elektrizitäts-Mengen in der bekannten Weise mit Hilfe einer Lane'schen Maßflasche, deren Kugeln 2,26 mm voneinander abstanden, gemessen. Dabei ergab sich, daß die Verschiebungen der Flüssigkeit und demnach die Erwärmungen (Temperatur-Erhöhungen) des Drahtes in demselben Verhältnis zunahmten wie die Quadrate der Ladungen; die hervorgerufenen Erwärmungen sind somit den Quadraten der benutzten Elektrizitäts-Mengen direkt pro-

portional. Wurde z. B. eine Batterie von drei Flaschen das eine Mal mit der Elektrizitäts-Menge 4, ein anderes Mal mit der Menge 8 geladen, so standen die bei der Entladung sich zeigenden Temperatur-Erhöhungen in einem Verhältnis wie 1 zu 3,9, also nahe wie 1 zu 2×2 . Oder ergab bei einer anderen Versuchreihe eine bestimmte, auf zwei Flaschen verteilte Elektrizitäts-Menge ein Sinken der Flüssigkeit (Depression), also auch eine Temperatur-Erhöhung um 3, so zeigte sich bei der doppelten Elektrizitäts-Menge die Depression 13,4, bei der dreifachen Menge die Depression 26,8.

Die Versuche lassen sich aber auch in noch anderer Beziehung anstellen, indem man nämlich denselben Draht (Schließungsbogen) und dieselbe Ladung (Elektrizitäts-Menge) beibehält, die letztere jedoch bei den einzelnen Versuchen auf eine verschieden große Anzahl von Flaschen — oder, was dasselbe besagt, auf verschieden große Belegung — verteilt. So erzielte man bei Entladung einer auf zwei gleichgroße Flaschen verteilten Elektrizitäts-Menge eine Depression der Flüssigkeit um 13,4 Skaleneinheiten, bei Verteilung derselben Ladung auf vier bezw. sechs solcher Flaschen dagegen nur eine Depression von 6,4 bezw. 5,2. Da nun das Sinken der Flüssigkeit dasselbe besagt wie Erhöhung der Temperatur oder Erwärmung des Drahtes, so ersehen wir aus den eben mitgeteilten Versuchs-Ergebnissen, daß sich die entwickelten Wärmemengen bei gleicher Ladung nahezu umgekehrt wie die Größe der Batteriebelegungen verhalten, auf welche die Ladung verteilt ist. Während also die in demselben Draht bewirkten Erwärmungen den Quadraten der benutzten Elektrizitäts-Mengen oder Ladungen direkt proportional sind, so sind sie der Größe der Batteriebelegung umgekehrt proportional.

Somit hätten wir die wichtigen Gesetze besprochen, welche Rieß mit Hilfe seines Instruments ermittelte. Zugleich aber zeigen diese Versuche, daß die in einem elektrifizierten Körper (Batterie) angehäuften potentiellen Energie — d. h. das Vermögen oder die Kraft des Körpers, vermittelt der in ihm aufgespeicherten Elektrizität Arbeit (Anziehung etc.) zu leisten — bei der Entladung nicht verloren geht, sondern nur in eine andere Kraft oder Energie, nämlich in Wärme bezw. mechanische Arbeit umgewandelt oder umgesetzt wird. Gewissermaßen im umgekehrten Sinne ging eine Umwandlung von Energie beim Laden der Flaschen vor sich. Gesah dies z. B. durch eine von uns gedrehte Influenzmaschine, so wurde die von uns geleistete mechanische Arbeit in Elektrizität umgesetzt, und mit dieser mechanischen Arbeit läßt sich nun jene Wärme vergleichen, welche beim Entladen der Flaschen in Luftthermometer sich bemerkbar macht. Wir sehen also auch hier das allenthalben in der Natur auftretende und

von uns schon in der „Einleitung“ erwähnte Gesetz von der Erhaltung der Kraft (Energie), nach welchem nichts von der vorhandenen Kraft wirklich verloren geht, zur Geltung gelangen.

2. Schmelzen und Verbrennen dünner Metallstreifen z. Ersetzen wir, indem wir zu Versuch 1) zurückkehren, den feinen Eisen- oder Platindraht durch einen mit Gold oder Silber übersponnenen Seidenfaden und leiten durch diesen den Entladungsschlag, so können wir die überraschende Beobachtung machen, daß das Gold infolge der erzeugten Hitze schmilzt und verflüchtigt, wogegen der Seidenfaden unverletzt bleibt. Dies kommt daher, daß die Seide ein Isolator ist, welcher von der Elektrizität gar nicht berührt wird, und daß das Schmelzen und Verflüchtigen des Metalls in einer so kurzen Zeit vor sich geht, daß während derselben ein Verbrennen des Fadens nicht möglich ist. Hält man ein Stück weißes Papier bei der Entladung an den Faden, so rufen die Golddämpfe auf demselben einen breiten braunen Streifen hervor.

Schneidet man aus dünnem Stanniol ein etwa 1 mm breites und 3 bis 5 cm langes Streifchen, befestigt dieses an den Kugeln des Henley'schen Ausladers und leitet den Schlag eines Apparats, der gar nicht stark zu sein braucht, hindurch, so wird das Zinn verbrannt resp. verflüchtigt und der Dampf oxydiert, und das nun gebildete Zinnoxyd erscheint in leichten weißen, wie Spinnweben in der Luft schwebenden Fäden und Wölkchen.

3. Einschmelzen des Goldes in Glas. Zu diesem Versuch läßt man vom Buchbinder auf einen etwa 9 cm langen und 1,5 bis 2 cm breiten ebenen Glasstreifen, und zwar längs der Mitte desselben, einen 3 mm breiten Streifen Blattgold, der aber an beiden Enden sich verbreitert und die ganze Breite des Glases einnimmt, auflegen. Wer die Arbeit selbst machen will, thut dies in der Weise, daß er das Blattgold zwischen zwei Blätter glattes Papier bringt, nun mit einem scharfen Messer einen 3 mm breiten Streifen schneidet, dann das obere Papier sorgsam abhebt und statt dessen einen gleichlangen, 1,5 bis 2 cm breiten, angehauchten Glasstreifen auflegt, sodaß das Gold der Länge nach auf diesem verläuft. Nachdem auch das zweite Papierblatt durch einen Glasstreifen ersetzt resp. das Gold beiderseits mit Glasstreifen bedeckt worden, bringt man das Ganze zwischen zwei Tuch- oder Filzlappen, deren einer an beiden Enden mit Stanniol belegt ist, in eine kleine Presse. Diese, ähnlich einer Kartenpresse, besteht aus zwei Brettchen und zwei oder vier hölzernen Schrauben, welche letztere zugleich als Füße dienen. Das eine untere Brettchen ist an zwei gegenüberstehenden Seiten mit Stanniol beklebt, welcher nach oben über die Kante geht, also etwas auf die obere Fläche des Brettchens übergreift, damit er hier mit

dem Stanniol, welcher an den Enden des nun zwischen beide Brettchen zu legenden Päckchens (Zilzlappen) sich befindet, zusammenlötht und somit eine leitende Verbindung — durch Stanniol und Goldstreifen — von einer Seite der Presse zur gegenüberstehenden hergestellt wird. Um nun die ganze Vorrichtung in den Stromkreis einschalten zu können, werden auf den beiden mit Stanniol beklebten schmalen Seiten des unteren Brettchens je ein Drahtbogen eingeschlagen. Verbindet man nun, nachdem das Glaspäckchen in die Presse gelegt und die Schrauben mäßig angezogen worden, den einen Drahtbogen mit der äußeren Belegung der Flasche oder Batterie, den anderen mittels des einfachen Ausladers mit dem Zuleitknopf derselben, so bewirkt der durch die Vorrichtung gehende Entladungsschlag, welcher nicht besonders stark zu sein braucht, ein Einschmelzen des Goldes auf dem Glase, es erscheint als Goldpurpur; meistens aber werden die Gläser dabei zertrümmert.

4. Bligröhren. Auch dieser „Schmelzungs-Versuch“ sei hier erwähnt. Bekanntlich nennt man die hohlen, verschieden gekrümmten, verästelten Röhren, welche zuweilen (im Freien) im Sand zu finden und, während sie infolge zusammengebackener Quarzkörner ein rauhes Äußeres haben, innen meist völlig verglast sind, Bligröhren, weil sie als Erzeugnisse des in den Sandboden einschlagenden Bliges angesehen werden. Sie können ja künstlich hervorgerufen werden, indem man sehr starke Entladungen auf feinen Sand wirken läßt. Bequemer vermag man sie jedoch herzustellen, wenn man statt des Sandes gewaschene und wieder ordentlich getrocknete Schwefelblumen verwendet und zwar, nach Kollmann, in folgender Weise. Man durchbohrt den Boden eines Trinkglases in der Mitte, kittet in die erhaltene Öffnung einen glatt abgeschliffenen resp. eben gefeilten Draht, welcher genau an der inneren Bodenfläche des Glases enden muß, füllt in das Glas bis zu einer Höhe von 3—5 cm Schwefelblumen, rüttelt diese fest und bedeckt sie mit einer in das Glas passenden runden Glasscheibe, welche ebenso wie der Glasboden durchbohrt und mit einem an der unteren Fläche der Scheibe genau abschneidenden Draht versehen wird. Die beiden Drähte werden nun in bekannter Weise in Verbindung mit den beiden Belegungen der Batterie gebracht und nach erfolgter Entladung, welche übrigens stark sein muß, kehrt man das Glas um, löst durch eine leichte Erschütterung die Schwefelblumen von demselben und bringt sie vorsichtig auf Papier. Man sieht nun mehr oder minder lange und verästelte Röhren, auf deren Innenseite Schmelzung sichtbar ist.

Zündungs-Versuche.

Schon mit dem einfachen Funken des Konduktors gelingt es, Spiritus, Äther und Knallgas zu entzünden (s. S. 158—160); mit der weit stärkeren

Entladung der Leydener Flasche oder der Batterie jedoch vermögen wir nicht nur hinsichtlich dieser Versuche sicherer zum Ziel zu gelangen, sondern auch noch andere Experimente auszuführen.

5. Der Versuch zur Erläuterung der Wirkung des Blitzes und des Blitzableiters wird mit Hilfe der auf Seite 159 besprochenen elektrischen Pistole oder Kanone angestellt. Sie stellt das Haus dar; die Schlagweite in derselben darf nicht zu klein sein. Durch einen Draht (Fig. 154) wird sie mit der äußeren Belegung der Leydener Flasche und durch einen zweiten (a) mit der Kugel des scheerenförmigen Ausladers verbunden, von welcher außerdem ein Draht (b), welcher als der Blitzableiter zu betrachten ist, ebenfalls zur äußeren Belegung führt. Wird die zweite Kugel des Aus-



Fig. 154. Blitzableiter-Versuch.

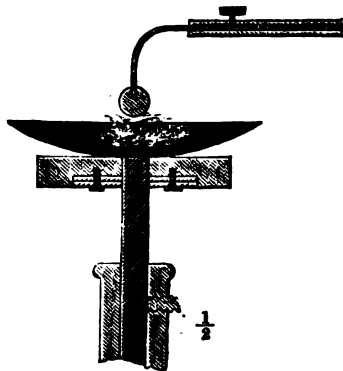


Fig. 155. Entzündung von Kolophonium.

laders dem Knopf der Flasche genähert, so geht die Entladung vor sich. Der Erfolg derselben hängt aber von der Beschaffenheit der Leitung ab. Die Elektrizität folgt nämlich dem stärkeren Draht; ist der Draht b (Blitzableiter) hinlänglich stark, so wählt sie diesen Weg, ist er dagegen dünn und der Draht a stark, so schlägt der Blitz in das Haus ein, d. h. der elektrische Entladungsschlag geht durch den Draht a und entzündet das Knallgas in der Pistole. Zu beachten ist noch, daß man den Draht b etwas kurz nehme und ihn beim Versuch gespannt halte.

6. Entzündung von Kolophonium. Dieser Versuch gelingt schon mit einem mäßigen Flaschenfunken. Das Kolophonium wird fein gepulvert, auf einen walnußgroßen Hauch Baumwollenwatte gestreut und durch wiederholtes Berzupfen und Zusammenballen derselben innig mit ihr gemengt. Die Entzündung, welche übrigens sehr leicht erfolgt, wird nun entweder in der Weise herbeigeführt, daß man die Baumwolle in lockerer Schicht auf eine mit der äußeren Belegung der Flasche leitend verbundene

Blech- oder Metallschale legt und die Kugel des Ausladers der Baumwolle auf 3 bis 6 mm Abstand nähert, worauf die Entladung erfolgt — oder daß man die Baumwolle in dem Schälchen auf das Tischchen des Henley'schen Ausladers (s. Fig. 155) und das Schälchen mit der äußeren Belegung der Flasche in leitende Verbindung bringt, während man die Kugel des anderen Zuleitstabes, welcher durch den gewöhnlichen Auslader (s. S. 183) mit der inneren Belegung in Verbindung steht, der Baumwolle wiederum bis auf den angegebenen Abstand nähert. Sollte der Henley'sche Auslader an seinen Leitungsstäben keine Kugeln haben, so kann man vielleicht in einen derselben eine kleine Kugel mit gebogenem Stiel einschrauben, wie es Abbildung 155 veranschaulicht. — Der Versuch läßt sich noch etwas abändern, indem man die mit Kolophonium gemengte Baumwolle um den Docht, welcher aber etwas lang sein muß, einer schon in Brand gewesenen Wachstertze wickelt und diese auf das Tischchen zwischen die Kugeln des Henley'schen Ausladers stellt: sie wird durch die Entladung entzündet. Dagegen wird eine an demselben Platz befindliche brennende Kerze infolge der durch den Entladungsschlag hervorgerufenen Lufterstreuung ausgelöscht.



Fig. 156. Elektrischer Zündapparat.

7. Entzündung von Schießpulver x. Um Schießpulver zu entzünden, schafft man sich zunächst wieder einen kleinen Apparat (Fig. 156), indem man in ein Klößchen von hartem Holz ein 10 bis 15 mm weites und 30 mm tiefes Loch bohrt und durch zwei seitwärts gebohrte kleine Löcher zwei 3 mm dicke und gut in letztere passende Messingdrähte einführt, sodas ihre Enden (im Innern des senkrechten Loches) etwa 5 mm voneinander entfernt bleiben. Nun wird das Loch ungefähr zur Hälfte voll Pulver geschüttet und unmittelbar auf dieses ein Korkpfropfen mäßig fest aufgesetzt, sodann an den einen Zuleitungsdraht ein 10 bis 15 cm langer nasser Bindfaden (Hanfschnur) gebunden und erst an diesem die Kette des Ausladers befestigt, welche zur äußeren Belegung der Batterie führt; die Entladung geschieht in der gewöhnlichen Weise. Die Einschaltung der nassen Schnur ist nötig, um die Entladung zu verzögern, denn sonst würde der Funke mehr von mechanischer als zündender Wirkung sein, er würde das Pulver gewaltfam auseinander schleudern, aber nicht entzünden.

Wie Schießpulver, so kann man auch Schießbaumwolle und noch leichter ein Gemenge von chlorsaurem Kali und Schwefelantimon in Brand setzen. Zur Entzündung von Schießbaumwolle genügt schon der vierte Teil der zur Entzündung von Schießpulver erforderlichen Ladung; nur hat

man darauf zu achten, daß der Stoff auch zwischen die Drähte kommt und nicht bloß über denselben liegt.

Das erwähnte Gemenge von Chlorsaurem Kali und fein zerriebenem schwarzen Schwefelantimon ist mit größter Vorsicht herzustellen und zu behandeln, da es höchst explosiv ist. Man bereitet es — und zwar nie mehr, als man gerade braucht —, indem man ein wenig mit Alkohol befeuchtetes Chlorsaures Kali fein zerreibt und nach völligem Trocknen mit $\frac{1}{2}$ Gewichtsteil Schwefelantimon, das ebenfalls fein zerrieben worden, auf einem Blatt Papier mittels einer Federsahne vorsichtig mischt; keinesfalls nehme man zunächst die Mischung der beiden Stoffe vor und reibe sie nun erst, denn die Explosion des Gemenges kann schon durch die bloße Reibung oder einen Schlag herbeigeführt werden; aus gleichen Gründen der Vorsicht mische man die beiden Substanzen nach dem Reiben nicht im Mörser, sondern auf Papier. Übrigens kann man dem Gemenge einen geringen Zusatz von gepulvertem Graphit geben. Das fertige Gemenge wird in den beschriebenen Zündapparat (Fig. 156) gebracht, sodaß es die beiden, nicht ganz 1 mm voneinander entfernten Drahtenden bedeckt, und dann Schießpulver aufgeschüttet; das Aufsetzen eines Pfropfens ist nicht erforderlich. Zur Entzündung der Masse genügt eine ganz schwache Ladung.

Derjelbe Zündsatz und die auf gleiche Weise bewirkte elektrische Entladung (Zündung), also das Anzünden von Sprengschüssen mittels des elektrischen Funkens, werden aber auch zu Sprengungen im großen Maßstabe benutzt. Es erscheint eigentümlich, daß, trotzdem bereits B. Franklin im vorigen Jahrhundert durch seine Untersuchungen und Beobachtungen die Möglichkeit einer Verwendung der elektrischen Zündung zu praktischen Zwecken erkannt hatte, erst in unserem Jahrhundert — fast 100 Jahre später — dahin zielende größere Versuche angestellt wurden. Eröffnet wurden diese durch den schon früher erwähnten Snow Harris, welcher im Jahre 1823 mittels isolierter Leitungsdrähte Schießpulver entzündete, aber erst Shaw wandte 1831 den aus einer Glas-Elektrifiziermaschine gewonnenen elektrischen Funken in Amerika zur Felsensprengung an, und Thomson verfuhr (1843) dementsprechend in Schottland. Fortgesetzt wurden diese Versuche bei uns mit Erfolg namentlich von Gäßmann (1842), welcher den Minen-Zündmaschinen eine praktische Einrichtung gab, und den als Vervollkommer der Elektrifiziermaschinen bekannten Wiener Mechaniker Karl Winter, welcher die Versuche i. J. 1845 sogar auf einer fast 5000 Meter langen Strecke der Semmering-Bahn unternahm. Gerade der Umstand, daß die elektrische Zündung aus ungemein weiter Entfernung und dabei viel sicherer und schneller wirkt als die Zündung vermittelt besonders präparierter Zündschnüre, bietet einen schwerwiegenden Vorteil

gegenüber anderen Zündungsverfahren. Dazu kommt noch, daß gleichzeitig — und ebenfalls bei der großen Entfernung — mehrere Schüsse sicher mittels des elektrischen Funkens abgebrannt werden können, daß die elektrische Zündung somit durchgreifendere, mächtigere Wirkungen im Gefolge hat als andere Zündungen. Daher wendet man sie in neuerer Zeit häufig an zum Entzünden von Minen und damit zum Sprengen von Felsen, von unter Wasser befindlichen Rissen, von Gesteinmassen in Bergwerken, von alten Mauern, zum Ausroden von Wurzelstöcken, ferner zum gleichzeitigen Anzünden vieler Flammen, Raketen u. s. w., also auch für militärische Zwecke. Die zu solchen elektrischen Zündungen dienenden Elektrifiziermaschinen müssen natürlich leicht tragbar, möglichst wenig Raum einnehmend, dauerhaft gebaut und gegen die nachteilige Feuchtigkeit der Luft geschützt (abgeschlossen) und mit Kondensator (Leydener Flaschen) verbunden sein; um sie dauerhafter zu machen, ersetzt man die leicht zerbrechlichen Glasteile der gewöhnlichen Elektrifiziermaschine und der Kondensatoren durch Teile aus vulkanisiertem Kautschuk. Die älteste Konstruktion einer Minen-Zündmaschine für militärische Zwecke stammt aus dem Jahre 1855 und rührt von dem damaligen Major im österreichischen Geniestab Freiherrn von Ebner her. Sie bestand aus einer mit zwei Spiegelglascheiben ausgestatteten Reibungs-Elektrifiziermaschine und einer Leydener Flasche, welche durch diese geladen wurde und deren Belegungen durch Drehung eines metallischen Winkelhebels mit der Leitung verbunden werden konnten. Fünf Jahre darauf wurde der Apparat kompender und leichter tragbar gebaut, später traten noch einige Abänderungen auf, und 1874 wurde bei der österreichischen Armee z. B. ein Apparat eingeführt, mit welchem man bis 300 Minen gleichzeitig entzünden konnte.

Als Zündmasse wird, wie erwähnt, auch bei diesen großen Versuchen ein aus Schwefelantimon und chlorsaurem Kali bestehendes Pulver benutzt, welches gegenüber dem früher verwendeten, aber hinsichtlich des Entzündens durch den elektrischen Funken (direkt) sich unsicher erweisenden Schießpulver und sonstigen Mischungen sich bewährt hat. Füllt man jenes Pulver in einen Zünder, in welchen die beiden Enden der elektrischen Leitung führen, so entzündet es sich sofort bei der elektrischen Entladung und gleichzeitig auch das Sprengschießpulver, welches den Zünder mittels einer Patrone umgibt.

Das Anzünden von Sprengschüssen vermittelt galvanisch erglühender feiner Drähte wird in einem späteren Abschnitt zur Besprechung gelangen. Hier möge nur noch an eine großartige, am 10. Oktober 1885 ausgeführte unterseeische Felsprengung, wie sie in größerem Maßstabe wohl noch nie stattgefunden, erinnert sein. Es handelte sich bei dem Unternehmen

darum, für den Hafen von New-York eine zweite ungefährliche Zufahrtstraße vom Meere her zu schaffen. Durch den zwischen Long-Inland und dem Festland befindlichen Meeresarm (East-River), über welchen die neue gewaltige Hängebrücke nach Brooklyn sich spannt, war zwar dies Fahrwasser bereits gegeben, allein es war bei dem sogenannten Höllenthor für die Schifffahrt sehr gefährlich wegen einiger Felsenriffe, deren eines (das von Hallet's Point) schon 1876 mittels Dynamit ausgesprengt worden; an dem obengenannten Tage aber wurde durch eine neue, seit 1875 vorbereitete Sprengung der für die Schifffahrt besonders hinderliche Flood Rock, ganz nahe der Stadt, und damit das Hindernis beseitigt. Um die Sprengung auszuführen, hatte man einen 60 Fuß tiefen Schacht mit zwei Stollensystemen unter Wasser durch das Riff getrieben und mit 13 000 Sprenglöchern versehen. Zur Füllung der letzteren verwendete man Patronen von sogenanntem Raclarock-Pulver — einer Mischung von Kaliumchlorat und Dinitrobenzol —, in welchen kleine Dynamit-Patronen und in diesen noch kleinere Knallquecksilber-Patronen eingebettet waren; sämtliche Patronen standen vermittelst Drähte miteinander in Verbindung. Nachdem die vom Ingenieur Newton geleiteten Arbeiten so weit gefördert waren, wurden sämtliche Patronen, zu deren Herstellung man 240 000 Pfund des genannten Pulvers und 75 000 Pfund Dynamit gebraucht hatte, an dem angegebenen Tage in einem Augenblick durch einen einzigen elektrischen Funken entzündet. Die Explosion war eine vollständige: sie legte eine Felsmasse von 6 Millionen Kubikfuß nieder.

D. Physiologische Wirkungen.

(Wirkungen auf den tierischen und menschlichen Körper.)

Die Wirkung der Batterie- oder Flaschen-Entladung auf unseren Körper entspricht der der Entladung des Konduktors einer Elektrifiziermaschine, nur in erheblich verstärktem Maßstabe. Zwar ruft z. B. auch der vom Konduktor auf den genäherten Fingerring überspringende Funke an der getroffenen Stelle eine eigentümliche Empfindung oder einen stechenden Schmerz hervor; entladet man jedoch eine Leydener Flasche, indem man sie an der äußeren Belegung faßt und mit der anderen Hand den Zuleitknopf der inneren Belegung berührt, so fühlt man bei mäßiger Ladung eine unangenehme Erschütterung der Handgelenke, bei stärkerer Ladung auch in den Armgelenken und bei starker Ladung sogar einen heftigen Schmerz in der Brust. Die Erschütterung (elektrischer Schlag) hängt aber nicht allein von der Größe der Ladung, sondern auch von der Empfindlichkeit des Nervensystems der den Entladungsschlag hinnehmenden Person ab.

In dieser Beziehung ergeben sich zwischen verschiedenen Personen ganz erhebliche Abweichungen; stets lasse man die nötige Vorsicht walten, immer hüte man sich vor derartigem Experimentieren mit zu starken Ladungen und mit Flaschen oder Batterien, deren Kraft man nicht kennt, und nie setze man andere Personen dem Entladungsschlage aus, bevor man nicht die Wirkung einer gleichstarken Ladung an sich selbst erfahren hat! Die Versuche können sonst nur zu leicht höchst unangenehme, schlimme Folgen haben. Denn wenn schon in gewöhnlichen Fällen infolge Reizung der Bewegungsnerven krankhafte Zuckungen der entsprechenden Muskeln u. a. veranlaßt werden, so kann eine die Zentralorgane des Nervensystems: Gehirn und Rückenmark, treffende starke Entladung Betäubung und event. den Tod (durch Nervenlähmung) herbeiführen, wie es ja auch vielfach bei Blitzschlag geschieht.*) Ist es doch früher selbst mehreren Gelehrten — so Professor Lillberg in Greifswald, Prof. Hermbstädt in Berlin — begegnet, daß sie, die nötige Vorsicht außer Acht lassend, während der Vorlesung infolge des Schlages der Batterie niederstürzten und daß stundenlange Ohnmacht und monatelange Lähmung einer Seite, durch welche der Schlag gegangen, die Folge war. Kleinere Thiere, wie Kaninchen, Vögel u. a., vermag man daher sehr leicht zu töten, indem man das Ende der Wirbelsäule derselben mit der äußeren Belegung der Flasche (Batterie) in leitende Verbindung setzt und den einen Knopf des scheerenförmigen Ausladers (Fig. 138) auf den Kopf des Tieres hält, den anderen dagegen rasch dem Zuleitknopf der Flasche (innere Belegung) nähert, so daß der Entladungsschlag durch Gehirn und Rückenmark geleitet wird. Die ersten Tötungsversuche mit kleinen Vögeln u. wurden im vorigen Jahrhundert von Rollet angestellt.

Der elektrische Blumentopf. In alten physikalischen Kabinetten fand oder findet man nicht selten einen künstlichen Orangenbaum mit Früchten in einem aus Pappe gefertigten Blumentopf. Die sonderbare Vorrichtung diente dazu, einem Unkundigen unversehens einen Schlag zu erteilen. In dem Blumentopf ist eine Verstärkungsflasche verborgen, oder besser: man hat einen Glasbecher von der Form eines Blumentopfes — oben weiter als unten — zu dem Zweck verwendet und außen mit roter Farbe angestrichen. Der Draht der Flasche ist oben, wo die innere Belegung aufhört, durch eine Pappscheibe befestigt und diese ist mit Harz übergossen,

*) Eine soeben (Anfang März 1887) aus New-York hierher gelangte Nachricht besagt, daß die von der gesetzgebenden Körperschaft des Staates New-York zu dem Zweck: über die geeignetste Art des Vollzuges der Todesstrafe zu berichten, eingesetzte Kommission nach eingehender Prüfung empfohlen habe, an Stelle des Stranges die elektrische Batterie zu setzen; denn dieser Strafvollzug sei humaner, weil vollkommen schmerzlos, und zugleich sicherer, weil der Tod augenblicklich eintrete.

sodasß letzteres vermöge seiner dunklen Farbe allenfalls die Erde des Blumentopfes vorstellen kann. Der Draht, welcher die innere Belegung mit der Elektrifiziermaschine verbindet, ist mit grüner oder brauner Seide umwickelt, und daran sind einige künstliche Blätter und oben auch ein paar solcher Früchte befestigt; doch läßt sich dies in verschiedener Weise anordnen. Indem man nun einer Person den Blumentopf (Leydener Flasche) in die Hand giebt, fordert man sie auf, daran zu riechen. Sobald sie aber die Nase an eine der künstlichen, mit der inneren Belegung in Verbindung stehenden Blüten oder Früchte bringt, geht die Entladung vor sich und die Person erhält einen Schlag, der auch bei schwacher Ladung um so heftiger wirkt, als er nicht nur unerwartet kommt, sondern auch einen empfindlichen Körperteil trifft. Das Experiment, welches nur der Absonderlichkeit wegen hier erwähnt wird, verursacht also bloß bei den Zuschauern Freude — Schadenfreude —, und der alte Göttinger Physiker Lichtenberg sagte bereits, „es sei ein sehr schönes, überraschendes Kunststück, wofür aber der Experimentator einmal ein paar Ohrfeigen (vom Gefoppten) bekommen“. —

Der Entladungsschlag läßt sich auch durch eine ganze Reihe von Personen fortpflanzen. Zu dem Zweck fassen sich die Personen, eine Kette bildend, an den Händen, die erste ergreift mit der freien Hand die Flasche an der äußeren Belegung, die letzte aber berührt mit ihrer freien Hand den Zuleitungsknopf der Flasche. In diesem Augenblick, sobald also innere und äußere Belegung leitend miteinander verbunden sind, empfinden Alle den Entladungsschlag und zwar, infolge der ungeheuren Geschwindigkeit der Elektrizität, nahezu gleichzeitig. Doch fühlen nicht alle Personen den Schlag in gleicher Stärke, vielmehr nimmt diese nach der Mitte der Kette hin etwas ab, weil ein Teil der Ladung in den Boden abgeleitet wird. Übrigens wird in dieser Beziehung die Art des Fußbodens von Einfluß sein; bei Anstellung des Experiments auf dem feuchten Erdboden oder in einem Zimmer zu ebener Erde wird ein größerer Teil der Ladung durch den Boden gehen als in einem eine oder zwei Treppen hoch gelegenen trocknen Zimmer. Immer aber erhalten die ersten und letzten Personen den stärksten Schlag; und ist die Ladung sehr kräftig, so muß man sich besonders hüten, der inneren Belegung resp. dem Zuleitstab zu nahe zu kommen, sobald der zwischen uns und der äußeren Belegung gelegene Teil des Fußbodens nur klein ist. Es empfiehlt sich daher auch, stark geladene Flaschen oder Batterien nicht unmittelbar zu handhaben, sondern der ersten Person eine mit der äußeren Belegung verbundene längere Metallkette (Metallstab) in die Hand zu geben, während die letzte Person den Zuleitungsknopf mittels eines in eine Kugel endigenden Metalldrahtes berührt. Se

länger die Menschenreihe ist, desto größer muß natürlich die Ladung sein, wenn alle Personen den Schlag empfinden sollen.

Haben wir in dem soeben Besprochenen eine Teilung oder Verteilung des Entladungsschlages auf mehrere Personen kennen gelernt, so sei noch angeführt, daß wenn man zur Entladung der Flasche mehrere Leiter zugleich anwendet, der Entladungsschlag im Verhältnis der Leitungsfähigkeit der letzteren sich teilt. Nimmt man z. B. einen starken Metalldraht, drückt dessen eines Ende mit der Hand an die äußere Belegung der Flasche und hält das andere Ende mit der zweiten Hand an den Zuleitungsknopf, so folgt der Entladungsschlag dem viel besser leitenden Metall, er geht mithin nicht durch den Körper und unliebsame Zufälle sind ausgeschlossen. Ähnlich ist die Wirkung, wenn man den Zuleitknopf einer auf dem Tische stehenden, nicht isolierten Leydener Flasche berührt: man verspürt keinen Erschütterungsschlag, aber wohl einen stechenden Funken. Dies erklärt sich dadurch, daß die äußere Belegung der Flasche durch den Tisch und die innere durch unseren Körper mit dem Boden in Verbindung steht und durch diese Körper eine allmähliche Entladung, ohne Schlag, erfolgt. Eine langsame Entladung der Flasche geht auch vor sich, wenn man an die äußere Belegung eine Metallkette hängt, deren Ende zwischen den Fingern mit einer feinspizigen Nadel zusammenhält und die Spitze langsam dem Zuleitknopf der Flasche nähert. Dieser Versuch zeigt übrigens recht schön die früher schon besprochene Spitzenwirkung; man sieht im Dunkeln die Nadelspitze leuchten (S. 154).

Noch eines interessanten, von Frick angegebenen Versuches sei hier gedacht. Man stellt die Kugeln c und d der Lane'schen Maßflasche (Fig. 144) bis auf nur $0,3$ bis $0,6$ mm einander gegenüber, verbindet den Konduktor der Maschine mit der Zuleitkugel d der Maßflasche, berührt die äußere Belegung der letzteren mit der einen und den Draht c mit der anderen Hand, während man die Verbindung dieses Drahtes mit der äußeren Belegung unterbricht; läßt man nun die Maschine anhaltend drehen, so folgen in äußerst kurzen Zeitabschnitten zahlreiche Entladungen aufeinander, deren Erfolg sich mit der Wirkung der zu medizinischen Zwecken dienenden Induktions-Apparate vergleichen läßt. Ganz wie bei dem oben angeführten Versuch kann auch hier eine Reihe von Menschen statt einer einzelnen Person eintreten.

Die physiologischen Wirkungen der Elektrizität, mit deren Untersuchung sich bereits der Hallenser Gelehrte Kraehenstein im vorigen Jahrhundert beschäftigte, waren es auch, welche zuerst praktischen Zwecken dienten. Nachdem Kraehenstein im Jahre 1744 die ersten Heilveruche, und zwar die Wiederherstellung eines gelähmten Fingers, durch Elektrifizieren unternommen

hatte und einige andere Gelehrte — Fallabert in Genf, Sauvage in Montpellier u. A. — großartige Erfolge erzielt haben wollten, wurde die Elektrizität bald als ein allgemeines Heilmittel angesehen und angewendet. Die Folgen der Übertreibung blieben nicht aus. Erst nachdem Fachmänner, wie Rollet und B. Franklin, auf die Auswüchse solchen Beginnens aufmerksam gemacht, lenkten die Bestrebungen in richtigere Bahnen ein. Statt der starken Entladungsschläge wurden mäßige Erschütterungen und schwache Funken benutzt und damit bei Nerven- und Muskellähmung, Rheumatismus, Fallsucht (Epilepsie), ebenso auch in Fällen der Wiederbelebung Scheintoter bemerkenswerte Resultate erreicht. Immerhin aber konnten die Kurversuche nur zum Teil befriedigen, und deshalb kehrte man sich mehr und mehr von den einschlägigen Experimenten mit Elektrifiziermaschine und Leydener Flasche ab, besonders nachdem der Galvanismus und später die Induktions-Elektrizität entdeckt worden. Unsere Zeit benutzt nur noch den galvanischen und den faradischen oder induzierten Strom zur Einwirkung auf den menschlichen Körper, als Heilmittel (Galvanisation und Faradisation) — ein Gebiet, auf das wir später zu sprechen kommen.

E. Magnetische Wirkung.

Daß die elektrische Entladung auch magnetisierend wirkt, zeigt folgender einfacher Versuch. Eine enge, 5—10 cm lange Glasröhre wird mit einem dünnen, gut übersponnenen Kupferdraht umwickelt, der letztere auf der Röhre noch gefirnisset, am oberen und unteren Ende desselben ein dickerer Draht, den man zu einem Haken umbiegt, angelötet und in die Röhre eine gleichlange unmagnetische, stählerne Stricknadel geschoben. Entladet man nun eine mäßige Flasche durch die Drahtspirale, so wird die Nadel magnetisch. Diese Erscheinung bietet zugleich eine Erklärung der oft gemachten Wahrnehmung, daß stählerne Geräte u. dergl. infolge eines Blitzschlages magnetisch werden.

F. Chemische Wirkungen.

Eine eigenartige chemische Einwirkung der Elektrizität auf den Sauerstoff der Luft lernten wir schon auf Seite 164 kennen, sodaß hier auf jenen Abschnitt hingewiesen sein möge. Die dort besprochene Bildung von Ozon aus dem Sauerstoff der Luft, bei welcher der merkwürdige, an Phosphor erinnernde „elektrische Geruch“ auftritt, läßt sich sichtbar machen, wenn man der Spitze, durch welche die Elektrizität ausströmt, ein Stückchen mit jodkaliumhaltigem Stärkekleister überzogenes Papier nähert: das Ozon

zerlegt nämlich das Jodkalium und das freigewordene Jod färbt die Stärke blau.

Elektrische Ringfiguren oder Drydringe. Das Vorhandensein von Sauerstoff (Drygen) ist auch notwendig zur Bildung kreisförmiger Farbenringe auf einer Metallplatte mit Hilfe des elektrischen Funkens; es geht hierbei, wie schon auf Seite 198 hervorgehoben wurde, ein chemischer Prozeß vor sich, und deshalb haben wir der Erscheinung an dieser Stelle zu gedenken. Wir folgen dabei dem Bericht über neuere, von Reitlinger und Fr. Wächter übernommene diesbezügliche Untersuchungen (Wiedem. Annalen XII, S. 590 ff.).

Die Vorbedingung zur Hervorrufung der Ringfiguren besteht also darin, daß man von einer feinen Metallspitze elektrische Funken auf eine polierte Metallfläche überschlagen läßt. Ist diese Platte der positive Pol, so erzeugen sich farbige Ringe mit dunklerem Zentrum. Während sich nun die Ringe vermöge Abreiben mit Kreidepulver leicht entfernen lassen, bleibt in der Mitte eine Veränderung der Oberfläche, und dieses dunkle Scheibchen erscheint bei Betrachtung durch das Mikroskop als wie mit ungemein vielen feinen Nadelstichen versehen; man nennt deshalb diese runde Stelle, welche durch Aufreißung des Metalles — eine Wirkung der Ausströmung der positiven Elektrizität — entsteht, die zentrale Aufreißungsscheibe. Zu betonen ist, daß die farbigen Ringe nur bei Vorhandensein von Sauerstoff entstehen, es sind demnach Drydringe; aber sie werden nicht durch den freien Sauerstoff der Luft, sondern durch die Zersetzung des in der Luft vorhandenen Wasserstoffes hervorgerufen, wie sich durch in vollständig getrodneteter Luft angestellte Versuche nachweisen läßt. Während auch diese Erscheinung, wie die oben erwähnte „Aufreißung“ an die positive Ausladung gebunden ist, bemerkt man bei gewöhnlichem Luftdruck in der zentralen Aufreißungsscheibe zahlreiche kleine blanke Scheibchen, sobald eine alternierende oder abwechselnde Entladung (vergl. Schluß des 17. Kapitels) eintritt. Diese Scheibchen müssen demnach von der negativen Elektrizität herrühren. Und wird der Luftdruck vermindert und die Platte der negative Pol, so vergrößern sich, unter Abnahme ihrer Anzahl, die blanken Scheibchen, ja schließlich erhält man nur eine einzige von einem Dryshaum umgebene Scheibe.

Interessant ist es, daß man, was im Anschluß hieran gleich erwähnt sein mag, bei Anwendung starker Induktions-Apparate zur Hervorrufung der Figuren farbige Ringe erzielt, welche sich von den Drydringen unterscheiden und Kondensations- und Aufstreuungsringe genannt werden. Sie bilden sich besonders schön, wenn die Entladung unter Anschluß der Drydation z. B. in Wasserstoffgas vor sich geht. Es zeigt sich auch hier

wieder die zentrale Aufreißungsscheibe und zwar metallrein, sodann ein je nach dem Spitzenmaterial verschieden gefärbter, aus von der Spitze herrührendem kondensirtem Metalldampf bestehender Ring und endlich ein dritter, grauer oder schwarzer, aus gröberem, mit Hilfe des Mikroskops erkennbaren, gleichfalls von dem Metall der Spitze herrührenden Teilchen bestehender Kreis. Die Losreißung derselben ist dem Anschein nach ebenfalls auf die positive Entladung zurückzuführen. — —

Die Elektrizität wirkt aber auch auf Wasser ein und zerlegt dasselbe in seine Grundbestandteile (Elemente Wasserstoff und Sauerstoff). Steckt man in zwei recht dünne, an dem unteren Ende rechtwinklig umgebogene Glasröhren je einen ebenso gebogenen Platindraht, feilt den Draht an der unteren Mündung der Röhre ab und schmilzt ihn hier mit derselben zusammen, sodas nur die Querschnitte frei bleiben, hängt beide Röhren in ein cylindrisches, etwa zur Hälfte mit Wasser gefülltes Glas und zwar so, das die umgebogenen Enden der Röhren bezw. die Querschnitte der Drähte einander zugekehrt sind, setzt man dann das obere Ende des einen Drahtes mit dem Konduktor und das des anderen Drahtes mit dem Reibzeug der Elektrifiziermaschine in Verbindung und dreht man die Maschine, so muß die entwickelte Elektrizität dem Draht nach- und durch das Wasser gehen und hierbei wird letzteres zersetzt. Dies erkennt man an den von den im Wasser befindlichen Drahtspitzen aufsteigenden Gasbläschen; und hat man die Einrichtung so getroffen, das man das Gas auffangen kann, so ergibt sich, das die eine Spitze reinen Sauerstoff, die andere Wasserstoff liefert.

Diese Zerlegung des Wassers in seine beiden Grundstoffe durch die Einwirkung elektrischer Schläge gelang zuerst (1789) Baets van Troostwyf und Deimann, welchen somit die Entdeckung von der Zusammensetzung des Wassers zuzuschreiben ist; sie vermochten auch mit Hilfe des elektrischen Funkens das entstehende Gasgemisch wieder zu Wasser zu vereinigen. Etwas später (1801) zersetzte Wollaston Salzlösungen, indem er, ähnlich wie bei dem vorherbeschriebenen Versuch, den Strom der Elektrifiziermaschine stetig durch seine Spitzen in die Flüssigkeit leitete. Ein dahingehender Versuch läßt sich in folgender Weise anstellen.

Man taucht einen Streifen Filtrierpapier in eine Lösung von Glaubersalz (schwefelsaures Natron), läßt denselben abtropfen, drückt ihn einen Augenblick auf trocknes Filtrierpapier, sodas er nur noch feucht erscheint, legt ihn nun auf ein Glasplättchen, färbt das eine Ende mittels eines Pinsels mit Kurkumainktur gelb, das andere mit Lackmustrinktur blau, setzt dann auf die blaue Stelle das Ende eines mit dem Konduktor der Elektrifiziermaschine in Verbindung stehenden Drahtes und auf die gelbe Stelle

das Ende eines mit dem Boden verbundenen Drahtes, und dreht man nun die Maschine, so wird das Lackmus rings um den Draht rot, die Kurkumastelle jedoch braun. Dies erklärt sich dadurch, daß das schwefelsaure Natron durch den elektrischen Strom in Schwefelsäure und Natron zerlegt worden ist und daß das Lackmusblau durch die erstere rot, das Kurkumagelb durch das Natron braun gefärbt wird. Einen Beweis für diese Färbungsvorgänge erhält man, sobald man reines Kurkumapapier in eine Lösung von Äthnatron und reines blaues Lackmuspapier in eine Säure taucht.

Die chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes (Elektrolyse u.) werden uns noch bei Besprechung der galvanischen Erscheinungen beschäftigen; hier muß jedoch noch erwähnt werden, daß die erste chemische Wirkung der Elektrizität der Hallenser Professor Joh. G. Krüger entdeckte, indem sich bei einem Versuch die von Funken getroffenen Stellen der roten Blumenblätter des wilden Mohns entfärbt zeigten. —

Ehe wir dieses Kapitel schließen, müssen wir noch einer neu entdeckten Wirkung der Elektrizität, nämlich des Einflusses, welchen die aus Spitzen ausströmende Elektrizität auf Rauch ausübt, gedenken. Bekannt wurde dieselbe durch Professor Lodge in Liverpool gelegentlich der von ihm angestellten Versuche.

Füllt man eine Glasglocke mit dem Rauch verbrannter anorganischer oder organischer Stoffe und befindet sich innerhalb der Glocke ein in eine Spitze oder besser in mehrere Spitzen auslaufender Metallstift, welcher mit einem Pol einer kräftigen Induktions- oder Reibungs-Maschine verbunden wird, während man den anderen Pol zur Erde ableitet, so zeigt sich kurze Zeit nach eingetretener Thätigkeit der die Elektrizitäts-Quelle bildenden Maschine, daß der Rauch unter der Einwirkung der aus den Spitzen ausstrahlenden Elektrizität sehr schnell flockenartig sich zu Boden und an die Wände setzt.

Diese merkwürdige, durch Einwirkung der inneren Fläche auf die elektrisch geladenen Rauchmoleküle zu erklärende Eigenschaft der Elektrizität hat — wie „der Elektrotechniker“ und nach ihm der „Humboldt“ (1886) weiter berichtet — einen Besitzer von Bleihüttenwerken, Walker in Chester, veranlaßt, den Versuch ins Große zu übertragen und zwar behufs schneller Kondensation (Verdichtung) der bekanntlich sehr schädlichen Bleidämpfe, zu deren Niederschlagung die Hüttenwerke bis jetzt nur die Fortleitung durch lange Kanäle und Kammern mit Erfolg anzuwenden vermochten.

Zwecks Ausführung des Versuchs wurde im rechten Winkel zu einem der Hauptrauchkanäle des Werkes aus aneinander gelegten Fässern ein Nebkanal gebildet, welcher an beiden Enden vermittelst Schieber abgeschlossen werden konnte und in dem in bestimmten Zwischenräumen ein-

ander gegenüberliegende Fenster angebracht waren; durch die Mitte des Kanals lief eine metallene Leitungstange, an welche, gegenüber den Beobachtungsfenstern, verschiedene Spitzen gelötet waren.

Der Versuch selbst wurde in folgender Weise angestellt. Man öffnete die Schieber, worauf der Rauch einströmte, während die Luft am anderen Ende des Kanals allmählich entwich. Sobald der Kanal mit dichtem Rauch gefüllt war, wurden beide Schieber geschlossen. Brauchte der Rauch in dem Falle, daß die Einwirkung von Elektrizität fehlte, 7 Stunden, um sich an den Wänden des Kanals niederzuschlagen, so war der ganze Kanal binnen sehr kurzer Zeit völlig rauchfrei, sobald man die Leitungstange des dicht mit Rauch erfüllten Kanals mit dem Pol einer starken Influenzmaschine, deren anderer Pol zur Erde abgeleitet war, verband: man konnte durch die Beobachtungsfenster wahrnehmen, wie der Rauch sich schnell in niederwirbelnden Flocken absetzte. Auch nachdem der Hauptkanal geschlossen war und der gesamte Rauch durch den nunmehr geöffneten Nebkanal abziehen mußte, wurde unter Einwirkung der Elektrizität erreicht, daß am Ausgangspunkt des Kanals der Rauch sich in flockenartigem Regen senkte, während im Innern bei dem stark zuströmenden Rauch diese Beobachtung natürlich unmöglich war.

Das Ergebnis des von Professor Lodge im Kleinen angestellten Versuchs war ein so günstiges, daß es auf dem Werke des Herrn Walker gelang, mittels zwei Elektrifiziermaschinen, welche durch einen besonderen Dampfmotor getrieben wurden, den Rauch aus 19 Feuerungen zu bewältigen. Welche Vorteile dieses Verfahren auch für andere Hüttenprozesse, z. B. bei Kondensation arsenithaltiger Dämpfe, bieten wird, dürfte leicht zu erkennen sein. Die Kosten der Einrichtung — bei welcher es wesentlich darauf ankommt, für die Elektrizität in dem Kanal möglichst viele und gleichmäßig verteilte Ausstrahlungspunkte zu schaffen — sind verhältnismäßig sehr gering gegenüber den Kosten für die Anlegung langer Kondensations-Kanäle, welche zudem nicht einmal völlig ihren Zweck erfüllen.

. Geschichtliche Bemerkungen zum 15. und 16. Kapitel. Die Entdeckungen und Erfindungen, welche während der ersten Jahrzehnte des vorigen Jahrhunderts auf dem Gebiete der Elektrizitätslehre gemacht wurden, lenkten, namentlich nachdem elektrische Versuche in Deutschland und Holland und anderen Ländern öffentlich (gegen Entgelt) angestellt worden, die allgemeine Aufmerksamkeit auf die Elektrizität: man elektrifizierte alles Mögliche, Menschen und Tiere, Pflanzen und leblose Dinge, um an ihnen die Wirkung der Elektrizität zu erfahren. Und nicht nur Fachmänner, sondern auch Laien beschäftigten sich damit. Unter diesen ist vor Allen der Dechant

des Domkapitels zu Kammin in Pommern, v. Kleist, zu nennen, da er bei seinen Versuchen eine der wichtigsten Entdeckungen machte. Dies geschah am 11. Oktober 1745, als er ein Medizinfläschchen durch Mitteilung — also nicht durch Reibung — zu elektrifizieren versuchte. Er steckte zu dem Zweck einen Nagel in das Gläschen und hielt ihn an den Konduktor der Elektrifiziermaschine; wie er aber den Nagel wieder herausnehmen wollte und berührte, bekam er einen derben Schlag. Die Wirkung dieses Schlages steigerte sich noch, wenn in das Fläschchen etwas Quecksilber oder Weingeist gebracht worden.

Herr v. Kleist schickte einen Bericht über die merkwürdige Entdeckung am 4. November an Prof. Lieberkühn in Berlin, am 28. November an den Diaconus Paul Swietlicki in Danzig, dann auch an Prof. Krüger in Halle und Prof. Winkler in Leipzig; Lieberkühn teilte die Nachrichten der Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Swietlicki der Danziger Naturforschenden Gesellschaft mit und Krüger gab ihnen in seiner „Geschichte der Erde“ (1746) weitere Verbreitung. Die Nachrichten enthalten Folgendes: „Wenn ein Nagel oder Messingdraht in ein kleines Arzneiglas gesteckt und elektrifiziert wird, so erfolgen besonders starke Wirkungen. Das Gläschen muß recht trocken und warm sein. Man kann es vorher mit Kreide abreiben. Thut man vorher ein wenig Weingeist oder Quecksilber hinein, so geht Alles noch besser von statten. Sobald das Gläschen von der elektrischen Röhre (d. h. dem Konduktor) weggenommen wird, so äußert sich der leuchtende Strahlenbüschel und man kann mit dieser brennenden Maschine über 60 Schritt weit im Zimmer umher gehen. Wird während des Elektrifizierens der Finger oder ein Stück Geld an den Nagel gehalten, so ist der herausfahrende Strahl so stark, daß Arme und Achseln davon erschüttert werden und man sollte kaum glauben, in welcher Stärke die Elektrizität gesetzt werden könne. Ist das Gläschen niedrig, sodaß sich die haltende Hand nicht in so großer Entfernung von dem Nagel befindet, so schlägt der Funke von selbst auf den nächsten Finger zu; dünne Gläser sind ein paarmal durch den heftigen Schlag zersprengt worden.“ Man sieht in diesen Worten Krüger's ganz die neugierige Verwunderung über das noch nicht Dagewesene in einer für uns beinahe drolligen Natürlichkeit ausgesprochen.

Fast gleichzeitig mit Kleist wurde dieselbe Entdeckung, und zwar ebenfalls durch Zufall, in Holland gemacht, von Cunäus und P. van Musschenbroek. Der Letztere, Professor in Leyden (1692—1761), stellte Versuche zwecks Elektrifizierung des in einer Glasflasche befindlichen Wassers an, um durch dieses (!) die Elektrizität länger in dem Glase zurückzuhalten; Cunäus, ein Privatmann in Leyden, beteiligte sich bei den Experimenten. Das

Wasser wurde in der Weise elektrifiziert, daß man einen Draht in das Glas steckte und ihn mit dem Konduktor in Verbindung brachte. Als nun Cunäus, der das Glas in der einen Hand hielt, den Draht mit der anderen Hand einmal herausnehmen wollte, erhielt er, ähnlich wie Kleist, einen erschütternden Schlag, sodaß er vor Schreck das Glas fallen ließ. Der Versuch wurde wiederholt, und Musschenbroef berichtete anfangs 1746 an Réaumur in Paris über die Entdeckung, bemerkte aber, daß er keinen zweiten solchen Schlag haben wolle, auch wenn ihm die Krone von Frankreich dafür geboten würde. Ähnlich äußerten sich andere Physiker, denn der Versuch wurde allenthalben wiederholt. Winkler in Leipzig empfand nach dem Schläge Konvulsionen im Körper, er befürchtete ein hitziges Fieber, denn „es lag ihm mehrere Tage wie ein Stein vor dem Kopfe“. Und seine Frau, die eine gewisse Neugierde nicht überwinden konnte, bekam eine solche Erschütterung, daß sie darnach kaum zu gehen vermochte. Bose in Wittenberg wünschte an dem Schläge zu sterben, damit sein Tod in den Annalen der Pariser Akademie verzeichnet würde.

Der Danziger Bürgermeister Gralath (1708—1767), welcher am 5. März 1746 den Versuch in gelungener Weise wiederholte und bessere Flaschen herstellte, verfolgte die Entdeckung weiter. Nicht nur, daß er 1746 als unabweisliches Erfordernis der Entladung die gleichzeitige Berührung des am Drahtende angebrachten Metallknopfes (Zuleitknopf) und der Außenseite der Flasche betonte — er erfand auch die elektrische Batterie, indem er die Zuleitungsdrähte mehrerer Verstärkungsflaschen miteinander verband, die letzteren in Wasser stellte und die Außenflächen derselben durch das Wasser mit seinem Körper in leitende Verbindung brachte, und versuchte bereits am 20. April des genannten Jahres einen Kreis von 20 Personen zu elektrifizieren. Dies geschah, indem die Personen durch gegenseitiges Anfassen oder durch sonstige Leitung miteinander zu einer elektrischen Kette verbunden wurden und die erste Person die elektrische Flasche in der Hand hielt, während die letzte den Zuleitknopf berührte. Der schon mehrfach erwähnte Abbé Nollet in Paris, welcher unter Anderem bereits mit Hilfe des Entladungschlages Gläser sprengte, Vögel und Fische tötete und — im Gegensatz zu Musschenbroef's Ansicht — das Wasser in dem Glase als Leiter, das Glas selbst jedoch als Isolator erkannte, elektrifizierte sogar 170 Personen gleichzeitig und zwar ohne daß er von Gralath's Versuch wußte. Der Leipziger Physiker Winkler hatte nach Verlauf der ersten Versuche Metall zur Verbindung der Innen- und Außenfläche der Flasche benutzt, indem er die Flasche auf einen Metallteller stellte und von diesem aus eine Metallkette dem Zuleitknopf näherte; bald jedoch, im Juli 1746, wählte er statt der Metallverbindung ebenfalls Wasser: er senkte drei große

Flaschen, deren Zuleitungsdrähte vereinigt worden, in die Pleiße. Trotz der Einfachheit dieser Batterie waren die Wirkungen ganz bedeutende, die überschlagenden Funken waren auf 200 Schritt sichtbar. Auch der französische Arzt Le Monnier — welcher fand, daß eine geladene Flasche bis 36 Stunden lang ihre Kraft behält, und darauf hinwies, daß zur Ladung der Flasche die ableitende Berührung der Außenseite und zur Entladung die Verbindung des im Inneren befindlichen Drahtes mit der Außenseite nötig sei — bediente sich des Wassers als Leitungsmittel, denn er leitete die Elektrizität durch Wasser und einen auf der Erde freiliegenden Eisendraht bis auf eine Entfernung von fast 4000 m. Nachdem der englische Gelehrte Watson 1747 die Wahrnehmung gemacht, daß die Kraft einer elektrischen Flasche von der Größe der mit der Hand oder mit einem anderen Leiter berührten Fläche abhängt, fehlte nur noch ein Schritt zur Vollendung der Flasche in der bekannten Form. Diesen that Dr. Bevis, indem er zunächst nur die Außenseite mit einer leitenden Belegung (Zinnfolie, Blei) versah, und bald darauf überzog Watson beide Seiten irdener Krüge mit Silberfolie. Die weiteren Abänderungen der Flasche waren nur unwesentlich.

Ehe Watson die beiderseits belegten Gefäße konstruierte, hatte Bevis und jedenfalls noch vor ihm der englische Mechaniker Smeaton (gest. 1792) Versuche mit einer beiderseits belegten Glastafel unternommen und durch sie kräftige Schläge erhalten. Mit Recht müßte man diese Glastafel die Smeaton'sche Tafel nennen*); es ist ihr jedoch die Bezeichnung Franklin'sche Tafel beigelegt worden, weil Benjamin Franklin die meisten seiner Versuche zur Erklärung der Wirksamkeit geladener Flaschen und Tafeln an belegten Tafeln anstellte. Franklin verfertigte auch eine zerlegbare Tafel, und auf Grund der daran gemachten Beobachtungen kam er zu dem Schluß, daß die Elektrizität auf der Oberfläche des Glases sich anhäufe, daß also das Glas der eigentliche Sitz der Elektrizität sei, während die metallischen Belegungen, die er früher als den Sitz derselben angenommen hatte, nur dazu dienten, „die elektrischen Kräfte aus allen Teilen des Glases zu sammeln“ und somit in entsprechender Weise wie die Panzer eines Magneten wirkten (1747). Die Ladung der Tafel bezw. Flasche erklärte er dahin, daß die eine Seite durch Mitteilung von Elektrizität elektrisch erregt wird und nun durch die isolierende Glasschicht hindurch auf der anderen Seite den entgegengesetzten elektrischen Zustand hervorruft; es werden demnach beide Flächen des Glases gleichstark und entgegengesetzt

*) Ebenso müßte man die Verstärkungsflasche Kleist'sche — und nicht „Leydener“ — Flasche nennen, weil v. Kleist die Entdeckung zuerst machte; die Bezeichnung „Leydener Flasche“ rührt von Rollet her, welchem die erste Nachricht über die Entdeckung aus Leyden zuging, und sein Vorschlag ist maßgebend geblieben.

elektrisch, und bei der Entladung der Flasche oder Tafel geht nur ein Ausgleich der beiden Arten Elektrizität vor sich. — Noch sei erwähnt, indem wir bezüglich Franklin's Theorie auf Seite 63 verweisen, daß er vermöge der letzteren zur Erfindung der auf Seite 190 besprochenen Kasladen-Batterie kam; ferner, daß Gralath bei seinen Versuchen im Frühjahr 1746 und ebenso Winkler, die Beobachtung machte, wie die Elektrizität, falls ihr mehrere Schließungskreise zu Gebote stehen, dem am besten leitenden den Vorzug giebt (siehe S. 213); endlich, daß Winkler zu derselben Zeit den elektrischen Ladungs-Rückstand (siehe S. 191) entdeckte, welchen später Gralath und der Engländer Wilson gleichfalls wahrnahmen, und daß Watson gelegentlich seiner Leitungsversuche am 24. Juli 1747 die Leitungsfähigkeit der Erde entdeckte.

Durch Kleist's Entdeckung war nicht nur die gelehrte Welt, sondern auch das größere Publikum in eine förmliche Erregung gekommen, welche lange nachhielt. „Wie ein Lauffeuer“ — so äußerte sich der berühmte Berliner Physiker Dove (1803—1879) im Jahre 1848 — „verbreitete sich die Nachricht von dieser merkwürdigen Entdeckung über Europa, auf allen Jahrmärkten sah man damals diese Apparate in Thätigkeit, in Frankreich noch heute*). Im Jahre 1845 habe ich in den Champs-Élysées bei den Julifesten mir noch für einen Sou einen Schlag geben lassen, aber er machte nicht mehr den ursprünglichen Eindruck. C'est drôle, sagte mein Nachbar in der Kette, das war Alles, von der Krone Frankreichs (vergl. S. 220) war nicht mehr die Rede.“

17. Dauer des elektrischen Funken.

Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Elektrizität.

Die ungemeine Schnelligkeit, mit welcher die elektrischen Entladungen, wie wir bei unseren Versuchen gesehen haben, vor sich gehen, hat von Anfang an allgemein in Verwunderung gesetzt, und die Gelehrten noch mehr als die Laien. Man ist daher stets bemüht gewesen, die Dauer des Entladungsfunkens einer elektrischen Flasche oder Batterie und die unglaublich kurze Zeit, in welcher die Elektrizität durch meilenlange Drähte sich

*) „Und in Danzig“ — so schrieb Zimmermann in der I. Auflage dieses Buches (1856) — „gleichfalls noch heute. Auf dem Dominicus-Markt steht man gewöhnlich eine oder ein paar altertümliche Elektrifiziermaschinen (Kugelmaschinen), wie ein Spinnrad gebaut und bewegt, nur statt der Spule mit Garn eine schwarze, mit Wech ausgegossene Glasugel und statt des Konduktors gleich eine ziemlich große Flasche davor. Die ehrlichen tschubischen Bauern, auch manche Sad- und Packträger, lassen sich da für einen Drummer (ein polnisches kupfernes Sechspfennigstück) einen Schlag geben.“

fortpflanzt, zu ermitteln; beide Zeiten aber sind so gering, daß die gewöhnlichen Hilfsmittel der Zeitmessung nicht einmal zur eigentlichen Wahrnehmung, wieviel weniger zu ihrer Messung ausreichen.

Hinsichtlich der Zeitdauer des elektrischen Funkens giebt man sich gewöhnlich Täuschungen hin. Der elektrische Funke, welcher zwischen einer Wolke und der Erde oder in noch größerer Länge zwischen zwei verschieden geladenen Wolken übersprang, erschien momentan in seiner ganzen Ausdehnung von einer halben, einer ganzen Meile, er war da und verschwand in einem unteilbaren Augenblick. Fragt man einen mit der Sache nicht Vertrauten, wie lange Zeit der Blitz — denn dieser ist doch nur ein elektrischer Funke — oder ein anderer Entladungspunkt geleuchtet habe, so wird die Antwort gewiß auf einige Sekunden lauten. Und doch beläuft sich thatsächlich die Zeitdauer nur auf einen einzigen Bruchteil einer Sekunde. Der Antwortende ist in einer Täuschung befangen, und dieser liegt der Umstand zu Grunde, daß das Auge von dem Funken einen mächtigen Lichteindruck bekommt, welcher zufolge seiner Stärke noch fortdauert, wenn gleich das Licht schon längst geschwunden ist. Einer ähnlichen Täuschung giebt sich das Kind hin, das mit einem glimmenden Span einen Kreis beschreibt und meint, einen wirklichen Feuerkreis vor sich zu haben. Einige andere Versuche werden uns weiteren Aufschluß bringen:

Quecksilbertropfen im Schein des Funkens. Wenn man aus einem Quecksilbergefäß mit sehr feiner Öffnung einen Quecksilberstrahl ausfließen läßt, so sieht man ihn bei Tages- oder Lampenlicht ununterbrochen, man glaubt nicht, daß er aus lauter voneinander gesonderten Perlen besteht, und es ist auch bei der größten darauf gerichteten Aufmerksamkeit unmöglich, dies wahrzunehmen; denn die den Strahl bildenden Perlen sind so außerordentlich klein und folgen in einer so großen Schnelligkeit aufeinander, daß sie dem Auge zusammenzuhängen scheinen — ähnlich wie der im Kreise geschwungene glimmende Span oder die glimmende Kohle einen ganzen Feuerkreis zu bilden scheint, obschon sie thatsächlich stets nur in einem Punkte des Kreises sich befindet, also nur einen Punkt desselben darstellt. Macht man nun den Versuch mit dem ausfließenden Quecksilber im Finstern und beleuchtet den Vorgang von Zeit zu Zeit durch einen elektrischen Funken, so sieht man in dem Moment des Erscheinens dieses Funkens das fließende Quecksilber als eine an dem Gefäß hängende stillstehende Perlenkette. Dies (erstmalig rein zufällig angestellte) Experiment lehrt, daß der elektrische Funke eine so außerordentlich kurze Zeit dauert, daß der fallende Tropfen in seiner Stellung überrascht wird durch die plötzlich erscheinende und eben so schnell verschwindende Beleuchtung. Das Experiment ist schwer zu beschreiben, man muß den Verlauf sehen, um es

zu begreifen. Die Tropfen fallen immerfort, einer folgt dem anderen, und zwar so schnell, daß man sie für zusammenhängend hält und der feine glänzende Quecksilberstrahl aussieht wie ein Stück einer gut polierten feinen Stricknadel, glatt und blank. Nun entzieht die Dunkelheit ihn unseren Augen, bis der elektrische Funke eintritt, und derselbe ergiebt sich als so kurz, so völlig ohne Dauer, daß keiner der Tropfen während der Zeit der Beleuchtung weiter rückt, sondern wirklich still zu stehen scheint. — Wie dieser, so lehrt auch der folgende Versuch, daß in schneller Bewegung begriffene Körper bei Beleuchtung durch den elektrischen Funken zu ruhen scheinen.

Kreisende Scheibe im Schein des Funkens. Man läßt eine große runde Pappscheibe mit gleichbreiten, abwechselnden schwarzen und weißen (oder anderen, recht kontrastierenden) Streifen oder Speichen bemalen. Setzt man dieselbe bei gewöhnlichem, dauerndem Licht mittels einer Maschine oder auf andere Weise in sehr schnelle Umdrehung, so erscheint sie gleichmäßig grau (mischfarben), weil das Bild jeder schwarzen Speiche in unserem Auge an derselben Stelle auftritt, wo das Bild des vorhergehenden weißen Streifens noch nicht erloschen ist und sich daher mit diesem mischt. Beleuchtet man jedoch die sich drehende Scheibe im dunkeln Zimmer durch einen elektrischen Funken, so scheint sie still zu stehen und man erblickt die bemalte Fläche, wie sie wirklich im ruhenden Zustande ist: schwarz und weiß resp. bunt gestreift; der Funke ist hell genug, um Alles zu zeigen, das Auge scharf genug, um in dem unteilbaren Augenblick der Beleuchtung Alles zu erkennen — allein die Beleuchtung dauert nicht lange genug, um der sich drehenden Scheibe zu gestatten, in diesem unglaublich kurzen Moment von ihrem eigenen Umfang auch nur den hundertsten, ja tausendsten Teil zurückzulegen. Die Bewegung der Scheibe während der winzigen Zeitdauer des Funkens ist so gut wie Nichts, gleich Null, die Scheibe bezw. ihre Zeichnung kann sich während der kurzen Dauer des Funkens nur in der Stellung in unserem Auge abbilden, welche sie im Augenblick der Beleuchtung einnahm. Noch hübscher gestaltet sich der Versuch, wenn man buntes, geripptes Zeug über die Scheibe spannt. Vermag man die Fäden desselben bei Bewegung der Scheibe im gewöhnlichen Licht nicht zu erkennen, so sieht man sie im dunkeln Zimmer beim Schein des elektrischen Funkens ganz deutlich, als ob sich die Scheibe im ruhenden Zustande befände.

Nehmen wir an, daß die Scheibe 200 Umdrehungen in einer Sekunde macht, so wird der 100. Teil des Kreises in dem 20 000. Teil einer Sekunde durchlaufen; man sieht diese Bewegung beim Schein des Funkens nicht, der letztere kann somit nicht die Dauer von $\frac{1}{20\,000}$ Sekunde haben.

Auch der gewaltige elektrische Funke der Natur, der Blitz, dauert nur so außerordentlich kurze Zeit, obgleich die Dichter, wie A. Bernstein sagt, ihre nächtlichen Unglücksjenern gern mit minutenlangen Blitzen beleuchten lassen; aber in dem einen Punkte haben sie ganz recht, daß sie alle fliehenden und sich bewegenden Gegenstände während des Blitzes als „erstarrt stille stehend“ bezeichnen, denn in der unglaublich kurzen Zeit eines Blitzes ist die Bewegung sämtlicher Gegenstände, die wir sehen, gleich Null. „Die Bahnwärter an den Eisenbahnen entsetzen sich oft, wenn sie nachts den dahin donnernenden Zug beim Lichte des Blitzes sehen. Sie sehen den Zug nicht gehen, sondern stehen. Sie erkennen den Zugführer, sehen die Speichen der sich drehenden Räder ganz deutlich, als ob der Zug vor ihren Augen stillgestanden hätte; ja sie sehen ihn noch immer vor sich, wenn sie auch am Getöse der Maschine merken, daß er schon fort ist.“ Die eigenartige Erscheinung erklärt sich in der oben angegebenen Weise: in schneller Bewegung befindliche Körper scheinen bei Beleuchtung durch den elektrischen Funken stillzustehen.

Um nun die Dauer des Entladungsfunkens zu messen, bediente sich der englische Physiker Wheatstone einer Vorrichtung, die im Wesentlichen aus einem kleinen, außerordentlich schnell um seine Achse drehbaren Spiegel bestand, in welchem das Bild der elektrischen Funken zu beobachten war. Der dazu gehörige Apparat setzte sich zusammen aus einem Brett mit sechs auf demselben in gerader Linie befestigten Kugeln (Nr. 1—6 in Fig. 157), von denen Kugel 2 mit 3 und Kugel 4 mit 5 durch Kupferdrähte von je $\frac{1}{4}$ engl. Meile (375 m) Länge verbunden war, während die Kugeln 1 und 6 mittels kurzer Drähte mit den beiden Belegungen einer Leydener Flasche oder Batterie in leitende Verbindung gesetzt werden konnten. Wurde die Batterie entladen, so zeigten sich zwischen den drei Kugelpaaren gleichzeitig drei in einer geraden Linie liegende Funken, und die Bilder dieser Funken erblickte man in dem vor dem Kugelbrett aufgestellten ruhenden Spiegel als drei in einer geraden Linie liegende Lichtpunkte, wie es Figur 157 a andeutet. Sobald der Spiegel jedoch mittels eines Räderwerks so schnell um seine Achse — welche der Verbindungslinie der Kugelmittelpunkte parallel war — gedreht wurde, daß er in einer Sekunde 800 ganze Umdrehungen machte, so erschienen die Funkenbilder im Spiegel nicht mehr als Lichtpunkte, sondern als drei parallele Lichtstreifen (Fig. 157 b), deren mittlerer (zwischen 3 und 4) im Verhältnis zu den beiden seitlichen um eine gewisse

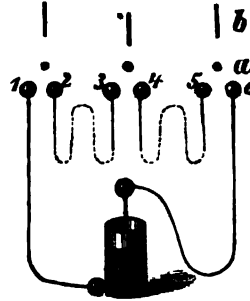


Fig. 157. Wheatstone's Versuch.

Entfernung, und zwar in der Drehungsrichtung des Spiegels, verschoben erschien. Aus diesen Wahrnehmungen ergab sich zunächst und als hier in Betracht kommend, daß der Spiegel während der Dauer der Entladung sich um einen gewissen meßbaren Winkel gedreht hatte bezw. daß der Entladungsfunke doch auch gewisse Zeit in Anspruch nimmt; würde der Funke von gar keiner Dauer sein, so würde man ihn in dem rotierenden Spiegel auch nur als einen Punkt, nicht aber als einen Streifen, sehen. Auf Grund seiner Untersuchungen und Berechnungen, wofür ihm die Länge des Funkenbildes und die Umdrehungsgeschwindigkeit Anhalt boten, fand Wheatstone 1834 die Dauer des Entladungsfunkens nicht größer als $\frac{1}{1\,152\,000}$ oder $0,000\,000\,868$ einer Sekunde. Jedenfalls wird man — ganz abgesehen von dem Ergebnis — der geistreichen Methode Wheatstone's, nach welcher reichlich 20 Jahre später durch Feddersen alle Vorgänge bei der Entladung untersucht wurden, volle Anerkennung zollen müssen. —

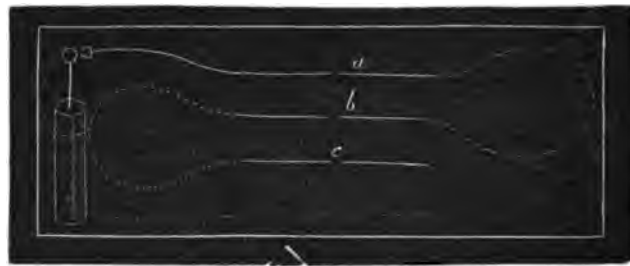


Fig. 158. Wheatstone's Versuch.

Von weitgehendem Interesse und von größerer Bedeutung für die Praxis des Lebens ist jedoch die Feststellung der Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Elektrizität in den Leitern (Drähten). Zwar hatten schon ältere Physiker Versuche zur Messung der Geschwindigkeit der Elektrizität unternommen und Le Monnier z. B. fand dieselbe größer als 950 Toisen (ca. 1800 m) in $\frac{1}{4}$ Sekunde, während sie Watfon i. J. 1747 bei einer Leitung von 4 engl. Meilen (6000 m) noch unmeßbar fand; allein ihre Beobachtungsmittel waren keineswegs genügend, ihre Resultate demnach nicht ausschlaggebend, und deshalb ging Wheatstone auch an die Lösung dieser Aufgabe. Um also zu ermitteln, welch' eine Strecke Weges der elektrische Funke in einer gewissen Zeit (Sekunde) zurückzulegen im Stande sei, benutzte er sein bereits besprochenes Verfahren: er ließ an mehreren Unterbrechungsstellen eines langen Leitungsdrahtes Funken in verschiedenen Richtungen überspringen und beobachtete die gegenseitige Verschiebung der Funkenbilder (Lichtstreifen) in einem um seine Achse drehbaren Spiegel. Zur Erläuterung sei hier noch die Abbildung 158 eingefügt. Dieselbe zeigt

den (6 engl. Meilen langen) Kupferdraht, welcher von Wheatstone dreimal sehr nahe bei sich selbst vorbeigeführt und an dieser Stelle (a b c) durchschnitten wurde, so daß die drei Durchschnittpunkte kaum $\frac{1}{2}$ Zoll voneinander entfernt waren, der erste (a) und letzte (c) aber sich in der Nähe einer Leydener Flasche befanden, während der zweite (b) gerade in der Mitte des gesamten Drahtes lag, mithin die Entfernung von a nach b und von b nach c, auf dem Draht gemessen, je 3 Meilen betrug. Da die drei Durchschnittpunkte, wie die Abbildung zeigt, ganz nahe zusammenstanden, so konnten sie in einem kleinen Spiegel sehr wohl gleichzeitig gesehen werden.

Ward die Leydener Flasche oder Batterie entladen, so zeigten sich bei a, b und c kleine Fünflchen, welche völlig gleichzeitig aufzutreten schienen, so daß man sagen konnte: zum Durchlaufen einer Leitung von 6 Meilen braucht die Elektrizität so wenig Zeit, daß man nicht zu sehen vermag,

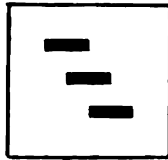


Fig. 159.
Lichtstreifen.

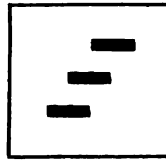


Fig. 160.
Lichtstreifen.

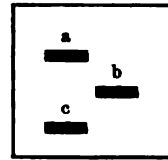


Fig. 161.
Funkenbild bei Wheatstone's Versuch.

wie Funke a früher erscheint als b, und b früher als c. Wurde hingegen die Vorrichtung mit dem drehbaren Spiegel aufgestellt und in diesem, der 800 Umdrehungen in einer Sekunde machte, die Unterbrechungsstellen beobachtet, so ergab sich allerdings ein Unterschied und zugleich eine merkwürdige Thatsache. Die drei parallelen Lichtstreifen, das sind die drei Funkenbilder im Spiegel, lagen nämlich nicht, entsprechend den Unterbrechungsstellen, in einer Ebene untereinander, sie nahmen auch nicht, wie man vermuten durfte, die in Figur 159 angegebene Stellung ein, aber auch nicht umgekehrt die durch Figur 160 erläuterte, sondern sie boten das durch Figur 161 vergegenwärtigte Bild: der mittlere Lichtstreifen b erschien also gegen die beiden äußeren a und c um eine gewisse Strecke im Sinne der Drehung des Spiegels verschoben. Daraus wurde klar, daß die Funken-Entladung an der mittleren Unterbrechungsstelle b um eine gewisse Zeit später begonnen und geendet hatte als an den beiden anderen, d. h. daß die Elektrizität eine gewisse meßbare, wenn auch außerordentlich kurze Zeit brauchte, um sich von der Flasche und den dieser nahegelegenen zwei Durchschnittpunkten a und c durch den je 3 Meilen langen Kupferdraht bis zur Mitte b fortzupflanzen. Des weiteren erkannte man aus dieser Beobachtung, daß nicht

einfach ein Entladungsstrom vom positiven (innere Belegung) zum negativen Teil (äußere Belegung), oder umgekehrt, gehe — denn dann hätten die den Weg der Elektrizität andeutenden Lichtstreifen (Funkenbilder) sich wie in Figur 159 resp. Figur 160 darstellen müssen —, sondern daß der Entladungsstrom, über dessen Eigenart wir weiter unten sprechen werden, von dem positiven wie von dem negativen Teil der Flasche gleichzeitig ausgehe und sich nach der Mitte hin bewege, und zum Zurücklegen dieses Weges (bis b) ist ein gewisses Teilchen Zeit nötig. Die Zahl der Spiegel-Umdrehungen, die Länge der in ihm erscheinenden Lichtstreifen und, daraus hergeleitet, der aliquote Teil einer einmaligen Umdrehung des Spiegels während der Dauer des Funken, endlich auch die Länge des Weges (3 Meilen), dies waren die Faktoren des Exempels, aus denen Wheatstone die zur Zurücklegung des 3 Meilen langen Weges erforderliche Zeit berechnete; das Ergebnis war ca. $\frac{1}{98\ 000}$ Sekunde, für die Meile also $\frac{1}{328\ 000}$ Sekunde, d. h. in einer ganzen Sekunde würde die Elektrizität in einem Kupferdraht (von 1,5 mm Stärke) 288 000 mal soviel Weges zurücklegen = 288 000 engl. (57 600 deutsche) Meilen oder etwa 460 000 km.

Man kann nicht leugnen, daß dieses Resultat etwas sehr Überraschendes habe. Bis zur Entdeckung der Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Elektrizität glaubte man in der Bewegung des Lichts, welches 40 000 deutsche Meilen oder 300 000 km in der Sekunde durchheilt, die größtmögliche Schnelligkeit zu haben; da erhielt aus Wheatstone's Berechnungen, daß die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Elektrizität in Leitern die des Lichts im Weltraum um die Hälfte noch übertreffe! Durchläuft also ein Lichtstrahl in einer Sekunde eine Strecke, welche $7\frac{1}{2}$ mal so groß ist als der Umfang der Erde (40 000 km), so würde nach den soeben vernommenen Angaben ein elektrischer Funke in einem Leiter in derselben Zeit eine Strecke durchfliegen, welche etwa $11\frac{1}{2}$ mal so groß ist als der Umfang unserer Erde. Und dabei nahm Wheatstone die angeführte Schnelligkeit der Elektrizität noch als das geringste Maß derselben an und meinte, es wäre wohl möglich, daß die Wahrheit viel weiter hinaus läge!

Fernere Versuche zur Messung der Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Elektrizität in langen Leitungsdrähten wurden in den 40er und 50er Jahren durch verschiedene Forscher ausgeführt. Die Zahlen, welche (1848—1850) Walker, Mitchell und Gould dabei erhielten, blieben hinter den Wheatstone'schen weit zurück, denn sie beliefen sich nur auf 15 780 bezw. 28 524 und 15 890 engl. Meilen oder 23 600 bezw. 43 000 und 23 800 km pro Sekunde. Die Leitungen waren verschieden lang; Mitchell z. B. benutzte einen 980 km langen Eisendraht. Fizeau und Gounelle (1850) und Andere experimentierten wieder mit unterbrochenen Strömen und fanden

dabei wiederum größere Werte, nämlich bei Verwendung eines 300 km langen und 4 mm dicken Eisendrahtes eine Geschwindigkeit von 96 000 km, bei Verwendung eines etwa gleichlangen 2,5 mm starken Kupferdrahtes dagegen eine solche von 178 000 km pro Sekunde. W. Siemens endlich bestimmte i. J. 1875 die Geschwindigkeit auf reichlich 30 000 geogr. Meilen oder 230 000 km pro Sekunde. Drei Jahre vorher, im Februar 1872, hatte Hilgard anlässlich der telegraphischen Längenbestimmung zwischen Brest (Frankreich) und St. Pierre (Amerika) bei einer Kabellänge von 4794 km eine Transmissionszeit von 0,25 Sekunde gefunden, d. h. die Elektrizität brauchte zum Durchlaufen des 4794 km langen Kabels (Drahtleitung) $\frac{25}{100}$ Sekunde Zeit, in $\frac{1}{100}$ Sekunde legte sie demnach 137 km zurück und dies ergab somit für die ganze Sekunde eine Fortpflanzungs-Geschwindigkeit von 13 700 km. Eine noch geringere Geschwindigkeit wurde für das zwischen London und Brüssel liegende unterseeische Kabel gefunden, nämlich 4300 km. Diese niedrigen Werte sind wohl auf Influenzwirkungen, welche, wie Siemens nachwies, bei derartigen Leitungen zur Geltung kommen, zurückzuführen.

Wie kam es denn aber, daß alle späteren Forscher bei ihren die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Reibungs-Elektrizität betreffenden Untersuchungen und Messungen geringere Zahlen erhielten als Wheatstone? Deshalb, weil die Verhältnisse doch nicht so einfach liegen, als der englische Physiker glaubte. Alle neueren Beobachtungen über die Fortpflanzung elektrischer Ströme in langen Telegraphenleitungen bezw. Kupfer- und Eisendrahten u. haben vielmehr dargethan, daß von einer bestimmten, gleichen Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Elektrizität in Drähten überhaupt nicht die Rede sein kann, sondern daß dieselbe von dem Material, dem Widerstand und der Länge des Leitungsdrahtes abhängt. Erfolgt die elektrische Fortpflanzung in guten Leitern — das sind solche, welche ihr geringen und geringsten Widerstand entgegensetzen — mit einer außerordentlichen Geschwindigkeit, sodaß sie in den besten Leitern (Silber, Kupfer) der Schnelligkeit des Lichts nicht nachsteht, so geschieht sie in gleichlangen und gleichdicken Drähten aus anderem Material, z. B. Eisen, Messing, weniger schnell; derartige Drähte üben mithin einen gewissen Widerstand aus, sie verzögern die elektrische Ladung, oder ihre Leitfähigkeit ist dadurch eine geringere, daß sie im Verhältnis zu anderen durch gleichstarke Entladungen stärker erhitzt werden — zunehmende Temperatur aber beeinträchtigt die Leitfähigkeit der Metalle. Setzt man bei 0 Grad Celsius die Leitungsfähigkeit des Quecksilbers gleich 1, so stellt sich dieselbe, nach Matthiessen, bei Neusilber auf 5, Eisen 10, Platin 11, Zink 18, Messing 20, Gold 48, Kupfer 63, Silber 67; letzteres bereitet demnach

der elektrischen Fortpflanzung den geringsten Widerstand. Oder nach den von L. Weiller im Jahre 1885 der „Société internationale des Electriciens“ in Paris gemachten Mitteilungen (worüber die „Revue industrielle“ berichtete) betreffs einer Reihe Versuche, welche in der Fabrik des Genannten zu Angoulême und in einer zweiten Fabrik von Bréguet ausgeführt wurden, ergeben sich folgende Werte für das spezifische Leitungsvermögen einiger besonders in Betracht kommenden Metalle und Legierungen: Reines Silber 100, reines Kupfer 100, Siliciumbronze-Telegraphendraht 98, Legierung gleicher Teile Silber und Kupfer 86,7, reines Gold 78, reines Aluminium 54,2, Siliciumbronze-Telephondraht 35, reines Zinn 29,2, Phosphorbronze-Telephondraht 29, Legierung gleicher Teile Silber und Gold 16,1, Schwedisches Eisen 16, reines Zinn 15,5, Aluminiumbronze (10prozentig) 12,6, Siemens-Stahl 12, reines Platin 10,6, reines Blei 8,2, reines Nickel 7,2, Antimon 3,2. — Schließlich ist auch festgestellt worden, daß die Länge des Leitungsdrahtes gleichfalls die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Elektrizität beeinflusst und zwar in der Weise, daß die zur Fortpflanzung eines Stromes nötige Zeit in einem schnelleren Verhältnis zunimmt als die Länge des Drahtes.

Das Vorhergehende hat uns gelehrt, daß die Geschwindigkeit der Elektrizität in Leitungsdrähten und der Widerstand der Drähte gegen die Fortpflanzung bezw. die Geschwindigkeit der ersteren in einem inneren und auch äußeren Zusammenhang stehen: über beide sind die Akten noch nicht geschlossen, das erhellen die verschiedenen Beobachtungs- und Berechnungs-Ergebnisse resp. die Widersprüche zur Genüge. Dieser Umstand bewog Hagenbach in Basel, einen anderen Pfad zur Aufklärung des Verhältnisses zwischen Zeit und Leiter einzuschlagen; er zog in den Kreis seiner Forschung nicht den Weg, sondern die Zeit, welche verfließt, „bis eine Erscheinung, die am Anfang des Drahtes stattfinden könnte, am Ende desselben eintritt“. Hagenbach nennt diese Zeit die Ladungszeit und fand, wie er im 11. Heft von Wiedemann's Annalen der Physik 1886 veröffentlicht, durch mehrjährige, auf dem ihm zur Verfügung gestellten Schweizerischen Telegraphennetz ausgeführte Versuche und durch mathematischen Beweis folgendes Gesetz: Die Ladungszeit ist unter übrigens gleichen Umständen dem Quadrat der Drahtlänge direkt proportional, ebenso aber auch dem Einheitswiderstand und der Einheitskapazität. Während durch die beiden letzten Größen der Einfluß von Stoff, Form und Dicke des Leiters ausgedrückt ist, erklärt die erste die Rätsel der Geschwindigkeit. Wie wir kennen gelernt haben, berechnete man die Geschwindigkeit, d. i. den Weg der Elektrizität in einer Sekunde, stets in der Weise, daß man die Drahtlänge durch die Zeit dividierte. Wenn nun also

die Ladungszeit dem Quadrat der Drahtlänge proportional ist, so muß bei diesem Divisionsverfahren die Geschwindigkeit umgekehrt proportional zur Drahtlänge sich verhalten; während z. B. in einem dreimal längeren Draht die Ladungszeit 9mal (3×3) so groß ist, muß die Elektrizität in dem 3mal längeren Draht binnen einer Sekunde einen 3mal kürzeren Weg zurücklegen. „Jeder andere Draht von anderer Länge, nicht bloß von anderem Stoff und anderer Form und Dicke, hat seine ihm eigentümliche Geschwindigkeit.“ Man frage also bei einschlägigen Erörterungen und Ermittlungen in erster Linie nach der Ladungszeit — nicht, wie bisher stets üblich, nach der Geschwindigkeit. —, welche nach dem oben angegebenen Gesetz leicht zu berechnen ist und mit welcher die Geschwindigkeit in jedem einzelnen Falle alsbald gefunden werden kann.

Elektrische Telegraphie. Schließungsbogen. Nebenstrom.

Es bedarf wohl kaum des Hinweises, daß man sehr bald nach Entdeckung der unglaublich schnellen elektrischen Fortpflanzung dieselbe in der Praxis, d. h. zum Zeichengeben in die Ferne zu verwerten suchte. In der That wurde bereits 1753 der erste dahinzielende Vorschlag gemacht und 1774 der erste derartige Apparat gebaut, später stellte man auch noch manche andere Vorrichtungen zur Fortleitung und Verwendung des elektrischen Funkens zu gedachtem Zweck — Telegraphieren — her, allein die Reibungs-Elektrizität bot doch in dieser Beziehung zu viele Unzulänglich- und Schwierigkeiten und konnte sich nicht behaupten. Da wir in dem Abschnitt über die Telegraphie all' die einschlägigen Verhältnisse besprechen werden, so mögen diese Bemerkungen für jetzt genügen. Dagegen sei auf einen anderen Punkt noch ein Blick geworfen.

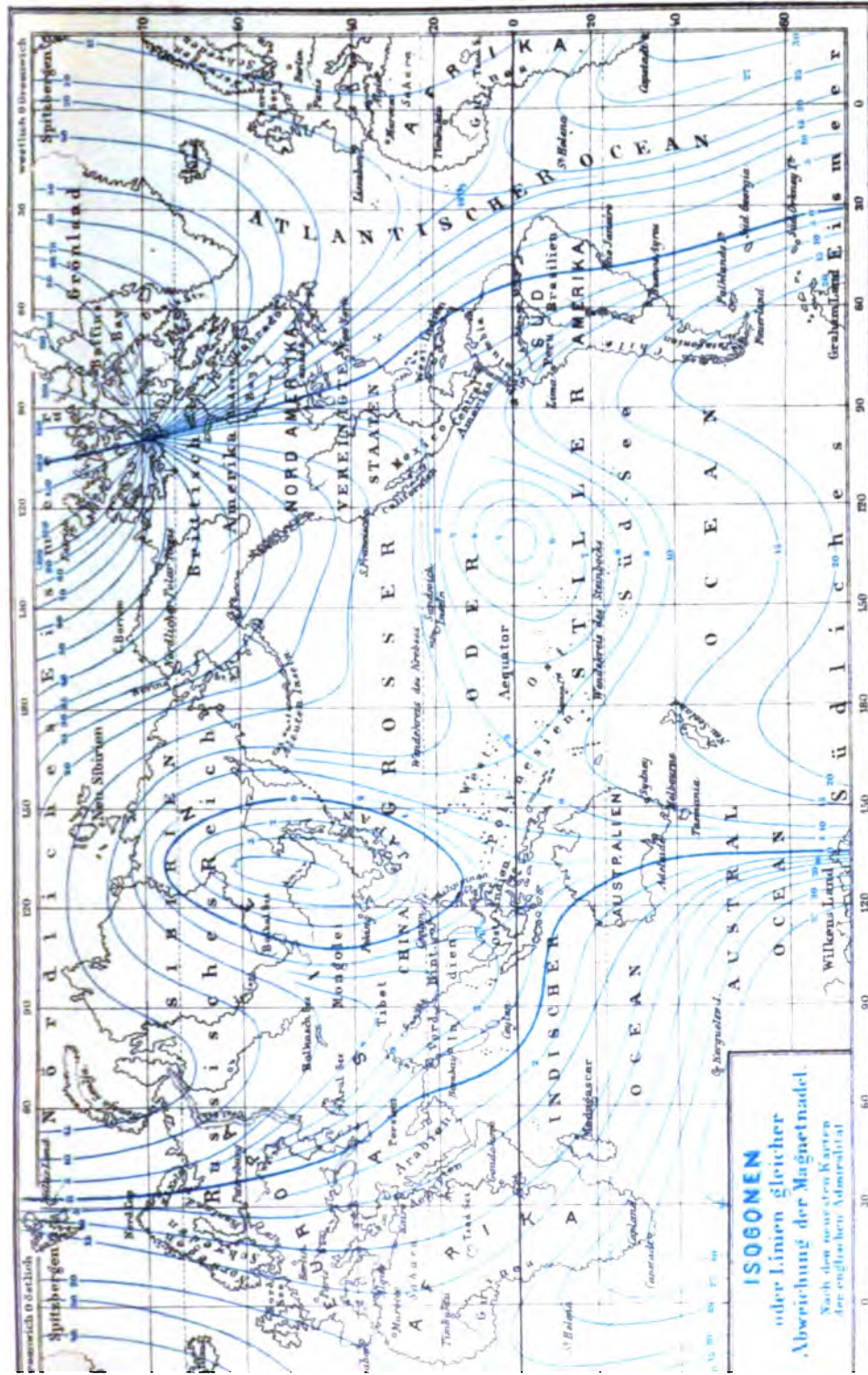
Es wurde bereits angedeutet, daß der Entladungsstrom nicht ein einfacher, etwa vom positiven zum negativen Teil, oder umgekehrt, sich bewegender Strom ist; derselbe besteht vielmehr, wie Feddersen und Paalzow durch Beobachtung des Funkenbildes im rotierenden Spiegel und andere Umstände nachgewiesen haben, „aus einer Reihe hin und her gehender, abwechselnd entgegengesetzt gerichteter Ströme, deren Anzahl mit wachsendem Widerstand des Schließungsbogens abnimmt, während gleichzeitig die Dauer der Entladung, welche wesentlich durch die Länge und Beschaffenheit des Schließungsbogens beeinflusst wird, wächst“. Ist der Widerstand des letzteren sehr groß, was z. B. durch Einschaltung einer nassen Schnur (vergl. S. 207) erzielt wird, so geht die abwechselnde Entladung in eine einfache über. Wir sehen also, daß der Schließungsbogen von erheblichem Einfluß auf die Dauer der Entladung bezw. auf die Entladungsweise ist.

Induktionsstrom. Dem Entladungsstrom einer Leydener Batterie ist noch eine besondere Kraft eigen, nämlich die, in einem benachbarten Draht einen Neben- oder Induktionsstrom zu erzeugen. Dies geschieht dann, wenn zwei Drähte parallel nebeneinander ausgespannt werden; sobald man nun durch einen derselben den Entladungsstrom einer Leydener Flaschenbatterie leitet, so wird dadurch in dem zweiten Draht, auch wenn dieser von dem ersten vollständig isoliert ist, ebenfalls ein elektrischer Strom, der Neben- oder Induktionsstrom, erregt. Zu beachten hat man aber, daß, um den Nebenstrom zur Wirkung kommen zu lassen, die beiden Enden des zweiten (Neben-) Drahtes untereinander in leitende Verbindung gesetzt oder doch einander so weit genähert werden müssen, daß die Entladung des Nebendrahtes durch einen Funken vor sich gehen kann. Man kann auch längere Drähte verwenden und somit stärkere Nebenströme hervorrufen. Zu diesem Zweck werden die beiden Drähte zu flachen Spiralen geformt und auf kreisrunden Brettchen derart befestigt, daß man ihre Windungen einander parallel laufend gegenüberzustellen vermag (Rieß'sche Spirale, 1853). Während man nun die Spitzen des Nebendrahtes einander bis auf geringen Abstand nähert, bringt man die des anderen (Haupt-) Drahtes mit den beiden Belegungen der Batterie in Verbindung, und sobald sich die letztere durch den Hauptdraht entladet, geht zwischen den Spitzen des Nebendrahtes ein Funke über. Die weiteren Verhältnisse und die Gesetze der Induktionsströme werden uns im III. Abschnitt (Galvanismus, Induktionsströme) längere Zeit beschäftigen.

18. Einige andere Elektrizitäts-Quellen.

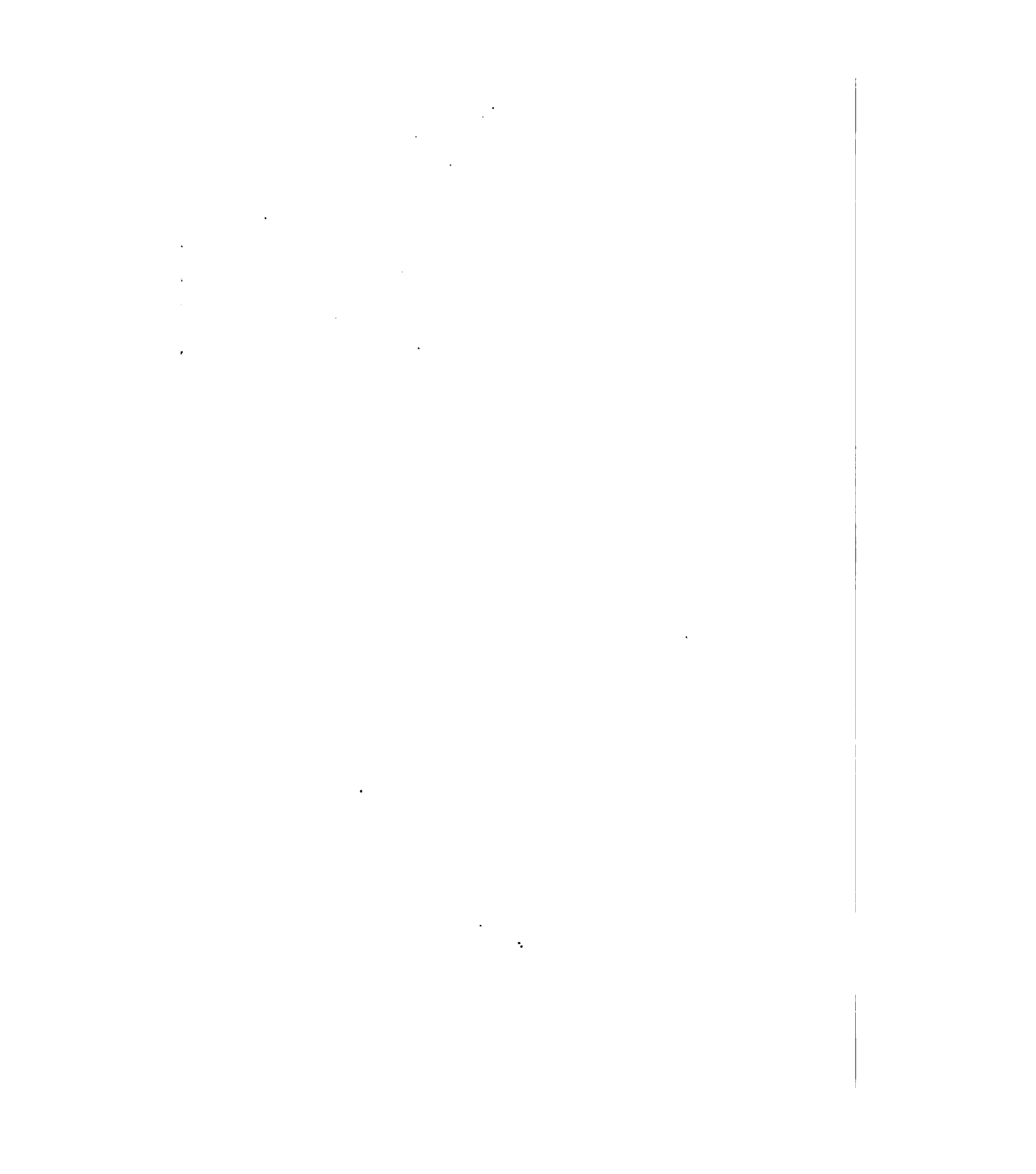
Bisher haben wir immer nur von der eigentlichen Reibungs-Elektrizität und ihrer Verwendung bei Influenz- und Ansammlungs-Apparaten gesprochen. Dieselbe kann, wie wir erfahren haben, entweder durch Reibung zweier verschiedener fester Körper mittels der Hand oder der Maschine, oder infolge Reibung des mit flüssigen Wasserteilchen vermischten Dampfes an den Wänden von Gefäßen und Ausströmungsröhren (vergl. S. 118 ff.), oder auch von der beim Durcheinanderschütteln bezw. Beuteln pulverförmiger Körperchen vor sich gehenden Reibung (vergl. S. 196) erregt werden. Bezüglich der ersteren beiden Erregungs-Arten sei, ehe wir uns zur Erörterung weiterer Quellen wenden, an einige interessante Fälle aus der Praxis des täglichen Lebens erinnert.

So hat man schon mehrfach beobachtet, daß erhebliche Mengen Elektrizität durch schnellgehende Treibriemen von Transmissionen in Fabriken oder ähnlichen industriellen Anlagen entwickelt werden. Über einen



Druck von A. Pils.

Verz. von R. Lindner



derartigen Fall berichtete Herr Otto Besche in der *Wochenschrift des Vereins deutscher Ingenieure* (1884): In einem durchweg massiv gebauten, mit gewölbten Decken und Asphaltfußboden versehenen Etablissement zeigen sich die Treibriemen ungemein stark elektrisch, sodaß die Arbeiter von dieser Erscheinung absonderlichen Gebrauch machen. Indem sie nämlich die eine Hand dem laufenden Riemen und die andere dem aufgedrehten Gasbahn nähern, vermögen sie durch den dabei vom Finger gegen den Gasstrom überspringenden elektrischen Funken die Gasflamme zu entzünden (vergl. S. 207); zur Entzündung der vom Riemen weiter entfernten Gasflammen reißen sich mehrere Arbeiter die Hände und bilden in dieser Weise eine Kette zur Übertragung des Funkens, oder sie benutzen eine Eisenstange oder gar einen Besenstiel als elektrischen Fidius. Ein Funke springt auch dann auf den Finger über, wenn man diesen bis auf etwa 5 mm einer der Kanten der eisernen Schutzbleche nähert, welche um die senkrecht laufenden Riemen angebracht sind.

Ähnliche Beobachtungen machte nach dem „Zivilingenieur“ (1884) der Beleuchtungs-Inspektor des Dresdener Hoftheaters H. Bähr bei seiner Dampfmaschinen-Anlage zur Erzeugung elektrischen Glühlichts. An den schnellgehenden Treibriemen derselben wurde soviel Elektrizität entwickelt, daß eine Leydener Flasche sich binnen weniger Sekunden lud und 4 cm lange Funken gab; ebenso gab eine auf Glas stehende Person, welche die Fingerspitzen dem Riemen auf 10—15 cm genähert hatte, in wenig Sekunden ziemlich lange Funken, und Geißler'sche Röhren (s. S. 157), einerseits mit einem Drahtbüschel und andererseits mit einer Ableitung nach dem Fußboden versehen, zeigten prächtige Glüherscheinungen. — Dieselbe Elektrizität, durch die Treibriemen in Mühlen erregt, kann hier Anlaß zur Entzündung des Mehlstaubes und somit zu gefährlichen Explosionen geben. Und zwar kann dieser Fall leicht bei Verwendung von sogenannten französischen Mühlsteinen eintreten, da dieselben aus einzelnen Stücken zusammengesetzt sind und von eisernen Reifen, zwischen denen oft keine leitende Verbindung besteht, zusammengehalten werden, sodaß die in den Reifen durch Influenz hervorgerufene Elektrizität unter Umständen eine so hohe Spannung annehmen kann, daß Funken überspringen und eine Zündung herbeiführen; um derartigen Gefahren vorzubeugen, hat man alle Metallteile leitend unter sich zu verbinden.

Durch eine solche Verbindung wird die erregte Elektrizität abgeleitet und unschädlich gemacht, wie dies ja bei den meisten Maschinen-Anlagen von vornherein geschieht. Daher schreibt es sich auch, daß bezügliche Wahrnehmungen selten gemacht werden.

Das Letztere gilt in noch erheblicherem Maße, d. h. soweit es eben wieder den Industrie- (Dampfessel-) Betrieb angeht, betreffs der Erzeugung

von Elektrizität durch Ausströmen eines Dampfstrahls aus dem Sicherheitsventil oder einer undichten Stelle des Dampfkessels, weil in der Praxis ja der Dampfkessel selten gehörig isoliert ist. Um so interessanter ist ein derartiger Fall, welcher an jene die Entdeckung der Hydro-Elektrizität begleitenden Umstände (vergl. S. 117) erinnert und von Kunze in der *Wochenschrift des Vereins deutscher Ingenieure* (1884) mitgeteilt wurde. Der Berichterstatter wurde bei dem Besuch einiger Braunkohlengruben in der Umgebung von Brün vom Direktor der Schachtanlage zu Malthaus, Herrn Fink, infolge eines Gesprächs über Kesselkorrosionen, bei denen man bisweilen die Mitwirkung galvanischer Ströme annehme, auf das Kesselgemäuer geführt, in welchem sechs große Dampfkessel von je 61,6 □ m Heizfläche, deren je drei durch einen Dampfsammler verbunden waren, nebeneinander lagen. Als nun die Hand dem Handrad des Absperrventils, welches an dem Verbindungrohr der beiden Dampfsammler angebracht war, genähert wurde, erschienen ziemlich kräftige Funken von etwa 1 cm Länge, und zwar zeigten sie sich an einer undichten Stelle der Ventilflanke; auch machte man die Wahrnehmung, daß dieselben bei stärkerem Dampfverbrauch, also bei höherer Dampfgeschwindigkeit, kräftiger wurden. —

Außer durch wirkliche Reibung kann auch durch andere mechanische Vorgänge (Druck, Spalten) oder durch Temperatur-Veränderung Elektrizität erregt werden, und der Betrachtung dieser beiden für uns noch neuen Elektrizitäts-Quellen wenden wir uns jetzt zu.

1. Elektrizitäts-Erregung durch Druck und Trennung.

Beim Spalten eines Glimmerblattes, beim Zerbrechen eines Stückes Kreide oder Zucker im Dunkeln gewahrt man einen vorübergehenden Lichtschein, und daß dieser eine elektrische Erscheinung ist, läßt sich durch das Elektroskop, speziell durch das Kondensations-Elektroskop (s. S. 170) nachweisen*). Harze, auch Korkstücke und namentlich Kryalle werden durch einfachen Druck zwischen den Fingern oder auch durch gegenseitigen Druck ebenfalls elektrisch. Kalispat-Kryalle (Fig. 162. 163) z. B. werden durch einen, einige Sekunden lang andauernden Druck zwischen den Fingern positiv elektrisch erregt und behalten diese Elektrizität sehr lange. Man zeigt dies nach Fried am einfachsten in der Weise, daß man ein etwa 2 mm breites Blechstreifen in der auf Seite 235 angegebenen Form a b c

*) Ein Stückchen weißer Zucker kann auch zu einem anderen entsprechenden elektrischen Versuch im Dunkeln dienen. Legt man nämlich dasselbe auf das Tischchen des Genley'schen Ausladers zwischen die Kugeln (b c, Fig. 139), sodas die letzteren 1—3 cm Abstand haben, und leitet einen kräftigen Schlag darüber, so leuchtet es, doch verschwindet das Licht nach einigen Sekunden.


biegt a  c und bei a einen Schellackfaden $a d$, von der Stärke eines dünnen Bindfadens, ankittet, auf dessen freies Ende d man wiederum ein kleines Stückchen Kalkspat, welches vorher zwischen den Fingern gedrückt worden, mittels etwas Klebwachs kittet, hierauf das Ganze bei b in entsprechender Weise wie die elektrische Nadel (s. S. 61) auf eine Drahtspitze legt und dem Kalkspat nun eine geriebene Glasstange (+) nähert. Damit die Vorrichtung auf der Drahtspitze gesichert schwebt, hat man vorher an der Innenseite des Blechstreifchens bei b mittels der Kernspitze eine kleine Vertiefung eingeschlagen; das etwa fehlende Gleichgewicht kann leicht durch Anbringen von etwas Klebwachs bei c oder bei d hergestellt werden. Nähert man die geriebene Glasstange dem durch Drücken gleichnamig elektrisch gewordenen Kalkspat, so wird er lebhaft von jener abgestoßen; doch darf der Glasstab nicht zu stark elektrisch sein oder zu sehr



Fig. 162. Kalkspat-Ärykalk.



Fig. 163. Kalkspat-Ärykalk.

genähert werden, weil sonst die Wirkung der elektrischen Verteilung (Influenz) stärker ist als die Elektrizität des Kalkspats, namentlich wenn man ein weniger geeignetes Stück verwendet hat; denn es giebt Stücke, welche sich nicht so lebhaft elektrisch als andere zeigen, besonders wenn sie nicht spiegelglatte Flächen haben.

Die Beobachtung, daß in gewissen Körpern durch Trennung (Spalten, Zerknacken) oder durch Druck Elektrizität erregt wird, ist nicht neu. Bereits Aepinus hatte i. J. 1759 bei seinen Untersuchungen die Entdeckung gemacht, daß zwei Scheiben aus Spiegelglas oder auch aus anderen Stoffen, welche zusammengedrückt und dann rasch voneinander getrennt wurden, sich nun entgegengesetzt elektrisch zeigten. Auch die schon oft genannten englischen Physiker Canton und Wilson nahmen beim Schneiden verschiedener Stoffe und ihr Landsmann Nicholson 1789 beim Spalten und Zerknacken eines Körpers elektrische Erscheinungen wahr. Nachdem noch 1818 René Just. Haüy (1743—1822) die erwähnte Eigenheit des Kalkspats und die durch Trennung erfolgende Elektrifizierung einer Anzahl Mineralien dargethan, wies 1820 Antoine César Bequerel „die Elektrifizierung durch Druck und

Trennung als allgemeine Regel“ nach. Zwar stellte er später auch die dafür geltenden Gesetze auf, doch fehlt eine vollkommen befriedigende Erklärung dieser elektrischen Vorgänge noch heute, und man kann nur annehmen, daß die besprochene Elektrizitäts-Erregung in ähnlicher Weise erfolgt wie die durch Reibung.

2. Elektrizitäts-Erregung durch Temperatur-Veränderung.

(Pyro- oder Thermo-Elektrizität der Krystalle.)

Zu Anfang des vorigen Jahrhunderts hatte man an den säulenförmigen Krystallen des Turmalin, bald nachdem dieser Edelstein aus Ceylon nach Europa gelangt war, die Eigentümlichkeit bemerkt, daß sie, auf heiße Asche gelegt und dadurch erwärmt, die Aschenteilchen anzogen und wieder abstießen, weshalb man ihn den Aschenzieher nannte und sonderbarer Weise für eine Art Magnet hielt. Aepinus erkannte jedoch i. J. 1756 die elektrische Natur des Steines und entdeckte, daß derselbe an den beiden Enden oder Polen — welche durch die innere Struktur des Krystalls bedingt sind — entgegengesetzt elektrisch wird, und Canton wies 1758 nach, daß die Elektrizitäts-Entwicklung nicht bloß die Folge einer Erhöhung der Temperatur, sondern überhaupt die Folge einer Veränderung der letzteren ist und daß dasjenige Ende des Krystalls, welches während des Erwärmens positiv elektrisch erscheint, beim Sinken der Temperatur (Erkalten) negativ elektrisch wird, und umgekehrt. Denjenigen Pol, welcher beim Erwärmen positive, beim Erkalten negative Elektrizität zeigt, bezeichnet man als den analogen, den anderen als den antilogen Pol. 1762 bewies Canton, welcher inzwischen die Eigenschaften des Turmalins auch am brasilianischen Topas bemerkt hatte, noch, daß die Menge der Elektrizitäten an beiden Polen einander gleich sei.

Die elektrische Eigenschaft des Turmalins läßt sich beobachten, wenn man ein etwa 3 cm langes, wenn auch sehr dünnes Stückchen desselben in der Mitte an einem dünnen Seidenfaden aufhängt und sodann vermittelft eines in einem Abstand von 10—15 mm darunter gehaltenes und seinerseits wiederum durch eine untergestellte Spirituslampe erhitztes Eisenblech erwärmt. Die Art der Elektrizität erkennt man bald unter Zuhilfenahme einer an ihrem Ende geriebenen (—) Siegellackstange, die man dem Pol nähert. Beim Erkalten des Turmalins macht sich der betreffende elektrische Zustand in deutlicherer, entschiedener Weise bemerkbar als beim Erwärmen, weil in letzterem Falle die aufsteigenden Luftströme einen Einfluß ausüben.

Zwar besitzen auch viele andere Krystalle die Eigenschaft, Pyro-Elektrizität zu entwickeln, d. h. infolge Temperatur-Veränderung (Er-

wärmung, Abkühlung) elektrisch zu werden, allein beim Turmalin vermag man sie wohl am leichtesten nachzuweisen. Die durch Aepinus und Canton angebahnte Kenntnis wurde durch Haüy — welcher die Ansicht vertrat, daß die Entstehung der Pyro-Elektricität vor Allem durch den Mangel an Symmetrie in der Bildung der Krystalle bedingt sei —, sodann durch Brewster, G. Rose und Rieß in Berlin, welche eine ganze Anzahl anderer pyroelektrischer Krystalle auffanden, und schließlich in hervorragendstem Maße durch den Leipziger Physiker Prof. Wilh. Gottlieb Hankel (geb. 1814 in Grönsleben) gefördert und ausgebaut. Hankel trat, indem er das Vorhandensein jener Eigentümlichkeit für alle Krystalle, die irgend eine Verschiedenheit in den krystallographischen Achsen besitzen, in Anspruch nahm, Haüy's Ansicht entgegen; er ging aber noch weiter und zeigte, daß die Pyro- oder Thermo-Elektricität der Krystalle nicht nur auf Temperatur-Veränderungen zurückzuführen sei, sondern daß schon die Bestrahlung gewisser Krystalle durch eine Licht- oder durch eine Wärmequelle die erwähnte Erscheinung, bezw. eine elektrische Polarisation der genannten Körper hervorzurufen im Stande sei, und man kann demnach außer von Pyro- (Thermo-) Elektricität auch von Photo- und Actino-Elektricität der Krystalle sprechen. Eine völlig ausreichende, strenge Erklärung der hierher gehörigen Erscheinungen fehlt noch ebenso wie für die unter 1) behandelten Vorgänge; sicher ist nur, daß die elektrischen Eigenschaften des Turmalins und anderer Krystalle in engem Zusammenhang mit dem inneren (molekularen) Bau dieser Mineralien stehen, denn alle pyroelektrischen Krystalle erscheinen in besonders gearteten Formen und die beiden Enden (Pole) des Krystalls demzufolge in verschiedenartiger Ausbildung.

Neuerdings hat Kundt in Straßburg ein neues Verfahren zur Untersuchung von Krystallen betreffs ihrer beim Erwärmen und Abkühlen erfolgenden elektrischen Erregung angegeben (vergl. „Humboldt“ 1884 S. 227). Um die beiden Arten Elektricität dem Auge erkenntlich zu machen, verwendet er die uns schon von der Darstellung der Lichtenberg'schen Staubfiguren (siehe S. 196) her bekannte Mischung von Wernig-Schwefel-Pulver, welche er mittels einer geeigneten Vorrichtung über den erwärmten Krystall stäubt: es sammeln sich dann, wie wir wissen, an den positiv elektrischen Stellen Schwefel-, an den negativ elektrischen Stellen Wernigteilchen an. So fand Kundt bei einer senkrecht zur Hauptachse geschnittenen Quarzplatte die infolge Einpressen im Schraubstock entwickelten Elektricitäten symmetrisch zur Drucklinie angeordnet und an beiden Enden derselben entgegengesetzt. Wurde eine Quarzplatte durch einen aufgesetzten heißen Messingcylinder erwärmt, so zeigten sich drei Enden rot (also negativ), die anderen drei gelb (also positiv elektrisch) bestäubt. Stellte man den Er-

wärmungsversuch mit ganzen Quarzkristallen an, so bemerkte man eine abwechselnde Rot- und Gelbfärbung der Prismenlanten. Turmalin-Kristalle dagegen, auf dieselbe Weise untersucht, zeigten untereinander ganz verschiedenes Verhalten, und nur wenige (brasilianische) wiesen regelmäßige Pole an beiden Enden auf.

Kundi's Bestäubungsmethode wurde dann auch von R. Mark und B. v. Kolenko in Straßburg bei weiteren derartigen Forschungen angewendet. R. Mark's Untersuchungen erstreckten sich auf Borazit, Kolenko's auf die Pyro-Elektrizität des Quarzes. Der Letztere schlug dabei folgendes Verfahren ein. Die Kristalle wurden im Luftbad erwärmt, bis sie durch und durch eine Wärme von 50 Grad angenommen hatten, dann schnell, um etwa durch Reibung entstandene Elektrizität zu beseitigen, mit der Flamme einer Spirituslampe überfahren und danach bestäubt. Dieses Verfahren erfuhr nur bei Quarzplatten eine Abänderung, indem dieselben eine stärkere elektrische Erregung beobachteten ließen, wenn sie durch einen heißen Kupfercylinder erwärmt wurden. In beiden Fällen aber muß bei der Erhitzung Vorsicht obwalten, da sonst die Kristalle sehr leicht nach dem Rhomboeder spalten. Bemerkenswert ist, daß die Stärke der elektrischen Erregung abhängig zu sein scheint von dem Unterschied der Temperatur des Kristalls und der der umgebenden Luft, denn bei einer bestimmten Erwärmung zeigten die nämlichen Quarze an kalten Wintertagen viel stärkere elektrische Erscheinungen als im Sommer. Hervorgehoben muß noch werden, daß ein und dieselbe Quarzplatte bei einem von der Mitte aus (z. B. durch einen heißen Kupfercylinder) erfolgenden Erwärmen gerade die umgekehrten Elektrizitäten aufweist, als wenn die Erhitzung vom Rande aus, z. B. mittels eines Kupferringes, geschieht; ferner, daß fast alle Rauchquarze die stärkste Erregbarkeit zeigten, wobei v. Kolenko durch Glühen der schon untersuchten Kristalle nachwies, daß diese Erscheinung nicht von dem Farbstoff herrührte.

Aus den Untersuchungs-Ergebnissen B. v. Kolenko's sei nur herausgegriffen, was die Erscheinungen an gewöhnlichen einfachen Kristallen betrifft. Es zeigte sich nämlich, daß zunächst die Kanten des hexagonalen (sechseckigen) Prisma besonders stark und abwechselnd gelb und rot gefärbt waren und daß sich von denselben aus das Pulver dergestalt über die Flächen verbreitete, daß in der Mitte eine neutrale Zone (vergl. S. 69) blieb; die Färbung geht nun auch auf die Verbindungskanten und von da auch auf die Flächen der Rhomboeder selbst über. Dies Resultat wiederholte sich bei Untersuchung einer Quarzplatte, indem hier die an den abwechselnden Pollanten liegenden Sertanten abwechselnd rot und gelb gefärbt und durch eine neutrale (ungefärbte) Zone getrennt waren. Jedenfalls ist der in

Kürze besprochenen Untersuchungsmethode eine große Bedeutung beizumessen. — —

Von den anderen Elektrizitäts-Quellen, nämlich von der Erregung der Elektrizität durch Berührung zweier verschiedenen Stoffe und durch Wärme — Berührungs- und Thermo-Elektrizität — wird im III. Abschnitt, wo auch die tierische Elektrizität zur Besprechung kommt, eingehend die Rede sein; für jetzt haben wir uns noch mit der atmosphärischen oder Luft-Elektrizität zu beschäftigen.

19. Atmosphärische oder Luft-Elektrizität.

Unter atmosphärischer oder Luft-Elektrizität versteht man, um dies gleich vorerst zu bemerken, die in der Luft (Atmosphäre) stets — also nicht bloß bei Gewitter — vorhandene schwache Elektrizität, welche nicht unmittelbar durch unsere Sinne, sondern nur durch empfindliche Elektroskope, deren Zuleitungen hoch in die Luft emporragen oder mittels besonderer Vorrichtungen gehoben werden, wahrnehmbar und nachweisbar ist. Die Kenntnis dieser Thatsache ist jünger als die Erkenntnis der elektrischen Natur des in der Atmosphäre auftretenden Gewitters. Denn während bereits der Engländer Wall, welcher den ersten elektrischen Funken beobachtete, i. J. 1708 darauf aufmerksam machte, daß die Entstehung des elektrischen Funkens und des dabei hörbaren Knisterns bedeutende Ähnlichkeit mit der Erscheinung des Blitzes und Donners habe, was denn auch, wie wir im folgenden Kapitel erfahren werden, 40 Jahre später mit Sicherheit durch B. Franklin erkannt und bewiesen wurde — so konnte man erst 1752 über das Vorhandensein und die Beschaffenheit atmosphärischer Elektrizität einigermaßen Aufschluß erlangen.

In dem Bestreben, die Natur der bei Gewitter u. in der Atmosphäre auftretenden Elektrizität zu ermitteln, hatte nämlich der große Amerikaner Benjamin Franklin im September 1752 auf seinem Hause in Philadelphia eine isolierte metallene Wetterstange aufgerichtet, deren unteres Ende zwecks selbstthätiger Anzeige der Elektrizität mit einem der bekannten elektrischen Glockenspiele in Verbindung stand. Dabei nahm man wahr, wie die Glocken zuweilen ertönten, während man von Blitz und Donner vorher gar nichts bemerkt hatte, sondern nur dunkle Wolken oberhalb des Stabes vorüberziehen sah; manchmal dagegen ertönten die Glocken nur nach dem Erscheinen eines Blitzes. Als Franklin im Frühjahr 1753 in wiederholten Versuchen mittels des Stabes eine Leydener Flasche lud, um über die Beschaffenheit der Wolken-Elektrizität Auskunft zu erhalten, fand er diese Elektrizität seit dem am 12. April angestellten ersten Versuch stets negativ

und erst am 6. Juni entdeckte er die erste positiv elektrische Wolke; durch all' seine Beobachtungen kam er zu dem Schluß, daß die Wolken-Elektrizität bald dieser, bald jener Art, am öftesten jedoch negativ sei.

Die Bemerkung von der wechselnden Natur der atmosphärischen Elektrizität wurde zur selben Zeit von dem englischen Physiker Canton und etwas später, in den 60er Jahren, von dem Turiner Professor Beccaria (1716 bis 1781) gemacht. Beccaria namentlich zeichnete sich durch Scharfsinn und Beobachtungsgabe aus und versuchte („Lettere dell' elettr.“, 1767) sogar alle meteorologischen Erscheinungen: Gewitter, Regen, Hagel und Schnee, auch die Meteore und Sternschnuppen, Nordlicht und Wetterleuchten, Wasserhosen und Wirbelwinde, ja selbst das Erdbeben als durch elektrische Vorgänge veranlaßt darzustellen; allerdings konnten die von ihm gegebenen Erklärungen dieser Erscheinungen, mit Ausnahme der heut' noch anerkannten von der Entstehung des Donners, in der Folge nicht mehr als zutreffend angesehen werden. Seine Untersuchungen über atmosphärische Elektrizität stellte er meist folgendermaßen an. Zwischen einen Schornstein und den Ast eines Kirschbaumes wurde ein 132 Fuß langer, gut isolierter Draht gespannt, von dessen oberem Ende ein zweiter, mit einem im Arbeitszimmer Beccaria's befindlichen Hollundermarkkugel-Elektrometer leitend verbundener Draht ausging. Zu Beginn jeder Beobachtung wurden die Markkugeln durch Berühren mit der Hand in den neutralen Zustand versetzt. Nachdem die Berührung aufgehoben war, vergingen manchmal einige Sekunden, manchmal mehr als eine Minute, bis die Pendel des Elektroskops das größte Maß ihres Ausschlages erreichten. Die Folgerung daraus stellt sich nun etwa so: Wäre der elektrische Zustand der Luft ein beständig gleicher und die Elektrizitäts-Zerstreuung gleich Null, so würde durch eine jetzt erfolgende Berührung des Drahtes das elektrische Potential (Arbeitsleistung) desselben auf Null verringert werden und letzteres würde Null bleiben. Nun aber zeigt uns die verschiedene Geschwindigkeit, mit welcher die Elektrifizierung des Drahtes und des damit verbundenen Elektroskops erfolgt, daß das Potential des Drahtes geändert wird, und dies muß zwei Umständen zugeschrieben werden: einerseits einer Elektrizitäts-Zerstreuung, welche sich mit dem hygrometrischen (Feuchtigkeits-) Zustande der Atmosphäre ändert, andernteils einer Menge elektrifizierter Teilchen, welche vom Winde bis zur Berührung mit dem Draht getrieben werden.

Inzwischen hatte der Domherr B. Mazéas in Vannes (1712—1776) im Jahre 1752 mit einer isolierten, scharfspitzigen Eisenstange Versuche über die atmosphärische Elektrizität angestellt und im Jahre 1753 die ersten genauen Beobachtungen über den Zusammenhang der letzteren mit anderen

meteorologischen Verhältnissen vorgenommen, und sein Landsmann Le Monnier in Saint-Germain en Lay hatte durch einen gleichfalls 1752 mit der Mazéas'schen Vorrichtung gemachten Versuch die Vermutung, daß die Elektrizität der Wetterwolken in einem vorangegangenen elektrischen Zustande der atmosphärischen Luft ihren Grund habe und daß auch bei reinem Himmel die Atmosphäre elektrisch sei, bestätigt gefunden. Indem er zeigte, daß schon eine geringe Höhe der Beobachtungstange zur Ansammlung der Elektrizität genüge und daß diese leitende Menge auch bei vollkommen klarem Himmel so stark elektrisch werden könne, um ihr Funken entziehen zu können, wies er zugleich nach, daß bei heiterem Himmel die Atmosphäre positiv elektrisch sei. Es wurde dann auch gefunden, daß diese Luft-Elektrizität täglich wiederkehrende regelmäßige Abänderungen beobachten lasse.

Die Versuche Le Monnier's, welche alsbald von den Engländern Canton, Wilson und Bevis wiederholt wurden, gaben den Anstoß zu weiteren Beobachtungen sowohl, wie auch zu rein theoretischen Erörterungen, welche von Cavallo, Lichtenberg, Saussure, Bennet, Bequerel, Breschet, Volta, Gay-Lussac und Biot, Maréchal, Schübler, Pouillet, Dellmann, Peltier, Lamont, Bequerel, Duetelet, Thomson, Mascart, Gaston Planté, Palmieri, W. Siemens, Edlund, Jordan u. A. angestellt und ausgeführt wurden: deutsche und französische, englische und italienische, Schweizer, schwedische und andere Physiker nahmen Theil an der Arbeit.

Liberius Cavallo (London) kam auf Grund einer bedeutenden, vom August 1775 an mehrere Jahre hindurch in Solington gemachten Beobachtungsreihe zu dem Schluß, daß die Elektrizität der Atmosphäre beständig positiv und bei dickem Nebel, sowie an hochgelegenen Orten, am stärksten sei. Zur Erkennung des elektrischen Zustandes der Atmosphäre stellte er folgenden Versuch an. Am Ende eines ausziehbaren Fischstockes wurde mittels einer isolierenden Stange eine Hollundermarkkugel befestigt und an dieser ein Paar, das Elektrostop bildende Pendel angebracht, an welche man eine, mit dem Erdboden durch einen Leitungsdraht verbundene Nadel anlegte; nun wurde der Fischstock bis zu jener Höhe, in welcher der elektrische Zustand der Atmosphäre untersucht werden sollte, gebracht, sodann nach einigen Minuten die Nadel vermittelst des Drahtes zurück- und das Pendel-Elektrometer in das Versuchszimmer hereingezogen, und die Beobachtung der Abweichung der Pendel ließ jetzt einen Schluß auf das elektrische Potential der Luft zu.

Lichtenberg, der bekannte Göttinger Gelehrte, benutzte bereits 1778 bei seinen Untersuchungen über atmosphärische Elektrizität einen selbstthätigen Registrier-Apparat — eine Vorrichtung, welche das mühsame, mehrmals am Tage und während der Nacht zu wiederholende stundenlange Beobachten

entbehrlich macht und, in dieser oder jener Konstruktion, von Physikern und Meteorologen mit Vorteil mannigfach zur Verwendung gelangt. Der von Lichtenberg erfundene Apparat, welcher darin bestand, daß eine mit der schon von Franklin gebrauchten Beobachtungsstange leitend verbundene Metallkugel auf einer mittels eines Uhrwerks bewegten und mit sog. elektrischen Pulver bestreuten Elektrophorscheibe schleifte, gestattete dem Untersucher, die Beschaffenheit der atmosphärischen Elektrizität ohne fortwährende direkte Beobachtung nachträglich zu ermitteln; noch jetzt kommt dieser Apparat zur Verwendung.

Der Genfer Professor Horace Benedikt de Saussure (1740—1799), welcher ebenfalls der Frage nachging, in welcher Weise der elektrische Zustand bezw. die elektrische Kraft (Potential) der Atmosphäre mit der Erhebung von der Erdoberfläche sich ändere, bediente sich bei seinen Versuchen eines empfindlichen Cavallo'schen Elektroskops oder Elektrometers (s. S. 77), das sich in einem viereckigen, auf der Vorderseite mit einem Gradbogen versehenen Glasgehäuse befand und oben eine lange, zugespitzte Drahtstange aufgesetzt erhielt, welche durch isolierende Stützen und Seidenfäden senkrecht gehalten wurde. Saussure vermochte mit diesem Apparat bis etwa 5 m (15—16 Fuß) in die Höhe zu gehen und beobachtete, daß schon eine Erhebung von 3 cm über den Erdboden hinreichte, um einen Ausschlag der Pendel um ungefähr 20 Grad zu bewirken. Nach den Untersuchungen Saussure's soll die Vorrichtung selbst bis zu 25 Grad Ablenkungen ergeben, welche in gleichem Verhältnis zu den Potential-Unterschieden stehen. Um nun aber den elektrischen Zustand der Atmosphäre auch in größeren Entfernungen über der Erdoberfläche (bis zu 12 oder 16 m) zu erforschen, benutzte Saussure eine Metallkugel, welche am Ende eines Metalldrahtes befestigt war, dessen anderes Ende mit einem Ring verbunden war, welcher längs der Zuleitkugel des Elektrometers schleifen konnte. Diese Kugel wurde von dem Forscher mit der Hand senkrecht in die Höhe geworfen. Es gelang ihm nun vermöge seiner Beobachtungen, im Jahre 1785 für die Schwankungen der atmosphärischen Elektrizität an heiteren Tagen eine ziemlich regelmäßige tägliche Periode nachzuweisen — ein Resultat, dessen Richtigkeit von Maréchal (später Professor der Physik in München) bestätigt wurde, nur daß es dieser noch schärfer bestimmte. Der Tübinger Professor Gustav Schübler (1787—1834) konnte noch einen Schritt weiter thun und im Verfolg seiner eingehenden systematischen Beobachtungen außer der täglichen eine jährliche Periode der Luft-Elektrizität nachweisen und zugleich, wie er in seinen „Grundsätzen der Meteorologie“ erörtert, einen Zusammenhang der Elektrizität der atmosphärischen Niederschläge mit der Windrichtung ermitteln.

Zur Zeit Saussure's hatte auch der englische Gelehrte Abraham Bennet sein Elektroskop empfindlicher gemacht, indem er im September 1786 auf der Zuleitkugel einen brennenden Körper anbrachte, weil er wahrgenommen, daß durch eine Flamme eine erhebliche Steigerung der Empfindlichkeit erzielt würde. Dasselbe that im folgenden Jahre Volta, denn auch er hatte diese Beobachtung gemacht. Wenn man eine, an ihrem oberen Ende mit einem brennenden Körper (Docht) versehene Metallstange mit einem Elektrometer, welcher elektrische Potentiale genau zu messen gestattet, in metallische Verbindung setzt und dafür sorgt, daß die Metallstange im Übrigen isoliert aufgestellt ist, so zeigt das Elektrometer das Potential jener Luftschicht an, in welcher sich die Flamme befindet. Dies schreibt sich daher, daß, wenn man einen isolierten Konduktor in leitende Verbindung mit einer Flamme — die als eine äußerst feine Spitze betrachtet werden kann bezw. deren Stelle vertritt — bringt, „die gasigen Verbrennungsprodukte so lange Elektrizität entweichen lassen, bis das elektrische Potential der Flamme und des mit ihr in leitender Verbindung stehenden Konduktors gleich dem Potential der die Flamme umgebenden Luftmasse“ ist. Welchen Vorteil eine mit der (seit Franklin allein gebrauchten) Metallspitze verwendete Flamme bietet, erkannte Volta daraus, daß das von ihm benutzte Elektrometer fast das doppelte Potential anzeigte von dem, welches bei alleiniger Verwendung der Spitze zu bemerken war. Außerdem nahm er wahr, daß die Größe der Flamme keine Einwirkung auf das beobachtete Potential hatte, daß sogar zwei am Ende der Metallstange angebrachte Flammen dieselbe Elektrizität lieferten wie eine, und daß statt hell brennender auch glimmende bezw. ohne Flamme rauchende Körper benutzt werden konnten, nur trat in letzterem Falle die Wirkung nicht so scharf hervor.

Um noch einmal auf den Saussure'schen Apparat zurückzukommen, so muß vermerkt werden, daß A. C. Bequerel und Breschet sich denselben in vervollkommneter Ausführung bei späteren diesbezüglichen, am Großen St. Bernhard unternommenen Versuchen bedienten. Statt der Spitze an der langen Metallstange, resp. statt der in die Höhe geworfenen Metallkugel gebrauchten sie einen Pfeil, welcher mit Hilfe eines stark gespannten Bogens in die Luft geschleudert wurde. Mit diesem Pfeil war ein mit Haufsgold überzogener, gegen 80 m langer Seidenfaden leitend verbunden, dessen anderes Ende mit dem Elektrometer in leitender Verbindung stand. Je höher nun der Pfeil geschleudert wurde, desto beträchtlicher erwies sich die Elektrifizierung des Elektrometers, und zwar wurde die beobachtete Elektrizität stets als positive erkannt. Daß übrigens die Vermutung, es könne wenigstens ein Teil der beim Steigen des Pfeiles wahrgenommenen Elektrizität auf die Reibung dieses Körpers in der Luft

zurückzuführen sein, nicht zutrifft, erhellt aus Folgendem: Würde die bemerkte Elektrizität oder doch ein Teil derselben durch solche Reibung entstehen, so müßte sie doch auch dann auftreten, wenn der Pfeil in wagenrechtlicher Richtung abgeschossen würde; indessen zeigte sich in diesem Falle für gewöhnlich keine Spur von Elektrizität.

An Stelle des Pfeiles läßt sich auch ein mit Metallspitzen oder Nadeln versehener Drache, wie ihn bereits B. Franklin sich dienstbar machte, verwenden und durch eine leitende Schnur mit dem Elektrometer in Verbindung setzen; die französischen Gelehrten Gay-Lussac (1778 bis 1850) und Biot (1774—1862) aber brachten bei ihren Versuchen 1804 ein Elektroskop in die Gondel eines Luftballons, versahen dasselbe mit einem 50 m langen, aus der Gondel hängenden und vermittelt einer Metallkugel in Spannung erhaltenen Metalldraht und schlugen damit einen neuen Weg zur Untersuchung der atmosphärischen Elektrizität ein, welcher dann auch von Anderen beschritten wurde.

Neuerdings sind auf noch anderen Grundsätzen und Grundgesetzen, besonders auf der elektrischen Influenz, beruhende Apparate zur Beobachtung und Messung der Luft-Elektrizität angegeben und angewendet worden, so von Dellmann in Kreuznach, Peltier, William Thomson u. A. Namentlich suchte man die von Lichtenberg her bekannten selbstregistrierenden Apparate zu vervollkommen und auszunutzen, und in dieser Beziehung sind hauptsächlich der schon genannte englische Physiker Thomson und der französische Physiker G. Mascart zu merken; allein es würde die Aufgabe dieses Buches erheblich überschreiten, wollten wir die betreffenden komplizierten Instrumente und deren Gebrauch eingehend behandeln. Dagegen mag noch erwähnt sein, daß einer der tüchtigsten neueren Forscher auf unserem Gebiete, der berühmte Besuw-Beobachter Professor Luigi Palmieri in Neapel (geb. 1807), sich zufolge seiner langjährigen Erfahrung gegen das Verfahren der Selbstregistrierung bei den zur Untersuchung der atmosphärischen Elektrizität bestimmten Apparaten ausspricht und bei seinen Arbeiten ein an das Dellmann'sche Instrument erinnerndes Elektrometer benutzte. Damit schließen wir den geschichtlichen Überblick über die Untersuchungs-Methoden und wenden uns zu einer Zusammenstellung der

Untersuchungs-Ergebnisse. Zunächst haben die Beobachtungen gelehrt, daß, wie schon erwähnt, die Atmosphäre nicht nur zur Zeit eines Gewitters, sondern auch bei anderem Wetter und selbst bei heiterem Himmel mit Elektrizität geladen ist. Je höher man das Elektroskop (Elektrometer) bringt, d. h. je höhere Luftschichten untersucht werden, als desto beträchtlicher erweist sich die Menge der dort vorhandenen freien Elektrizität. Während also unter gleichen atmosphärischen Verhältnissen

die elektrischen Anzeichen auf Höhen (Bergen u.) weit kräftiger sich markieren als in der Ebene, so haben doch die Wahrnehmungen gelehrt, daß die relative Höhe — d. h. die Höhe des betreffenden Beobachtungsortes im Verhältnis zum Erdboden oder zu den benachbarten (umliegenden) Punkten und Gegenständen — von größerem Einfluß auf den Elektrizitäts-Anzeiger ist als die absolute Höhe des Beobachtungsortes (Luftschicht), d. h. die Erhebung desselben über der fortgesetzt gedachten und als Nullpunkt betrachteten Meeresfläche. Je näher der Erdoberfläche, desto geringer zeigt sich die im Elektrometer erkennbare Kraft der Luft-Elektrizität, und die dem Erdboden naheliegenden Luftschichten scheinen unelektrisch zu sein.

Es fragt sich nun, welcher Art die atmosphärische Elektrizität ist? Im allgemeinen kann man sagen, daß die letztere bei heiterem Himmel positiv ist. Dies trifft nur dann nicht zu, wenn in einer gewissen Entfernung vom Beobachtungsort atmosphärische Niederschläge stattfinden; denn Palmieri hat bemerkt, daß wenn am Beobachtungsort bei heiterem Himmel negative Elektrizität auftritt, in einer gewissen Entfernung von dem ersteren entweder Regen oder Hagel oder Schnee fällt; ist letzteres jedoch innerhalb eines den Beobachtungsort einschließenden konzentrischen Kreises, dessen Halbmesser bis 70 km messen kann, nicht der Fall, so gewahrt man eben nur positive Elektrizität. Auch bei bewölktem Himmel ist in dem Falle, daß keine atmosphärischen Niederschläge stattfinden, die Luft-Elektrizität immer positiv, wenngleich weniger kräftig als bei heiterem Himmel. Bei regnerischem Wetter läßt sich positive oder aber negative Elektrizität beobachten, und zwar kommt dabei laut Palmieri folgendes Gesetz zur Geltung: An dem Orte, wo Regen fällt, findet sich reichliche positive Elektrizität mit einem sie umgebenden, mehr oder minder breiten Gürtel von starker negativer Elektrizität, und auf diesen folgt wiederum eine Zone starker positiver Elektrizität, die jedoch in größerer Entfernung rasch abnimmt. Wenn nun einmal an einem Orte, an welchem Regen fällt, negative Elektrizität wahrzunehmen sein sollte, so weist dies stets auf stärkeren Regenfall in einer gewissen Entfernung hin, und in Folge des letzteren strömen starke Mengen negativer Elektrizität gegen den Beobachtungsort hin. Für die Richtigkeit des Satzes, daß die am Beobachtungsort zu beobachtende negative Elektrizität nicht als Folge des hier stattfindenden (örtlichen) Regens, sondern als Wirkung der soeben erwähnten Strömung anzusehen ist, führt Palmieri eine Beobachtung an. Er fand nämlich starke negative Elektrizität, während es im Observatoriums-Gebiet auf dem Vesuv stark regnete, und bemerkte ein Kräftigerwerden derselben, als der Regen aufgehört hatte. Diese Beobachtung deckt sich mit der-

jenigen, welche das Auftreten negativer Elektrizität am Beobachtungsort bei heiterem Himmel betrifft.

Palmieri hat noch weitere Untersuchungen angestellt und auch über sie in seiner Schrift: „Loggi ed origine della elettricità atmosferica“ *) berichtet. Geht z. B. an einem Orte eine starke Verdichtung (Kondensation) des Wasserdampfes vor sich, so häuft sich in den oben erwähnten, den Beobachtungsort umschließenden Zonen Elektrizität derart stark an, daß man aus einem in die Höhe gehaltenen Konduktor kräftige Funken zu ziehen im Stande ist. Auch auf die elektrische Natur der verschiedenen Wolken beziehen sich Palmieri's Mitteilungen. Gewöhnliche Wolken und Gewitterwolken unterscheiden sich diesbezüglich nur dadurch, daß die letzteren öfter und schneller in Wasser sich auflösen, wodurch eine stärkere Elektrizitäts-Entwicklung bedingt wird; überhaupt entsteht mit der Auflösung der Wolken in Wasser Elektrizität. Bei den Ausbrüchen des Vesuv nahm Palmieri wahr, daß der in den Rauchwolken sich kondensierende Wasserdampf eine bemerkbare Menge positiver Elektrizität enthält, und daß die wieder herabfallende Asche die Neigung hat, bei Annäherung an den Erdboden negative Elektrizität anzunehmen und auf diese Weise die positive Elektrizität der Rauchwolken zu vermehren. Ebenso kann Asche oder Staub, durch Wind aufgewirbelt und in die Luft erhoben, einen negativ elektrischen Zustand der letzteren herbeiführen.

Wie wir wissen, deuten starke elektrische Spannungen in der Luft mit Sicherheit auf Bewölkung, auch auf Nebel oder Reif, und mit großer Wahrscheinlichkeit auf Regen, Schnee oder Hagel hin; mit dem verhältnismäßigen Feuchtigkeitsgehalt der Luft wächst die Luft-Elektrizität, der Regen insbesondere ist von Anfang bis zu Ende stets von außergewöhnlicher elektrischer Spannung begleitet. Aus dem angeführten Grunde ist die Luft-Elektrizität während des Winters, zu welcher Zeit die Luft von Dunst und Nebel erfüllt ist, stärker als im Sommer. Der jährliche Verlauf der Luft-Elektrizität gestaltet sich in der Weise, daß sie im Januar einen größten Wert (ein Maximum) erreicht, dann bis Juni abnimmt, in diesem Monat ein Minimum erlangt und nun wieder zunimmt; nach der Angabe des Brüsseler Forschers Duetelet soll die Luft-Elektrizität im Monat Januar, also zur Zeit des Maximum, 13mal bedeutender als im Monat Juni sein.

Auch die Aenderungen, welche die atmosphärische Elektrizität im Laufe eines Tages erfährt, stehen mit dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft in engster Wechselbeziehung. Die tägliche Periode wird im allgemeinen gekenn-

*) „Die atmosphärische Elektrizität“, deutsche Uebersetzung von Helnr. Ditscher, Wien 1884, A. Hartleben's Verlag.

zeichnet durch zwei größte (Maxima) und zwei kleinste Werte (Minima). Das erste Maximum erreicht sie, gleicherweise wie die relative Feuchtigkeit, Morgens einige Stunden nach Aufgang der Sonne, d. i. im Sommer gegen 8 Uhr, im Winter gegen 10 Uhr Vormittags. Von da an nimmt sie ab und wird am schwächsten einige Stunden vor Sonnen-Untergang (erstes Minimum). Nun steigt sie wieder rasch und erlangt einige Stunden nach Sonnen-Untergang, im Sommer nach 9 Uhr, im Winter gegen 6 Uhr Abends, das zweite Maximum, welches nach Palmieri's Angabe in der Regel stärker ist als das erste und mitunter während der Nacht anhält, doch sinkt es stets gegen Tagesanbruch, also zu einem zweiten Minimum. Mancherlei meteorologische Verhältnisse, wie Wind, Nebel, Auftreten von Wolken am Horizont, können auf den kurz geschilderten täglichen Verlauf der Luft-Elektrizität abändernd, störend einwirken, indem sie die Größe bezw. Dauer der beiden Maxima und Minima beeinflussen. Palmieri macht auf Grund seiner Beobachtungen unter Anderem noch darauf aufmerksam, daß das Größerwerden und die längere Dauer der Maxima mit der Zunahme der relativen Luftfeuchtigkeit zusammenhängt, daß ferner die Eintrittsstunde der Maxima und Minima im Verhältnis zu der Höhe des Beobachtungsortes abändern soll und daß z. B. große Maxima, welche von den gewöhnlichen Zeitpunkten ihres Eintretens sich entfernen, meist eine Bewölkung des Himmels in den folgenden Tagen anzeigen. Zu ähnlichen Schlüssen war bereits vor 40 Jahren Duetelet gekommen; denn er sagte, daß die Maxima der atmosphärischen Elektrizität an den Stunden des Tages stattfinden, an welchen plötzliche Wechsel der Temperatur vor sich gehen, während die Minima zu jenen Zeitpunkten eintreten, wenn das Thermometer fast stillsteht, und daß ferner die Veränderungen der Luft-Elektrizität in Übereinstimmung mit den täglichen Veränderungen des Barometerstandes und insbesondere mit den Abänderungen der magnetischen Deklination — von welcher im folgenden Abschnitt die Rede sein wird — sich befinden.

Ursprung der Luft-Elektrizität. Es konnte nicht ausbleiben, daß man bald nach erfolgter Entdeckung der atmosphärischen Elektrizität nach den Ursachen, dem Ursprung derselben fragte. Die bedeutendsten Forscher beschäftigten sich mit diesem Punkte, und so entstand eine ganze Reihe mehr oder minder voneinander abweichender Erklärungsversuche oder Hypothesen, die jedoch den fraglichen Gegenstand noch nicht mit hinreichender Sicherheit aufklären. Einige derselben müssen wir berühren.

Als wahrscheinliche Ursachen der Luft-Elektrizität haben wir anzusehen: die Verdampfung der Gewässer, die rasche Verdichtung der in der Luft vorhandenen Wasserdämpfe, die Reibung der Luft- und Dampf-

teilchen der Winde, die wechselnde Temperatur in den oberen Luftschichten, die Vegetations-, Lebens- und Verbrennungs-Vorgänge, die natürlichen chemischen Prozesse. Namentlich die ersteren beiden, in natürlichem Zusammenhang stehenden Punkte gewinnen erhebliche Bedeutung, da ja tatsächlich gerade die nachdrücklichsten elektrischen Vorgänge in der Atmosphäre von beträchtlichen wässerigen Niederschlägen begleitet zu sein pflegen, was doch wohl auf eine Wechselbeziehung zwischen Elektrizitäts-Erregung und der Verdichtung des Wasserdampfes hindeutet.

Schon Pouillet, der bekannte französische Physiker (1791—1868), stellte in den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts auf Grund seiner Untersuchungen die Ansicht auf, daß durch den Prozeß der Verdampfung — und ebenso durch die Vorgänge der Vegetation — Elektrizität erzeugt werden kann, und noch vor ihm sahen Rollet, Priestley, Saussure, Volta lediglich den Verdampfungs-Vorgang als Quelle der Elektrizität an, ja Volta stellte als allgemeines Gesetz auf, „daß der aus dem Wasser sich entwickelnde Dampf positiv, das Wasser selbst negativ elektrisch sei und daß sich daraus eine sehr einfache Erklärung der positiven Luft-Elektrizität ergeben würde“.

Neuerdings war es nun vor Allen Palmieri, welcher bei seinen Forschungen über den Ursprung der atmosphärischen Elektrizität und unter Berücksichtigung aller in Betracht kommenden Umstände als Haupt- oder eigentliche Ursache der Luft-Elektrizität die Verdichtung der Wasserdämpfe aufstellte; seine Beobachtungen, denen zufolge die Luft-Elektrizität mit der Zunahme der relativen Luftfeuchtigkeit stärker wird, daß ferner bei Regen, Hagel oder Schnee die Spannung dieser Elektrizität bis zur Funkenbildung wächst und daß das rasche Erscheinen von Nebel am Horizont immer von kräftigeren elektrischen Anzeichen begleitet ist, drängten ihn zu dem Schluß, daß der unmittelbare Ursprung der atmosphärischen Elektrizität in der Verdichtung der Wasserdämpfe zu suchen sei, und zu der Meinung, daß nach den Ergebnissen der bezüglichen Untersuchungen die Aufstellung einer neuen, von der seinigen abweichenden Erklärung (Hypothese) über den Ursprung der Luft-Elektrizität kaum noch nötig sei. Gleichzeitig betont er jedoch, daß seine Hypothese nur auf den Ursprung, nicht aber auf die Bewegung der Luft-Elektrizität hinziele.

Von den Versuchen Palmieri's sei nur Einiges angefügt: Er überzog einen großen Platinbecher an der gewölbten (konvexen) Seite mit Wachs und aus dem Gürtel einer Kristallglocke fertigte er ein cylindrisches Gefäß, welches somit einen konkaven (vertieften) Platinboden hatte und an seiner äußeren Seite unbedeckt war, während der innere Teil desselben konvex und mit Wachs überzogen war. Zweck Isolierung des Gefäßes wurde es ungefähr 1 m überm Erdboden an drei seidenen Schnüren auf-

gehängt. Senkrecht unter diesem Apparat aber erhielt ein geräumiger, mit Wasser, das zum Sieden gebracht wurde, gefüllter Metallbecher Aufstellung. Der sich beim Kochen bildende und in die Höhe steigende Wasserdampf drang in die konkave Öffnung des Platinbeckers ein, und brachte man nun in das höher gelegene Gefäß Schnee oder kaltes Wasser, so hatte dies eine Verdichtung des Wasserdampfes im Platinbecher zur Folge und der letztere zeigte, mit einem Elektroskop in leitende Verbindung gesetzt, bei rascher Verdichtung des Wasserdampfes Anzeichen positiver Elektrizität. Und diese Beobachtung, in Gemeinschaft mit anderen Untersuchungen, leitete den genannten Forscher zu der Ansicht, daß die Kondensation des Wasserdampfes die unmittelbare Ursache der Luft-Elektrizität und die Verdampfung (Dampfbildung) die mittelbare oder entferntere Ursache bezw. Quelle der letzteren bilde.

Aber nicht nur Palmieri ist von der Richtigkeit seiner Theorie überzeugt, sondern auch die meisten Fachmänner und Gelehrten pflichten ihm bei; trotzdem wollen wir wenigstens auf die hauptsächlichsten der übrigen Erklärungsversuche einen Blick werfen.

Schon oben wurde die Pouillet'sche Anschauung angedeutet: Elektrizität werde auch durch die Vorgänge des Pflanzen-Wachstums erzeugt. Pouillet hatte nämlich eine Anzahl Versuche angestellt und aus den dabei gemachten Beobachtungen den Schluß gezogen, „daß die den Pflanzen entströmenden Gase während des Atmungsprozesses der ersteren im Verhältnis zur Erdoberfläche positiv elektrisch seien“. Der Berliner Physiker Rieß trat dem entgegen, weil er bei den mit beäeter und mit unbesäeter Erde angestellten Versuchen in beiden Fällen beständig zu übereinstimmendem Ergebnis gelangte, ein Unterschied im Resultat trotz der abweichenden Anordnung des Versuchs sich also nicht herausstellte. Ein dritter Gelehrter, welcher seine Aufmerksamkeit diesem Punkte zuwandte, Buff, erklärte die durch das Pflanzen-Wachstum bewirkte Elektrizitäts-Entwicklung in der Weise, daß die unteren Teile der Pflanzen gegen die weiter oben liegenden sich negativ elektrisch verhalten, die oberen sonach positiv elektrisch seien. Ältere Forscher, so Lavoisier und Davy, schrieben die Entstehung der Luft-Elektrizität den Verbrennungsprozessen zu, und der durch seine Untersuchungen über den Sauerstoff bekannte Meißner führte dieselbe auf Drydationen zurück, indem er annahm, daß bei der meist durch das Ozon (s. S. 164. 214) erfolgenden Drydation viel positiver Sauerstoff frei werde und dieser letztere die Luft-Elektrizität, welche doch in der Regel positiv elektrisch ist, erzeuge.

Der soeben wieder hervorgehobene Umstand, daß die atmosphärische Elektrizität in der Regel positiv ist, veranlaßte mehrere andere Forscher:

Lamont, Peltier, Thomson, zu der Anschauung, daß die Oberfläche der Erde negativ und im Zusammenhang damit die Atmosphäre positiv elektrisch sei; über die Ursache dieses elektrischen Gegensatzes gehen zwar die Ansichten auseinander, doch suchen alle den Sitz der die Luft-Elektrizität erzeugenden Ursache in der Erde, und Letzteres thut auch, wenngleich in abweichender Weise, der französische Physiker Gaston Planté, ein Schüler des schon mehrfach genannten Forschers A. C. Bequerel. Während nämlich Lamont u. A. die Erde mit einer gewissen Menge negativer Elektrizität — die nur hinsichtlich ihrer Verteilung, nicht aber hinsichtlich ihres Maßes Änderungen erleiden kann — ausgerüstet sich denkt, nimmt Gaston Planté an, daß der Erde wie allen sonstigen Weltkörpern seit ihrem Bestehen ein Vorrat an positiver Elektrizität eigen ist, daß ferner diese Elektrizität der Erde entströmt, resp. eine Zerstreuung (Dissipation) in den Weltraum erfährt und daß sie bei diesem Ausströmen wegen der unmerklichen Verdünnung der unteren Luftschichten nur in den oberen Regionen sich ansammelt und in ihrer Fortbewegung — „in der Diffusion der Elektrizität in die Luft“ — durch die über den Gewässern sich bildenden Wasserdämpfe unterstützt wird. Aus letzteren beiden Umständen erklären sich nach Planté in sehr einfacher Weise die beiden Untersuchungs-Ergebnisse, daß erstens die Kraft der atmosphärischen Elektrizität mit der Erhebung von der Erdoberfläche zunimmt und daß zweitens die freie Luft-Elektrizität oberhalb der Meere (wegen der beträchtlicheren Dampfbildung) bedeutender als über der festen Erdrinde ist. Dagegen kommt Lamont — welcher der Atmosphäre das Vermögen, die Elektrizität behalten und leiten zu können, abspricht — zu folgenden Schlüssen. Da die Erde keine glatte Kugel mit gleichförmiger Oberfläche ist, so kann auch ihre (negative) Elektrizität nicht gleichmäßig verteilt sein; aus diesem Grunde und aus dem Umstande, daß sich Elektrizität vorzugsweise an Spitzen und Erhebungen anhäuft (vergl. S. 94), erklärt es sich leicht, daß die Elektrizität an hohen Punkten der Erdoberfläche, z. B. auf Bergspitzen und Türmen, stärker als in der Ebene angesammelt ist; da ferner der mit der Erde in Berührung stehende Wasserdampf in derselben Weise sich verhält wie eine Erhebung der Erdoberfläche, so erklärt sich, daß die Erd-Elektrizität von der letzteren auf die Oberfläche der Wasserdampfmasse sich hinzieht und hier sich anhäuft.

Noch andere Theorien gestehen der Sonne bei der Erzeugung der Luft-Elektrizität einen mehr oder minder großen Einfluß bezw. Anteil zu. Hierher gehören die Hypothesen von Bequerel und von W. Siemens, welche allerdings in betreff der endschliesslichen Ursache auseinander gehen. Bequerel nämlich läßt die Luft-Elektrizität durch die Zersetzung wasser-

stoffhaltiger Stoffe auf der Sonne erzeugt werden, und der — wie es tatsächlich der Fall ist — der Sonne entströmende, nach Bequerel positiv elektrische Wasserstoff soll seine Elektrizität an die im Weltraum befindlichen Körper abgeben, welche sie an die Atmosphäre der Erde übermitteln. Anders die Entwicklung der Luft-Elektrizität nach der kühnen, umfassenden Theorie Siemens' (1884). Diese stützt sich auf die Annahme einer elektrischen Sonnenladung, und zwar soll die letztere durch die Reibung der nach Siemens' Meinung von den Polen der Sonne gegen deren Äquator hin strömenden Materie entstehen. Durch die Reibung wird aber auch die Materie elektrisiert und diese dann infolge der durch Umdrehung der Sonne hervorgerufenen Flugkraft in den Weltraum geschleudert. Die Sonnen-Elektrizität wirkt influenzierend auf die Erde, und da sie laut Siemens positiv ist, so wird die gleichnamige Elektrizität der letzteren in den Weltraum zerstreut oder dissipiert*), während die ungleichnamige, d. h. die negative, an der Erdoberfläche sich ansetzt. „Die zerstreute positive Elektrizität der Erde und die negative der fortgeschleuderten Sonnenmaterie begegnen sich und geben an der Grenze unserer Atmosphäre Veranlassung zu den Polarlichtern.“ Ein solcher Ausgleich der entgegengesetzten Elektrizitäten geschieht jedesmal dann, wenn Schwankungen der Sonnen-Elektrizität — in den Zeiten der größten Ausdehnung der Sonnenflecken — auch Abänderungen der Erd-Elektrizität im Gefolge haben. Wie aus dieser kurzen Darlegung der Siemens'schen Hypothese erhellt, erklärt die letztere nicht nur die positive Luft-Elektrizität, sondern auch, und zwar in befriedigender Weise die rätselhaften, wunderbaren Erscheinungen der Nord- oder Polarlichter.

Wir müßten eines Vorwurfes gewärtig sein, wollten wir dieses Kapitel schließen, ohne der Theorie des schwedischen Physikers Edlund (1873 ff.) mit einigen Worten gedacht zu haben. Edlund, welcher den Welt- oder Lichtäther als den Träger der elektrischen Erscheinungen (s. S. 66) und den elektrischen Strom sonach als einen Ätherstrom ansieht, kommt zunächst ebenfalls zu der anderen Theorieen eigenen Folgerung, daß die atmosphärische Luft positiv, die Erde negativ elektrisch sei, weil — wenn man sich den Erdmagnetismus als eine Folge von Strömen denkt, die im Schoße der Erde sich von Westen nach Osten drehen, „an welcher Drehung die Hülle der Erde, die Erdkruste und die nach oben hin immer besser leitend werdende Atmosphäre teilnimmt“ — die Magnetströme der Erde und die Ätherströme der Erdhülle aufeinander abstoßend wirken resp. weil die Richtung der Abstoßung am Äquator mit dem Halbmesser der Erde überein-

*) Hier erinnert die Theorie Siemens' an die Plante'sche Erklärung.

stimme und der Ätherstrom nach außen abgestoßen wird, so daß in der Erdkruste eine Abnahme (—), in den Luftschichten eine Zunahme (+) des Äthers eintritt und demzufolge die Erde negativ, die Atmosphäre positiv elektrisch erscheint. Das Wachstum der positiven Luft-Elektrizität mit zunehmender Höhe erklärt Edlund als eine Folge der nach oben hin sich steigenden Leitungsfähigkeit der Luft und die Gewitter als einen Ausgleich der + und — Elektrizitäts-Mengen, sobald diese sehr bedeutend geworden sind. Da Nord- und Südpol der Erde sich weniger bewegen, so ist auch die Abstoßung der magnetischen Erdströme und der Ätherströme hier so gering, daß die Luft-Elektrizität an den Polen nur eine geringe Kraft besitzt. Berücksichtigt man diese Umstände, so dürfte sich eine Erklärung für die Thatsache ergeben, daß die Zahl und Stärke der Gewitter nach dem Pol hin abnimmt (vergl. Kap. 20).

Die Edlund'sche Theorie, deren Grundgedanke allerdings schon 1852 von dem Bonner Physiker Plücker ausgesprochen worden, ist vielfach anerkannt, und dies hat sie — um mit den Worten Prof. Wallentin's, welcher („Humboldt“ 1886) eine Darstellung der wichtigsten Forschungen auf dem Gebiete der atmosphärischen Elektrizität gegeben, zu schließen — ihrer großen Ungezwungenheit bei Erklärung der Erscheinungen nicht minder als dem Umstande zu danken, daß ihre Grundlage die Bewegung des Lichtäthers ist, welcher nach den neueren und neuesten Anschauungen der Elektriker berufen zu sein scheint, bei der Erklärung der elektrischen Erscheinungen eine wesentliche Rolle zu spielen.

So verdient sich nun auch die genannten Physiker um die Untersuchung der Luft-Elektrizität gemacht haben — Eins vermögen sie doch noch nicht mit Sicherheit, mit unumstößlicher Gewißheit nachzuweisen, dies ist der wirkliche Ursprung der Luft-Elektrizität, und in dieser Hinsicht bleiben ihre Lehren, so einleuchtend auch dieselben erscheinen mögen, vorläufig immer noch Hypothesen, auf Wahrscheinlichkeiten beruhende Sätze.

20. Die elektrischen Lufterscheinungen (Elektrometeore).

Diejenigen Erscheinungen in der Atmosphäre, welche elektrischen Ursprungs oder von Elektrizitäts-Entwicklung begleitet sind, bezeichnet man als Elektrometeore. Außer dem Gewitter, der bekanntesten dieser Erscheinungen, gehört hierher das Elmsfeuer; die Polarlichter führen uns auf andere Verhältnisse, sie werden einen Gegenstand des folgenden Hauptabschnittes bilden.

A. Das Gewitter.

Das vorige Kapitel hat uns gezeigt, daß zuerst der Engländer Wall (1708) den Gedanken: der Funke und das Knistern elektrisch erregter Körper (Harzstangen) scheine den Blitz und Donner darzustellen, aussprach. Im Jahre 1743 erklärte Nollet, „daß, wenn jemand durch Vergleichung der Erscheinungen darthun würde, Blitz und Donner sei in den Händen der Natur eben das, was die Elektrizität in den unserigen und die Wolke veretrete dabei die Stelle des Hauptkonduktors der Elektrifiziermaschine, ihm diese Meinung sehr gefallen würde“.

Was Wall und Nollet nur mit Ungewißheit, als Vermutung äußerten, das sprach der um die Lehre von der Elektrizität sehr verdiente Leipziger Professor J. H. Winkler zuerst mit Bestimmtheit aus. In einem besonderen Kapitel seiner Abhandlung über die elektrische Kraft des Wassers in gläsernen Gefäßen (Leipzig 1746) untersucht er die Frage, ob Schlag und Funke der verstärkten Elektrizität für eine Art des Donners und Blitzes zu halten sind. Er vergleicht die Erscheinungen und Wirkungen beider und schließt aus den Vergleichen auf eine vollkommene Übereinstimmung, wobei als einziger Unterschied nur der Grad der Stärke hervortrete; er führt also den naheliegenden Vergleich wirklich durch, und indem er die einzelnen Punkte der Übereinstimmung hervorhebt, bemerkt er namentlich auch, daß der Blitz häufig Metalle in schlechtleitenden Umhüllungen schmelze, ohne die letzteren selbst zu beschädigen. So scharfsinnig auch die Beweisführung Winkler's ist — er hat Eins unterlassen, nämlich die letztere durch direkte Versuche zu bestätigen. Dies that kurze Zeit darauf Benjamin Franklin, und daher wird er als derjenige bezeichnet, der die elektrische Natur des Gewitters mit Sicherheit erkannte und nachwies, oder der die Gleichheit der Reibungs- und Wolken-Elektrizität entdeckte.

Franklin hat wohl unzweifelhaft von Winkler's Behauptung und Beweisführung nichts gewußt und die Entdeckung selbständig ein Jahr später gemacht; unter allen Umständen bleibt ihm — selbst wenn der Ruhm einer ersten Entdeckung dem Leipziger Gelehrten zugesprochen wird — das Verdienst, die Thatsache bis in ihre kleinsten Einzelheiten verfolgt und durch direkte Versuche unterstützt zu haben. Er hatte es zur Gewißheit gebracht, daß Spitzen die Elektrizität besser und aus größerer Entfernung anziehen als stumpfe und abgerundete Körper und daß der Blitzschlag vorzugsweise spitze Erhebungen zu treffen pflegt; hierauf gestützt, schlug er (1749) ein Mittel vor, die Elektrizität der Wolken herabzuziehen, ein Mittel, dessen Kühnheit er selbst wohl gar nicht kannte — jetzt gehörte zu der Anwendung desselben die entschiedenste Todesverachtung —, nämlich

den Blitz durch sehr hochstehende Stangen vom Himmel herabzulocken; dabei betonte er, daß vermittelt einer solchen Vorrichtung die Übereinstimmung des Blitzes mit der Elektrizität zweifellos sich herausstellen werde. Sein Plan ging nun dahin, auf einem hohen Turm ein kleines, mit einer isolierten 20 bis 30 Fuß hohen, in eine Spitze auslaufenden Metallstange versehenes Schilderhäuschen zu errichten, welches so groß sein sollte, daß es eben einen Menschen beherbergen konnte; dieser, ein auf einem Isolierschemel stehender und mit der Stange in leitender Verbindung befindlicher Beobachter, müßte dann stark elektrisch werden und könnte aus benachbarten Körpern Funken ziehen. Da ein solcher Vorschlag Franklin schließlich selbst zu gefährlich erschien, so änderte er ihn dahin ab, daß der Beobachter nicht isoliert, sondern mit der Erde in leitender Verbindung stehen und von Zeit zu Zeit dem unteren Teil der Stange einen isoliert in der Hand gehaltenen, jedoch mit der Erde verbundenen Draht nähern sollte.

Franklin kam nicht selbst zur Ausführung dieses Planes, weil er die Erbauung eines Kirchturmes in Philadelphia abwartete. Inzwischen wurde der Plan, welcher infolge seiner Neuheit und Kühnheit Aufsehen erregte, in Frankreich verwirklicht (1752). Der Franzose Dalibard, der Übersetzer einer Schrift Franklin's, errichtete auf einer höher gelegenen Ebene in Marly-la-Ville bei Paris eine 40 Fuß (13 m) hohe, einen Zoll starke und in eine scharfe Stahlspitze auslaufende, am unteren Ende aber isolierte Eisenstange und befestigte sie mittelst (isolierender) seidener Schnüre an hölzernen Pfählen. Als am 10. Mai 1752 ein Gewitter sich entlud, konnte der aufgestellte Wächter Coiffier mit Hilfe eines mit isolierter Handhabe versehenen Drahtes vom unteren Ende der Stange, welche die Elektrizität der darüber befindlichen Gewitterwolken aufsaugte, $1\frac{1}{2}$ Zoll lange elektrische Funken erhalten. Acht Tage später machte Delor in Paris vermittelt einer gegen 100 Fuß hohen Eisenstange dasselbe Experiment, und zwar mit gleichem Erfolg und sogar zu einer Zeit, als es noch nicht geblitzt hatte. Durch diese, Franklin's Vorschlag verwirklichenden Versuche war die elektrische Natur des Gewitters erwiesen.

Inzwischen hatte Franklin's Forschergeist nicht geruht. Ohne noch die Ergebnisse der Versuche Dalibard's und Delor's in Erfahrung gebracht zu haben, hatte er seinen Plan aufs neue abgeändert und dadurch ein neues Hilfsmittel sich geschaffen, um die Elektrizität der Wolken herabzuziehen. Er verfertigte nämlich im Juni 1752 aus Seidenzeug einen nach Art des bekannten Kinderspielzeuges eingerichteten Drachen, versah ihn mit einer Metallspitze und ließ ihn mittels einer Hanfschnur bei einem herannahenden Gewitter steigen (s. Fig. 164). Die gewünschte Wirkung zeigte sich nicht sogleich, und Franklin wollte schon seinen Drachen — in der Meinung, er

habe sich in seinen Voraussetzungen und Ansichten getäuscht — wieder herabziehen, als er wahrnahm, daß einzelne lose Fäden der Hanfschnur sich gegenseitig abstießen und von der Schnur selbst auch abgestoßen wurden. Er knüpfte nun einen Schlüssel in die Hanfschnur, welcher deutlich sichtbare und fühlbare Funken gab, die noch lebhafter und kräftiger wurden, als bald darauf Regen eintrat und dadurch die Schnur sich in einen guten Leiter verwandelte. Die auf diese Weise gesammelte Elektrizität verwertete



Fig. 104. Franklin's „elektrischer Drache“.

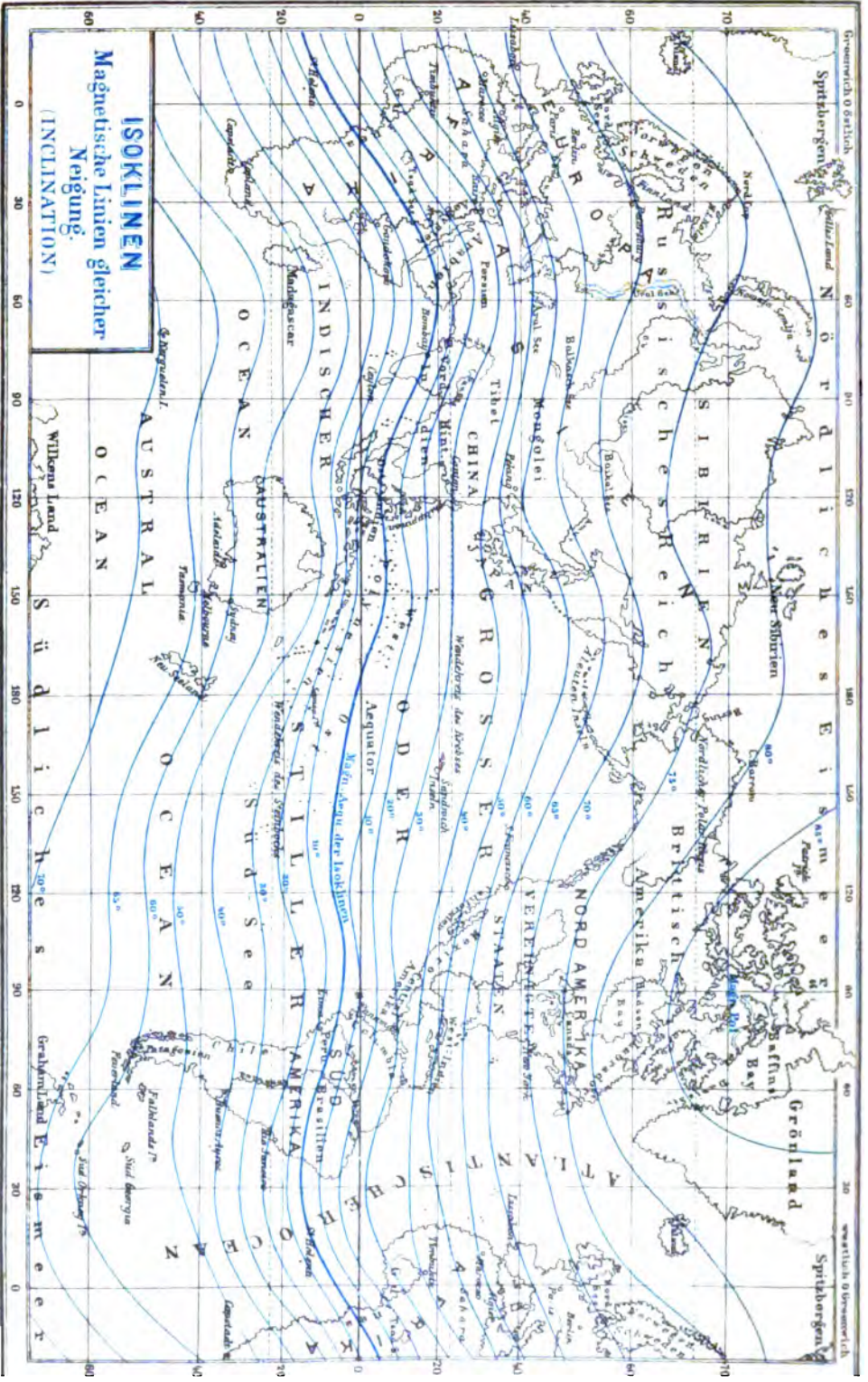
Franklin noch, um Leydener Flaschen zu laden und andere Experimente zu machen.

Der beschriebene Versuch erweckte die Neigung von Physikern und auch Laien, ihn nachzuahmen oder mit Abänderungen ihn weiter zu führen, wie wir ja bereits im vorigen Kapitel an die Versuche von Mazéas, Le Monnier, Canton, Wilson und Bevis erinnerten. Ein im Jahre 1753 von de Romas zu Nerac im südlichen Frankreich selbständig angestellter Versuch aber erregte das größte Aufsehen.

Die von de Romas — welcher ebenfalls auf den Gedanken einer Verwendung des Drachens statt der zugespitzten Metallstangen gekommen

war und weder die von Franklin ausgeführten Versuche noch die erzielten Erfolge kannte — getroffenen Einrichtungen waren übrigens bei weitem zweckmäßiger als die Franklin'schen und mit einem bewundernswerten Scharfsinn und großer Vorsicht eingeleitet. Der Drache bildete eine $7\frac{1}{2}$ Fuß hohe, 3 Fuß breite, nach oben und unten abgeschrägte Fläche (18 Quadratfuß), die ganze Schnur war, um sie noch besser leitend zu machen, mit feinem Draht durchflochten und an ihrem unteren Ende schloß sich eine Seidenschnur an, damit der Experimentator vor Schlägen geschützt blieb; an der Hanfschnur hing endlich ein Konduktor, eine blecherne Röhre, zur Aufnahme größerer Mengen Elektrizität bestimmt. Am 7. Juni 1753 stand der Drache, an einer 780 Fuß (260 m) langen Schnur befestigt, 550 Fuß (180 m) in senkrechter Linie über der Erde. Hierbei erhielt Thomas Funken von solcher Mächtigkeit (8 Zoll = 21 cm lang), daß man den durch dieselben verursachten Schall 200 Schritt weit hörte. Thomas empfand das Gefühl, als ob Spinnweben über sein Gesicht gezogen würden, obwohl er über 1 m vom Konduktor entfernt stand; auf gleiche Entfernung erhoben sich fußlange Strohhalme vom Boden gegen den Konduktor. Mit beginnendem Regen wurden die Erscheinungen bedeutend stärker; man hörte andauerndes Geräusch von der in die feuchte Luft übergehenden Elektrizität, bis schließlich die längsten Strohhalme aufgehoben und von dem Konduktor angezogen wurden und dadurch mehrere heftige Entladungen gegen den Erdboden entstanden, deren Schallercheinungen Einige mit dem Zischen und Knallen pläzender Raketen, Andere mit dem Zerbrechen irdener Krüge auf steinigem Boden verglichen; der Funkenstreifen hatte die Dicke eines halben Zoll; die Anziehungs-Erscheinungen erstreckten sich jetzt an der Schnur bis auf die Länge von 300 Fuß (100 m), Strohhalme wurden lebhaft angezogen, nach erfolgter Ladung abgestoßen, dann, durch den Regen und die feuchte Luft entladen, wiederum angezogen u. s. f., und bei jedem solchen Wechselspiel entstand eine Explosion, ein Feuerstreifen, dem man die Dicke von 3 oder 4 Zoll zu geben geneigt und der von einem kräftigen Knall begleitet war; der bekannte eigentümliche Phosphor- und Schwefelgeruch trat deutlich hervor; und als sich die Schnur des von Regen und Hagel herabgeworfenen Drachens an dem Giebel und den Dachhaken eines Hauses verwickelte und ein Zuschauer sie loszumachen versuchte, bekam er, obgleich der Drache bereits ganz niedrig stand, noch heftige Schläge und Erschütterungen. — Bei einem mehrere Jahre später zur Zeit eines Gewitters angestellten Versuch sah de Romas innerhalb einer Stunde gegen dreißig Feuerstreifen (Funken) von 3—4 m (10 Fuß) Länge und etwa 3 cm Dicke aus der Schnur zur Erde fahren, die zahlreichen kürzeren Funkenstreifen gar nicht gerechnet.





ISOKLINEN
 Magnetische Linien gleicher
 Neigung.
 (INCLINATION)

Gez. von R. Lindner

Druck...

Nicht ohne Grund hatte schon Nollet 1752 auf die Gefahren hingewiesen, denen sich der Experimentator bei derartigen Versuchen und Untersuchungen aussetzt, falls er nicht die nötige Vorsicht obwalten läßt. Leider wurde das Letztere von dem Professor Georg Wilh. Richmann in St. Petersburg (geb. 1711), Mitglied der dortigen Akademie der Wissenschaften, verabsäumt und dieser Forscher am 6. August 1753 in seinem Arbeitsraum an einem unterbrochenen Blitzableiter durch einen abichtlich aus den Wolken herabgelockten Funken erschlagen.

Richmann hatte sich nämlich einen Blitzableiter durch starke massive Glasstangen isolieren und ihn durch sein Arbeitszimmer hindurchleiten lassen. Abbildung 165 veranschaulicht den Apparat. Bei a tritt die Metallstange durch eine weite Öffnung in der Stubebedecke, welche mittels einer durchbohrten Spiegelglascheibe verschlossen ist, in das Zimmer. Ebendort wird auch bei a die Metallstange in der Mauer befestigt, indem sie durch eine hölzerne Kugel läuft, welche von einer in die Wand des Zimmers eingesenkten Glasstange getragen wird. Auf gleiche Art ist sie noch an mehreren Punkten, z. B. bei o, befestigt und schließlich wird sie aus dem Zimmer abgeleitet, entweder ab- oder seitwärts, bis in den feuchten Erdboden. Wenn der Apparat a e ununterbrochen durch das Zimmer liefe, so würde er die Elektrizität stillschweigend leiten und keine Beobachtung machen lassen; man verlangt aber elektrische Spannung, man will Funken wahrnehmen, und deshalb muß der Leiter unterbrochen werden. Dies geschieht bei b, sodaß zwischen hier und der Fortsetzung der Stange bei d eine Lücke von 30 cm oder mehr bleibt. Bei b trägt ein Gelenk (Scharnier) einen in eine Messingkugel endigenden Arm (g), welcher gerade so lang ist, daß, wenn er in der Richtung b d herabhängt, die Kugel des Armes (c) mit der auf dem unteren Ende der Stange sitzenden Kugel d genau zusammentrifft, wie auf der Abbildung durch c d vergegenwärtigt wird; in letzterem Falle ist der Apparat von derselben Wirkung, als ob die Metallstange von a nach e aus einem Stück bestände.

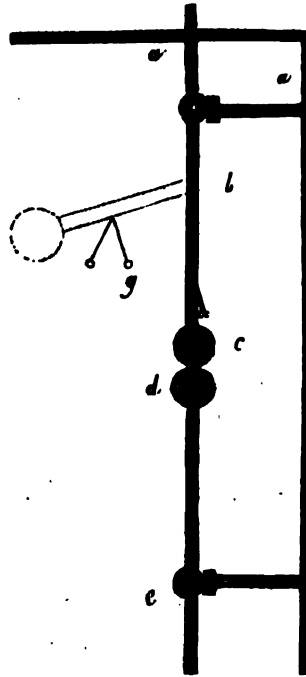


Fig. 165. Richmann's Apparat.

Zum Zweck anzustellender Beobachtungen wird der bewegliche Teil des Leiters aus seiner Richtung $b d$ nach $b g$ gelenkt, sodas zwischen b und d die Lücke entsteht, der obere Teil $a b g$ isoliert ist und die in ihm angehäufte Elektrizität entweder in den Hollundermark-Pendeln, welche sie auseinandertreibt, sich bemerklich macht, oder stärker werdend, in zwischen der Armkugel und d erscheinenden Funken sich zeigt. Derartige Vorgänge wollte Richmann beobachten und somit über die elektrische Natur des Gewitters Untersuchungen anstellen. Als nun der Gelehrte — der übrigens sehr wohl die Gefährlichkeit seiner Versuche ahnte, ihr aber, wie er selbst sagte, seines Amtes wegen mit Unersehrodenheit entgegenzutreten sich für verpflichtet hielt — am 6. August 1753 bei einem Gewitter mit seinem Freunde Sokolow, Kupferstecher der Petersburger Akademie, zu dem elektrischen Apparat eilte und zwecks Beobachtung demselben sich zu sehr näherte, wurde er durch einen gewaltigen Funken, welcher in Gestalt eines etwa faustgroßen Feuerballes aus dem oberen, isolierten Teil der Stange gegen seinen Kopf sprang, getroffen. Der Unglückliche stürzte sogleich tot nieder; an der Stirn hatte der Blitzstrahl einen mit Blut unterlaufenen Fleck hinterlassen, am Körper zeigte die Leiche noch einige Brandflecke, und die Elektrizität schien durch den linken Fuß in den Erdboden übergegangen zu sein, da an ihm ein mit Blut unterlaufener Fleck zu bemerken und der Schuh zerrissen war, ohne das übrigens der Strumpf auf irgend eine Weise verletzt worden wäre; innerlich war der Körper auf mehrfache Weise beschädigt, innerhalb zweier Tage geriet er vollständig in Fäulnis. Auch Sokolow wurde betäubt, und die umherfliegenden geschmolzenen, weißglühenden Metallteilchen hatten in seine Kleider an mehreren Stellen Löcher gefengt; die gläsernen Folierungen des Apparats waren zersplittert.

So war denn die Übereinstimmung, die Identität des Blitzes mit der gewöhnlichen Reibungs- oder Maschinen-Elektrizität erwiesen. Aber das, was hierbei so neu erschien, gab anderen Gelehrten Veranlassung, Forschungen über frühere Erscheinungen ähnlicher Art anzustellen. Die Sprach- und Geschichtsforscher, Philologen und Historiker, fanden Nachrichten, welche darzuthun schienen, das die alten Priesterchaften der Juden u. a., die Chinesen und Indier, die Etrurier und Römer schon vor einigen Jahrtausenden im Besitz von Kenntnissen waren, die sie zur Ansammlung und Aufbewahrung von Elektrizität, zur Verwertung und Leitung der Luft- bezw. Gewitter-Elektrizität, zur Verwendung derselben bei religiösen Handlungen führten. An diesen Untersuchungen beteiligten sich auch einige bekannte Physiker, so der auch in diesem Buche schon mehrfach genannte Professor Lichtenberg in Göttingen; nächstdem sind namhaft zu machen

Schweigger in Halle, Bendavid in Berlin und der berühmte Orientalist Michaelis in Göttingen. Es sei gestattet, bei den Forschungs-Ergebnissen resp. den darauf sich gründenden Anschauungen dieser Gelehrten etwas zu verweilen.

Zunächst schien, um an Richmann's Experiment anzuknüpfen, aus den Angaben alter römischer Fachschriftsteller hervorzugehen, daß die Etrurier und Römer bei religiösen Handlungen sich gewisser, bligableiter-ähnlicher Vorrichtungen bedienten und daß der dritte römische König, Tullus Hostilius (672—640 v. Chr.), wie Richmann bei einem unvorsichtig angestellten Experiment vom Blitz getötet wurde. Jenen Nachrichten zufolge hatte der Vorgänger des Tullus, der weise Numa Pompilius, dem römischen Gott Jupiter Elicius*) in Rom einen Tempel erbaut, in welchem er als der Pontifex maximus — d. i. der Vorsteher der Oberpriester und als solcher mit den Gebräuchen der Religion und mit der Weisheit und den Geheimnissen der Priesterkaste Vertraute — mit dem vom Himmel herabgerufenen, im „Feuer“ sichtbaren Jupiter sprach. Als nun Tullus seine Kriege beendet, widmete auch er sich jenem pomphaften Götterdienst. Allein die Kenntnis, welche Numa von der Natur hatte, ging ihm ab; als er daher dem Jupiter ein Opfer bringen und dieses auf die hergebrachte Weise durch „vom Himmel herabkommendes Feuer“ — welches in den meisten alten Sagentheilen wiederkehrt — anzünden wollte, ward er aus Unkunde mit dem Vorgang von eben diesem Feuer getötet, vom Blitz erschlagen. Die Priester sagten zwar, weil Tullus ein Versehen in dem Ritus (den religiösen Gebräuchen) begangen, sei Jupiter in Zorn geraten und habe ihn erschlagen; da ihnen indes das Experiment selbst der Ritus war, so bedeutet jener Ausdruck von einem Fehler im Ritus nichts weiter als: Tullus habe das Experiment nicht nach der bestimmten Vorschrift gemacht.

Wenn wir hier schon — die Glaubwürdigkeit der Quellen immer vorausgesetzt — deutliche Spuren physikalischer Kenntnisse finden, so wird es uns nicht wundern, in dem Samothrakischen Mythentheile, in der Verehrung der Bätynien (Meteorstene), in dem Dienste des Vulkan (Hephästos), welcher dem Jupiter Blitze schmiedet, u. a. noch weitere Andeutungen dieser Art zu sehen, und da die alten Griechen und Römer ursprünglich rohe Barbaren gewesen und ihre Bildung von anderen, vorgeschrittenen Völkern erhalten haben, so wird man nach den bezüglichen Kenntnissen dieser alten Kulturvölker fragen.

Vorder-Asien und Ägypten waren für die Griechen der Stammsitz der Kultur, so wie es Griechenland für die Römer war. Obgleich es

*) Elicius, Bliglenker, Beiname des Jupiter; Jupiter Elicius, der vom Himmel herabgerufene Jupiter.

ziemlich schwierig ist, auf die Grundlage des Wissens der alten Völker rückzugehen, soviel scheint doch mehr als wahrscheinlich, daß die Priesterkaste im Besiz von Geheimnissen sich befand, welche in ihr von Geschlecht zu Geschlecht sich forterbten, den Laien jedoch nicht mitgeteilt werden durften und sich von den Indern auf die Ägypter, von diesen aber auf die Hebräer und Phönizier sich übertrugen; daß ferner diese Geheimnisse naturwissenschaftlichen Inhalts zwar waren und ihre Eigentümer zu schätzbaren Zaubereien, „Wunderthaten“ befähigten, aber untereinander nicht in einem wissenschaftlichen Zusammenhang gestanden, sondern stets vereinzelte Kunststücke, gewissermaßen Rezepte zu dem oder jenem „Wunder“ gewesen seien. Vielleicht stammten diese Geheimlehren, wie Schweigger meint, einer Urphysik her, aus einer Zeit, welche für unser hebräisches und ägyptisches Altertum „das Altertum“ war, wenigstens existierte sie 2000 Jahre vor unserer Zeitrechnung nicht mehr. Die Priesterkaste war welche bei den Indern, Ägyptern und den Schülern der letzteren, den Israeliten, des Wissens sich bemächtigt hatte, im Besiz der Geheimnisse, „Wunder“ that, den Verräter mit dem Tode bestrafte und sich somit Beherrschern der Menge machte.

Was nun unseren Gegenstand selbst anbelangt, so dürfte nach den Forschungen der genannten Gelehrten die Behauptung nicht zu gewagt scheinen, daß die hebräischen Priester die Wolken- oder Luft-Elektrizität kannten und verwerteten, wenschon sie wahrscheinlich nicht wußten, was sie thaten, sondern nur das Gelernte mechanisch übten. Wer nämlich die Beschreibung der Bundeslade und der Stiftshütte in Kapitel 25 ff. des zweiten Buchs Moses von dem Standpunkt des Naturforschers liest und diese vergleicht mit den Stellen des 9. und 10. Kapitels des dritten Buchs Moses, woselbst des Opfers gedacht wird, das durch Feuer vom Himmel verzehret wird, und der Söhne Aarons, welche sich der Bundeslade nahen und durch hervorbrechendes Feuer getötet sind, ferner mit der Stelle im 16. Kapitel des vierten Buchs, da die 250 Männer der Rotte Korah getötet werden durch Feuer, welches „von dem Herrn“ — d. h. dem auf der Bundeslade thronenden — „ausfuhr“: der kann nach der Meinung Bendavids, Michaelis' und Lichtenberg's nicht umhin zugestehen, daß die Bundeslade ein mächtiger elektrischer Apparat gewesen sein dürfte, geladen durch die Säulen der Stiftshütte aufgefangene atmosphärische Elektrizität, sodas also die Stiftshütte als die Elektrifiziermaschine und die Bundeslade als eine Art Verstärkungsflasche zu betrachten sein würde.

Die genannten Forscher leiten ihre Ansicht von der Beschreibung der Bundeslade und Stiftshütte her. Die erstere war aus besondert trockenem Föhrenholz gefertigt und inwendig wie auswendig mit dünnen G

blechen bekleidet — sonach ein Isolator mit leitenden Belegungen, wie eine Leydener Flasche. Auch die sonstigen Bemerkungen über die Bundeslade (2. Buch Moses) passen sehr wohl zu der geäußerten Ansicht: Die Lade war etwas Unnahbares; wer sich ungerufen an sie heranwagte oder gar sie berührte, wurde von daraus hervorbrechendem Feuer getötet, wie die Söhne Aarons, welche — mit dem Geheimnis der Entladung nicht vertraut — ein Opfer bringen wollten und erschlagen wurden. Und so geschah es wohl Allen, die sich eines Verbrechens gegen die Religion und deren Priester schuldig gemacht hatten; indem sie ein Sühnopfer auf die Lade legen sollten, wurden sie durch hervorbrechendes „Feuer“ getötet. Die Ladung dieses Apparats soll nach Annahme der erwähnten Forscher mittels atmosphärischer Elektrizität vor sich gegangen sein — denn die hebräischen Priester sollen es verstanden haben, die Elektrizität aus den Wolken herabzuziehen — und zwar mit Hilfe der Stiftshütte auf folgende Weise.

Sechs Stangen aus trockenem Föhrenholz, 60 Ellen hoch, mit metallenen Spitzen, standen in einem großen länglichen Viereck um die Bundeslade herum und bildeten das Gerippe der Stiftshütte, welche durch schwere seidene Vorhänge vervollständigt, das Allerheiligste einschloß; von den Spitzen der Stangen gingen goldene Ketten bis auf den mit goldener Belegung versehenen Deckel der Bundeslade herab. Rings um dieses Viereck standen noch 60 Säulen gleicher Art in einem länglichen Viereck von 100 Ellen Länge und 50 Ellen Breite, gleichfalls durch seidene Vorhänge miteinander verbunden. Die metallenen Spitzen der 60 äußeren isolierenden Stangen waren mittels goldener Ketten mit den sechs inneren in Verbindung gesetzt, sodas sie nach physikalischen Begriffen ein geordnetes großes System von Blitzableitern darstellten, welches die ganze Menge der herabgeführten Elektrizität auf einen Punkt, auf die Bundeslade, vereinigte. Während des Marsches der Israeliten soll die Ladung der letzteren auf eine andere — für den Physiker ebenfalls mögliche — Weise bewerkstelligt worden sein, nämlich durch eine Feuer- und Rauchsäule, welche sich von ihr erhob; Rauch ist, wie wir wissen, ein vortrefflicher Leiter. Das Feuer brannte, während die Lade von alten erfahrenen Leviten an 12 Ellen langen Stangen getragen wurde. Ob die Rauchsäule in der Absicht erzeugt worden, den Apparat zu laden, möge dahingestellt bleiben; das es jedoch geschehen, ist weniger zweifelhaft.

Aus gewissen Stellen der Bibel und aus Hinweisen und Berichten alter Schriftsteller — so namentlich aus Angaben des jüdischen Geschichtschreibers Flavius Josephus, welcher, ein Levit, die Einnahme Jerusalems durch Titus im Jahre 70 erlebte — hat man ferner gefolgert, das der

Tempel zu Jerusalem durch Blitzableiter geschützt gewesen sei. Es sei deshalb gestattet, auch diesen Punkt, obgleich die Besprechung der Blitzableiter erst weiterhin folgt, im Anschluß an jene anderen, das Altertum betreffenden Mitteilungen gleich hier zu berühren.

Der Salomonische und auch der spätere, Herodianische Tempel stand auf einem 600 Fuß hohen Felsen; das Bretterdach war vergoldet, d. h. mit Goldplatten überzogen; von dem Dache aus liefen kupferne Röhren an den inneren Winkeln des Gebäudes herab und führten das Thau- und Regenwasser nach den in den Felsen gehauenen Cisternen; auf dem Dache stand eine große Anzahl metallener Spitzen, welche es förmlich bedeckten und angeblich zu dem Zweck angebracht waren, die Vögel abzuhalten, sich auf das Dach zu setzen und das Heiligtum zu verunreinigen. Diese Spitzen im Verein mit den metallenen Leitungsröhren bildeten die besten Blitzableiter. Auf diese Schlußfolgerung kam zuerst Michaelis in Göttingen indem er die Beschreibung des Tempels mit der Thatsache zusammenstellte daß der letztere, in einem so gewitterreichen Lande wie Palästina hoch und einsam stehend, doch nie vom Blitz getroffen bzw. beschädigt worden sei. Daß die gedachten Metallspitzen aber nicht, wie es zu dem erwähnten Zweck genügt hätte, etwa einfache Drahtstifte, sondern lange, zugespitzte Metallstangen — also recht eigentliche Blitzableiter — waren, wird zwar in der Bibel nirgends gesagt, geht jedoch aus einer Angabe des Geschichtsschreibers Josephus deutlich hervor. Diese besagt nämlich, daß bei dem letzten Ansturm, den die Römer bei der Belagerung unter Titus gegen den Tempel unternahmen, die den letzteren verteidigenden und bereits vor allem Kriegsbedarf entblößten Leviten die Metallspitzen vom Dache abbrachen und als Wurfspeere auf die andringenden Feinde warfen; gewöhnliche Drahtstifte würde man dazu doch nicht haben benutzen können.

Wir sind hiermit in der Geschichte der Blitzableiter und der Gewitter bzw. atmosphärischen Elektrizität bis auf die fernsten Spuren zurückgegangen. Es soll nun nicht behauptet werden, daß Alles, was davon in Betreff des Altertums gesagt, so aufgefaßt werden müsse, Viele sind die entschiedensten Gegner einer derartigen Auslegung der biblischen Nachrichten und zahlreiche Stimmen nennen schon jeden Versuch einer natürlichen Erklärung lächerlich oder lästerlich; allein wie auch die Idee Michaelis', Ben David's u. A. bezeichnet worden sein möge, es läßt sich wohl nicht leugnen daß das Beschriebene die angegebenen Zwecke gehabt haben könne und daß es dieselben erfüllt haben würde, ja daß wir, was die „Blitzableiter“ anbelangt, mit Hilfe der Theorie und Praxis vielleicht keine besseren aufstellen können, als die Metallspitzen gewesen, welche mutmaßlich den Herodianischen Tempel so lange Jahre gegen Beschädigung durch Blitz bewahrten.

Indem wir jedoch stets im Auge behalten, daß die Grenze zwischen sagenhaften (mythischen) Nachrichten und getreuer geschichtlicher Überlieferung nicht immer streng zu ziehen ist und daß den alten Kulturvölkern, trotz der Bruchstücke naturwissenschaftlicher Kenntnis, eine wirkliche Erkenntnis der Naturerscheinungen und ihrer Gesetze abging, verlassen wir dieses Gebiet der „Spekulationes“ und wenden uns der Betrachtung des Gewitters selbst zu.

Natur des Gewitters. Wie aus dem früher bereits Geäußerten erhellt, bezeichnen wir als Gewitter die unter Blitz und Donner vor sich gehende Entladung elektrischer Wolken. Es ist dieselbe Erscheinung, welche wir, allerdings im kleinen und kleinsten Maßstabe, bei anderen Ausgleichungen verschiedenartiger Elektrizitäten so oft schon beobachtet haben, nur daß wir statt des gewaltigen Feuerstrahls einen unscheinbaren Funken und statt des rollenden und krachenden Donnerschlages ein Knistern oder Knattern vernahmen. Obgleich schon B. Franklin 1753 die Elektrizität der Gewitterwolken nachgewiesen (Seite 239) und obgleich man alsbald auch fand, daß die Wolken-Elektrizität bald positiv, bald negativ und namentlich bei einem Gewitter schnellem und regellosem Wechsel unterworfen sei, so ist man doch bis heute noch nicht im Stande gewesen, die Entstehung, den Ursprung der ungeheuren Elektrizitäts-Mengen, welche sich in den Wolken anhäufen, mit voller Sicherheit aufzuklären. Nur soviel läßt sich sagen, daß rasche und massenhafte Wolkenbildung von starker Elektrizitäts-Entwickelung begleitet ist.

Belamntlich geht dem Ausbruch eines Gewitters oft mehrere Tage hindurch bedeutende Wärme, Windstille, drückende Schwüle und weißliches Aussehen des Himmels voran; dann findet bei heiterem Himmel sehr schnelle, seltener langsame Wolkenbildung statt, es tritt ein heftiger Wind ein, und das eigentliche Gewitter endlich erscheint in reichlich strömendem, stark elektrischen, meist großtropfigen und zuweilen von Hagel begleiteten Regen und in Blitz und Donner. Daraus folgert man, und wohl mit Recht, daß die schnelle Verdichtung (Kondensation) der in der Luft enthaltenen Wasserdämpfe zu Wassertropfen, welche durch entgegenge setzte Luftströme von sehr verschiedener Temperatur herbeigeführt wird, als die Ursache oder Quelle der Gewitter-Elektrizität bezw. des Gewitters anzusehen sei (Seite 248). Infolge der Verdichtung des Wasserdampfes zu Wasser nimmt nämlich dieser Stoff einen engeren Raum ein und daher wird auch eine plötzliche Anhäufung der Elektrizität auf einen kleineren Raum bewirkt, welche nun mit Gewalt nach einer Ausgleichung strebt. Ehe aber vorher eine starke Wolkenbildung vor sich gehen kann, muß selbst-

verständlich eine sehr beträchtliche Menge Wasserdampf in der Luft vorhanden sein. Dieser wird durch große Wärme erzeugt und seine ungewöhnliche Anhäufung durch die Windstille begünstigt resp. ermöglicht, sein Anzeichen bildet das weißliche Aussehen des Himmels. Die Verdichtung des Wasserdampfes nun geschieht infolge einer durch das plötzliche Eindringen oder Auftreten kälterer Luftströmungen (Wind) hervorgerufenen Abkühlung, wie denn in der That vor und während der Entwicklung eines Gewitters nicht nur auf der Erde ein heftiger Wind oder Sturm Wesen treibt, sondern auch in den Wolken eine lebhaftere Bewegung ein Zeichen, daß dort Luftströmungen, Winde thätig sind — zu bemerken ist. Die jetzt vermögte Verdichtung der Wasserdämpfe plötzlich gebildeten Wolken entledigen sich ihres Inhalts durch reichliche, starke Regengüsse und die auf verhältnismäßig engem Raum angehäuften Elektrizitäts-Mengen entladen sich durch den Blitz. Wenn es manchmal scheint, als ob ein kräftiger Blitz ein heftigerer Regenguß folge, so ist dies eben nur scheinbar, denn der Blitz kommt uns wegen seiner ungeheuren Geschwindigkeit weit eher zu Gesicht als der Regen, der plötzliche Regenguß ist im Gegenteile der Vorläufer und die Ursache des Blitzes.

Indem der Regen zur Erde niederströmt und eine Reihe Blitze nacheinander überschlagen, gleicht sich allmählich die in den Gewitterwolken angehäuften Elektrizität aus. Es mag auffällig erscheinen, daß nach manchen Gewittern eine erhebliche Abkühlung der Luft und eine Änderung des Wetters eintritt, während anderen Gewittern keine Abkühlung, wohl aber bald ähnliche Gewitter folgen. Dieser scheinbare Widerspruch wird sich leicht der Weise aufklären, daß im ersteren Falle die den Eintritt des Gewitters herbeiführende kältere Luft in der ganzen Atmosphäre sich Geltung verschaffte, während im letzteren Falle die kältere Luft bloß in der Höhe Einfluß gewann. — Noch sei bezüglich der Art der Elektrizität in den Gewitterwolken, welche bald positiv, bald negativ ist, erwähnt, daß man nur bei einem und demselben Gewitter verschiedene Wolken entgegengesetzt elektrisch sind, sondern daß auch oft eine einzige Gewitterwolke aus mehreren abwechselnd entgegengesetzt geladenen Streifen besteht, welche sich dann durch die Entladung ausgleichen.

Aber nicht bloß die Thatfache, daß starke Gewitter nur nach starker Wolkenbildung entstehen, spricht für die im Vorstehenden behandelte Annahme, daß die Entwicklung und Verdichtung des Wasserdampfes bezw. die Reibung des Wasserdampfes mit der Luft die Ursache der Gewitter-Elektrizität sei, sondern auch noch mehrere andere Thatfachen: so diejenige, daß der täglich eintretenden massenhaften Verdichtung des Wasserdampfes in den Kalmen (Windstillengürtel am Äqua-

tiglich Gewitter folgen, und diejenige, daß Hagelkörner und Regentropfen bei Berührung des Bodens oft so elektrisch sind, daß dieselben aufleuchten.

Überhaupt betrachtet man nach den neueren Anschauungen über diese Angelegenheit, wie sie sowohl von deutschen als auch von französischen italienischen u. a. Forschern vertreten werden, die Reibung als Hauptquelle der Gewitter-Elektrizität, d. h. die Reibung zwischen Luft und Eisnadeln, wie Luvinì in Turin annimmt, oder zwischen Luft und Wasserkügelchen, zwischen Wasserdampf und Wasser — also nach dem Prinzip der Dampf-Elektrifiziermaschine —, wie es Liebenow, Faye, Andries u. A. annehmen. Auch Colladon, welcher z. B. 1885 auf seinem Observatorium bei Genf Beobachtungen an Gewittern, die sich 2½ Stunden lang am Gipfel des Montblanc aufhielten, anstellte, teilt diese Ansicht und versucht zugleich, die fortwährende Erneuerung der Elektrizität in einer sich lange aufhaltenden Gewitterwolke zu erklären. Er macht dabei auf die bekannte Erscheinung aufmerksam, daß „ein fallender Wasserstrahl einen seitlich ihn umhüllenden absteigenden Luftstrom erzeugt, der entweder von den oberen umgebenden Luftschichten durch seitlichen Zustrom oder, wenn das Gebiet des fallenden Regens weit ist, durch direktes Einströmen von oben unterhalten wird. Dadurch entsteht über der Wolke ein Herabstürzen der Luft und fortgesetzte Reibung der Wasserteilchen unter sich, an der Luft und an den mit der kalten zusießenden Luft herabkommenden Eisnadeln. Diese Reibung liefert die Elektrizität und kann es bewirken, daß z. B. bei einem jener Gewitter in der Minute 45 bis 50 Blitze sichtbar waren und während der 2½ Stunden nicht weniger als 5000 bis 6000 Blitze beobachtet wurden“. Gleichzeitig würde ja dadurch auch der Hagel erklärt werden.

Bilden also die Reibungsvorgänge zwischen Wasserdampf und Wasser bezw. zwischen Luft und Wasserkügelchen oder zwischen Luft und Eisnadeln die Hauptquelle der Entwicklung von Gewitter-Elektrizität, so wird dieselbe noch sehr gesteigert, wenn außer den soeben genannten Faktoren noch Staubteilchen mitwirken. Dies läßt sich am besten an den bei Vulkan-Ausbrüchen sich entladenden Gewittern erkennen und nachweisen, sobald bei ersteren neben Wasserdampf auch feine Aschenbestandteile massenhaft ausgeworfen werden, denn diese Gewitter nehmen dann einen außerordentlich heftigen Charakter an. Wir sind darauf schon durch Palmieri's Untersuchungen aufmerksam gemacht worden (vgl. S. 246); auch sein Landsmann Luvinì weist auf diese Erhöhung der Elektrizitäts-Entwicklung durch die zwischen Staubteilchen und Luft stattfindende Reibung besonders hin, und im vorigen Jahre hat Dr. P. Andries über diesen Gegenstand resp. über die Frage nach der Ursache der Zunahme und Heftigkeit der Gewitter (Blitzschläge) in neuester Zeit sehr beachtenswerte Ansichten ausgesprochen

(„Petermann's Mitteilungen“ 1886, „Gaea“ 1886). Abweichend von den anderen, im Allgemeinen die gleichen Anschauungen teilenden Forschern geht Andrieß noch einen Schritt weiter und stellt das Vorhandensein einer Wirbelbewegung bei Gewittern auf, welche eben die erwähnte Reibung weit kräftiger und daher viel wirkungsvoller macht als eine Reibung ohne solche Bewegung; denn er behauptet, daß die ebenso rasche wie bedeutende und langdauernde Elektrizitäts-Entwicklung bei Gewittern ohne eine rein mechanische Ursache, d. i. die Wirbelbewegung — entsprechend der mechanischen Kraft bei der Dampf-Elektrifiziermaschine — nicht erklärt werden kann.

Was die Menge und Verteilung der Staubteilchen in der Atmosphäre anbelangt, so ist Folgendes zu bedenken. Infolge der während der letzten 50 Jahre stattgehabten ungeheuren Vermehrung der Fabriken, Dampfmaschinen (Lokomotiven) und Dampfschiffe, welche die Atmosphäre mit Rauch, mit Dämpfen und Staubteilchen aller Art erfüllen, muß in der Jetztzeit die Verunreinigung unseres Luftmeeres ungleich viel größer sein als vor Jahrzehnten. „Schon mit dem bloßen Auge kann man diese Trübung der Atmosphäre feststellen. Man reise z. B. von der Nordsee nach den niederrheinischen Kohlenrevieren und Fabrikcentren wie Essen, Bochum, Ruhrort, Dortmund u. und man wird den Unterschied in der Reinheit der Luft ganz auffällig finden. Über jener Gegend lagert Tag für Tag eine nebelartige Dunstschicht, die Luft ist mit übelriechenden Gasen angefüllt, alle Gegenstände erscheinen mehr oder weniger schwarz durch die nieder sinkenden schweren Staubteilchen.“

Erwägen wir dies und behalten wir den Satz von der Reibung zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteilen der Atmosphäre im Auge, so ergiebt sich von selbst, daß der erstere Umstand von großem Einfluß auf die Kraft und Nachhaltigkeit der elektrischen Erscheinungen bei Gewittern sein muß, daß somit unsere heutigen Gewitter in Bezug auf elektrische Spannung sich zu den früheren ähnlich verhalten müssen wie ein bei einem Vulkanausbruch vor sich gehendes zu einem gewöhnlichen Gewitter und daß wiederum demzufolge die in der Gegenwart zu beobachtende größere Zahl der Blitzschläge sich von selbst erklärt. Aber es gelangt hierbei noch ein wichtiger Faktor zur Geltung, welcher allerdings ebenfalls aus dem größeren Staubgehalt der Luft folgt. Das Vorhandensein fester Körperchen (Staub und dergl.) erleichtert nämlich sehr, wie Nahrwold nachgewiesen hat, die Leitung der Elektrizität, und der Staub wird durch Reibung elektrisch. Demzufolge müssen unsere heutigen Gewitter nicht bloß heftiger — und wohl auch etwas häufiger — als früher sein, sondern der elektrische Funke wird auch vermöge der größeren Leitungsfähigkeit der staubhaltigen Luft viel

öfter als früher von einer Gewitterwolke zur Erde überspringen anstatt von einer Wolke zur andern. „Die durch den großen Staubgehalt der Luft hervorgerufene größere elektrische Spannung in den Gewitterwolken und die größere Leitungsfähigkeit der Luft wirken also in Bezug auf die Blitzgefahr in gleichem Sinne und dürften dieselbe vollständig erklären.“

Der im Vorigen erörterte Versuch einer Erklärung der größeren Heftigkeit der Gewitter und der zunehmenden Blitzgefahr findet eine Bestätigung in den Beobachtungen früherer Zeiten. So war im Sommer 1783 über ganz Europa ein dichter Staubnebel verbreitet, den man mit gutem Grunde mit den äußerst heftigen Vulkanausbrüchen auf der Insel Island und in Kalabrien in Verbindung brachte. „Man bemerkte allemal einige Abnahme des Nebels nach Gewittern. . . . Man glaubte indessen, ihn wegen der zahlreichen Gewitter, die sich durch häufiges Einschlagen auszeichneten, elektrisch nennen zu können. Die vielen Fälle, wo Häuser, Bäume und Menschen getroffen wurden, veranlaßten zu dem Schluß, daß die Gewitter sich in sehr geringer Höhe über der Erde befänden und gleichsam in dem dicken Nebel selbst entstehen müßten. Dabei waren die Gewitter zugleich ungewöhnlich heftig. So erzählt Senebier z. B., daß am 12. Juni, wo der Höhenrauch ungewöhnlich dicht war, in Genf ein von 12 $\frac{1}{2}$ bis 4 $\frac{1}{2}$ Uhr Nachts dauerndes Gewitter den Himmel durch unzählige Blitze fast unaufhörlich erhellt habe, während der Donner mit furchtbarem Getöse ohne Unterbrechung fort dauerte.“

Ähnliches berichtet Toaldo, daß nämlich bei einigen Gewittern mehr als hundert Schläge an demselben Orte beobachtet wurden, daß manche Gebäude bei einem Gewitter von mehreren Blitzen getroffen wurden u. Diefen Nachrichten ließen sich viele ähnliche aus den Mannheimer „Ephemeriden“ anreihen. Auch die von Espy hervorgehobene Thatsache, daß als Folge der in Florida zur Erzeugung von Regen absichtlich angezündeten Schilfgrasfelder zuweilen vollständige Gewitter ganz lokaler Natur auftreten, dient zur Bestätigung obiger Ansicht. Die aufsteigenden, ungeheuer großen Rauchmassen und die mitgerissenen Wasserdämpfe bilden hier offenbar die alleinige Ursache der Entstehung von Gewittern und Regen, da in der betreffenden Jahreszeit diese Erscheinungen ohne künstliche Erzeugung nie beobachtet worden (Klein's Fortschritte der Meteorologie Nr. 12, 1886, S. 171). — Fernere Mitteilungen über Blitzgefahr und Blitzschläge werden weiterhin folgen.

Verbreitung und Häufigkeit der Gewitter. In dem Vorherstehenden findet von selbst die Thatsache Erklärung, daß die Gewitter am häufigsten in jenen Gebieten und Erdstrichen auftreten, welche von heftigen Regengüssen am meisten heimgesucht sind. Letzteres ist insonderheit in den

Kalmen, d. h. der windstillen Zone am Äquator, welche die Gebiete der Passatwinde beider Erdhälften trennt, der Fall; hier regnet es daher fast nur aus elektrischen Wolken, und Gewitter gehören hier zu den täglichen Erscheinungen. Im äquatorialen Süd-Amerika würde, wie Boussingault meint, ein mit sehr feinen Sinnen begabter Beobachter das Rollen des Donners ununterbrochen vernehmen. Je mehr man sich aber vom Äquator nach den Polen hin entfernt, desto seltener werden auch massenhafte Regengüsse und sonach wird auch, wie wir bereits wissen, im Allgemeinen die jährliche Zahl der Gewitter gegen die Pole hin abnehmen. Obzwar die Gewitter über die gemäßigte Zone hinaus immer seltener werden, so fehlen sie doch auch dem hohen Norden nicht gänzlich, und man hat noch auf der Eismeer-Insel Nowaja Semlja (etwa 73 Grad n. Br.) Gewitter beobachtet. Kommen im Jahre durchschnittlich auf die Insel Java etwa 159 Gewitter, so auf Kalkutta 60, Berlin 18, Stockholm 9 und Bergen in Norwegen nur 6 Gewitter. Andererseits mangeln Gewitter den regenlosen Gebieten, wenngleich diese selbst nahe dem Äquator liegen. So kennt man z. B. an der Westküste Peru's (Lima) Blitz und Donner gar nicht, und in Ägypten zählt ein Gewitter zu den größten Seltenheiten.

Was die einzelnen Gegenden oder Örtlichkeiten innerhalb eines Gebietes anbelangt, so entstehen über den Inseln leichter Gewitter als über dem freien Meere, da über jenen der aufsteigende Luftstrom Wasserdämpfe in die höheren Luftschichten führt. Auf dem Festlande aber sind die Gewitter in Gebirgsgegenden häufiger als in der Ebene, weil, wie aus dem früher Gesagten erhellt, die Berge der Wolkenbildung Vorschub leisten. Orte, welche eine lokale Erwärmung besonders begünstigen und zugleich viel Wasserdampf zu entwickeln vermögen, sind auch der Entwicklung von Gewittern besonders günstig und können als Gewitterherde bezeichnet werden. Als solche wären, nach den Untersuchungen Prof. W. Bezold's, jetzigen Direktor des Meteorologischen Instituts zu Berlin, z. B. in Süddeutschland die Niederungen zwischen Ammer- und Starnberger See und den Alpen und der Westabhang des Böhmerwaldes zu nennen.

Aus dem Gesagten geht auch hervor, daß an jedem Ort die meisten Gewitter in derjenigen Jahreszeit auftreten, welche durch die reichlichsten Niederschläge ausgezeichnet ist. In der Tropenzone betrifft dies, wie wir wissen, die eigentliche Regenregion. Von den 60 Gewittern, welche durchschnittlich jährlich auf Kalkutta entfallen, kommen 45 auf die Monate April bis September, also auf die Zeit der Herrschaft des regenreichen Südwest-Monsun, wogegen sowohl Regen wie Gewitter in den Monaten November bis Januar, während deren der Nordost-Monsun weht, ausbleiben. An der norwegischen Küste hinwiederum erzeugt der dieselbe

heizende, dampfende Golfstrom im Winter reichliche Niederschläge, und daher überwiegen dort bei weitem die Wintergewitter. Gleiches gilt von der Westküste Nordamerikas, und in ähnlicher Weise beobachtet man am Adriatischen Meere, namentlich an dessen Ostküste, vorzugsweise Wintergewitter. Dem Osten Europas hingegen fehlen diese gänzlich, und in Deutschland herrschen die Sommergewitter — die meisten im Juni und Juli — vor. G. Hellmann weist noch („Meteor. Zeitschr.“ 1885) darauf hin, daß die Wintergewitter — oder die Gewitter der kalten Jahreszeit, Oktober bis März — bei uns bezw. in Mittel- und Nord-Europa stets in Begleitung von Wirbelstürmen und mit Vorliebe bei Nacht auftreten; daß sie ferner zwar oft große Länderstrecken rasch durchziehen, aber doch vereinzelter, in mehr unterbrochener Aufeinanderfolge und auf räumlich beschränkterem Gebiete als die meisten Gewitter der warmen Jahreszeit sich zeigen; und endlich daß sie zwar von kurzer Dauer, aber zumeist von einigen wenigen Blitz- und Donnerschlägen, welche erstere wegen der geringeren Höhe der sie entzündenden Wolkengebilde häufiger als im Sommer zünden, begleitet sind.

Hinsichtlich der täglichen Periode der Gewitter, d. h. des Auftretens derselben im Verlauf der Tagesstunden, ist zu bemerken, daß man in unseren Breiten zwei Maxima der Gewitterhäufigkeit — also zwei Zeiten häufigsten Auftretens — unterscheiden muß: das eine fällt in den Nachmittags (zwischen 2 und 5 Uhr), das zweite (sekundäre) in die ersten Morgenstunden.

Auch über die Bewegung oder das Fortschreiten der Gewitter hat man Beobachtungen und Studien angestellt. So über die Gewitter, welche vom 13. bis 17. April 1884 in Deutschland stattfanden. Nach Professor Börnstein, welcher Einiges darüber veröffentlichte, bewegten sich diese 24 verschiedenen Gewitter mit der mittleren Geschwindigkeit von 39 km in der Stunde meistens von Westen nach Osten. Das Fortschreiten wurde indeß wesentlich beeinflusst durch Gebirge und Flüsse. Die ersteren zogen das herankommende Gewitter an und hielten es beim Weiterschreiten zurück. Dies ist darauf zurückzuführen, daß der Luftzufluß am Boden durch das Gebirge gehindert wird, demzufolge der über dem Gewitterherd aufsteigende Luftstrom mehr Nahrung von der anderen Seite her erhält und gegen das Gebirge hingetrieben wird. Die Flüsse zeigten sich entweder als Hindernis und hemmten geradezu den Fortgang des Gewitters, oder das letztere überschritt den Fluß und dann oftmals so, daß es nach geschehener Annäherung gleichzeitig auf beiden Ufern ausbrach. Da nämlich der Fluß in der heißen Jahreszeit als kalter Streifen gedacht werden kann, so muß über ihm ein absteigender Luftstrom vorhanden sein und folglich auf dessen

beiden Seiten je ein aufsteigender Strom. Wenn nun der aufsteigende Strom des Gewitters stark genug ist, dies Hindernis zu überwinden, tritt ein Moment ein, in welchem er die beiden aufsteigenden Ströme den Flussufeln gleichzeitig bis zum Auftreten elektrischer Ladungen verstärkt. Wurde ein Teil der Gewitterfront durch ein Hindernis zurückgehalten, stellte sich nach dem Vorbeigehen an dem Hindernis die Front wieder her. Verbindet man die Orte, an welchen zu gleichen Zeiten der erste und wieder diejenigen, an welchen zur selben Zeit der letzte Donner gehörte, durch Linien, so schließen — wie W. v. Bezold gezeigt hat — beide den Raum ein, über welchem gleichzeitig elektrische Entladungen stattfinden. Dieser Raum hat in den meisten Fällen die Gestalt eines schmalen, langen Bandes, das auf der Fortpflanzungsrichtung des Gewitters senkrecht stehen gedacht werden kann. Sonach marschieren die Gewitter im Allgemeinen mit sehr breiter Front und sehr geringer Tiefen-Entwicklung über das Land hin. So hatten einzelne der in Bayern beobachteten Gewitter nach Bezold eine Ausdehnung von mehr als 300 km, von der Nordgrenze Bayerns bis zu den Alpen, dabei aber nur eine Tiefe von weniger als 40, allerhöchstens 80 km.

Der Frage, in welcher Höhe die Gewitter ziehen, hat man ebenfalls die Aufmerksamkeit zugewandt. So gedenkt Prof. Reimann („Meteorologische Zeitschrift“ 1886) in Bezug auf das Riesengebirge einer Äußerung des Breslauer Prof. Tobias, die dieser schon in seinem 1777 erschienenen Buch „Reisen nach dem Riesengebirge“ macht, daß nämlich die „mehresten Donnerwetter tiefer gehen als die Koppe, welche bekanntlich gut 1600 m hoch ist. Reimann fügt hinzu, daß sämtliche Gebirgsbewohner und ständige Koppenbesucher, so viele er gesprochen habe, dasselbe behaupten. Auch der Koppenwirth Pohl bestätigte es, und zwar ziehen nach seiner Schätzung von den durchschnittlich 18 Gewittern des Jahres etwa 10 unterhalb der Koppenfegels, während 5 bis 6 die Koppe einhalten und nur 2 bis 3 sich über dieselbe erheben. „Kirchschläger giebt an, daß von den 15 Gewittern des Jahres 1885 sechs tiefer als die Koppe und nur zwei höher als sie gezogen sind.“ — Prof. Hann in Wien bemerkt, veranlaßt durch die Reimann'schen Mittheilungen, daß er niemals wahre Gewitterwolken beobachtet habe, deren untere Fläche unter etwa 1400 m sich befand, obgleich er Jahre lang in den Alpen und in deren Nähe mit besonderem Interesse die Bildung und das Heranziehen der Gewitter beobachtet habe; öfter jedoch standen die blitzenden und regnenden Wolken höher als der Gipfel des hohen Praterkogel d. i. als 2500 m. Hann betont gleichzeitig, daß die Meisten (Touristen und Laien in dem Fach) bei der Schätzung der Höhe der Gewitterwolken von Bergen aus einer Täuschung anheimfallen, wenn sie sich oberhalb

eines Gewitters wollen befunden haben. „Die Mächtigkeit der Gewitterwolken ist fast immer so groß, daß solche Fälle zu den äußersten Seltenheiten gehören mögen, die nur auf sehr hohen Bergen eintreten können.“ Um so interessanter ist z. B. der sachgemäße Bericht, welchen K. Kolbenheyer in der „Meteor. Zeitschr.“ (1886) über einen Fall giebt, in welchem das Gewitter unterhalb des Beobachters zum Ausbruch kam:

„Am 19. August 1868 bestieg ich die an der ungarisch-galizischen Grenze gelegene, 1725 m hohe Babiagóra, die höchste Spitze der West-Besliden. Während ich von 1—2 Uhr Nachmittags auf dem fahlen Gipfel, der schon über die Krummholz-Region hinausragt, botanisierte, füllten sich die Thäler allmählich mit Nebel und Wolken, die jedoch nicht höher stiegen, als bis zu dem von oben deutlich sichtbaren Vorberge Brana, dessen Seehöhe ich beim Aufstieg barometrisch gemessen hatte und später zu 1520 m berechnete. Bald nach 2 Uhr brach zu meinen Füßen ein Gewitter los; über mir war der Himmel ganz wolkenlos, schön blau, unter mir aber wogte ein Wolkenmeer, das jedoch die Brana nicht überstieg, blitzte und donnerte es unaufhörlich und gewährten die fahl erscheinenden, nach oben fahrenden Blitze einen ganz eigentümlichen Anblick. Das Gewitter dauerte bis 3 Uhr, zu welcher Stunde ich auf die Brana hinabgestiegen war, unter der ich in die Wolken hineingelangte. Der Regen hörte erst um 6 Uhr Abends auf. Ich habe seitdem zahlreiche, viel höhere Spitzen bestiegen, der Anblick eines Gewitters unter mir aber wurde mir nie wieder zu Teil.“

Übrigens ist die Höhe der Gewitterwolken überm Erdboden eine sehr verschiedene. Alexander v. Humboldt, Saussure, Ramond und andere Forscher haben Gewitter in Höhen von 12 000, 15 000 und 16 000 Fuß erlebt, wobei die betreffenden Wolken über den Beobachtern schwebten; ja aus dem Knall, welcher einem Blitz folgte, der senkrecht über dem französischen Mademiker de l'Isle entstand, ließ sich wohl eine Höhe von 25 000 Fuß herleiten. Sollte diese Schätzung der Wirklichkeit entsprechen, so wäre allerdings die Höhe der Gewitterwolken eine ungeheuerere, namentlich wenn man bedenkt, daß sie anderseits manchmal nur den 3. oder gar den 7. Teil so hoch schweben.

In Bezug auf das Aussehen und die Größe der Gewitterwolken hat Reimann, wie er in den erwähnten Mitteilungen berichtet, Folgendes in Erfahrung gebracht: Die höher als die Koppe (Niesengebirge) ziehenden Gewitterwolken sind Kirchschläger's Angabe zufolge weiß; nach Bohl's Aussage ist eine von fern in gleicher Höhe mit der Koppe heranziehende Gewitterwolke stets pechschwarz gefärbt und erscheint, ihre Form betreffend, oben wellig, unten gefranst und von mäßiger Dicke. Kirchschläger hat schon bemerkt, wie es aus einer ganz kleinen einzelnen Wolke, die über

der Koppe schwebte und ihrem Aussehen nach kein Gewitter ahnen plötzlich blitzte und donnerte. Steht das Gewitter unter der Koppe, so über ihr der Himmel entweder völlig heiter, oder es zeigen sich in Höhe einzelne Wolken und zwar von verschiedener Art. Wolken einer Gewitterwolke sind von der Koppe aus noch nie beobachtet worden. Saussure behauptete, ein Gewitter in den Bergen immer nur entstehen gesehen zu haben, wenn zwei oder mehrere Wolken zusammenwirkten. Franklin war der Meinung, daß zum Zustandekommen eines Gewitters mehrere Wolken gehören und daß die eine von ihnen eine bedeutende Ausdehnung besitzen müsse. „In Bezug auf letzteren Punkt erwähne ich noch, daß ich es selbst einmal im Thale zwischen Hermsdorf und Agneten aus einer ganz schmalen, dünnen, durchsichtigen Wolke, welche wenig höher als der Kynast mit großer Geschwindigkeit in wenigen Minuten über wegraste — worauf es wieder heiter war —, höchst kräftig gewittert sehen habe.“

Der Blitz.

Der Blitz ist, wie wir wissen, ein großer elektrischer Funke, welcher entweder zwischen zwei verschiedenen Wolken oder von einer Gewitterwolke zu einem Punkte der Erdoberfläche (z. B. Turm, Haus, Baum) überspringt und dadurch die entgegengesetzten Elektrizitäten ausgleicht. Diese Entladung der angesammelten Wolken-Elektrizität in Gestalt eines Blitzes erfolgt indessen nur dann, wenn sich die betreffenden beiden Wolken oder die eine Wolke und der Gegenstand der Erdoberfläche in einer entsprechenden Entfernung voneinander befinden, wie es ja auch bei Maschinen-, Flaschen- und Batterie-Entladungen der Fall ist; bei zu großer Entfernung der beiden verschiedenartig elektrischen Körper vermögen sich die Elektrizitäten nicht auszugleichen, während bei einer statthabenden Berührung der Körper die Elektrizitäten ohne Funkenbildung ineinander übergehen.

Durch Abbildung 166 finden wir diese Vorgänge veranschaulicht. Die $+E$ der größeren Wolke zieht die $-E$ der Erde (unter Abstoßung der gleichnamigen $+E$ derselben) an, so daß diese $-E$ an dem höchsten Punkte der Erdoberfläche, hier also im Turm, sich anhäuft, und die Elektrizitäten gleichen sich nun aus, d. h. es springt ein mächtiger elektrischer Funke in Gestalt eines Blitzstrahls von der Wolke nach dem Turm über. Gaston Planté erklärt die Entladung zwischen einer Gewitterwolke und Erde resp. einem Punkte derselben im Zusammenhang mit seiner Seite 250 angeführten Theorie der Entstehung der atmosphärischen Elektrizität folgerichtig so: Die Wolke hat auf ihrem Wege viel von jener der Erde entströmten positiven Elektrizität aufgenommen, sie ist so stark positiv

elektrisch geworden, daß sie den Teil der Erdoberfläche, über dem sie sich befindet, auf dem Wege der Influenz stark negativ elektrisch macht (vergl. Abbildung); und zwischen der positiven Wolke und der negativen Stelle der Erde bezw. einem hervorragenden Teil derselben geht nun in gewöhnlicher Weise die elektrische Entladung vor sich. Der die Ausgleichung der Elektricitäten bewirkende Blitz schlägt bekanntlich nie aus dem betreffenden Punkte der Erdoberfläche aufwärts nach der Wolke, sondern aus dieser nach der Erde, also stets nach der Seite, wo die stärkste Ableitung vorhanden ist; denn die Erde leitet doch bei weitem besser als die die Wolke umgebende Luft.

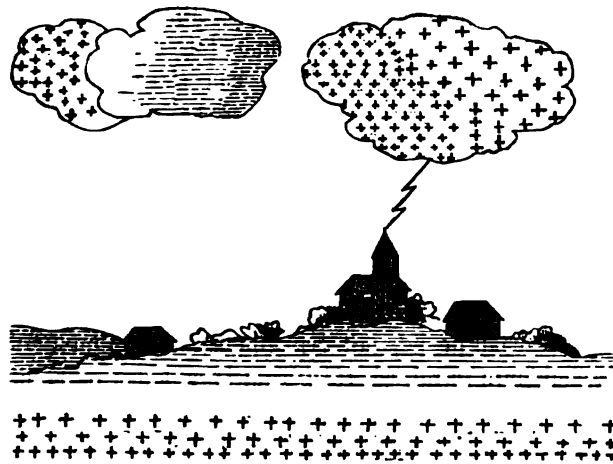


Fig. 166. Entstehung des Blitzes.

Die Dauer des Blitzes, welche so außerordentlich kurz ist, daß z. B. eine sehr schnell kreisende, mit abwechselnd weißen und schwarzen Speichen bemalte Scheibe (vergl. S. 224) bei Beleuchtung durch den Blitz stillzustehen scheint, weil sie während der unglaublich kurzen Dauer dieser Beleuchtung nicht Zeit hatte, sich merkbar zu drehen, sodas Wheatstone aus derartigen Versuchen die Dauer des Blitzes auf weniger als $\frac{1}{1000}$ Sekunde schätzt — braucht uns hier nicht weiter zu beschäftigen, da wir diese Frage schon früher berührten (S. 225). Nur sei noch erwähnt, daß nach ferneren Untersuchungen die Bligentladung — wenigstens was die Zickzackblitze anbelangt — gewöhnlich, wenn nicht immer, vielfach ist und die Dauer der Einzelbestandteile zwischen $0,001$ und $0,03$ Sekunde schwankt und zwar selbst bei den Komponenten eines und desselben Blitzes.

Gestalt (Aussehen) und Arten der Blitze. Obgleich man den Blitz allgemein als eine helle zickzackförmige Lichtlinie kennt, so tritt er doch

nicht bloß in dieser Gestalt auf, und nach dem Vorgang des französischen Physikers Arago (1786—1853) unterscheidet man drei Arten von Blitzen.

a) Die Linien- oder Zickzackblitze entsprechen am meisten den langen Funken kräftiger Elektrifiziermaschinen, denn sie gleichen denselben sowohl hinsichtlich der scharf begrenzten, unregelmäßig im Zickzack gebrochenen und geschlängelten, selten verzweigten Form, als auch betreffs der kurzen Dauer. Die Zickzackblitze erscheinen also als sehr schmale, blendend helle, gewöhnlich weiße, selten purpurrötliche, violette oder bläuliche Lichtlinien mit scharf begrenzten Rändern, welche in gebrochener oder geschlängelter, jedoch nicht wirklich scharfwinkelig geknickter Bahn von Wolke zu Wolke oder aus den Wolken zur Erde fahren und sich dabei manchmal gabelförmig in mehrere Äste teilen. Sie sind von einem lauten, mehr oder minder lange andauernden, rollenden Donner begleitet und oft mehr als 1000 m lang, ja Pettit will zu Toulouse einen 17 km langen Blitzstrahl beobachtet haben.

b) Die Flächenblitze unterscheiden sich von den vorigen durch die Dauer, die Form und auch die Farbe. Zwar sind auch sie von kurzer Dauer, doch nehmen sie immerhin etwas mehr Zeit in Anspruch als der Zickzackblitz; außerdem verbreiten sie ein viel weniger helles, meist rötlich gefärbtes Licht — sodaß sie sich mit den Büschel- und Glimm-Entladungen der Elektrifiziermaschinen (vergl. S. 153) vergleichen lassen — plötzlich gleichmäßig über eine ausgedehnte Fläche der Gewitterwolke oder sie scheinen zuweilen nur die Umrisse der Wolken zu erleuchten, aus denen sie hervorbrechen. Letzteres ist wohl der Fall, wenn die betreffende Wolke sehr dicht ist, sie zeigt dann also nur hellen Saum, während die ganze Wolke oder doch ein beträchtlicher Teil derselben wie durchscheinend (transparent) erleuchtet sich darstellt, wenn das Gewölk dünn, schleierartig ist. In der Regel vernimmt man bei Flächenblitzen, welche weit häufiger als die Zickzackblitze sind — bei einem gewöhnlichen Gewitter kommen auf einen der letzteren hundert und mehr Flächenblitze — keinen Donner.

c) Die Kugelblitze dagegen sind ebenso seltene wie eigentümliche, rätselhafte Erscheinungen der Gewitter-Elektrizität. Sie gleichen Feuerkugeln, welche aus der Wolke mit verhältnismäßig geringer Geschwindigkeit, sodaß man sie mit dem Auge zu verfolgen und ihre Gestalt zu erkennen vermag, auf die Erde herabsinken und hier endlich verschwinden bezw. zerplagen. Ihr Erscheinen ist von einem eigentümlichen Brausen begleitet, ihre Größe schwankend, zumeist der einer Kanonenkugel nahestehend, ihr Umriß in der Regel verschwommen; auf ihrem Lauf sieht man sie manchmal einen Augenblick anhalten, dann von neuem fortschreiten, wie elastische Kugeln

zurückspringen oder in kleinere Kugeln sich zerteilen; oft bewegen sie sich noch eine längere Strecke hindurch längs der an der Erdoberfläche befindlichen Körper fort, ohne letztere zu beschädigen, bis sie unter heftiger Explosion, bei welcher die gewöhnlichen Wirkungen des Blitzes sich beobachten lassen, zerplagen; manchmal schicken sie beim Zerplagen nach allen Seiten Zickzackblitze, welche die schlimmsten Verheerungen anrichten, manchmal hingegen verschwinden sie plötzlich ohne Geräusch; ist die Geschwindigkeit der anderen Blitze eine unglaublich schnelle, so bleiben die Kugelblitze bis 5, ausnahmsweise noch mehr Sekunden lang sichtbar.

Der hier schon mehrfach erwähnte französische Physiker Gaston Planté hat nun im vorigen Jahrzehnt in seinem Laboratorium zu Paris in einer Reihe von Versuchen, die er mittelst elektrischer Ströme von sehr hoher Spannung anstellte, Erscheinungen hervorgerufen, welche mit denen der Kugelblitze die auffallendste Ähnlichkeit zeigen und eine Theorie (Erklärung) der letzteren in leichter Weise aufzustellen ermöglichen. Planté bediente sich dabei eines Apparates, dessen Entladungsstrom etwa dem von 1200 Bunsenschen Elementen gleichkam. Indem er nun den positiven Leitungsdraht in angesäuertes Wasser tauchte und dann den negativen Platindraht auf einen Augenblick der Oberfläche des Wassers näherte, wurde dieser Platindraht geschmolzen, wobei man eine Art Explosion und gleichzeitig eine Flamme wahrnahm, deren Färbung sich nach der Natur des Metalles richtete, aus dem die Elektrode angefertigt war. Je mehr man, um die Schmelzung des Metalldrahtes zu vermeiden, den Säuregehalt des Wassers verringerte, desto lebhafter wurden die Funken an Lichtintensität und desto mehr nahm ihr Geräusch zu. Wurde dagegen zuerst der negative Poldraht in die Flüssigkeit getaucht und dann der Oberfläche der letzteren der positive Poldraht genähert, so war nichts von einem Schmelzen des Drahtes zu bemerken, es zeigte sich vielmehr, indem sich zugleich ein eigentümliches Brausen vernehmen ließ, am Ende des letzteren eine kleine leuchtende Kugel, welche an Größe wuchs (bis 1 cm Durchmesser) und auch eine sehr rasche Bewegung um sich selbst (Rotation) annahm. Sie verschwindet schließlich, wenn die beiden Elektroden eine nur geringe Entfernung haben. Falls der negative Poldraht bloß wenig in das Wasser getaucht worden, so entsteht gleichzeitig an demselben ein knatternder Funke.

Zur Erklärung der auftretenden Erscheinungen bemerkt Planté, daß das Brausen beim Entstehen der Kugel auf die Verdichtung des rings um die Elektrode sich bildenden Dampfes in der Flüssigkeit zurückzuführen ist, daß ferner das von der Kugel ausstrahlende lebhafte Licht seinen Ursprung der Berührung der Kugel mit der übrigen Flüssigkeit verdankt, und daß die Rotations-Bewegung der Kugel einer Rückstoß- oder Reaktionswirkung

(vergl. S. 96), hervorgerufen durch eine in der Flüssigkeit erfolgende elektrische Strömung, zuzuschreiben ist.

Auf Grund seiner Versuche und der von ihm dabei beobachteten, in Vorstehenden kurz berührten Erscheinungen, die man in entsprechender Weise auch an den Kugelblitzen wahrnehmen kann, sieht Planté die Ursache dieser eigentümlichen Elektrometeore in dem Auftreten eines überreichen, in hoher Spannung befindlichen Stromes von Elektrizität. Eine sowohl der Quantität als auch der Qualität nach mächtige Elektrizitäts-Strömung ist also zur Entstehung der Kugelblitze notwendig. Planté's Ansicht zufolge sind sie aus verdünnter glühender Luft und aus jenen — ebenfalls im Zustande großer Verdünnung und in Glühhitze befindlichen — Gasen gebildet, welche ihr Entstehen der Zerlegung des Wasserdampfes verdanken. Feuchte Luft, besonders aber ein durch intensiven Regen befeuchteter oder gar überschwemmter Boden begünstigt die Bildung von Kugelblitzen bezw. bewirkt eine Größezunahme derselben, worauf schon das gemachte Experiment hindeutet. Die kugelförmige Aneinanderlegung der Teilchen ist als eine Folge der durch den Durchgang des elektrischen Stromes veranlaßten Ansaugung (Aspiration) anzusehen; die Abänderung in der Farbe der Feuerkugeln ist auf die wechselnden Feuchtigkeits-Verhältnisse der Atmosphäre, vielleicht auch mit auf die Menge der dabei thätigen Elektrizität zurückzuführen: bei Vorhandensein von großer Menge Wasserdampf in der Atmosphäre erhält die Feuerkugel in Folge des glühenden, durch Dissociation entstehenden Wasserstoffes eine rötliche Farbe, während glühende verdünnte Luft eine blaue oder violette Farbe bewirkt; das die Kugelblitze begleitende Brausen rührt, wie wir nun wissen, von der raschen Dampfbildung her, und die Erklärung für die langsamere Bewegung der Kugelblitze giebt Planté in folgender Weise: Wie beim Experiment die am Ende des positiven Boldrahtes (positive Elektrode) sich zeigende Feuerkugel dann, wenn man die Elektrode bewegte, sich gleichfalls mit dieser fortbewegen würde, so geschieht es in entsprechender Weise in der Natur bei dem in Form einer Feuerkugel erscheinenden Kugelblitz. Die hier auftretende positive Elektrode ist eine Säule von stark elektrificirter feuchter Luft, und aus dieser Säule erfolgt der Ausfluß der Elektrizität gegen die negative Erde unter der Gestalt der Feuerkugel; die Bewegung dieser Wolken-Elektrode veranlaßt nun erklärlicher Weise auch eine Bewegung der an ihrem Ende entstandenen Feuerkugel, und die Geschwindigkeit der letzteren Bewegung ist übereinstimmend mit jener der Wolkensäule. Die zuweilen an den Kugelblitzen wahrgenommene wirbelnde Bewegung entspricht ganz derjenigen, welche Planté bei seinen Versuchen bemerkte: sie ist eine Wirkung des aus dem Ausströmen der Elektrizitäten folgenden Rückstoßes (Reaktion).

Außer den im Vorstehenden besprochenen einfachen Kugelblitzen sind die sogenannten Schnurblitze zu erwähnen, welche zuweilen beobachtet werden und aus einer größeren oder geringeren Anzahl perlschnurartig aneinander gereihter Feuerkugeln zusammengesetzt erscheinen, weshalb sie Plante „*éclairs en chapelet*“ nennt. Nach der Ansicht dieses Fachmannes scheinen sie den Übergang von den gewöhnlichen Blitzen zu den Kugelblitzen zu bilden. Sie entstehen durch das Abfließen einer größeren Elektrizitäts-Menge, als sie zur Hervorbringung gewöhnlicher Blitze notwendig ist, und sind meist von starkem Donner — eine Folge der mächtigen Verdampfung der vom elektrischen Strom getroffenen Flüssig- bezw. Feuchtigkeit — begleitet.

Blitzschläge. In den meisten Fällen fährt der Blitz von Wolke zu Wolke; zieht indeß die elektrische Wolke so tief, daß die Gegenstände an der Erdoberfläche in ihre Schlagweite kommen, so entladet sie sich dahin, und man sagt dann: der Blitz hat eingeschlagen. Daraus erklärt es sich von selbst, daß alle Körper, welche sich weit über die Ebene erheben, dem Blitzschlag vorzugsweise ausgesetzt sind. Nicht immer jedoch schlägt der Blitz nach unten, sondern manchmal aus der Wolke nach oben. So hat man auf hohen Bergen beobachtet, wie aus Gewitterwolken, welche unter dem Gipfel schwebten, Blitze nach oben schlängelten. Welchen Weg nun aber auch jener gewaltige elektrische Funke nehmen möge, immer wird er dahin überschlagen, wo sich ihm der geringste Leitungswiderstand entgegenstellt. Am liebsten folgt er den Metallen, nächstdem den feuchten Körpern, den zweitbesten Leitern; daher zieht er auch feuchten Boden bei weitem trockenem vor, und wenn er manchmal in anscheinend trockenem Boden einschlägt, so wird man doch meistens unter der trocknen Oberschicht wasserführende Schichten finden, von denen er sich seine Bahn vorschreiben ließ.

Aus dem soeben Gesagten folgt, daß der Blitz nicht einfach hohe Gegenstände an und für sich bevorzugt, sondern daß dabei vor Allem auch die Leitungsfähigkeit derselben eine Rolle spielt. Gebäude mit vielen Metallteilen werden mehr heimgesucht als solche ohne dieselben; Baulichkeiten mit weicher Dachung giebt er (wegen der größeren Feuchtigkeit in derselben) den Vorzug vor denen mit harter Dachung; aus gleichem Grunde schlägt er gern in Bäume ein; auf feuchtem, wasserführendem Boden stehende Gegenstände sind mehr der Blitzgefahr ausgesetzt als die auf trockenem Boden sich erhebenden Körper.

Zum teilweisen Beleg für diese Sätze greifen wir aus dem vorliegenden Untersuchungsmaterial die Brandversicherungs-Statistik des Landesdirektorats von Schleswig-Holstein, welche sich auf 90 Prozent aller Gebäude

erstreckt, heraus. Eine, die zehn Jahre 1874—1883 umfassende Zusammenstellung ergibt zunächst, daß in der Provinz, diese als Ganzes genommen, die letzten fünf Jahre vereint noch einmal so blitzreich waren als die ersten fünf. Von allen Blitzschlägen sind 47 Prozent kalt, d. h. nichtzündend, die anderen zündend. Während des zehnjährigen Zeitraumes kamen bei 1 Million Gebäude auf gewöhnliche Gebäude mit harter Dachung jährlich 163, mit weicher Dachung 386, auf Kirchen und Glockentürme 6277, auf Windmühlen 8524 und auf gewerbliche Gebäude 306 Blitzschläge; Kirchen sind also 39mal und Windmühlen 52mal gefährdeter als gewöhnliche Gebäude mit harter Dachung. Der Umstand, daß im Allgemeinen die Blitzgefahr in allen westlichen Kreisen größer ist als in den östlichen und Binnentreifen, muß zum großen Teil auf die Siedungsverhältnisse zurückgeführt werden. In den Marschgegenden (westlich) erheben sich nämlich auf der baumlosen, zum Teil eingedeichten Ebene nur zerstreute Einzelgehöfte, welche somit einen geeigneten Gegenstand für die Blitze bilden, wogegen in den Geestländern die Häuser in Ortschaften zusammenliegen und daher im Einzelnen der Blitzgefahr weniger ausgesetzt sind. „Man kann im Allgemeinen behaupten, daß die Blitzgefahr um so geringer wird, je mehr Häuser zusammenliegen.“ So sind, um noch einige Belege dafür anzuführen, in Bayern die ländlichen Gebäude doppelt so gefährdet als die städtischen; nach der preussischen Brandstatistik beträgt sogar der Anteil der durch Blitzschlag verursachten Brände an der Gesamtheit der Brände bei städtischen Gebäuden $1,6$, bei ländlichen $7,4$ Prozent; ja in Berlin kommen nur $0,2$ Prozent aller Brände auf Blitzschlag, in den ländlichen Ortschaften Brandenburgs aber $9,1$ Prozent.

Was die Blitzschläge an Bäumen anbetrifft, so sind die bezüglichlichen Beobachtungen, namentlich über die Häufigkeit der Blitzschläge an einzelnen Baumarten, sehr interessant. „Schon die alten Deutschen hielten die Buche gegen den Blitz gefeit, sahen dagegen in der Eiche den Sitz des Donnergottes.“ Daß diese aus 1000 jährigen Erfahrungen hervorgegangenen Anschauungen wohl begründet sind, dürfte z. B. eine für die Lippe-Deimold'schen Staatsforsten angestellte, auf zwölf Jahre sich erstreckende Statistik, welche 336 an 398 Bäumen vorgekommene Blitzschläge berücksichtigt, darthun. Dieser Übersicht zufolge kommen pro Jahr und 1000 Hektar auf Buchen $0,19$, auf Nadelhölzer $2,66$, auf Laubhölzer ausschließlich der Buchen und Eichen $7,69$, auf Eichen $10,28$ Blitzschläge. Sonach ist die Eiche der Blitzgefahr 54mal stärker ausgesetzt als die Buche. Man hat dies auf geologische oder Boden-Verhältnisse zurückgeführt. Und dieser Versuch einer Erklärung der Thatsache wird nicht von der Hand zu weisen sein, wenn man einerseits bedenkt, daß die Eiche Lehmboden, die Buche jedoch trocknen Kalkboden

licht, und anderseits, daß nach den Lippe'schen Untersuchungen pro Jahr und 1000 Hektar auf Kalkboden durchschnittlich 0,23 Blitzschläge, auf Mergelboden 0,48, auf Thonboden 1,85, auf Sandboden 2,45 und auf Lehmboden 6,07 Blitzschläge zu zählen sind, sodaß mithin die letztere Bodenart 22 mal mehr Blitzschläge erhält als der Kalkboden. — Im Anschluß hieran mag bemerkt sein, daß die indische Kokospalme in hervorragender Weise die Fähigkeit haben soll, den Blitz zu leiten. Schon vor geraumer Zeit hob Sir Emerson Tennent hervor, daß dieser Baum die Häuser vor dem Blitz schützt, indem er denselben ableitet, und während einer Reihe von Gewittern im April 1859 wurden in einer einzigen Pflanzung 500 Palmen vom Blitz getroffen. Die letzteren selbst leiden aber furchtbar von einem solchen Schlage, denn sie sterben ab, wenn sie auch noch so leicht von dem elektrischen Fluidum berührt wurden. („Humboldt“ 1886 S. 438.)

Auch in anderen Ländern hat man Erhebungen über Blitzschläge und Blitzgefahr vorgenommen und dabei durch sorgfältige Beobachtungen und Aufzeichnungen gefunden, daß die Blitzschläge in Deutschland sich leider in beängstigender Weise mehren bezw. die Gefährdung durch Blitz bei uns seit den letzten 30 bis 40 Jahren in beständiger Zunahme begriffen ist — von 1850 bis 1880 hat eine durchschnittliche Vermehrung der Blitzgefahr um das Dreifache stattgefunden — und daß der jährlich durch Blitzschlag angerichtete Schaden für Deutschland auf mindestens 6—8 Mill. Mark veranschlagt werden muß. Behörden und Vereine lassen es sich daher mit Recht angelegen sein, den Schädigungen, welche die genannte Naturgewalt anrichtet, zu steuern, auch weiten Kreisen der Bevölkerung Aufschlüsse zu geben und durch Einrichtung von zahlreichen Gewitter-Beobachtungs-Stationen immer mehr Unterlagen zur Beurteilung der Frage zu gewinnen.

Wirkungen des Blitzes. Die Wirkungen des Blitzes äußern sich ganz wie die der Entladung einer Leydener Flasche und Batterie (vergl. S. 191 ff.), natürlich in noch weit stärkerem Maße.

a) Gewaltige mechanische Wirkungen lassen sich, wie bei der Batterie-Entladung, vornehmlich an Unterbrechungsstellen guter Leiter beobachten. Wir wissen, daß der Blitz die Metalle, als die besten Leiter, bevorzugt. Begegnet er nun im Verfolg seines Weges durch das Metall einem Körper, welcher als schlechter Leiter ihm ein Hindernis entgegensetzt, so geht er, falls er einen Ausweg mit geringerem Widerstande findet, um das Hindernis herum; ist dies indes nicht der Fall, so durchbohrt er den schlechten Leiter, zertrümmert ihn und schleudert die Stücke desselben oft weit umher. Über einen hierher gehörigen interessanten Fall berichtete ein bekannter Fachmann, Dr. Ahmann, in der Magdeburg. Ztg. (1884), und wir geben die Mitteilung im Wesentlichen hier wieder:

Im Augenblick des Blitzes ertönte ein lautes Knistern in meiner unmittelbarsten Nähe und ich sah, wie meinem neben mir stehenden Gehilfen die Haare des Hinterkopfes hoch in die Höhe fuhren und sich langsam senkten. Derselbe hatte mit seinem Kopf etwa handbreit dem Rande der das Glasdach der Wetterwarte (in Magdeburg) umgebenden Zinkrinne abgestanden, von welchem aus ein „Rückblitz“ oder sekundärer Blitz in Gestalt eines starken elektrischen Funkens nach seinem Kopf übersprungen war. Die Wirkung desselben war doch genügend, um dem Betroffenen das Gefühl eines starken elektrischen Schlages, verbunden mit augenblicklicher Erschlaffung der Kräfte, hervorzurufen. Ich selbst, unmittelbar daneben stehend, empfand sofort den bekannten saueren Geschmack auf der Zunge, welcher entsteht, wenn man einen galvanischen Strom auf die Zunge einwirken läßt. An Ort und Stelle überzeugte ich mich von dem Wesen und der Wirkung des Blitzes. Derselbe war oberhalb der Mitte der aufrecht stehenden Figur an der Vorderseite eingetreten, war der im Innern derselben befindlichen eisernen Gasröhre gefolgt, ohne den Gips abzuwerfen und hatte erst genau an der Stelle, wo die Gasröhre nach unten aufsteht, den ganzen Gips, Putz und große Mauersteinklumpen in der Breite von etwa $1\frac{1}{2}$ m abgeprengt, da er an dieser Stelle von einem guten Leiter zu einem sehr schlechten übergehen und starken Leitungswiderstand finden mußte. Von hier aus ist wohl die Hauptmasse der nach hinten an die im Innern der Eisenröhre angeschmiedeten eisernen Stütstange der Figur gefolgt, wenigstens ist an der entsprechenden Stelle auch hinten der Putz abgeworfen und da an der Befestigungsstelle der Stange am Dache Asphaltpappe, ein schlechter Leiter, untergelegt war, nach den in Entfernung von einigen Metern vorüberführenden Telephondrähnen übersprungen. In der Nachbarschaft sollen überall die Glocken der Telephone in demselben Augenblicke geklingelt haben. Im Hause selbst fehlt jede Spur des weiteren Weges des Blitzes

Einen Fall mächtiger mechanischer Wirkung des Blitzes teilt der französische Physiker Arago mit, demzufolge im Jahre 1762 von einem Kirchturm in Cornevall durch den Blitz ein 3 Zentner schwerer Stein 58 m, anderer, kleinerer 390 m weit fortgeschleudert wurde. Und in einem Hause bei Manchester wurde i. J. 1809 eine 1 m dicke, 4 m hohe Mauer vom Gewicht von etwa 26 000 kg (520 Zentner) an dem einen Ende um $1\frac{2}{3}$ m, an dem anderen um 3 m von ihrer früheren Stelle verschoben.

Eigenartig sind die Wirkungen des Blitzes auf Bäume. Bekanntlich zählen diese wegen der unter ihrer Rinde vorhandenen Säfte zu den guten Leitern der Elektrizität. Wenn daher eine Gewitterwolke über ihnen hinzieht, so häuft sich in ihnen in erheblichem Maße Elektrizität an

man sagt deshalb mit Recht, Bäume „ziehen den Blitz an“. Da sie also häufig vom Blitz getroffen werden, so darf man während eines Gewitters unter Bäumen (insbesondere vereinzelt stehenden), ja auch unter einsam auf der Ebene stehenden Sträuchern niemals Schutz suchen, will man sich nicht der Gefährdung durch Blitzschlag aussetzen. Er beraubt sie entweder ganz oder teilweise der Rinde, oder spaltet und zerschmettert das Holz in lange lattenartige Splitter oder zerschligt dasselbe in besenartige Faserbündel. B. Franklin führte diese Erscheinungen auf die durch die Wärmewirkung des Blitzes plötzlich vor sich gehende Verdampfung des im Holz enthaltenen Saftes zurück, und ohne Zweifel hat dieser Umstand an jenen Zerstörungen wenigstens erheblichen Anteil. Oft auch läuft der Blitz äußerlich an der Rinde des Baumes in einer Schraubenlinie herab, oder veranlaßt eine schraubensförmige Drehung der Baumstämme — und ebenso von Pfählen u. dergl. — um ihre Achse. Am Fuße des betroffenen Baumes gewahrt man gewöhnlich ein Loch, durch welches sich das elektrische Fluidum in den Boden verbreitete.

b) Wärme - Wirkungen, Zündungen. Wie der Funke einer elektrischen Batterie beim Durchgang durch Metallkörper ein Erwärmen, Glühen oder Schmelzen derselben verursacht, so der Blitz in weit größerem Maße bei den von ihm getroffenen metallenen Gegenständen u. Die Erwärmung ist um so beträchtlicher, je bedeutender der zu überwindende Widerstand war (vergl. S. 279). Werden selbst dicke Metallstücke, deren Widerstand gering ist, schon erwärmt, so werden kleinere Metallstücke oder dünne Drähte, welche mithin der Elektrizität einen zu engen Weg bieten, geschmolzen, oder gar verflüchtigt, und in letzterem Falle wird der Metalldampf fortgeführt, um an anderen Stellen der Blitzbahn wieder abgesetzt zu werden. Die Wirkung äußert sich manchmal in überraschendster Weise. So erzählt Arago einen Fall, bei dem eine 42 m lange eiserne Kette mit 7 mm starken Gliedern vollständig geschmolzen wurde. Nicht selten werden Kettenglieder zusammengeschweißt, sodaß die Ketten dann in förmliche Stangen verwandelt sind — wie es mehrmals an eisernen Windmühlenketten beobachtet wurde —, Geldstücke werden imbeutel und Messerlingen in der Scheide geschmolzen, während die Umhüllung unzerstört bleibt.

Hierher gehört auch eine durch den Blitz veranlaßte Bildung, welche unter dem Namen Blitzröhren oder Fulguriten bekannt ist und als solche auf Seite 205 bereits erwähnt wurde. Treffen starke oder wiederholte Blitzschläge die Felskanten hoher Berge, so läßt sich an denselben häufig eine oberflächliche Schmelzung und Verglasung wahrnehmen; schlägt dagegen der Blitz in sandigen Boden, so erzeugt er verästelte, verschieden

gekrümmte Röhren, die außen aus zusammengebackenen (gesinterten) S
körnern bestehen und somit rauh sind, inwendig aber infolge Schmelz
des Sandes verglast erscheinen. Die Länge dieser Röhren beträgt mel
(bis 8 oder 10) Meter, die Weite einige Millimeter, doch auch bis 5
nach unten hin laufen sie enger und spitz zu.

Sehr häufig, wenn nämlich der Blitz brennbare Stoffe (Stroh
trockenes Holz u. a.) trifft, wird eine Zündung verursacht; namentlich
folgt dies dann, wenn der Blitz durch schlechte Leitung auf seinem We
verzögert wird. Bei anderen Körpern, z. B. grünem Holz, Bäumen
läßt sich eine Verkohlung beobachten; Flüssigkeiten werden verdampft.
aber bleibt eine Zündung aus. Man nimmt an, daß dies bei kurzen
starken Blitzstrahlen, die jedoch dann eine um so mehr mechanische We
besitzen, der Fall sei, und bezeichnet solche Schläge als kalte Schläge
(s. S. 278).

e) Die Wirkung des Blitzschlages auf den menschlichen
tierischen Körper zeigt sich teils in äußeren Verletzungen, in Quetschun
(Kontusionen), Anschwellung der getroffenen Gliedmaßen, Schwärzung
Haut etc., teils — und zwar oft ohne jede sichtbare Spur äußerer Ver
letzungen — in einer Erschütterung des Nervensystems, welche entweder
vorübergehende Bewußtlosigkeit und Lähmungen oder aber den augen
blicklichen Tod zur Folge haben kann; diese Erschütterungen entsprechen
denjenigen, welche ein Batterieschlag hervorruft (vergl. S. 211). Der
durch Nervenerschütterung kann eintreten, ohne daß der Blitz den Men
unmittelbar zu treffen braucht, nämlich auch dann, wenn der Blitz in
Nähe des letzteren einschlägt. In diesem Falle geschieht die Tötung durch
den sogenannten Rückschlag, welchen wir bereits im 14. Kapitel (S. 141)
erklärten. An den Leichen der infolge Rückschlag getöteten Personen
sich äußerlich keine Verletzung bemerken; dagegen erscheint auf der Haut
von Menschen, welche unmittelbar vom Blitz getroffen wurden, die
des letzteren in Form eines gezackten oder mit strahlenförmigen Ausläu
versehene Bandes bzw. eines Streifens, und zuweilen treten vielverästelt
baum- oder sternförmige oder noch merkwürdigere „Blitzzeichnungen“
welche mitunter sogar die Form eines vom Blitz soeben berührten
durchlaufenen Metallstückes (Ornamente u. a.) oder dergl. haben sollen.

Ohne auf die mannigfachen hierher gehörigen Fälle eingehen zu wo
sei nur eines derartigen, weil soeben geschehenen, Vorkommnisses ged
Am Mittag des 14. Juni d. J. wurde am Planufer hier in Berlin
Schlossergeselle Naddag durch einen Blitzstrahl getroffen, aber nicht
tötet, sondern nur betäubt und in einen totenähnlichen Zustand ver
und es ist Aussicht auf völlige Wiederherstellung desselben. Prof

Gerhardt, dessen Abteilung in der Charitee der Kranke überwiesen worden, erörterte am folgenden Tage diesen Fall in der von ihm geleiteten Klinik und erklärte, einen solchen selbst zu beobachten bisher noch nicht Gelegenheit gehabt zu haben. Infolge der Betäubung durch den Blitzschlag hatte Naddatz das Gedächtnis insoweit verloren, daß er keine Ahnung von dem hat, was mit ihm vorgegangen; er weiß nur noch, daß er Mittags nach Hause gehen wollte; den ihn treffenden Blitzstrahl hat er nicht gesehen. Auf seiner Brust fand man eine Rötung vor, welche als das genaue Abbild eines Baumes — eine „Momentaufnahme“ durch den Blitz — sich darstellt und noch am selben Tage genau abgezeichnet wurde; am Tage darauf zeigte das Blitzbild auf der Brust eine weniger kräftige Färbung. Der Strahl selbst traf den Mann oberhalb des rechten Schlüsselbeins, fuhr um den Hals herum, die Brust hinunter und teilte sich in der Höhe der Hüften in zwei Stränge, deren stärkerer sich nach rechts, außen an der Hüfte, in größeren Windungen am Unterschenkel entlang bis zum Fuß hinabzog, wogegen der linksseitige an den äußeren Seiten des Ober- und Unterschenkels in mehr gerader Richtung zum Fuß hinunterging. Der Verletzte klagte nach Wiedererlangung der Besinnung unter Stöhnen und Sammern fortwährend über Schmerzen, die namentlich in den Armen stark auftraten und auch am folgenden Tage noch nicht gewichen waren, während sich einige Stellen des Vorderarmes und Handgelenks als empfindungslos erwiesen. Die galvanische Erregbarkeit war auf der rechten Seite bedeutend erhöht, sodaß ganz schwache Ströme genügten, um starke Zuckungen hervorzurufen. Am ersten Tage machte sich noch eine auffallende Erscheinung an dem Betroffenen bemerkbar, nämlich ein starkes Schwitzen der behaarten Kopfhaut. —

Schließlich möge noch erwähnt sein, daß nach den vorliegenden, die Jahre 1869 bis 1883 umfassenden Erhebungen von 1 Million Menschen in Preußen durchschnittlich 4,4 jährlich vom Blitzschlag getötet werden; in Baden ist die Zahl etwas geringer (3,8) und in Frankreich, für welches Land aber vielleicht die Ermittlungen nicht so genau durchgeführt sind als bei uns, soll sie noch geringer sein (3,1). Vergleicht man mit diesen verschwindend kleinen Zahlen den Prozentsatz der alljährlich an der einen oder anderen Krankheit Sterbenden, so muß eine jede Angst vor dem Gewitter, d. h. wenigstens soweit es unser eigenes Leben anbetrifft, als überflüssig erscheinen, namentlich wenn man noch erwägt, daß man sich in den meisten Fällen vor dem Erschlagenwerden durch den Blitz schützen kann.

d) Die magnetische Wirkung des Blitzes besteht darin, daß er ists Eisen- und Stahlstücke magnetisch macht, während er andererseits Magneten, die er trifft oder an denen er vorbeifährt, ihres Magnetismus beraubt bezw. ihre Pole umkehrt.

e) Auch eine chemische Wirkung des Blitzes ist zu verzeichnen. Ist dieselbe, die wir schon bei Besprechung der durch Maschinen und Flaschen erzeugten Elektrizität (S. 164. 214) kennen lernten, nur daß sie ebenfals weit stärker ist als diese: sie besteht in einer unter dem Einfluß der Elektrizität hervorgerufenen Umwandlung des atmosphärischen Sauerstoffs in Ozon und Bildung von salpetriger Säure, was sich durch einen eigentümlichen Geruch äußert, der nach dem Einschlagen des Blitzes innerhalb geschlossener Räume oder auch nach einem Gewitter im Freien wahrgenommen und gewöhnlich als Schwefelgeruch bezeichnet wird.

Der Donner.

Das Krachen und Rollen, welches den Blitz — wie in entsprechender Weise das Knistern oder Knallen den Funken einer Elektrifiziermaschine bei einem Kondensator — begleitet, nennt man den Donner. Die Ursache der Geräusche ist eine und dieselbe; sie ist nämlich in der durch den Funken bewirkten Lufterstreuung (Vibration) zu suchen, und die letztere natürlich beim Blitz eine ganz gewaltige. Jeder Beobachter weiß, daß der Blitz urplötzlich in seiner ganzen Länge erscheint, denn man sieht das Licht gleichzeitig auf seiner ganzen Bahn; trotzdem nun auch der Donner gleichzeitig auf der ganzen Strecke entsteht, so hört man ihn doch immer einige Zeit nach dem Erscheinen des Blitzes. Dies kommt daher, daß das Licht (Blitz) fast augenblicklich^{*)}, der Schall (Donner) jedoch verhältnismäßig langsam sich fortpflanzt, nämlich 340 m in jeder Sekunde oder 1000 m (1 km) in 3 Sekunden. Aus der Zeit aber, die zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Donners verstreicht, läßt sich leicht die Entfernung des Blitzes von unserem Standpunkte berechnen.

Bergegenwärtigen wir uns noch einmal, daß unser Ohr, obwohl der Schall an allen Punkten der Blitzbahn gleichzeitig entsteht und wie der Blitz selbst nur einen Augenblick dauert, wegen der langsameren Fortpflanzung des Schalles den Donner nicht als einen momentanen Knall sondern als ein fortgesetztes und zuweilen 45 Sekunden oder noch länger anhaltendes Rollen oder Knattern vernimmt, und daß die Blitze nicht selten eine Länge von 10 oder gar bis 15 km erreichen. Nehmen wir nun an, der Blitz sei 10 km lang, bezw. die Entfernung seiner entgegengesetzten Punkte in Bezug auf unseren Standpunkt betrage 10 km (10 000 m), so wird der Schall von dem entferntesten Ende des Blitzes um 30 Sekunden später zu unserem Ohr gelangen als der an dem uns zunächst befindliche Punkt entstandene. Und wenn wir nun weiter das eine Mal ein län-

*) 300 000 km in der Sekunde.

das andere Mal ein kürzer währendes Rollen vernehmen, so erklärt sich dies eben aus der verschiedenen Länge der Blitze und aus unserer Stellung zur Bahn derselben. Würden die sämtlichen Punkte eines Blitzstrahls gleichweit von unserem Ohr entfernt sein, so würde auch die durch denselben verursachte Lufterstütterung sich unserem Ohr in Form eines einzigen, augenblicklichen Knalles oder Kraches äußern. Aber da der Schall von allen Strecken der geschlängelten Blitzbahn, welche auf uns zu oder von uns weg gerichtet sind, nur nach und nach und von jedem Punkte besonders zu uns gelangt und unser Ohr nur von allen Punkten derjenigen Strecken, welche quer verlaufen (ohne ihre Entfernung zu ändern) mit einem Schläge erreicht, und da ferner „jede plötzliche Biegung der Blitzbahn eine ebenso plötzliche Änderung in der Stärke des wahrgenommenen Schalles und eine zeitliche Verschiebung seiner Wahrnehmung zur Folge hat“, so beginnt für uns der Donner gewöhnlich mit leisem Rollen, welchem heftiges Krachen und Knallen folgt, „bis er endlich dumpf grollend verstummt“.

Der soeben erwähnte Umstand bildet indes nicht die alleinige Ursache des Donnergerolles, es kommen als solche noch hinzu der Widerhall oder die Zurückwerfung (Reflexion) des Schalles an Felswänden und Berghalden, an den verschiedenen Luftsorten oder Luftschichten und an den Wolken selbst. Ersteres wird uns z. B. recht bemerkbar in Gebirgen: hier tritt der Donner nicht bloß gewaltiger und fürchterlicher, sondern auch länger andauernd auf, weil an den zahlreichen Wänden des Gebirges der Schall oft reflektiert wird. Ähnlich verhält es sich in der Höhe mit den Wolken: so oft der Schall in eine Wolke eintritt und an der andern Grenzfläche dieselbe wieder verläßt, findet ein starker Widerhall statt. Und endlich wirkt auch die Reflexion des Schalles an den verschiedenen Sorten der unteren (tieferen) Atmosphärenschicht, wemgleich vielleicht in geringerem Grade, mit zur Erzeugung des Donnergerolles, was daraus erhellen dürfte, daß der fern verhallende Donner meist den Eindruck macht, „als ob er wie der Geschützdonner vom Horizont komme — wodurch die Ähnlichkeit mit diesem entsteht —, und daß wir das ferne Grollen nur selten aus den Wolken hören, während doch die ersten Schläge eines über uns hinzuckenden Blitzes auch aus der Höhe zu kommen scheinen“.

Aus dem Umstande, daß der Donner aus den höheren, dünneren Luftschichten in die tieferen, dichteren sich fortpflanzen muß und dabei geschwächt wird, wogegen der Knall eines Geschützes sich nur in der unteren, dichteren Luft fortbewegt, erklärt sich wohl auch die Thatsache, daß der Gewitterdonner — so gewaltig er in der Nähe auftritt — nur auf verhältnismäßig geringe Entfernung hörbar ist; denn der größte Zeitabstand, welcher bis jetzt zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Donners beobachtet

wurde, beträgt 92 Sekunden, woraus sich — für jede Sekunde 340 m oder 1000 Fuß gesetzt — eine Entfernung von etwa 4 geographische Meilen oder 30 km ergibt; dagegen ist heftiger Kanonendonner auf 120 km Entfernung zu hören.

Der Blitzableiter.

Als B. Franklin gefunden, daß Spitzen die Elektrizität ohne Geräusch aufnehmen, wenn sie aus leitenden Stoffen gefertigt und mit dem Erdboden gut leitend verbunden sind, schrieb er an seinen Freund Willens, man müsse anfangen, auf die höchsten Teile der Gebäude aufrecht stehende Stangen von Eisen zu befestigen, welche so scharf wie Nadeln gemacht und, um der Rost vorzubeugen, vergoldet werden müßten; von dem unteren Ende der Stangen aber müsse man leitende Drähte längs des Hauses bis in den Erdboden hinab gehen lassen und bei Schiffen müßte der Draht an einer der Mastseile und längs der Schiffswand bis in das Wasser hinab führen; diese spitzen Stangen würden vermutlich das elektrische Feuer aus einer Wolke schon weit eher und ganz stillschweigend abführen, als dasselbe zu schlagen käme und uns somit vor plötzlichem und schrecklichem Unglück in Sicherheit stellen.

Dieser Gedanke, den gefährlichen Wirkungen des Blitzes durch Errichtung von scharf zugespitzten, mit dem Erdboden leitend verbundenen Metallstangen auf den obersten Teilen der Gebäude entgegen zu treten, welcher auch von ihm selbst am 7. November 1749 verwirklicht wurde, war in ihm herangereift auf Grund seiner Untersuchungen über die Eigenschaft der Spitzen (vergl. S. 253) und seiner Erfahrung, daß „der Blitzschlag vorzugsweise spitze Erhebungen zu treffen pflegt, ähnlich wie die elektrische Materie durch die spitzen Enden der Körper rascher ein- und auszufließen vermag“. Benjamin Franklin ist somit der Erfinder des Blitzableiters, daher denn das Wort „Mutig entriß er dem Himmel den Blitz“.

Franklins Blitzableiter besteht aus zwei wesentlichen Teilen: aus einer zugespitzten, auf dem höchsten Punkt des zu schützenden Gebäudes aufgerichteten Metallstange und einer an ihr unteres Ende sich ansetzenden und bis unter die Erdoberfläche führenden genügend starken metallischen Leitung (Fig. 167). Wenn der Blitzableiter aber seinen Zweck wirklich erfüllen soll, so muß nicht nur die Spitze der eisernen Auffangstange, um sie vor der Rosten bzw. vor der Zerstörung durch atmosphärische Einflüsse zu schützen, vergoldet oder überhaupt aus einem nicht rostenden Metall (Silber, Platin) angefertigt, sondern auch die Leitung in einiger Entfernung von dem Gebäude in ein (fließendes) Wasser oder doch soweit in den Erdboden geführt sein, daß sie das Grundwasser erreicht (vergl. Abbildung); endli-

darf von der Spitze der Stange an bis zum unteren Ende der Leitung keinerlei Unterbrechung stattfinden, denn wir haben bereits kennen gelernt, wie gewaltig der Blitz an einer Unterbrechungsstelle des seine Bahn bildenden Leiters sich äußert. Auch die zweite soeben erwähnte Bedingung wird uns nach dem früher Gesagten (S. 277) als selbstverständlich erscheinen: **Trockner Boden leitet die Elektrizität sehr mangelhaft, während Wasser bezw. Feuchtigkeit wie alle feuchten Körper nächst den Metallen zu den besten Leitern zählt; daher hat man, falls kein Teich, Bach, Brunnen oder ähnliches Wasser in der Nähe sich befindet, bis auf das Grundwasser vorzudringen und das Ende der metallischen Leitung, welches man in eine mindestens 1 □ m**

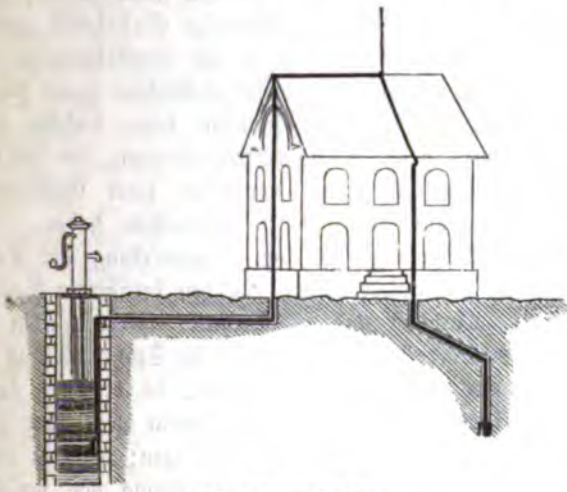


Fig. 167. Blitzableiter.

großen, aus Gußeisen oder verzinktem Schmiedeeisen gefertigten Platte enden läßt, in dasselbe einzusenken, oder, falls auch dies nicht auszuführen sein sollte, wenigstens bis zu einer stets feuchten Erdschicht zu graben und hier die verzweigte Leitung durch mit Kohlenpulver (Holzkohle) ausgefüllte Kanäle zu führen. Die Leitung selbst besteht entweder aus einer 1 □ cm im Querschnitt haltenden, verzinkten Eisenstange (gewalztes Eisen) oder besser aus einem durch Zusammenfügung von drei oder vier etwa 3 mm dicken Kupfer-, Messing- oder verzinkten Eisendrähten hergestellten Seil und wird, durch eiserne Klammern gehalten, längs des Dachfirst oder quer über das Dach und dann an den Mauern herab in den Boden geführt. Bei längeren Gebäuden sind mehrere Auffangs- und Ableitungstangen anzubringen und die letzteren nicht nur unter sich, sondern mit ihnen auch alle etwaigen größeren Metallteile des Gebäudes: Dachrinnen, Verkleidungen, Wasser-

und Gasleitungen, Glocken u. a. gut metallisch zu verbinden. Endlich noch daran zu erinnern, daß die Spitze des Blitzableiters, wie aus den Folgenden erhellen wird, nicht von benachbarten elektrischen Leitern überragt werden darf.

Der Franklin'sche Blitzableiter beruht auf der von seinem Erfinder entdeckten Eigenschaft der Spitzen, die Elektrizität rasch in großer Menge anzusammeln und mit Leichtigkeit ausströmen zu lassen, und auf der Eigenschaft der Körper resp. Leiter, in der Nähe eines elektrischen Körpers selbst elektrisch zu werden. Wenn nun eine Gewitterwolke oberhalb der Spitze des Blitzableiters vorbeizieht, so wird zufolge der elektrischen Verteilung oder Influxion (vergl. Kap. 6) in dem guten Leiter, dem Blitzableiter, die der Wolken-Elektrizität gleichnamige Elektrizität zurückgestoßen und entweicht in den Erdboden, während die ungleichnamige angezogen wird, an der Spitze sich anhäuft, aus dieser geräuschlos gegen die Gewitterwolke strömt und deren Elektrizität schwächt bezw. dieselbe mehr oder minder vernichtet (neutralisiert) — also derselbe Hergang, der sich im kleinen Maßstabe zwischen Nadelspitze und Konduktor einer Elektrifiziermaschine abspielt und den wir auf Seite 94 ff. besprochen haben. Im einzelnen wie im anderen Falle gelangt die sog. Saugwirkung der Spitzen zur Geltung. Doch darf, nach wiederholten, von den berühmten Berliner Fachgelehrten Helmholtz, Kirchhoff und W. Siemens unterzeichneten Gutachten der Berliner Akademie der Wissenschaften auf die Spitzenwirkung der Blitzableiter kein zu großes Gewicht gelegt werden, da die aus den Spitzen ausströmende Elektrizität kaum in Betracht komme gegenüber großen, Gewitterwolken aufgespeicherten Elektrizitäts-Mengen; dagegen sei von größter Wichtigkeit die fehlerlose Anlage der Leitung von der Spitze bis in die Erde.

Reicht das Ausströmen der Elektrizität aus der Spitze nicht hin, um die Wolken-Elektrizität unschädlich zu machen, so kann der Blitz immer noch auf den Blitzableiter schlagen; allein sobald dieser und die Leitung in fehlerfreiem Zustande sich befinden, so folgt der elektrische Funke dem Leiter in den Boden und das Gebäude bleibt unbeschädigt. Der Blitzableiter sucht also nicht nur die Entstehung des Blitzes zu verhindern, sondern schützt auch vor den Wirkungen desselben. Wie groß allerdings der Umkreis ist, über welchen sich die schützende Wirkung erstreckt, läßt sich nicht ohne Weiteres bestimmen. Der auf die Autorität der französischen Akademie der Wissenschaften gestützten Annahme, welche sich früher allgemeine Geltung verschafft hatte und dahin geht, daß der Blitzableiter (Auffangstange) ein Umkreis, dessen Halbmesser gleich ist der doppelten Höhe der Auffangstange vor dem Blitz schütze, kann nicht mehr ohne Weiteres beigegeben werden.

da neuere Erfahrungen gegen sie sprechen. Für gewöhnliche Gebäude bezw. Blitzableiter-Anlagen erstreckt sich der Schutz wohl kaum weiter als auf einen Umkreis, dessen Halbmesser gleich der Höhe der Stange (über dem Dachfirst) ist.

Ein fehlerhafter Blitzableiter, dessen Leitung unterbrochen oder dessen leitende Verbindung mit dem Boden unvollkommen ist, schadet mehr als er nützt: er wird auch dann gefährlich, wenn der Blitz nicht einschlägt; denn hat sich an einem Punkte der Leitung die Elektrizität — die ja infolge der mangelhaften Vorrichtung nicht zu entweichen vermag — in ausreichendem Maße angesammelt, so kann ein Funke seitwärts überschlagen und dieser benachbarte Gegenstände zertrümmern oder entzünden; schlägt aber der Blitz auf einen solchen unvollkommenen Blitzableiter, so verbreitet er sich auch seitwärts auf andere Leiter und richtet ebensolche Verheerungen an, als wenn gar kein Blitzableiter vorhanden wäre. Ist nur die Spitze fehlerhaft (stumpf), so kann der Blitz zwar leichter einschlagen, doch wird er keinen eigentlichen Schaden anrichten, da er der vollkommenen Leitung folgt. Um sich zu überzeugen, daß die metallische Leitung von der Spitze der Auffangstange an bis zum Erdboden ununterbrochen sei, bedient man sich des galvanischen Stromes — von dem im dritten Abschnitt eingehend die Rede sein wird —, indem man von dem einen Pol einer galvanischen Kette einen Kupferdraht zum oberen, von dem anderen Pol einen solchen zum unteren Ende des Blitzableiters führt, wodurch der letztere in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet wird; und sobald man nun wiederum in diesen Schließungsbogen an einer geeigneten Stelle einen Galvanometer einschaltet, so muß dasselbe, falls eben die Leitung vollkommen ist, den Strom anzeigen.

Hatte B. Franklin den Vorschlag zur Anlage von Blitzableitern gemacht, so war es der hier schon mehrfach genannte Leipziger Physiker Winkler, welcher in einem Werkchen (*De avertendi fulminis artificio* *), das er Anfang September 1753 erscheinen ließ, den Gedanken weiter ausführte und den Rat gab, auf den Gipfel der Gebäude isolierte Metallstangen zu setzen und von diesen, vom Gebäude abstehend und auf Stangen ruhend, eine lange Kette oder einen $\frac{1}{4}$ Zoll dicken Kupferdraht bis zur Erde hinabzuführen. In dieser Art errichtete denn auch i. J. 1754 der Prämonstratenser-Mönch und Pfarrer zu Brendiz bei Znaim in Mähren, Procopius Divisch, auf seinem Hause einen Blitzableiter — den ersten nicht nur auf dem europäischen Festland, sondern überhaupt —; erst 1760 folgte Franklin selbst, da der „freisinnige Böbel“ Nordamerika's das Auf-

* Von der Kunst, den Blitz abzuleiten.



stellen von derartigen Wetterstangen nicht dulden wollte, mit einem Leiter auf dem Hause des Kaufmanns West in Philadelphia, 1762 und zu Paynes Hill in England, 1769 Joh. Alb. Heimir. Reimarüs, auch eine besondere, vorzügliche Schrift („Vom Blitze“, 1778) in Gegenstand herausgab, mit einem Ableiter auf dem Jakobi-Kirchhof in Hamburg, 1771 Saussure in Genf. Aber erst nachdem thätige Beweise für die Vorteile der Blitzableiter vorlagen, fanden dieselben Eingang und Anerkennung, und auf den 1300 Häusern Philadelphia z. B. befanden sich i. J. 1782 bereits mehr als 400 Blitzableiter. Dorthin freilich zeterte und wütete das abergläubische Volk so lange die „Regerstangen“, bis der Augenschein die Meinung plötzlich zu Gunsten derselben umstimmte. So war es, wie Lichtenberg erzählt, in der toskanischen Stadt Siena der Fall, wo der prächtige Glockenturm der Kathedrale alljährlich vom Blitz getroffen wurde und deshalb in steter, kostbarer Reparatur stand; als nun im Interesse des Stadtfürstlichen die Veranlassung einen Blitzableiter auf den Turm setzen ließ, erhob sich der lebhafte Widerspruch — bis am 18. April 1777 bei einem furchtbaren Gewitter unter schrecklichem Krachen ein gewaltiger Blitz auf den Turm einschlug, die Stange überschlug, aber den Turm nicht im Geringsten beschädigte, sondern längs der Ableitung bis in einen Wasserbehälter herabfuhr und die versammelten neugierigen Volksmassen von der Vortrefflichkeit der Einrichtung überzeugte.

Auf Franklin's Vorschlag hatte man allgemein die Blitzableiter an den Spitzen versehen. Von dieser Konstruktion riet der Engländer Watson, welcher statt der auf dem Gebäude befestigten zugespitzten Aufsätze einen im Innern des Gebäudes, und zwar etwas unter der höchsten Spitze, eine abgerundete, das obere Ende der Ableitung bildende Stange anbringen wollte, „um dem Blitze nur für den Fall, daß derselbe schon eingeschlagen habe, einen bestimmten Weg vorzuschreiben“. Er fand diese Anschauung, da Beccaria, Hairne, Watson, Reimarüs und andere Fachmänner auf Seite Franklin's standen, keinen Anklang, wohl aber man später einzelne Abänderungen und Verbesserungen, welche in der französischen Gelehrten Gay-Lussac 1823 in einer Denkschrift zusammengefaßt wurden, mit dem ursprünglichen Franklin'schen Blitzableiter. Neuerdings ist jedoch von Melles ein ganz anderes System der Blitzableitung angegeben und auch, so am Rathaus zu Brüssel, angewandt worden. Es beruht auf der bekannten Erscheinung, daß ein Blitz aus den Wolken-Elektrizität oder jeder andern elektrischen Wirkung entzogen werden kann, wenn man ihn von einem mit der Erde in leitender Verbindung stehenden Metalldrahtnetz umschließt. Und diese Erscheinung wiederum ist

dünne Drähte sich fortpflanzt, während die galvanische oder Strom-Elektrizität nur einer ununterbrochenen Leitung folgt, von der geringsten Unterbrechungsstelle sich Halt gebieten und von Spizen sich in keiner Weise beeinflussen läßt. Einen auf dieses Verhalten gegründeten Telegraphen-Blitzableiter stellt Abbildung 168 dar. Die von der Telegraphenlinie kommenden Leitungsdrähte A und A¹ stehen mit den Metallplatten C und C¹, welche an ihrem inneren Rande mit zahlreichen spitzigen Zähnen versehen sind, in Verbindung; zwischen den beiden Platten C und C¹ ist eine dritte, jederseits mit Zähnen, welche denjenigen der Platten C und C¹ gegenüberstehen, versehene Platte B eingeschaltet. Von den Platten C und C¹ gehen die Drähte a und a¹ zu den Telegraphen-Apparaten, die Platte B dagegen ist zur Erde abgeleitet. Der zum Telegraphieren dienende galvanische Strom kann nur den Weg ununterbrochener metallischer Leitung A a¹ A¹ durch die Apparate der Station einschlagen, wogegen die etwa vorhandene hochgespannte Gewitter-Elektrizität in Funken von den Platten C und C¹ auf die Platte B überspringt, um von da unschädlich in den Boden zu gelangen.

B. Das Wetterleuchten.

Nicht selten beobachtet man während der warmen Jahreszeit des Abends oder Nachts ein blitzähnliches Aufleuchten der in der Nähe des Horizonts sich befindenden Wolken, ohne daß man einen Donner vernimmt. Man sieht deshalb diese Erscheinung, das sog. Wetterleuchten, als Blitze ohne Donner bezw. als den Widerschein der Blitze von Gewittern an, welche so weit von uns entfernt sind, daß wir den dieselbe begleitenden Donner nicht mehr hören, während dort, wo die betreffenden Blitze oben am Himmel, im Zenith, auftreten, der Donner wohl zu hören sein wird. So hat Professor v. Bezold auf Grund mehrjähriger, in Bayern und Württemberg gemachter Beobachtungen gefunden, daß einzelne Gewitter in Entfernungen von 240—270 km als Wetterleuchten wahrgenommen wurden. Bekanntlich hat man den Donner bis jetzt höchstens auf eine Entfernung von etwa 28 km gehört (vergl. S. 286). Umgekehrt könnte auch der Fall eintreten, daß man einen Donnerschlag hört, ohne einen Blitz zu sehen, nämlich dann, wenn es bei breiter Bewölkung des Himmels zwischen mehreren Wolfenschichten blizt und die untere Schicht zu kompakt ist, um das Licht des Blitzes durchzulassen, während der Schall (Donner) durch dieselben nicht aufgehalten werden kann.

Übrigens kann man die Entstehung wenigstens mancher Wetterleuchten zurückführen auf Blitze eines unter dem Horizont befindlichen Gewitters, durch welche über dem Horizont befindliche Wolken erleuchtet werden.

C. Das Elmsfeuer.

In den Berichten der alten Geschichtschreiber Cäsar, Livius, Plutarch, ferner in denen des Plinius, findet man wiederholt des Leuchtens Erwähnung, welches die Lanzenspitzen einzelner Soldaten, ja ganzer Legionen leuchtete, oder welches die Spitzen der Schiffsmasten zeigte, und neuere Forscher knüpften hieran die Behauptung, dergleichen sei im Altertum viel häufiger gewesen als in neuerer Zeit. Das Wahre an der Sache aber ist,



Fig. 109. St. Elmsfeuer.

daß in jenen Zeiten die Auguren und Zeichendeuter, welche sich einer jeden auffallenden Erscheinung bemächtigten, um daran ihre Orakel zu knüpfen, auch das wunderbare Leuchten der Masten- und Lanzenspitzen in ihren Wirkungskreis zogen. Zeigten sich zwei solcher Flämmchen gleichzeitig an einem Schiffsteil, so benannte man sie nach den Schutzgöttern der Schifffahrt, den Dioskuren, „Kastor und Pollux“ und betrachtete sie als glückver kündendes Zeichen; nahm man nur eins wahr, so hieß es „Helena“ und galt für Unglück bedeutend. Heutzutage wird die Erscheinung von den mittelländischen Schiffern, wenn sie auf den Spitzen der Masten auftritt, als ein Zeichen des Schutzes des heiligen Erasmus (St. Ermo oder Elmo)

angesehen und deshalb Sankt Elmsfeuer genannt. Vielleicht auch ist die Bezeichnung „Elmsfeuer“ infolge einer im Mittelalter stattgehabten Verdringung des Namens oder eines Irrtums aus „Helenenfeuer“ entstanden.

Das Elmsfeuer besteht, wie schon angedeutet, in kleinen schnell leuchtenden Flämmchen oder Lichtbüscheln, welche durchaus unschädlich von einem zischenden Geräusch begleitet sind. Sie stellen im Freien dieselbe Erscheinung dar, welche der Experimentator im Zimmer zu beobachten Gelegenheit hat, wenn die Elektrizität aus den Spitzen der Elektrischen Maschinen ausströmt, oder wenn man die Hand einer thätigen Elektrischen Maschine nähert: es zeigen sich hier — im Dunkeln — an den Meißel- oder den Fingerspitzen Licht- und Strahlenbüschel, welche wir bereits kennen gelernt haben (Seite 155). Auch im Freien, bei Gegenwart elektrischer Wolken, strömt zuweilen die durch Verteilung (Influenz) in Gegenständen der Erdoberfläche wachgerufene entgegengesetzte Elektrizität in schwach leuchtenden Lichtbüscheln aus den Spitzen gegen die Wolke und daher erklärt es sich, daß diese Erscheinung, das Elmsfeuer, eben im Dunkeln und an Spitzen oder Hervorragungen — Helm- und Lanzen- spitzen der Soldaten, Spitzen der Blitzableiter, Windfahnen, Türmen, manchmal sogar auch an den Haaren und Kleidungsstücken der Personen — bemerkt ist. Die Ausgleichung der Elektrizitäten geschieht also beim Elmsfeuer nicht plötzlich (Blitz), sondern allmählich.

Zweiter Abschnitt.

Vom Magnetismus.

21. Natürliche Magnete. (Magnetische Anziehung.)

Der Magnetstein oder Magneteisenstein (Magneteisenerz) — ein Eisenerz, welches rein aus 69 Prozent Eisenoryd und 31 Prozent Eisenorydul (72,8 Prozent Eisen und 27,2 Prozent Sauerstoff) besteht und am häufigsten in dichten, krystallinischen Massen, namentlich in Schweden, Lappland, im Ural, in Nordamerika, auch in Schlesien, im Harz und anderwärts sich findet — besitzt unter allen bekannten Erzen allein die Eigenschaft, Eisenteilchen anzuziehen und festzuhalten. Diese Eigenschaft nennt man Magnetismus und ein Stück solchen Eisenerzes, welches sie aufweist, einen natürlichen Magnet (zum Unterschied von den künstlichen Magneten). In der Regel erlangt der Magneteisenstein die magnetischen Eigenschaften erst, nachdem er einige Zeit an der Luft gelegen hat.

Von der erwähnten Eigenschaft kann man sich einen Beweis verschaffen, wenn man ein Stück magnetischen Eisenerzes mit Eisenfeilspänen bestreut oder in Eisenfeilspäne taucht: die Eisenspäne bleiben in der Weise, wie es Abbildung 170 (Magnetstab) veranschaulicht, an ihm haften, und zwar vorzugsweise an zwei gegenüberliegenden Enden des Magnets, welche man die Pole (a, b) nennt. In der Mitte des Magnets jedoch haften die Eisenteilchen nicht, sie fallen ab. Diese neutrale Stelle in der Mitte eines Magnets, welche keine Anziehung auf Eisenteilchen äußert, bezeichnet man als Äquator, Mittellinie oder Indifferenzpunkt (n t) und die Verbindungslinie der beiden Pole (von a nach b) als die magnetische Achse. Von der indifferenten Stelle nach den Polen hin nimmt die anziehende Kraft des Magnets zu, was man bei dem angegebenen Versuch leicht erkennt (vergl. Fig. 170).

Bermengt man Eisenfeil- mit Messing- oder Kupferspänen und bringt in ihre Nähe das eine Ende eines Magnets, so werden von diesem die Eisenfeilspäne angezogen. Man hat daher, was gleich hier bemerkt sein mag, schon seit langem diese Eigenheit des Magnets benützt, mittels Stahlmagnetskämmen Eisen aus Metallspänen zu entfernen. Hängt man einen Magnet an einem dünnen Faden auf und nähert man ihm z. B. einen eisernen Schlüssel, so zeigt sich ebenfalls zwischen beiden Körpern die Kraft der Anziehung, indem sich der bewegliche Magnet nach dem Schlüssel hinbewegt. Hält man zwischen diese beiden Körper oder zwischen Magnet und Eisenfeilspäne ein Blatt Papier, eine dünne Glas-Papp- oder Messingblechscheibe, so wird die Anziehung ebenfalls stattfinden und beim ersten Versuch z. B. bleiben Feilspäne am Papier hängen, indem der Magnet sie durch dasselbe hindurch anzieht. Hingegen läßt sich diese Erscheinung keinesfalls wahrnehmen, wenn man bei den Versuchen

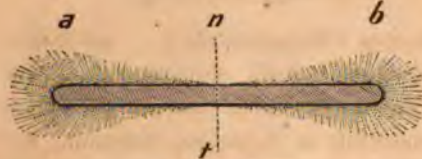


Fig. 170. Magnet.

Eisenfeile durch andere leichte Körper: Sand, Federn u., oder durch einen eisernen Schlüssel durch einen hölzernen, irdenen, bleiernen oder sonstigen Gegenstand ersetzt. Nur noch ein wenig andere Körper (Metalle wie Nickel, Kobalt, Chrom, Platin, Mangan, zeigen sich magnetisch) d. h. sie werden von starken Magneten angezogen; immerhin aber besitzen auch sie von Natur nicht die Kraft, andere Körper wieder anzuziehen, und daher darf man das in seinen Erscheinungen besprochene Naturgesetz füglich so ausdrücken: der Magnet, der selbst aus Eisen besteht, zieht Eisen an, oder besser: die Anziehung zwischen einem Magnet und Eisen ist eine wechselseitige; andere Körper stören im Allgemeinen seine Kraft nicht.

Armierung natürlicher Magnete. Um die Kraft und Wirkung natürlicher Magnete zu verstärken, werden sie — wie es auch mit den später zu besprechenden künstlichen Hufeisen-Magneten geschieht — armiert, indem man an ihren Polflächen je ein weiches Eisenstück anlegt und die vordere Enden der letzteren durch einen sog. Anker von weichem Eisen verbindet. Durch eine derartige Vorrichtung, welche man Armatur nennt, erzielt man also, daß die ganze magnetische Kraft, welche sich auf der Fläche des Eisensteins verteilt findet, in einen kleinen Raum vereinigt wird.

Das Armieren geschieht in folgender Weise. Nachdem man durch das Eintauchen des Magnetsteins in reine Eisenfeilspäne die beiden Pole erkannt hat, schleift man diese beiden Seiten eben, sodas sie zwei parallele

zur Mittellinie (Aequator) senkrechte Flächen bilden. An diese beiden Flächen legt man, nachdem auch die übrigen Flächen einigermaßen geebnet (zuge-
schliffen) worden, zwei Eisenplatten l und l (Fig. 171) von der Größe der
Polflächen, welche jedoch oben etwas nach innen gebogen sind, um auf die
obere Fläche des Magnets überzugreifen, und unten in je einen stärkeren
Eisenzapfen p auslaufen, welche ebenso nach innen herumgreifen. Diese
beiden Zapfen, die sog. Füße oder Schuhe (p, p), deren untere Flächen in
derselben Wagerechten liegen, haben den Magnet zu tragen, sie müssen also
genau unter denselben passen; die beiden Polplatten l und l aber, die sog.
Flügel oder Panzer, werden oben und unten vermittelt eines messingenen
oder sonstigen nichtmagnetischen Bandes bezw. Drahtes an dem Magnet
befestigt, und an die beiden Füße wird ein Anker von weichem Eisen ge-
legt, dessen obere Fläche linealgleich glatt ge-
schliffen und den ebenfalls glatten Unterflächen der
Schuhe sich anpassen muß. Der Anker hat die in
Abbildung 171 veranschaulichte Gestalt und am
unteren Ende ein Loch für einen beweglichen Haken,
in welchen das zu tragende Gewicht gehängt wird.
Denn das weiche Eisenstück, der Anker, wird in-
folge der magnetischen Influxion (vergl. Kap. 23)
hier um so stärker magnetisiert, da beide Pole
einander in ihrer Einwirkung unterstützen, sodaß
der in dieser Weise armierte Magnet weit mehr
Gewicht trägt als ein nicht armierter. Es soll
natürliche Magnete gegeben haben, welche einen
Centner trugen; unter Anderem ist es Thatsache,
daß Professor Hermbstädt in Berlin einen solchen besaß, der doch einen
halben Centner trug; berühmt ist der Magnet im Taylor'schen Museum zu
Haarlem, dessen Anker nicht durch 230 Pfund abgerissen werden kann, und
der große englische Forscher Newton soll einen Magnet besessen haben,
welcher in einen Ring gefaßt bei 3 Gr. Gewicht 746 Gr. zu tragen ver-
mochte. — Falls man den ganzen Magnet aufhängen will, so vereinigt
man die beiden Flügel oben durch ein nichtmagnetisches Querstück mit
einem Ring (Fig. 171).



Fig. 171. Armierter Magnet.

Übrigens sind, so leicht man Magneteisen in derben Stücken und in
Oktaedern erlangen kann, kräftige natürliche Magnete ziemlich schwer zu
bekommen, und man legt daher ein solch Stück Magnetstein zwischen die
Pole eines starken Magnets (Elektromagnet), um ihm bald die gewünschte
Kraft zu verschaffen. Die Beschaffenheit und Armatur der künstlichen
Magnete wird den Gegenstand der folgenden Kapitel bilden.

Geschichtliches. Der Anfang des Wissens vom Magnetismus bestand in der Wahrnehmung, daß ein in Kleinasien (Lydien) gefundenes Eisenerz Nägel und andere Gegenstände von Eisen anzog, und daß diese wieder kleine Eisenstücke anzogen. Die Alten benutzten daher natürliche Magnete, die zuerst bei Magnesja in Lydien entdeckt wurden. Der erste Fundort verlieh dem magnetischen Eisenstein den Namen. Denn die Erzählung von einem Schäfer Namens Magnes, welcher auf einem Berge in Lydien die Schafe hütend, mit seinen nagelbeschlagenen Schuhen an einem Eisensteinfelsen hängen geblieben sei und daß davon die Bezeichnung „Magnet“ herrühre, erkennt wohl Jeder als eine Fabel, da es — abgesehen von anderen Gründen — keinen Magnetfelsen von so riesiger Kraft giebt, daß er an kleinen Eisenstiften einen Menschen festhalten könnte.

Zur Zeit des griechischen Weisen Thales von Milet (um 640 v. Chr.) wußte man nur das oben Erwähnte; man wußte dann auch, daß ein eiserner Ring, an einen Magnetstein gebracht, an diesem haftete, daß an dem ersten Ring ein zweiter, an diesem ein dritter hängen blieb und man auf solche Weise eine Kette von Ringen erhielt — ferner, daß Eisenstückchen in einem Kessel von Erz, unter welchem man einen Magnetstein hin- und herführte, sich bewegten oder wie die Alten sagten: tanzten und sprangen. Man kannte also wohl die Erscheinungen der magnetischen Anziehung, dann auch die Versuche für die Verteilung im weichen Eisen und die andauernde Wirkung im Stahl, welche wir in Kapitel 23 und 24 erörtern werden, aber man wußte nichts von der Polarität des Magnets, von seiner Richtungskraft, obgleich dieselbe schon seit vielen Jahrhunderten (den Chinesen) bekannt war. Indem wir bezüglich der Richtungskraft des Magnets, der Magnetnadel und deren Anwendung auf spätere Kapitel verweisen, sei hier nur noch angefügt, daß erst der Leibarzt der Königin Elisabeth von England, William Gilbert (1540—1603), in seinem i. J. 1600 zu London erschienenen Werke „*Physiologia nova de magnete* —“ die bis dahin bekannten magnetischen Erscheinungen in eine einigermaßen geordnete Reihe brachte und die eigentlichen Gesetze des Magnetismus teils wissenschaftlich zusammenstellte, teils als von ihm selbst aufgefunden durch Versuche erläuterte und nachwies. Auch war dem Forscher die Herstellung künstlicher Magnete bekannt, wenngleich die zweckmäßigsten Verfahren, ohne Anwendung eines natürlichen Magnets Stahlstäbe magnetisch zu machen — vermittelt Benutzung des Erdmagnetismus und Bestreichen mit anderen Stäben weichen Eisens —, erst anderthalb Jahrhunderte (1750) später von Michell und Canton und fast gleichzeitig von Le Maire und Duhamel entdeckt und bekannt gemacht wurden.

22. Magnetische Polarität; Nord- und Süd-Magnetismus.

(Magnetische Anziehung und Abstoßung.)

Die Eigenschaft, Eisenteilchen anzuziehen und festzuhalten, kann, wie wir weiterhin erörtern werden, durch Berührung oder Bestreichen mit einem natürlichen Magnet vorübergehend auf Eisen und dauernd auf Stahl übertragen und dieser dadurch zu einem künstlichen Magnet gemacht werden (Kapitel 24). Mit einem solchen, z. B. einem magnetisch gemachten Stahlstab, lassen sich selbstverständlich die im vorigen Kapitel angegebenen Versuche auch ausführen.

Hängt man einen Magnetstab, in dessen Mitte ein ungedrehter dünner Faden (Kokonsfaden) angebracht worden, an diesem frei schwebend auf, so daß er sich in wagerechter Ebene drehen kann, so richtet er sich vermöge der Einwirkung, welche der Erdkörper auf ihn ausübt, dergestalt, daß das eine Ende annähernd nach Norden, das andere nach Süden zeigt. Bezeichnet man das nach Norden gefehrte Ende auf irgend eine Weise und lenkt man es aus der angenommenen Richtung ab, so kommt es doch nach einigen Schwingungen immer wieder in seine ursprüngliche Stellung zurück, und man ist nicht im Stande zu erzielen, daß es frei schwebend in der umgekehrten Richtung — nach Süden — stehen bleibt. Die beiden Enden eines Magnets (Magnetstab oder Magnetnadel), d. h. die beiden Pole, heißen deshalb je nach der Himmelsgegend, nach welcher sie sich stets wenden, der Nordpol und der Südpol des Magnets, und die Richtung, nach welcher der Nordpol zeigt, wird die Richtung des Magnets genannt (Richtungskraft).

Nähert man dem Nordpol des aufgehängten oder sonstwie freischwebenden Magnets den Nordpol eines zweiten, in der Hand gehaltenen Magnetstabes, so wird der Nordpol des ersteren von dem des letzteren Magnets abgestoßen; ebenso verhalten sich die Südpole der beiden Magnete zu einander. Nähert man dagegen dem Nordpol des freischwebenden den Südpol des Hand-Magnets, oder dem Südpol des ersteren den Nordpol des letzteren, so erfolgt Anziehung. Daraus ergibt sich das dem bekannten Gesetz von der elektrischen Anziehung und Abstoßung entsprechende Gesetz: Gleichnamige Pole (Nordpol und Nordpol) stoßen sich ab, ungleichnamige (Nord- und Südpol) ziehen sich an. Diese Eigenschaft der Magnete: die Richtung und die Anziehung und Abstoßung, bezeichnet man als die Polarität der Magnete.

Die soeben erkannte gegenseitige Wirkung der Magnetpole läßt sich verwenden, um mit Hilfe einer Magnetnadel, d. h. eines freischwebenden

Magnets, die Pole eines anderen Magnets zu unterscheiden, denn man braucht nur einen Pol der Nadel, z. B. den Nordpol, einem Pol des zweiten Magnets zu nähern: erfolgt Abstoßung, so hat man den gleichnamigen Pol des Magnets vor sich, bei Anziehung den ungleichnamigen.

Aus dem Umstande, daß bei dem beweglichen Magnet stets derselbe Pol nach Norden und der andere nach Süden zeigt, und daß ferner ein bestimmter Pol eines Magnets den entgegengesetzten Pol des zweiten stets anzieht, geht hervor, daß in jedem einzelnen Magnet zwei entgegengesetzte Kräfte vorhanden sind, von denen man die in dem Norden sich äußernde als Nordmagnetismus oder positive (+), die in dem Süden hervortretende Kraft aber als Südmagnetismus oder negative (—) Kraft bezeichnet. Diese beiden Kräfte, welche uns erst, da sie in gleicher Weise auf Eisen wirken, ganz gleichartig erschienen, thatsächlich jedoch zwei entgegengesetzte Kräfte sind, werden durch die Mittellinie des Magnets (Fig. 170 n t) getrennt; letztere bildet den Übergang von der einen zur anderen und daher schreibt sich auch ihre Neutralität oder Indifferenz.

Man könnte nun meinen, daß wenn man einen Magnetstab in der Mitte durchbricht, die beiden Stücke keine vollständigen Magnete seien, sondern nur noch an dem einen Ende (dem ursprünglich den einen Pol des Magnetstabes bildenden Ende) Eisen anzuziehen vermöchten. Allein der Versuch wird uns vom Gegenteile überzeugen. Wird ein Magnetstab oder eine magnetisch gemachte Stricknadel bezw. magnetisierter Stahlrad, welcher also an dem einen Ende Nord-, an dem anderen Süd-Magnetismus äußert, in der Mitte oder an einer anderen Stelle zerbrochen, so findet man, daß jedes der beiden Bruchstücke wieder einen vollständigen Magnet mit Mittellinie und zwei gleichstarken ungleichnamigen Polen bildet, indem an der Trennungsstelle zwei neue Pole entstehen, von denen jeder mit dem bereits vorhandenen Pol des entsprechenden Bruchstückes ungleichnamig ist. Und bei abermaligem Zerbrechen liefert jedes dieser je vollständige Magnete darstellenden Bruchstücke wieder zwei Magnete. In dieser Weise kann die Teilung beliebig fortgesetzt werden — jedes noch so kleine Bruchstück erweist sich wieder als vollständiger Magnet mit zwei Polen; es ist mithin nicht möglich, einen Magnet herzustellen, welcher nur Nord- oder nur Süd-Magnetismus, oder aber eine dieser beiden Kräfte in größerer Menge als die andere enthält.

Erwägt man diese Erscheinung, so gelangt man zu der Annahme, daß jedes kleinste Teilchen oder Molekül eines Magnets selbst schon ein Magnet mit zwei entgegengesetzten Polen, ein sogenannter Molekularmagnet, sei und die Trennung der beiden Kräfte (Magnetismen) nur

auf den kleinsten Molekülen des Stabes stattfindet; der Magnetstab ist sonach als eine Vereinigung von magnetischen Molekülen oder Molekular-Magneten zu betrachten. Denkt man sich, um sich ein ganz einfaches Bild zu machen, ein dünnes Metallstäbchen bestehe nur aus einer Reihe gleichstark magnetischer Moleküle, deren gleichnamige Pole alle nach derselben Seite gewendet sind (vergl. Fig. 172), so werden überall auf der ganzen Länge des Stabes zwei entgegengesetzte Pole der benachbarten Molekular-Magnete zusammenstoßen — auf der Abbildung sind diese weiter voneinander abgesetzt — und sich deshalb in ihrer anziehenden und abstoßenden Wirkung nach außen hin gegenseitig aufheben (neutralisieren), während an den beiden



Fig. 172. Theilung eines Magnets.

Enden des Stabes die freien Pole der äußersten Moleküle — an dem einen Ende Nord-, an dem anderen Süd-Magnetismus — wirksam bleiben. Die soeben besprochene Annahme enthält mithin keinen Widerspruch gegen die Thatsache, daß die magnetische Wirkung nur an den Enden eines Magnetstabes sich zeigt, vielmehr deckt sie sich mit derselben.

Solange ein Eisenstab nicht magnetisch ist, liegen der Annahme zufolge die Moleküle regellos durcheinander, sodaß ihre Wirkungen nach

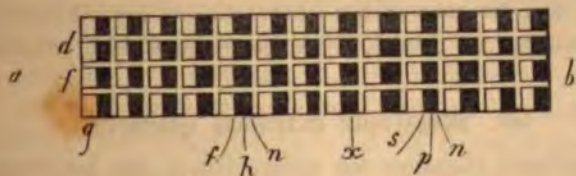


Fig. 173. Magnetstab mit feinen Molekular-Magneten.

außen sich gegenseitig aufheben; sobald der Stab aber magnetisiert wird, so stellen sich die ersteren derart, daß in allen die gleichnamigen Pole nach der gleichen Seite gerichtet sind. Abbildung 173 sucht einen solchen magnetischen Stab (a b) zu veranschaulichen. Unter d, f, g u. j. w. stellen wir uns die einzelnen Molekular-Magnete vor, welche alle in derselben Anordnung liegen, d. h. mit dem Nordpol alle nach dem Nordende des Stabes (a), mit dem Südpol alle nach b gewendet sind; zwei der Moleküle sind genauer bezeichnet, indem durch n die Grenze gegen das benachbarte Molekül, durch s die Grenze zwischen Nord- und Süd-Magnetismus eines und desselben Molekular-Magnets angedeutet wird. Beim Zerbrechen des Stabes kann die Trennung nur zwischen zwei Molekülen (bei n, n in

Fig. 173) stattfinden, und es treten somit an den Bruchflächen zwei gleichstarke, entgegengesetzte Pole nach außen hin in Wirksamkeit; eine Teilung des Stabes bei h, x oder p, also durch ein Molekül hindurch, ist unmöglich, denn dies würde voraussetzen, daß man ein kleinstes Teilchen (Molekül) noch kleiner machen bezw. dasselbe in der Mitte spalten könne. —

Man hat die magnetische Anziehung und Abstoßung auch in anderer Weise zu erklären versucht, nämlich, entsprechend der Erklärung der entgegengesetzten elektrischen Erscheinungen, durch die Annahme eines nördlichen und eines südlichen magnetischen Fluidums (unwägbarer magnetischer Flüssigkeit), welche im unmagnetischen Eisen zu neutralem, unwirksamen Fluidum vereinigt seien, beim Erregen des Magnetismus in einem Teil jedoch getrennt würden und nun einander gegenseitig, wie die elektrischen Fluida, anziehen und abstoßen.

Die magnetischen Fluida unterscheiden sich indes von den elektrischen dadurch, daß sie nicht von einem Körper zum andern übergehen, sondern daß das auf einem Körper (Eisen) vorhandene neutrale Fluidum bei Annäherung eines Magnets — entsprechend dem Vorgang der elektrischen Influenz — in nördliches und südliches Fluidum geschieden werde.

Später, im dritten Hauptabschnitt („Galvanismus“), werden wir Gelegenheit haben, eine Theorie der magnetischen Erscheinungen, nämlich die Ampère'sche, kennen zu lernen, welche die Annahme besonderer magnetischer Fluida überflüssig macht und die magnetischen Wirkungen auf das Vorhandensein elektrischer Strömungen im Innern der magnetischen Körper zurückführt.

23. Magnetische Verteilung (Influenz).

(Verschiedenes Verhalten des weichen Eisens und des Stahls.)

Wenn ein Magnet einen Eisenstab magnetisch macht, so verleiht er ihm dadurch nichts von der ihm eigenen Kraft; der Ausdruck „Mitteilung“ ist daher eigentlich nicht richtig, sehr bezeichnend wäre der Ausdruck „Ansteckung“, denn wie ein Kranker, welcher eine andere Person angesteckt hat, nicht seiner Krankheit verliert, so verhält es sich mit dem Magnetismus. Ein Eisenstab aber unterscheidet er sich von der Elektrizität: was ein elektrischer Körper einem unelektrischen an Elektrizität mitteilt, das hat der unelektrische wirklich verloren, wogegen ein Magnet viele Eisenstäbe zu Magneten machen kann, ohne seiner Kraft verlustig zu gehen.

Ein Magnet magnetisiert indes nicht bloß durch Berührung, schon aus der Ferne geschieht dies, und hierin zeigt sich eine große Ähnlichkeit zwischen Magnetismus und Elektrizität, die gleichfalls aus der Ferne und zwar auf die Dauer des Versuches wirkt.

Legt man einen starken Magnetstab A (Fig. 174) auf einen Tisch, so daß der eine Pol über den Rand desselben hinausragt, nähert man diesem Pol dann einen Schlüssel K bis auf ganz geringe Entfernung und bringt man an das untere Ende des letzteren einen zweiten, kleinen Schlüssel oder ein anderes Stückchen Eisen N, so wird der kleine Schlüssel N daran hängen bleiben und vielleicht — bei Verwendung eines kräftigen Magnets geschieht es gewiß — wird das zweite Stückchen Eisen noch ein drittes kleineres tragen. Durch die Nähe des Magnets, wobei eine Berührung ausgeschlossen war, ist also der größere Schlüssel K und vielleicht weiterhin auch noch der kleinere Schlüssel N selbst zu einem Magnet geworden.

Man kann diesen Versuch etwas abändern, indem man ein 6 oder 8 mm starkes Eisenstäbchen etwa durch den rechtwinkligen Arm eines hölzernen Stativs in senkrechter Richtung so festhalten läßt, daß das obere Ende des Stäbchens ein Stück über den Halter hinausgeht, und dann diesem oberen Ende den Pol eines kräftigen Magnets soweit nähert, daß er nur noch durch ein dazwischen gelegtes Blatt Papier von dem Stäbchen getrennt ist. Man wird auch hier erkennen, daß das Eisenstäbchen, ohne einer Berührung seitens des Magnets ausgesetzt zu sein, selbst wieder zu einem Magnet wird, denn Eisenfeilspäne oder auch kleine Nägel, an das untere Ende des Stäbchens gebracht, bleiben an diesem hängen. Daß aber diese Anziehung nicht etwa als eine direkte Fernwirkung des über dem Eisenstäbchen befindlichen Magnets auf die kleinen Eisenstückchen zu betrachten ist, geht daraus hervor, daß die letzteren an einem aus Holz, Kupfer, Messing oder anderem Stoff gefertigten Stäbchen nicht hängen bleiben, wengleich man mit ihm in gleicher Weise wie mit dem Eisenstäbchen verfährt.

Die Versuche zeigen uns, daß ein Stück weiches Eisen (Schmiedeeisen) nicht nur durch Berührung magnetisch wird, sondern auch — in entsprechender Weise, wie ein unelektrischer Leiter bei Annäherung eines elektrischen Körpers vermöge Influenz oder elektrischer Verteilung (s. Kapitel 6) elektrisch wird — schon bei Annäherung eines Magnetpols sich sogleich selbst in einen Magnet verwandelt, indem es an seinem dem Magnetpol näheren Ende einen, dem Magnetpol entgegengesetzten Pol, am entfernteren Ende aber einen dem Magnetpol gleichnamigen Pol bekommt und nun imstande ist, selbst wieder ein zweites, dieses wohl auch ein drittes Eisenstückchen anzuziehen und festzuhalten u.

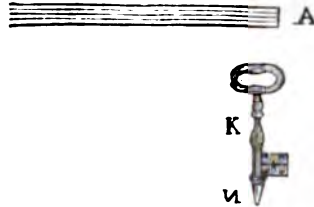


Fig. 174. Magnetische Verteilung (Versuch).

Zur Erklärung dieser Erscheinungen muß an das im vorigen § Gesagte erinnert werden. Nach der dort besprochenen Annahme liegt einem unmagnetischen Eisen — und ein solches ist doch zunächst das Eisenstäbchen — die neutral magnetischen Moleküle oder Molekular-Magnete ohne Ordnung, und die Wirkung des einen hebt die des anderen auf; wenn man indes einem solchen Eisen den Pol eines wirklichen Magnets, so den Nordpol, nähert, so ordnet dieser sämtliche Eisenteilchen (Moleküle) derart, daß sich die entgegengesetzten Pole ihm zuwenden, die gleichnamigen von ihm abwenden. Der dem scheinbar unmagnetischen Eisen genäherte Pol des Magnets übt also in dem ersteren das Gleichgewicht der beiden Magnetismen aus, und eine Verteilung derselben in der Weise herbeigeführt, daß der ungleichnamige Magnetismus angezogen, der gleichnamige abgestoßen wird, und

das Eisen erscheint nun selbst magnetisch. Diese Erscheinung heißt Induktion von Magnetismus in Eisen oder die Magnetisierung des Eisens durch benachbarte Magnete. Man nennt man magnetische Verteilung (magnetische Induktion); Vorgang und Bezeichnung entsprechen der „elektrischen Verteilung“ (s. Seite 70).

Das Gesetz der magnetischen Verteilung in Eisen kann wir mithin kurz folgendermaßen formulieren: In der Nähe des Magnetismus ruft in seiner Nähe den ungleichnamigen Magnetismus hervor, und diesem Gesetz können wir auch umgekehrt gleich — da eben das magnetisierte Eisen nun, so lange es in dem Wirkungskreis des eigentlichen Magnets bleibt, selbst einen Magnet darstellt — ein zweites Eisenstück anfügen: Es giebt keine andere magnetische Anziehung, als zwischen den ungleichnamigen Polen zweier Magnete. Denn eben darum, weil ein Eisenstück unter dem Einfluß eines Magnets selbst zu einem Magnet wird, welcher dem genäherten Magnetpol seinen ungleichnamigen Pol zuwendet, wird es von dem Magnet angezogen.

Bervollständigen wir nun aber die beiden angegebenen Versuche, indem wir den magnetisierenden Pol (Fig. 175 N) von dem Eisenstück A, nach dem sein Südpol S dem ungleichnamigen Magnetpol N zuwendet und verläßt, so verliert der magnetischen Verteilung ein kleines Eisenstückchen B (Nagel u. dgl.) ab und festhält, entfernen, so verliert sich auch der Magnetismus in A ab und wieder und die von ihm getragenen Eisenstückchen fallen sogleich ab. Die Folge ist also dieselbe, als wenn man, nachdem an den einen Pol eines Magnets ein Eisenstäbchen, an dieses ein zweites kleineres, an dieses ein drittes u. s. w. angehängt und so eine Art Kette gebildet worden, die oberste Stäbchen vom Magnet wegschiebt: es verliert augenblicklich

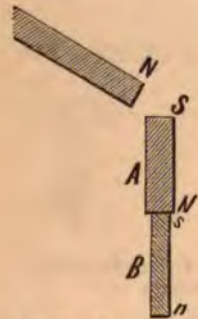


Fig. 175. Magnetisierung weichen Eisens.

Kraft und die von ihm gehaltenen kleineren Stäbchen fallen auseinander. Daraus erkennen wir, daß das Eisen (weiches oder Schmiedeeisen), welches allerdings sehr leicht magnetisch wird, nur so lange seine magnetischen Eigenschaften behält, als die Nähe eines Magnets die magnetischen Moleküle in gleicher Richtung erhält; sobald jedoch der Magnet entfernt wird, nehmen die Moleküle wieder ihre vorherige regellose Lage an (s. vor. Seite), d. h. das Eisen kehrt in seinen natürlichen (unmagnetischen) Zustand zurück.

Ganz anders verhält sich der Stahl (gehärtetes Eisen). Wiederholen wir den von uns oben angegebenen zweiten Versuch, nachdem das 6 oder 8 mm dicke Eisenstäbchen durch ein gleichgroßes gehärtetes Stahlstäbchen ersetzt worden, so werden kaum oder höchstens einige wenige Feilspänchen an dem unteren Ende des Stahlstäbchens hängen bleiben, während doch bei gleicher Behandlung an dem Eisenstäbchen viele Feilspäne bezw. Nägel haften blieben. Um dem Stahlstäbchen eine derartige Kraft zu verleihen, muß es entweder längere Zeit mit dem Magnet in Berührung bleiben oder mit demselben auf die weiterhin beschriebene Art wiederholt gestrichen werden. Ist dann aber der Stahlstab einmal magnetisch geworden, so daß er das oder die angehängten Eisenstückchen trägt, so kann man ruhig den Magnet, welcher ihn magnetisierte, entfernen und er behält trotzdem noch die magnetische Kraft.

Eisen und Stahl unterscheiden sich somit betreffs dieser Punkte in zweifacher Art: das Eisen wird bei Einwirkung eines Magnets alsbald selbst zu einem Magnet, verliert aber auch seine magnetischen Eigenschaften sogleich wieder nach Entfernen des Magnets; der gehärtete Stahl hingegen nimmt bei gleichstarker magnetisierender Einwirkung einen weit geringeren Magnetismus an als das weiche Eisen, bezw. er beansprucht, um gleichstarken Magnetismus anzunehmen, eine viel stärkere und nachhaltige magnetisierende Einwirkung (Berührung, Streichen), behält jedoch dann die magnetische Kraft fast vollständig auch nach dem Aufhören der magnetisierenden Ursache. Die Kraft des Widerstandes, welche der Stahl sowohl der Magnetisierung als auch dann, wenn er einmal magnetisch geworden, dem Entweichen des Magnetismus entgegenstellt, nennt man die Koerzitivkraft.

In Verfolg der erörterten Theorie des Magnetismus erklären sich diese Erscheinungen kurz in nachstehender Weise: Während die magnetischen Moleküle des weichen Eisens durch die von außen her wirkende magnetisierende Kraft leicht mit ihren Polen in die gleiche Richtung gedreht werden können, jedoch auch vermöge ihrer gegenseitigen Einwirkung aufeinander wieder leicht in ihre ursprüngliche regellose Lage zurückkehren, sobald die äußere magnetisierende Kraft zu wirken aufhört, macht sich beim gehärteten

Stahl ein Widerstand, eben jene Koerzitivkraft, gegen die Drehung der Molekular-Magnete geltend, welcher „einerseits der durch äußere Kräfte versuchten Magnetisierung entgegenwirkt, anderseits aber auch nach geschehener Magnetisierung die Rückkehr der Molekular-Magnete in ihre neutrale Stellung hindert“. Ist aber in einem Eisen- oder einem Stahlstück die Drehung sämtlicher Molekular-Magnete vermöge der von außen wirkenden magnetisierenden Kraft erfolgt, so ist dasselbe „gesättigt“; jedes Eisen- oder Stahlstück kann also nur bis zu einem gewissen Grade, bis zur Sättigung, magnetisch gemacht werden.

Diese Eigenschaft des Stahls setzt uns in den Stand, dauernde oder bleibende (permanente) Magnete herzustellen, welche man zum Unterschied von den früher besprochenen natürlichen Magneten künstliche nennt (s. Kapitel 24); dagegen kann man aus gewöhnlichem Eisen keine künstlichen Magnete schaffen. Denn Härte und Weiche des Stoffes stehen, wie aus dem Gesagten erhellt, mit der Annahme und dem Festhalten des Magnetismus, d. i. der Koerzitivkraft, in Widerspruch; je größer aber die Koerzitivkraft einer Stahlsorte ist, desto mehr eignet sich diese zur Anfertigung dauernder Magnete. Daher läßt sich vollkommen gehärteter Stahl am schwersten magnetisieren, giebt dann jedoch die besten Magnete; nimmt man indes dem gehärteten Stahl durch „Anlassen“ (Weichmachen) seine Härte mehr und mehr, so wird er hinsichtlich seines Verhaltens gegen den Magnetismus mehr und mehr dem weichen Eisen ähnlich. Durch Glühen verliert ein Stahlmagnet seinen Magnetismus vollständig. Eisen im rotglühenden Zustand wird noch von einem Magnet angezogen, weißglühendes jedoch nicht mehr.

Aus den besprochenen Erscheinungen und Gesetzen ergibt sich von selbst die Erklärung für manch andere Erscheinung. So z. B. für die bekannten Spielereien, die in Form von kleinen Schwänen oder Fischen auftreten, welche auf dem Wasser schwimmen und von dem einen Pol eines gegen gehaltenen Magnetstäbchens angezogen, von dem anderen Pol aber abgestoßen werden. Oder hängt man zwei 3–6 cm lange Stückchen dünnen ausgeglühten Eisendrahtes an Seidenfäden nebeneinander auf und nähert ihnen einen Magnet, so stoßen sie sich der ganzen Länge nach ab. Hat man aber zwei Nähnadeln durch Bestreichen mit einem der beiden Pole des Magnets magnetisch gemacht, so zeigen sie, in der Mitte an Seidenfäden nebeneinander aufgehängt, gegenseitig Anziehung bezw. Abstoßung; hat man sie in Eisenfeilspäne getaucht und nähert man nun mit den Händen ihre gleichnamigen Pole, so weichen die Eisenteilchen auseinander, während die letzteren einander zustreben, sobald man die ungleichnamigen Pole nähert.

Außer Eisen besitzen bloß Nickel und Kobalt die Eigenheit, in stärkerem Grade vom Magnet angezogen oder selbst bleibend magnetisch zu

werden; die anderen der im vorigen Kapitel genannten metallischen Körper dagegen lassen nur, wie man schon früher beobachtet hatte, einen schwächeren Grad magnetischer Einwirkung wahrnehmen. Auch seitdem man im Elektromagnetismus, der im III. Abschnitt zur Behandlung gelangt, weit stärkere magnetisierende Kräfte kennen gelernt und dann der berühmte englische Sachmann Faraday es zuerst nachgewiesen hat, daß fast alle Körper bei ausreichend starker magnetisierender Kraft eine Einwirkung erfahren, hat man die Bemerkung gemacht, daß diese Einwirkung meistens eine außerordentlich viel geringere ist als bei den drei Metallen Eisen, Nickel, Kobalt. Dabei fand Faraday eine eigentümliche Verschiedenheit hinsichtlich der magnetischen Einwirkung auf die Körper, indem sich bei manchen derselben zwischen den Polen eines starken Elektromagnets eine Anziehung, bei anderen eine Abstoßung geltend machte. Die ersteren (z. B. Kobalt, Nickel, Chrom, Mangan, Platin) verhielten sich magnetisch, wie weiches Eisen — nur in erheblich schwächerem Maße —, die letzteren, welche also von den Polen des Magnets abgestoßen werden, nannte Faraday diamagnetische Körper z. B. Wismuth, Zink, Zinn, Blei, Kupfer, Silber, Gold (vergl. „Elektromagnetismus“).

24. Künstliche Magnete.

(Gestalt, Herstellung, Armierung).

Auf dem im vorigen Kapitel erörterten Verhalten des Stahls beruht die Hervorbringung künstlicher Magnete. Wie schon betont, eignet sich die eine Sorte Stahl besser als die andere zur Herstellung künstlicher Magnete. Vor Jahrzehnten war allenthalben der sogenannte Steirische Stahl bekannt, welcher, einmal durchgeschmiedet, sich vortrefflich zu dem gedachten Zwecke eignete; allein er ist, und dies bedauert der Verfasser des Buches bereits in der ersten Ausgabe (1856), seit etwa 60 Jahren gänzlich verschwunden. Jetzt nimmt man Solinger Klinsenstahl oder den Gußstahl, welcher fast in jeder beliebigen Form zu bekommen ist und daher nur wenige Arbeit erfordert.

Außer auf die Sorte des Stahls kommt es noch auf den Grad von Härte an, welchen man demselben giebt und auf die Art des Härtens. Das Härten besteht bekanntlich in plötzlichem Abkühlen des Stahls nach vorhergegangenem Glühen. Dabei sind indes technische Kenntnisse nötig, denn jeder Stahl erheischt seinen eigenen Hitzgrad, und man thut daher wohl, sich an einen Messer- oder Klingenschmied oder einen Mechaniker u. zu wenden. Die ausgewählten Stücke werden ausgeglüht, nachdem man sie vorher mit Lehm umgeben hat; man kann die Stahlstäbe auch in Blech-

büchsen stecken, die Zwischenräume mit feinem Sand ausfüllen, dann glühend und langsam erkalten lassen*). Verwendet man Gußstahl, so darf die Büchse beim Glühen nicht mehr als rotwarm werden und überhaupt nicht länger als 10 Minuten in der Glühhitze erhalten werden; denn er erträgt nur geringe Hitze, die nie über Kirschrot gebracht und doch auch nicht kalt gehämmert werden darf. Nachdem man dem Stück die erforderliche Form (Stab, Nadel, Hufeisen) gegeben, wird das eigentliche Härten vorgenommen, indem man den Stahl schnell senkrecht, und falls er hufeisenförmig ist, mit beiden Enden in kaltem Wasser taucht. Bei der dann vorzunehmenden Prüfung des Stahls auf seine Härte hin darf auch die beste Feile denselben nicht angreifen.

Da ein so gehärtetes, und zwar glashart gewordenes Stück Stahl auf ein Glas zerbrechen würde, wenn es auf den Boden fiel, so muß man diesen Härtegrad unbequemem Grad von Sprödigkeit durch das Anlassen oder Anlaufen begegnen. Dies geschieht, indem man den Stahl, nachdem er hell gelb geschliffen worden, auf ein breites, gut angeblasenes Holzkohlen-Feuer bringt und bis zur hasergelben Farbe**) anlaufen läßt; dabei muß das Feuer gleichmäßig brennen und es darf deshalb nicht durch das Gebläse des Schornsteins, wodurch die Hitze ungleichmäßig werden würde, sondern nur durch Vermittlung des Federwisches oder eines Stück Pappe angefacht werden. Nachdem der Stahl hasergelb angelauten, so wird er zum zweiten Male in kaltem Wasser gelöscht. Sollte sich ein Stück Stahl beim Härten dermaßen zerkratzen haben, daß es nicht zu gebrauchen wäre, so muß man es blau anlaufen lassen, denn man kann dann dasselbe, auf einen Amboss gelegt, durch Vermittlung eines Hammers mit scharfer Bahn durch kurze,mäßige, und wiederholt nebeneinander auf die vertiefte Seite geführte Streiche, welche später wieder weggeschliffen werden, nachrichten. Übrigens gelingt dieses Nachrichten bei einer Vorsicht auch im hasergelben Zustande. Durch das Anlassen zu Blau verliert der Stahl zwar an Koerzitivkraft, doch bleibt er noch zu vielen Zwecken brauchbar.

Dasjenige Ende des Stahls, welches später der Nordpol werden soll, bezeichnet man zwar gewöhnlich schon vor dem Härten durch ein aufgeschmolzenes N oder einen Feilstrich; indes läßt sich dies, wie Friedl

*) Das zu magnetischen Versuchen nötige weiche Eisen erhält man in entsprechender Weise, indem man nämlich gutes Schmiedeeisen nach dem erwähnten Verfahren ausglüht.

**) Es giebt verschiedene Grade des Anlaufens. Die erste Stufe ist die, daß der Glanzpunkt des Stahls schwindet und dieser hellgelb wird; dann wird er dunkler, dann hasergelb, dann erhält er eine noch dunklere, dem Orange sich nähernde gelbe Farbe, welche plötzlich einem blauen, sodann einem prächtigen dunkeln Purpurrot weicht. Wird der Stahl immer heißer, so geht die Farbe in das bekannte schöne dunkle Violett, und noch fernere Erhitzung führt die Farbe in ein schönes Blau über. Dies ist die äußerste Grenze, bis zu welcher man gehen darf, der Stahl ist jetzt „federhart“; bei noch fernerm Erhitzen schwinden alle schönen Farben und der Glanz derselben.

ausführt, auch nachholen, indem man den Buchstaben aufätzt. Zu dem Behuf läßt man auf der betreffenden erwärmten Stelle etwas Wachs dünn verlaufen, zeichnet mit einer Nadel das gewünschte Zeichen hinein und setzt einen Tropfen etwas verdünnter Salpetersäure darauf, wodurch das Zeichen binnen fünf Minuten etwa tief genug geätzt sein wird. Nachdem die Säure abgespült, wird der Stahl wieder erwärmt und das Wachs mit Löschpapier abgewischt.

Form der Magnete. Je nach dem Zweck, dem die Magnete dienen sollen, giebt man ihnen entweder die Form von Nadeln oder Stäben oder Hufeisen (Stimmgabeln).

a) Die Magnetnadel ist ein dünnes, magnetisch gemachtes Stahlstäbchen, welches gewöhnlich die Form einer langgestreckten Raute (Fig. 176; Fig. 177 oben) hat und in der Mitte mit einem Hütchen aus Achat oder Stahl versehen ist, in welchem sie auf einer feinen Stahlnadel so ruht, daß man sie in einer wagerechten Ebene leicht und frei bewegen kann (Fig. 176). Die Magnetnadeln von der Form einer langgezogenen Raute, an beiden Enden spitz zulaufend, müssen ganz symmetrisch, von der Mitte nach dem einen Ende gerade so lang als nach der anderen Spitze sein, und außerdem muß das Loch nach beiden Seiten hin genau in der Mitte gebohrt sein. Dasselbe gilt für die zweite Form, der eines langgestreckten Parallelogramms bezw. eines an den beiden Enden gleichmäßig abgeschragten Lineals (Fig. 177 unten). Die letztere Form ändert man auch ab, indem man die Enden der beiden Hälften kurz zuspitzt, sodas die Nadel wie ein sehr langgezogenes Sechseck erscheint.

Alle diese Nadeln, welche eine mittlere Verstärkung besitzen, lassen sich aus starken Uhrfedern verfertigen. Sie können jedoch auch aus Gußstahl geschmiedet werden und erhalten dann die Form eines vierkantigen, an den Enden schief abgechnittenen und zugehärteten Stäbchens mit Verstärkung in der Mitte, welche ebenfalls durchbohrt wird, um das Hütchen aufzu-

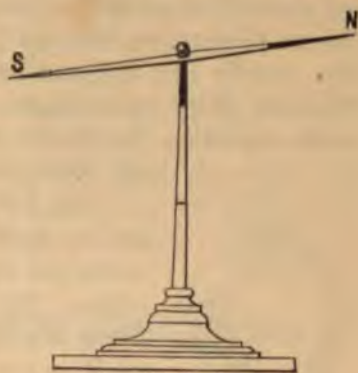


Fig. 176. Magnetnadel.

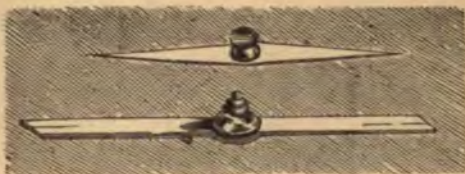


Fig. 177. Magnetnadeln.

nehmen. Immer aber werden sie vor dem Härten ganz rein gefeilt und geschliffen. Beim Härten solcher Nadeln legt man sie am besten auf ein Eisenblech oder bindet sie an einen Draht, um sie zu glühen; denn hält man sie mit einer Zange, so bringt man sie, und wenn auch die letztere vorher erwärmt wird, nie gleichmäßig warm. Um die Pole zu bezeichnen läßt man zunächst die ganze Nadel federblau anlaufen — was ebenfalls auf einem Blech geschieht — und wischt dann mittelst sehr schwach angesäuerten Wassers das Blau auf der zum Südpol bestimmten Hälfte wieder weg. Häufig auch läßt man beim Bearbeiten der Nadel die zum Südpol bestimmte Hälfte etwas schwerer als die andere, was sich indessen nicht gerade empfiehlt. Im Übrigen kann der eine oder der andere Pol in der

auf Seite 308 angegebenen Weise bezeichnet werden.

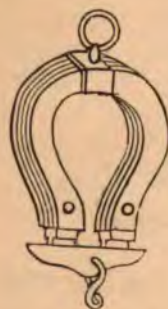


Fig. 178.
Hufeisen-Magnete.

Die Öffnung in der Mitte der Nadel dient dazu, um ein kegelförmiges Hütchen aus Achat oder in Ermangelung desselben aus Stahl einzusetzen bezw. zu befestigen. Da die Anfertigung der Hütchen besondere Übung und Einrichtung erheischt, so wird man sie am besten vom Mechaniker besorgen. Überhaupt empfiehlt es sich, empfindliche Nadeln, wie man sie doch eigentlich haben muß, fertig zu kaufen; denn auch der Ständer, welcher die Nadel trägt, muß besonders aus Stahl angefertigt werden, wiewohl für gewöhnliche Fälle feine spitzige Nähnadeln dienen.

Mit der Magnetnadel lassen sich verschiedene Versuche, die zum Teil schon besprochen wurden, ausführen; ihre Verwendung als Deklinations- und Inklinations-Nadel werden wir in einem der folgenden Kapitel kennen lernen.

b) Die Magnetstäbe können von sehr verschiedener Größe sein, doch macht man sie gewöhnlich nicht über 30 oder 40 cm lang. In der Regel giebt man ihnen eine Dicke, welche ein Drittel bis ein Viertel der Breite beträgt, und beachtet, daß der Stab überall gleichdick und gleichbreit ist, die Seiten also parallel seien.

c) Ein Hufeisen wird aus einem Stahlstab verfertigt, indem man denselben in seiner Mitte glühend macht und ihn dann so biegt, daß er ungefähr die Hufeisenform bekommt, wobei die Biegung in der Mitte etwas weiter im Lichten gehalten zu werden pflegt, als die Entfernung der beiden Enden voneinander beträgt (vergl. Abbildung 178, einen zusammengesetzten Hufeisen-Magnet).

Die eigentlichen Hufeisen-Magnete sind zwar noch gebräuchlich, doch geht man in neuerer Zeit immer mehr davon ab, weil namentlich sta-

hufeisenförmige Magnete unbequem zu magnetisieren sind, und wählt lieber die Form mit ganz parallelen Schenkeln, welche man allerdings auch Hufeisen-Magnet nennt, richtiger aber als Stimmgabel-Magnet bezeichnen sollte. Bei derartigen Magneten sind manchmal die geraden Schenkel allein je 30 cm lang und im Verhältnis dazu 3—6 cm breit. Die Pole solcher Magnete, mögen diese nun eigentlich hufeisenförmig oder mehr stimmgabelförmig sein, sollten aber, falls man nicht besondere Zwecke damit verbindet, einander soweit genähert sein, daß ihre Entfernung nicht viel mehr als die Breite der Schenkel beträgt.

Stäbe wie Hufeisen müssen nach der Bearbeitung gehärtet und angelassen werden. Hat man längere Stücke, so läßt man sie am besten beim Feilenhauer härten, da dieser darauf eingerichtet ist, solche recht gleichmäßig zu erwärmen — ein Punkt, auf den es bei der Härtung und dem nachherigen Anlassen der Magnete viel ankommt.

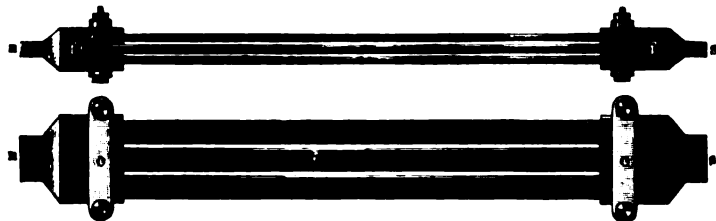


Fig. 170. Magnetisches Magazin.

Die Tragkraft der Hufeisen- und Stimmgabel-Magnete ist aber keineswegs der Summe der Tragkräfte der Einzelmagnete gleich, aus denen sie zusammengesetzt sind, sondern sie ist weit geringer. Der Grund davon ist folgender.

Legt man zwei gleichgeformte Stahlmagnete mit ihren gleichnamigen Polen aufeinander, so sucht jeder die Polarität des anderen in das Gegenteil zu verwandeln. Hierdurch erfolgt eine gegenseitige Schwächung der magnetischen Kraft. Deshalb wächst die Tragkraft dieser Magnete in weit geringerem Verhältnisse, als ihre Masse. Ein 4 Dekagramm-Magnet kann das 25fache, ein 50 Kilogramm-Magnet dagegen nicht einmal das Dreifache seines eigenen Gewichts tragen. Dafür ist aber die Gesamttragkraft eines Hufeisen-Magnets weit größer, als die Summe der Tragkräfte der beiden Pole. Wenn jeder Pol einzeln für sich nur 1 kg zu tragen vermag, so trägt das Hufeisen, mit dem Anker an beiden Polen zugleich berührt, 6 kg.

Will man den Verlust von Magnetismus in den Magnetstäben vermeiden, so muß man sie derartig parallel nebeneinander legen, daß der Nordpol des einen und der Südpol des anderen nach einer und derselben Seite gerichtet sind. Hierauf fügt man zwei Eisenstücke so an, daß sie mit

den Stäben ein geschlossenes Rechteck bilden. Diese Eisenstücke wirken dann ganz ebenso, wie der Anker beim Hufeisenmagnet (vergl. S. 297).

Sollen mehrere einfache Magnetstäbe zu einem magnetischen Magazin vereinigt werden, so werden die Nordpole derselben in einen eisernen Schuh und die Südpole in einen anderen Schuh eingelassen (Fig. 179).

Will man dünne oder starke Stahlstäbe kräftig magnetisch machen, so muß man dieselben wiederholt an den Polen eines starken Magnets streichen und zwar das Ende, welches Nordpol werden soll, an dem Südpol des Magneten und das, welches Südpol werden soll, an dessen Nordpol. Man setzt den Stab in seiner Mitte auf den Magnetpol und zieht die betreffende Hälfte über den Pol hinweg. Sehr starke Stäbe werden durch Anwendung von Elektromagneten sehr stark magnetisch, da die Pole derselben eine außerordentliche magnetisierende Kraft besitzen. Das „Kölnische Gymnasium zu Berlin“ besitzt ein magnetisches Magazin in Hufeisenform. Dasselbe besteht aus anscheinend 9 breiten Hufeisen, welche so übereinander liegen, daß das mittlere um etwa 1 dem vor den übrigen hervorsticht; der Anschein trägt jedoch, denn jedes dieser Hufeisen ist wieder aus drei Stücken zusammenge setzt, welche wie Schachteln von verschiedener Größe ineinander liegen. Dieses Hufeisen-Magazin trägt 110 kg.

Um Magnete aufzubewahren, genügt es nicht, dieselben nur vor Feuchtigkeit zu schützen dadurch, daß man sie öfters mit einem in Öl getauchten leinenen Lappen abreibt, man muß dieselben auch, und namentlich die hufeisenförmigen, durch ein weiches Stück Eisen, den Anker (siehe S. 297) geschlossen halten. Dieser Anker ist gewöhnlich in der Mitte durchbohrt, um hier einen Haken einzuhängen, an welchem Gewichte man einer Waagschale angebracht werden können.

25. Das Magnetisieren. Die magnetischen Kurven.

Da wir gegenwärtig in den Elektromagneten Apparate von jeder wünschbaren Stärke besitzen, so bedarf man der vielerlei Verfahren nicht mehr, welche man sogar als Geheimnisse verkaufte, um große Stahlmagnete herzustellen. Braucht man einen kräftigen Streichmagnet, so genügen der sogenannte einfache, der doppelte Strich und die Hefter'sche Methode.

Um den einfachen Strich auszuführen, legt man den Stab oder die Nadel, welche man magnetisieren will, flach auf eine ebene Unterlage A B der Fig. 180, und streicht nun die zum Nordpol bestimmte Hälfte des Stahlstückes auf jeder Seite bis zehnmal mit dem Südpol eines

Magnets, wobei man den Magnet S jedesmal kräftig in der Mitte ansetzt und mit mäßiger Geschwindigkeit über das Ende des Stückes hinausführt und dann in einem Bogen durch die Luft nach der Mitte zurückkehrt. Um den Südpol herzustellen, setzt man auf der anderen Hälfte ebenso den Nordpol des Streichmagnets ein.

Setzt man die entgegengesetzten Pole gleichstarker Magnetstäbe so auf die Mitte des zu streichenden Eisenstückes, daß jeder zu der auf seiner Seite liegenden Hälfte einen Winkel von 80° macht, — wobei sich aber die beiden Magnete nicht berühren dürfen — und verfährt mit beiden ebenso wie vorhin, so wird der Magnet kräftiger und der Magnetismus in demselben gleichförmiger verteilt. Diese Art der Streichung empfiehlt sich hauptsächlich bei Anfertigung von Magnetstäben, welche zu Messungen gebraucht werden sollen. Hufeisen- oder Stimmgabel-Magnete werden auf gleiche Weise behandelt; man legt aber den Anker vor, sobald er mit den Schenkeln eines gleichbreiten Hufeisens oder mit zwei Magneten gestrichen wird. Man hält dabei den Anker mit einer Hand fest und führt die Pole des streichenden Magneten über denselben hinaus. Gerade Stäbe streicht man mit einem Hufeisen so, daß man die Fläche des Hufeisens senkrecht zum Stabe hält.

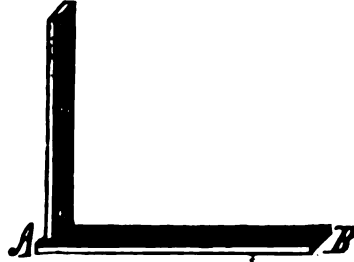


Fig. 180. Einfacher Strich.

Will man einen Elektromagneten zum Magnetisieren anwenden, so legt man auf dessen Pole zwei Stäbe weichen Eisens so, daß sie gegeneinander geneigt sind, dann setzt man den Stab, welcher magnetisiert werden soll, mit seiner Mitte da auf, wo die beiden Eisenstücke sich am nächsten liegen und fährt mit ihm gegen die Öffnung des Winkels in der Weise, daß beide Hälften desselben von einem Pol des Elektromagnets zu gleicher Zeit gestrichen werden. Beim Magnetisieren eines Hufeisen- oder Stimmgabel-Magnets wendet man dasselbe Verfahren an, nur giebt man den Enden der weichen Eisenstücke eine derartige Entfernung, daß sie zu den Schenkeln des Hufeisens bzw. der Stimmgabel passen.

Will man den Doppelstrich anwenden, so setzt man die entgegengesetzten Pole zweier Magnetstäbe oder Bündel zugleich in der Mitte des Stahlstabes auf, nachdem derselbe so befestigt worden, daß er nicht weichen kann. Man fährt nun mit beiden zugleich nach dem einen Ende des Stabes, hierauf wieder zurück, gleich über die Mitte weg, nach dem anderen Ende, niemals aber über die Enden hinaus, und dies wiederholt man von einem Ende des Stabes zum anderen zehn bis zwanzig Mal auf jeder

Seite; alsdann hört man wieder in der Mitte auf, aber erst dann, wenn jede Hälfte gleichviel Striche erhielt. Die magnetische Kraft wird bedeutend verstärkt, wenn man den zu streichenden Stab mit seinen Enden auf kräftige Magnete legt; der neue Magnet erhält dann die entgegengesetzte Pole seiner Unterlage. Hufeisensförmigen Magneten legt man beim Magnetisieren den Anker vor, sie erhalten dadurch eine, auch nach dem Abreißen des Ankers verbleibende größere Tragkraft. Letztere ist allerdings vor dem Abreißen des Ankers größer, aber sie ist vollkommen nutzlos; denn wir brauchen die Magnete ja nicht, um sie mit Gewichten beschwert aufzuhängen, sondern um ihre Anziehungskraft auf bestimmte Punkte wirken zu lassen.

Das nach Hoffer benannte Verfahren ist folgendes: Man legt einen Hufeisen einen Anker vor und setzt dann die beiden Pole des Streich-



Fig. 181. Magazin.

magnets entweder auf die Enden des neuen Magnets und streicht nun damit über den Bogen hinaus, oder setzt sie auf den Bogen und streicht über die Enden hinaus. Im ersten Falle haben Streichmagnet und neuer Magnet gleiche, im zweiten entgegengesetzte Pole. Diese Methode ist eine der wirksamsten und erreicht volle Wirkung schon nach zehn Strichen.

Im Besitze des Professors Erman war ein Magazin von 8 Stück etwa 2 cm breiter Stangen, welche ungefähr 20 cm lang zu zwei Säulen vereinigt waren wie Fig. 181. Mit diesem Magazin stellte Dr. Zimmermann für die Professoren Erman, Hermbstädt und Seebeck sowie für sich selbst Magnete her, welche das Zwöl-

bis Fünfzigfache ihres eigenen Gewichtes trugen. 1 kg schwere Stäbe erhielten eine Tragkraft von 12 kg, ja ein im Besitze von Professor Seebeck befindliches Magnet von 0,1750 g Gewicht wurde auf eine Tragkraft von 18 kg gebracht. —

Um die Verteilung und Richtung der magnetischen Anziehungs- und Abstoßungskraft auf anschauliche Weise sichtbar zu machen, legt man ein Blatt steifes Papier über einen kräftigen Magnet und streut nun gut gestäubte Eisenfeilspäne auf das Papier. Diese häufen sich in der Nähe der Pole des Magnets am stärksten an und gestalten sich in der Umgebung derselben zu regelmäßigen Kurven (s. Fig. 182 und 183).

Stellt man den Magnet aufrecht hin und bedeckt ihn dann mit dem Papier so, daß dessen Mitte auf die obere kantige oder kreisförmige Fläche zu liegen kommt und streut nun auf diese Stelle feine Eisenfeilspäne etwas locker auf, so entsteht eine Gruppierung der Feilspäne wie in Fig. 184. Solche Gruppierungen nennt man magnetische Kurven oder Magnetkraftlinien nach Faraday.

Taucht man einen Hufeisenmagnet mit seinen Polen in einen Haufen Feilspäne, so hängen sich diese massenhaft an ihn und bilden an jedem Polende einen Klumpen, dessen einzelne Strahlen in dem Pol ihre gemeinsame Wurzel haben.

Nimmt man zwei gleichgroße und gleichstarke magnetische Hufeisen, taucht sie in die Eisenfeile und bringt dieselben dann einander gegenüber, so, daß die Pole nach innen und zwar Südpol dem Südpol und Nordpol dem Nordpol gegenüberstehen, so sieht man die einzelnen Strahlen der Klumpen von Feilspänen sich bewegen. Bei Annäherung bis zur Entfernung von 2 cm greifen die Strahlen ineinander, wie die aus gespreizten Finger zweier Hände, wenn man sie



Fig. 182. Magnetische Kurven.



Fig. 183. Magnetische Kurven.

salten will. Alsdann bilden die Feilspäne eine kompakte Masse, die sich biegen und kneten läßt, wie Teig. Entfernt man die Pole, während man mit Daumen und Zeigefinger die zwischen denselben befindlichen Feilspäne formt, so kann man einen dünnen Cylinder von Feilspänen bilden. Setzt man unter diesen Cylinder eine brennende Spirituslampe, so kann man ihn zum Glühen bringen und wird bemerken, daß er doch zusammenhält, obwohl er nur aus feinen Eisenteilchen besteht, die sonst keinerlei Zusammenhang miteinander haben. Diesen Zusammenhang giebt ihnen jetzt der magnetische Strom.



Fig. 184.

Noch interessanter gestaltet sich der Versuch, wenn man das Ferrum alcoholisatum der Apotheker anwendet. Diese Masse kann man wie Teig behandeln und soviel davon an die Pole eines hufeisenförmigen Magnets anhängen lassen, daß der Rest etwa noch ein fingerbreites und halb so dickes Band bildet. Unter einer Weingeistlampe wird dieses Band nun,

nötigenfalls unter Anwendung des Lötrohrs, glühend gemacht und dann sofort abgelöscht. Der mittlere Teil der Feilspäne bildet jetzt ein einziges Stück welches weggenommen werden kann und die Eigenschaften eines Magnets besitzt. Befeuchtet man die Feilspäne, so oxydieren sie stärker beim Glühen und die dadurch erzielten Magnete wirken noch kräftiger. Auch die, dem Polen des Magnets anhängenden Klumpen von Feilspänen brennen mit einem Streichhölzchen angezündet und erweisen sich nach dem Erlöschen ebenfalls stark magnetisch. Ebenso wird ein Stück Stahl, das man im glühenden Zustande zwischen die Pole eines Magnets bringt und sogleich durch Ubergießen mit Wasser härtet, sehr stark magnetisch.

Übrigens giebt es für jeden Stahlstab einen Grenzpunkt, über welchen hinaus er nicht mehr bleibend magnetisiert werden kann. Dieser Grenzpunkt heißt der Sättigungspunkt. Derselbe ist durch den Härtegrad des Stabes bestimmt. Je weicher der Stab, desto niedriger der Sättigungspunkt (vergl. S. 306).

Läßt man Wärme auf einen natürlichen oder künstlichen Magnetstabs direkt wirken, so verliert derselbe allen Magnetismus, wenn er bis zum Weißglühen erhitzt wird. Jedoch verhalten sich die Körper auch hier verschieden. Kobalt bleibt noch weit über Weißglühhitze hinaus magnetisch während Chrom schon bei Dunkelrotglühhitze, Nickel bei 350 Grad, Braunstein bei 20–25 Grad ihre magnetische Kraft verlieren.

26. Ähnlichkeit und Verschiedenheit der elektrischen und magnetischen Erscheinungen.

Der gegenwärtige Stand unserer Erkenntnis zwingt uns, Magnetismus und Elektrizität als Wirkungen, ausgehend von einer und derselben Ursache anzusehen. Den Sitz dieser Ursache haben wir in den Atomen der Körper zu suchen, von denen aus sie, je nach ihrer Erregung in zweifacher Weise wirkt. Zwar bleibt uns die Ursache auch heute noch verborgen und dürfte es für die Wissenschaft auch noch lange bleiben, ihre erste Wirkung abzuklären. Wir können wir darin suchen, daß die Atome der Körper und zwar jedes Atom für sich mit Anziehungs- und Abstoßungskraft begabt ist. Diese Kraft offenbart sich uns in erster Reihe bei dem Magnetismus und der Elektrizität. Positiv elektrische Körper stoßen positiv elektrische, negativ elektrische Körper negativ elektrische ab, die gegenteiligen Elektrizitäten ziehen sich an. Das Gleiche findet beim Magnetismus statt. Die gleichen magnetischen Pole stoßen sich ab, die ungleichen ziehen einander an. Ferner wissen wir, daß man unmagnetisches Eisen durch einen elektrischen Strom

in einen Magnet verwandeln kann, der seine magnetischen Eigenschaften dauernd behält, wenn der elektrische Strom, der sie erregte, längst zu wirken aufgehört hat.

Dennoch müssen wir bei näherer Betrachtung der magnetischen und elektrischen Erscheinungen einen gewaltigen Unterschied anerkennen.

Wir haben im vorigen Kapitel gelernt, wie man mit einem Magnet einen Stahlstab gleichfalls in einen neuen Magnet umwandeln kann und am Schlusse des Verfahrens festgestellt, daß der erste Magnet bei dieser Arbeit nichts von seiner ursprünglichen Kraft verloren hat. Der neue Magnet hat also nicht einen Teil der Kraft des Streichmagnets aufgenommen, ist aber durch das Streichen dennoch selbst ein Magnet geworden. Daraus ergibt sich die Thatsache, daß die magnetische Kraft unveränderlich in dem Magnet ihren Sitz hat, sich aus demselben weder entfernt, noch sich in ihm mindert, wenn auch noch so viele Stahlstäbe magnetisch gemacht worden sind. Die Wirkung der Atome des Streichmagnets auf den unmagnetischen Stahlstab entzieht sich gänzlich der Wahrnehmung durch unsere Sinne, wir müssen die neuentstandene Thatsache, willig oder nicht, eben hinnehmen.

Mit der Elektrizität steht die Sache dafür ganz anders. Dieselbe liegt zwar auch in den Atomen gebunden, äußert sich aber sichtbar und hörbar, sobald ein Erreger erscheint, der sie in Bewegung setzt. Der geriebene Harz- oder Glasstab läßt einen Funken auf den sich nähernden Gegenstand überspringen unter einem knisternden Geräusch, und dieser überspringende Funke teilt dem Gegenstande genau soviel an Elektrizität mit, wie er dem geriebenen Stabe soeben entzogen hat. Fährt man über einen elektrischen Stab mit der feuchten Hand, so entzieht man ihm seine gesamte Elektrizität mit einem Male; dieselbe begiebt sich sofort aus dem Stabe hinüber in die feuchte Hand. Die Ursachen dieser Erscheinung sind bereits in Kapitel 4, Seite 63—67 entwickelt.

Diese Eigenschaften der Elektrizität haben letztere in der Gegenwart in den Vordergrund der wissenschaftlichen Bestrebungen gestellt und die Dienste, welche die Menschheit von dieser Kraft bereits geleistet erhält, sind für den Fortschritt des Menschengewisses schon jetzt ganz unberechenbar.

Das Erstaunlichste, was wir in der Elektrizität kennen lernen, ist die Konzentration aller anderen Naturkräfte in dieser einen Kraft. Wie viele Naturkräfte hat der Menschengewiss in seinen Dienst genommen, das göttliche Feuer zu erzeugen und auf seinen Herd zu bannen! Welche Geistesarbeit ist aufgewendet worden, den brennenden Span zur Gaslampe umzuwandeln! Und doch, wo sind heute die sinnreichst konstruierten Gaslampen geblieben gegenüber der Leuchtkraft, die in der Elektrizität steckt? Welche mühsame, scharfsinnige Geistesarbeit hat die ältere Chemie geleistet,

um die Stoffe chemisch zu lösen und zu binden! Wie lange war alle menschliche Scharfsinn hierin vergeblich! Da wurde der elektrische Strom in den Dienst gestellt und spielend trennte er, was bisher als unauflöslich verbunden erscheinen mußte.

Folgen wir jetzt den Sternkundigen in den unendlichen Weltenraum. Hier waltet jene großartige, wunderbare Kraft, die wir seit Newton unter dem Namen der Anziehung kennen.

Diese Kraft, die in Fernen hinauswirkt, die weit über menschliche Begriffe hinausgehen, trägt zugleich ihre geheimnisvolle Gegenwirkung, die Abstoßung in gleiche Fernen, in sich.

Diese Eigentümlichkeit finden wir sowohl beim Magnetismus, wie bei der Elektrizität in ebenso außerordentlichem Grade, sodaß der Zusammenhang zwischen der weltzusammenhaltenden, aufbauenden und zerstörenden Kraft und der Elektrizität deutlich hervortritt.

Nun sind aber Magnetismus und Elektrizität nicht etwa Kräfte, welche nur den sogenannten anorganischen Stoffen eigentümlich sind, sondern beide Kräfte wohnen auch dem lebenden, dem organischen Wesen inne.

Schon seit Jahrtausenden kannte man die Wirkungen der Schläge von elektrischen Fischen, aber erst J. Walsh nahm 1772 zu La Rochelle eine gründliche Untersuchung dieser Erscheinungen vor und wies nach, daß die Natur dieser Schläge unzweifelhaft elektrisch sei, da man sie nur bei gleichzeitiger Berührung von Rücken und Bauch durch einen guten Leiter empfangen konnte. Er entdeckte zugleich zwei Reihen sehr zahlreicher senkrechter Säulen, durchsetzt mit einer wässerigen Flüssigkeit, welche er als das elektrische Organ nachwies. Die Schläge können willkürlich ausgeteilt und durch das Wasser in die Ferne geleitet werden, wie Walsh nachwies. In den Flüssen Südamerikas nahm John Hunter darauf 1773 Zergliederungen von Zitteraale vor, welche die Entdeckung von Walsh bestätigten. Alexander von Humboldt und Bonpland regten weitere Untersuchungen der Zitteraale an, welche die elektrische Natur dieser und mehrerer ähnlicher Tiere bestätigten. Nachdem hierauf Volta die Entwicklung der Elektrizität in den Organen erklärte, zeigten Davy und Santi Linari die Gleichartigkeit der tierischen Elektrizität mit der Reibungs-Elektrizität. Davy bewies, daß beide Elektrizitäten dieselben magnetischen und chemischen Wirkungen zu Stande bringen und Santi Linari zeigte die Ansammlung statischer Elektrizität mit einem empfindlichen Kondensator.

Es konnte nicht fehlen, daß diese Entdeckungen den Anreiz gaben, die geheimnisvollen Kräfte auch für die Heilung von Krankheiten dienstbar zu machen und daß Charlatane aller Art sich angeblich derselben bedienen und wohl noch bedienen, die leichtgläubige Menge zu betrügen. Um die

selbe Zeit als Walsh und Hunter die tierische Elektrizität untersuchten, trat in Wien der Arzt Friedr. Ant. Mesmer auf und richtete ein magnetisches Klinikum ein, in welchem Erscheinungen von Hellsehen stattfinden sollten. 1778 ging er nach Paris und hier erst fand er den rechten Boden. Die Akademie hatte zwar den sogenannten Grundriß seines Natur-Systems feierlich verworfen, dafür fanden sich aber reiche Leute genug, welche an seinen Unsinn glaubten und sich weidlich von ihm und seinen Helfershelfern plündern ließen. Mesmer sammelte ein großes Vermögen, aber die französische Revolution machte seinem Unwesen ein Ende, und um der Guillotine zu entgehen, floh er mit Zurücklassung seines Vermögens. In neuerer Zeit tritt die Täuschung als Hypnotismus auf und sucht eifrig Anhänger zu werben. Der Fortschritt in der Erkenntnis ist aber solchen Strebungen bereits sehr ungünstig geworden, ein herrliches Zeugnis für den durch die Wissenschaft der Menschheit bereiteten Fortschritt.

Inwieweit die Anwendung von Magnetismus und Elektrizität in der Heilkunde berechtigt ist, läßt sich heute keineswegs entscheiden, ihre Wirkungen auf Anreizung der Haut und der Muskeln zu energischer Thätigkeit aber dürfte beiden Kräften in der Heilkunde der Zukunft einen bedeutenden Platz sichern.

27. Erdmagnetismus.

Hängt man eine Magnetnadel so auf, daß sie sich frei um ihren Schwerpunkt drehen kann (vergl. Fig. 176), so nimmt dieselbe an jedem Punkte der Erdoberfläche eine genau bestimmte Richtung an. Hängen wir nun in einiger Entfernung über der Magnetnadel einen Magnetstab auf, so wird derselbe zur Nadel parallele Stellung nehmen, und Nadel und Stab werden mit ihren Nordpolen nach Norden hinweisen und umgekehrt. Zieht man die Nadel aus dieser Stellung seitlich ab und läßt sie dann wieder los, so kehrt sie sofort in ihre erste Stellung zurück. Senkt man den Magnetstab tief auf die Magnetnadel herab, so wendet sich dieselbe und zeigt mit ihrem Nordpol nach Süden. Nähert man jetzt von unten her der Nadel einen zweiten Magnetstab, dessen Südpol nach Norden gerichtet ist, so nimmt die Nadel sofort wieder das Bestreben auf nach Norden umzuwenden und die Wendung erfolgt, sobald die Wirkung dieses zweiten Stabes größer wird als die des ersten. Diese Erscheinung läßt sich nur durch die Annahme erklären, daß die Erde selbst magnetische Eigenschaften besitzt, die man für die nördliche Halbkugel mit Südmagnetismus und für die südliche Halbkugel mit Nordmagnetismus bezeichnen kann (— M und + M). Wir nehmen deshalb als ein Gesetz an: Die Erde ist ein großer

Magnet, dessen Südpol auf der nördlichen und dessen Nordpol auf der südlichen Halbkugel liegt.

Eine Magnetnadel, welche man auf die vorhin angegebene Weise der Einwirkung des Erdmagnetismus entzogen hat, so daß sie nun jedem Magnetstriebe frei zu folgen vermag, heißt eine astatische Nadel (d. h. eine Nadel ohne bestimmte Einstellung). Statt einer einzigen solchen Nadel wendet man gewöhnlich deren ein Paar an, wie sie Fig. 185 zeigt.

Zwei Magnetnadeln sind hier so miteinander verbunden, daß sie einander parallel bleiben müssen. Der Nordpol der oberen Nadel s und der Südpol der unteren Nadel s' sind nach derselben Seite gerichtet, wie der Südpol der unteren Nadel n' und der Nordpol der oberen Nadel n . Die Richtungskraft des Erdmagnetismus ist durch ein solches astatisches Nadeln paar nahezu aufgehoben. Man stellt sich dasselbe her, indem man

zwei Hüllen aus dünnem Silberdraht anfertigt, in welche die Stäbchen eingeschoben werden und dieselben durch einen Stäbchen von Silberdraht, welches oben in einen Haken gebogen ist, verbindet.

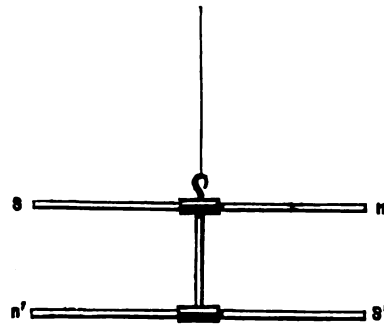


Fig. 185. Astatisches Nadeln paar.

Zieht man eines der Stäbchen aus der Hülse heraus und hängt es frei auf, so macht sich sofort die Richtungskraft der Erde wieder geltend. Da nun die Bestimmung der Pole in den Stäben von großem Interesse ist, so merken wir uns Folgendes

Mit dem Namen Pol bezeichnet man an den Magnetstäben die Angriffspunkte der Resultierenden aller anziehenden Kräfte einerseits und aller stoßenden andererseits, mit welchen aus großer Entfernung vom Magnetstab ein magnetisches Teilchen auf die einzelnen Moleküle des Magnetstabes wirkt. Coulomb hat durch Rechnung gefunden, daß die Pole der Stäbe, welche über 25 cm lang und 4—5 mm dick sind, ungefähr 4 cm weit von den Enden entfernt liegen. Sind die Stäbe kürzer, beträgt die Entfernung der Pole von den Enden ungefähr $\frac{1}{3}$ der halben Länge. Haben die Stäbe mehr als 5 mm Dicke, so rücken die Pole mehr gegen die Mitte hin, bei dünneren dagegen nähern sie sich mehr den Enden, sodaß sie bei einem Millimeter Durchmesser fast mit den Enden zusammenfallen.

Es dürfte hier der Ort sein, ehe wir zu den Erscheinungen der Deviation und Inklination übergehen, einige geschichtliche Daten über den Magnetismus beizufügen.

Den Magnetismus und seine Wirkungen kannten bereits die Alten. Schon zu den Zeiten des Thales benutzte man natürliche Magnete, die zuerst bei Magnesia in Lydien gefunden wurden, woher der Name für diese geheimnisvolle Kraft stammt. Man lernte die Anziehung des Eisens, die Verteilung des Magnetismus im weichen Eisen und seine andauernde Wirkung in Stahl kennen, aber von seiner Beziehung zur Erde hatte man keine Ahnung.

Ebenso waren die Chinesen schon 1200 Jahre vor Christi Geburt mit den Eigenschaften des Magnets bekannt dergestalt, daß sie die Anwendung der Magnetnadel als Wegweiser benutzten. Sie verdeckten dabei die Nadel und brachten über dem Aufhängungspunkte eine kleine Figur an, welche mit ausgestrecktem Arme nach Süden zeigte. Erst der Leibarzt der Königin Elisabeth von England, Gilbert, entdeckte die Gesetze des Magnetismus, gab bereits Bekanntem eine wissenschaftliche Form und veröffentlichte die Ergebnisse seiner Forschungen 1600 in seinem berühmten Werke „Vom Magneten“. — Gilbert kannte schon ein Verfahren zur Bereitung künstlicher Magnete, doch die Methoden, ohne Anwendung eines Magnets Stahlstäbe magnetisch zu machen, wurden erst um 1750 bekannt und damals noch als große Geheimnisse behandelt. Die Anwendung des Magnetstabes als Kompaß ist in Europa etwa seit 1200 n. Chr. bekannt. Um diese Zeit fabelte man, und diese Fabeln lehrte sogar noch ein Zeitgenosse des Kolumbus, daß die Erde ein einziger großer Magnet sei, dessen Pole Magnetberge bilden, welche die Seeleute mit außerordentlicher Vorsicht meiden mußten, denn schon aus großen Entfernungen zögen diese Magnetberge die Schiffe, wegen des in ihnen enthaltenen Eisens, mit solcher Gewalt an, daß weder Segel noch Ruder mehr Widerstand zu leisten vermöchten. Ein ausgeworfener Anker werde sofort gegen den Magnetberg geschleudert und jetzt werde das Schiff demselben mit solcher Gewalt entgegengetrieben, daß alle eisernen Schiffsteile, Nägel, Klammern, Bolzen aus ihren Holzteilen wichen und gegen den Berg flögen, der deshalb von oben bis unten mit Ankern, Bolzen, Beilen, Ästen, Kanonen, Nägeln und tausend anderen Eisen- und Metallwerkzeugen über und über bedeckt sei. Nur Schiffe, welche keine Eisenteile enthielten, sondern deren sämtliche Verbindungen, Werkzeuge und Waffen aus Messing und Kupfer hergestellt seien, könnten dieser furchtbaren Anziehungskraft enttrinnen.

Diese Fabel wurde erst von Gilbert als solche nachgewiesen. 1543 wurde hierauf von dem Nürnberger Hartmann die Deklination und die Verschiedenheit derselben für verschiedene Orte nachgewiesen, der wahrscheinlich auch das Polaritätsgesetz entdeckte. Der Magnetismus wurde aber als eine Erscheinung angesehen, die ganz außer Zusammenhang mit allen

übrigen Naturkräften stehe und erst Alexander von Humboldt brachte neues Leben in die Forschung. Seit 1828 mit Begründung der magnetischen Stationen sind die Gesetze des Erdmagnetismus durch zahlreiche Beobachtungen und schwierige Berechnungen über die ganze Erde aufgestellt worden.

Besondere Verdienste um den Magnetismus erwarben sich im gegenwärtigen Jahrhundert die Professoren Coulomb, Seebeck, Hansteen und allen Wilhelm Weber und Gauß. Während Coulomb der Theorie vom Magnetismus eine mathematische Grundlage gegeben hatte, machten Gauß und Wilhelm Weber außerordentlich verdient um die Messung galvanischen Ströme. Letzterer führte 1846 für die Bestimmung der Stromstärke das absolute magnetische Maß ein, wie er auch 1852 das absolute elektrodynamische Maßsystem begründete. Diese Maße wurden 1863 durch eine Kommission der British Association for the advancement of science in England eingeführt, und erst durch den Kongreß der Elektriker zu Paris 1881 erlangten sie weitere Verbreitung. In neuester Zeit, wo der Zusammenhang von Magnetismus und Elektrizität klar erkannt ist, haben die glänzendsten Forscher den gewaltigen Naturkräften zugewendet; man braucht nur die Namen Du Bois-Reymond, Helmholtz und Werner Siemens zu nennen, um zu bestätigen, eine wie hohe Stellung die Forschung auf diesen Gebieten heute einnimmt.

28. Magnetische Deklination. Bussole. Kompaß.

Wenn man sich von der Richtung der Magnetnadel eine deutliche Anschauung verschaffen will, so muß man in einem Zimmer, welches am wenigsten Erschütterungen ausgesetzt ist, an der Decke drei Eisenstücke befestigen, daß sie nicht verschiebbar sind, an diesen werden Pendel aufgehängt, welche aus seidenen Fäden mit daran befestigten Bleikugeln hergestelt werden. Man bringt jetzt eine lange Magnetnadel auf einem Brettchen, das rechtwinklig gerichtet ist, so an, daß sie leicht bewegt werden kann und teilt den Kreis, welchen sie beschreibt, so in Grade, daß der durch die Nadel gehende Durchmesser parallel der Seite des Rechtecks ist. Dieser Durchmesser läßt sich leicht in die Ebene des astronomischen Meridians bringen, wonach man die Abweichung in Graden leicht bestimmen kann. Man wird jetzt deutlich bemerken, daß die Achse der freischwebenden Nadel nicht genau nach Süd und Nord zeigt, sondern von der Richtung des astronomischen Meridians nach Osten und Westen in einem bestimmten Winkel abweicht. Diese Abweichung hat an verschiedenen Stellen der Erdober-

fläche ungleiche Werte und wird magnetische Declination genannt. (S. 309, Fig. 176.)

Die Declination beträgt im Durchschnitt für Deutschland 16 Grad; für Berlin und Wien etwa 12 Grad, für Breslau 11 Grad. In Moskau ist die Declination nur 3 Grad und im Ural ist sie 0 Grad.

Will man sich die Richtung der Magnetnadel an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche anschaulich machen, so verzeichnet man auf einer Erd- (Mercator-) Karte ein System von Kurven, die man erhält, indem man von einem beliebigen Punkte der Erdoberfläche, immer der Richtung der Magnetnadel folgend, fortschreitet. Solche Kurven entsprechen den in Fig. 183 dargestellten magnetischen Kurven und heißen magnetische Meridiankurven (s. die nebenst. Karte).

Ein Apparat, welcher dazu dient, die Declination zu messen, heißt eine Declinationsbusssole oder ein Declinatorium. Eine solche, in einfacher Art, stellt die Abbildung 186 dar.

Die Nadel steht auf einer Spitze, welche den Mittelpunkt eines getheilten Horizontalkreises bildet, der um eine senkrecht stehende Achse gedreht werden kann. An einer Seite ist ein Fernrohr angebracht, dessen Achse derjenigen Linie parallel ge-

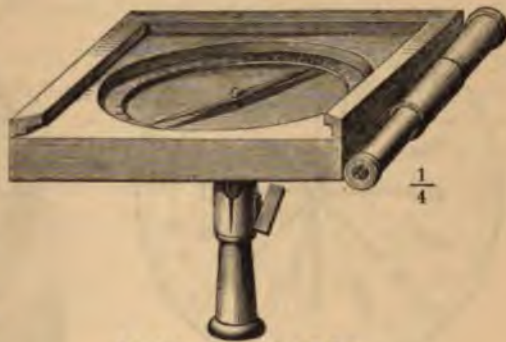


Fig. 186. Declinations-Busssole.

richtet ist, die man sich vom Nullpunkte des getheilten Kreises über den Mittelpunkt bis zum Teilstriche 180 Grad gezogen denken kann.

Dreht man den Horizontalkreis in seiner Ebene, so kommt die Spitze der Magnetnadel stets an andere Teilstriche zu stehen. Wird die Nadel gerade auf den Nullpunkt der Teilung gestellt, so ist die Achse des Fernrohrs mit der Nadel parallel und fällt in den magnetischen Meridian; in jeder anderen Stellung zeigt die Nadel denjenigen Teilstrich des Kreises, welcher die Größe des Winkels angiebt, den die Richtung der Nadel mit der Horizontalprojektion der Fernrohrachse bildet. Nun kann man auf dem Teilkreise ablesen, wie groß der Winkel zwischen dem magnetischen und dem astronomischen Meridian ist. Man kann die Declinations-Busssole auch überhaupt als Winkelmesser benutzen, weil man mit ihr jederzeit den Winkel bestimmen kann, den die Visierlinie des Fernrohrs mit dem magnetischen Meridian macht.

Diejenige Linie, auf welcher die Declination gleich Null ist, wo also die Nadel direkt nach Norden zeigt, heißt Linie ohne Abweichung (Agone).

In beigefügtem Kärtchen ist dieselbe deutlich hervorgehoben und mit \ominus bezeichnet. Sie geht durch den Westen von Neuhoiland, über den Ural durch den geographischen Nordpol zum magnetischen Nordpol N und von hier durch Nordamerika und Brasilien zum Südpol. Diese Linie, auf welcher die Magnetnadel überall direkt nach Norden zeigt, heißt Agone. Linien dagegen, welche Orte von gleicher Deklination verbinden, heißen Isogonen. Aus der Anschauung des Kärtchens ersehen wir, daß Europa, Afrika und der atlantische Ozean eine westliche, Asien, der stille Ozean und Amerika eine östliche Deklination haben. (Die punktierten Linien bezeichnen die westliche, die durchgezogenen die östliche Deklination.)

Die Deklination ist keine unveränderliche. Eine aufmerksame Betrachtung einer freischwebenden Magnetnadel, die so gerichtet ist, wie w

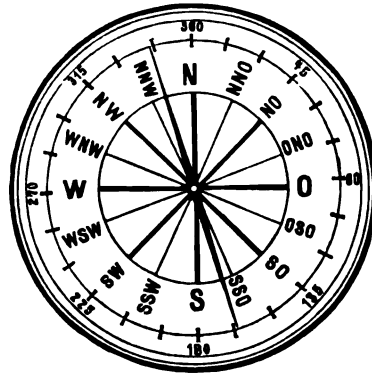


Fig. 187. Kompaß.

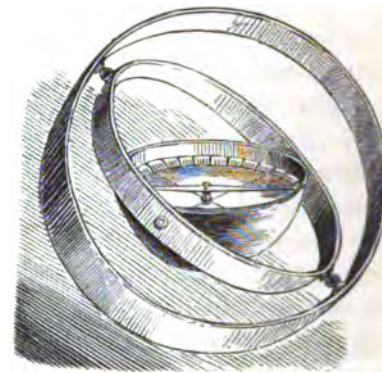


Fig. 188. Seekompaß.

am Eingange dieses Kapitels angegeben haben, zeigt im Laufe des Tages eine Ablenkung. In Paris betrug die Deklination im Jahre 1580 = 11 Grad nach Osten, 1663 = 0 Grad, 1700 = 8 Grad nach Westen und 1811 = 22 Grad nach Westen. Seit dem Jahre 1822 hat die Abweichung nach Westen wieder abgenommen und beträgt gegenwärtig etwa 16 Grad. Diese großen Schwankungen der Magnetnadel, von 21 Grad östlich bis 21 Grad westlich vom astronomischen Meridian, vollziehen sich in etwa 800 Jahren; es ist deshalb sehr wahrscheinlich, daß der geographische Pol von dem magnetischen umkreist wird.

Die Seefahrer bedienen sich zu ihrer Orientierung einer Deklination-Buffsole; wir nennen dieselbe Kompaß (Fig. 187).

Ein einfacher Kompaß besteht aus einem Holz- oder Messinggehäuse, einer Windrose und aus einer Achse, welche lotrecht im Mittelpunkte der Windrose steht und die Magnetnadel trägt.

Ein Seekompaß unterscheidet sich von einem gewöhnlichen Kompaß dadurch, daß die Teilung am Rande einer aus starkem Papier bestehenden Scheibe aufgetragen ist. Diese Scheibe ist auf der Magnetnadel befestigt und dreht sich mit ihr. Der Kompaß wird nun auf dem Schiffe so befestigt, daß seine magnetische Achse mit der Richtung des Rieles parallel steht. Um den Stift möglichst in senkrechter Richtung, trotz aller Schwankungen des Schiffes zu erhalten, bedient man sich der sogenannten Gardanischen Aufhängung, d. h. die die Windrose und Nadel umschließende Büchse, das Gehäuse, ist um zwei zu einander rechtwinklig stehende wagerechte Achsen drehbar (vergl. Fig. 188).

29. Magnetische Inklination.

Nehmen wir einen unmagnetischen Stahlstreifen (Fig. 189) a b und bringen denselben in einer Messingschere so an, daß er genau horizontal gerichtet ist und hängen wir denselben, nachdem er magnetisch gemacht worden ist, frei auf, so senkt sich sein Nordende a und bildet mit der Richtung N S einen Winkel von 66 Grad bzw. 70 Grad. Diese Abweichung einer freischwebenden Magnetnadel von der wagerechten Richtung heißt Inklination (Neigung), und man nennt eine Magnetnadel von der Richtung a b eine Inklinationsnadel.

Der Entdecker der Inklination ist der um 1543 bekannte Bilar an der Sebalduskirche zu Nürnberg, Georg Hartmann.

Die Inklination ist wie die Deklination an den verschiedenen Orten der Erde verschieden. In der Nähe des Äquators zieht sich um die Erde eine unregelmäßige Linie, welche den Äquator zweimal schneidet; diese Linie heißt der magnetische Äquator. Derselbe verbindet die Orte von der Inklination = 0. Entfernt man sich nach Norden oder Süden von ihm, so nimmt die Inklination zu. Über dem nördlichen Magnetpol der Erde, welchen Kapitän Ross 1831 unter 70 Grad 5 Min. nördlicher Breite und 96 Grad 46 Min. westlicher Länge von Greenwich wirklich erreicht hat, stellt sich die Nadel lotrecht, weshalb der Schiffskompaß hier unbrauchbar wird. Dasselbe findet am magnetischen Südpol statt, den Ross' Sohn 1841 entdeckte. Ersterer liegt nördlich von Amerika auf der Westküste von Boothia Felix, letzterer zwischen den Vulkanen Erebus und Terror auf Viktorialand,

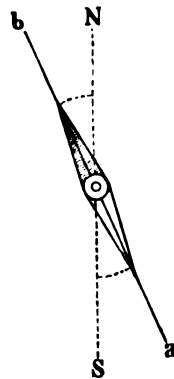


Fig. 189.
Inklinationsnadel.

südlich von Neuholland. Die Verteilung der Inklination wird veranschaulicht durch die beigegebene Inklinationskarte. Auf derselben sind die Orte mit gleicher Inklination durch je eine krumme Linie verbunden. Diese Linien, welche auf der Karte blau erscheinen, heißen Isoklinen.

Zur Bestimmung der Inklination bedient man sich eines Instrumentes, das man Inklinatorium nennt.

Man nimmt einen Stahlstab von etwa einem halben Kilogramm Gewicht, der sehr sorgfältig in Form eines Lineals ohne Hohlkehle gearbeitet ist und härtet denselben gewissenhaft, magnetisiert ihn möglichst stark und hängt ihn an einem starken Bündel Seidenfäden auf, welche vollständig dehnungs-

frei sind (s. Abbildg. 190).

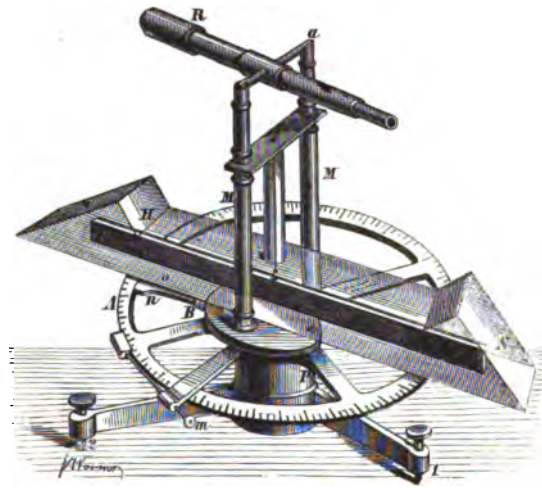


Fig. 190. Inklinatorium.

Die Seidenfäden sind durch eine Glasröhre gezogen, welche oben mit einem Korken geschlossen wird, durch den ein Haken geht, über welchen die Fäden gelegt werden, daß sie frei in der Röhre schweben. Der an dem Ende der Röhre über die Röhre hinausragenden Fäden befestigte Magnetstab wird in einen Glaskasten H N gelegt. Die massive Achse P wird

jetzt auf einen Dreifuß gestellt, der mit den Stellschrauben 1 und 2 versehen ist. Auf ihm ist ein geteilter Kreis von angemessener Größe angebracht, auf welcher der Glaskasten um seinen Mittelpunkt durch die Schraube m bewegt werden kann, indes der Nonius n o die Grade der Bewegung anzeigt. Zwei starke Säulen M M, in deren Querbalken in der Mitte die Glasröhre befestigt ist, tragen ein mit dem Magnetstab korrespondierendes Fernrohr R, welches die Beobachtung in die Ferne trägt.

Durch dieses Instrument läßt sich schon sehr genau bis auf $\frac{1}{10}$ Grad beobachten. Bringt man nun an einem Ende des Magnetstabes, senkrecht auf seine Längsrichtung, einen Spiegel an und beobachtet man mittels eines Fernrohres, das feststeht und mit einem Fadentrenner versehen ist, eine dem Spiegel gegenüber, möglichst entfernt, angebrachte Skala, so kann man einzelne Sekunden ablesen. Gauß ist

Göttingen ließ ein solches Inklinatorium anfertigen, dessen Stahlstab $12\frac{1}{2}$ kg wog.

Das Inklinatorium legt dem Forscher aber eine große mechanische Schwierigkeit in den Weg. Da nämlich die Nadel auf einer Achse ruhen muß, so ist Reibung nicht zu vermeiden. Die Nadel selbst muß auf das Allergenauenste gearbeitet sein, um als vollkommen gleicharmiger Hebel zu wirken. Deshalb bedient man sich lieber des Instruments, das Fig. 191 darstellt. Dasselbe ist bedeutend vollkommener, als das vorhin beschriebene. Man sieht in einem schräg stehenden Kreise A die Nadel n s frei schweben. B ist ein großes Charnier, unten, in einem Viertel seines Umfanges geteilt. Dieses Charnier kann man durch die Schraube l so stellen, daß es den Kreis A mit der Nadel in jeder Richtung, von der senkrechten bis zur wagerechten, festhält. Steht der Kreis horizontal, so ist das Instrument ein Deklinatorium, steht er vertikal, so ist es ein Inklinatorium. Der dritte Kreis C dient dazu, um eine horizontale Drehung zu messen. Das Instrument ruht auf einem Fuße, der in drei Stellschrauben ausläuft.

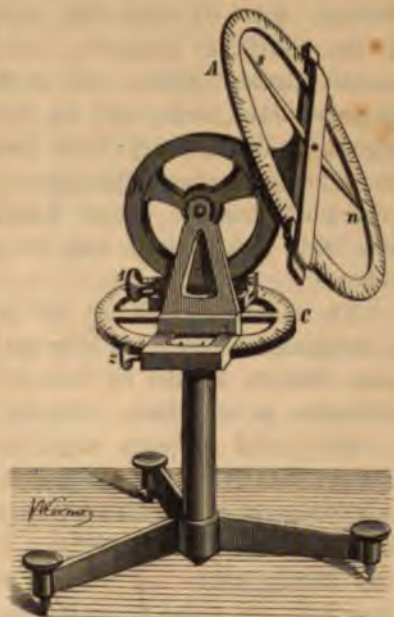


Fig. 191.

30. Intensität des Erdmagnetismus.

Der magnetische Südpol, den James Clark Ross am 28. Januar 1841 entdeckte, liegt dem von John Ross (Vater) zehn Jahre früher entdeckten Nordpol keinesweges diametral gegenüber, sondern so weit abwärts gerückt, daß die Linie, welche beide Pole verbindet, nicht durch den Mittelpunkt der Erde geht, sondern von dem größten Kreise, den man um die Erde durch beide Magnetpole ziehen kann, eine Sehne von 160 Graden abschneidet. Betrüge dieser Abschnitt 180 Grade, so lägen die Pole einander gegenüber und dann wären beide Abschnitte des Kreises gleich und die gedachte Sehne

wäre ein Durchmesser. Wäre nun die Verteilung des Magnetismus an der Erde regelmäßig, so würde man mit Bestimmtheit voraussetzen können, wie die Magnetnadel auf jedem Punkte der Erde zeigen müsse, und man erhielte gerade so schöne kreisförmige magnetische, wie man geographische Meridiane hat. Es würde sich dann ein von beiden Polen gleichweit entfernter Meridian finden, auf welchem die Inklinations-Nadel überaus horizontal stehen würde, und die Intensität (die Stärke der Neigung bzw. Richtung) müßte auf dieser Linie überall dieselbe und zugleich die geringste sein. Eine Inklinations- (Neigungs-) oder eine Deklinations- (Abweichungs-) Nadel würde auf der ganzen Ausdehnung dieser Linie in gleicher Weise gleich viele und zugleich auch die geringste Anzahl von Schwingungen machen.

Um nun festzustellen, ob das so sei oder ob die Stärke der Neigung an verschiedenen Orten der Erde verschieden sei, gab Borda zuerst eine genaue Methode an, um die Intensität des Magnetismus verschiedener Orte miteinander zu vergleichen. Dieselbe gründet sich auf das Pendel.

Ein Pendel in seiner einfachsten Form ist ein an einem Faden aufgehängter schwerer Körper. Denkt man das Gewicht des Fadens hinweg und den angehängten Körper als ein einziges Massenteilchen, so heißt das Pendel ein einfaches oder mathematisches. Bringt man ein Pendel aus der Lage seines Gleichgewichts und überläßt es sich dann selbst, so zwingt es durch die Schwerkraft, sich wieder in die Gleichgewichtslage zu versetzen. Das Pendel kehrt also um und sinkt in der Richtung eines Kreisbogens mit zunehmender Geschwindigkeit herab, geht aber, infolge des Beharrungsvermögens, über den Punkt der Gleichgewichtslage hinaus und steigt mit abnehmender Geschwindigkeit einen gleich großen Bogen hinan, in dessen äußerstem Punkte seine Geschwindigkeit durch die Einwirkung der Schwerkraft gleich Null wird. Eine solche Bewegung des Pendels von seinem äußersten Punkte rechts nach seinem äußersten Punkte links, heißt eine Schwingung. Wenn dem äußersten Punkte bildet der Faden in seiner Gleichgewichtslage einen Winkel; derselbe heißt die Schwingungsweite oder Amplitude. In seiner zweiten Schwingung sucht das Pendel die äußersten Punkte wieder zu erreichen, wird aber durch die fortwährend wirkende Anziehungskraft der Erde und durch die Reibung an den Luftteilchen gehindert; sein Weg verkürzt sich um etwas und dies geschieht fortschreitend mit jeder Schwingung lange, bis der Faden wieder im Gleichgewichte sich befindet. Überschreitet die Schwingungsweiten die Entfernung von 2—3 Grad nicht, so ist der bogenförmige Weg, den der Faden bis zur Gleichgewichtslage zurückzulegen hat, beinahe einer horizontalen Linie gleichzuachten; die Anziehungs-

Reibungskraft stehen alsdann in demselben Verhältnisse wie die zu durchlaufenden Wege und der Faden braucht, um wieder in die Gleichgewichtslage zu kommen, dieselbe Zeit, gleichviel ob sein Weg 2 Grad oder 2 Bogen-Sekunden beträgt. Es sind also die Schwingungen des Pendels bei kleinen Schwingungsweiten alle von gleicher Dauer; man sagt dann: sie sind isochron.

Um nun nach der Borda'schen Methode zu beobachten, nimmt man eine möglichst kräftige Magnetenadel von gut gehärtetem Stahl und hängt dieselbe an einem ungedrehten Seidenfaden auf. Nachdem sie die Störungen, welche der Anstoß ihr gegeben, überwunden hat und nun ganz ruhige Schwingungen macht, beginnt man die Menge der Schwingungen, welche isochron sind, zu zählen. Nehmen wir an, das Pendel mache jetzt in 5 Minuten stets 140 Schwingungen und täglich um dieselbe Zeit an demselben Orte wiederholte Versuche ergeben stets diese Anzahl, so haben wir ein Maß für die Stärke, mit welcher der Erdmagnetismus auf die Nadel an diesem Orte einwirkt.

Verlegen wir die Beobachtung jetzt an einen anderen Ort, an dem in 5 Minuten 125 Schwingungen erfolgen, so erfahren wir, daß magnetische Intensität an diesem Orte geringer ist, als an dem vorigen; beobachten wir an einem dritten Orte und die Zahl der Schwingungen steigt hier in gleicher Zeit auf 150, so haben wir einen Ort von größerer magnetischer Intensität, als der erste war, aufgefunden.

Alexander von Humboldt hat solche Pendelversuche auf seiner großen Reise in Amerika am Anfange dieses Jahrhunderts vorgenommen und dieselben auf einer späteren Reise durch Frankreich, Stalien und Deutschland wiederholt. Auf dem magnetischen Aequator im nördlichen Peru setzte er die Zahl der Schwingungen, welche sich dort ergab, als Einheit fest für alle anderen Messungen ähnlicher Art und bezeichnete dieselbe mit $1,000$, gleichgültig wie viel Schwingungen es überhaupt gewesen. Wären es beispielsweise 130 in 5 Minuten gewesen und man fände an einem anderen Orte, daß 260 in 5 Minuten erfolgten, so würde man sagen: die Intensität dieses Ortes ist gleich $2,000$.

Die Schwingungsmethode giebt aber nur die Verhältniszahlen der magnetischen Erdkraft für verschiedene Orte, ohne sie auf ein absolutes Maß zurückzuführen. Außerdem ist man auch nicht immer sicher, ob der magnetische Zustand der Nadel selbst sich nicht geändert habe und diese Veränderung den Veränderungen der erdmagnetischen Kraft hinzugezählt worden sei. Diese Mängel hob Gauß durch seine Methode der Intensitätsbestimmung auf. Er wandte zu seinen Schwingungsversuchen, die er zur Bestimmung der erdmagnetischen Kraft anstellte, das Magnetometer an.

Er ersetzte die Magnetnadel, welche sich auf einer Spitze frei bewe durch Magnetstäbe, welche er an einem Bündel ungedrehter Seidenfäden aufhing, und brachte an denselben die Poggendorff'sche Spiegelvorrichtung an, entweder an einem Ende der Stäbe oder an der Aufhängevorrichtung. Dem Spiegel gegenüber, dessen Ebene rechtwinklig auf der magnetischen Achse der Stäbe stehen kann, wird in einer Entfernung von 1,5—5 ein Theodolit aufgestellt, dessen optische Fernrohrachse etwas höher als der Magnetstab und so abwärts geneigt ist, daß sie die Mitte des Spiegels trifft. Am Stativ des Theodolits ist eine 1 m lange horizontale Skala befestigt, welche in Millimeter geteilt ist. Diese Skala läuft nahe parallel mit dem horizontalen Durchmesser des Spiegels. Derjenige Punkt der Skala nun, welcher mit der optischen Achse des Fernrohrs in einer Vertikalebene liegt, wird durch einen feinen Draht von dunkler Farbe bezeichnet, der vor der Mitte des Objectes mittels eines Messingringes so angebracht ist, daß er durch ein unten angehängtes kleines Gewicht straff gezogen werden kann. Die Skala selbst ist in solcher Höhe befestigt, daß das Bild von einem Teile derselben durch das Fernrohr im Spiegel gesehen werden kann. Das Magnetometer wird nun so aufgestellt, daß die Vertikalebene der optischen Achse des Fernrohrs mit dem vorläufig annähernd genau bestimmten magnetischen Meridian zusammenfällt. Fällt nun die Achse des Magnets wirklich genau mit der Vertikalebene des Fernrohrs zusammen, erscheint das Bild des vor der Mitte der Skala hängenden Drahtes in der Achse des Fernrohrs; weicht aber der Magnetstab aus dieser Ebene ab, erscheinen andere Teilstriche am vertikalen Faden des Fadenkreuzes im Fernrohr und man kann die geringste Abweichung mit Sicherheit erkennen und auch messen. Das Magnetometer ist aber nur dann zuverlässig, wenn die Ebene des Spiegels genau rechtwinklig auf der magnetischen Achse des Stabes steht, und da dies, mit absoluter Genauigkeit, kaum zu erreichen ist, bleibt auch bei der Gauß'schen Methode noch einiges zu wünschen übrig.

W. Weber hat einen sehr einfachen Apparat angegeben, um die Intensität des Erdmagnetismus nach der Gauß'schen Methode zu bestimmen. Der denelben, welche sich einen Magnetometer mit allem Zubehör nicht anzuschaffen vermögen, sehr zu empfehlen ist. Ein Magnetstab, möglichst genau als Parallelepiped mit quadratischem oder fast quadratischem Querschnitt gearbeitet, trägt im Mittelpunkt der oberen Fläche ein Loch, welches mit einem Schraubengewinde versehen ist, damit man ein Messingöhr einschrauben kann. Das Trägheitsmoment dieses Messingöhrs ist so gering, daß es gegen das Trägheitsmoment des Magnetstabes selbst, welches aus dessen Dimensionen und seinem Gewichte leicht berechnet werden kann, vernachlässigt werden kann. Dieser Magnetstab wird an einem Bündel Seiden-

fäden in einem mit Glaswänden versehenen Kästchen aufgehängt, das oben durch einen hölzernen Deckel, durch dessen Mitte ein hölzernes Rohr mit Aufhängevorrichtung geht, geschlossen ist. Der Magnetstab setzt nun einer jeden beschleunigenden Kraft, die ihn um seine vertikale Achse zu drehen strebt, einen ebenso großen Widerstand entgegen, wie eine träge Masse von 1243,86 g, die von der Drehungsachse nur 1 cm entfernt ist, und man hat die magnetische Kraft, welche den Stab beschleunigt, auf ein bekanntes Maß zurückgeführt.

Die horizontale Intensität des Erdmagnetismus betrug für Berlin 1845, die horizontale Intensität des Erdmagnetismus $T = 5,165$ angenommen, $T 1,780$ d. h. der Erdmagnetismus wird einen Magnetstab, welcher rechtwinklig zum magnetischen Meridian steht und in welchem die Einheit des freien Magnetismus entwickelt ist, mit einer Kraft drehen, welche gleich ist dem statischen Momente von $5,165 \text{ g} \times 1,780$.

31. Variationen der magnetischen Elemente.

Aus den vorigen Kapiteln geht klar hervor, daß die Lage des magnetischen Meridians fortwährenden Schwankungen unterworfen ist. Diese Schwankungen sind bald regelmäßig und periodisch, bald zufällig und plötzlich. Die ersteren nennt man Variationen, die letzteren heißen Störungen. Die Variationen geben sich kund als kleine Schwankungen in der Richtung der Magnetnadel von nur wenigen Bogenminuten, die sich, namentlich während einer täglichen Periode in gleicher Weise wiederholen oder eine lange Reihe von Jahren hindurch gleichmäßig fortschreitend, allmählich zu bedeutender Größe anwachsen; die Störungen dagegen, mit elektrischen Strömungen im Innern der Erde zusammenhängend, treten plötzlich auf, gehen schnell vorüber und treten häufig gleichzeitig mit Nordlichterscheinungen auf. Der Gang der Variationen ist für Norddeutschland folgender: Während der Nacht ist die Nadel fast stationär. Wenn die Sonne aufgeht, fängt sich das Nordende der Nadel an nach Westen zu drehen. Diese westliche Ablenkung erreicht gegen 5 Uhr nachmittags ihren Höhepunkt und die Nadel geht dann von 9—11 Uhr abends wieder nach Osten zurück. Die Amplitude (s. S. 328) der täglichen Variationen ist veränderlich; sie ist am größten in den Sommermonaten. In Deutschland beträgt ihr Mittelwert vom April bis zum September 13—15 Minuten, vom Oktober bis zum März dagegen nur 8—10 Minuten. Sie ist an manchen Tagen 25 Minuten, an manchen dagegen nur 5—6 Minuten groß. Südlich vom magnetischen Äquator finden die täglichen Variationen in



entgegengesetzter Richtung statt, d. h. wenn auf der nördlichen Halbkugel das Nordende der Nadel sich nach Osten bewegt, so hat auf der südlichen Halbkugel das Südende der Nadel eine westliche Bewegung. Das Gauß'sche Magnetometer ist für die genaue Beobachtung dieser täglichen Variationen von großer Wichtigkeit.

Die westliche Deklination der Magnetnadel betrug 1871 in Berlin 12 Grad 43 Minuten und nimmt jährlich um etwa 8 Minuten ab, so daß sie gegenwärtig im Jahre 1887 etwa 10 Grad 27 Minuten beträgt. Im Laufe des vorigen Jahrhunderts war sie im Zunehmen begriffen und erreichte mit 18 Grad im Jahre 1805 ihren größten Wert. Geht die gegenwärtige Abnahme in demselben Maße weiter, so kann sie einst gleich Null werden und möglicherweise in eine östliche Abweichung übergehen. Die magnetische Inklination und Intensität sind ähnlichen Änderungen unterworfen. Um nun auf eine ziemlich einfache Weise kleine Änderungen in

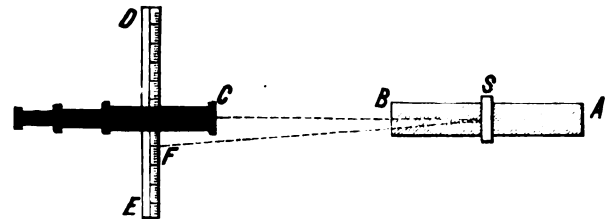


Fig. 192. Spiegelablese (Magnetnadel).

Stände der Magnetnadel festzustellen, bedient man sich am besten der Methode der Spiegelablese, welche von Boggendorff 1826 angegeben worden ist.

An dem Magnetstab AB (Fig. 192) ist ein Spiegel angebracht bei S , auf den das Fernrohr C gerichtet ist. An dem Fernrohr ist eine in Millimeter geteilte Skala DE horizontal so aufgestellt, daß der Beobachter im Spiegel ihr Bild durch das Fernrohr erblickt. Bei normaler Lage des Magnetstabes AB fällt der Nullpunkt der Skala genau mit einem Faden zusammen, der im Okularglase des Fernrohrs vertikal angebracht ist. Wird aber der Magnetstab und dadurch auch der Spiegel S um einen kleinen Winkel CSF gedreht, so ändert sich im Fernrohr die Lage des Spiegelbildes und der vertikale Faden zeigt jetzt einen andern Strich auf der Skala F an. Nun ist nach optischen Gesetzen der Winkel CSF gleich dem doppelten Drehungswinkel des Spiegels. Aus der Größe der Verschiebung CF und der bekannten Entfernung SC kann aber die Größe dieses Winkels leicht berechnet werden und es ist nun leicht, ein für alle Male zu bestimmen, welcher Skalenteil dem Drehungswinkel des Spiegels entspricht.

Die Regelmäßigkeit der täglichen Variationen wird oft plötzlich durch verschiedene Einflüsse gestört, durch welche die Magnetnadel oft in solche unregelmäßige Schwankungen versetzt wird, daß ihre Amplitude über einen Grad hinaus steigt. Unter diesen Einflüssen ist der des Nordlichts am größten. Sobald ein Nordlicht am Himmel aufsteigt, ist die Magnetnadel in beständiger Bewegung und erleidet dann eine bedeutende Ablenkung. Diese Bewegung der Nadel findet aber nicht bloß an den Orten statt, an welchen das Nordlicht sichtbar wird, sondern sie ist auch bemerkbar an weit von diesen entfernten Orten, an denen man nicht eine Spur des Nordlichts sieht. Selbstverständlich sind die Schwankungen um so größer, je näher man dieser Naturerscheinung ist und je stärker dieselbe in Erscheinung tritt. Auch Erdbeben und vulkanische Ausbrüche scheinen auf die Magnetnadel Einwirkungen auszuüben und manchmal eine dauernde Folge ihrer Lage hervorzubringen. D. Bernouilli beobachtete im Jahre 1767, daß die Inklination während eines Erdbebens um $\frac{1}{2}$ Grad abnahm und Vater de la Torre bemerkte bei einem Ausbruche des Vesuv, daß sich auch die Declination beträchtlich veränderte.

Der Erdmagnetismus übt auch auf das Eisen einen bedeutenden Einfluß aus. Eine Stange aus weichem Eisen in die Richtung der Inklinationsnadel gehalten, wird durch den Einfluß des Erdmagnetismus magnetisch, und zwar wird ihr unteres Ende ein Nordpol und ihr oberes Ende ein Südpol. Kehrt man den Stab um, so kehren sich auch sofort seine Pole um. Dieselbe Wirkung, nur einiges schwächer, übt der Erdmagnetismus auf jede vertikal hängende Eisenstange aus, bezw. auf jede Eisenstange, die mit der Inklinationsnadel keinen rechten Winkel macht. Setzt man Eisenstäbe Jahre hindurch in unveränderter Weise dem magnetisch verteilenden Einflusse der Erde aus, so werden sie oft dauernd magnetisch. Hat man dies mit Stahlstäben gethan, so genügen einige Hammerschläge auf dieselben, um sie in dauernde Magnete zu verwandeln. Es ist daher eine alte Erfahrung, daß fast alle Werkzeuge in einer Schlosserei mehr oder minder starke Magnete sind, vielleicht weil durch den Schlag oder Stoß die Koerzitivkraft überwunden wird, durch welche der Stahl der Magnetisierung durch den Erdmagnetismus Widerstand leistet.

32. Das Polarlicht (Nordlicht).

Da diese prachtvolle Naturerscheinung in unseren Breiten durchaus nicht häufig ist und dieselbe sehr verschiedenartig auftritt, sodaß ein Gesamtbild von ihr kaum entrollt werden kann, zumal die letzten ausgezeichneten Polarlichter in Deutschland in folgenden Zeiträumen beobachtet wurden:

7. Januar 1831 — 18. Oktober 1836, 25. Oktober 1870 — 4. Februar 1872, so geben wir zuerst ein Gesamtbild derselben nach den im Oktober 1872 auf den Inseln von Spitzbergen aufgezeichneten Beobachtungen des Botanikers F. R. Kjellmann, welche er zusammen mit Professor Nordenskjöld angestellt hat. In seinem Tagebuche berichtet er darüber folgendermaßen:

„Nordenskjöld und ich gingen eines Tages bis an den Rand des Eises hinaus, um den Anblick der tanzenden Wellen und der ruhig umher schwimmenden Eisblöcke aus der Nähe zu genießen. Unser Weg führte über das Eis. Als wir auf der äußersten Spitze angekommen waren, warfen wir uns nieder, um auszuruhen und unsere Umgebung mit Mühe zu betrachten. Es war ein großartiger Anblick: der ganze südwestliche Theil des Himmelsgewölbes war durch den Vollmond erhellt. In dem Eismeeere, das von ihm ausging, schwammen einige langgestreckte, schwebende Wolken. Genau im Süden und dicht über dem Horizonte war ein schwacher rötlicher Schein zu sehen, der klar und scharf sich von dem weißen Mondlichte abzeichnete. Dort war, als die Polarnacht begann, die Sonne untergegangen und was wir erblickten, war der letzte Schimmer ihres Lichtes. Im Südosten schossen einige vereinzelt Lichtstrahlen, deren Stärke, Farbe und Richtung sich von Augenblick zu Augenblick veränderten, zum Zenith auf. Es war ein Nordlicht in der hier gewöhnlichen Form. Über unserem Haupte glänzte der Polarstern und überall am Himmel funkelten unzählige Sterne mit bald stärkerem, bald schwächerem, verschieden gefärbtem Lichte; auf dem nördlichen Horizonte aber lagerte das undurchdringliche Dunkel der Polarnacht. Und unter diesem glanzvollen Himmel das weite, im Mondlicht leuchtende Meer, die weiße Eisfläche der Russenbai (80 Grad nördl. Breite), von der die drei Schiffe (die Brigg „Gladstone“, der Dampfer „Polhem“ und der Dampfer „Dunkel Adam“) sich durch abheben, die finsternen, steilen Felswände, die sie umgeben, auf der Lande das kleine Haus, aus dessen Fenstern das rote Licht der Lampe strahlt, das sind die Hauptpunkte des Panoramas. Man kann es kaum begreifen, daß man sich in der Mittagsstunde befindet; es ist doch so gewiß wie Abend ringsum, wie ein ruhiger Winterabend auf dem Lande. Eine Grabesstille liegt über der ganzen Gegend, nur von Zeit zu Zeit unterbricht ein leise schnarrender Ton das tiefe Schweigen; er kommt vom Rande des Eises her und wird durch das Aneinanderreiben der Eisblöcke hervorgerufen, welche die Brandung hin und her bewegt. —

„Aber wenn der Mond nicht am Himmel stand, dann lag über die Gegend eine Finsterniß, daß trotz der weißen Schneedecke die Hand nicht in den Augen nicht zu erkennen war. Wie ein Alpdruck lastete sie auf

Gemütern, und würde kaum zu ertragen gewesen sein, wenn nicht das Nordlicht fast täglich die Schwärze der Polarnacht auf einige Zeit gebannt hätte. Es zeigte sich zu allen Stunden und aus allen Himmelsgegenden, jedoch in den meisten Fällen im Süden. Sowohl seine Stärke, wie sein Verlauf waren sehr verschieden, und das in den Lehrbüchern aufgeführte, schematische dunkle Kreissegment war nur in den wenigsten Fällen vorhanden. Gewöhnlich trat es in folgender Form auf, wie sie Weyprecht so anschaulich schildert:

„Eine lichte Wolkenbank steht am Horizonte, deren obere Ränder schwach beleuchtet sind. Von da aus entwickelt sich ein Lichtband, das sich



Fig. 193. Nordlicht.

allmählich verbreitert, an Lichtstärke zunimmt und gegen den Scheitelpunkt hebt. In stets wechselndem Spiele ändert das Band langsam, aber ununterbrochen Ort und Gestalt. Es ist breit und sein kräftiges Weißgrün hebt sich wunderbar schön gegen den dunklen Hintergrund ab. Bald ist es in vielen Windungen in sich selbst verschlungen; aber die innerste ist noch immer deutlich durch das Licht der anderen hindurch zu erkennen. Lichtwellen huschen fortwährend durch das Band in seiner ganzen Ausdehnung, laufen bald von rechts nach links, bald von links nach rechts, sich scheinbar fort und fort kreuzend. Jetzt rollt es sich wieder seiner ganzen Länge nach auf und legt sich in graziöse Falten. Fast scheint es, als treibe der Wind hoch oben in der Luft sein geheimnisvolles Spiel mit ihm, mit dem breiten, flammenden Wimpel, dessen Ende sich dort in der Ferne am Horizonte

verliert. Das Licht wird immer stärker, die Lichtwellen folgen sich rasch in dem oberen und unteren Rande des Bandes treten die Regenbogenfarben hervor, das glänzende, zarte Weiß der Mitte ist unten von einem schmalen Streifen rot, oben grün eingefasst. Aus einem Bande sind mittlerweile zwei geworden; das obere nähert sich immer mehr dem Zenith. Nun beginnen Strahlen daraus hervorzuschließen, und zwar in der Richtung nach dem Orte in der Nähe des Scheitelpunktes, gegen den der Südpol der freien Magnetnadel zeigt. Das Band hat ihn nahezu erreicht, und es beginnt nun für kurze Zeit ein prachtvolles Strahlenspiel, dessen Mittelpunkt der magnetische Pol ist, ein Zeichen des innigen Zusammenhangs der ganzen Erscheinung mit den geheimnißvollen magnetischen Kräften unserer Erde. Um den Pol herum flimmern und flackern nach allen Seiten die kurzen Strahlen, an allen Rändern sind die Regenbogenfarben zu sehen, kürzere oder längere Strahlen wechseln miteinander ab, während Lichtwellen in raschem Wechsel den Mittelpunkt umkreisen. Das ist die Nordlichtkrone, die fast immer auftritt, wenn ein Band über den magnetischen Pol geht.

„Nur kurze Zeit währt diese prächtige Erscheinung. Das nun auf der nördlichen Seite des Firmaments stehende Band senkt sich nach und nach und verblaßt, oder kehrt wieder nach Süden zurück, um das geschilderte Spiel von neuem zu beginnen.

„So geht es stundenlang fort; ununterbrochen wechselt das Nordlicht Ort, Form und Stärke; oft ist es auf kurze Zeit ganz verschwunden, plötzlich wieder da zu sein, ohne daß der Beobachter darüber klar werden kann, wie es gegangen und wie es gekommen ist. Es ist einfach da.“

„Der Verlauf der regelmäßigen und ruhigen, durch ihre Helligkeit auszeichnenden Nordlichter, bei welchen man im Freien ohne große Anstrengung lesen kann, ist ein etwas anderer.

„Im Süden, tief im Horizonte, erscheint zuerst ein matter Lichtbogen. Er schiebt sich aus, als sei er die obere Grenze eines dunklen Kreisabschnittes, allein die Sterne, die in ungetrübtem Glanze daraus hervorblicken, beweisen, daß das Dürster des Kreisabschnittes nur eine durch den Gegensatz hervorgerufene Täuschung ist. Langsam nimmt der Bogen an Stärke zu und hebt sich gegen den Zenith; er ist vollkommen regelmäßig, seine beiden Enden berühren fast den Horizont und schreiten gegen Ost und West vor, je mehr er sich hebt. Es sind keine Strahlen darin zu erkennen, denn die ganze besteht nur aus einer ziemlich gleichförmigen Lichtmasse von hellerlicher, zarter Färbung; es ist ein durchsichtiges Weiß mit leicht grünlicher Betönung, dem Weißgrün der jungen Pflanzen nicht unähnlich, die im Sommerlicht im Dunkeln keimen. Das Licht des Mondes erscheint schmutzig

gelb neben dieser zarten, dem Auge wohlthuenden Farbe, die mit Worten nicht zu beschreiben ist, und welche die Natur einzig den Polargegenden, den Stiefkindern der Schöpfung, als Entschädigung für das im Winter mangelnde Sonnenlicht gegeben zu haben scheint. Der Bogen erreicht fast die dreifache Breite des Regenbogens und seine weit schärfer als bei diesem begrenzten Ränder stechen grell gegen das tiefe Dunkel des arktischen Nachthimmels ab. Die Sterne aber durchschimmern sein Licht in ungetrübtem Glanze. Höher und höher steigt der Bogen; in seiner ganzen Erscheinung liegt eine nicht zu störende Ruhe; nur hier und da wälzt sich langsam eine Lichtwelle von der einen Seite zur anderen hinüber. Über dem Eise beginnt es heller zu werden, schon sind einzelne, fernere Eisgruppen zu erkennen. Noch steht er entfernt vom Zenith und schon trennt sich ein zweiter Bogen von dem dunklen Kreisabschnitt im Süden ab, dem nach und nach andere folgen. Alle steigen dem Scheitelpunkte entgegen. Jetzt hat ihn der erste schon überschritten, senkt sich langsam gegen den nördlichen Horizont herab und verliert allmählich an Lichtstärke. Über das ganze Firmament sind nun Lichtbogen gespannt; sieben stehen zu gleicher Zeit am Himmel, aber je tiefer sie gegen Norden herabgehen, desto mehr erblaffen sie und verschwinden zuletzt vollständig.“ —

Die Nordlichter werden am häufigsten und intensivsten innerhalb einer ovalen Zone um den geographischen und den magnetischen Nordpol gesehen. Die Südgrenze dieser Maximalzone reicht in Nordamerika, in Folge der Nähe des magnetischen Nordpols, bis zum 56. Breitengrade. Sie zieht sich hin über die Hudsonsbai, Labrador, das südliche Grönland, Island, Finnmarken, das Karische Meer und Nordibirien bis nördlich von der Beringstraße. Um den Südpol liegt die Grenze südlich von Australien unter dem 75. Grade südlicher Breite. Weil aber die magnetischen Pole veränderlich sind, muß auch der Ort, den man als den eigentlichen Sitz der Nordlichter ansehen muß, ebenfalls veränderlich sein.

Die Nordlichter sind im Sommer häufiger als im Winter, besonders häufig aber zeigen sie sich im Oktober, und demnächst im März und im April. Neuere Beobachtungen haben festgestellt, daß ihre Erscheinung eine periodische ist. Schon der berühmte norwegische Physiker Hansteen stellte Untersuchungen über ihre Periodizität an, nach welchen seit dem Jahre 502 vor Christi Geburt 24 Perioden von 97 jähriger Dauer sollen stattgefunden haben. Gegenwärtig ist es nicht mehr zu bezweifeln, daß ein Maximum der Nordlichter alle 11 Jahre auftritt, in ganz genauer Übereinstimmung mit der Periode der Sonnenflecken. Letztere treten in der Zeit von 7 bis 15 Jahren, im Mittel also jedes 11. Jahr in ihrer größten Ausdehnung mit der größten Bildung von Sonnenfaceln auf, und die damit verbundene

Ausdehnung glühender Gase in der Umgebung des Sonnenkörpers auf die Richtung und Intensität der magnetischen Kraft der Erde und mit dieser zusammenhängende Entstehung der Polarlichter einen deutlichen nachweisbaren Einfluß aus. Professor Nordenfjöld sagt über die ihm während der Überwinterung an der Nordküste von Asien beobachteten Nordlichter Folgendes*):

„Man sah hier (westlich von der Beringstraße) niemals die prachtvollen Strahlenbänder und Strahldraperieen, an welche wir in Skandinavien gewöhnt sind, sondern nur mondhofartige Lichtbogen, die Stunde für Stunde und Tag für Tag, in ihrer Lage unverändert waren. Wenn das Himmelsgewölbe nicht von Wolken bedeckt war, und wenn der schwache Schein des Nordlichts nicht durch die Strahlen der Sonne oder des Vollmonds verdunkelt wurde, fingen diese Bogen gewöhnlich an, sich zwischen 8 und 9 Uhr abends zu zeigen und waren dann ununterbrochen sichtbar; in der Mitte des Winters bis 6 Uhr und später im Jahre bis 3 Uhr morgens. Hieraus geht hervor, daß das Nordlicht auch während eines Minimumjahres (1878 bis 79) ein permanentes Naturphänomen ist. Die unveränderliche Lage der Bogen hat ferner eine Menge Messungen ihrer Höhe ermöglicht, woraus ich schließen zu können glaubte, daß unser Erdball auch während eines Nordlicht-Minimum-Jahres mit einem beinahe beständigen einfachen, doppelten oder vielfachen Lichtkranz geschmückt ist, dessen innere Kante gewöhnlich eine Höhe über der Erdoberfläche von 200 km hat und deren Mitte, der „Nordlichtpol“, etwas unter der Erdoberfläche, ein Stück nördlich vom magnetischen Pol belegen ist, und welcher, mit einem Querschnitt von 2000 km, sich in einer Ebene rechtwinklig gegen den Erdradius ausbreitet, der den Mittelpunkt des Kreises trifft.

Ich habe diesen Lichtkranz die Nordlichtglorie benannt, und zwar auf Grund seiner Form und seiner Ähnlichkeit mit der Strahlenkrone des Haupt eines Heiligen. Derselbe steht in demselben Verhältnis zu den Strahlen- und Draperie-Nordlicht Skandinaviens, wie die Passat- und Monsunwinde im Süden zu den unregelmäßigen Winden und Stürmen des Nordens. Das Licht des Kranzes selbst ist niemals in Strahlen geteilt, sondern dem Lichte ähnlich, das durch eine mattgeschliffene Glasscheibe fällt. Wenn das Nordlicht stärker wird, so verändert sich der Umfang des Lichtkranzes; man sieht doppelte und mehrfache Bogen, sehr häufig ungeordnet in der gleichen Ebene belegen und mit einem gemeinsamen Mittelpunkte, zwischen den verschiedenen Bogen findet ein Strahlenwerfen statt. Selten findet man Bogen, die unregelmäßig zu einander liegen und einander durchkreuzen.

*) Die Umseglung Asiens und Europas auf der Vega 1878—1880.

Das Gesichtsbereich für den gewöhnlichen Bogen ist durch zwei Kreise begrenzt, die auf der Erdoberfläche gezogen sind, mit dem Nordlichtpol als Mitte und mit Radien auf der Rundung der Erde von 8 Grad und 28 Grad gemessen. Er berührt nur unbedeutende Länder (das nördlichste Scandinavien, Island, das dänische Grönland), die von Völkern europäischen Ursprungs bewohnt sind, und auch mitten in diesem Gebiete giebt



Fig. 194. Nordlicht vom 3. März.

es einen über das mittlere Grönland, das südliche Spitzbergen und Franz-Josef-Land gehenden Gürtel, wo der gewöhnliche Bogen nur einen schwachen, sehr ausgebreiteten Lichtschleier im Zenith bildet, der sich vielleicht nur dadurch offenbart, daß das Dunkel des Winters hier bedeutend geringer ist. Dieser Gürtel unterscheidet die Gegenden, wo sich die Lichtbogen vorzugs-



Fig. 195. Nordlicht vom 20. März.

weise nach Süden zeigen, von denjenigen, wo sie vorzugsweise am nördlichen Horizonte auftreten. In dem Gebiete nächst dem Nordlichtpol sieht man die kleineren, im mittleren Scandinavien nur die größeren, unregelmäßiger gebildeten Lichtkränze. In der letztgenannten Gegend aber, ebenso wie im südlichen britischen Amerika, werden statt dessen die Nordlichtstürme, die Strahlen- und Draperie-Nordlichter, allgemein, und diese scheinen der Erdoberfläche näher zu liegen als die Bogennordlichter. Die allerneuesten Polarexpeditionen haben so nahe dem Nordlichtpol überwintert,

daß der gewöhnliche Nordlichtbogen unter oder ganz nahe dem Horizont gelegen hat, und da das Strahlenmordlicht innerhalb dieses Kreises selten vorzukommen scheint, so ist es leicht erklärlich, weshalb bei diesen Expeditionen die Winternacht so selten durch Nordlicht erhellt worden ist." —

Professor Nordenskjöld hat diesem interessanten Berichte zwei Rärtchen beigelegt, von denen das erste den gewöhnlichen Lichtbogen, wie er an dem Winterquartier der „Vega“ beobachtet wurde, darstellt, während das zweite drei verschiedene Nordlichter vom 3., 20. und 21. März zeigt.

Auf dem ersten Rärtchen erscheint das Nordlicht in 4 ziemlich konzentrischen Lichtbogen, deren äußerster am breitesten war und an jedem Ende eine mächtige, ein wenig nach Westen geneigte Lichtfacel zeigt.

Das zweite zeigt einen doppelten konzentrischen Lichtbogen, deren äußerer doppelt so breit wie der innere ist; der nach rechts gerichtete Teil der Bögen zeigt eine abnehmende Intensität.

33. Die Wissenschaft und das Polarlicht.

Aus berufenstem Munde haben wir im vorigen Kapitel eine Beschreibung der Erscheinung des wunderbaren Vorganges gegeben und wollen jetzt zusammenstellen, was die Wissenschaft über denselben bis zur Gegenwart erforscht hat. Da gilt es vor allem die Thatsache festzustellen, daß sich hier zur Zeit noch zwei Meinungen gegenüberstehen, die den Grund zu demselben in verschiedenen Ursachen erblicken.

Die Theorie des Polarlichtes von de la Rive sieht dasselbe als eine elektrische Lichterscheinung im luftverdünnten Raum an. Der Luft wird durch die immerwährende Verdunstung des Meerwassers in der heißen Zone fortwährend eine große Menge von positiver Elektrizität zugeführt, während die negative Elektrizität in der Erde zurückbehalten wird. Der Äquatorialstrom treibt nun die positiv elektrischen Wasserdümpfe in den höheren Luftschichten den Polen entgegen und bringt sie daselbst mit der dabei abströmenden negativen Elektrizität zur Neutralisation. Durch hierdurch hervorgerufene Entladung der Elektrizität bringt in den verdünnten Luftschichten ein Leuchten hervor genau so, wie es innerhalb der Geißlerischen Röhren auftritt.

Diese Theorie stützt sich auf die Beobachtungen über die große Höhe, welche die Polarlichter in den Gegenden niederer Breite annehmen, während sie sich nach den Polen zu herabsenken. Auch die Berichte über das knisternde Geräusch der niederen Polarlichter unter Verbreitung eines starken Ozongeruches, wie ihn der Luftschiffer Paul Rollin im Jahre 18

in Norwegen in der Mitte der leuchtenden Strahlen eines Nordlichtes wahrgenommen haben will und die elektrischen Ströme der von Norden nach Süden gehenden Telegraphenlinien braucht de la Rive zu Stützen seiner Theorie. Er versucht nachzuweisen, daß an einem von ihm erfundenen Apparat die Form der Lichterscheinung mit seiner Theorie in Übereinstimmung stehe, weil die Strahlen mit der Richtung der Inklinationsnadel parallel verlaufen. Durch perspektivische Verschiebung müssen dann die Strahlen scheinbar nach demselben Punkte am Südhimmel zusammenlaufen, wohin das Südende der Inklinationsnadel zeigt. Nun müßte aber das Spektrum des Polarlichtes mit dem Spektrum, welches im luftverdünnten Raume bei elektrischer Entladung entsteht, übereinstimmen; das ist jedoch nicht der Fall. Das Spektrum des Polarlichtes ist also ein Spektrum der verdünnten Luft von ganz anderer Art, als das in den Geißler'schen Röhren.

G. Zehfuß dagegen sieht die Polarlichter als Meteorwolken an, welche von der Sonne beleuchtet werden und welche wegen der magnetischen Eigenschaften der meteorischen Staubmassen nun eine Einwirkung auf die Magnetnadel und strahlenförmige Anordnung hervorrufen. Was nun die Berichte über die knisternden Geräusche anlangt, so scheint hier eine irrige Annahme vorzuliegen, denn die neuesten Beobachtungen, wie die von Nordenskjöld thun dar, daß keine Spur von Geräusch hörbar ist und schon vor ihm hat Franklin bei seiner Nordpolerpedition am Bärensee 343 Nordlichter beobachtet, ohne auch nur einmal, trotz gespanntester Aufmerksamkeit, ein solches Geräusch vernommen zu haben. Wo dagegen wirklich mit dem Polarlichte zugleich ein Geräusch gehört wurde, ist festgestellt, daß dasselbe auch noch vernommen wurde, nachdem die Naturerscheinung längst vorüber war.

Weiter versuchte man die Erscheinung als ein optisches Meteor, wie den Regenbogen, zu erklären durch die Zurückwerfung der Sonnenstrahlen von den kleinen, in der Luft schwebenden Eiskristallen. Dann sollten es wieder Dünste sein, welche sich in höheren Regionen der Luft nach Sonnenuntergang in feurige und wässerige Dünste scheiden und während die letzteren zur Erde zurücksinken, sollten die feurigen sich entzünden und so das Nordlicht bilden. Wieder soll auch das von der Erde aufsteigende Wasserstoffgas durch die Erdatmosphäre viele Meilen weit hinaufdringen und in dieser Höhe, verdichtet durch die gewaltige Kälte, flüssig geworden, sich entzünden und durch seine Flamme die Erscheinung hervorrufen.

Von anderen Gelehrten wird wieder behauptet: Die Dünste, welche dem hohlen (?) Erdinnern durch Öffnungen an den Polen entströmen, zeigen sich leuchtend, sobald sie mit der Erdatmosphäre in Berührung

kommen, ähnlich wie Phosphordämpfe, die auch in sauerstoffhaltiger Luft leuchten, und ihr periodisches Auftreten soll davon abhängen, daß die Erdporen bald mehr, bald minder geöffnet sind. Noch andere Gelehrte meinen, daß im Winter die ganz zugefrorenen Polargegenden die Elektrizität der Luft nicht eindringen lassen, weil das Eis als Isolator wirkt. Die hier durch anwachsenden Massen von Elektrizität strömen nun, ohne Funken zu bilden, von einer Wolke zur anderen. Die neuere Wissenschaft stellt dagegen Folgendes fest:

Das Nordlicht steht mit den magnetischen Erscheinungen des Erdkörpers im Zusammenhange. Der Mittelpunkt des Nordlichtbogens entspricht seiner Lage nach nicht dem astronomischen Norden, sondern er liegt in der Richtung der Magnetenadel. Die radiale Strahlenausströmung und das Zusammenlaufen zur Nordlichtkrone ist eine Wirkung der Perspektivwirkung, weil in Wirklichkeit die Strahlen untereinander und mit der Richtung der Inklinationsnadel oder der erdmagnetischen Kraft parallel sind. Die Mittelpunkte des Lichtbogens und der Krone entsprechen den gegenüberliegenden Punkten der Himmelkugel, nach denen die Pole der Inklinationsnadel gerichtet sind. Hervorragende Nordlichterscheinungen sind stets von starken unregelmäßigen Störungen in der Richtung und Intensität der erdmagnetischen Kraft begleitet, sowie auch von Störungen des elektrischen Gleichgewichtes im Erdinnern, die sich durch elektrische Strömungen in den Telegraphenleitungen ankündigen.

Auf Grund dieser Feststellungen hat der Physiker Edlund in Stockholm am 10. Januar 1878 der dortigen Akademie der Wissenschaften die Erklärung abgegeben, daß das Polarlicht anzusehen sei als die in Form von Glühlicht erscheinende Rückkehr der positiven Luftpolektrizität zur negativen der Erde, und er führt die Entstehung der elektrischen Erscheinungen im Luftkreise zurück auf die von Faraday entdeckte unipolare Induktion.

Rotiert ein Magnet mit einer leitenden Umhüllung und verbindet man einen Punkt nahe dem Pol mit einem Punkte der Umhüllung durch einen Leiter, so wird ein elektrischer Strom hervorgerufen, dessen Richtung und Intensität von der Richtung und Geschwindigkeit der Rotation abhängen. Nun ist die Erde ein solcher rotierender Magnet und eine den Kreislauf abschließende Verbindung wird hervorgebracht durch die Erde, als guter Leiter und die oberen Schichten der Atmosphäre, welche ebenfalls ziemlich gute Leiter bilden. Der Stromlauf ist nun, entsprechend der Drehung der Erde von Westen nach Osten und der Lage der magnetischen Erdpole, folgender: Unter dem Äquator steigt positive Elektrizität am stärksten auf und wendet sich den Polen zu. Dasselbe findet vom Äquator ab, nur in abnehmender Progression, durch die steigenden Breiten statt, bis dieser Vorgang am P

gleich Null ist. Da nun die Zonen nach den Polen zu immer enger werden, so muß um dieselben eine Verdichtung der abgeflossenen Elektrizität stattfinden. Die aufgestiegene positive Elektrizität hat aber das Bestreben, zur Erde zurückzufließen unter Einwirkung des Erdmagnetismus, in einer Richtung, welche der Inklinationsnadel parallel ist. Je günstiger die Bedingungen zu diesem Zurückfließen sind, desto weniger gewaltsam wird es sich vollziehen. Den größten Widerstand findet es am Äquator und deshalb erfolgt dort, sobald auf großen Flächen verdichteten Wasserdampfes eine starke Anhäufung und Verdichtung der positiven Elektrizität stattgefunden hat und die unteren Luftschichten durch Ansammlung von Feuchtigkeit besser leitend geworden sind, die Wiedervereinigung der beiden verschiedenen Elektrizitäten in der Form der akuten Funkenentladung unter Blitz und Donner. Dieser gewaltsame Ausgleich tritt auch in gemäßigteren Zonenstrichen, wenn auch weniger häufig und intensiv auf. In der Polarzone, in der das Bestreben der positiven Elektrizität „polwärts abzufließen“ immer geringer und die Behinderung des Zurückfließens zur Erde immer schwächer wird, erfolgt die elektrische Entladung in der Form des Glühlichts, das wir Polarlicht nennen.

Diese Edlund'sche Theorie erklärt also auch die Gewitter der Tropen für gleiche Erscheinungen, wie die Polarlichter und demgemäß auch die in gemäßigteren Zonen auftretenden Gewitter. Doch erklärt auch diese Theorie nicht, wie die elektrischen Spannungen in der Atmosphäre, die wesentliche Ursache der äquatorialen und polaren Lichterscheinungen, entstehen. Somit sind wir der Erklärung über die Entstehung der Polarlichter bis auf einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit näher gekommen — eine vollständig einwurfsfreie Erklärung dieser Erscheinung besitzen wir aber gegenwärtig noch nicht.

34. Aberglaube und Geisterscherei.

Trotzdem wir in einer Zeit leben, in der das Geisteslicht der Menschheit heller leuchtet als je vordem, strahlt dasselbe dennoch nur für die wirklich Gebildeten aller Völker, die Millionen leben nach wie vor im Dunklen und werden von Betrügnern und Charlatanen aller Art, nach wie vor, ausgebeutet. Zwar wechseln mit den Zeiten die Formen, in denen der Betrug auftritt, sein innerer Kern bleibt aber stets der gleiche.

Der Drang in die Zukunft zu schauen, wunderbare Entdeckungen zu machen, staunenerregende Heilerfolge zu erzielen, wohnt mehr oder minder jedem Menschen inne, weß Stammes oder Landes er auch sei. Deshalb weist die Entwicklungsgeschichte der Menschheit so viele unbegreifliche

Geisteskrankheiten der Menge auf und es ist Pflicht, nicht vornehm darüber hinzugehen, sondern dieselben in ihren Hauptzügen an dieser Stelle zu betrachten.

Bei uns in Norddeutschland spielt der Erbschlüssel und das Erbbuch in den Familien der unteren Stände noch immer eine große Rolle. Beide gelten als Enthüller verborgener Dinge, und sie werden eifrig befragt und richten denn auch in den Familien das nötige Unheil an. Die Befragung dieser Ründiger des Verborgenen geschieht auf folgende Weise:

In das Erbbuch (Gesangbuch oder Bibel) wird der Schlüssel mittig hinein so gelegt, daß der Ring des Schlüssels etwa 5 cm über den Schnittpunkt des Buches hervorsticht. Zwei Personen, womöglich dem Hause angehörig, stellen sich einander gegenüber, legen den rechten Oberarm an den Leib und strecken den Unterarm gegeneinander so, daß die ausgestreckten Zeigefinger der beiden rechten Hände (welche sonst geschlossen sind) sich beinahe berühren. Auf die nach oben gekehrten inneren Seiten der Finger legt man nun den Schlüssel mit dem daran befestigten Buche, so daß der halbe Ring desselben auf dem Zeigefinger des einen, der andere halbe Ring auf der Fingerspitze des andern ruht. Die beiden Personen, welche den Schlüssel so tragen, sollen nun ihre ganze Aufmerksamkeit auf den Gegenstand richten, mit welchem sie sich beschäftigen und dann die Fragen an das Orakel richten: „Ist etwas im Hause gestohlen? Wer ist der Dieb? Hans? Christian? Der Kleinknecht?“ u. s. w. Der, bei dessen Namensnennung der Schlüssel eine Drehung macht, ist der Schuldige.

Man sieht leicht ein, wie wenig hier eine geheimnisvolle Kraft wirksam ist, da Buch und Schlüssel, auf zwei so wenig festen Stützpunkten ruhend, sich leicht drehen werden. Dieses allgemein bekannte Mittel ruft sofort die Erinnerungen an die Versuche mit den Pendelschwingungen eines Ringes, mit der Wunschrute, dem Psychographen und anderen Dingen mehr wach, so daß wir gut thun, wir folgen den Untersuchungen des bekannten Gelehrten E. Chevreul, die derselbe im Journal des Savants veröffentlicht hat.

Die ältesten Nachrichten über solchen Spuk und Aberglauben bringt Ammianus Marcellinus, ein gelehrter Grieche aus Antiochia in Kleinasien. Derselbe machte einen Feldzug in Gallien und Germanien und einen andern in Persien unter dem Kaiser Julian mit. Er starb gegen Ende des vierten Jahrhunderts nach Christi Geburt. Wir besitzen von ihm eine Geschichte der römischen Kaiser von Nerva bis auf Valens, von der er die letzten zwanzig Jahre selbst als Augenzeuge durchlebt hat. Nach ihm soll der Name des auf Valens folgenden Kaisers durch Zauberkünste zu erforschen versucht worden sein. Er berichtet darüber Folgendes:

„Ein gewisser Palladius giebt an, daß zu Lebzeiten des Kaisers Valens über den Reichsnachfolger durch abscheuliche Wahrsagerkünste Nachforschungen angestellt worden seien. Wegen dieses Verbrechens wurden sehr viele gefänglich eingezogen; unter diesen befanden sich auch Patricius und Hilarius. Vor ein peinliches Gericht gestellt, gab Hilarius an: Wir erbauten, hochpreisliche Richter, ähnlich dem delphischen Dreifuß unter schrecklichen Auspizien dieses unglückselige Tischchen aus Lorbeerzweigen, welches Ihr hier sehet. Nachdem wir es, unter dem Aussprechen geheimnißvoller Zauberformeln und mit vielen langen Ceremonien gehörig geweiht hatten, brachten wir es endlich in Bewegung. Mit diesem „in Bewegung setzen“ verhielt es sich, so oft man über geheime Dinge sich Rath's erholen wollte, folgendermaßen:

Es wurde der Tisch in der Mitte des Hauses aufgestellt, nachdem er von allen Seiten mit Weihrauchdunst gereinigt worden war. Darüber wurde einfach eine runde Schale gesetzt, die aus verschiedenen Metallen gefertigt sein konnte; an dem äußersten Rande ihrer Rundung waren die 24 Buchstaben des Alphabets eingegraben und regelmäßig auseinander gehalten, indem die Abstände genau abgemessen waren.

Über diesen Dreifuß stellte sich nach der Ceremonienordnung Einer in leinene Kleider gehüllt und ebenso mit leinenen Schuhen (Strümpfe wurden nur von Priestern und reichen Leuten in den Sandalen getragen) versehen, das Haupt mit einer Binde umwunden und in der Hand Zweige eines Glück verkündenden Baumes haltend, nachdem die Gottheit, welche die Weissagung geben sollte, zuvor durch bestimmte Zauberformeln günstig gestimmt war.

Er schwang ein schwebendes Ringlein, das an einem sehr leichten karpatischen Faden hing, den man nach den Vorschriften des Magiers geweiht hatte. Dieses Ringlein schlägt, indem es die bestimmten Zwischenräume überspringt, auf die einzelnen Buchstaben, welche festgehalten werden und durch ihre Aneinanderreihung den Fragen entsprechende Antworten bilden, welche nach Rhythmus und Versmaß vollkommen abgeschlossene Hexameter bilden, wie die pythischen und wie diejenigen, welche in den Orakelsprüchen der Bronchiden vorkommen.

Als wir dann fragten, wer dem gegenwärtigen Kaiser auf dem Thron folgen wird, weil man uns gesagt hatte, daß er ein in jeder Hinsicht ausgezeichnete Mann sein würde, so bildete der Ring hüpfend zwei Silben und bei der Hinzufügung des nächsten Buchstabens am Ende rief einer der Anwesenden sogleich aus: Theodorus werde durch die Vorausbestimmung des Schicksals angedeutet und es wurde die Nachforschung der Sache nicht weiter fortgesetzt.“ —

Die Teilnehmer an dieser Schicksalsbefragung mußten ihr Vergeltungsschrecklich büßen; sie erlitten alle den Tod durch Henkershand.

In seinem großen Werke „De mundo subterraneo“ („Über die unterirdische Welt“) berichtet Kircher, wie man durch einen zwischen Daumen und Zeigefinger gehaltenen Faden mit daran hängendem goldenen Ring Metalle, Masse und dergleichen unter der Erdoberfläche entdecken könne.

Am Ende des vorigen und zu Anfang dieses Jahrhunderts haben sich der berühmte italienische Physiker und Physiologe Fontana und der ebenfalls berühmte Spalanzani, Professor der Physik zu Pavia, mit diesem Gegenstande beschäftigt, bis dann der Bibliothekar der Ambrosiana zu Mailand Ritter Carlo Amoretti, mit einem Werke darüber auftrat, dem bald darauf ein zweites folgte. Letzteres wurde von Krieger unter dem Titel „Elemente der animalischen Elektrometrie“ übersetzt und in Deutschland verbreitet, worauf die Sache durch F. W. Ritter noch weiter verfolgt wurde, bis sich die Romane derselben bemächtigten und sogar Göthe in seiner „Wahlverwandtschaften“ den schwingenden Ring und Markasit (Eisenkies) den man statt des Ringes häufig gebrauchte) gewissermaßen coursfähig machte, indem er sagt, daß in Ottiliens Händen der Ring über den verschiedenen Metallen bald in Kreisen, bald in Ellipsen oder in geraden Linien, bald dahin, bald zurück, wie man es nur haben wollte, tanzte.

In Frankreich stellte ein Professor Gerboin Experimental-Untersuchungen über einen „neuen Modus der elektrischen Thätigkeit“ (wofür er die Pendelschwingungen ansah) auf, und auch der ernstforschende Carus hat in der damaligen Zeit im Verein mit mehreren Ärzten ganze Reihen von Versuchen zu Protokoll genommen, um zur Entscheidung darüber zu gelangen, ob dergleichen Schwingungen wirklich durch ein fremdes elektrisches oder magnetisches Agens bedingt, oder ob sie durch gewisse unbewußte Bewegungen verursacht seien.

Der Ritter Carlo Amoretti beginnt seine oben erwähnte Abhandlung damit, daß er die Substanzen, welche man solchen Experimenten unterwirft, einteilt in „Elektrizitäts-Erreger“ und in „indifferente Substanzen“ oder „Nichterreger“. Ferner teilt er die Personen, welche sich mit Experimenten dieser Art abgeben, in solche, welche durch die Elektrizitäts-Erreger selbst erregt werden (er nennt sie „lebendige Elektrometer“) und in solche, deren dieses Erregtwerden abgeht. Die lebendigen Elektrometer aber teilt er nochmals in solche, in deren Händen sich die Instrumente bewegen, indem sie davon eine sehr entschiedene Empfindung haben, und in solche, bei denen sich die Ringe, Nuten u. s. w. bewegen, ohne daß eine Empfindung wahrgenommen wird. Er hat auch gefunden, daß es Personen giebt, welche sich nicht empfänglich sind für das, was er hier „Elektrizität“ nennt,

es jedoch werden, sobald ein lebendiger „Elektrometer“ sie erfaßt. Solche Personen aber, welche nicht empfänglich werden, auch wenn ein lebendiger Elektrometer sie berührt, nennt er „Isolatoren“.

Es ist leicht einzusehen, wie bequem diese Einteilung ist; denn, wenn die Versuche nicht gelingen, so sind die dafür unempfindlichen Personen eben einfach „Isolatoren“. —

Ebenso reichen auch diejenigen Experimente sehr weit in die Zeit zurück, die noch jetzt der Schatzgräber mit der Wünschelrute macht. Ein gabelförmiger Zweig, welcher in Deutschland von der Korneliuskirche oder der Haselstaude, in Italien von dem Ölbaume genommen sein muß, wird mit beiden Händen an dem kürzeren Teile gefaßt, sodaß der Stiel der Gabel herabhängt; dann dreht man beide Hände so um, daß die gewöhnlich unten liegenden Seiten mit den kleinen Fingern nach oben, die oberen Seiten mit den Daumen nach unten kommen, worauf der Stiel der in beiden Händen gehaltenen Gabel nach aufwärts kommt. Diese gezwungene Stellung der Arme giebt ihnen eine Spannung, welche zum Gelingen des Experiments durchaus notwendig ist. Die betreffende Person geht nun mit der so gehaltenen Rute umher und giebt auf die Bewegungen des oberen geraden Teiles acht. Wo nun Metalle unter dem Erdboden verborgen sind, da soll die Rute sich von dem Körper des Haltenden nach dem Boden hin neigen.

Natürlich ist auch hier leicht einzusehen, daß wie bei dem Erbschlüssel die sehr ungenügende Unterstüßung der Gabelzweige leicht eine Drehung derselben veranlaßt, die dann die gewünschte Deutung erfährt, abgesehen von dem großen Spielraume, der bewußten Betrügern hierdurch geboten ist.

Amoretti suchte diese sogenannte wunderbare Thatsache ebenfalls wissenschaftlich zu erklären. Er behauptet, daß wenn ein Mensch elektromagnetische Eigenschaften habe, es genüge, ihm eine Feder oder ein magnetisiertes Eisenstäbchen zwischen Daumen und Zeigefinger zu geben und einen seiner Füße auf einen elektromagnetischen Körper zu setzen, um sogleich Schwingungen an den gehaltenen Gegenständen wahrzunehmen. Die Feder (Gänsekiel) wird aufrecht mit der Fahne, welche nicht verletzt sein darf, in die Höhe gehalten, der Magnetstab wird an einem Ende gefaßt und hängt in seiner ganzen Länge abwärts. Finden dann keine Drehungen oder Pendelbewegungen statt, so ist der Experimentierende eben kein Elektrometer. Auch für den Goldring, der doch nicht überall gleich zu haben ist, findet Amoretti Erfaß. Er schreibt einem, an einem etwas angefeuchteten Faden aufgehängten Gallapfel oder Holzwürfel ebenfalls elektrometrische Eigenschaften zu. Natürlich brachten andere italienische Gelehrte diese angebliche wissenschaftliche Entdeckung sofort in ein regelrechtes System und die verschiedenen

Körper wurden nun eingeteilt in negative, als: Gold, Silber, Kupfer, Eisen, Mangan, Uran, Antimon, Quecksilber, Kalium; in positive, als: Platin, Zinn, Blei, Graphit, Zink, Arsen, Titan, Tellur, Kobalt, Nickel, Wismuth &c. und in indifferente, zu welchen man die sogenannten Erden zählte.

Auch die verschiedenen Stellen des menschlichen Körpers wurden untersucht und gefunden, daß diese positiv, jene negativ waren, daß aber zwischen den beiden Geschlechtern die merkwürdige Beziehung stattfinde, daß diejenige Stelle, welche bei dem Manne positiv gefunden werde, bei dem Weibe negativ sei und umgekehrt die Stelle, welche sich bei dem Weibe positiv erweise, bei dem Manne negativ sei, woraus sich die geheimnisvollen Beziehungen zwischen beiden Geschlechtern ergeben, da sich ja ungleichnamige Elektrizitäten anziehen und unter Umständen, wo gleichnamige Elektrizitäten zusammengeführt seien, die Abstoßung, der Widerwille sich erkläre.

Reichenbach, der Erfinder des „Dd“, von dem wir sogleich das Nötige berichten werden, fand zu dieser höchst naiven Entdeckung noch die hinzu, daß die Lippen und Zunge negative Elektrizität führen — Speisen und Getränke, die munden sollen, müssen demnach positive Elektrizität besitzen. — Es darf nun nicht Wunder nehmen, daß man auf dieser Bahn fortschreitend, zu den merkwürdigsten Entdeckungen gelangte. Die Thatfache, daß sogenannte schwachnervige Damen von allerlei Zufällen heimgesucht werden, von denen ein etwas gesunderes oder besser erzogenes Menschenkind keine Ahnung hat, brachte Reichenbach in Wien auf die Entdeckung des „Dd“. Er schrieb nämlich zartnervigen Personen eine Kraft zu, laut welcher sie durch mehrere verschlossene Zimmer und auf große Entfernungen hin im Stande seien, Dinge zu erkennen, von deren Vorhandensein sie sonst keinerlei Kenntniss haben können. Man brauche nur einer solchen feinfühligen (sensitiven) Person einen Draht in die Hände zu geben, der durch viele Zimmer, Säle, Flurplätze, über Treppen &c. geführt sei und an dessen Ende dann die betreffenden Substanzen, welche erkannt werden sollten, hingebracht würden, so erkenne die sensitive Person dieselben durch die Kraft des „Dd“. Da der Menscheng Geist keinen Stillstand duldet, so gelangte Reichenbach bald dahin, zu erkennen, daß die Kraft, wenn von einem Magnet ausgehend, „Magnet-Dd“, von einem Elektrometer „Elektro-Dd“ und so dann weiter von den Sternen „Sider-Dd“, vom Monde „Lun-Dd“, von der Sonne „Sol-Dd“ und dann so weiter mit oder ohne Grazie in infinitum.

Das Reichenbach'sche „Dd“ war so recht geeignet, alle wissenschaftlich nicht denkfähigen Geister aufzuregen und die Geisterseherei und Gespensterriecherei wieder auf die Tagesordnung zu setzen.

Nicht wenig trug dazu bei, daß seit den vierziger Jahren die französischen Romane in Deutschland fast heißhungrig verschlungen wurden und

dieselben, dem Zuge der Zeit folgend, von allerlei Zauberei wimmelten. Einen ungeheuren Erfolg hatte namentlich „Der Graf von Monte Christo“ von Alexander Dumas (Vater) und seine drei Musketiere mit ihren Fortsetzungen, unter denen dann auch, kaum funfzig Jahre nach seinem Tode, der berühmte Charlatan Joseph Balsamo alias Graf von Cagliostro wieder von den Todten auferweckt wurde. Jetzt waren Mesmerismus, Elektrometrie, Od und alle sonstigen Teufeleien wieder salonfähig und die interessanten Schwerenöter, die kaum das Hinscheiden des verfloffenen Jahrhunderts verfenkt hatte, entstiegen wieder ihren Gräften in durchaus zeitgemäßer Form. Ja, der Himmel schien sich mit der offenbarungsbüftigen Menschheit zu verbünden und ihr plötzlich ein untrügbares Mittel zu senden, sich in Korrespondenz mit der Welt der abgefchiedenen und sonstigen transzendentalen Geister zu setzen.

Nordamerikanische Zeitungen brachten vor etwa vierzig Jahren Beschreibungen einer neuen Wunderkraft, welche sich im toten Holze, das in Form von Tischen verarbeitet sei, offenbart haben sollte. In Bremen, wohin die Berichte zuerst gelangten, machte man sich daran, die neue Wunderkraft zu prüfen und Dr. Karl Andrée berichtete 1853 darüber in der „Allgemeinen Zeitung“ Folgendes:

„Um einen etwa 60 Pfund (30 kg) schweren Tisch hatten acht Personen eine Kette geschlossen (durch Auflegen der Hände, sodaß überall die Daumen und kleinen Finger der acht Personen sich berührten), von denen jedoch eine, wegen der zu heftig auf sie wirkenden Nervenströmung bald ausscheiden mußte. Die sieben übrigen Personen hatten über eine halbe Stunde am Tische ausgehalten. Während mir nun ein bejahrter Herr, der als Zuschauer anwesend war, auseinanderzusehen sucht, wie zu den vielen Thorheiten, von denen das Menschengeschlecht heimgesucht sei, nun noch eine neue hinzukommen scheine, schrieten die Damen am Tische plötzlich auf und alle sieben riefen wie mit einem Munde: „Er geht; er geht; er bewegt sich!“ — So war es in der That. Erst fing die Platte an sich langsam hin und her zu neigen, auf und ab, dann begann der Tisch selbst zu rücken.

Die Umstehenden zogen den sieben Damen, welche die Kette geschlossen halten mußten, die Stühle hinweg und nun lief der Tisch, welchen vierzehn Hände lose berührt hatten, sich nach Norden fortrückend und zugleich um sich selbst kreisend, reichlich vier Minuten rasch umher, sodaß die Damen ihm kaum zu folgen vermochten.“

Diese am 4. April 1853 in der „Allgemeinen Zeitung“ erschienene Notiz wirkte wie ein Funke, der in ein Pulverfaß schlägt. Hoch und Niedrig, Reich und Arm, Jung und Alt, Gelehrt und Ungelehrt, Alles, was



in Deutschland einen Tisch besaß, mißhandelte diesen und sich und ließ ihn und sich laufen.

Wohin und zu welcher Tageszeit man auch kam, es wurde „Tisch gerückt“ und ein Ozean von Tinte wurde sofort verschmiert, um die neuentdeckte Verbindung mit dem Jenseits als Errungenschaft, als wissenschaftliche That von unermesslicher Fernwirkung zu preisen. Die konfusiesten Dinge wurden zusammengeschrieben und das unsinnige Buch „Les sciences occultes au 19^{me} siècle“ (Die geheimnisvollen Wissenschaften des 19. Jahrhunderts) hatte einen immensen Absatz.

Ein Dr. Ennemoser in München bemächtigte sich der Sache mit der bekannten ernsthaften deutschen Gründlichkeit. Er schreibt unter anderem

„Dieses plötzlich auftauchende Tischrücken ist jedenfalls eine fatale Erscheinung; es hat den Sinn und den gewohnten Gang der Gedanken des alltäglichen Geschäftslebens von Millionen Menschen verrückt und a Dinge aufmerksam gemacht, von denen man nicht einmal geträumt hat. Mir kommt es wie gerufen, denn nun hat das Tischrücken den Magnetismus und die damit gegebenen Erscheinungen auf einmal nicht nur a möglich, sondern durch eine allgemeine darauf hingelenkte Aufmerksamkeit begreiflich und unabweisbar nachgewiesen, was durch alle Mühe und d treueste Versicherung unparteiisch, von wahrheitsliebenden und menschenfreundlichen Beobachtern seit Mesmer in achtzig Jahren nicht möglich geworden ist. Sehr fatal ist das Tischrücken natürlich den sogenannten starren Naturforschern in den Weg getreten; diese erklärten nämlich anfangs dasselbe, gleich dem Mesmerismus, für Humbug, alberne Erfindung, Gebildung, Selbsttäuschung, Betrug, und was dergleichen schöne Hauptwörter und Ehrentitel mehr sind. Doch die Tische rücken und das Publikum rückt sich nicht, trotz der sachverständigen Fachmänner und fährt fort, sich an den Tanz der Tische, wie an der Weisheit der Gelehrten zu erlustigen und zwar eifrig und in solcher Ausdehnung, daß diese gar nicht mehr ausweichen konnten und zum Stillstehen gebracht wurden, während ihnen die Tische an den Leib rückten.“

Die gegen den Spuk veröffentlichten Schriften reizten Ennemoser zum höchstem Zorn und er wütete nun gegen Jeden, der sich gegen die neue Wissenschaft wendete. Namentlich hatte er es auf Alexander von Humboldt abgesehen: „Da schreibt der große, alte Humboldt an den Mechaniker F. Schlegel zu Altenburg: Ich sage Ihnen meinen freundlichen Dank für die Veröffentlichung einer sehr einfachen, mechanischen und unmythischen Erklärung der sich bewegenden Tische. Es giebt Glaubenskrankheiten, die periodisch wiederkehren und bei den Halbwissern eine dogmatische Form annehmen, und bei der gebildeten Klasse endemischer sind a

bei der niedrigsten, ich will mich in meinem Alter nicht mehr damit beschäftigen. —

„Wie wollt ihr auch — ward alterrgrau der Rabe,
Daß er wie Lerchen sich am Flattern erlabe!“

Gegen solche Wahrheiten läßt sich vernünftigerweise gewiß nichts einwenden, denn einfacher und unmystischer kann es in der Welt keine Erklärung geben als die mechanische. Auch giebt es allerlei periodisch wiederkehrende Krankheiten und solche, die endemisch an gewissen Orten und vorzüglich bei gewissen Klassen hervortreten und sonderbarerweise gerade die Gebildeten oft häufiger treffen. Es giebt aber auch fixe chronische Krankheiten, z. B. Kopfeingenommenheit, Halsstarre und Krankheiten der Alterschwäche, an denen gerade die Gelehrten so häufig zu leiden das Unglück haben!“

So trümpft Ennemoser den großen Humboldt ab, weil er nicht an die Geisteroffenbarungen im Tischrücken glauben wollte! Und die Thatsachen waren doch so offenbar. Freilich, erst mußten die wissenschaftlichen Bedingungen erfüllt werden. Der Tisch mußte trocken sein, das Wetter und Zimmer desgleichen, die zur Rettung zusammentretenden Personen mußten die Fingerspitzen in eine Lösung von Kochsalz oder chlorsaurem Kali tauchen und möglichst wenigstens ein Kind, hauptsächlich ein junges Mädchen mußte unter ihnen sein. Eine diesen Vorschriften gemäß gebildete Kette bringt die Tischplatte bald in wellenförmige Bewegung. Der Tisch beginnt zu knarren, zu krachen, zu zittern und zu beben, dann hebt er einerseits den Fuß und senkt anderseits das Blatt ein wenig, oder er fängt sogleich an im Kreise sich zu drehen. Ist die Tischplatte angeschraubt, so löst sie sich ab und steigt im Drehen in die Höhe, schraubt oft aber auch wieder an, ohne abzufallen. Zuweilen sogar springen die Tische und brechen in Splitter. Der Tanz geschieht oft mit wechselnd aufgehobenen Beinen unter taktmäßigem Klopfen, ja Tische liefen einzelnen Personen, namentlich jungen Damen bisweilen ganz von selber nach!! —

Jedermann wird leicht einsehen, daß die Geister, welche sich in den Tischbeinen tummelten, bald gebannt wurden. Es entstand bald ein Tischbein-Klopf-Alphabet und die Fragen an das Schicksal konnten nun zu Tausenden gestellt werden. Da zu dieser Zeit Semilasso oder der Herr Fürst Pückler-Muskau noch lebte, so verfehlte Ennemoser nicht, denselben als Zeugen zu zitteren. Im Jahre 1833 berichtete derselbe von zwei Mädchen, die nach kurzer Berührung Tische ebenfalls zum Tanzen brachten, ja sogar, als die jüngere und kräftigere einmal, während der Tisch tanzte, ein Glas Limonade trank, machte derselbe einen förmlichen Freudensprung; ja später sollen dieselben durch Händeauflegen die Füllungen aus Holzthüren herauszuspringen genötigt haben.

Tischrüd-Bereine und Geisterklopf-Bruderschaften bildeten sich un-
namentlich in Nordamerika an allen Orten, die Tische mußten stampfen
und die Ringe mußten pendeln, daß es eine Dual war, zuzusehen, un-
der bekannte Verstand der Unverständigen lehrte das neue Evangelium
1 mal klopfen ist A, 2 mal B, 3 mal C und somit 25 mal Z — nicht
konnte sonnenklärer sein. Der Ursprung dieses ganzen Unwesens ist durch
Austin Feirrt, Professor der Medizin in Louisville im Staate Kentuck
auf ein Haus in Hydesville im Staate New-York zurückgeführt, welches
zwei Damen Fox bewohnten. Diese Damen hatten die Geschickliche
durch Schnellen des großen Behen gegen den Fußboden klopfende Tö-
hervorzubringen, ohne daß man es sehen konnte, da sie es innerhalb ihrer
etwas weitläufigen Schuhe thaten, ganz ähnlich wie es bereits 80 Jahre
früher in Wagners Gespensterbuch schon beschrieben ist.

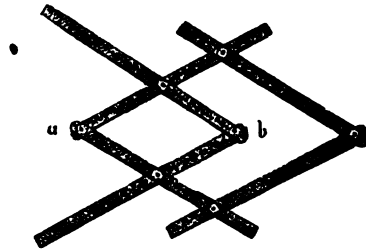


Fig. 196.

In Berlin schien die Epoche von
Ende des vorigen Jahrhunderts unter
Wöllner wiederzukehren. Der Bah-
sager Sohn erfreute sich eines fabel-
haften Rufes und gleichzeitig wurden die
beiden Wunder-Instrumente entdeckt, die
es Jedem außerordentlich leicht machte
mit der Geisterwelt zu verkehren, die
„Emanulektor“ und der „Psychograph“

Der „Emanulektor“ ist ein auf

Rollen ruhendes Brettchen, auf dessen
vorderem Ende ein für sich beweglicher Zeiger steht. Unter der Spitze des
selben liegt auf dem Tische, auf welchem das Instrument angeschraubt ist, eine
gedruckte Alphabet; auf diesem werden durch das Medium die Buchstaben
gezeigt, aus welchen die Antwort auf gestellte Fragen zusammenzusetzen ist.

Der „Psychograph“ ist ein dem bekannten Zeicheninstrumente „Storch-
schnabel“ nachgebildetes Nachwerk, dessen äußerstes Ende einen hölzernen
Teller trägt, auf dem die Hand des Mediums ruht. Unter dem Stifte
der an dem Arme angebracht ist, welcher beim Zeichnen verkleinern so-
liegt das Alphabet. Das Medium legt seine Hand bei der Arbeit auf die
Platte und macht damit allerlei Bewegungen auf dem Tische umher, um
das innere Ende mit dem Stifte auf die Buchstaben zu bringen, aus denen
die Antwort bestehen soll, oder es läßt dadurch, daß es die Figuren groß
Buchstaben zieht, den Stift dieselben verkleinert nachschreiben auf einem
Stück untergelegten Papier. Diese Wunder-Instrumente wurden zur Be-
der größten Begeisterung mit 30 M. das Stück bezahlt und sie halfen
nur die Verwirrung in den Köpfen maßlos steigern. Aus Frankreich

kamen begeisternde Berichte über ein Mädchen, in dem sich die magnetische Wunderkraft ganz besonders offenbaren sollte. Angelika Cottin, ein vierzehnjähriges kleines, sehr häßliches Mädchen, sollte aus großen Entfernungen und durch ein vorgehaltenes Tuch Tische und Stühle in Bewegung setzen, durch ihre Finger den Nordpol der Magnetnadel abstoßen, den Südpol anziehen können; sie sollte das Vermögen haben, durch das Gefühl den Nordpol eines Magnets vom Südpol zu unterscheiden u. dgl. m. Das kleine, häßliche, aber nicht dumme Geschöpf wurde in den feinsten Pariser Salons angestaunt und verdiente mühelos viel Geld.

Da der Spuß zu arg wurde, ernannte die Pariser Akademie eine Kommission unter dem Voritze von Arago und Babinet, bestehend aus Becquerel, St. Hilaire, Isidore Geoffroy, Rayer und Pariset, den Schwindel zu untersuchen und zu entlarven. Diese Kommission gab folgenden Bericht:

„Man hatte versichert, daß Angelika Cottin eine sehr starke Abstoßungskraft auf Körper in demselben Augenblicke äußere, wo ein Teil ihrer Kleidungsstücke dieselben berühre. Man sprach selbst von Tischen, welche durch bloße Berührung mit einem Seidenfaden umgeworfen seien. —

„Keine merkliche Wirkung dieser Art hat sich der Kommission gezeigt. —

„In den Mittheilungen, welche der Akademie gemacht worden sind, ist von einer Magnetnadel die Rede, die unter der Einwirkung der Arme des jungen Mädchens erst rasche Schwingungen machte und sich dann in ziemlich großer Entfernung vor dem magnetischen Meridian feststellte. — Vor den Augen der Kommission hat eine frei aufgehängte Magnetnadel unter denselben Umständen weder eine dauernde noch eine momentane Änderung erfahren. —

„Die Angelika Cottin sollte das Vermögen haben, den Nordpol eines Magnets vom Südpol durch bloße Berührung mit den Fingern zu unterscheiden. — Die Kommission hat sich durch zahlreiche und mannichfach abgeänderte Versuche überzeugt, daß das junge Mädchen sich nicht im Besitze des ihr zugeschriebenen Vermögens befinde, die Pole eines Magnets durch das Gefühl zu unterscheiden. —

„Die Kommission will die Aufzählung ihrer mißglückten Versuche nicht weiter treiben, sie beschränkt sich darauf, schließlich zu erklären, daß die einzige von den angeführten Thatfachen, welche sich von ihr als richtig erwies, in der plötzlichen und gewaltsamen Bewegung bestand, in welche die Stühle gerieten, von denen das Mädchen aufstand. Da sich ernsthaft Verdachtgründe in betreff der Art, wie diese Bewegungen zustande kamen, erhoben hatten, entschied sich die Kommission für eine ernsthafte Unter-

suchung derselben; sie kündigte ohne Umschweife an, daß sie darauf ausgehen werde, den Anteil zu entdecken, den gewisse, geschickt verborgene Bewegungen der Hände und Füße an den Bewegungen der Stühle hätten.

„Von Stund' an wurde uns erklärt, daß jenes junge Mädchen ihre anziehenden und abstoßenden Kräfte verloren habe und daß wir benachrichtigt werden sollten, wenn sich dieselben wieder einstellten. Manche Tage sind seitdem vergangen, ohne daß die Kommission eine Benachrichtigung empfangen hat, dennoch wird Angelika Cottin täglich in die Salons geführt, wo sie ihre Versuche wiederholt.“ —

Schließlich mußte sich sogar die katholische Kirche ins Mittel legen. Der bayerische Graf Kardinal von Reissach erließ aus Rom einen Hirtenbrief an seine bisherige Erzdiocese München. In demselben heißt es von Tischrücken, Geisterklopfen, Psychographenschrift und anderem Holuspokus:

„Solche wahnwitzigen Offenbarungen, welchen viele, sonst achtbare Menschen aus Neugier das Ohr geliehen, haben uns noch die letzten Monate, die wir unter euch zubrachten, sehr verbittert. Wir sagen euch deshalb, daß diese Aufschreibungen, die nunmehr leider auch gedruckt sind, nicht von Gott herrühren, daß sie ein Gewebe von Trug, Irrtum und Wahn sind.“

Seit der Mensch seine Geschichte schreibt, sind diese Gewebe von Trug, Irrtum und Wahn von erleuchteten Geistern der Menschheit erklärt worden und immer wieder webt menschliche Schwachheit, Eitelkeit und Dummheit neue solcher Gewebe; und klopfen in der Mitte dieses Jahrhunderts die Tische und schreiben die Psychographen, so rumort zu seinem Schlusse die vierte Dimension in ganz denselben Gängen der menschlichen Gesellschaft wie vordem, ohne daß das Wahrsagen aus der Hand, dem Ei, den Karten, das Medium-Unwesen, der Hypnotismus oder mit einem Worte „der Schwindel“ irgendwie und irgendwo abgenommen haben. Wo viel Licht ist, da ist und bleibt eben auch viel Schatten.

Dritter Abschnitt.

Vom Galvanismus. (Berührungs-Elektrizität.)

35. Die Entdeckung des Galvanismus.

Alle menschliche Entwicklung ist ein stetiges Fortschreiten durch den Irrtum zur Wahrheit. Alle Kräfte der Natur offenbaren sich uns zuerst durch ihre Wirkungen und die Arbeit der Gelehrten und Denker ist es, die Ursachen der Wirkungen zu erforschen. Oft gelangen dieselben in kurzer Zeit dahin, die Ursachen aufzuspüren, die Kraft zu entdecken, welche die Wirkung hervorrief, oft müssen sie dagegen auf Wegen wandern, welche gar seltsam verschlungen sind und häufig in die Irre führen. Die Geschichte des Galvanismus ist für letzteres ein Beispiel. Gar viele Erklärungen sind schon versucht worden, was Galvanismus oder Berührungs-Elektrizität sei, keine hat sich als stichhaltig erwiesen und da neue aufklärende Arbeiten, welche in der Gegenwart unternommen werden, noch keinen Abschluß haben erhalten können, so müssen wir denjenigen Ansichten folgen, welche bisher wissenschaftliche Gültigkeit behalten haben.

An der Universität zu Bologna war im Jahre 1790 Aloisius Galvani (1737—1798) thätig als Professor der Chirurgie. Er befand sich mit einigen seiner Zuhörer in seinem Hörsaale, der, nach italienischer Gewohnheit, zugleich als Wohnraum diente, und zog aus einer Elektrifiziermaschine knisternde Funken. Seine Gattin wohnte der Vorlesung bei und beschäftigte sich zugleich damit, Froschschenkel mit einem Messer abzuziehen, um sie zum Nachtessen zu rösten. Als sie damit fertig war, legte sie das Messer nieder und dasselbe fiel mit seiner Spitze auf den Nerven der Wirbelsäule eines toten Frosches, der sich plötzlich gewaltig zitternd ausstreckte, als sei er zu neuem Leben erwacht. Erstaunt hob die Frau das Messer auf und sofort zog sich der Frosch wieder zusammen, um bei nochmaliger Berührung sich wieder auszustrecken.

Sie rief jetzt ihren Gatten herbei und zeigte ihm die merkwürdige Erscheinung. Gewaltig erregt rief derselbe aus: „Frau, ich habe eine große Entdeckung gemacht, ich habe die tierische Elektrizität, ich habe die Ursache der Lebenskraft gefunden!“ Die Entdeckung seiner Frau schrieb sich der Gelehrte, ohne ihrer je zu erwähnen, nun selber zu und erst seine Zeitgenossen, wie Professor Erman der Ältere, stellte den Anteil der Frau an der Entdeckung fest.

Diese Entdeckung hatte aber auch bereits ihre Vorgeschichte, denn schon am 15. November 1756 veröffentlichte Galvani in Bologna eine Ab-

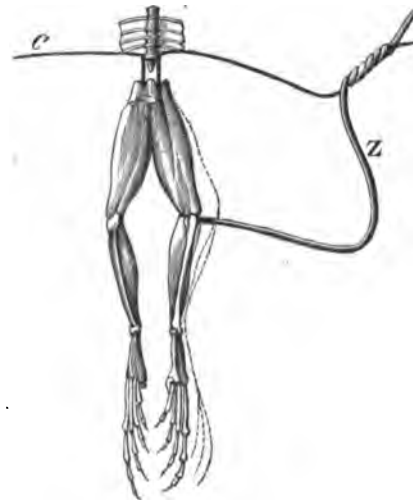


Fig. 197. Froschversuch.

handlung über die Einwirkung der Elektrizität auf frisch getötete Frösche, welche hierdurch in Zuckungen gerieten; Professor Sulzer (1720 bis 1779) berichtete im Jahre 1760 in der Berliner Akademie über eine eigenartige Geschmacks-Erscheinung, die man wahrnimmt, wenn man zwei verschiedene, sich am Rande berührende, Metalle an die Zunge bringt, und Professor Reil in Halle kam 1792 zu der Überzeugung, daß bei dieser Erscheinung die metallische Schließung die Hauptrolle spielt. Galvani, von seiner Entdeckung ganz eingenommen, machte nun die seltsamsten Experimente, um der wunderlichen Erklärung, die er über dieselbe gab, wissenschaftlichen Halt

zu verschaffen. Er ging von der Ansicht aus, die Muskeln des tierischen Körpers seien Verstärkungsflaschen, der Nerv der Zuleiter zu der inneren Belegung, die Zellen, die Haut dasjenige, was zur äußeren Belegung führe, das Leben sei die Ladung dieser Belegungen und die Bewegung sei eine Folge der Ausgleichung zwischen diesen inneren und äußeren Belegungen.

Um nun zu beweisen, daß die Atmosphäre als ladender Körper wirke, machte er folgenden Versuch: Er umwickelte das Froschschenkel-Präparat an den Nervensträngen mit einem feinen Kupferdrahte und hing es am eisernen Gitter seines Gartens auf. Der Kupferdraht stand lang und frei empor und da er sehr dünn war, galt er für eine Spitze, welche die Elektrizität aus der Luft dem Froschpräparat zuleiten konnte. Die Elektrizität that ihm aber nicht den Gefallen, in das freischwebende Froschpräparat zu

wandern, weil, wie Lichtenberg richtig sagt, das eiserne Gitter selber eine viel breitere und zuzugendere Leitung für dieselbe war. Galvani fiel diese Erklärung aber nicht ein. Um die Elektrizität besser zu leiten, bog er vielmehr den Kupferdraht so weit herab, daß die Froschschenkel unter ihrem Aufhängungspunkte schwebten und siehe, sogleich entstanden Zuckungen. Dieses Ergebnis wurde nun gehörig über die wissenschaftliche Welt durch Briefe und Zeitschriften verbreitet und es begann jetzt ein erschrecklicher Massenmord unter den Fröschen. Die Unterschenkel der getöteten Frösche wurden so enthäutet, daß davon ein großes Stück der zum großen Wadenmuskel führenden Nerven daran blieb, wie Fig. 197 zeigt.

Legt man dieses Präparat auf eine Glasplatte und berührt dann das Muskelfleisch mit einem Stück Zinkdraht und den Nerven mit einem Stück Kupferdraht, so zuckt der Schenkel, sobald man die beiden Metalle in Berührung bringt.

Ein Stückchen Kupferblech und ein Stückchen Zinkblech, durch einen Kupferdraht verbunden, bringen natürlich die Wirkung auch hervor. Da Galvani die Umstände genau ausführte, unter denen die Erscheinung erfolgt, so hat er sie wohl von den unbestimmten Zuckungen unterschieden, welche man an Tieren niederer Ordnungen, noch lange nach ihrer Verstümmelung beobachtet, aber er paßte seine Erklärung darüber seinem Lieblingsgedanken an.

„Die Zuckungen der Froschschenkel“, sagte er, „entstehen durch eine Flüssigkeit, welche durch eine äußere Leitung von den Nerven zu den Muskeln überströmt; diese Flüssigkeit befindet sich in den Nerven und geht von diesen durch den metallischen Leitungsbogen auf die Muskeln über.“ Seine Anhänger nannten diese Flüssigkeit „galvanische Flüssigkeit“.

Mit diesem Fundamentalversuche stand aber die Entdeckung und gab Spielraum für die gewagtesten Erklärungen. In das Chaos derselben brachte Alexander Volta (1745—1827), der durch seine Untersuchungen über das Elektrophor und den Kondensator schon tüchtig vorgearbeitet hatte, Ordnung und Licht. Er hatte Galvanis Versuche unermüdlich wiederholt und bald gefunden, daß man einen zum Gelingen sehr notwendigen Umstand ganz übersehen hatte. Der Leitungsbogen, welcher die Nerven und Muskeln verbindet, muß nämlich aus zwei verschiedenen Metallen hergestellt werden, welche miteinander in Berührung sind. Deshalb sei der Froschschenkel auch keineswegs wie eine Leydener Flasche anzusehen, denn das hier wirkende Agens sei weder in den Nerven noch in den Muskeln vorhanden, sondern werde durch die Berührung der beiden Metalle entwickelt.

Die Entstehung dieser Elektrizität wird nun auf folgende Weise nachgewiesen und das Experiment nach dem Entdecker „Volta's Funda-

mental-Versuch“ genannt. Auf ein Goldblatt-Elektroskop (Fig. 198), wie es auf S. 77 beschrieben wurde, wird eine ungefirnißte Kupferplatte aufgeschraubt. Auf diese gut gereinigte Kupferplatte setzt man eine eben solche Zinkplatte, die man an einem isolierenden Glasstiel gefast hat. Hebt man hierauf die Zinkplatte wieder von dem Isolator in paralleler Lage ab, so wird man ein schwaches Auseinanderweichen der Goldblättchen beobachten, welches bei Annäherung einer geriebenen Glasstange sich mindert, daher also durch negative Elektrizität hervorgerufen wurde. Verbindet man dagegen die Zinkplatte mit dem Elektroskop und setzt ebenso eine isolierte Kupferplatte auf, so zeigen die divergierenden Blättchen positive Elektrizität.



Fig. 198.
Goldblatt-Elektroskop.

Volta nimmt nun an, daß der Sitz der Elektrizitäts-Entwicklung die Berührungsstelle zwischen dem Kupfer und dem Zink sei. Es läßt sich aber eben so gut annehmen, daß der Sitz der Entwicklung der Elektrizität die Berührungsstelle mit der immerhin mehr oder weniger feuchten Hand sein kann, wie erwiesen wird, wenn man die Hand wirklich mit etwas Salzwasser anfeuchtet. Es ist an der Berührungsstelle eines Metalls und einer Flüssigkeit also eine Kraft thätig, welche bis dahin verbundene Elektrizitäten in ähnlicher Weise zerlegt, wie man die an der Berührungsstelle geriebener Körper beobachtet; diese Kraft nennt man „elektromotorische Kraft“. De la Rive lieferte den Nachweis, daß beim Mangel jeglicher chemischer Einwirkung zwei verschiedenartige Metalle keine Elektrizitäts-Entwicklung zeigen. Man muß deshalb annehmen, daß jedes Metall durch den Sauerstoff der Luft um so stärker negativ elektrisch erregt werde, je größer seine Neigung zum Rosten ist und die dem Metall anhaftende Luftschicht eine ebenso starke positive Spannung erhält.

In einer isolierten Zinkplatte wird die elektromotorische Kraft, welche an ihrer der Luft ausgesetzten Oberfläche thätig ist, negative Elektrizität in dem Zink anhäufen, während die gleichgroße Menge positiver Elektrizität in der auf der Oberfläche haftenden Luftschicht bleibt. In Figur 199 ist dieser Vorgang schematisch dargestellt. 2 ist eine Zinkplatte. In 3 ist $-a$ Platin, $+a$ Zink. In 4 ist $-a + b$ Kupfer und $+a$

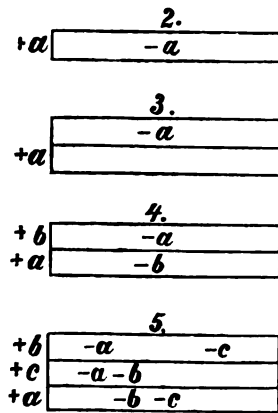


Fig. 199. Volta'sche Reihen.

— b Zink. In 5 ist + b — a — c Kupfer; + c — a — b Eisen und + a — b — c Zink.

Der Weg, auf dem jene Kraft gefunden wurde, war ein äußerst mühsamer, und es ist lohnend zu erfahren, wie es Volta gelungen ist, die beiden Elektrizitäten nachzuweisen.

Er hatte ein sehr empfindliches Elektrometer (Fig. 198) mit einem messingenen Teller, nahm eine Zinkscheibe und eine Kupferscheibe, jede an ein Stück Siegellack befestigt, brachte sie, isoliert gehalten, miteinander in Berührung und teilte nun durch Berührung der Messingplatte des Elektroskops demselben die Elektrizität mit. Diese Elektrizität war aber immer, sowohl bei Ladung durch die Kupfer- wie durch die Zinkscheibe, negativ. Dies konnte unmöglich richtig sein, denn wenn die beiden Metalle, durch Berührung miteinander, elektrisch werden, so muß das eine positiv, das andere negativ sein.

So sah er, nachdem er Monate lang nach einer Erklärung der Erscheinung gesucht, eines Tages über eine Zeitung gebeugt, ohne deren Inhalt anzusehen, und dachte über die erstere nach. Dabei pflückte er eine kleine Ecke vom Papier ab und führte sie an die Lippen, sie mit der Zunge benetzend. Seine Gedanken richteten sich plötzlich auf dieses unscheinbare Stückchen Papier. Er klebte dasselbe an die Platte des Elektrometers, brachte Kupfer und Zink aneinander und führte nun das isoliert gehaltene Kupfer zu dem nassen Papier, durch dieses dem Elektrometer die Elektrizität mitteilend. „Zimmer wieder diese negative Elektrizität!“ rief er aus, als er bei der Untersuchung abermals nur diese vorfand. Jetzt machte er den Versuch nochmals mit der Zinkscheibe und siehe, sie ergab jetzt positive Elektrizität. Wie ein Blitz erleuchtete dieses Ergebnis seinen Geist. Das Rätsel war gelöst. So mußte es ja sein! Wenn er vorhin bei Berührung des Elektroskops mit der Kupferscheibe demselben die Elektrizität mitteilte, welche das Kupfer hatte, so war dies gar nicht der Fall bei Berührung desselben Instruments mit der Zinkscheibe. Hier waren ja von neuem zwei verschiedene Metalle miteinander in Berührung, dadurch mußte ja das eine negativ werden; dies war gerade das Metall des Elektroskops, das Kupfer, denn Messing ist ja eine Mischung von 16 Teilen Kupfer und 2—3 Teilen Zink. Ein Stückchen Zeitungspapier war hier gleich dem Ei des Kolumbus.

Nach den neuesten, nach der chemischen Theorie namentlich durch Professor Erner entwickelten Anschauungen, entsteht durch die Berührung der Metalle selbst gar keine elektromotorische Kraft, also auch keine Potentialdifferenz, sondern letztere werden bewirkt durch Drydation der Metalle bei der Berührung mit dem Sauerstoff der Luft.

36. Die Volta'sche Säule.

Da Volta der Ansicht war, daß die flüssigen Leiter nur als Leiter fungieren, selbst aber keine elektromotorische Kraft bei der Berührung mit Metallen entwickeln, so versuchte er, die positive Elektrizität jedes Kupfer-Zink-Platten-Paares durch eine mit angesäuertem Wasser getränkte Luchscheibe dem nächsten Kupfer-Zink-Platten-Paar zuzuführen, indem er eine

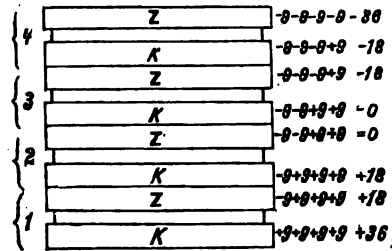


Fig. 200. Wirkung der Volta'schen Säule.

Kette aufbaute, die von unten nach oben aus Kupfer — Zink — Wasser — Kupfer — Zink — Wasser — Kupfer u. s. w. zusammengesetzt war nach dem durch Abbildung 200 veranschaulichten Schema.

Eine solche Kette, wie sie in Fig. 200 dargestellt ist, heißt eine Volta'sche Säule. Zum Aufbau derselben wandte Volta Kupferplatten, Zinkplatten und mit angesäuertem oder salzigem Wasser

getränkte Luchscheiben an. Wenn auf eine Kupferplatte K (Fig. 201) eine mit Salzwasser getränkte Luchscheibe T gelegt und durch einen Kupferdraht f mit dem Erdboden in leitende Verbindung gebracht wird, so wird alle ihre freie Elektrizität abgeleitet, die elektrische Ladung in der Luchscheibe T wird, wenn wir die elektrische Differenz zwischen der Flüssigkeit und dem Kupfer e nennen, + e. Legt man nun auf die feuchte Luchscheibe eine Zinkplatte Z, so wird diese um 10 e



Fig. 201. Volta'sches Plattenpaar.

mehr negativ elektrisch, wie die Luchscheibe, und nimmt daher die Ladung $-9e$ an, weil ja die elektrische Differenz zwischen dem Salzwasser und dem Zink 10 mal so groß ist, wie die zwischen dem Kupfer und der Flüssigkeit. Wird nun auf

ein solches Volta'sches Plattenpaar (Fig. 201) in gleicher Ordnung ein zweites gelegt, so geht die negative Elektrizität von der Zinkplatte Z auf das obere Plattenpaar über, während wiederum eine gleichgroße Menge positiver Elektrizität durch den Kupferdraht f abgeleitet wird. Die elektromotorische Kraft aber, welche zwischen der Flüssigkeit der Luchscheibe T und den beiden sie berührenden Metallplatten thätig ist, ersetzt alle abströmende Elektrizität derart, daß der elektrische Zustand des unteren Plattenpaares unverändert erhalten bleibt, die Zinkplatte Z also die elektrische Ladung $-9e$ beibehält. Elektrisches Gleichgewicht wird erst dann hergestellt werden können, wenn auf das obere Plattenpaar soviel negative

Elektrizität übergegangen ist, daß auch die Kupferplatte K^2 die Ladung $-9e$ angenommen hat. Dann aber wird die Ladung der Zinkscheibe

$$T^2 = -9e + e = -8e$$

der Zinkscheibe $Z^2 = -8e - 10e = -18e$ sein.

In dieser Vereinigung ist die negativ elektrische Ladung der Zinkplatte Z^2 doppelt so groß wie die Ladung der Zinkplatte Z^1 .

Auf diese Weise kann man ein drittes, viertes, fünftes Plattenpaar u. s. f. aufsetzen; die negativ elektrische Ladung der obersten Zinkplatte wird dann 3, 4, 5 bis n mal so groß sein, wie die eines einzelnen Volta'schen Plattenpaares.

Die Volta'sche Säule ist in ihrer Form und Zusammensetzung häufig abgeändert worden, ihre ursprüngliche Gestalt sehen wir in Fig. 202. Die Metall- und Zinkscheiben sind hier zwischen 3 Glasstäbchen aufgeschichtet, die Kupfer- und Zinkscheiben sind zusammengelötet und erstere mit einem aufstehenden Rande versehen, um das störende Abfließen der Flüssigkeit möglichst zu verhindern.

Sind nun beide Pole dieser Säule isoliert, so sagt man, „die Säule sei offen.“ An den isolierten Polen beobachtet man elektrische Spannungs-Erscheinungen, die mit der Anzahl der Plattenpaare zunehmen. Werden dagegen die beiden Pole durch einen Draht miteinander in leitende Verbindung gebracht, so sagt man „die Säule oder Kette sei geschlossen.“ — Bei der geschlossenen Säule strömt die positive Elektrizität durch den Schließungsdraht von dem positiven Pole unausgesetzt nach dem negativen Pole hin und ebenso strömt die negative Elektrizität in umgekehrter Richtung; in der Säule selbst aber strömt die positive Elektrizität nur nach dem positiven und die negative nur nach dem negativen Pole. Es sind also in der Bahn der Elektrizitäten zwei Ströme vorhanden, um aber Irrungen vorzubeugen, wird mit „Richtung des Stromes“ stets nur diejenige Richtung bezeichnet, welche die positive Elektrizität einschlägt. Innerhalb der Säule hat also der Strom die Richtung vom Zink zum Kupfer, im Schließungsdrahte dagegen vom Kupfer zum Zink.

In der sogenannten trockenen Säule (Fig. 203), welche Zamboni 1812 nach dem Prinzip der Volta'schen Säule herstellte, wird der feuchte Leiter durch eine Papierscheibe ersetzt. Am leichtesten lassen sich diese

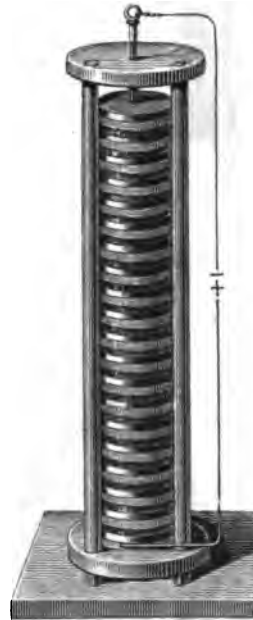


Fig. 202. Volta'sche Säule.



Fig. 203.
Trockne Säule.

Säulen aus unechtem Gold- und Silber-Papier herstellen. Man klebt einen Bogen Silberpapier (Zinn) und einen Bogen Goldpapier (Kupfer) mit den metallischen Seiten zusammen und schneidet dann aus ihnen runde Scheibchen, die man so aufeinandersetzt, daß ihre ungleichnamigen Metallseiten sich berühren. Hierauf faßt man die Scheibchen in gut gefirnigte Glasröhren, die mit ihren Enden in Metallkappen (h k) stecken und preßt die Scheibchen fest gegeneinander.

Diese trockenen Säulen wendet man an, um das sogenannte elektrische Perpetuum mobile (Fig. 204) zu konstruieren. Zwei trockene Säulen ($s s^1$), jede zu etwa 2000 Paaren, werden so nebeneinander gestellt, daß bei der einen der positive, bei der anderen der negative Pol unten ist. Die Herstellung geschieht in folgender Weise. Man schließt je ein Ende der beiden Glasröhren mit einer Messingkapsel, füllt die

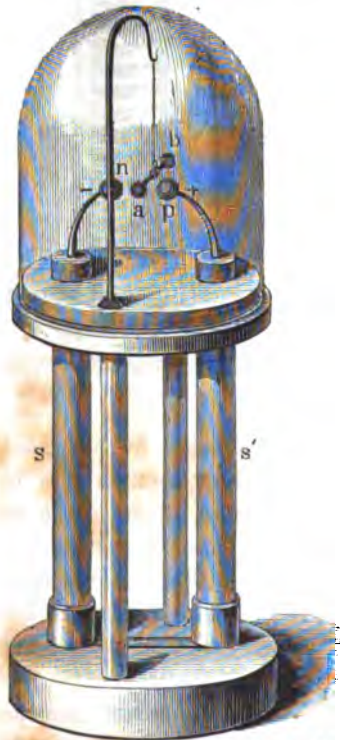


Fig. 204. Elektrisches Perpetuum mobile
(Zamboni'sche Säule).

aus dem Gold-Silber-Papier mit Hilfe eines scharfen Durchschlags ausgeschlagenen, 1—3 cm im Durchmesser haltenden Scheiben ein, drückt sie möglichst zusammen, legt zuletzt noch so viele Scheiben aufeinander, daß die zweite Metallkapsel mit einigem Druck aufgesetzt werden muß und läßt den als Kitt benutzten Siegellack erstarren. Dann stellt man die beiden Säulen $s s^1$ auf ein rundes Brett und zwar, wie Abbildung 204 zeigt, auf die beiden Enden eines aufgeklebten Staniolstreifens, so daß dadurch die unteren Pole der Säulen miteinander leitend verbunden werden. Da nun aber, wie wir wissen, bei der einen Säule der positive, bei der anderen der negative Pol unten ist, so verbindet der Staniol beide Säulen zu einer, und man erhält somit ein System, dessen Stärke einer einzigen Säule von 4000 Paaren gleich ist. Die oberen Pole der beiden Säulen gehen durch ein rundes Brett, zu dessen Unterstüßung noch zwei einfache Glasfäulchen auf dem unteren Brett befestigt sind, hindurch, und in jeden wird

ein gebogener, mit einer Metallkugel (n p) versehener Draht eingeführt. Schließlich wird auf dem oberen Brett noch ein höherer, oben abwärts gekrümmter Draht angebracht, welcher mittels eines Seidenfadens ein leichtes Glasstäbchen trägt, das auf der einen Seite mit einem hohlen Messingkügelchen a, auf der anderen mit einer Kugel b als Gegengewicht versehen ist. Die Kugel a hängt im Ruhezustand zwischen beiden Polen (+ —) und muß bei ihren Schwingungen beide, also n und p, erreichen können. Stößt man die Kugel a gegen den einen Pol, so ladet sie sich mit der betreffenden Elektrizität (+ oder —), wird hierauf abgestoßen und nähert sich nun dem anderen Pol. Hier wird ihre Elektrizität neutralisiert und sie selbst mit der entgegengesetzten Elektrizität geladen, infolge dessen wieder eine Abstoßung von hier stattfindet u. s. f. In dieser Weise kann sie jahrelang ohne Unterbrechung von einem Pol zum anderen schwingen. Um übrigens den Apparat vor äußeren Einflüssen zu schützen, ist er mit einer Glasglocke bedeckt.

Die sinnreichste und wichtigste Anwendung der trockenen Säule ist von Behrens entdeckt worden. Derselbe nennt das von ihm (1806) konstruierte Instrument Säulen-Elektrometer. Fig. 205 zeigt uns ein solches Instrument in der Form, wie sie ihm Bohnenberger gegeben hat.

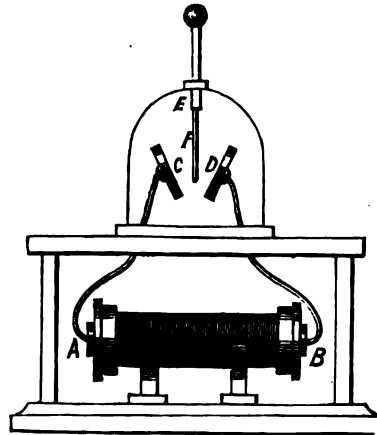
Zwei kleine trockene Säulen B und A werden in einem 2—5 cm weiten Glasrohre angebracht. Dasselbe wird in einen hölzernen Fuß gesteckt, in dem die Säulen A und B befestigt sind. Die unteren Enden der Säulen sind durch einen leitenden Metalldraht in Verbindung gesetzt und ihre oberen Enden mit kleinen Polplatten versehen, von denen die eine positiv, die andere negativ elektrisch ist. Oben ist ein hölzerner, in der Mitte durchbohrter Deckel aufgesetzt, durch den ein gehörig isolierter Metalldraht C herabgeht, auf welchem oben eine Metallkugel K oder Kondensatorplatte angeschraubt und an dessen unterem Ende ein Streifen Blattgold aufgeklebt ist. Das untere Ende hängt gerade in der Mitte zwischen den Polplatten (+ und —) der Säule. Wenn nun dem Goldblättchen auch nur die geringste elektrische Ladung mitgeteilt wird, so schlägt es nach der einen oder der anderen Seite hin, je nachdem die Ladung positiv oder negativ ist.

An Stelle der beiden vertikalen Säulen wendete Becquerel eine wagerechte Säule mit senkrechten Polplatten an, wodurch er ein für die leichte und sichere Anstellung der Volta'schen Fundamentalversuche höchst empfind-



Fig. 205.
Säulen-Elektroskop.

liches Instrument schuf, das von Fechner 1829 verbessert wurde. In einem Kasten (Fig. 206) ist in horizontaler Lage eine trockene Säule von 800 bis 1000 etwa thalergrößen Plattenpaaren angebracht. Dieselbe ist in einer Glasröhre dicht eingeschlossen durch metallene Kappen, welche genau passend an den Enden aufgesetzt sind. Diese Kappen stehen mit den Polen der Säule in leitender Verbindung und von ihnen gehen die Metalldrähte A und B aus, die durch einen Spalt im Deckel des Kastens gehend in den Polplatten C und D enden. Über diese Platten ist eine Glasglocke gestülpt, in welcher das von einem isolierten Metalldrahte E getragene Goldblättchen F hängt.



! Fig. 206. Fechner's Säulen-Elektroskop.

Der ursprünglichen Volta'schen Säule hat man nun noch verschiedene andere Formen zu geben versucht. So wandte man auch statt der vertikalen Schichtung die horizontale Schichtung in den sogenannten Trog-

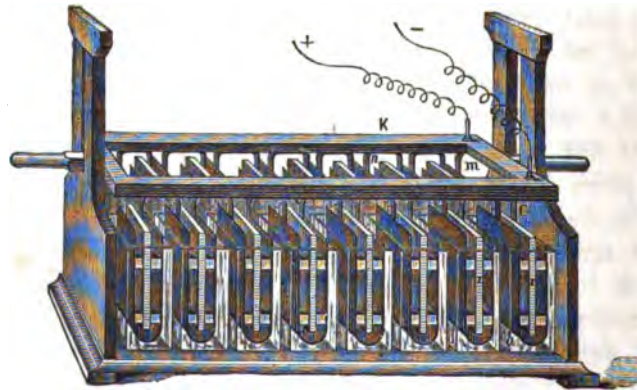


Fig. 207. Wollaston'sche Batterie.

apparaten an, um den Druck der Platten aufeinander zu vermeiden. Die Wollaston'sche Batterie (Fig. 207) dagegen wird zusammengesetzt aus Zink- und Kupferplatten, die nach oben durch Streifen verlängert sind, und es wird nun immer ein Zinkstreifen an einen Kupferstreifen, dieser wieder an den nächsten Zinkstreifen u. s. f. angelötet. Die Berührung der Metall-

platten wird durch dazwischen geschobene Holzklöbchen verhindert. Alle Plattenpaare sind in einen Holzstreifen eingelassen, der in den Rinnen zweier senkrechter Holzstäbe auf- und niedergelassen werden kann. Nun stellt man unter jedes Plattenpaar einen Becher von Glas oder Porzellan mit der angesäuerten Flüssigkeit und kann so sämtliche Plattenpaare auf einmal in dieselbe tauchen. Faraday stellte statt der Becher einen Trog unter. Dabei geht allerdings zuerst ein Teil der galvanischen Kraft durch Nebenschließung verloren, aber man gewinnt wieder dadurch, daß man die Plattenpaare näher zusammenbringen und dadurch eine immerhin bedeutende Wirkung erzielen kann.

37. Die konstanten Elemente oder Ketten.

Um das Folgende besser zu verstehen, gehen wir von einigen einfachen Versuchen aus.

Taucht man in ein mit verdünnter Schwefelsäure fast gefülltes Glas (Fig. 208) eine Kupfer- und eine Zinkplatte (C Z) so, daß beide sich nicht berühren können, so zeigt das Kupfer an dem hervorragenden freien Ende + E und das Zink — E. Stellt man nun ferner außerhalb der Säure von dem einen Metall zum andern eine Verbindung mittels Kupferdraht (M) her, so muß infolge Anziehung der ungleichnamigen Elektrizitäten durch den Schließungsdraht M vom Kupfer zum Zink die + E und vom Zink zum Kupfer die — E überströmen, d. h. beide Elektrizitäten gleichen sich aus. Daß dieser Strom wirklich stattfindet, erkennt man, wenn man die Enden eines Multiplikator drahtes mit den Metallen in Verbindung setzt, denn die Magnetnadel wird dann abgelenkt. Dadurch, daß man wie im ersten Falle zwei verschiedene Metalle, die nicht in Verbindung stehen, in eine Säure taucht, entsteht eine offene galvanische oder Volta'sche Kette; zwei in die Säure getauchte und außerhalb derselben in Verbindung stehende Metalle jedoch bilden eine geschlossene galvanische Kette (Fig. 208).

Die Fortpflanzung oder Bewegung der + E vom Kupfer durch den Draht zum Zink nennt man einfach den galvanischen Strom; denn man pflegt, obgleich stets zwei entgegengesetzte Strömungen, ein positiver und ein negativer, stattfinden, der Kürze wegen von diesen beiden nur die Strömung der + E vom Kupfer zum Zink (und in der Flüssigkeit vom Zink zum Kupfer) hervorzuheben und als galvanischen Strom zu bezeichnen.

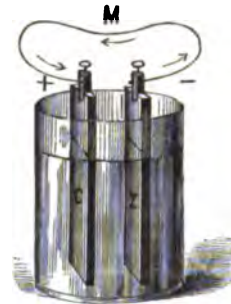


Fig. 208.
Geschlossene galvanische Kette.

Die Ursache der ununterbrochenen Strömungen sucht man entweder in der beständigen Berührung der Flüssigkeiten mit den Metallen, oder in der chemischen Wirkung der Flüssigkeit auf die letzteren. Die besprochenen Vorgänge lassen also ebenfalls das wichtige physikalische Gesetz erkennen: Durch die gegenseitige Berührung zweier Metalle und einer Flüssigkeit wird die galvanische oder Berührungselektrizität erzeugt. Und die sogenannte elektromotorische Kraft, d. i. die Ursache, welche bewirkt, daß bei der Berührung verschiedenartiger Metalle eine Verteilung der Elektrizitäten in der beschriebenen Weise stattfindet, hängt nur von der Natur der sich berührenden Körper, nicht aber von der Größe der Berührungsflächen ab. Die elektromotorische Kraft bleibt auch, wenn man, wie Abbildung 209 schematisch darstellt, zur Schließung des Kreises noch einen Draht aus anderem Material, z. B. Eisen, verwendet.

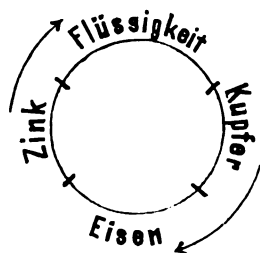


Fig. 209. Galvanischer Strom.

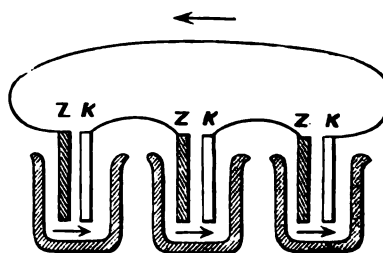


Fig. 210. Galvanische Kette, Durchschnitt.

Durch Herstellung galvanischer Elemente, d. h. durch Einstellen zweier aus verschiedenem Metall gefertigten Plattenpaare in mit anregender Flüssigkeit gefüllte Gefäße — und zwar entweder mehrerer Plattenpaare in ein gemeinschaftliches oder (Fig. 208) jedes Paares in ein besonderes Gefäß — hat man manchen Übelstand der in Kapitel 36 besprochenen Volta'schen Säulen vermieden. Verbindet man mehrere solcher Elemente dergestalt miteinander, daß immer der positive Kupferpol des einen mit dem negativen Zinkpol des darauffolgenden in Berührung ist, so erhält man ebenfalls eine galvanische Kette oder Batterie, wie sie Figur 210 im Durchschnitt (ohne Angabe der Flüssigkeit) zu veranschaulichen sucht. Diese Art galvanischer Elemente oder Ketten leidet aber auch noch an einem Mißstand, indem nämlich die nach dem Eintauchen der Metalle in die Flüssigkeit sehr starke Wirkung schnell nachläßt und schließlich fast Null wird. Deshalb ersetzt man sie durch sogenannte konstante (beständige) Elemente oder Ketten, deren verschiedene Konstruktionen doch alle das gemeinschaftlich haben, daß bei ihnen das negative Metall in eine andere

Flüssigkeit eingetaucht ist als das positive, welche beiden Flüssigkeiten gewöhnlich durch eine poröse Scheidewand verhindert werden, sich zu mischen.

Bei dem gewöhnlichen Volta'schen Becher-Apparat (Fig. 211) befindet sich jedes Plattenpaar in einem besonderen Glase und die Plattenpaare sind eben; in den konstanten Ketten dagegen krümmt man, der Raumersparnis wegen, die

Plattenpaare cylinderförmig und trennt die Flüssigkeit, welche das negative Metall umgiebt, von der Flüssigkeit um das positive Metall durch eine poröse Scheidewand, zu

der man früher tierische Blase, jetzt aber allgemein hohle poröse Thonzylinder verwendet, die man Thonzellen nennt.

Der negative Pol der konstanten Ketten wird stets durch Zink gebildet, der in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht ist, der positive Pol dagegen durch Kupfer, welches in eine konzentrierte Lösung von Kupfervitriol, oder durch Platin, das in konzentrierte Salpetersäure gestellt ist.

Fig. 212 stellt das älteste konstante Element, das Daniell'sche, dar. Das mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllte Glasgefäß enthält einen aus Kupfer gebogenen hohlen Cylinder, in dem die mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Thonzelle *t* steht. In die Flüssigkeit der Thonzelle ist ein Zink-Cylinder getaucht. An dem Zink-

Cylinder ist ein Zinkstreifen oder Draht, an dem Kupfer-Cylinder ein Kupferstreifen so angelötet, daß beide Streifen zusammengebracht werden können.

Ein solches Daniell'sches Element, das längere Zeit in Thätigkeit bleibt, setzt in der Thonzelle metallisches Kupfer ab, welches nach und nach die Poren derselben verstopft. Diesen Übelstand hat Meidinger dadurch behoben, daß er die poröse Scheidewand ganz wegläßt. In ein Glasgefäß (Fig. 213), das sich nach unten verengert, ist der Zinkring *Z* eingesetzt, während der Kupfering *e* sich in einem Glasgefäße befindet, das auf dem Boden von *A* steht. Der Zuleitungsdraht von *e* ist in eine Glas-

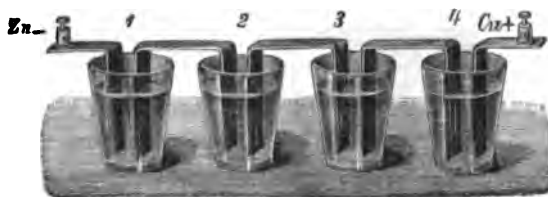


Fig. 211. Volta's Becher-Apparat.



Fig. 212. Daniell's Element.

röhre oder in eine isolierende Guttaperchahülle gesteckt. Das Gefäß A wird nun mit einer Lösung von Bittersalz gefüllt, welche vom Zink umspült wird. In dieser Bittersalzlösung hängt, getragen vom Deckel des Gefäßes, ein Glasballon oder Glasrichter h herab, in welchen Stücke von Kupfervitriol gelegt worden sind. An seiner nach unten gerichteten Öffnung ist dieser Glasrichter mit einem Kork verschlossen, in dessen äußeren Rand mehrere Rinnen geschnitten sind. Die Lösung des Kupfervitriols diffundiert nun, ihres größeren spezifischen Gewichtes halber, nur sehr langsam in der Bittersalzlösung und ein solcher Apparat kann ein Jahr lang in Thätigkeit sein, ohne einer Nachfüllung zu bedürfen.

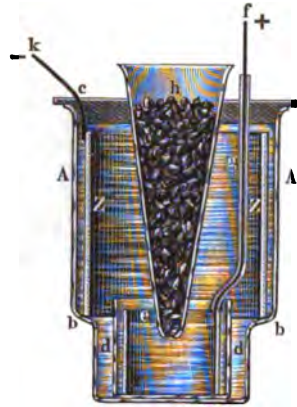


Fig. 213. Nobinger's Element.

Bei neueren Elementen dieser Art wendet man statt des Trichters h lieber einen Glasballon an, dessen Hals nach abwärts in die Kupfervitriollösung e eingesenkt ist. Solche Elemente heißen Ballon-Elemente. Grove baute seine Kette aus amalgamiertem Zink und Platin. Er stellt das Zink in verdünnte Schwefel-

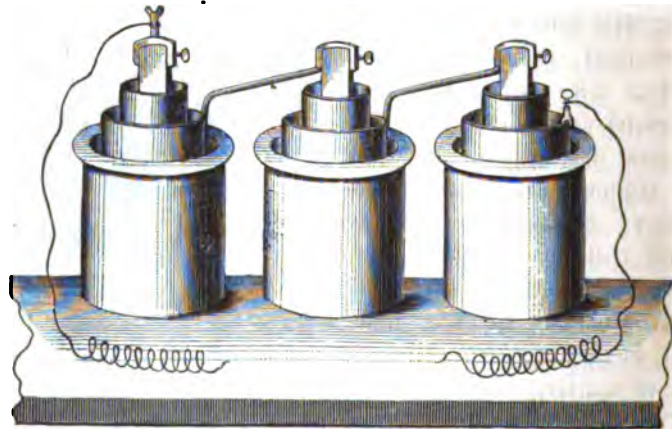


Fig. 214. Bunsen'sche Batterie mit innerer Kohle.

säure und das Platin in konzentrierte Salpetersäure und trennt beide Säuren durch eine Thonzelle. Bunsen suchte Ersatz für das teure Platin und fand denselben in der Kohle. Die Bunsen'sche Kette (Fig. 214) besteht aus Kohle in konzentrierter Salpetersäure, aus amalgamiertem Zink in verdünnter

Schwefelsäure und aus Thonzellen, welche die Flüssigkeiten trennen. Ihre Wirkung ist eine überaus kräftige und sie hat deshalb die allgemeinste Verbreitung gefunden. Siemens und Halske haben den Bunsen'schen Bechern zur Verbindung mehrerer Elemente eine bequemere Form gegeben, indem sie um den oberen Rand des Kohlencylinders einen Bleiring und um diesen einen Kupfering legen. Die Kohlencylinder der Bunsen'schen Batterie müssen eine dichte, feste Masse darstellen, sie werden deshalb aus einem Gemenge von Steinkohlen und Coaks, der in einem verschlossenen Tiegel geglüht ist, hergestellt, dann mit konzentrierter Zuckerslösung getränkt und nochmals in einem verschlossenen Tiegel geglüht.

Leclanché konstruierte sein Element folgendermaßen: Eine Kohlenplatte wird in eine poröse Thonzelle gestellt und hier mit einem aus Braunstein und Kohle gemischten Pulver umgeben (Fig. 215), während außerhalb in dem Glasgefäß eine Salmiaklösung den Zinkstab umspült. Die gefüllte Thonzelle wird häufig mit geschmolzenem Pech verschlossen. Der Braunstein (Mangan-superoxyd) giebt hier Sauerstoff an den Wasserstoff ab, wodurch derselbe zu Wasser oxydiert. Diese Kette ist lange wirksam, stärker als die Daniell'sche und sehr billig herzustellen.

Anderer haben wieder eine Chlor Silber-Kette konstruiert, welche an Wirkung dem Leclanché'schen Elemente aber nicht nahe kommt.

Alle Elemente aber, welche wir beschreiben, wirken nur dann längere Zeit, wenn die Zinkplatten amalgamiert werden. Man nimmt in eine Tasse etwas verdünnte Schwefelsäure oder auf die Hälfte verdünnte Salzsäure und Quecksilber und breitet Säure und Quecksilber mit einem um einen Stiel gewundenen Lappchen auf dem Zink aus. Oder man löst 2 Teile Quecksilber in 10 Teilen Königswasser und setzt dann 10 Teile Salzsäure zu. Diese Flüssigkeit amalgamiert die Zinkplatten sehr rasch.

Eine neuere Form der Bunsen'schen Elemente hat Deleuil angewendet. Er nimmt Gas Kohle, welche sich bei der Leuchtgasfabrikation an den Innenwänden der thönernen Retorten absetzt, sägt dieselbe in rechteckige Platten und setzt sie in das Innere der Thonzelle, um welche das Zink außen herumreicht. Die Kohlenplatten sind mit einem Loche versehen, in welches ein kupferner Konus eingesetzt wird. Man füllt das Loch auch mit Quecksilber, in welches man dann die Verbindungsdrähte eintaucht.

Naturfr. I.



Fig. 215.
Leclanché's Braunstein-Element.

Grove'sche, wie Bunsen'sche Ketten besitzen eine fast doppelt so große elektromotorische Kraft, wie die Daniell'schen Elemente und sie bleiben ebenso konstant, bis die Salpetersäure zu verdünnt geworden ist, aber ihre Anwendung in bewohnten Räumen darf nicht geduldet werden. Sie entwickeln so abscheuliche, sehr giftige Dämpfe von Unter-Salpetersäure, daß nur ein Unwissender solche Batterien im Zimmer halten kann. Diese Dämpfe greifen alle Gegenstände, welche Metalle enthalten, an und namentlich das Eisen, welches sie sofort zum Rosten bringen. Darum dürfen sie nur in gut ventilierbaren Räumen aufgestellt werden.

Bunsen hat deshalb nach Ersatz für die Salpetersäure gesucht, der ebenfalls reichlich Sauerstoff zu entwickeln vermag, und hat denselben in

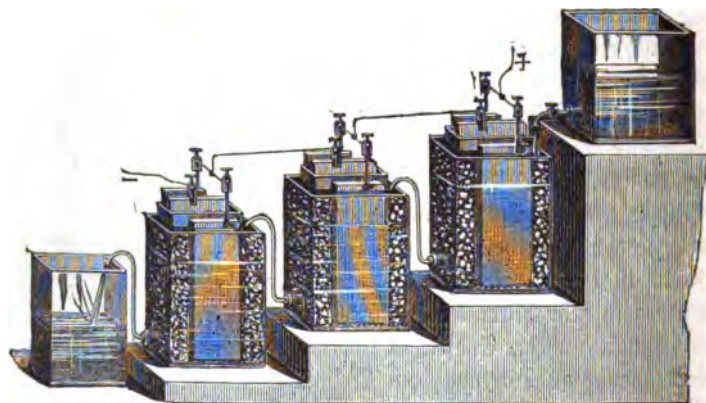


Fig. 216. Comacho's Chromsäure-Batterie.

der Chromsäure gefunden. Er nahm 92 g pulverisiertes doppeltchromsaures Kali und rieb dasselbe nach und nach mit 93,5 ccm konzentrierter Schwefelsäure zusammen so lange, bis er einen gleichförmigen Brei von Chromsäure und doppeltchwefelsaurem Kali erhielt. Diesem Brei setzte er unter fortwährendem Umrühren 900 ccm Wasser zu, bis alles gelöst war und die Flüssigkeit in schön gelbroter Farbe erschien. Diese Farbe verschwindet, wenn die Flüssigkeit den Strom einige Zeit geleitet hat und erscheint dann in einer dunklen Schattierung, weil unter Reduktion der Chromsäure in Chrom-Oxyd ein Doppelsalz entsteht von schwefelsaurem Chrom-Oxyd mit schwefelsaurem Kali, welches Chrom-Alaun heißt. Dieses Chrom-Alaun überzieht die Platten oft in Gestalt von grünen Krystallen. Die Chromsäurehaltige Flüssigkeit greift das Zink nicht stärker an, als die Schwefelsäure, man kann also die Zinkzelle ganz weglassen und Kohle

und Zink in diese Flüssigkeit tauchen. Diese Art der Chromsäure-Batterie heißt Tauchbatterie.

Eine andere Form der Chromsäure-Batterie wendet Comacho an. Er läßt die Flüssigkeit beständig in den Elementen wirken, wie Fig. 216 zeigt. Gewöhnlich giebt man dem Chromsäure-Element die Form einer Flasche mit weitem Halse, welche durch einen Holzdeckel verschlossen werden kann (Fig. 217), in welchem zwei Kohlenplatten *KK* befestigt sind, die beständig in der Flüssigkeit stehen, während die nur halb so lange Zinkplatte *Z* an einem verschiebbaren Messingstabe *c* befestigt ist, der ebenfalls durch den Holzdeckel geht und zum Gebrauche in die Flüssigkeit herabgeschoben werden kann. Auch bei diesem Elemente ist der mit dem Zink verbundene Pol negativ und der mit Kohle verbundene positiv.

Wenn dieses Element frisch gefüllt ist, so giebt es einen starken, wenig veränderlichen Strom; bei längerem Gebrauche jedoch, wenn die Chromsäure dunkel wird, nimmt die Wirkung in Folge der Polarisation rasch ab. Zur Ausführung galvanischer Versuche ist dieses Element vorzüglich geeignet. Wenn nur schwache Ströme erzeugt zu werden brauchen, wie bei der elektrischen Telegraphie, werden Zink-Kohlen-Elemente angewendet, deren beide Platten in Kochsalz- oder Alaun-Auflösung getaucht sind. Haben diese Elemente hinlängliche Größe, so können sie fast ein Jahr hindurch ohne Nachfüllung benutzt werden. Doch werden auch die Elemente von Leclanché häufig benutzt, namentlich für Anlagen großer Telegraphenlinien, zum Sprengen von Minen und Torpedos. Zur Vergoldung und Versilberung dienen die Daniell'schen Elemente.

Ein galvanischer Becher-Apparat von der Form der Fig. 211 muß stets so zusammengestellt werden, daß die Kupferplatte des einen Bechers mit der Zinkplatte des nächsten Bechers in leitende Verbindung gebracht ist, es bleibt dann in dem ersten Becher eine vereinzelte Zinkplatte, in dem letzten eine eben solche Kupferplatte übrig. Die Zinkplatte bildet den negativen, die Kupferplatte den positiven Pol. Verbindet man diese beiden Pole miteinander, so muß der positive Strom in der Richtung von dem letzten Becher zum ersten zirkulieren; in jedem einzelnen Becher geht er aber stets von der Zinkplatte durch die Flüssigkeit zu der gegenüberstehenden Kohlen-, Kupfer- oder Platinplatte.

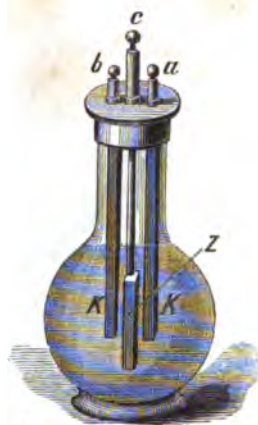


Fig. 217. Flaschen-Element.

Verbindungen starker Elemente in größerer Anzahl zu bewirken, ist sehr umständlich. Störer hat deshalb eine Vorrichtung zur leichteren Kombination einer aus 6 großen Bechern bestehenden Zinkkohlenbatterie angewendet, welche er Tachytrop nennt.

Auf ein eichenes, rechtwinklig geschnittenes Brett schraubt er 6 Messingfäulchen (D) an den beiden Längsseiten ein. Auf jeder Seite des Brettes stellt er dann 3 Zinkkohlenbecher auf. Von jedem Kohlencylinder sowie von jeder Zinkplatte führt ein Kupferdraht zu dem entsprechenden Messingfäulchen und wird in demselben festgeklemmt. Um nun die Messing-

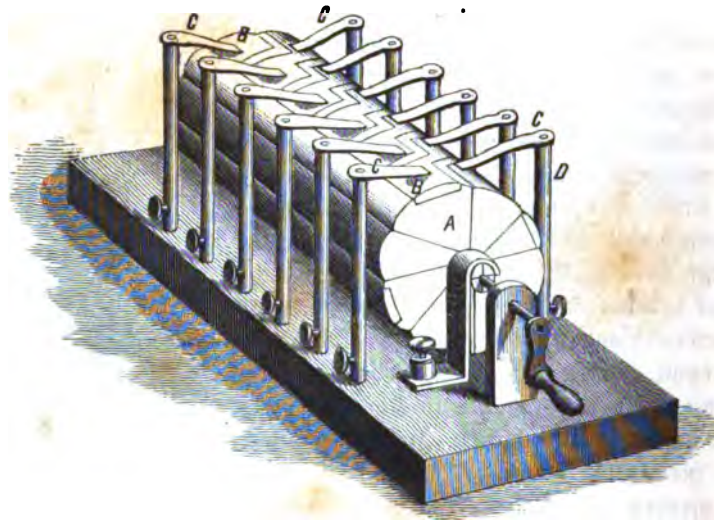


Fig. 218. Tachytrop.

fäulchen nach Bedürfnis miteinander in Verbindung setzen zu können, werden Streifen von Kupferblech zwischen die Säulchen und die Schraubennuttern geklemmt. Wasmuth stellt eine Kombination auf, die er Tachytrop nennt. Er wendet dazu eine hölzerne, mit eisernen Zapfen versehene Walze an, welche sich an Kupferstreifen schleifen, die an Klemmschrauben befestigt sind (Fig. 218). Durch Drehen des Cylinders erhält man die einzelnen Kombinationen.

Das Öffnen und Schließen des Stromes, sowie das Einschalten von Nebenleitungen wird sehr erleichtert durch den „Schlüssel“ von du Bois-Reymond. Derselbe besteht aus einem Täfelchen von Hartgummi, das durch eine Schraubzwinge befestigt wird. Die Leitungen, welche verbunden werden sollen, werden nun einander gegenüber durch Klemmschrauben be-

festigt. In der Mitte des Täfelchens ist ein beweglicher Hebel befestigt, der so gestellt werden kann, daß er, aufgehoben, den Strom schließt, niederfallend, denselben unterbricht.

Ebenso sind vielerlei Apparate in Anwendung, um die Richtung des Stromes in einer Leitung rasch umzulehren. Diese Apparate nennt man Stromwender, Inversoren oder Gyrotrope, oder Kommutatoren.

38. Übersicht der Wirkungen des galvanischen Stromes.

1. Physiologische Wirkungen. Will man sich auf die einfachste Art von der Wirkung des Stromes überzeugen, so befestigt man eine Zink- und eine galvanisch gut versilberte Kupferplatte, beide etwa von der Größe eines Zweimarkstückes, jede an einem runden entsprechenden Draht. Man steckt jetzt die Platten rechts und links in den Mund, so daß sie fest an den Wangen anliegen, schließt den Mund und bringt die Drahtenden in

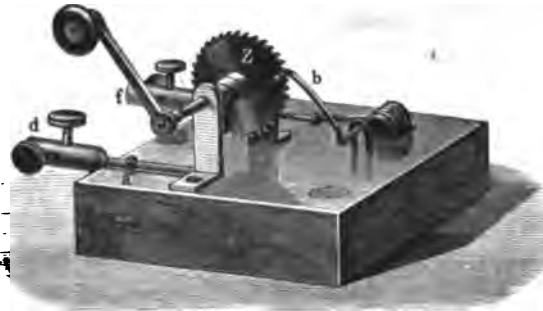


Fig. 219. Blitzrad oder Unterbrechungsräd.

Verührung, während man zugleich die Augen schließt. Bei jeder Verbindung der Drähte entsteht im Auge ein schwacher Blitz. Man kann auch eine Silberplatte an das gut angefeuchtete Augenlid drücken und diese mit einem Zinkstück berühren, das man in der ebenso angefeuchteten Hand hält.

Legt man ein Zinkstück auf die Zunge, so daß es ein wenig über die Spitze ragt, nachdem man unter dieselbe, dicht auf die unteren Schneidezähne ein Silberstück gelegt hat und bringt beide Metalle in Berührung, so empfindet man einen stechenden, eigentümlichen Geschmack.

Will man im Innern des menschlichen Körpers Wirkungen hervorrufen, so muß man mindestens 10 bis 12 Platten kombinieren, über 50 hinaus erhöht sich die Wirkung ganz gewaltig, besonders wenn man metallene Handgriffe mit daran gelöteten starken Drähten in die Hände nimmt, die man vorher mit angesäuertem Wasser befeuchtet hat und nun die Pole berührt. Man erhält jetzt einen Schlag und so lange die Schließung der Kette andauert, geht der elektrische Strom durch den Körper,

der bei starken Kombinationen ein Brücken an seiner Eintrittsstelle in den Körper hervorrufft. Öffnet man die Kette, so erhält man einen zweiten Schlag. Läßt man die Wirkung sehr schwacher Erschütterungen recht schnell nacheinander folgen, so erzeugen sie eine kombinierte Wirkung, die sich bis zur Unerträglichkeit steigern kann. Der Strom muß dann fortwährend schnell geöffnet und geschlossen werden. Apparate, die dies bewirken, nennt man Blitzräder Figur 219. Innerhalb zweier auf einem Brett befestigten Ständer ist auf eiserner Achse das Steigrad einer Uhr mit dem Draht a in Verbindung gebracht, ein zweiter Draht b liegt federnd auf den Zähnen des Rades Z. Beide Drähte werden auf der Unterlage durch die Klemmschrauben a und f befestigt. Damit die Berührung intensiver geschieht, amalgamiert man die Zähne des Rades dadurch, daß man in Salz- oder Salpetersäure getauchte Holz- oder Papierspähne während einer Umdrehung an die Zähne streichen läßt oder unter die Zähne ein Schälchen mit Quecksilber stellt, in welches sie bei der Umdrehung eintauchen. Schaltet man diesen Apparat in den galvanischen Strom ein, so wird derselbe unterbrochen, so oft der federnde Draht bei der Umdrehung des Rades über einen Zahn streift.

2. Physikalische Wirkungen. Bei der Reibungs-Elektrizität haben wir bereits kennen gelernt, daß dieselbe Licht und Wärme erzeugt. Die galvanischen Ströme bringen gleichfalls Wärme und Licht hervor. Ein Metalldraht, durch welchen ein galvanischer Strom geleitet wird, erwärmt sich. Steigert man die Stromstärke hinlänglich, so wird der Draht erst rot-, dann weißglühend, zuletzt schmilzt er und fällt auseinander, was an sehr dünnem Eisendraht leicht zu erweisen ist. Die Erwärmung des Drahtes bei gleicher Stromstärke wächst mit seinem Leitungswiderstande. Je dünner der Draht ist, einer um so geringeren Stromstärke bedarf es, ihn glühend zu machen. Schlecht leitende Metalle gelangen, bei gleicher Stärke der Drähte, schneller zum Glühen, als gutleitende Metalle. Draht von Eisen oder Platin glüht leichter als Kupfer- oder Silberdraht.

Diese Eigenschaft des galvanischen Stromes benutzt man mit Erfolg zum Entzünden von Minen, gleichviel ob diese unter dem Wasser, dem Eise oder in Felsenspalten angelegt sind. Eine sehr interessante Sprengung dieser Art wurde in England im Jahre 1842 ausgeführt, als die Eisenbahn von London nach Dover gebaut wurde. Es mußte damals die durch Shakespeare hochberühmte Klippe, auf welcher Gloster zu stehen und den Todesprung zu thun wähnte, beseitigt werden. Es wurde ein 70 Fuß tiefer Stollen in den Felsen getrieben und dann wurden an drei verschiedenen Stellen Pulverkammern angelegt, in welche zusammen 18 000 Pfund Pulver untergebracht wurden. Eine Daniell'sche Batterie von 18 Plattenpaaren und zwei andere von je 20 Paaren ließ man nun vereint auf den

Leitungsdraht wirken. Die Wirkung war sehr überraschend. Der leitende Ingenieur, Cubitt, glaubte, es werde sich im entscheidenden Augenblicke ein feuerspeiender Berg aufthun, es wurde aber kaum eine leise Erderschütterung fühlbar und nur weißer Rauch von Staubwolken hatte sich erhoben. Als man nun den Felsen besichtigte, fand man, daß der Felsen noch viel weiter verschwunden war, als man beabsichtigt hatte: es waren nicht weniger als 9 Millionen Kubikfuß Felsen im Gewichte von 18 Millionen Zentnern in das Meer versunken.

Will man Lichterscheinungen durch eine Batterie hervorrufen, so geschieht dies am einfachsten dadurch, daß man an die beiden Pole einer Dunsen'schen Batterie zugespitzte Kohlenstücke befestigt. Bringt man die Spitzen dieser Kohlenstücke in Berührung, so entsteht zwischen ihnen ein glänzendes Licht. Will man diesen Versuch auf die bequemste Weise ausführen, so nimmt man ein Brett, befestigt auf demselben einen an beiden Enden in Holz gefaßten Glas-Cylinder (Fig. 220), dessen Holzteile oben und unten durchbohrt sind. Durch die Löcher werden die Metallstäbe *c* und *d* gesteckt, welche die Kohlenspitzen *a* und *b* tragen. Die Spitze *a* muß eine Hülle haben, welche sich leicht auf- und abschieben läßt, damit man die Kohlenspitzen immer in gleichweiter Entfernung halten kann.

Man kann dasselbe schon bei einer Kombination von 6 Bechern erzeugen; vermehrt man die Zahl der Becher, so nimmt das Licht ungemein an Stärke zu. Hat man etwa eine Batterie von 50 Elementen, so kann man die Spitzen der Kohlen etwas voneinander entfernt lassen; die glühenden Kohlentheilchen, welche in diesem Falle von einem Pole zum andern übergehen, erscheinen dann als prächtig glänzende Lichtbogen (Fig. 221).

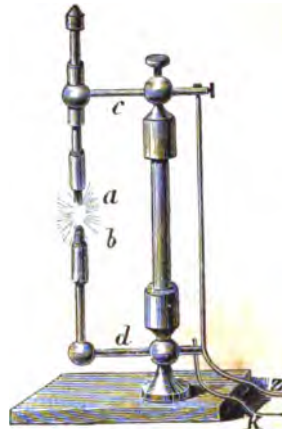


Fig. 220.
Elektrisches Kohlenlicht (Bogenlicht).



Fig. 221. Pole des Volta'schen Lichtbogens.

Die Abbildung 221 stellt zwei Kohlenspitzen in entsprechender Vergrößerung dar. Dieselben sind schon längere Zeit in Wirksamkeit, deshalb

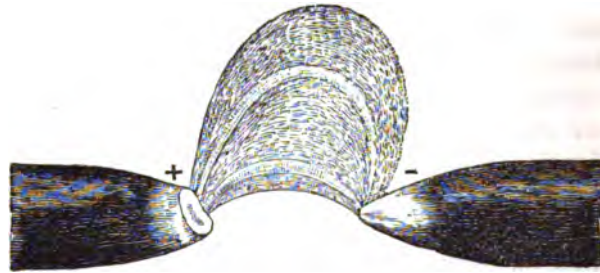


Fig. 222. Volta'scher Lichtbogen.

hat der positive Pol eine Vertiefung, weil von ihm fortwährend glühende Kohlentheilchen zum negativen Pole hinübergeflogen sind. Während dieses Prozesses schmelzen alle fremden Beimengungen (g und c) aus und setzen sich in Kugel- oder Krümel-form an.

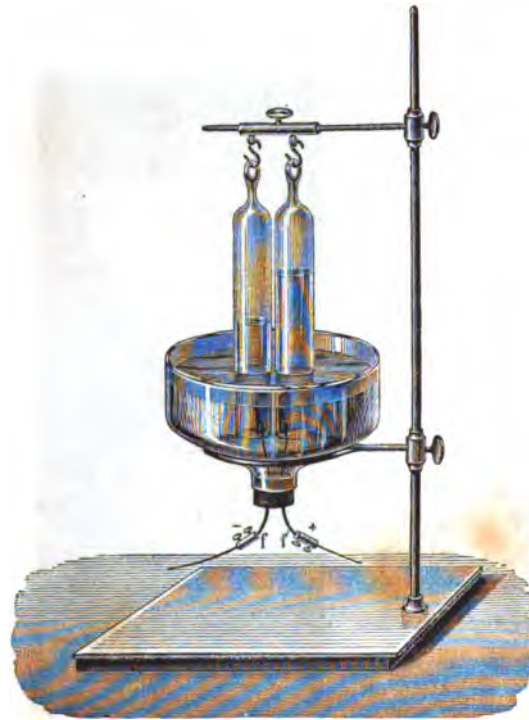


Fig. 223. Wasserzerlegung-Apparat.

angefäuertem Wasser entbindet. Diese Entbindung, also eine chemische Wirkung, entdeckten Carlisle und Nicholson im Jahre 1800 durch ein-

Entfernt man bei sehr starken Strömen die Kohlenspitzen, wie in Fig. 222, so entsteht ein großer Davy'scher oder Volta'scher Lichtbogen, der namentlich auf Leuchttürmen von außerordentlicher Wirkung ist.

3. Chemische Wirkungen. Diejenige Menge der Elektrizität, welche in einer Zeiteinheit durch den Querschnitt eines Leiters geht, heißt die Stromstärke (Strom = Intensität). Für dieselbe kann man relativ ein Maß gewinnen, wenn man Wasserstoff und Sauerstoff aus

gehende Untersuchungen, nachdem bereits Alexander von Humboldt die Vermutung ausgesprochen hatte, daß die Zerlegung des Wassers durch den galvanischen Strom möglich sei.

William Cruikshank dehnte diese Untersuchungen auf wässrige Lösungen von Salzen und verschiedene Säuren aus, und es gelang ihm dabei, aus Lösungen von Kupfervitriol, Silbernitrat und anderen ansehnliche Niederschläge von Gold, Silber, Kupfer, Blei und Schwefel zu erhalten, aus welcher Erfahrung später die Galvanoplastik hervorging. Zur Wasserzerlegung ist folgender Apparat sehr geeignet.

Eine runde Glaschale (Fig. 223) ist in ihrer isolierenden Bodenmitte durchbohrt, um einen Korben aufzunehmen, durch den zwei Kupferdrähte f und f' hindurchgehen, ohne sich zu berühren. An diese Drähte sind innerhalb der Glaschale Platinplatten angelötet, worauf der Kupferdraht und die Platten mit Siegellacklösung innerhalb der Schale sorgfältig überzogen werden. Die Schale wird jetzt mit angesäuertem Wasser gefüllt und zwei gleichfalls mit demselben gefüllte Glaszylinder werden so über der Glaschale aufgehängt, daß sie jeder eine der Platinplatten bedecken. Bringt man nun die Drähte f und f' mit den Polen einer Bunsen'schen Säule in Verbindung, so entwickelt sich fortwährend eine Menge von Gasblasen und zwar steigt das Sauerstoffgas in dem Cylinder über dem positiven und das Wasserstoffgas in dem über dem negativen Pol hängenden Cylinder auf. Eine Kombination von 4—6 Bunsen'schen Elementen genügt, um eine lebhafte Zerlegung des Wassers zu erzielen. Vollkommen reines (destilliertes) Wasser kann durch den Apparat nicht zerlegt werden, weil dasselbe den Strom zu schwach leitet, die Leitungsfähigkeit aber annähernd der Stromwirkung proportional sein muß. Durch diesen Versuch erfahren wir, daß das von der positiven Platte aufsteigende Gas Sauerstoff und das von der negativen Platte auf-

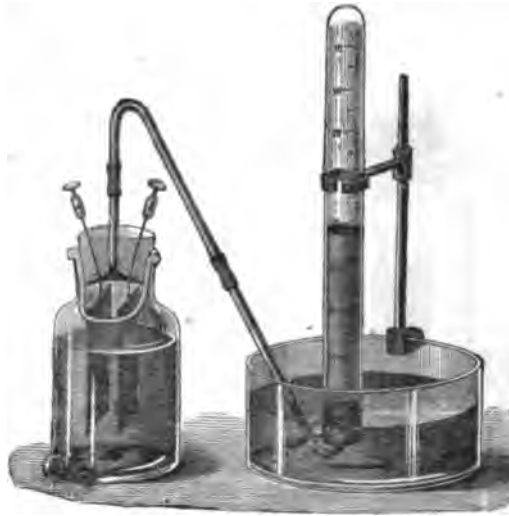


Fig. 224. Apparat zur Zerlegung des Wassers.

steigende Wasserstoffgas ist. Das Volumen des letzteren ist doppelt so groß, als das des gleichzeitig entwickelten Sauerstoffs.

Um eine größere Menge von beiden Gasen zu gewinnen, ändert man die Zusammensetzung des Apparats. Man bringt eine 1—2 cm weite Glasröhre in einen gleichschenkeligen Winkel, verschließt dieselbe an den Öffnungen mit Korken, durch welche zwei Haarröhrchen und zwei Platindrähte geführt sind, welche letztere an den in die gebogene Glasröhre hineinragenden Enden kleine Platinplättchen angelötet tragen. Hierauf verkittet man die Außenseiten sorgfältig und verbindet dann die Haarröhrchen mit anderen Glasröhrchen durch dünne Kautschukschläuche so, daß man diese in

einen kleinen pneumatischen Apparat führen kann (Fig. 224). Die gebogene Röhre legt man auf ein passendes Gestell. Das angesäuerte Wasser, mit dem man die Apparate füllt, wird am besten bereitet aus einem Teil Schwefelsäure auf 10 Teile Wasser.

Sollen die Gase nicht getrennt aufgefangen werden, so bedient man sich des in Fig. 225 dargestellten Apparates. Derselbe enthält zwei größere Polplatten, welche sich sehr nahe stehen, kann also bedeutend mehr Wasser zersetzen, wie die vorigen Apparate. Das Gemenge der beiden Gase entweicht durch die gebogene Röhre. Läßt man diese unter Seifenwasser mit ihrer Mündung, so erhält man Seifenblasen, welche mit dem



Fig. 225. Voltmeter
(Apparat zur Entwicklung von Knallgas).

Gemenge gefüllt sind. Sobald man ein brennendes Zündhölzchen an eine derselben hält, so explodieren sie unter heftigem Knall, weil sich die beiden gemengten Gase unter bedeutender Wärmeentwicklung wieder chemisch zu Wasser verbinden. Solches Gasgemenge heißt dieser Eigenschaft halber: Knallgas.

39. Von der Elektrolyse.

Die durch den galvanischen (elektrischen) Strom bewirkte Zersetzung zusammengesetzter flüssiger Leiter in zwei Bestandteile nennt man Elektrolyse (elektro-chemische Zersetzung). Die zusammengesetzten, flüssigen Körper, welche den Strom leiten, heißen Elektrolyte.

Im Jahre 1807 machte Humphrey Davy die wichtige Entdeckung, daß die Alkalien und die Erden, die bis dahin für einfache Körper galten,

mit Hilfe der Volta'schen Säule zerlegbar seien. Er bestätigte damit die Behauptung Ritters, jede Flüssigkeit müsse zerlegbar sein durch den elektrischen Strom, daß er Versuche an verschiedenen wässerigen Lösungen von Metallen machte und wandte sich dann der Lösung der Alkalien und Erden zu. Seine Bemühungen wurden reichlich gelohnt. Er schmolz zuerst Ätznali und bei der Zersetzung desselben bildeten sich am negativen Pol kleine, quecksilberartige Kügelchen von metallischem Glanze, die Davy als Kali bezeichnete. Dann erzeugte er aus Ätznatron das Natrium und 1808 aus alkalischen Erden und Magnesiumsalzen das Calcium, Strontium, Baryum, Magnesium und Aluminium als neue Metalle.

Das Kalium, welches bei Zerlegung des Kali frei wird, besitzt aber so große chemische Hinneigung zum Sauerstoff, daß es, mit der Luft in Berührung gebracht, sofort oxydiert, bei Berührung mit Wasser aber diesem den Sauerstoff entzieht und das freiwerdende Wasserstoffgas entzündet. Man bewahrt das Kalium deshalb in Steinöl auf, weil dieses nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff zusammengesetzt ist.

Davy's Entdeckung führte Michael Faraday, Professor der Royal Institution in London (1791—1867), weiter. Er vor allem schuf im Anfange des Jahres 1834 exakte und logisch begründete Bezeichnungen, welche die Beschreibung der Erscheinungen wesentlich erleichterten. Ihm verdanken wir die Benennungen: Elektrolyse für die chemische Zersetzung; Elektrolyt für die zu zersetzende Substanz; Elektroden für die metallischen Pole, und zwar Anode für die Eintritts-, Kathode für die Austrittsstelle des positiven Stromes in Bezug auf die Flüssigkeit und Anion und Kation für die ausgeschiedenen Bestandteile der flüssigen Verbindung. Faraday unterschied die bei der Elektrolyse entstandenen Produkte in primäre (unmittelbar durch den Strom bewirkte) und in sekundäre, welche erst durch die chemischen Kräfte der ausgeschiedenen Stoffe bewirkt werden. Die von ihm über diese Vorgänge aufgestellte Theorie wurde wesentlich klar gestellt durch Rudolf Clausius (geb. am 2. Januar 1822), dessen Forschungen im Jahre 1857 zu folgendem Ergebnis führten:

Wenn die Flüssigkeit noch keine Einwirkung des Stromes erfahren hat, bewegen sich bereits die Moleküle derselben und ihre Bestandteile nach allen Richtungen durcheinander. Die Zonen oder Teilmoleküle sind unveränderlich mit entgegengesetzten Elektrizitäten geladen, und wenn dieselben sich auf ihren Bahnen zu nahe kommen, so erfolgen Zersetzungen und Wiederverbindungen, gerade so, wie bei der galvanischen Zersetzung. Diese Schwankungen der Moleküle werden nun durch den Eintritt des Stromes geregelt, so daß sich die entgegengesetzten elektrischen Zonen hauptsächlich in bestimmten Richtungen bewegen. Sobald die Annäherung an die

Elektroden nun zu groß wird, erfolgt die Abscheidung derselben. Da durch diese Theorie die Vorgänge bei der Elektrolyse mit den übrigen physikalischen Anschauungen in Übereinstimmung stehen und in ungezwungener Weise erklärt werden können, so hat sie sich die meiste Geltung verschafft.

Um die Elektrolyse der Salze zu bewirken, bedient man sich der U förmig gebogenen Röhre (Fig. 226).

Schwefelsaures Natrium (Glauber's Salz) ist Schwefelsäure, deren Wasserstoff durch Natrium ersetzt ist. Deshalb wird sich bei der Zersetzung zunächst am negativen Pol Natrium, am positiven Pol aber die übrig bleibende Schwefelsäure ausscheiden. Nun entzieht aber Natrium dem Wasser Sauerstoff und bildet Natriumhydroxyd (Natronlauge); der Schwefelsäurerest, dem jetzt das Natrium entzogen ist, nimmt wieder Wasserstoff auf und wird nun eigentliche Schwefelsäure. Deshalb wird sich wieder am positiven Pol Sauerstoff-, und am negativen Pol Wasserstoff-Gas entwickeln, außerdem aber bleibt am positiven Pol freie Schwefelsäure und am negativen Pol Natronlauge. Dieser Vorgang läßt sich leicht nachweisen, wenn man Glauber's Salz löst, die farblose Lösung durch Lackmustrinktur (Blutkrautabkochung) violett färbt und sie nun in der U förmig gebogenen Röhre der Zersetzung unterwirft. Die Lösung wird durch die Säure am positiven Pol rot, durch die Lauge am negativen Pol grau gefärbt erscheinen.

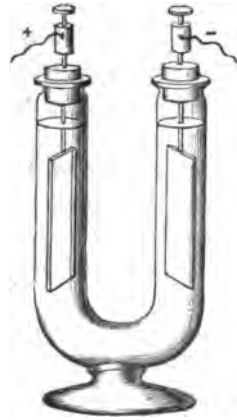


Fig. 226.
Zersetzung-Apparat.

Wird durch das in der Salzlösung enthaltene Metall Wasser nicht zersetzt, so wird am negativen Pol auch kein Wasserstoffgas entwickelt, sondern das Metall auf der negativen Polplatte abgelagert, während wieder Säure und Sauerstoff an der positiven Polplatte ausgeschieden werden. Eine Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd (Kupfervitriol) scheidet bei der Elektrolyse am negativen Pol nur Kupfer ab, während sich Schwefelsäure und Sauerstoff am positiven Pol entwickeln. Ebenso entwickeln Lösungen von Chlor-, Jod- oder Brom-Metallen das entsprechende Metall am negativen, Chlor, Jod und Brom am positiven Pol.

Bei der Zerlegung wässriger Lösungen durch die Elektrolyse stellte sich heraus, daß die Einwirkung des galvanischen Stromes sehr häufig durch die Anwesenheit des Wassers beeinträchtigt wird.

Um diese Einwirkung des Wassers aufzuheben, versetzte Faraday viele Metalle durch Schmelzen in flüssigen Zustand und unterwarf sie dann der Elektrolyse. Er legte u. a. Chlor Silber auf eine Glasplatte, schmolz es

über einer Weingeistlampe und tauchte die Poldrähte in die flüssige Masse. Es erfolgte ebenfalls die Zersetzung: das Chlor schied sich am positiven, das Metall am negativen Pol ab. Noch besser eignet sich zu diesem Verfahren die Uförmig gebogene Röhre oder nebenstehender Apparat (Fig. 227).

Greift das am positiven Pol austretende Chlorgas die Polplatte selbst an, so entweicht es nicht als Gas, sondern es verbindet sich mit dem Metall. Wenn in die geschmolzene Masse silberne Poldrähte getaucht werden, so scheidet sich am negativen Pol in demselben Verhältnis metallisches Silber aus, wie sich der Draht am positiven Pol auflöst. Oft aber werden die durch den galvanischen Strom aus-
geschiedenen Stoffe nicht frei, sondern wirken zersetzend auf die umgebende Flüssigkeit fort. Solche Zersetzung heißt eine sekundäre Aktion.

Wir haben bereits bei der Zersetzung des Alkali gesehen, daß Kalium entflieht, welches durch seine innige Verwandtschaft mit dem Sauerstoff in

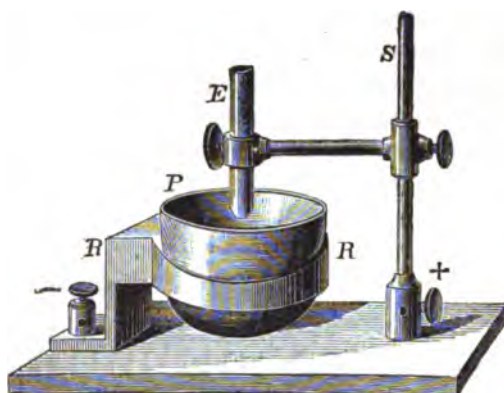


Fig. 227. Apparat zur Zersetzung von Metallsalzen.

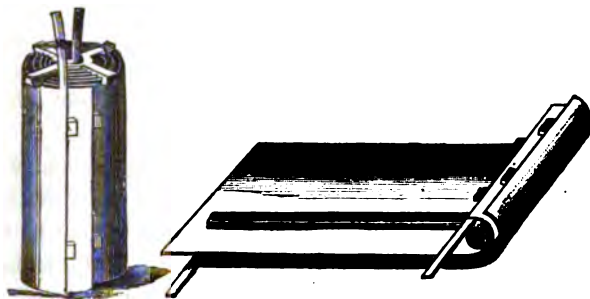


Fig. 228. Planté's Sekundär-Element.

der Flüssigkeit diesen sofort an sich zieht und das dadurch freiwerdende Wasserstoffgas entzündet. Diese Fortdauer der Zersetzung benutzte Planté (1859) zur Herstellung eines sekundären Elements aus zwei Bleiplatten und einem Glaszylinder. Fig. 228 zeigt die beiden Bleiplatten gestreckt und getrennt durch zwei Kautschukbänder von 1 cm Breite und 0,5 cm Dide und zusammengerollt um einen Holzylinder, mittels welchem man

sie zu einer Spirale formt. Der Cylinder wird dann wieder beseitigt und die aufgerollten Platten werden dann in den Glaszylinder gestellt, der mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist. Der Anfang und das Ende der Spirale sind mit längeren Streifen versehen, welche die Elektroden bilden. Vermittelt derselben wird das Element durch den galvanischen Strom geladen. Jetzt zersetzt sich die Schwefelsäure in Sauerstoff und Wasserstoff, die positive Elektrode wird hierauf vom Sauerstoff angegriffen und in sauerstoffreiches Bleihyperoxyd (Bleisuperoxyd) verwandelt, indes die negative Elektrode fortwährend metallisches Blei annimmt. Dadurch bekommt diese eine gekörnte, graue Oberfläche, während die erstere einen braunen Überzug erhält. Setzt man die beiden Bleiplatten außer Verbindung, so erhält das

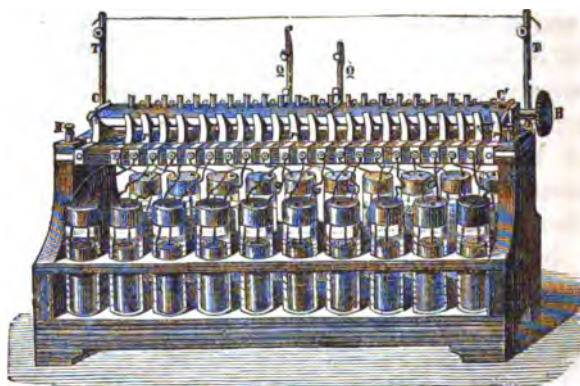


Fig. 229. Planté'sche Sekundärbatterie.

Element die Ladung mehrere Tage hindurch; verbindet man sie, so erzeugt sich sofort wieder ein starker sekundärer Strom.

Durch Wiederholung der Verbindung und Unterbrechung verstärkt sich der gekörnte und braune Überzug und vermag eine immer stärkere Ladung aufzunehmen. Hebt man die Platten aus der Flüssigkeit, so behalten sie ihre elektrische Kraft auf beliebige Dauer, und man nennt solche Elemente deshalb Akkumulatoren. Werden nun viele solcher Elemente verbunden, so kann man eine ausdauernde elektrische Ladung herstellen, deren Kraft auf längere Zeit hinaus zu wirken vermag. Fig. 229 stellt eine solche größere Sekundär-Batterie von Planté dar.

Das eben geschilderte Verfahren ist aber langwierig und auch kostspielig, weshalb Faure dasselbe dadurch vereinfachte, daß er die Bleiplatten mit einem Gemisch von rotem Bleioxyd (Mennige), verdünnter Schwefelsäure und Kleister überzog, und zwar verteilte er auf die größere

Platte etwa 1000—1400 und auf die kleinere Platte 1000 g. Durch die Mischung wird die Ladung schneller und in größerer Menge aufgenommen. Fig. 230 veranschaulicht ein solches verbessertes Faure'sches Element.

Auf ganz dieselbe Weise setzt sich am positiven Pol Manganhyperoxyd ab, sobald man Manganorydul auflöst. Bei diesen Prozessen ergibt sich ein schönes Natur-Schauspiel und zwar ebenso bei Erzeugung von Blei-, wie von Mangan-Hyperoxyd (Superoxyd); aber nur, wenn der Überzug der Platten äußerst dünn hergestellt wird. Dieser Überzug zeigt dann außerordentlich lebhaft Farbenringe. Man nennt diese Ringe „Nobili'sche Farbenringe“. Dieselben werden angewendet zur Verzierung von allerlei Metallwaren, Tischglocken, Zigarrentempeln u. dgl. Man kann sie selber hervorrufen, so oft man will, wenn man ein silbernes Zwanzigpfennigstück unter wiederholtem Ausglühen gut auseinanderklopft, diese Platte dann eben und rein schleift, einige Tropfen essigsaures Kupfer (Grünspanlösung) auf dasselbe gießt und dann durch die Flüssigkeit hindurch das Silber mit einem spitzen Stück Zink oder Zinkblech berührt. Die Ringe erzeugen sich sofort und man hält das Zink dann so lange fest, wie man die Ringe wachsen sieht. Natürlich werden die Ringe schöner, wenn man den Strom einer Säule von 3—6 Elementen dazu verwendet.

Das Verfahren, metallische Tischglocken, Zigarren- und Aschbecher, Zahntochebüchsen u. a. m. mit prächtigen Farben herzustellen, ist von Becquerel erfunden. Man löst, um diese Niederschläge recht schön zu erzielen, einen Teil Ätzkali in 5—6 Teilen Wasser und rührt in die Lösung fein gemahlene Bleiglätte bis zur sehr starken Sättigung; dann kocht man das Gemisch unter fortwährendem Umrühren 30 Minuten hindurch in einem irdenen Topfe, filtriert sorgfältig und zieht die reine Flüssigkeit auf Flaschen, die man luftdicht verkorkt. Nach einiger Zeit bildet sich kohlen-saures Kali; die Flüssigkeit muß dann wieder über Ätzkali gekocht werden. Beim Gebrauche gießt man sie in ein Blei- oder Messing-Gefäß von etwas größerem Umfange, als der zu färbende Gegenstand hat, verbindet letzteren mit dem positiven Pole einer



Fig. 230. Faure's Sekundär-Element.

mehrpaarigen Kette, legt ihn behutsam in das Gefäß und verbindet dies nun mit dem negativen Pole. Der Übergang geschieht jetzt so rasch, daß man, um die erwünschte Farbe zu erhalten, zur Ladung der Kette nur sehr verdünnte Flüssigkeiten anwenden darf, weil bei zu starker Strömung die Farben zu schnell wechseln. Will man nur stellenweise färben, so spart man die freizulassenden Stellen durch Firnis aus; auch kann man, nachdem eine bestimmte Farbe erzielt ist, Teile derselben mit Firnis bedecken und dann weiter färben.

Will man schöne Ringe erzielen, um die Farbenanordnung deutlich zu zeigen, so verwendet man am besten Neusilberblech, welches auf einen Draht gelegt wird, der spiralartig gewunden und mit dem positiven Pole verbunden ist, senkt den Gegenstand dann in das Gemisch und nähert ihm nun, der Mitte gegenüber ein mit dem negativen Pole verbundenes Platinblech, das rund geschnitten ist. Den Firnis entfernt man stets durch Terpentinöl und wäscht die Gegenstände dann mit Seifenwasser. Ist das Verfahren mißlungen, so kann man die Farben mit Essig wieder wegbringen, um es dann zu wiederholen.

40. Die Galvanoplastik.

Durch die Elektrolyse der Salze entdeckte bereits de la Rive im Jahre 1836, daß sich von der negativen Polplatte das galvanisch niedergeschlagene Kupfer ablösen lasse und dieses abgelöste Kupfer einen mikroskopisch genauen Abdruck der Oberfläche der Polplatte zeige. Daraufhin versuchten Jacobi und Spencer fast gleichzeitig, diese Erfahrung praktisch zu verwerten und an Stelle der bloßen Platte die Matrize (den metallischen Abdruck) von Münzen, gestochenen Kupferplatten u. dgl. anzuwenden. Sie erhielten, wie sie richtig geschlossen, einen Kupferabdruck, der dem Original vollkommen ähnlich war. Jacobi gab dem Verfahren den Namen „Galvanoplastik“, der jetzt allgemein angenommen worden ist.

Will man das Verfahren im Kleinen versuchen, so bedient man sich mit Vorteil einer Becquerel'schen Kette von der Form, wie sie Abbildung 231 zeigt. Ein cylinderförmiges Glasgefäß von beliebiger Größe c , an beiden Seiten offen — am besten eine sogenannte Glastrause mit genau abgesprengtem Boden —, bindet man an dem eingeschnürten Teile mit einer Tierblase fest zu, umwindet sie einige Centimeter unter dem offenen Rande mit starkem Draht, den man in drei oder vier Enden vorstehen läßt, so daß das Gefäß in ein zweites, größeres (etwa großes Weißbierglas) so eingelassen werden kann, daß es fest aufliegt und durch die Drahtenden im

Gleichgewicht gehalten wird. (Man kann auch auf den Boden des größeren Gefäßes einen kleinen gläsernen Dreifuß stellen.) Man hängt oder stellt das kleine Gefäß jetzt in das größere und richtet nun einen starken Kupferstreifen her, biegt denselben zu zwei Drittel abwärts und lötet horizontal an denselben eine kleine Zinkplatte oder einen Zinkstreifen und stellt nun ein Wasserglas mit flachem Boden so, daß der Kupferstreifen, auf dessen Boden gestellt, mit seinem Zinkende in das Gefäß c bis dicht über der Blase zu liegen kommt, ohne dieselbe zu berühren, nachdem man den Zinkstreifen sorgfältig mit Fließpapier oder Flanell umwickelt hat. Jetzt wird ein zweiter Kupferstreifen oder Kupferdraht derart gebogen, daß er, in das kleine Wasserglas gleichfalls gestellt, in das große bis genau unter die Mitte der aufgespannten Tierblase ragen kann. An diesem zweiten Draht wird die Matrize befestigt. Dieselbe stellt man dadurch her, daß man die Münze oder Medaille in Gips, Gutta-percha oder Schwefel gut abdrückt und diesen negativen Abdruck mit Graphitpulver (geschabtem Bleistift) fein überzieht. Drähte und die Stellen des Negativs, die nicht mit Metall überzogen werden sollen, überzieht man mit Wachs oder Siegellack. Nachdem man den positiven Kupferstreifen mit der Matrize gleichfalls eingestellt hat, gießt man in das große Gefäß a gesättigte Kupfer-Vitriollösung und in den Glaszylinder b stark (1 : 20) verdünnte Schwefelsäure. In das kleine Wasserglas füllt man vorher aber Quecksilber, damit man, bei öfterem Nachsehen, die Teile des Apparats leicht trennen kann. Nach Verlauf eines Tages ist der Kupferniederschlag bereits abnehmbar; will man denselben jedoch entsprechend stark haben, so läßt man den Apparat mehrere Tage wirken und legt, um die Lösung immer gleich stark zu erhalten, auf den Boden des Gefäßes a Kupfer-Vitriolkrystalle.

Man kann auch gute Formen erhalten, wenn man das Original erwärmt und darauf einen Abguß von 8 Teilen Wismut, 5 Blei und 3 Zinn, oder 8 Teilen Wismut, 8 Blei und 3 Zinn darauf macht. Am leichtesten stellt man eine gute Form aber her aus drei Teilen Wachs, unter welches man in geschmolzenem Zustande 1 Teil Gips rührt. Das Original ist stets vorher sorgfältig zu reinigen und mit Öl abzureiben. Darauf wird aus schwachem Kartonpapier ein Rand um dieselbe gelegt, dessen Enden festgeklebt werden. Der Rand muß mindestens 1 cm über-



Fig. 231. Galvanoplastischer Apparat.

stehen. Will man Gipsmodelle abformen, so legt man sie auf einen Teller mit Wasser, wartet, bis die Feuchtigkeit bis oben angelangt ist, und gießt dann die Formmasse auf.

Sollen Formen aus Wachs gut leitend gemacht werden, so trägt man pulverig niedergeschlagenes metallisches Silber oder fein geschlämmten Graphit mit einem Pinsel auf und bestreicht auch den Umrand damit an der Seite, an welche der Leitungsdraht zu liegen kommt. Auch eine fast gesättigte Lösung von salpetersaurem Silber kann man in gleicher Weise auftragen. Man legt die Form dann einige Sekunden in Schwefelwasserstoffgas; es entsteht nun ein dünner Überzug von Schwefelsilber.

Nimmt man auf 20 Teile Leim, den man mit der zulässig äußerft geringsten Wassermasse kocht, 2 Teile Kandiszucker, so ergibt das den Überzug der Buchdruckerwalzen, der sehr elastisch ist. Man kann dieser Mischung auch für galvanoplastische Zwecke einige Tropfen Leinöl zusetzen.

Auf metallenen Matrizen erhielt Fr. Barrentrapp auch gute Eisenniederschläge. Er wendete der Matrize gegenüber eine Eisenplatte und statt der Kupfervitriollösung entsprechend Eisenvitriollösung an. Die Eisenplatte muß jedoch größer sein als die Form. Dieser Eisenniederschlag ist sehr hart, wird aber weich durch Ausglühen. Soll der Niederschlag sich leicht lösen, so versilbert man die Metallform vorher.

Wie sich nun aus einer Kupfer-Vitriollösung Kupfer und aus einer Eisen-Vitriollösung Eisen am negativen Pol der Kette absetzt, so lösen sich auch andere Metalle ab.

Die Niederschläge aus Kupfer lassen sich am allerleichtesten herstellen, namentlich die eben beschriebenen, welche nur eine Seite der Münze oder Medaille darstellen. Das Kupfer zu denselben erzeugt man am besten durch den galvanischen Niederschlag aus der Kupfervitriollösung, den man dann in einem hessischen Tiegel unter Borax in der Esse schmilzt.

Ein Verfahren, dünne Kupferhäute auf nicht metallischen Gegenständen anzubringen, scheinen schon die alten Ägypter gekannt zu haben, da in den mächtigen Grabstätten von Theben und Memphis zahlreiche Figuren und Gefäße aus Thon gefunden worden sind, an deren dünnem Kupferüberzug auch unter dem Mikroskop keine Spur eines Hammereschlages, Feilenstriches oder einer Auflötung wahrzunehmen ist. Die Galvanoplastik beweist uns, daß diesem merkwürdigen Volke bereits ein Verfahren bekannt sein mußte, aus wässerigen Salzlösungen Metalle niederzuschlagen, denn die überzogenen Gegenstände zeigen genau dasselbe krystallinische Gefüge, das dem auf galvanischem Wege abgelagerten Metall eigen ist. So aufgefundene, überlebensgroße metallische Bildsäulen von nur wenigen Kilogramm Gewicht beweisen, daß sie das Verfahren in weitem Umfange

kannten, indem sie die zur Unterlage gebrauchte Form aus einer leicht schmelzbaren Masse herstellten, die nach hinreichender Stärke der abgelagerten Kupferschicht, alsdann durch starkes Erwärmen leicht entfernt wurde. Das Kupfer erhielten sie wahrscheinlich durch Rösten und Auslaugen von Schwefelkupfererz, an dem Afrika reich ist.

Um nun, gleich den alten Egyptern, einen Gegenstand von allen Seiten mit Niederschlag umgeben zu können, stellte Jacoby einen neuen Apparat her, dem er folgende Gestalt gab. In ein größeres Glasgefäß (Fig. 232) wird eine poröse Thonzelle eingestellt und zwischen das Glasgefäß und die Thonzelle ein Cylinders aus Blech eingesetzt, der oben eine



Fig. 232.
Jacoby's verbesserter galvanoplastischer Apparat.

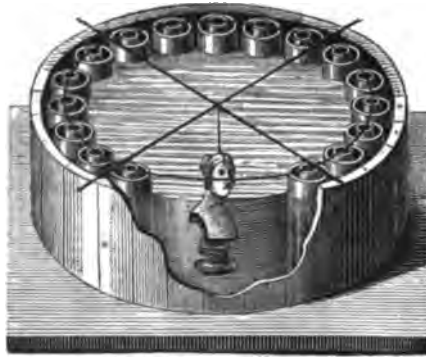


Fig. 233.
Galvanoplastischer Apparat.

Vorrichtung hat, um den zu überziehenden Gegenstand bequem anhängen zu können, der dann den negativen Pol darstellt.

Ordnet man diesen Apparat in größerer Ausdehnung so an, daß man in einem Zuber (Fig. 233) eine Anzahl desselben im Kreise anordnet, die darin befindlichen Zinkcylinder durch einen Draht verbindet und über diesen ein Messingkreuz legt, an dessen Kreuzungspunkte die Büste, Statuette u. aufgehängt in die Flüssigkeit taucht, so erhält man einen gleichmäßigen allseitigen Niederschlag, da die einzelnen Teile des Gegenstandes von den Zinkcylindern hinreichend weit entfernt sind.

Nichts lag nun näher, als das Verfahren auch auf Gold und Silber anzuwenden und die gelungenen Versuche riefen eine ganz neue Industrie ins Leben.

Um galvanisch vergolden oder versilbern zu können, bedarf man größerer Apparate. Wir erläutern einen sehr zweckmäßigen Apparat in Figur 234. Zwei Metallstäbe ab und cd werden über dem Troge A

befestigt und der Stab *a b* alsdann mit dem positiven, der Stab *c d* mit dem negativen Pol der Kette in leitende Verbindung gebracht. Hierauf wird der Trog mit der Vergoldungs- oder Verfilberungsflüssigkeit gefüllt und bei *k* in der Nähe des positiven und bei *K* in der Nähe des negativen Poles werden zwei Silberplatten oder entsprechend am positiven Pol eine Lamelle aus Gold und am negativen Pole ein Platinstreifen so angebracht, daß sie in die Flüssigkeit eintauchen. Die zu vergoldenden oder zu verfilbernden Krüge, Lampenständer, Medaillen, Münzen u. a. werden nun auf starke Drähte *mm* gehängt und mit dem Stabe *c d* in leitende Verbindung gebracht, dann werden die Drähte so über den Trog gezogen, daß die Gegenstände vollständig in die Flüssigkeit eintauchen, der Stab *a b* aber von ihnen nicht berührt wird. Es empfiehlt sich, die Drähte hier so zu be-

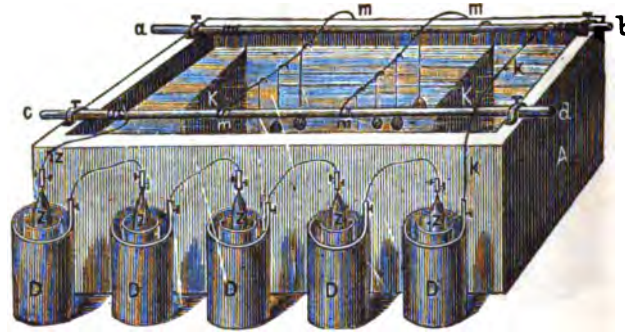


Fig. 234. Größerer galvanoplastischer Apparat.

festigen, daß sie leicht gehoben und wieder niedergelassen werden können. Die Silberplatten, Goldlamelle u. s. w. bilden dann die positive, die eingetauchten Gegenstände die negative Elektrode. Zur Erzeugung des Stromes wendet man vier bis sechs Daniell'sche Elemente (*D*) an oder entsprechend zwei Bunsen'sche großflächige Becher. Die Daniell'schen Ketten sind hierbei die brauchbarsten, weil man dieselben wochenlang wirken lassen kann, wenn man immer etwas frische Schwefelsäure zuträufelt und nach vier oder fünf Tagen einen vollständigen Wechsel derselben vornimmt.

Sollte man zu dem Verfahren Cyankalium aus irgend einer Ursache nicht erhalten können, so kann man sich dasselbe in folgender Art selbst bereiten: Man zerkleinert 8 Teile Kalium-Eisencyanür (blausaures Eisenkali, Blutlaugensalz), trocknet dasselbe auf einem heißen Eisenblech und zerstoßt es dann zu Pulver. Nun schüttet man es in eine Reibschale und mengt mit ihm 3 Teile trocknes kohlensaures Kali zusammen, bis die Masse ganz gleichmäßig erscheint. Unterdessen hat man einen hinlänglich

großen heftigen Ziegel schwach rotglühend werden lassen und schüttet nun das Gemenge auf einmal in diesen hinein, der fortwährend bei gleicher Temperatur erhalten werden muß. Unter lebhafter Gasentwicklung schmilzt das Gemenge, klärt sich nach und nach und erstarrt, an einem heißen Glasstabe zur Probe an die Luft gehalten, zu einer weißen Masse. Ist dieses der Fall, so nimmt man den Ziegel vom Feuer, läßt ihn einige Sekunden ruhig stehen und gießt dann die klare Flüssigkeit auf ein blankes Eisenblech, indem man vorsichtig den Bodensatz zurückläßt. Auf dem Eisenblech erstarrt die flüssige Masse und wird weiß, wie vorhin die Probe. Hierauf hebt man sie vom Blech ab, zerkleinert sie und legt sie in ein sicher verschließbares Gefäß. Diese Masse und die aus ihr erzeugten metallischen Lösungen wirken zugleich als sehr heftige Gifte, weshalb die größte Vorsicht geboten ist.

Die aufzulösenden Metalle müssen chemisch rein sein und man darf sich die Umstände nicht verdrießen lassen, dieselben zweckentsprechend herzustellen.

Für Goldlösung nimmt man am besten Dukatengold, welches man in eine Lamelle strecken läßt; bei der Silberlösung thut man gut, etwas Gold an den negativen Pol zu nehmen. Wo chemisch reines Silber sehr schwierig zu erlangen ist, bedient man sich des geschmolzenen salpetersauren Silbers (Höllenstein). Wenn man den Höllenstein in die Cyankaliumlösung bringt, so entsteht zuerst ein Niederschlag, derselbe verschwindet aber, wenn man bis zu seinem Verschwinden erwärmte Cyankaliumlösung zusetzt. Will man die Verfilberung recht schön weiß haben, so ersetzt man das salpetersaure Silber (Höllenstein) durch Chlor Silber und bringt an den positiven Pol dann Platinblech. Alle metallischen Lösungen lassen sich in verschlossenen Gefäßen gut aufbewahren, Cyankaliumlösung an sich allein aber nicht, weil dieselbe der Zersetzung unterliegt.

Zum Gelingen guter metallischer Überzüge gehört indes die peinlichste Sorgfalt. Jeder Gegenstand, der einen Metallüberzug erhalten soll, muß mit Lauge zuerst gut abgewaschen, dann in verdünnter Schwefelsäure oder verdünnter Salpetersäure, welcher Lampenruß zugefügt ist, gebadet und zuletzt mit Weinsteinpulver unter Anwendung einer feinen Messingdrahtbürste gebürstet werden. Sodann wird jeder Gegenstand mit reinem Wasser abgespült, an den Draht befestigt und erst, nachdem die Drähte ihre bestimmte Anzahl von Gegenständen haben, werden sie so in die Flüssigkeit eingetaucht, daß zuerst der Draht, welcher an den Stab a b gelegt werden soll, mit der angelöteten Platte des gleichen Metalls, das die Lösung enthält, oder mit einer Platinplatte in die Flüssigkeit getaucht wird, dann die Drähte mit den angebrachten Gegenständen, die mit dem Stabe c d ver-

bunden werden. Die Temperatur, welche die Flüssigkeit im Troge — der am besten aus Glas oder Porzellan, für geringe Gegenstände auch von Thon hergestellt wird — haben muß, darf nie unter 12° R. oder 15° C. sinken; je höher die Temperatur des Bades ist, $20-50^{\circ}$ R. oder $25-62^{\circ}$ C., um so schneller spielt sich der Vorgang ab. Das Cyanalium muß im Bade stets überschüssig vorhanden sein.

Um die Menge des niedergeschlagenen Metalls bestimmen zu können, bedient man sich einer Tangentenbusssole, welche auf Wasserzersetzung geeicht worden ist. Aus der Stromstärke läßt sich dann mit Hilfe der Mischungsgewichte die Menge berechnen. Man kann sich eine Tabelle anfertigen, welche für jeden Grad der Abweichung anzeigt, wie viel Gramm Gold, Silber, Kupfer u. s. w. in einer Stunde sich ablagern. So oft man aber den Strom unterbricht, um nachzusehen, muß man sorgfältig jedesmal die Zeit aufschreiben, in der die Kette geschlossen war, und den Stand der Nadel von 5 zu 5 Minuten. Der Strom darf nie sehr stark sein; bei einiger Aufmerksamkeit läßt sich dieser leicht regulieren, indem man größere oder kleinere Blechstreifen am positiven Pole oder den Gegenstand von demselben näher oder entfernter anbringt. Rath giebt an, daß die besten Niederschläge erhalten werden, wenn auf den qem Metall von p Gewichtsteilen Metall auf 100 Teile Wasser = p. 0,0025 g Metall niedergeschlagen werden.

Will man massive Kopien erlangen, so nimmt man von dem Original mehrere Hohlformen, aus denen dasselbe wieder zusammengesetzt werden kann; dieselben werden, nach erfolgtem Niederschlage, aneinandergesetzt und zusammengelötet. Dieses umständliche Verfahren kann man aber umgehen, wenn man, wie Lenoir in Paris, Hohlformen von Guttapercha, die an der Innenseite mit Graphit überzogen sind, anfertigt und dieselben erst zusammensetzt, nachdem man einen Platindraht so in allen Teilen des Hohlraumes herumgeführt hat, daß er überall von der inneren Fläche, welche mit Metall überzogen werden soll, gleichweit absteht. Die Formen sind dann unten und oben offen und gestatten so der Flüssigkeit freien Eintritt und freie Zirkulation im Inneren. Der Platindraht stellt hier den positiven, der Graphitüberzug den negativen Pol dar. Am Graphit scheidet sich nun das Metall ab und am Platindraht die Säure (1 Teil Schwefel, 4 Teile Sauerstoff). Da diese hier kein Metall zum Eingehen einer neuen Verbindung antrifft, giebt sie einen Teil ihres Sauerstoffes in Gasform ab. Derselbe steigt aufwärts und erzeugt nun eine Strömung innerhalb der Form, durch die jetzt kupferarme Flüssigkeit aus dem Hohlraum gedrängt wird, während von unten metallreiche Lösung wieder zufließt. Durch dieses Verfahren werden sehr schöne Ergebnisse erzielt, doch kommt

daselbe ziemlich teuer zu stehen, einmal, weil ein sehr starker galvanischer Strom erforderlich ist, zweitens weil der Platindraht viel Geld kostet, denn es werden auf 1 kg KupfERNIEDERSCHLAG für 96—112 *M.* Platindraht gerechnet. Dieser Übelstand ist in neuerer Zeit dadurch umgangen worden, daß man den Platindraht durch Bleiblech, welches vielfach durchlocht worden ist, mit Erfolg ersetzt hat.

Von Büsten und Statuetten ist man endlich zur Herstellung großer plastischer Bildwerke geschritten. Die Erzgüsse, welche als Kopien solcher Bildwerke hergestellt werden, müssen von den Ziseleuren nachträglich stets auf die feineren Linien wieder verarbeitet werden und gewinnen oft einen, von dem Original abweichenden Ausdruck. Macht man es dagegen, wie es wahrscheinlich die alten Ägypter schon gethan haben, und überzieht Modelle aus Thon, Wachs oder leicht schmelzbaren Metallen mit einem entsprechenden Kupferüberzug und schmilzt dann das Modell aus, so erhält man eine vollkommen dem Original entsprechende Kopie, die keiner Nacharbeit mehr bedarf. Diese Bildwerke halten sich ebensogut, als die auf feurigflüssigem Wege aus Erz gegossenen, wie die drei Figuren des Gutenberg-Denkmal in Frankfurt am Main beweisen, welche aus der Werkstatt von Krefß in Offenbach hervorgegangen sind.

41. Die wichtigsten Fortschritte in der Galvanoplastik.

Wenn wir altdeutsche Museen besuchen und die in Kupfer und Erz getriebenen, gestanzten und gezeugten Arbeiten bewundern, verbinden wir unwillkürlich eine Vorstellung von großer Mühe und Kraftaufwendung mit ihnen, während unsere modernen Ausstellungen mit ihren glänzenden und bestechenden Erzeugnissen diese Vorstellung nicht in uns erwecken. Zwischen den Mühen der Alten und der Gegenwart liegt eben die Wiederentdeckung der Galvanoplastik. Von den Münzen und Medaillen, die man anfangs nur einseitig wiedergeben konnte, ist man zur vollkommenen, zweiseitigen Wiedergabe geschritten, während alle Gegenstände, welche Reliefbilder enthalten, als Schmuck für Wände und Decken, für Kästen, Standuhren u. s. w. in Masse hergestellt werden. Das Kupfer ist an diesen Gegenstände kaum dicker als starkes Papier und wird, durch Einlassung von geschmolzenem Zinn auf die Rückseite, stärker und haltbarer gemacht.

Gegenstände aus Holz oder Gips erscheinen wie aus Erz gefertigt, wenn sie mit dünnen Firnis überstrichen werden, auf welchen dann das Graphitpulver gleichmäßig aufgetragen werden kann.

Ebenso lassen sich Glas- und Porzellangefäße in Erzgefäße umwandeln. Die feinsten Gold- und Silberspitzengewebe stellt man her, indem man dementsprechende Spitzen und Kanten von Lüll in geschmolzenes Wachs taucht, dieselben dann durch Graphitstaub zieht, sie hierauf galvanisch verkupfert und mit einem Gold- oder Silber-Überzug versieht. Leinwand und Zeuge verschiedener Art macht man feuerfest, indem man sie auf ähnliche Weise mit einer Kupferhaut bedeckt.

Durch diese Erfahrungen kühn gemacht, ist man unaufhaltsam weiter geschritten. Konnte man sonst nur kleinere und feinere Naturgegenstände versteinern lassen, um sie fast unvergänglich zu machen, so besorgt heute der Galvaniseur dieselbe Arbeit, nur in viel besserer Art. Der Kupferniederschlag über Blätter, Blumen, Farnwedel, Pilze, Obst, Ameisen, Libellen, Fliegen, Schmetterlinge und kleinere Vögel giebt sämtliche Linimente und Umrisse mit so großer Treue und Deutlichkeit wieder, daß die Arbeit des besten Ziseleurs dadurch übertroffen wird. Die Italiener haben das Verfahren auch auf anatomische Präparate mit Erfolg angewendet und im anatomischen Museum zu Neapel werden die oberen Körperteile eines Kindes aufbewahrt, die, mit einer Kupferhaut überzogen, seit Jahren schon der Verwesung entrückt sind.

Das Druckverfahren hat gleichfalls erstaunliche Fortschritte durch die Galvanoplastik gemacht. Während die Graveure früher große Mühe hatten, die Kupferplatten für ihre Arbeiten herzurichten, erhalten sie dieselben jetzt zumeist auf galvanischem Wege hergerichtet. Der Graveur glüht sie vor der Arbeit dann aus und verdichtet sie durch Hämmern. Hat der Graveur nun eine besonders wertvolle Platte hergestellt, so werden von ihr eine beliebige Anzahl von galvanoplastischen Kopien abgenommen, mit denen dann ebenso beliebig viele Abdrücke angefertigt werden können, während die Originalplatte immer wohl erhalten bleibt. Diese Erfahrung wurde weiter ausgenutzt. Die großen, täglich erscheinenden Zeitungen mit ihren Massen-Beilagen können auf einer gewöhnlichen Maschine nicht mehr gedruckt werden, ganz abgesehen davon, daß die Lettern, aus denen der Satz besteht, unausgesetzt erneuert werden müßten. Heute nimmt man von dem Satze Guttaperchaabdrücke, auf welche man Kupfer niederschlagen läßt. Auf diese Weise hat man den Satz galvanoplastisch stereotypiert, kann denselben an cylindrischen Walzen befestigen und nun auf Papier vervielfältigen. Das Verfahren nennt man Elektrotypie.

Auf dem Gebiete der Xylographie (Holzschnidekunst) ist man ebenso verfahren. Die künstlerisch hergestellten Holzplatten werden durch die Galvanoplastik vervielfältigt und können dann, als *Glichés*, zur Illustration der Zeitschriften und Bücher verwendet werden, wie gewöhnliche Druckertypen.

Zur Herstellung großer Druckplatten und zu deren Vervielfältigung durch Galvanoplastik bedient man sich mehrfacher Verfahrensweisen. Schmilzt man aus einem Teile Stearin und zwei Teilen Schellack eine gleichartige Masse und setzt derselben unter fortwährendem Umrühren Kienruß (Lampenruß) zu, so kann man aus dieser Masse schwarze Platten gießen von beliebiger Größe. Nachdem dieselben gleichmäßig eben sind, werden sie mit Firnis überstrichen und dann mit Silberpulver sorgsam eingerieben. Der Künstler radiert mit der Nadel seine Zeichnung auf die Platte und entfernt durch seine Arbeit überall den Silberüberzug da, wo beim Abdruck schwarze Stellen erscheinen sollen. Ist die Zeichnung vollendet, so wird die Platte mit Graphit leitend gemacht und dann im galvanoplastischen Apparate ein Kupferniederschlag erzeugt. Derselbe läßt die mit der Nadel vertieften Stellen erhaben erscheinen, weshalb von ihm eine neue Kopie genommen wird, die dann als Vervielfältigung des Originals druckfertig ist. Dieses Verfahren heißt Stilographie.

Ein anderes Verfahren heißt Galvanographie. Man bedient sich bei demselben versilberter Kupfertafeln, welche vom Künstler mit einer aus Ocker und Leinöl bereiteten Farbe derart übermalt werden, daß die Schattierung durch stärkeres Auftragen der Farbe erzielt werden muß. Nachdem die Zeichnung aufgetragen ist, wird die Platte durch Graphit leitend gemacht und nun die vertiefte Platte sofort im galvanoplastischen Apparat erzeugt. Beide Verfahren werden gleich häufig angewendet, je nachdem man sich für Drucke in Radier- oder Lusch-Manier entscheidet.

Von den oben erwähnten Geweben, Pflanzen und kleinen Tieren stellt man sogenannte Naturselbstdrucke her. Es wird von den Originalen in Guttapercha oder Blei ein Abdruck genommen und dieser dann auf galvanoplastischem Wege als Druckplatte vervielfältigt. Man befestigt die Gegenstände auf einer schwachen Stahlplatte, legt eine entsprechende Bleiplatte darüber und giebt der Bleiplatte vermittelst einer Walze einen gelinden Druck. Die Gegenstände drücken sich alsdann in der Bleiplatte ab, aus welcher dann eine Hoch- und nachher eine entsprechende Tiefplatte hergestellt wird. Sollen Muster auf farbigem Grunde hergestellt werden, so erhält die Holzplatte, auf welche diese Tiefplatte kommt, die Farbe.

Auch die Nachahmungen von gekörntem ausgenarbtem Leder werden gewonnen durch Platten, die man erzielt hat von Guttapercha- oder Blei-Abdrücken über dem entsprechenden natürlichen Leder.

Borzügliche Drucke von künstlerischem Werte werden erzeugt, wenn man eine Kupferplatte mit Äggrund überzieht, dieselbe dann radiert und sie als positiven Pol in die Flüssigkeit bringt. Die nicht radierten Stellen der

Platte zersehen sich alsdann rasch und man erhält die Radierung in möglichst reiner und scharfer Form. Wird eine solche Platte unter gehöriger Stromregulierung, durch nachträgliches Abwaschen und Folieren betreffender Stellen, indem man sie zeitweilig aus der Flüssigkeit hebt, sowie durch besondere Form und Annäherung oder Entfernung des negativen Poles behandelt, so kann man ihr eine solche Vollendung aufprägen, daß auch die allerzartesten Abtönungen des Originals bei der Wiedergabe erscheinen. Stiche in Aquatinta werden dadurch nachgeahmt.

Noch erfolgreicher für die Verbreitung und Verbilligung guter Illustrationen erweist sich das Verfahren, Druckplatten aus Zink auf galvanoplastischem Wege herzustellen, das unter dem Namen Elektrographie und Galvanoglyptik geübt wird.

Die Gegenwart verlangt auch auf dem Gebiete, das dem Stahl, Eisen und Zink angehört, Massenleistungen. Wir brauchen nur an die ungeheuren Mengen von Zinkdraht mit Kupferüberzug, den die Telegraphie erfordert, zu erinnern. Da nun Kupfervitriollösung Stahl, Eisen und Zink angreift, so braucht man eine Lösung von Cyankalium. Wir kommen bei der Elektrotechnik auf diesen Gegenstand noch zurück.

Berlmutterglänzende, schillernde Überzüge haben wir bei den Nobilschen Ringen bereits erörtert, wir haben nur noch anzuführen, welche Ergebnisse aus Lösungen verschiedener Metallsalze erfolgen.

Bisher haben wir als Grundsatz aller Verfahren ersehen, das Metall scheidet sich stets am negativen Pol aus. Aus Gemengen von alkalischen Lösungen scheiden sich aber zwei oder mehrere Teile gleichzeitig aus, es entstehen also richtige Legierungen. Aus einer Lösung von Cyankupfer und Zink erhält man Messingniederschläge, die je nach der Stromstärke von der kupferroten bis zur weißen Farbe abgetönt werden können.

Will man Metalle mit Messingniederschlägen versehen, so nimmt man reine Cyankaliumlösung und bringt an den positiven Pol Messing, an den negativen Eisen, Zink u. s. w.

Auf diese Weise ahmt man echte Bronze nach, und will man auch die grüne Belagschicht alter Bronzen nachahmen, so poliert man sie an den Belagstellen.

Das galvanische Verfahren wird auch angewendet, um Eisen, Stahl u. a. mit Überzügen von Zinn, Zink oder Blei zu versehen, und namentlich hat sich Nickelmetall hierzu äußerst brauchbar erwiesen.

Eisenniederschläge braucht man zur sogenannten Verstählung von Kupferdruckplatten, wogegen ein sicheres Verfahren für Platin und die seltenen Metalle Radium, Palladium, Antimon u. s. w. noch nicht entdeckt worden ist.

42. Die Verwertung der Galvanoplastik in der Groß-Industrie.

Um die Galvanoplastik in der Groß-Industrie vorteilhaft verwerten zu können, bedurfte es ganz sicherer, exakter Verfahrensweisen. Die älteste Anwendung der Elektrolyse war die zur galvanischen Verfilberung der notwendigsten Eßgerätschaften, wie Löffel, Gabeln, Schüsseln und dergleichen, die bis dahin in den Häusern des Mittelstandes aus Zinnlegierungen bestanden hatten und auch bei äußerster Sauberkeit den Speisen bisweilen einen schlechten Geschmack mitteilten. Die Engländer waren die

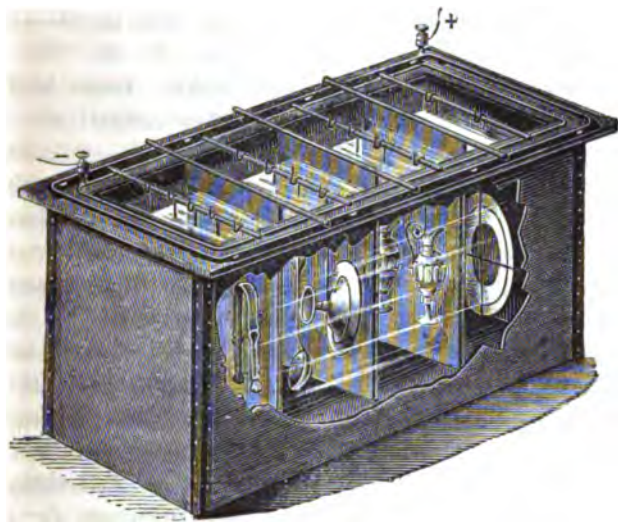


Fig. 235. Apparat zur galvanischen Verfilberung.

ersten, welche seit 1840 das Verfahren im Großen anwendeten. Es wird zu diesem Zwecke Chlor Silber oder salpetersaures Silberoxyd (Höllenstein) in Cyanalkaliumlösung angewendet und zur Aufnahme der Bäder werden große Kästen (vergl. Fig. 235) von 2 m Länge und 1 m Breite und Höhe hergerichtet, die inwendig mit Guttapercha ausgegossen sind, um die Flüssigkeit vom Holze dauernd abzuhalten. In dieselben werden in Entfernungen von 30—60 cm Silberplatten eingehängt, von der Größe des Kasten-Querschnitts, und zwischen ihnen die zu verfilbernden Gegenstände eingelassen. Die positiven Silberplatten müssen untereinander in gut leitender Verbindung bleiben, weshalb sie auf ein Drahtgeflecht auf beiden Seiten des Kastens aufgelegt werden, in das der Leitungsdraht der negativen Platte einmündet.

Um beim Silber ähnliche Härte und Klang zugleich zu erzielen, werden die Gegenstände aus Messing hergestellt. Nimmt man weiße Metalllegierungen, wie Neusilber, so entsteht das bekannte Alfenide. Unpolierte Metalle, außer Messing und Neusilber, welche direkt verfilbert werden können, sind noch Stahl, Eisen, Kupfer und Bronze; hatten dieselben bereits Politur empfangen, so müssen sie vor der Verfilberung erst einen dünnen Kupferüberzug erhalten. Argentum dagegen muß vorher in eine sehr verdünnte Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxyd getaucht werden, bis es gleichmäßig silberartig überhaupt erscheint.

Der Metallverbrauch bei der Verfilberung ist in folgenden Angaben festgestellt. Um ein Duzend Löffel und Gabeln, wie sie für den gewöhnlichen Gebrauch dienen, zu überziehen, braucht man in 10—15 Stunden fast rund 100 g Silber im Werte von etwa 15 *M.* Die Oberfläche einer Gabel wird auf 100 qcm Oberfläche geschätzt, ebenso schätzt man die Oberfläche eines Löffels. Ein Duzend derselben enthält also 1200 qcm Oberfläche; es kommt also ungefähr auf 1 qcm $\frac{1}{12}$ g Silber, welches dann etwa in einer Dicke von 8hundertstel Millimeter aufliegt. Eine solche Stärke genügt, auch bei täglichem Gebrauche, die Verfilberung Jahre hindurch zu erhalten und gestattet, für dieselbe nur etwa den 6. Teil des Silberpreises festzusetzen. Bei Hervortreten des Messings können diese Geräte, nachdem sie von dem noch anhaftenden Silber in konzentrierter Schwefelsäure, der etwas Salpeter zugesetzt wurde, befreit worden sind, aufs neue verfilbert werden. Mit der Dicke der Schicht geht man bisweilen sehr weit, bisweilen bis zur Stärke von einem Tausendstel Millimeter zurück, was die Dauer der Haltbarkeit natürlich wesentlich vermindert. Stärker dagegen als 1 Zehntel Millimeter wird der Niederschlag nur sehr selten angelegt. Trotz dieses scheinbar geringen Verbrauchs für ein Duzend Löffel beziffert sich die Gesamtsumme des verbrauchten Silbers jährlich auf etwa 130 000 kg, wovon Berlin und Paris wohl je ein Fünftel allein verwerten.

In allerneuester Zeit, in der die galvanischen Batterien mehr und mehr durch die elektrischen Maschinen verdrängt werden, stellen sich die Kosten der Verfilberung pro kg etwa auf 2,50 *M.*

In Deutschland hat die Fabrikation überhaupt einen großen Aufschwung genommen, zumal man durch die Erfindung der Sandbläse den Überzügen ganz den Ton von Mattsilber zu geben vermag. Größere Fabriken beschäftigen mehrere hundert Arbeiter. Auch der beliebte stahlgraue, strahlenartige Überzug, welcher oxydiertes Silber heißt, wird auf galvanischem Wege hergestellt. Die bereits verfilberten und polierten Gegenstände werden in eine schwache Lösung von Schwefelammonium so eingetaucht, daß sie, entgegen den bisherigen Verfahren, die positive Elektrode bilden. Wenn

man nun als negative Elektrode eine Platinplatte anwendet, so bildet sich Schwefelsilber, welches als der strahlenartige, stahlgraue Überzug sich ansetzt.

Die galvanische Vergoldung unterscheidet sich in ihrem Verfahren wenig von der Versilberung. Man bereitet das Goldbad, indem man 10 g in Königswasser gelöstes Gold einer Lösung von 3 Litern Wasser und 50 g Cyankalium zusetzt und dasselbe dann auf 50—60° C. erwärmt.

Der anzuwendende Strom muß verhältnismäßig stark sein. Will man eine glänzende Oberfläche erzielen, so werden die zu vergoldenden Gegenstände vorher poliert; soll die Oberfläche matt aussehen, so läßt man die Oberfläche matt. Soll der Niederschlag dick und also sehr haltbar ausgeführt werden, so erscheint derselbe gebräunt, wird aber mit dem Polierstahl zu schönem, glänzenden Goldgelb herausgearbeitet.

Will man das Gold für Schmuckgegenstände färben, rot oder grün, so giebt man dem Goldbade einen Zusatz von Kupfer bezw. Silber. Im ersteren Falle ist die positive Elektrode eine Kupfer-, im letzteren eine Silber-Platte. Hierbei zeigt die Untersuchung, daß grünes Stangengold $\frac{2}{3}$ Gold und $\frac{1}{3}$ Silber, das Bad aber, aus dem es hergestellt wurde, $\frac{1}{3}$ Gold und $\frac{2}{3}$ Silber enthält.

Billige und dennoch sehr in die Augen fallende Gegenstände werden aus Zinkguß hergestellt, mit Kupferhaut überzogen, in Quecksilberlösung gebadet und dann ins Goldbad übergeführt. Sie erhalten eine schöne matte Goldfärbung, die mit dem Polierstahl wirksam abgetönt werden kann.

Aus dem Mittelalter sind uns allerlei Schmuckgegenstände überkommen, deren Ursprung Italien und hauptsächlich Florenz ist, welche auf bestimmtem Metallgrunde aus einem zweiten Metall hergestellte Arabesken und feine Figuren tragen. Solche Gegenstände werden „Niello“ genannt. Auf galvanoplastischem Wege stellt man Ähnliches her, wenn man die Stellen, auf welche das zweite Metall niedergeschlagen werden soll, nicht mit dem Deckfirnis überzieht.

Ein sehr wirksames Verfahren, welches von Corvin entdeckt und das nach ihm Corviniello benannt worden ist, besteht darin, daß man auf die polierte Rückseite des metallenen Gegenstandes den Mustergegenstand, der aus Bernstein, Perlmutter, Jet, Metallen u. s. w. bestehen kann und auf der Rückseite eine ebene Fläche bilden muß, befestigt und nun auf derselben Seite galvanoplastisch Zinn niederschlägt, durch welches alle Zwischenräume ausgefüllt werden. Nimmt man dann den Mustergegenstand wieder weg, so erscheint seine Form zwischen dem Zinnniederschlag vertieft und poliert und seine Umgebung so sorgfältig verzinnt, wie vom geschicktesten Zinngießer. Nun wendet man, je nach Bedürfnis und Geschmack Schwärzen, Gravieren, Versilbern, Vergolden u. s. w. an und erzielt damit die schönsten

Wirkungen. Nach diesem Verfahren stellt man verhältnismäßig billig Platten, Teller, Verzierungen für Möbel u. s. w. her.

Auch das Verfahren, welches man Inkrustierung, Damaszierung der Bronze nennt, läßt sich auf galvanoplastischem Wege nachahmen. Die Zeichnung wird bei diesem Verfahren mit Bleiweiß auf den Gegenstand aufgetragen oder mit Leimwasser-Dickfarben (sogenannte Gouache-Manier). Dann wird alles übrige mit Deckfirnis überzogen und der Gegenstand als positiver Pol in ein Bad äußerst verdünnter Salpetersäure gestellt. Unter Einwirkung des galvanischen Stromes löst sich der Farbstoff auf und das Metall wird an den nun bloß gelegten Stellen geätzt. Wenn diese Ätzung die gehörige Tiefe erlangt hat, spült man den Gegenstand sorgfältig ab und hängt ihn als negativen Pol in ein sehr schwaches Silber- oder Goldbad. Die geätzten Vertiefungen füllen sich jetzt mit dem neuen Metall aus; alsdann wird der Firnis entfernt und der Gegenstand geschliffen, poliert u. s. w. Soll sich das Gold und Silber unverändert erhalten, so wird die Metallfläche noch brüniert. Natürlich lassen sich auch hier farbige Wirkungen erzielen.

Seit dem Jahre 1876, durch Amerika angeregt, ist man nun auch zur Großfabrikation von Nickel- und Kobalt-Znitterungen geschritten. Das Vernickeln hat aber seine rechte Bedeutung erst erhalten, nachdem die Dynamo-Maschinen dazu angewendet werden. Ein gutes Nickelbad soll bestehen aus 15 l Wasser, in welchem 1250 g Citronensäure, 500 g Salmiak und 500 g salpetersaures Ammoniak gelöst werden. Die Lösung wird dann auf 80 Grad Celsius erhitzt und ihr nach und nach frisch gefälltes Nickelorydhydrat in Höhe von 1,05 l oder 1 kg 50 g Gewicht zugefügt. Nachdem diese Lösung erkaltet ist, werden noch 500 g kohlensaures Ammoniak dazu gegeben und dann wird das ganze Gemisch filtriert. Zum Gebrauche wird das Bad auf 50 Grad Celsius erhitzt. In Wagenfabriken, Werkzeugfabriken, Dfengiebereien, Schlosserwerkstätten, Waffenfabriken, in Küchen und Haushaltungen hat das Nickel auf diese Weise in der Gegenwart seinen Einzug gehalten.

Auch Kobaltnieder schläge werden auf gleiche Art erzielt, sie haben eine etwas mehr ins Rote spielende Färbung, stellen sich im Preise aber teurer.

43.. Die Verwertung der Elektrolyse in den Bergwerken.

An denjenigen Orten auf unserer Erde, an denen Schwefelkupfererz bergmännisch abgebaut wird, führen die eindringenden Wässer eine beständige Zersetzung aus, die an ihren Sammelstellen dann eine stark gesättigte Kupfervitriollösung bilden. Die Bergwissenschaft hat seit alter

Zeit verschiedene Verfahren, diese Lösung nutzbar zu machen. Da Eisen zu Schwefelsäure eine große Verwandtschaft hat, so legt man Eisenstücke in diese Kupfervitriollösungen, welches sich dann mit der Schwefelsäure verbindet und das Kupfer freigibt. Die Wasser, welche solche Lösungen führen, heißen „Zementwasser“, das aus ihnen gewonnene Kupfer „Zementkupfer“.

Man hebt auch da, wo die Zementwässer sich stark ansammeln, dieselben in gemauerte Bassins, reinigt sie zunächst durch Ablaugen vom Eisenocker und läßt die gereinigten Wässer dann in Gruben, auf deren Grunde altes Guß- und Schmiedeeisen liegt. Von Zeit zu Zeit werden die Wässer dann aufgerührt und zuletzt in aufgerührtem Zustande in neue Behälter abgelassen. Der Schlamm, welcher jetzt niedersinkt, enthält noch 30–50 Prozent „Zementkupfer“, das dann zu reinem Kupfer verarbeitet wird.

Es lag nahe, daß man Versuche anstellte, das Kupfer durch Elektrolyse auszuscheiden. Becquerel entdeckte bereits 1835 ein solches Verfahren. Er röstete die Erze, um lösliche Chlor- und Schwefelsalze zu erhalten, laugte dieselben dann aus und brachte dann Platten in die Lauge, welche er aus Zink, Eisen oder Blei mit Kupfer oder ausgeglüheter Kohle in Verbindung herstellte. Die Platten mit der Kohlenverbindung tauchte er nun unmittelbar in die Lauge, die mit Kupfer verbundenen umschloß er mit Segeltuch oder ungegerbten Fellen, die mit Salzwasser gesättigt waren, und tauchte sie dann erst in die Lauge. Jetzt war der Strom geschlossen und das Metall wurde nun ausgeschieden. In Paris wurde dieser Versuch im Großen fortgesetzt und gegen 20 Tausend Kilogramm Erze zu Gute gebracht, welche aus allen bedeutenden Bergbauländern der Erde herangebracht waren.

Aus den Zementwässern von Schmöllwitz in Ungarn gewinnt man, nach einer Beschreibung von Patara, dadurch Kupfer, daß man Zellen von Thon oder Tannenholz mit Schmiedeeisen anfüllt und diese Zellen mit der Kathode, welche aus Coaksbrocken hergestellt ist, in Verbindung setzt. Die Anode steht in einer mäßig starken Kochsalzlösung. Das Kupfer setzt sich am Coaks ab.

Um Silbererze auf den höchsten Prozentsatz auszubeuten, werden ebenfalls die verschiedensten Verfahrensweisen angewendet. Becquerel beschäftigte sich mit der Erforschung derselben und gab Vorschriften, im Großen zu arbeiten. Er beschrieb zuerst die Einrichtung einer Silberhütte, in welcher aus 900 kbm chlor Silberhaltiger Kochsalzlösung im Verlaufe von 24 Stunden 500 kg Silber gewonnen werden könnten.

In Amerika, wo man ein großes Interesse an solchen Methoden haben mußte, weil dort die Silbergewinnung zum Großbetriebe aufforderte,

will man 80—87 Prozent aus Silbererzen gewinnen, die zu Pulver zermalmt, mit Chlornatrium und ähnlichen zersetzenden Stoffen zu einem teigartigen Gemenge verarbeitet, dann derartig behandelt werden, daß die Elektroden in dieses Gemenge eingesenkt und, nachdem die Kette geschlossen, das Gemenge in fortwährender Kreisung erhalten wird.

In England benützt man zur Kupfergewinnung aus den Mutterlaugen Eisen in verdünnter Eisenvitriollösung als Anode und seit Anwendung der Dynamo-Maschinen sollen täglich (24 St.) bis 1000 kg zu erzielen sein. Auch wendet man das Verfahren auf die Entsilberung von Blei an. Ebenso scheidet man durch Elektrolyse neben der gleichzeitigen Gewinnung von Kupfer, Gold und Silber aus.

Aus zinkhaltigen Laugen scheidet man das Zink in großen Trögen aus und bedient sich dabei des Zinkblechs oder des Coaks als Kathoden, zinkhaltige Erzmengung oder auch Coaks wirken als Anoden. Zur Gewinnung des Zinks aus Zinkblende dienen mäßig starke, schwach angesäuerte Kochsalzlösungen.

Um Kupfer zu raffinieren, werden Siemens'sche Dynamo-Maschinen aus der Berliner Fabrik verwendet.

In Preußen und Braunschweig wendet man gleichfalls derartige Maschinen an und hat seitdem die Erfahrung gemacht, daß das durch Elektrolyse gewonnene Kupfer sich vorzüglich zur Herstellung von Messing eignet, mit dem man seitdem kunstvolle Gegenstände durch bloße Pressung herzustellen vermag.

Ein Metall, dessen Herstellung im Großen für die Zukunft von sehr großer Wichtigkeit sein muß, ist das Aluminiummetall. Dasselbe lagert unbehoben noch in den unmeßbaren Ebonmassen des Erdballs und zeichnet sich aus durch seine Leichtigkeit, seine große Widerstandskraft gegen oxydierende Wirkungen und durch sehr große Festigkeit. Dabei besitzt es eine schöne, silberartige Farbe und wird deshalb schon jetzt zu allerlei Schmucksachen und Hausgeräten verarbeitet. Dasselbe wird ebenfalls durch Elektrolyse gewonnen, doch werden die Kosten noch ziemlich hoch. Die Herstellung eines Kilogramm Aluminium beläuft sich auf 60—70 Mark. Ebenso enthält die Erde ungeheure Massen von Magnesium, dessen Erschließung gleichfalls durch Elektrolyse gelungen ist, das aber bei der Herstellung noch viel höher zu stehen kommt, wie Aluminium, nämlich 300—360 Mark auf das Kilogramm. Man zieht das Magnesium zu Draht aus. Derselbe entwickelt beim Verbrennen ein ungemein helles weißes Licht, das sich mit der Stärke des Drahtes entsprechend verstärkt. Deshalb werden Drahtbänder hergestellt, die beim Photographieren, bei Signalen, bei Festzügen auf Fackeln und in größerem Maßstabe auf Leuchttürmen und in Bergwerken

angewendet werden. Roscoe berechnet, daß 72 g Magnesiumdraht die Leuchtstärke von 10 kg Stearinkerzen besitzen. Auch die Gewinnung von Soda aus Kochsalz, von Glaubersalz und Pottasche aus Chlorkalium wird jetzt auf elektrolytischem Wege betrieben. Es führen uns diese Methoden bereits nach einem neuen Gebiete, einem vollständigen Triumphe der Gegenwart näher, dem Gebiete der Elektrotechnik, welche in der Färberei und Farbendruckerei, in der Telegraphie und Telephonie Verwendung finden.

44. Die magnetischen Wirkungen des galvanischen Stromes.

Magnetische und elektrische Erscheinungen waren den Menschen schon im Altertume bekannt. Nur wurden dieselben stets miteinander verwechselt. Erst der ausgezeichnete Leibarzt der Königin Elisabeth von England (1540—1603), William Gilbert, der ebenbürtige Zeitgenosse Galilei's, scheidet zuerst in seinem berühmten Werke „Tractatus sive physiologica“, welches 1600 erschien, beide Erscheinungen, indem er Magnet und Bernstein auf ihre Eigenschaften prüft und vorschlägt, die im Bernstein sich entwickelnde Kraft die „elektrische“ zu nennen. Fast 200 Jahre später stellte Coulomb, damals Obristleutnant im französischen Geniekorps und später General-Inspektor des öffentlichen Unterrichtswesens (1736—1806); die auffällige Ähnlichkeit in den Gesetzen beider Erscheinungen fest, nachdem bereits Benjamin Franklin 1750 den Versuch gemacht hatte, im Kleinen die magnetisierenden Wirkungen des Blitzes nachzuahmen, indem er Eisen durch den elektrischen Funken magnetisch machte, nachdem vielfache Erfahrung bewiesen hatte, daß die Nadeln von Schiffskompassen, welche durch Blitzschläge getroffen waren, ihre Polarität einbüßten.

Doch erst Johann Christian Dersted (geb. am 14. August 1777, gest. am 9. März 1851 als Professor der Physik in Kopenhagen) bereicherte die Wissenschaft durch die Entdeckung der elektro-magnetischen Kräfte. Nachdem er sich lange mit Magnetismus und Elektrizität beschäftigt hatte, überzeugte er sich im Juli 1820 von den magnetischen Wirkungen des galvanischen Stromes. Dersted's Fundamental-Versuch über die Einwirkung eines galvanischen Stromes auf die Nadel ist folgender:

Man biegt einen Streifen Kupferblech zu einem Quadrat von etwa 25 cm Seitenlänge für drei Seiten und etwa 27 cm für die vierte Seite. Alsdann nimmt man ein starkes, entsprechendes Brett und legt das Kupferblechquadrat so auf, daß die längere Seite über die Kante des Brettes kommt, befestigt beide Enden mit Klemmschrauben, in welche man die Leitungsdrähte leicht einschalten kann. Ehe man den horizontalliegenden

Streifen festschraubt, bringt man in seiner Mitte mittels feinen Kupferdrahtes eine Stahlspitze an, schraubt nun fest und setzt eine Magnetnadel auf die Spitze. Eine gleiche Einrichtung giebt man dem vertikal darüber liegenden Kupferstreifen, so daß also zwei Magnetnadeln vorhanden sind. Dieses sogenannte Kastenelement stellt man nun so auf, daß die Magnetnadeln mit den Streifen parallel liegen. Werden jetzt die Drähte in die Klemmschrauben geschaltet und der Strom geht durch den Apparat, so werden die Magnetnadeln abgelenkt.

Jetzt galt es, diese Thatsache in ein Gesetz zu fassen. Zuerst gab 1820 André Marie Ampère (geb. am 22. Januar 1775, gest. am 10. Juni 1836 als Professor der Mathematik zu Paris) die Regel: „Man denke sich als Schwimmer, den Kopf voran, mit dem Strome schwimmend, indem man dabei das Gesicht der Magnetnadel zuwendet, dann wird der Nordpol derselben nach links abgelenkt werden.“

Sean Baptiste Biot, 1774—1862, gleichfalls Professor an der Universität von Paris, und seinem Kollegen Savart gelang es, eine mathematische Formel für die Stärke der elektro-magnetischen Stromwirkung durch einfache Schwingungsversuche zu ermitteln. Nach dieser Formel verhalten sich die Kräfte eines überaus langen geradlinigen Stromes auf einen Magnet in verschiedenen Entfernungen umgekehrt, wie die Abstände von dem Pole des Leiters und sind senkrecht zu der durch Pol und Leiter gehenden Ebene. Den Einfluß des Erdmagnetismus auf die Nadel hoben sie auf durch Annäherung eines zweiten festen Magnets.

Dominique François Sean Arago (geb. 26. Februar 1786, gest. den 2. Oktober 1853), der große Freund Alexander von Humboldt's, hatte nach der schon früher gemachten Wahrnehmung, daß Eisenfeilspäne durch den Strom angezogen werden, die Ansicht ausgesprochen, daß der Schließungsdraht als Magnet zu betrachten sei, aus welchem Metall er auch bestehe. Daraufhin wies Davy nach, daß die scheinbare Anziehung der Eisenfeilspäne ihren Grund in einer peripherischen Anordnung um den Leitungsdraht hat, so daß sie um ihn eine konzentrische zusammenhängende Hülle bilden. Dieser Nachweis veranlaßte Arago, eine stählerne Nähnadel zu gleicher Wirkung zu veranlassen. Er stellte die Nadel senkrecht zum Strome und sie wurde nicht nur vom Strome angezogen, sondern auch selbst in einen Magnet verwandelt. Hier erregte also nicht der Durchgang des Stromes durch die Nadel den Magnetismus, sondern der Strom selbst zeigte eine magnetisierende Wirkung in einer zum Leitungsdrahte senkrechten Richtung.

Ampère suchte die Wirkung dadurch zu verstärken, daß er die Nadel spiralartig mit Draht umwand. Die Nadel zeigte sich schon nach kurzer Dauer des Stromes magnetisch, ihre Polarität erwies sich abhängig von

der Richtung der Windungen. Fast gleichzeitig machte Thomas Johann Seebeck, Professor in Berlin (1770—1831), dieselbe Entdeckung. Er nahm eine Stahl-nadel, verwandelte sie in einen Magnet, legte sie in die Richtung des magnetischen Meridians und strich mit dem Schließungsdraht wiederholt in derselben Richtung darüber.

Diese Wirkungen des galvanischen Stromes auf die Magnetnadel veranlaßten Johann Christian Poggendorff (1796—1877), Professor in Berlin, und Johann Salomon Schweigger (1779—1857), Professor in Halle, fast gleichzeitig ein Verfahren zu erfinden, die Ablenkung der Magnetnadel durch den Strom bedeutend zu verstärken, indem sie den Draht in mehrfachen Windungen um die Nadel herumführten, gerade wie Ampère. Schweigger nannte die nach diesem Prinzip hergestellten Apparate „Kondensatoren“ oder auch Multiplikatoren. Man hängt die Nadel horizontal an einem Kottonfaden auf, so daß sie in der Mitte der ellipsenartig gewundenen Drahtspirale frei schwebt. Nobili erhöhte die Empfindlichkeit des Multiplikators dadurch, daß er ein astatisches Nadelpaar in Anwendung brachte.

In der Gegenwart bedient man sich der Benennung Galvanometer oder Galvanoskop für diese Apparate.

Figur 236 zeigt ein Galvanometer von sehr einfacher Einrichtung, das aber nur zu groben Messungen zu verwenden ist. Hier ist ein Holzrahmen mit abgerundeten Kanten angewendet, um welchen isolierter (mit Baumwolle oder Seide besponnener) Draht gewunden ist. Innerhalb des Rahmens ist eine freischwingende Magnetnadel angebracht. Wird nun der Strom eingeschaltet, so wirken die Windungen alle zugleich auf die Nadel und lenken sie, je nach der Stromrichtung, nach rechts oder nach links ab. Die Anzahl der Drahtwindungen wirkt natürlich auf die Stärke der Ablenkung. Man stellt Windungen in einer Zahl von 50—25 000 her.

Wenn es dagegen gilt, sehr schwache Strömungen zu messen, so wendet man ein astatisches Nadelpaar an und giebt dann dem Multiplikator bezw. Galvanometer eine sorgfältigere Einrichtung. Man schraubt hier den mit sehr vielen Windungen versehenen Apparat auf eine Holzscheibe, welche in der Mitte unten mit einem gut gedrehten Zapfen versehen ist, fest und

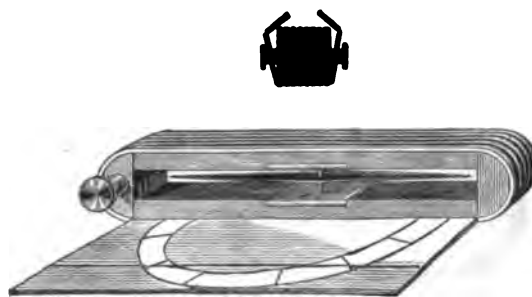


Fig. 236. Einfaches Galvanometer.

fügt diese Scheibe in eine zweite von größerem Durchmesser so ein, daß sie leicht um ihre Achse gedreht werden kann (Fig. 237), damit man die Ebene der Windungen der Gleichgewichtslage des Nadelpaares parallel zu machen vermag. Hierauf bringt man die Enden des Multiplikators durch zwei Klemmschrauben, in welche dann auch die Stromdrähte eingeschaltet werden. Über den Drahtwindungen wird ein Teilungskreis angebracht, der in der Mitte einen Spalt besitzt, entsprechend dem Spalt des Multiplikators. Jetzt wird eine Glasglocke, über den Umfang der inneren

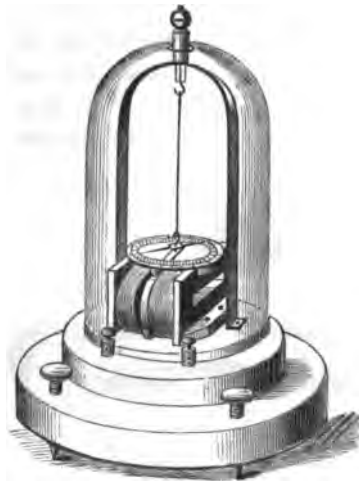


Fig. 237. Galvanometer.

Holz-scheibe passend, so hergerichtet, daß sie senkrecht über dem Spalt eine Durchbohrung erhält. Durch diese wird nun folgende Vorrichtung gesteckt:

Durch eine kugelförmige Mutter ist eine Schraube geführt. An diese Schraube wird ein Bügel gelötet, der ein hohles Messingsäulchen trägt, in das ein vierseitiges Stäbchen genau eingepaßt ist, welches wiederum in ein Häkchen endet. An dieses Häkchen wird das astatische Nadelpaar durch einen Kokonfaden derartig aufgehängt, daß die untere Nadel durch den Spalt zwischen den Windungen freischwebt, die obere ebenso über der Kreiseinteilung. Die untere Nadel wird nun durch den Spalt gebracht und die Glasglocke dann behutsam übergestülpt.

Hierauf wird die kugelförmige Mutter etwas gehoben und ein Ring um sie gelegt, der sie an ihrer Stelle festhält. Dreht man diese Kugel nun, so wird die Schraubenspindel mit ihrem Zapfen und daran hängendem Kokonfaden gehoben oder gesenkt, je nach der Richtung, nach welcher sie gedreht wird. Um das Herumwerfen der Nadel durch zu starke Strömungen zu verhindern, sind an der Teilscheibe 90 Grad rechts und links von dem Nullstriche Stiftchen eingelassen, gegen welche die Nadel dann schlagen muß. An Stelle dieser Stiftchen wendete du Bois-Reymond dünne elastische Glimmerblättchen an.

Die Empfindlichkeit eines Galvanometers wächst in dem Maße, je mehr das Nadelpaar sich der vollkommenen Astatie nähert. Infolgedessen treten Erscheinungen auf, welche die Behandlung derartiger Galvanometer sehr schwierig machen. Zuvörderst stellt sich das astatische Nadelpaar nicht mehr in den magnetischen Meridian ein, sondern es macht mit demselben

einen Winkel, der sich so lange vergrößert, bis er zum Meridian einen Rechten bildet. Wenn dieser Fall eintritt, so dreht man die innere Holzscheibe so, daß die obere Nadel wieder auf dem Nullpunkte der Nadel einsteht.

Um die Abtaste des Nadelpaares soweit zu beschränken, daß das Nadelpaar in der Nulllinie bleibt, hat du Bois-Reymond dem Nullpunkte der Teilung gegenüber ein Messingstäbchen senkrecht angebracht. Dasselbe trägt einen horizontalen Arm, der gegen die Nadel gerichtet ist, an dessen Ende ein 0,5 mm langes Stahlspitzchen befestigt ist, das vorher gut gehärtet und stark magnetisiert worden. Der Zug dieses Stahlspitzchens hebt die Ablenkung des Nadelpaares, die durch den Magnetismus der Drahtwindungen erzeugt wird, wieder auf. Die Drähte des Galvanometers umwindet man am besten mit ungefärbter Seide.

Durch das Galvanometer haben wir ein Mittel erhalten, die Theorie der konstanten Ketten durch direkte Versuche zu bestätigen.

Sollen starke Ströme gemessen werden, so bedient man sich solcher Instrumente, bei welchen das Ablenkungsmittel zur Stromstärke in einem einfachen Verhältnisse steht. Solche Instrumente heißen Tangentenbussolen. Sie bestehen der Hauptsache nach aus einem Kupferstreifen, welcher, kreisförmig gebogen, oft nur in zwei geraden Kupferstreifen endet, welche von einander durch ein Holz- oder Elfenbeinflöschchen getrennt bleiben. An diesen Enden sind Klemmschrauben angebracht zur Einschaltung der Drähte. In diese Mitte des Kreises wird eine Magnetnadel mit Teilscheibe gebracht und der Apparat in ein Holzgestell eingelassen. Zum Gebrauche wird er so gestellt, daß der Kupferring in der Ebene des magnetischen Meridians liegt, die Nadel steht dann in der Vertikalebene des Ringes und zeigt auf den Nullpunkt der Teilscheibe. Wenn jetzt der galvanische Strom an den Klemmschrauben eingeschaltet wird, so wird die Nadel abgelenkt und die Stärke des Stromes steht zur trigonometrischen Tangente des Ablenkungswinkels in einem geraden Verhältnisse. Besonders gut wirkende Tangentenbussolen haben H. Helmholtz und Gaugain hergestellt und die Fabrik von Siemens und Halske in Berlin fertigt solche Bussolen auf Bestellung an.

Bussolen, welche nicht mit der Ebene ihrer Drahtwindungen in den magnetischen Meridian eingestellt, sondern der abgelenkten Nadel so lange nachgedreht werden, bis die Nadel wieder in die Ebene der Drahtwindungen zu stehen kommt, heißen Sinusbussolen. Bei ihnen ist die Stromstärke, wenn bei der Ableseung die Nadel genau in der Vertikalebene des Kreisstromes liegt, proportional dem Sinus des Ablenkungswinkels.

45. Die Spiegel-Galvanometer.

Die Spiegelablefung haben wir in den Grundzügen bereits bei der Deklination und Inklination der Magnetnadel kennen gelernt, man bedient sich dieses Prinzips auch zur Messung des galvanischen Stromes, und zwar zur Feststellung der geringsten Abweichungen, also der kleinsten Winkel. Auch bei ihnen, wie beim Multiplikator, werden die Ablenkungswinkel, so lange sie sehr klein bleiben, den Stromstärken proportional gesetzt.

Die Spiegel-Galvanometer werden in den verschiedensten Formen hergestellt, sie müssen aber alle folgende Hauptteile enthalten:

1. Der Magnet mit dem Spiegel. Ein senkrecht stehender Spiegel, mit einem in seiner magnetischen Achse wagerecht gerichteten Magnet verbunden, und beide an einem Kokonfaden derartig aufgehängt, daß sie sich zusammen frei um eine senkrechte Achse bewegen können. Die Form des Magnets kann dabei verschieden sein; dieselbe kann als Stab, Scheibe, Ring, Glocke oder Nadel gebildet sein. Der Spiegel wird direkt an die vertikale Fläche des Stahlmagnets angeschliffen, oder eine möglichst dünne versilberte Glascheibe wird mit ihm verstellbar oder fest verbunden. Er kann innerhalb oder außerhalb des Stromes angebracht werden und je nach Bedürfnis plan oder konkav sein. Der Stromkreis kann aus Drahtwindungen über einem Rahmen in einigem Zusammenhange oder in mehreren getrennten Abteilungen über zwei Rahmen gewickelt sein.

2. Die Ablesevorrichtung. Sie besteht, wie bei der Messung der Deklination, aus einem Fernrohr und einer Skala (siehe S. 332).

3. Die Dämpfung. Die Dämpfung dient dazu, die Schwingungen der Magnetnadel vor dem Eintreten in die neue Gleichgewichtslage zu verkürzen bzw. sie ganz aufzuheben. Sie wird bewirkt durch mechanische Vorrichtungen, sowie durch die Rückwirkung von elektrischen Strömen, welche vom Magnet bei der Bewegung in den Leitern erregt werden. Diese Ströme heißen Induktionsströme. Die Dämpfung erfolgt um so sicherer, je besser leitend und je näher am Magnet gelegen die umgebenden Metallmassen sind. Sie werden deshalb in Form von kupfernen Gehäusen mit dicken Wänden dargestellt.

4. Die Vorrichtung zur Astatifizierung. Um die Richtungskraft des Erdmagnetismus zu kompensieren, bringt man ober- und unterhalb, auch seitlich vom Galvanometer wagerecht gestellte Magnete an, welche weit und auch außerordentlich (mikrometrisch) eng verstellbar sind. du Bois-Reymond setzt dieselben vom Beobachtungsfernrohr aus durch eine Schmirtransmission in Bewegung. Diese Vorrichtung, in Verbindung mit der Dämpfung, be-

wirkt, daß der Magnet des Galvanometers schwingungslos in die neue Ruhelage übergeht. Dieser Zustand heißt der aperiodische Zustand.

Der einfachste Apparat mit Spiegelableseung ist Webers Spiegel-Galvanometer. Auf einem hölzernen Gestell sind zwei Drahtrollen mit mehreren tausend Umwindungen aufgeschraubt. Auf der Spalte zwischen beiden steht eine Vorrichtung in Säulenform, welche unten mit einem Glaszylinder umgeben ist. An dem oberen Ende der Säule ist der Magnet, welcher, glockenförmig gebogen, an einer Stange befestigt ist, die den Spiegel trägt, an einem Kokonfaden so aufgehängt, daß der Spiegel in der Mitte des Glaszylinders zu stehen kommt.

Wiedemann dagegen setzt eine kupferne Hülse von etwa 17 mm Stärke mit oben beschriebener Säulenvorrichtung in die Mitte eines starken Brettes und auf jede Seite derselben zwei Drahtspiralen so an, daß ihre Achsen in die Verlängerung der Achse der kupfernen Hülse fallen, daß man sie aber durch eine Schiebvorrichtung beliebig derselben nähern oder von ihr entfernen kann. Die Spiraldrähte sind 60 m lang und 1 mm dick und ihre Enden sind mit je einer Schraubklemme versehen, um die einzelnen Drähte auf verschiedene beliebige Weise miteinander verbinden zu können. Die kupferne Hülse ist auf beiden Seiten mit Glasplatten verschlossen. Die Aufstellung dieses Apparates erfolgt so, daß die Achsen der Drahtwindungen und der kupfernen Hülse rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian stehen. Das Instrument ist in neuester Zeit sehr vervollkommen worden.

Da die Astatifizierung möglichst leicht und sicher reguliert werden muß, so haben Meißner und Meyerstein folgenden Apparat konstruiert: Auf eine dickwandige kupferne Hülse wird ein Multiplikator Draht so aufgewickelt, daß die Drahtenden, vor einer leitenden Berührung mit der Hülse geschützt, rechts und links je zu einer Messingplatte gehen. Die Säulenvorrichtung ist die übliche, der Abschluß der kupfernen Hülse erfolgt durch einen Holzcylinder. Sehr praktisch ist ein transportables Spiegelgalvanometer, welches Siemens und Halske hergestellt haben. Dasselbe ist entweder ein aperiodisches mit Glockenmagnet und einer Rolle, oder ein astatisches, in dem beide Nadeln mit Rollen umgeben sind. Beide enthalten einen sehr leichten stählernen Hohlspiegel, der an zwei sehr kurzen Fäden innerhalb der Säule aufgehängt ist, in welcher auch die Kupfermasse zur Dämpfung sich befindet. Statt senkrechter Einschiebung ist hier eine wagerechte gewählt.

Eine Vereinigung der sogenannten Wheatstone'schen Brücke mit einem Galvanometer ist der von Siemens und Halske hergestellte Universal-Galvanometer zur Messung von Widerständen, Stromstärken und elektromotorischen Kräften. Als Unterfaß sind hier wieder zwei Holzscheiben von

ungleichem Durchmesser verwendet, deren kleinere mittelst eines Zapfens in das Centrum der größeren so eingelassen werden kann, daß sie sich bequem drehen läßt. An dieser kleineren Holzscheibe sind seitlich vier mit Klemmschrauben versehene Messingplatten neben einander so angebracht, daß die dritte und vierte derselben mittelst eines Metallstöpfels verbunden werden können. Über der Holzscheibe ist eine kreisrunde Schieferplatte aufgelegt, welche über den vier Messingplatten ausgeschnitten ist. In der Mitte dieser Schieferplatte ist ein gewöhnliches Galvanometer mit einer an einem Kokonfaden hängenden astatischen Nadel aufgesetzt, die durch einen kleinen Magnet kompensiert werden kann, der an dem den Faden tragenden Knopf aufgeschraubt ist. Rechts und links, 20 Grade von der Nulllage entfernt, sind kleine Stifte von Elfenbein angebracht, um die Nadel aufzuhalten. Die Schieferplatte ist an ihrem Rande gleichfalls mit vier Metallplatten versehen, welche untereinander mit Metallstöpfeln verbunden werden können. Diese Metallplatten sind mit den Enden von drei Drahtspiralen verlötet, die einen Widerstand nach Potenzen von 10 geordnet haben. Von ihnen ist die rechts liegende mit der Platte 2 auf der Holzscheibe, die links liegende mit dem einen Ende des Galvanometerdrahtes und Platte 4 der Holzscheibe mit dem anderen Ende desselben verbunden. Der Umfang der Schieferplatte ist in eine feine Rinne ausgedreht, in welche ein Platindraht gelegt ist, sodas er halb über den Rand hervorsteht, dessen Enden an dem Ausschnitte der Schieferplatten wieder in zwei Metallplättchen festgeschraubt sind. Diese Plättchen sind durch dicke Kupferstreifen und zwar die linke mit der Messingplatte erster Potenz, die rechte mit der Messingplatte 3 verbunden. Auf dem Rande der Schieferplatte ist eine Kreisteilung derartig angebracht, daß sie den Platindraht von seiner Mitte aus nach beiden Seiten zu in je 150 gleiche Teile teilt. Gegen den Platindraht wird eine zwischen Spitzen laufende Platinrolle durch eine Feder angedrückt, welche auf der größeren Holzscheibe angebracht wird. Die Stellung des Rollenkontakts wird vermittelst eines Zeigers dann am Teilkreise abgelesen. Der Arm und die Rolle sind mit der größeren Holzscheibe in leitende Verbindung gesetzt.

46. Das Ohm'sche Gesetz.

Wer die Wirkungen einer Elektrifiziermaschine mit ihren überspringenden Funken mit dem nicht sichtbaren Strome der galvanischen Leitung nur oberflächlich ansieht, der muß glauben, daß in den Volta'schen Säulen nur so geringe Mengen von Elektrizität sich entwickeln, daß ihre Wirkung gleich Null sei. Während bei der ersteren eine gutwirkende Isolierung notwendig

ist, brauchen die galvanischen Leitungen nur eine äußerst geringe. Dennoch trägt auch hier der Schein. In der Reibungs-Elektrizität besitzen wir eine reiche Elektrizitätsquelle von geringer, in dem galvanischen Strome eine solche von hoher Spannung. Letztere liefert eine bei weitem größere Menge von Elektrizität als die Elektrifiziermaschine, denn wenn man eine große Leydener Flasche durch einen dünnen Draht entladet, so wird derselbe zwar glühend, da eine große Menge von Elektrizität durch ihn hindurchgeht, aber die Wirkung ist nur eine augenblickliche. Alle Elektrizität, welche in der Flasche angehäuft war, ist durch den dünnen Draht hindurch sofort verschwunden.

Bringt man dagegen die Pole eines starken galvanischen Platten-Apparats durch einen kurzen Draht in leitende Verbindung, so wird der Draht zwar auch nur glühend, behält aber seine Glühhitze so lange, als der Strom durch ihn hindurchgeht. Dabei kann dieser Draht viel stärker sein, als der, welcher bei der Entladung der Leydener Flasche angewendet wurde. Man kann also nicht soviel Reibungs-Elektrizität in längerer Zeit auf sammeln, wie jeden Augenblick in der galvanischen Leitung entwickelt wird. Diese Thatsache, die Erfindung des Multiplikators und die Entdeckung beinahe konstanter Stromquellen in thermoelektrischen Säulen, machten es möglich, mathematische Untersuchungen anzustellen über die Beziehungen zwischen der Stärke des Stromes und der dabei wirksamen elektromotorischen Kraft. Dieser mühsamen Arbeit unterzog sich 1826 Georg Simon Dhm (geboren am 16. März 1787, gestorben am 7. Juli 1854 als Universitätsprofessor zu München). Dhm, damals Oberlehrer am Gymnasium zu Köln, nahm die Untersuchungen von Barlow, Becquerel und Davy wieder auf und gab den Ermittlungen derselben, nachdem er sich von ihrer Richtigkeit überzeugt hatte, einen gesetzmäßigen Ausdruck.

Wird ein galvanisches Element durch einen Draht geschlossen und in den Schließungskreis eine Tangentenbusssole eingeschaltet, so sieht man an derselben, daß der Strom sich abschwächt, wenn man den Draht länger nimmt. Diese Schwächung des Stromes fassen wir als Widerstand auf, der durch den Draht dem durchziehenden Strome entgegengebracht wird. Dieser Widerstand muß dann im Verhältnis zur Länge des Drahtes wachsen. Wenn man eine Volta'sche Säule isoliert hat, so sind die entgegengesetzten Elektrizitäten an den Polen in Spannung. Dadurch entsteht ein Druck auf die „elektrischen Flüssigkeiten“ und setzt dieselben in Bewegung, wenn man die Pole der Säule durch einen Leiter in Verbindung bringt; zugleich werden auch die Widerstände überwunden, welche die Drähte dieser Bewegung entgegenstellen. Es hängt also die Elektrizitätsmenge (Stromstärke), welche durch den Querschnitt einer Leitung in einer Zeiteinheit hindurchgeht, erstens

ab von der elektromotorischen Kraft, von welcher der Strom erzeugt wird, und zweitens von dem in den Drähten zu überwindenden Widerstande, welcher Leitungs-Widerstand genannt wird.

Daraus ergibt sich, daß die Stromstärke im geraden Verhältnis der elektromotorischen Kraft und im umgekehrten Verhältnis des Leitungs-Widerstandes stehen muß.

Sind die Drähte aus gleichem Stoffe, so verhalten sich ihre Widerstände wie ihre Längen, und umgekehrt, wie ihre Querschnitte; bestehen sie aus ungleichen Stoffen, so zeigen sie bei gleichen Querschnitten und gleichen Längen verschiedenen Widerstand.

In allen den Fällen nun, in welchen der im Schließungsbogen zu überwindende Leitungs-Widerstand sehr groß ist, kann man zur Erzielung einer größeren Stromstärke auch eine Säule von vielen Elementen anwenden. Ist dieser Leitungs-Widerstand dagegen gering, so wird die Stromstärke vermehrt, wenn man die Polplatten vergrößert. Dieses Ergebnis kann man leicht durch folgenden Versuch feststellen.

Man nimmt ein einziges Zinkkohlen-Element und verbindet es durch starke Kupferdrähte mit einer Tangentenbusssole. Die Ableitung ergibt eine Ablenkung von 43 Grad. Vereint man jetzt drei dieser Elemente in der Weise, daß ihre Zinkplatten und ihre Kohlenplatten untereinander verbunden sind, so daß sie ein einziges Plattenpaar von der dreifachen Oberfläche des einzelnen Elements darstellen, und schaltet jetzt die Tangentenbusssole ein, so steigt die Ablenkung auf 67 Grad.

Den Leitungs-Widerstand eines Drahtes erhält man, wenn man seinen spezifischen Leitungs-Widerstand mit dem Quotienten aus der Länge durch den Querschnitt des Drahtes multipliziert.

Müller-Reichard giebt den Wert des spezifischen Leitungs-Widerstandes verschiedener Metalle, auf Kupfer und Quecksilber bezogen, wie folgt:

Silber	0,847	0,0154
Kupfer	1,000	0,0182
Messing	3,960	0,0720
Zink	4,713	0,0857
Eisen	6,468	0,1176
Platin	7,227	0,1314
Neusilber	19,398	0,3527
Quecksilber	55,000	1,0000

Da der spezifische Leitungs-Widerstand von Eisen und Messing also bedeutender, Silber aber teuer ist, so wird selbstverständlich zu den galvanischen Leitungen Kupferdraht verwendet.

Die frühere Annahme, daß als Einheit des elektrischen Leitungs-Widerstandes ein Kupferdraht von 1 m Länge und 1 mm Durchmesser anzusehen sei, ist jetzt veraltet. Man bezieht deshalb jetzt die Leitungs-Widerstände auf Quecksilber, weil man dies stets in der nötigen chemischen Reinheit erhalten kann. Als Einheit gilt deshalb gegenwärtig eine Quecksilbersäule von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt.

Die Flüssigkeiten, welche eine weit geringere Leitungsfähigkeit als die Metalle haben, besitzen dagegen einen viel größeren Leitungs-Widerstand. Der Leitungs-Widerstand einer Säule aus gesättigter Kochsalzlösung ist drei Millionen mal stärker, als der Leitungs-Widerstand eines ihr an Volumen gleichen Kupferstabes.

Nimmt man hier den Leitungs-Widerstand des Kupfers als Einheit, so ist der Leitungs-Widerstand einer gesättigten Lösung von

Kupfervitriol	18 000 000
Zinkvitriol	17 000 000
Kochsalz	3 000 000
Salpetersäure (flüchtig)	1 600 000
Verdünnte Schwefelsäure (1 Vitriol, 12 Wasser)	1 130 000

Die Flüssigkeiten schwächen also den galvanischen Strom um das Doppelte, und zwar einmal durch ihren Leitungswiderstand, dann aber auch durch ein anderes Moment, das man mit dem Ausdrucke „galvanische Polarisation“ bezeichnet.

Wenn man nämlich in ein Gefäß, welches mit Zinkvitriol-Lösung gefüllt ist, eine Zink- und eine Kupferplatte taucht, welche oben durch einen Kupferdraht verbunden sind, so entsteht zwar anfangs ein kräftiger Strom, derselbe nimmt aber stetig ab und wird endlich gleich Null. Der Grund hiervon ist der, daß das Zinksalz der Lösung zerfällt wird, Sauerstoff und Schwefelsäure der Zinkplatte zufließen, um Zinkvitriol zu bilden und zugleich an der Kupferplatte sich metallisches Zink abscheidet. Ist letztere ganz mit Zink überzogen, so muß der Strom aufhören, weil die Flüssigkeit jetzt nicht mehr mit einer Kupfer- und einer Zinkplatte, sondern mit zwei Zinkplatten in Berührung ist.

Wenn wir dagegen die Zinkvitriollösung durch verdünnte Schwefelsäure ersetzen, so wird das Wasser zwischen der Kupfer- und der Zinkplatte zerfällt, jetzt wird an der Kupferplatte nicht mehr Zink, sondern Wasserstoffgas frei, dasselbe überzieht die Platte und sie verhält sich nun elektromotorisch gegen die Flüssigkeit, ähnlich wie Zink. Aber das Wasserstoffgas kann der elektromotorischen Kraft der Zinkplatte nicht vollständig das Gleichgewicht halten, wie es vorhin beim Zinküberzuge der Fall war und deshalb

kann der Strom wohl eine Schwächung, niemals aber eine gänzliche Unterbrechung erleiden.

Diese Ausscheidung von Wasserstoff an der positiven Platte einer Volta'schen Säule, welche die ihr sonst inwohnende elektromotorische Kraft an der negativen Platte abschwächt, heißt „galvanische Polarisation“.

Zur Bestimmung der Widerstände der flüssigen Leiter bedient man sich auch eines einfachen Troges von rechteckigem Querschnitt, in welchen man die Flüssigkeit füllt (Fig. 238). Hierauf fertigt man die Metallplatten A und B in solcher Größe an, daß sie den Querschnitt des Troges vollkommen ausfüllen, aber leicht einander genähert oder voneinander entfernt werden können. Nun bringt man zuerst die Platten in die

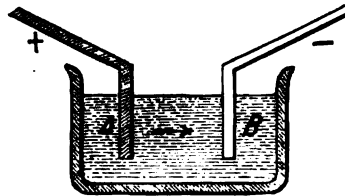


Fig. 238. Widerstand flüssiger Leiter.

Flüssigkeit mit einer bestimmten Entfernung, die man dann um eine bestimmte Größe erweitert. Dadurch wird die Länge der eingeschalteten Flüssigkeitssäule um genau soviel vergrößert, während ihr Querschnitt gleich dem eingetauchten Teile der Platten-Oberfläche ist.

Auch der Leitungs-Widerstand der Flammen ist sorgfältig von Hoppe (1877) untersucht worden. Derselbe folgert aus diesen Versuchen, daß die größere Leitungsfähigkeit abhängt von der größeren Hitze und der größeren Menge des verbrennenden Gases; bei verschiedenen Flammen auch von den verbrennenden Stoffen, und er gelangt zu dem Schlusse, daß das Ohm'sche Gesetz auch für die Flammen Geltung hat. Um nun den Leitungs-Widerstand in dem Schließungsbogen einer Volta'schen Säule beliebig abändern zu können, hat man verschiedene Apparate erfunden, um deren Herstellung Jacobi, Boggendorff und namentlich Wheatstone sich wesentlich verdient gemacht haben.

Charles Wheatstone (geb. 1802, gest. am 19. Oktober 1875) schuf die Hauptgrundlagen für diese Vorrichtung, die den Namen Rheostat erhalten hat. Dieselbe, seitdem mannigfach abgeändert, hat den Zweck, beliebige Längen desselben Drahtes in den Strom einschalten zu können, welche sich an dem Apparate selbst messen, ohne daß eine Strom-Unterbrechung eintritt.

Eine Walze von Serpentinsteine oder Marmor enthält einen in 3 bis 4 mm Steigung eingeschnittenen Schraubengang, in welchen bei Messung geringer Widerstände Kupferdraht, bei Messung stärkerer Widerstände Neufilberdraht von $\frac{1}{8}$ bis 1 mm Stärke aufgewickelt ist, dessen Ende rechts

in die Masse des Cylinders eingelassen, bis zur metallenen Achse desselben fortgeführt und hier aufgelötet ist (Fig. 239). Die metallene Achse liegt in zwei Zapfen, von denen der Zapfen links die Kurbel *h* trägt. Der Cylinder trägt an beiden Enden Messingstreifen, von denen der an der Kurbelseite liegende Streifen in 100 Teile geteilt ist, die vermittelt des auf dem Walzenständer sitzenden Index *i* abgelesen werden können. Auf zwei starken Ständern, welche kräftige Federn tragen, ist nunmehr der Metallstab *a b* aufgeschraubt, der ein der Dicke des Drahtes entsprechendes, verschiebbares Röllchen von Messing trägt (Fig. 239 und 240 r t), das mit einer Rinne von dem Durchmesser des Drahtes auf der Walze versehen ist. Dieses Röllchen wird durch die Federn des Stabes *a b* fest gegen die Drahtumwindung des Cylinders angebrückt.

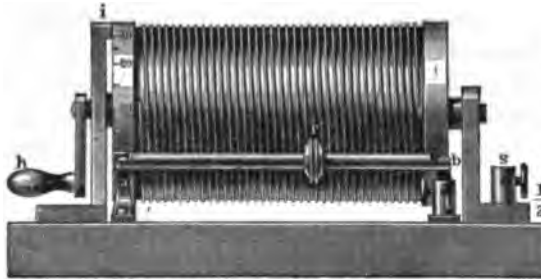


Fig. 239. Wheatstone's Rheostat.

Dreht man die Kurbel *h*, so wird das Röllchen *r*, den Schraubwindungen des Drahtes folgend, auf dem Stabe *a b* nach rechts oder nach links fortgeschoben, je nach der Richtung, in welcher man die Kurbel dreht. Schaltet man nun den Rheostat bei der Klemmschraube *s* und *t* in den Schließungsbogen einer galvanischen Batterie (dem „Rheostaten“ gegenüber „Rheomotor“ genannt) ein, so gelangt der bei *s* eintretende Strom durch den messingenen Träger zur nicht durchgehenden metallischen Achse des Steincylinders, von derselben geht er über auf den umwickelten Draht und läuft durch dessen Windungen bis zum Röllchen *r*, von welchem er dann endlich bei *t* anlangt. Dadurch, daß man das Röllchen *r* durch Drehen der Kurbel *h* an eine andere Stelle des Drahtes bringt, kann man bewirken, daß der Strom eine größere oder kleinere Anzahl der Drahtwindungen durchläuft.

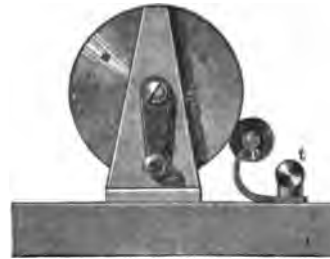


Fig. 240. Wheatstone's Rheostat.

Auf dem Stabe *a b* ist nun eine Teilung angebracht dergestalt, daß jeder Teilstrich einer Drahtwindung entspricht. Das Röllchen steht auf dem Nullpunkte dieser Teilung — was vor der Einschaltung bewirkt werden

muß —, wenn seine Rinne auf der rechten Seite des Cylinders, gerade auf dem Anfangspunkte der Drahtwindungen aufsitzt. Durch Einschaltung ungleich dicker und langer Drähte kann man den Rheostat, außer seiner ursprünglichen Bestimmung, durch ihn einen Strom stets auf der gleichen Stärke erhalten zu können, auch zum Beweise für die Richtigkeit des Ohm'schen Gesetzes gebrauchen. In Fällen, in denen der Gesamt-Widerstand der Kette sehr groß ist, muß man einen Rheostaten mit dünnem Draht anwenden.

Für sehr genaue Untersuchungen bedient man sich eines anderen Apparats, den man Rheochord nennt (Fig. 241). Der Apparat besteht aus zwei Platindrähten a und b. Dieselben sind auf einem wagerecht liegenden Brett so ausgespannt, daß zwischen ihnen nur eine leitende Verbindung durch den Kasten k, der mit Quecksilber gefüllt ist, hergestellt

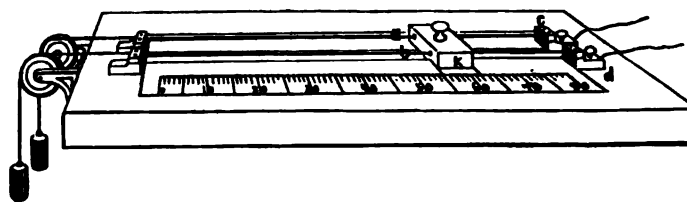


Fig. 241. Rheochord.

wird. Bei der Einschaltung tritt der galvanische Strom durch das metallische Lager bei c und geht auf dem Wege über k nach dem anderen Lager d, indem er durch das Quecksilber von dem Drahte a auf den Draht b übergeleitet wird. Der Kasten k ist nun derart verschiebbar angebracht, daß er bald längere, bald kürzere Stücke der Drähte für die Stromleitung abgrenzt, deren Länge auf der dem horizontalen Brette eingefügten Millimetertheilung abgelesen werden kann.

Neuerdings hat Siemens einen Rheostaten konstruirt, den er Stöpsel-Rheostat nennt (Fig. 242). Derselbe besteht aus einer Reihe von 4—5 oder aus einer doppelten Reihe von 8—10 Drahtrollen, welche vertikal zwischen zwei Brettern aufgestellt sind nach der Widerstandsreihe von 1, 2, 5, 10 u. s. w. Einheiten. Über diesen Rollen sind Messingplatten d, c, b, a u. s. f. angebracht, von denen die Platte a mit der Klemmschraube k und die Platte d mit der Klemmschraube k' in leitender Verbindung stehen. Das eine Ende jeder Drahtrolle ist an die darüber gelegte, das andere Ende an die nächste Messingplatte angelötet, also 1 an a und b u. s. f. Die Platten tragen an den einanderzugekehrten Seiten halbkreisförmige Ausschnitte, in die der Messingstöpsel S eingesetzt werden kann.

Sind alle Einschnitte Stöpsel, so geht der Strom durch die Metallplatten ohne merklichen Widerstand von k nach k' , ohne mit den Rollen in Berührung zu kommen; werden dagegen ein oder mehrere Stöpsel entfernt, so geht der Strom durch die entsprechenden Rollen und erfährt den ihnen entsprechenden Widerstand.

Wenn der Stromkreis einer galvanischen Säule nicht durch eine einfache, sondern durch eine verzweigte Leitung gebildet wird, so lassen sich dennoch die Intensitäten des Stromes in jedem einzelnen Stromzweige durch das Ohm'sche Gesetz ableiten. Es ist dieses auch dann noch möglich, wenn die Verzweigung kompliziert ist und statt einer mehrere Stromquellen in verschiedenen Verzweigungen vorhanden sind. Nachdem bereits Ohm selber, dann Pouillet, später W. Weber das nachgewiesen haben, hat

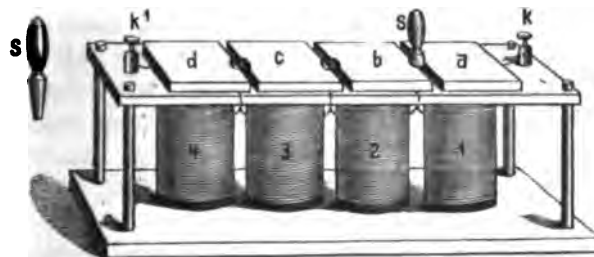


Fig. 242. Siemens' Stäbel-Schroffel.

Gustav Kirchhoff (geb. 12. März 1824, gest. 17. Oktober 1887) dieses Problem in größter Allgemeinheit gelöst. Er fasste die sogenannte Spannung nicht wie Ohm als „Dichtigkeit“, sondern als „Potential“ auf und brachte somit die „Potential-Theorie“ auch auf die galvanischen Ströme in Anwendung. Kirchhoff formulierte zwei Sätze:

1. An jeder Kreuzungsstelle ist die algebraische Summe der Stromstärken gleich Null, wenn man die gegen den Kreuzungspunkt gerichteten und die von demselben ausgehenden Ströme mit entgegengesetzten Zeichen nimmt.

2. In jedem geschlossenen Stromkreise, der durch die Verzweigung gebildet wird, ist die Summe der elektromotorischen Kräfte gleich der Summe der Produkte aus den Stromstärken mit den Widerständen der einzelnen Strecken.

Auf diesem zweiten Satze beruht ein von Wheatstone erdachtes Verfahren, welches eine sehr genaue Vergleichung zweier Widerstände ermöglicht. Es ist dieses die sogenannte Wheatstone'sche Brücke. Siemens stellt

dieselbe in folgender Art her: Ein langes hölzernes Brett (ähnlich wie beim Rheochord) trägt einen Platindraht, der zwischen isolierten Klemmschrauben ausgespannt ist. Mit diesem Drahte parallel läuft ein mit einer Millimetertheilung versehener Metallstreifen, auf dem ein Schlitten mit Nonius verschiebbar angebracht ist. Dieser Schlitten trägt eine sogenannte Rippvorrichtung, an deren Ende eine metallene Schneide auf den Platindraht niedergesenkt werden kann. Fällt diese Schneide also auf den Platindraht, so ist eine leitende Verbindung des Metallstreifens mit dem Platindrahte an dem Berührungspunkte der Schneide hergestellt. Über dem Platindrahte in der Mitte des Brettes sind drei Klemmschrauben auf einem Metallstücke angebracht, die unter sich in leitender Verbindung stehen. Die zu vergleichenden Widerstände werden nun einerseits zwischen dem linken Ende des Platindrahtes und der linken Klemmschraube und andererseits ebenso rechts eingeschaltet. Außerdem werden beide Enden des Platindrahtes mit den Polen eines Elementes und mit einem Galvanometer verbunden. Die Brücke ist nun fertig. Durch den Schlitten kann der Platindraht in beliebige Längen geteilt werden. Mit diesem Instrumente kann man nicht nur zwei gleiche Widerstände vergleichen, sondern auch das Verhältnis zweier ungleicher Widerstände ermitteln. Als Galvanometer bedient man sich bei dieser Form der Wheatstone'schen Brücke am besten eines Siemens'schen Stöpsel-Rheostats.

Das Ohm'sche Gesetz dient auch dazu, die Wirkung verschiedener Volta'scher Säulen leicht zu bestimmen, da es uns die elektromotorische Kraft und den inneren Leitungs-Widerstand derselben bekannt giebt. Diese beiden Größen nennt man „die Konstanten des Rheomotors“. Um sie zu bestimmen, reichen zwei Messungen aus, eine bei Anwendung eines Schließungsbogens von verschwindend kleinem Widerstande, die andere durch Einschaltung eines Drahtes von bekanntem Leitungs-Widerstande.

Solche Bestimmungen werden dadurch vergleichbar, daß man eine bestimmte Einheit des Leitungs-Widerstandes und der Stromstärke zu Grunde legt. Als Einheit des Leitungs-Widerstandes nimmt man die Siemens'sche Quecksilbereinheit: eine Quecksilber-Säule von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt. Für die Stromstärke gilt meistens ein Strom, der durch ein Voltameter gehend, in einer Minute 1 cbcm Knallgas von 0° bis 760 mm Quecksilberdruck entwickelt.

Wenn man die Stromstärke mit der Tangentenbusssole mißt, so kann man die Angaben derselben leicht auf die des Voltameters zurückführen. Man läßt dann gleichzeitig einen Strom durch die Tangentenbusssole und das Voltameter gehen, beobachtet die Ablenkung der Busssole und die Menge des in einer Minute entwickelten Knallgases, so erhält man aus

dieser Beobachtung diejenige Zahl, mit welcher man die Tangente des Ablenkungswinkels multiplizieren muß, um die entsprechende Knallgasmenge in Kubikcentimetern zu erhalten. Die gefundene Zahl heißt der Reduktionsfaktor.

Auf Grund dieser Einheiten ergibt ein Bunsen'sches Element, nur durch eine Tangentenbussole geschlossen, deren Reduktionsfaktor 73,4 ist, eine Ablenkung von 26 Grad und eine Stromstärke von 35,7 Grad. Nach Einschaltung einer Drahtspirale, deren Leitungs-Widerstand genau der Siemens'schen Quecksilbereinheit gleich ist, sinkt die Ablenkung auf 10,25 Grad, die Stromstärke auf 13,3 Grad. Darnach ergibt sich der Wert der elektromotorischen Kraft für

einen Daniell'schen Becher auf 12,0

einen Grove'schen Becher auf 20,5

und für ein Wollaston'sches Plattenpaar auf 5,5.

In dem Wollaston'schen Plattenpaar ist die elektromotorische Kraft deshalb so gering, weil die galvanische Polarisation in demselben nicht, wie in der Daniell'schen Kette aufgehoben ist.

Bei den Grove'schen und Bunsen'schen Bechern ist die Kraft deshalb so bedeutend, weil die Kohle sowohl wie das Platin durch die Berührung mit der Salpetersäure positiv elektrisch werden. Die Differenz der Elektrizität zwischen der positiv erregten Platin- oder Kohlenplatte und der negativ erregten Zinkplatte ist aber größer, als die Differenz zwischen der letzteren und der durch die Flüssigkeit gleichfalls negativ erregten Kupferplatte. Die Größe der Plattenpaare hat keinerlei Einfluß auf die Stärke der elektromotorischen Kraft, ebenso auch nicht der Konzentrationsgrad der Flüssigkeiten. Letzterer aber ist wieder von wesentlichem Einflusse auf den Leitungs-Widerstand. Steht die Zinkplatte in sehr verdünnter Schwefelsäure, Platin oder Kohle in wenig konzentrierter Salpetersäure, so ist ihr wesentlicher Leitungs-Widerstand bedeutend größer, als im umgekehrten Falle.

Außerdem ist aber erwiesen, daß konzentrierte Salpetersäure die Elektrizität weit besser leitet wie Kupfervitriollösung und daß die Natur der Zehnzellen gleichfalls großen Einfluß auf den wesentlichen Leitungs-Widerstand der Rheomotoren ausübt.

Vierter Abschnitt.

Elektromagnetismus und Elektrodynamik.

47. Magnetisierung durch den galvanischen Strom.

Wie Dersted, Arago und Andere eine engere Beziehung zwischen Elektrizität und Magnetismus entdeckt haben, ist von uns bereits näher dargelegt worden. Wie nun der elektrische Strom richtend auf den freien Magnetismus wirkt, so wirkt er auch auf weiches Eisen und auf Stahl, wie wir ja bereits an dem von einem starken Strome durchflossenen Leitungsdrahte durch Anziehung von Eisenfeile nachgewiesen haben.

Will man nun einen Eisenstab magnetisieren, so muß man den elektrischen Strom oftmals um denselben herumführen, wie es Ampère angegeben hat. Viel zweck-

mäßiger aber verfährt man, wenn man den Draht auf eine Spule, Walze oder Trommel aus Pappe oder Holz aufwindet und den Eisenstab durch die Mitte

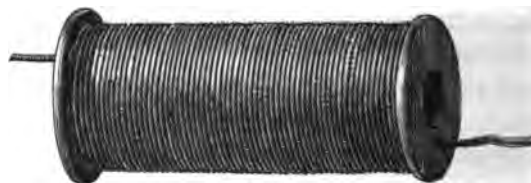


Fig. 243. Magnetisierungs-Spirale.

derselben steckt; eine solche Spirale kann man zu vielen Zwecken verwenden. Figur 243 stellt eine solche Magnetisierungs-Spirale dar. Es leuchtet ein, daß dieselbe sehr klein, aber auch in sehr großem Maßstabe angefertigt werden kann. Sollen sehr kräftige Wirkungen erzielt werden, so nimmt man 1—2 mm starken Kupferdraht und führt ihn in 800—1000 Windungen um die Trommel herum. Eine solche mit Kupferdraht, der mit Wolle oder Seide umspunnen ist, hergestellte Spule, Walze oder Trommel heißt, sobald der weiche Eisen- oder Stahlstab hindurchgesteckt ist, ein Elektro-Magnet.

Geht ein Strom durch einen solchen Elektro-Magnet und man hängt an die Enden des Stabes Eisenstücke, so bleiben dieselben so lange an dem Stabe haften, wie der Strom wirksam ist. Hebt man den Strom auf, so fallen die Eisenstücke augenblicklich ab. Hieraus ergibt sich, daß ein Elektro-Magnet so lange nur als Magnet wirkt, wie er dem magnetisierenden Einflusse des Stromes ausgesetzt ist; er ist deshalb ein „temporärer Magnet“. Die Polarität der beiden Enden eines Elektromagnets bestimmt man, indem man das dem Beobachter zugekehrte Ende vom Strome in der Richtung der Zeiger einer Taschenuhr umkreist denkt. Dieses Ende stellt den Südpol dar. Die entgegengesetzte Drehung des Stromes findet dann am anderen Ende statt, welches den Nordpol darstellt (Fig. 244). Die Form, welche dem Elektro-Magnet gegeben wird, ist dieselbe, welche man bei den Stahlmagneten anwendet, die Hufeisen-, Stimmgabel- oder U-Form, sobald eine größere Tragkraft erzielt werden soll. Bei diesen Formen entsprechen die Schenkel den Enden einer Magnetisierungsspirale, und zwar wird der eine Schenkel in der Richtung des Südpols, der andere in der Richtung des Nordpols umströmt.

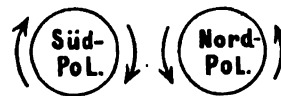


Fig. 244.
Stromrichtung an den Polen.

Brewster war der erste, der einen Elektro-Magnet in Hufeisenform herstellte (1826). Das physikalische Institut der Berliner Universität besitzt einen der größten Hufeisen-Elektromagnete. Seine beiden Schenkel, welche durch ein Eisenstück verbunden sind, haben 58 cm Länge und 10 cm Dicke, die Zahl der Drahtwindungen um dieselbe beträgt über 1200.

Die Tragkraft der Elektromagnete prüft man dadurch, daß man in den Anker, der beide Pole der Schenkel verbindet, einen Haken einläßt, an welchem eine Waagschale befestigt werden kann, die Gewichte trägt.

Läßt man durch eine Magnetisierungsspirale einen starken Strom gehen und zieht Stahlnadeln oder Stahlstäbe einige Male in ihr hin und her, so werden dieselben dauernd magnetisch. Sehr harte Stahlstäbe streicht man auf den Polen eines Elektro-Magnets.

Statt einer Drahtspirale kann man auch eine Bandspirale anwenden. Dieselbe stellt man dadurch her, daß man einen Kupferstreifen von $1\frac{1}{2}$ bis 2 cm Breite, in eine Spirale rollt und denselben zu gleicher Zeit mit Seiden- oder Wollenband, welches etwas breiter ist, als der Streifen, umwickelt.

Diese Umwicklung isoliert die einzelnen Lagen der Spirale voneinander. An das äußere und innere Ende der Bindungen werden nun zwei

Zuleitungstreifen gelötet und dann wird, um sie dauernd gebrauchen zu können, die ganze Spirale nochmals mit Wollen- oder Seidenband so umwickelt, daß sie äußerlich einen einzigen dicken Ring darstellt.

Für den Elektro-Magnetismus gelten nun folgende Gesetze:

1. Es giebt für jeden Eisenstab ein absolutes Maximum des Magnetismus; dasselbe ist proportional dem Quadrate seines Durchmessers, d. h. dem Querschnitte des Stabes.

2. Der durch gleiche Ströme in verschiedenen Eisenstäben erzeugte Magnetismus ist proportional der Quadratwurzel aus dem Durchmesser des Stabes.

Es finden nun aber auch in den Strömungen des Elektro-Magnets Störungen statt, wie wir sie bereits beim Einflusse des Erd-Magnetismus auf weiches Eisen kennen gelernt haben. In ganz ähnlicher Weise, wie die Erschütterungen, wirkt nach den gründlichen Untersuchungen von Franz Wiedemann in Leipzig, die Torsion der Stahlstäbe. Torsion, d. i. Torsions-Elastizität (Drehungs-Elastizität), wird in einem Stabe hervorgerufen, den man an seinem oberen Ende feststellt und an seinem unteren Ende mittels eines Hebels dreht oder drillt. Die Kraft des Widerstandes gegen die Drehung wächst in demselben Verhältnis wie der Winkel, um den er gedreht wird. Die wichtigsten der von ihm zusammengestellten Sätze sind nach Müller-Reichard folgende:

Torsion.

1. Erschütterungen während der Einwirkung eines tordierenden Gewichtes vermehren die Torsion eines Drahtes.

2. Die permanente Torsion eines Drahtes wird nach Wegnahme des tordierenden Gewichtes durch Erschütterungen vermindert.

3. Die permanente Torsion der Eisendrähte nimmt durch ihre Magnetisierung ab.

4. Wird ein Draht magnetisiert, während er unter dem Einflusse eines tordierenden Gewichtes steht, so nimmt seine Torsion bei schwacher Magnetisierung zu, bei stärkerer nimmt sie wieder ab.

Magnetismus.

1. Erschütterungen während der Einwirkung eines magnetisierenden Stromes vermehren den Magnetismus des Stahlstabes.

2. Der permanente Magnetismus eines Stahlstabes wird nach der Unterbrechung des magnetisierenden Stromes durch Erschütterungen vermindert.

3. Der permanente Magnetismus der Stahlstäbe nimmt durch ihre Torsion ab.

4. Wird ein Stahlstab tordiert, während er unter dem Einflusse eines magnetisierenden Stromes steht, so nimmt sein Magnetismus bei schwacher Torsion zu, bei stärkerer nimmt er wieder ab.

5. Leitet man durch einen magnetischen Eisendraht einen Strom oder magnetisiert man einen Eisendraht, durch den man einen Strom geleitet hat, so tordiert er sich.

5. Tordiert man einen Eisendraht, während oder nach dem Durchleiten eines galvanischen Stromes, so wird er magnetisch.

Durch eine galvanische Spirale magnetisiertes Eisen giebt während der Magnetisierung oft Töne von sich. Die Schließung oder Unterbrechung eines starken elektrischen Stromes, der durch eine Drahtspirale geht, verursacht stets ein Geräusch, das einem Geklirr gleicht. Steckt man aber einen Stab von geringer Dicke durch die Spirale, dessen Ende oder dessen Mitte in einem Stege eingespannt ist, der auf einem Resonanzboden steht, so wird neben dem Geklirr deutlich ein Ton von bestimmter Höhe wahrnehmbar.

Dieser Ton, den die Eisenstäbe erzeugen, heißt ihr Longitudinalton. Er ist unabhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher die Unterbrechungen sich folgen. Einen solchen Ton erzeugen nur die Eisen- und Stahldrähte; Blei-, Zinn-, Zink-, Kupfer-, Messing-, Silber- und Platindrähte erzeugen dagegen keinen Longitudinalton.

48. Elektromagnetische Motoren.

Die elektromagnetischen Motoren oder magnoelektrischen Maschinen zu konstruieren, lag, nachdem man die kräftigen Erscheinungen der Anziehung und Abstoßung am Elektro-Magnet beobachtete, gleichsam in der Luft. Bereits im Jahre 1829 konstruierte deshalb Professor Sedlitz eine Maschine, welche sich auf das Prinzip dieser Anziehung und Abstoßung gründete. Ihm folgte 1830 Salvatore dal Negro in Padua, der seine Erfindung 1832 veröffentlichte, als Pixii bereits eine ähnliche Maschine erfunden hatte, deren Beschreibung unter dem 3. September 1832 erfolgte. Diese ersten Maschinen bestehen im Wesentlichen aus einem hufeisenförmigen, vertikal gestellten Stahlmagneten und einem mit Drahtspiralen umgebenen Anker aus weichem Eisen, unter dem der Magnet in Drehung versetzt wird. Wir geben mit Fig. 245 die Beschreibung der elektromagnetischen Maschine von Pixii.

In einem Holzgestelle befestigt, tragen zwei Säulen von weichem Eisen oben eine verbindende Eisenplatte, an welche zwei Magnetisierungsspiralen angeschraubt werden. Unter diesen Spiralen ist ein auf einer vertikalen Achse befestigter Stahlmagnet aufgestellt, der durch die unter ihm befindliche Kurbelvorrichtung in schnelle Rotation gebracht werden

kann. Bei dieser Rotation verändern sich die Pole des Magnets fortwährend unter den Magnetisierungs-Spiralen und somit werden fortwährend wechselnde, nach der einen oder anderen Seite gerichtete, elektrische Ströme in den Drahtwindungen der Spiralen erzeugt. Diese Ströme können in ihrer Wirkung angenommen werden als Strom einer galvanischen Batterie und von der Maschine durch Leitungsdrähte zur Kraftwirkung beliebig übertragen werden.

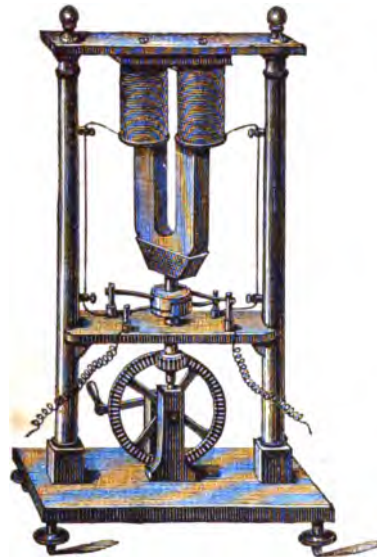


Fig. 245. Pige's magnet.-electr. Maschine.

Die Gleichrichtung der Ströme bewirkt unterhalb des Magnets der sogenannte Kommutator. Derselbe besteht aus einem kleinen Cylinder mit zwei isolierten Metallhülsen, welche stufenförmig ineinandergreifen. Beide Seiten der Metallhülsen werden von Federn geschleift, welche bei der Rotation des Kommutators (Stromwenders), wenn

der Strom also seine Richtung wechselt, auf die nächste Hülse übergehen und daher den Strom aus der anderen Magnetisierungs-Spirale in gleicher Richtung empfangen. Dadurch bleibt die Richtung des Stromes eine beständige.

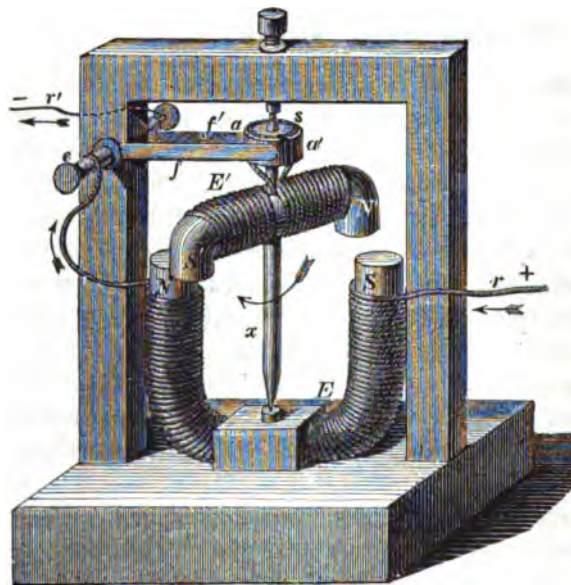


Fig. 246. Ritchie's electromagnet. Kraftmaschine mit rotierendem Magnet.

Sehr häufig findet man in physikalischen Kabinetten auch den von Ritchie erfundenen Motor (Fig. 246). Hier ist ein U förmiger Stahlmagnet E auf einem Brett so befestigt, daß er mit seinen Polen N S nach oben gerichtet ist. In der

Mitte seiner Schenkel trägt eine senkrechte stählerne Achse x , deren Enden zugespitzt sind, einen horizontal gerichteten Magnet E' , dessen Pole bei der Umdrehung über die Pole des unteren Magnets weggehen. Über dem drehbaren Magnet ist der Commutator angebracht, der aus zwei Teilen besteht, die keine leitende Verbindung haben. An seinem Rande schleifen die Federn f und f' , an deren Ende die Drähte zur Polbatterie gehen.

Werner Siemens förderte die Anwendung der elektromagnetischen Maschinen gewaltig durch seinen 1851 erfundenen Cylinder-Induktor. Derselbe besteht (Fig. 247) aus dem eisernen Cylinder a , in welchem zwei sich gegenüberliegende riemenförmige Ausschnitte angebracht sind, welche zur Aufnahme der Drahtwindungen dienen. Nachdem der Draht aufgewunden ist, wie b zeigt, hat man einen Apparat hergestellt, in dem eine viel stärkere elektrische Erregung der Drähte erzielt wird, weil die Drahtwindungen ganz dicht an den Magnetpol gebracht werden können, wie das bei c ersichtlich ist. Sobald nun der Induktor in Rotation gesetzt wird, so entwickeln sich in denselben sehr kräftige Ströme, die einen fortwährenden Wechsel zwischen Nord- und Südpol (Fig. 247 c) erzeugen. Um die in den Drahtwindungen erzeugten elektrischen Ströme nach außen abzuleiten, ist das eine Drahtende des Induktors mit einer

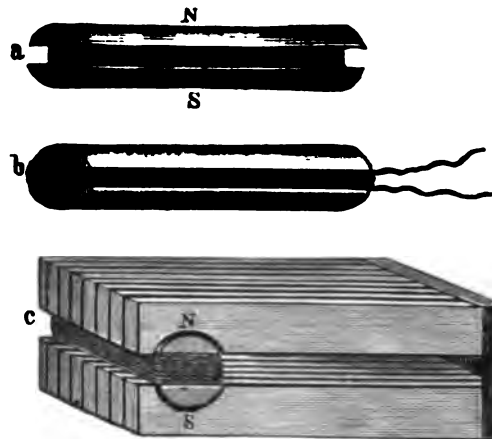


Fig. 247. Cylinder-Induktor von W. Siemens.

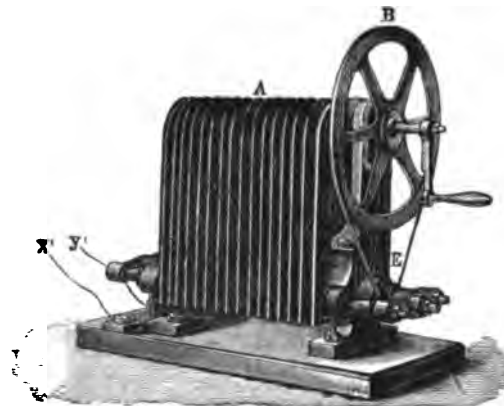


Fig. 248.

Kleine Siemens'sche magnet-elekt. Maschine mit Cylinder-Induktor.

ihn tragenden Welle, das andere mit einem auf der Welle sitzenden, von ihr aber isolierten Metallringe verbunden (Fig. 248). Zwei Federn, welche auf der Welle und dem Ringe aufschleifen, führen die Ströme den Leitungsdrähten zu.

Diese Konstruktionen haben aber den Fehler, daß sich der Commutator und die aufschleifenden Federn rasch abnutzen und es war deshalb erwünscht, eine Maschine zu besitzen, von welcher ein gleichgerichteter Strom sofort ausgeht.

Diesen Wunsch erfüllte Antonio Pacinotti, Professor in Florenz, im Jahre 1860 durch Konstruktion seines Ring-Induktors.

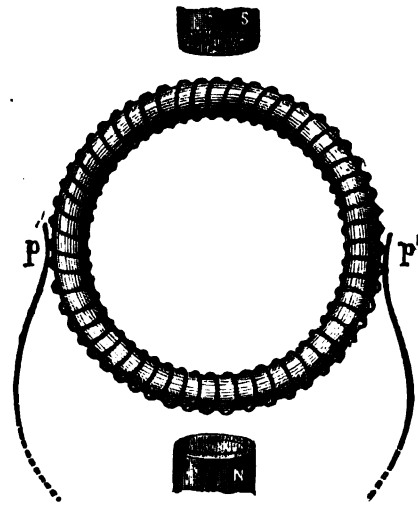


Fig. 249. Pacinotti's Ring-Induktor.

Dieser Ring-Induktor (Fig. 249) besteht aus einem Ringe von weichem Eisen, der mit übersponnenem Draht (Wolle oder Seide) umwunden ist. Wird dieser Ring zwischen die beiden Pole bei S und bei N gebracht, so entsteht in dem Eisen, dem Nordpole N gegenüber, ein Südpol und, dem Südpole S gegenüber, ein Nordpol, während die Punkte p und p', die am weitesten von den Polen abliegen, gar nicht magnetisch sind, also die sogenannten neutralen Punkte darstellen. Wird nun der Eisenring in der Richtung seiner Krümmung herumgedreht, so drehen sich die Punkte p und p' natürlich auch und werden magnetisch, wäh-

rend andere Punkte neutral werden. Die im Eisenringe erregten Pole wandern demgemäß in dem Ringe herum und dadurch werden in dem umwundenen Draht in jeder Ringhälfte elektrische Ströme erzeugt, welche stets nach gleicher Richtung fließen, wobei aber diese Ströme einander auch stets entgegengesetzt sind. Diese Ströme kann man an den neutralen Punkten nun auffangen und überleiten, wenn man die einzelnen Drahtwindungen des Ringes mit der Welle durch radial gerichtete Drähte verbindet.

Die Form und Einrichtung der elektromagnetischen Motoren wechselt also, wie wir gesehen haben, gar sehr verschiedentlich ab. Sie lassen sich aber dennoch in nur zwei Hauptgruppen teilen, nämlich in solche Maschinen, bei welchen Magnetpole auf Magnetpole wirken und in solche, bei welchen Magnete auf Spiralen oder Spiralen auf

Magnete wirken. Nach dem ersteren Systeme sind die Maschinen von dal Negro, Ritchie, Jacobi, Helmholtz u. A., nach dem letzteren die Maschinen von Page, Pacinotti, Gramme u. A. konstruiert.

Als wesentliche Bestandteile gelten bei beiden Systemen die beiden aufeinander wirkenden Teile, der Kommutator, d. i. die Vorrichtung zur rechtzeitigen Unterbrechung oder Umkehrung des Stromes und die Vorrichtung zur Übertragung der gewonnenen elektrischen Kraft. Die Kraft, mit welcher die Magnetpole aufeinander wirken, ist abhängig von der Entfernung der Pole und variiert während jeder Umdrehung in bestimmten Grenzen, welche durch die Eigentümlichkeit der Maschine gegeben sind. Trotzdem gelangen die Maschinen in einen ziemlich gleichmäßigen Gang, bei dem sie dann den Widerstand der angehängten Last, die Reibungswiderstände der Maschine und den Widerstand der Luft zu überwinden haben. Die nun überschießende Kraft heißt „die mittlere Kraft“. Man erzielt die größtmögliche Kraftentwicklung, wenn man die Belastung der Maschine so regelt, daß die Stärke des Stromes, welcher den Apparat während der Rotation durchläuft, genau halb so groß ist, wie die Stromstärke beim Anhalten der Maschine sein würde. Man würde also einen vollkommenen elektrischen Motor dann haben, wenn man seine ganze Energie in nutzbare Arbeit umsetzen könnte, die das Schwungrad weiter zu übertragen vermöchte. Einen solchen Motor kann man aber nicht herstellen, weil es nicht möglich ist, den Strom durch die Drahtwindungen des Motors und durch die Flüssigkeiten der Elemente zu leiten, ohne sofort eine Quantität Wärme zu erzeugen.

Zur Beurteilung der Rentabilität eines elektromagnetischen Motors gehört vor allem die Berechnung des Metallverbrauches. Nun ist 1 cbcm Knallgas äquivalent mit 0,001933 g Zink. Auf eine Pferdekraft in einer Stunde kommt also ein Zinkverbrauch von 494 g = ca. $\frac{1}{2}$ kg.

Ein solcher Zinkverbrauch erfordert 2 kg käufliche Salpetersäure von 1,33 spezifischem Gewicht. Selbstverständlich ist das eine rein theoretische Rechnung. In der Praxis gestaltet sich die Sache noch ganz anders. Sobald ein elektromagnetischer Motor in Bewegung gesetzt wird und mit etwa 25 Prozent Wirkung arbeitet, so erhöht sich der Verbrauch per Pferdekraft und Stunde auf 2 kg Zink und 8 kg Salpetersäure, also auf das Vierfache. Nimmt man nun den Preis von 1 kg Zink zu 1,50 M, von 1 kg Salpetersäure 0,50 M an und erachtet die Kosten für die Schwefelsäure durch den erzeugten Zinkvitriol ausgeglichen, so kostet eine Pferdekraft in einer Stunde bar 7 M, also 30—40 mal so viel als der Kohlenverbrauch in einer Dampfmaschine. Die Kraft, welche die elektromagnetischen Motoren erzeugen, ist für Arbeit im Großen also noch viel zu teuer und daher nur für Kleinarbeit zu brauchen.

50. Die elektrische Telegraphie.

Der Gedanke des Menschen ist an Raum und Zeit fast nicht gebunden. In dem kleinsten Zeiteilchen durchheilt er den Weltenraum, und die Erde wird von den Wissenden mit dem Gedanken schneller umkreist, als irgend ein anderes Agens es vermag. Was lag also dem denkenden Menschen wohl näher, als der Wunsch, seinen Gedanken verständlich dem räumlich weit entfernten Gleichdenkenden im Augenblicke des Entstehens zu übermitteln! Naturgemäß wendete sich also der Menscheng Geist den geheimnisvollen Kräften zu, die er in der Natur erblickte, und die magnetische Kraft mußte seine Aufmerksamkeit gewaltig erregen. So ist es nicht zu verwundern, daß in dem Buche von Porta, betitelt „*Magia naturalis*“, welches 1553 veröffentlicht wurde, schon der Gedanke angeregt wird, die magnetische Kraft zu Fernwirkungen zu benutzen, und Fanturmo Strada spricht in seinen „*Proclusiones Academicæ*“ 1616 von der Möglichkeit, die Verständigung zwischen zwei entfernten Personen durch zwei Magnetnadeln herbeizuführen. Galilei hält die Möglichkeit hierfür nicht für ausgeschlossen und Pater Kircher beschreibt bereits eine Vorrichtung, vermittelt deren man sich von Zimmer zu Zimmer verständigen könne. Er schlägt vor, mit Wasser gefüllte kugelige Gefäße aufzustellen, in denen ein Magnet schwimmt, an dessen Umfange die Zeichen des Alphabets angebracht sind und glaubt, wenn man in dem einen Zimmer den Magnet auf einen bestimmten Buchstaben stelle, so müsse der Magnet im anderen Zimmer ihm folgen. Auf das „*Wie?*“ bleibt er aber die Antwort schuldig.

Dann ließ man den Gedanken an eine magnetische Verständigung fallen und wendete sich der Reibungs-Elektrizität zu. Der Schotte Stephan Grey hing einen 200 m langen Kupferdraht an Seidenfäden so auf, daß er frei in der Luft schwebte und versuchte nun die Geschwindigkeit der Elektrizitäts-Forpflanzung zu messen, und ähnliche Versuche machten Watson in London, Franklin in Philadelphia u. A.

Professor Winkler in Leipzig wies nach, daß der Draht entbehrlich sei, wenn man Wasser benutze. Er schaltete in den Entladungskreis einer Elektrifiziermaschine zu diesem Zwecke den durch Leipzig gehenden Pleißefluß ein. Charles Marshall zu Renfrew in Schottland schlug 1753 vor, für jedes Zeichen im Alphabet einen besonderen Leitungsdraht anzuwenden, die Enden dieser Drähte mit Metallkugeln zu versehen, unter welche der gleiche Buchstabe, auf ein Papierblättchen aufgetragen, zu legen sei. Bei Verbindung der Drähte mit der Elektrifiziermaschine ziehe nun jedesmal der betreffende Draht an seinem Ende das Papierblättchen an, wodurch eine

Zusammensetzung von Wörtern möglich sei. Die Ausführung dieses Vor-
schlages scheiterte aber an seiner Umständlichkeit und Kostspieligkeit. Lesage
in Genf brachte 1774 die Drähte mit einem Elektroskop, das aus einem
am Faden pendelnden Hollundermark-Kügelchen oder Goldschaumstreifchen
bestand, welches durch die Elektrizität bewegt wurde und den jeweiligen
Buchstaben angab.

Comond wendete 1777 nur einen einzigen Draht an, nachdem er
vorher die Zeichen des Alphabets durch Kombination bedeutend verringert

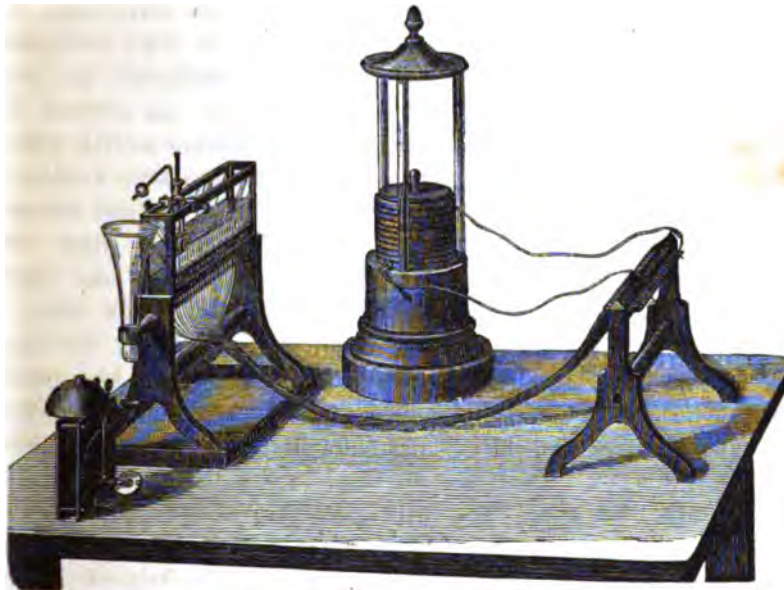


Fig. 250. Ömmering's Telegraph.

hatte. In dieser und ähnlicher Richtung bewegten sich alle Versuche mit
elektrostatischen Telegraphen bis zum Jahre 1810. Bereits im Jahre 1808
machte Samuel Thomas von Ömmering (geb. am 28. Januar 1755, gest.
am 2. März 1830) Versuche, den galvanischen Strom zur Übertragung
von Zeichen zu benutzen. Im Juli 1809 teilte er das Ergebnis seiner
Arbeit mit. Er machte von der Wasserzerlegung durch den galvanischen
Strom Gebrauch, indem er lange Leitungsdrähte benutzte, welche an dem
einen Ende vergoldet waren. Mit diesem Ende tauchten sie in Wasser,
das andere Ende reichte in messingene Cylinder, die zu zweien beliebig
durch Stöpsel mit den Polen einer Volta'schen Säule verbunden werden
konnten. Die Anzahl der Leitungsdrähte betrug zuerst 35, entsprechend den

Zeichen des Alphabets mit ihren Zusammensetzungen und später, bei Vereinfachung, 27.

Das an den Goldspitzen nun auftretende Gas hob dann immer zwei Zeichen zugleich, von denen das dem Wasserstoffpol entsprechende immer zuerst gelesen werden sollte.

Wurde nämlich der Apparat in Bewegung gesetzt, so trat eine Klaviatur in Thätigkeit, durch die je zwei der 27 Drähte mit den Polen der Säule verbunden wurden. Durch das Niederdrücken von zwei Tasten (Fig. 250) wurde der Stromkreis der galvanischen Säule geschlossen und durch die nun erfolgende Wasserzerlegung trat die Bildung von Gasbläschen ein, durch welche zwei Buchstaben bezeichnet und zugleich als erster und zweiter unterschieden wurden, indem die Ausscheidung von Wasserstoff am negativen Pol ein doppelt so großes Quantum ergiebt, wie am positiven Pol die Ausscheidung von Sauerstoff. Um nun die Buchstaben wirklich sichtbar zu machen, war in dem Wasserbehälter, in den die vergoldeten Drahtenden hineinragten, über jedes dieser Enden ein mit Wasser gefülltes Gläschen gestürzt, das das betreffende Zeichen oder den Buchstaben zeigte. Mit diesem Apparate hatte Sömmering auch einen Signalgeber oder Wecker verbunden, um, vor der Funktionierung, ein hörbares Zeichen geben zu können. Derselbe bestand aus einem wagerechten Hebel, der an einem Arme eine in das Wasser getauchte Glocke trug, während auf dem anderen Arme eine metallene Kugel frei auflag. Sobald nun durch den Strom Gas unter der Glocke entwickelt wurde, stieg sie hoch, während der andere Hebelarm fiel und die Kugel auf die Glocke rollen ließ, wobei ein Ton hörbar wurde. Es gelang Sömmering, mit diesem Apparate eine Verständigung in einer Entfernung von über 3 km anzubahnen. Die hohen Kosten aber, welche eine Leitung mit 27 Drähten in Anspruch nehmen mußte, hinderten eine praktische Verwendung im Großen. Auch die Napoleonischen Kriege und die ihnen folgende Abspannung waren der Förderung der großen Sache hinderlich.

Da erfolgte im Jahre 1820 die gewaltige Entdeckung Dersted's. Mit dieser Entdeckung kam in die Bestrebungen, durch Elektrizität eine Verständigung zwischen großen Entfernungen anzubahnen, ein neues Leben. Am 20. Oktober 1820 schlug Ampère vor, den Magnet zur Herstellung von Nadeltelegraphen zu benutzen, indem an Stelle der Platin-Elektroden im Sömmering'schen Apparate Magnetenadeln angewendet würden. Ritchie verfertigte darauf das Modell zu einem Telegraphen, der 30 Magnetenadeln bewegte, welche 30 einzelnen Zeichen entsprachen. Jede Nadel war mit zwei Drähten verbunden, die abwechselnd mit der galvanischen Säule in Verbindung gesetzt werden konnten. Die ausschlagende Nadel schob einen

mit ihr verbundenen Schieber zurück, wodurch das betreffende Zeichen frei wurde.

In dieser Richtung bewegten sich jetzt alle Versuche. Man verminderte die Anzahl der Drähte, dann die Anzahl der Nadeln. Baron Schilling von Ramstadt, russischer Staatsrath, wendete deren nur fünf an, aber die Umständlichkeit des Verfahrens wurde nicht behoben. Einen praktischen, im Großen ausführbaren Erfolg erzielten erst die beiden berühmten Physiker Professor Karl Friedrich Gauß (1777—1885) und Professor Wilhelm Eduard Weber (geb. 1804), beide zu Göttingen. Sie stellten 1833 einen elektrischen Nadeltelegraph zwischen dem dortigen magnetischen Observatorium und dem physikalischen Kabinet her, mit einem doppelten, beinahe 2800 m langen Leitungsdraht. Ohne von Schilling's Bestrebungen unterrichtet zu sein, brachten sie dieselben Prinzipien in Anwendung. Der Beobachtungs-Apparat bestand aus einem Gauß'schen Magnetometer, dessen Stab mit zahlreichen Multiplikator-Bindungen umgeben war und welche die Schließung der Zuleitungsdrähte, die über die Dächer der Häuser gingen, auf dieser Seite bildeten. Wurde nun auf der anderen Station, in dieser oder jener Richtung, momentan ein Strom erregt, so erhielt der Magnetstab eine Ablenkung nach rechts oder nach links, welche durch das Fernrohr wahrnehmbar wurde. Diese Ablenkungen nach rechts und links wurden dann zu Kombinationen für Zeichen angewendet. Die Ströme, welche bei dieser Leitung wirksam waren, sind aber keine galvanischen Ströme, sondern Induktionsströme, von denen wir bald mehr hören werden. Um die Nadel schneller zur Ruhe zu bringen, machte Gauß dieselbe nahezu astatisch und umgab sie mit einem Kupfergehäuse, in welchem durch die Bewegung der Nadel Ströme induziert werden. Später hing er die Nadel an zwei parallelen Fäden auf.

Auf Anregung von Gauß wurde dann Professor Karl August Steinheil in München (geb. 12. Oktober 1801, gest. 14. September 1870) für die weitere Ausbildung dieser Erfindung gewonnen. Seine ausgezeichneten Erfolge machen ihn zum eigentlichen Begründer der neueren Telegraphie. Er stellte 1837 zwischen München und der in Bogenhausen belegenen Sternwarte eine ungefähr 5500 m lange Telegraphenleitung her, welche zwei Drähte zur Hin- und Rückleitung des Stromes hatte. Diese Leitung wurde auch noch mit dem physikalischen Kabinet verbunden und hatte nun eine Länge von fast 10 km.

Er ersetzte in seinem Apparat (Fig. 251) den Stromerreger Webers durch einen Induktions-Apparat, der ähnlich wie der von Ritchie konstruiert war und dessen Anker durch einen Hebel, welcher mit Schwungkugeln versehen war, nach jeder beliebigen Richtung gedreht werden konnte.

Beim Empfangs-Apparat wendete er an Stelle eines einzigen Magnets zwei Nadeln an, welche, in gerader Linie liegend, um die beiden vertikalen Achsen *a* und *a'* gedreht werden konnten. Die neben denselben befindlichen Magnete regelten die Richtung. Die Enden derselben trugen da, wo sie einander zugekehrt waren, Messingfortsätze, und an den anderen Enden hinderten Platten die Bewegung nach einer Seite hin. Die Messingfortsätze trugen nun entweder kleine Hämmer, denen Glockenarme verschiedener Klangfarbe gegenüber aufgestellt waren, oder Schreibgefäße, welche durch feine Spitzen eine schwarze Farbe abfließen ließen, und den Telegraph somit

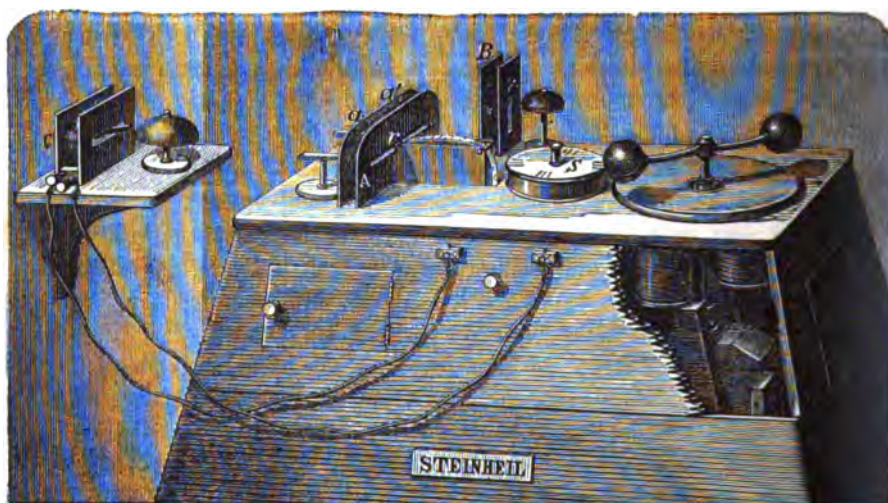


Fig. 251. Steinheil's Telegraph.

zu einem Signal- oder einem Schreibtelegraph machten. Waren Schreibgefäße angebracht, oder besser Farbenöpfe, so wurde diesen gegenüber ein langer Papierstreifen regelmäßig durch ein Uhrwerk fortbewegt, auf dem die Zeichen als Punkte, in zwei Reihen geordnet, sichtbar wurden. Eine Vereinigung von höchstens vier Signalschlägen oder vier Punkten gab dann die betreffenden Ziffern und Buchstaben. Wir sehen hier bereits alle Erfordernisse vertreten, welche bei der neueren Telegraphie angewendet worden sind. Die Alarm-Apparate bei B und C, welche bei ihrer Ablenkung durch den Strom an Glocken schlagen, wurden die ersten Signal-Apparate für die neu erstandenen Dampf-Eisenbahnen.

Einige Jahre später machte dann Steinheil die hochwichtige Entdeckung, daß der zweite Draht entbehrlich sei und die Erde die Rückleitung selbst

beforge. Es gelang ihm nun, den Nadeltelegraph in einen elektromagnetischen Drucktelegraph umzuwandeln.

In Deutschland war um diese Zeit die große Erfindung Stephenson's, die Dampf-Eisenbahn endlich zur Einführung gelangt. 1835, als man die erste Eisenbahn zwischen Leipzig und Dresden zu bauen bereits beschlossen hatte, wendete sich die Verwaltung der Gesellschaft an Gauß und Weber, um sich zu erkundigen, unter welchen Umständen eine telegraphische Leitung mit der Bahn verbunden werden könne. Eingehend wurde zwischen den Beteiligten diese Frage erörtert, aber die hohen Kosten einer solchen Einrichtung ließen die Gesellschaft endlich von derselben Abstand nehmen. Als nun am 7. Dezember 1835 die Strecke Nürnberg—Fürth eröffnet worden war, ging Steinheil zu näherer Untersuchung eines Vorschlages von Gauß und Weber über, die eisernen Schienen als Rückleitung zu benutzen. Er überzeugte sich 1838, daß dies wegen der mangelhaften Isolierung nicht ausführbar sei, kam aber dabei auf den Gedanken, die Erde selbst als Rückleiter zu verwenden. Er führte den Gedanken aus, indem er Kupferbleche von fast 1 qm Oberfläche anwendete und durch diese die Erde mit dem Apparate verband. Er erfuhr, daß eine beträchtliche Erhöhung der Intensität des Stromes eintrat und zu gleicher Zeit wurde mit dieser Erfahrung auch die Anwendung eines Rückleitungsdrahtes unnötig.

Unterdessen war man in England, Frankreich und Amerika auch nicht müßig gewesen. Fortherrill Coole konstruierte, immer in der Überzeugung, daß der elektrische Telegraph für die Eisenbahnen notwendig sei, einen Signal-Apparat, der durch die Ablenkung der Magnetnadel die Richtung eines Eisenbahnzuges angab, der gerade auf der Strecke fuhr, und nach seiner Vereinigung mit Charles Wheatstone konstruierte er einen zweiten Apparat, in welchem er zwei Nadeln zur Bezeichnung von acht Signalen vereinigt hatte. Dann suchte er den Apparat auch zur Vermittlung von Worten brauchbar zu machen und erhöhte die Zahl der Nadeln auf fünf.

Im Jahre 1837 ließ er sich mit Wheatstone diese Erfindung patentieren und führte sie probeweise auf der Eisenbahn zwischen London und Birmingham ein in einer Länge von 1,2 km. Die fünf Nadeln besaßen jede einen besonderen Leitungsdraht. Wenn nun durch zwei von ihnen der Strom hin- und zurückging, erhielten sie gleichzeitig eine Ablenkung und zwar die eine nach dieser, die andere nach jener Seite. Dadurch wurden 20 Kombinationen möglich, welche den Zeichen des englischen Alphabets entsprachen. Später fügten sie eine sechste Nadel und dadurch eine Erhöhung der Zeichen auf dreißig hinzu.

Da aber auch hier die Kosten zu bedeutend waren, so gingen sie wieder auf den Nadeltelegraph zurück. Sie machten das Prinzip von Gauß

und Weber zu dem ihrigen und bedienten sich der Zahl der Ausschläge zu Kombinationen für die verschiedenen Zeichen. Um den Einfluß des Erdmagnetismus aufzuheben, astatisierten sie die Nadel, indem sie dieselbe mit einer zweiten Nadel von entgegengesetzter Richtung verbanden. Letztere wurde, da sie den Apparat durch einen Kasten schützten (Fig. 252), auf der Vorderseite des Kastens angebracht und diente zugleich als Zeiger. Ein passend hergerichteter Kommutator, mit einem Handgriff versehen, stellte die richtige Verbindung der Leitung so her, daß die gegebenen Zeichen gleichzeitig auf beiden Enden der Leitung wahrgenommen werden konnten.



Fig. 252. Nadeltelegraph von Cooke u. Wheatstone.
(Vordere Ansicht.)



Fig. 253. Nadeltelegraph von Cooke u. Wheatstone.
(Rückansicht.)

Diese Erfindung fand nun auf vielen englischen Bahnen Eingang, und um die Schnelligkeit der Arbeitsleistung zu erhöhen, vereinigten sie nun zwei solche Nadeltelegraphen und kombinierten die Ablenkungen beider Nadeln miteinander, erhöhten aber auch die Kosten auf das Doppelte. In Frankreich war es Breguet, der zu ähnlichen Resultaten zu gelangen suchte.

Während sich dies in Europa vollzog, gelang es in Amerika dem Historienmaler Samuel Finley Breefe Morse (geb. 27. April 1791, gest. 2. April 1872) nach langem Bemühen, eine Vorrichtung zu entdecken, die für die weitere Ausbildung der Telegraphie von der allergrößten Bedeutung war.

Wie Steinheil war auch Morse der Überzeugung, daß der höchste Zweck für einen Telegraphen der sei, bleibende Zeichen herzustellen. Er befestigte einen Stift an einem Pendel, welches durch Anziehung eines

Elektromagnets aus seiner Ruhelage abgelenkt wurde und legte unter den Stift einen Papierstreifen so, daß derselbe beim Darübergleiten des Stiftes Eindrücke erhielt. Mit diesem Versuche erzielte er zuerst eine ausgezackte Linie. Die Schließung und Unterbrechung des Stromes erzielte Morse dadurch, daß er an das eine Ende eines zweiarmigen Hebels einen Drahtbügel hing, der beim Eintauchen in zwei Quecksilbernapfe die Leitungsdrähte miteinander verband, während am anderen Ende des Hebels ein Stift angebracht war, der durch einen Bleistab, welcher ausgezackte Erhöhungen und Vertiefungen trug und durch eine Kurbel hin und zurück bewegt werden konnte, Hebungen und Senkungen erfuhr. Die Zahl der Zacken ergab die entsprechende Ziffer für den Buchstaben und es konnten nun durch Kombinationen alle möglichen Wörter zusammengestellt werden, und wenn man die Bedeutung der einzelnen Zeichen in einem telegraphischen Wörterbuche zusammentrug, so war eine bleibende Verständigung gefunden. Dieser Fundamentalversuch gelang Morse am 4. September 1837. Das Wörterbuch aber erschwerte die Einführung der herrlichen Erfindung. Unermüdet arbeitete Morse weiter an der Verbesserung seiner Erfindung, die in nachstehender Form schließlich auf den meisten Telegraphenlinien bis zur Gegenwart Anwendung gefunden hat. Ehe wir zur Beschreibung desselben übergehen, wollen wir hier vorerst bemerken, daß der Ausdruck „Schreibtelegraph“ für die Morse'schen Apparate ein ganz verfehlter ist, und daß wir dieselben entweder „Zeichendruck-Telegraph“ oder kurz „Morse'sche Stiftschreiber“ nennen werden.

Die neuere Konstruktion derselben stellt sie auf eine starke Eisenplatte. Auf derselben sind zwei eiserne Stäbchen befestigt, welche die beiden Magnetisierungs-Spiralen (b in Fig. 254) tragen, die einen Hufeisen-Magnet darstellen. Über den Polen derselben wird der Eisenstab c durch den Messinghebel d schwebend erhalten. Wenn die Eisenkerne magnetisch geworden sind, wird nun das rechte Ende dieses Hebels d heruntergezogen, verlieren sie ihren Magnetismus, so bringt die Feder f den Hebel wieder ins Gleichgewicht. Ist der Hebelarm d rechts heruntergezogen, so klopft er bereits auf, ehe der Anker c vollständig in Berührung mit den Polen des Hufeisen-Magnets gekommen ist. (Bei vollkommenem Aufliegen des Ankers c auf den Polen würde derselbe bei einer Stromunterbrechung seinen Magnetismus nicht vollständig verlieren, und dadurch würde der Gang des Apparats erschwert und unsicher werden.) An dem linken Ende des Hebels ist ein Stahlstift eingelassen, der bei jeder Senkung des Hebels an der rechten Seite gehoben und gegen einen Papierstreifen gedrückt wird, den ein Uhrwerk mit gleichmäßiger Geschwindigkeit unter dem Stifte fortzieht. Das vorbereite Rad des Uhrwerks g wird durch ein Gewicht langsam

umgedreht, welches an die Welle gehängt ist, und mehrere Zwischenräder übertragen diese Bewegung auf die Walze h, welche sich mit größerer Geschwindigkeit umdreht. Durch die Umdrehung der Walze h wird vermitteltst Reibung die Umdrehung der Walze r, welche von gleichem Durchmesser ist, bewirkt. Zwischen diesen Walzen geht ein Papierstreifen hindurch, der von einer höher gestellten Rolle sich abwickelt mit einer Geschwindigkeit von etwa 3 cm per Sekunde. In die Walze r ist eine Rinne geschnitten, in welche der Stift hineingedrückt wird, wenn der Hebel rechts herniedergezogen

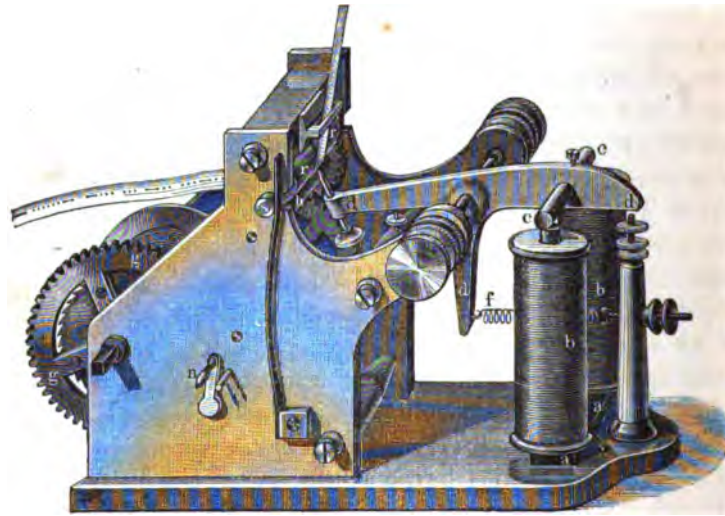


Fig. 254. Morse's Stiftschreiber

wird. Der Stift preßt dann eine Vertiefung in den durch die Rinne gehenden Papierstreifen. Schließt man den galvanischen Strom auf einen Augenblick, so drückt der Stift einen Punkt ein; läßt man den Strom etwas länger geschlossen, so macht der Stift einen Strich. Aus diesen Punkten und Strichen ist nun folgendes Alphabet gebildet worden:

a . — b — . . c — . . . d — . . e . f . . . g — . . h . . .
i . . k — . . l . . . m — . . n . . o p q — . . .
r . . s . . . t — u . . . v w x y
z

1 2 3 4 5 6
7 8 9 0 Punkt
Komma Semikolon Kolon (Doppelpunkt)
. Fragezeichen Ausrufungszeichen

In Telegraphenschrift würde also das Wort „Humboldt“ aussehen, wie Abbildung 255 zeigt.

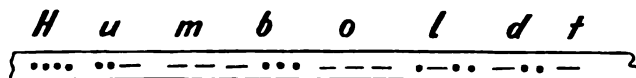


Fig. 255. Schriftprobe (Telegraphen-Alphabet).

Um nun die Kette sicher öffnen und schließen zu können, hat man einen Apparat konstruiert, welcher „Schlüssel der Morse'schen Zeichendruck-Telegraphen“ heißt (Fig. 256). Ein messingener Hebel DE geht um eine Welle B, die bei C auf das Brett A aufgeschraubt ist. Dieses aufgeschraubte Messinglager steht mit derjenigen Telegraphenleitung in Verbindung, welche zur nächsten Station führt. Vor das Lager BC ist der Zapfen a aufgeschraubt, dem gegenüber der Hebel DE in den Zapfen a' ausgezogen ist. Der angeschraubte Zapfen a steht mit dem Pole einer Batterie in Verbindung. Ist der Schlüssel in Ruhe, so wird die Spitze des Hebels bei b' durch die Feder c' gegen den Metallzapfen b, der hinter dem Hebel aufgeschraubt ist, angedrückt und die beiden Zapfen a und a' sind außer Berührung. Werden dagegen diese beiden Zapfen durch einen Druck der Hand in Berührung gesetzt, so geht der elektrische Strom von a durch a' über BC durch die Drahtleitung nach der nächsten Station, dort um den Elektromagnet herum und der emporgehobene Stift desselben drückt auf den durch das Uhrwerk vorüberziehenden Papierstreifen einen Punkt oder einen Strich, je nachdem der Niederdruck eben andauert.

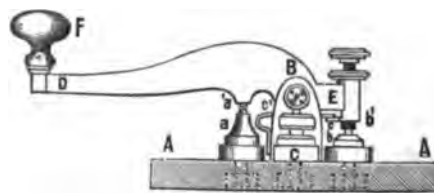


Fig. 256. Schlüssel des Morse-Telegraph.

Abbildung 257 stellt den Stromlauf zwischen zwei Stationen dar. Die Schlüssel c und c' stehen mit den Batterieen b und b' in leitender Verbindung. Die Elektromagnete der Zeichendruck-Apparate sind a und a'. Sind nun beide Schlüssel c und c' in Ruhe, so kann kein Strom entstehen, denn die Leitung ist unterbrochen. Wird dagegen c (Fig. 257) niedergedrückt, so ist der Schließungsbogen dort hergestellt, der Strom geht vom positiven Pol der Batterie b durch den Schlüssel c nach dem Leitungsdrahte, welcher ihn zu dem Schlüssel c' führt. Von diesem geht er zu den Windungen des Elektromagnets a' und dann zur Erdplatte d', von welcher er durch den Erdboden zurückwandert zur Platte d

und von da über den Elektromagnet a zum negativen Pol von b^1 . Der Strom umkreist also, wie die Pfeile anzeigen, von Station c aus die Station c^1 und kehrt durch a^1 nach d und wieder nach b zurück, während die Batterie bei b^1 geschlossen ist und keinen Strom erzeugen kann.

Soll nun der Telegraphist auf der Station b telegraphieren, so drückt er schnell hintereinander den Schlüssel c mehrere Male nieder. Dadurch bewirkt er ein wechselweises Anziehen und Abstoßen der Anker an beiden Elektromagneten. Hierdurch erzeugt er ein klapperndes Geräusch auf der Station b^1 , welches den dort befindlichen Beamten aufmerksam macht, daß eine Depesche einlaufen soll. Dieser löst nun mittelst eines kleinen

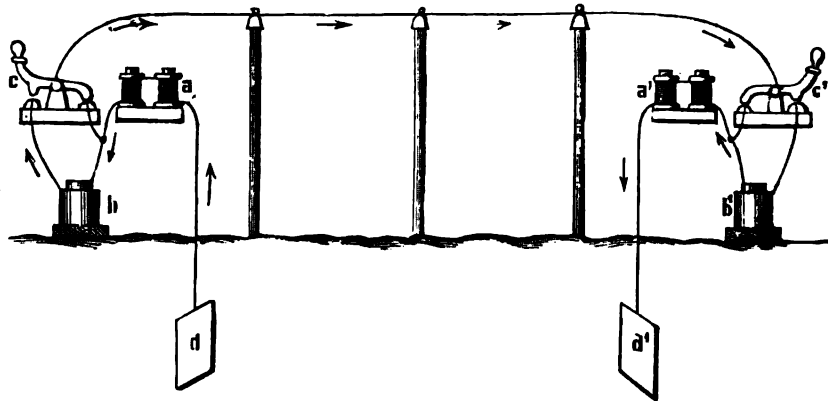


Fig. 257. Stromlauf zwischen zwei Stationen (Morfe).

Hebels unter dem Zapfen von c^1 das Uhrwerk aus und der Papierstreifen beginnt durch die Rinne bei r vorüberzuziehen. Jetzt drückt der Telegraphist auf Station b seinen Schlüssel nun in den gehörigen Zwischenräumen nieder, um die zur Bezeichnung der einzelnen Laute und Ziffern nötigen Punkte und Striche hervorzubringen und wenn er zu Ende ist, macht er eine Reihe von gleichmäßig sich folgenden Punkten in einer Anzahl von 20—30.

Freilich bleibt auch hier in der Praxis noch manche Schwierigkeit zu überwinden; denn wenn der Strom nicht entsprechend stark ist, wird der Anker auf der anderen Seite nicht mit der nötigen Kraft angezogen, der Stahlstift also nicht kräftig angedrückt und die Zeichen werden undeutlich. So übermäßig starke Batterien aber anzuwenden, wie eine lange Drahtleitung erfordert, ist kaum ausführbar und man sann denn auch auf wirksame Abhilfe. Dieselbe wurde gefunden in einem Apparat, der „Relais“, d. i. Übertrager oder Vorspann, genannt wird.

Jede Station besteht aus zwei Batterien. Die eine, berechnet auf eine Wirkung über etwa 75 km Entfernung, heißt Linienbatterie und wird gebildet aus sechs Zinkkohlen-Elementen oder aus einer der Wirkung entsprechenden Anzahl von kleineren Elementen. Von dieser Batterie geht der Strom zur nächsten Station und wirkt dort auf einen Apparat, welcher in Figur 258 abgebildet ist.

Die Spiralen bei C bilden ebenfalls einen Uförmigen Magneten, dessen eine Spirale hier nur sichtbar ist. Diese Spiralen sind mit einem weit dünneren Drahte umwunden, als die Spiralen der Linienbatterie, haben also auch bedeutend mehr Windungen. Der unten abgeflachte Anker A, welcher C weit näher steht, als der Anker der Linienbatterie, wird von dem eisernen Hebel a b getragen, der sich in einem messingene Gestelle um die Achse b dreht. Er ist rechtwinkelig gebogen und wird durch eine Feder in die Höhe gezogen, die ihn dadurch bei c gegen die Spitze eines am Gestelle befindlichen Zapfens drückt. Geht nun ein Strom durch den Elektromagnet C, so wird der Anker niedergezogen bei a und das Ende c folglich gegen den Zapfen gedrückt, bei d und zwar bevor der Anker a mit dem Eisenkerne von C in Berührung treten kann.

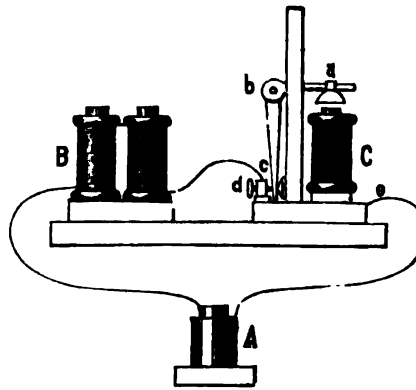


Fig. 258. Relais.

Es ist also ersichtlich, daß der Spielraum des Hebels äußerst gering ist und da derselbe ebenso leicht beweglich ist, so genügt ein sehr schwacher Strom dazu, ihn in Bewegung zu setzen. Auf jeder Station ist nun eine zweite, aus wenigen Beckern zusammengesetzte Batterie, die Lokalbatterie (Fig. 258 A), aufgestellt, in deren Schließungsbogen der Schreib-Apparat eingeschaltet ist. Wird daher der Hebel a b geöffnet, so wird der Strom, der durch die Lokalbatterie geht, geschlossen und umgekehrt. Der eine Pol der Lokalbatterie steht durch einen Draht in Verbindung mit der Messingplatte bei e und durch das Messinggestell auch mit dem Hebel a b. Der messingene Zapfen bei d, in welchem eine Schraube geht, ist aber durch untergelegtes Holz oder Elfenbein isoliert von e und durch einen Draht mit der Spirale des Schreib-Apparates bei B verbunden, von der ein Draht wieder zur Lokalbatterie zurückgeht. Es ist selbstverständlich, daß, wenn die erste leitende Verbindung nach e vom negativen Pole der Lokalbatterie ausging, der Draht von B zum positiven Pole zurückgeführt werden muß.

Dieses Relais mit seiner Lokalbatterie A ist offen, wenn kein Strom durch seine Spiralen geht; geschieht dieses durch den von der anderen Station gesendeten Strom, so findet die Schließung der Kette statt bei d. Jetzt wird der Schreib-Apparat bei B auch von dem Strome der Lokalbatterie durchflossen, der außer den Windungen der Spiralen bei B nur eine äußerst geringe Drahtlänge durchläuft und deshalb sehr kräftig wirkt.

Betrachten wir jetzt noch einmal die Abbildung 257 (9), welche das Telegraphieren zwischen zwei Stationen schematisch darstellt und denken wir uns das eben beschriebene Relais mit den Apparaten verbunden, so sind die mit a und a' bezeichneten Elektromagnete nicht mehr die Elektromagnete

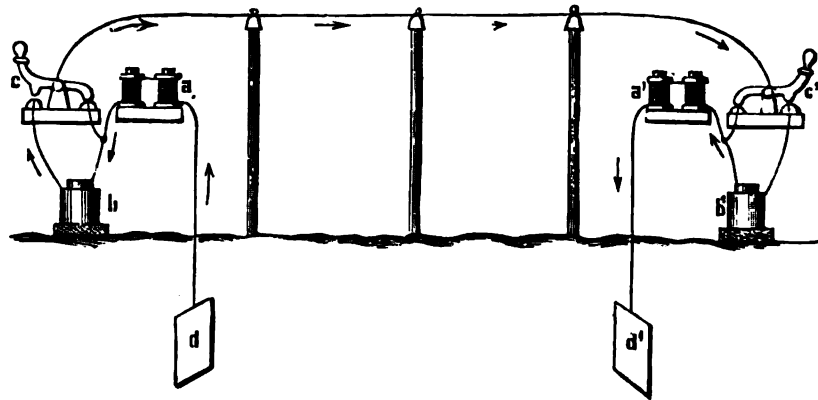


Fig. 259. Stromlauf zwischen zwei Stationen (Morse).

des Schreib-Apparates, sondern die Elektromagnete des Relais. Drückt also, wie wir angenommen haben, der Beamte bei c' den Schlüssel nieder, so geht der Strom seiner Hauptbatterie durch die Spiralen auf beiden Stationen; hierdurch werden aber auf beiden Stationen die Lokalbatterien geschlossen und der Anker des Schreib-Apparates wird auf beiden Stationen angezogen.

Einen geringeren Aufwand von elektromotorischer Kraft als die Morse'schen Zeichendruck-Telegraphen erfordern die sogenannten Farbschreib-Apparate.

Bei den Zeichendruck-Telegraphen bleibt der Übelstand, daß die Sichtbarkeit der Zeichen oft viel zu wünschen übrig läßt und daß, um diese Sichtbarkeit deutlich zu erzielen, die Lokalbatterien sehr kräftige Ströme wirken lassen müssen. Diese Übelstände werden durch die Erfindung der „Farbschreiber“ beseitigt. Der Papierstreifen C B A (Fig. 260) wird mit

gleichmäßiger Geschwindigkeit durch die beiden Cylinder E und D weiter gezogen. Vor diesen Beförderungswalzen ist nun der Farbschreib-Apparat angebracht. Derselbe besteht aus der Walze G, der Metallscheibe F und dem Hebel JH. Die Walze G ist um ihre Achse drehbar, überzogen mit Filz oder Tuch und mit farbiger öliger Tinte getränkt, die Metallscheibe F, gleichfalls um eine Achse drehbar, wird von der Walze G fortwährend mit Farbe bestrichen. Sobald nun der Strom wirksam wird, drückt der um K drehbare Hebel JH den Papierstreifen BA gegen die Metallscheibe F und dadurch wird ein farbiger Punkt oder Strich hervorgerufen. Sobald der Strom unterbrochen wird, geht der Hebel zurück, der Papierstreifen wird nicht angeedrückt, sondern geht dicht unter der Metallscheibe F ungefärbt weiter. Gleichfalls aber erhalten G und F nur dann eine Drehung, wenn der Strom geschlossen ist, bei einer Unterbrechung stehen auch sie still.

Der Vorteil, den diese Apparate gewähren, tritt hier deutlich in die Erscheinung: man erzielt, statt der Löcher und Rigen im Papier, farbige Punkte und Striche, die weit deutlicher lesbar sind, und man braucht nicht so viel Kraftaufwand, da ein leiser Andruck des Papierstreifens an die Metallscheibe durch den Hebel genügt, um die beabsichtigte Wirkung zu erzielen.

Einen so großen Triumph aber auch Morse's Zeichendruck-Telegraph in Verbindung mit Relais und Farbschreib-Apparat darstellen mag, der menschliche Geist begnügt sich auch mit der größten Errungenschaft nicht und rastlos eilt er zu neuen Triumphen. Wenn der Elektromagnet schreiben kann, so kann er auch drucken, hieß jetzt die Lösung. Die Farbschreib-Apparate, welche von John und Digney hergestellt und von Siemens und Halske verbessert waren, brachten, nachdem der Kompanion Morse's Alfred Bail bereits 1837, dann Wheatstone 1841, Bain 1843, Morse selbst 1847 und Siemens 1850 sich bereits mit dem vorhin ausgesprochenen Gedanken beschäftigt hatten, David Edwin Hughes (geb. 1831 in London) auf den richtigen Weg, den Telegraphen auch zum Drucken zu zwingen.

Hughes kombinierte erfolgreich die Versuche, die man mit Herstellung von Sprechmaschinen bereits gemacht hatte, mit der elektromotorischen Kraft. Die Typen stehen erhoben auf den Rädern C' und C (Fig. 261). Diese

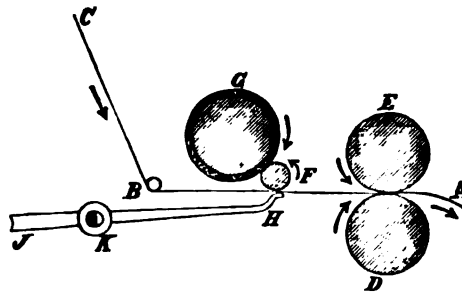


Fig. 260. Farbschreib-Apparat.

Räder werden auf beiden Stationen mit großer Geschwindigkeit durch Uhrwerke, in genauer Übereinstimmung miteinander, in Bewegung gesetzt. Se ein Winkelrad überträgt diese Drehung mit gleicher Geschwindigkeit auf die vertikalen Metall-Achsen L und L', welche ihrerseits den durch das Scharnier bei k mit ihnen verbundenen Hebel i und i' in gleiche Bewegung setzen. Dieser Hebel stellt im Ruhestande durch den Arm i und i' eine leitende Verbindung her zwischen den Achsen L und L' und dem zur Erde gehenden Metallstreifen D und D', der von L und L' durch die Elfenbeinplatte bei k und k' isoliert ist. Der andere Arm des Hebels bewegt sich über eine horizontal gestellte, unbewegliche Scheibe, in welcher genau so viel Einschnitte angebracht sind, als C und C' Typen tragen und die so

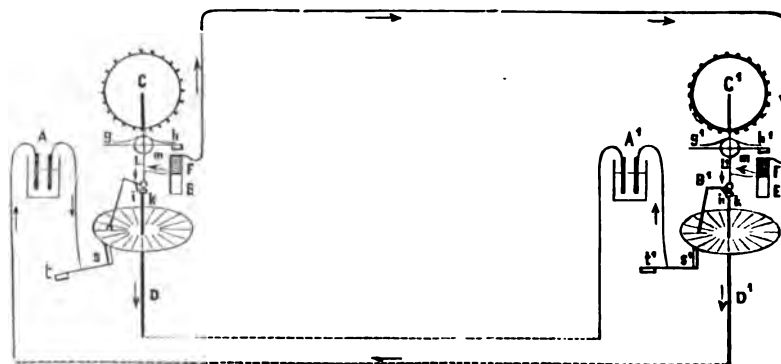


Fig. 261. Hughes' Typendrucktelegraph: Stromlauf.

eingerrichtet sind, daß der Einschnitt, über welchen der Hebelarm hinweggleitet, jedesmal dem am untersten Punkte von C und C' stehenden Zeichen entspricht. In jedem Einschnitt ist ein Metallstift s und s', welcher durch Niederdrücken der Taste t gehoben wird. Dadurch wird der Hebelarm gleichzeitig etwas gehoben und die leitende Verbindung, welche vor dem Niederdrücken der Taste zwischen der Achse L durch den Hebel mit der Erde bestand, wird unterbrochen. Zugleich aber schließt sich die Batterie bei A und deren Strom geht nun über die niedergedrückte Taste t über s nach der Achse L und von hier über D zur Erde. Die Elektromagnete r und r' stehen mit ihren Eisenkernen in Berührung mit den Stahlmagneten E und E'. Dadurch sind sie selber magnetisch und halten, so lange der Strom ihre Windungen nicht durchläuft, ihre Anker h und h' fest. Der Strom ist aber, geschlossen, so gerichtet, daß er sie mit Umkehrung ihrer Pole magnetisieren würde; er schwächt ihren Magnetismus deshalb derartig, daß

sie ihre Anker h und h' loslassen. Sobald dieselben in die Höhe gehen, drücken sie die Rollen bei m und m' , mit den über sie hinweggleitenden Papierstreifen g und g' , gegen das Typenrad C und C' und zwar, wie vorhin beschrieben, gegen den jedesmal am untersten Punkte derselben vorhandenen Buchstaben. Auf beiden Stationen erscheint demgemäß auf dem Papierstreifen der Buchstabe gedruckt der von der niedergedrückten Taste bezeichnet wurde. Die Hughes'schen Typen-Drucktelegraphen haben die Morse'schen Zeichendruck-Telegraphen namentlich da verdrängt, wo es schnell und viel zu arbeiten giebt, also auf den größeren, sogenannten internationalen

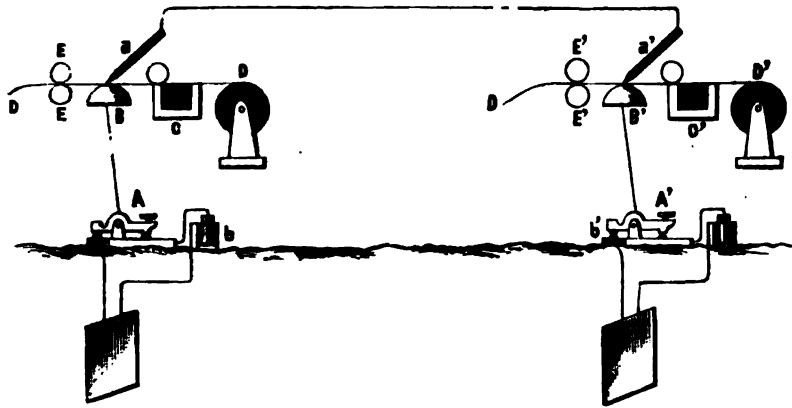


Fig. 262. Gintl's chemischer Drucktelegraph.

Stationen, da sie fast dreimal schneller arbeiten, als diese und das Telegramm ohne weitere Übertragung sofort an den Adressaten übermittelt werden kann.

Aber auch dieser Fortschritt genügte dem Menschengenisse keineswegs. Es galt, den Apparat zu vereinfachen, ohne Relais-Einschaltung herzustellen und für Handelszwecke auch die Züge der Handschrift des Auftraggebenden zu fixieren.

Nach beiden Richtungen hin wurde unermülich gearbeitet und schließlich gelang es Gintl, einen chemischen Drucktelegraphen zu konstruieren (Fig. 262). Ein Morse-Schlüssel A und A' ist mit seinem Achsenlager mit dem metallenen Halbzylinder B und B' in leitender Verbindung. Über diese Halbzylinder gleitet der Papierstreifen D und D' durch die Rollen E und E' weg, nachdem er vorher über das Gefäß C und C' gehend, welches Blutlaugensalzlösung enthält, benetzt worden ist. Über dem Punkte, wo der Papierstreifen den Halbzylinder B und B' berührt, liegt

der leicht federnde Stift a und a' , der mit der Leitung verbunden ist. Wird nun der Schlüssel bei A' niedergedrückt, so geht der Strom der Batterie über A' und B' nach dem Stift a' und von dort durch den Draht nach der nächsten Station und hier über den Stift a , den Halbcylinder B und an dem Schlusse A nach der Erde. Ehe er aber von dem Stifte a nach B übergeht, muß er durch das mit Blutlaugensalzlösung getränkte Papier hindurch, hierbei zerlegt er die Lösung unter gleichzeitiger Bildung von Berliner Blau, welches nun, je nachdem der Schlüssel kürzere oder längere Zeit niedergedrückt wurde, einen blauen Punkt oder einen blauen Strich auf dem Papierstreifen zurückläßt. Da dieser Telegraph vollkommen ohne Geräusch

arbeitet, so ist ihm ein Signal-Apparat beigegeben.

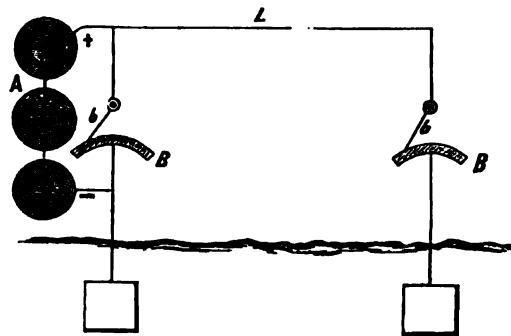


Fig. 263. Caselli's Handschrift-Telegraph.

Die Übertragung der „manu propria“, der eigenen Handschrift, hauptsächlich der eigenhändigen Namens-Unterschrift, gelang Caselli. Er nennt seinen Apparat „Pantelegraph“ (Alleschreiber), zum Unterschiede von den sogenannten Kopiertelegraphen.

Den ersten Kopiertelegraphen erfand Frederic Collier Bakewell 1848 in England. Seine Erfindung verbesserte sein Landsmann Bain, und diesem folgten Matthias Hipp in Reutlingen und Caselli. Letzterer gab seiner Erfindung eine solche Einrichtung, daß durch sie auch Situationspläne, Karten und Zeichnungen übertragen werden können. Caselli führt an den beiden, durch die Leitung L (Fig. 263) miteinander in Verbindung gebrachten Stationen die beiden Eisenstifte b durch minutiös genau gehende Pendel über den cylindrischen Metallflächen hin und her, so daß sie nach jeder Pendelschwingung sich um $\frac{1}{4}$ mm seitwärts schieben und auf den cylindrischen Flächen dicht aufeinander folgende, parallel laufende Linien beschreiben. Nun legt man auf der Abgangstation auf den Cylinder B das Originalblatt (Handschrift, Plan, Zeichnung). Dasselbe ist mit nichtleitender Linte dick auf Silberpapier aufgetragen. Auf der Empfangsstation wird ebenso auf den Cylinder B ein mit Blutlaugensalzlösung angefeuchtetes Papier aufgelegt. Der Strom der Batterie A durchläuft nun den Weg $A + b B - A$ und der Stift b berührt den Cylinder nicht, so

lange der Strom nicht geschlossen ist. Wird nun aber auf das Originaltelegramm der Stift auf einen Lintenstrich gesetzt, so kann der Strom nicht von *h* nach *B* übergehen, er muß deshalb durch die Leitung *L* nach der nächsten (oder weitesten) Station und dort über den Stift *b* und den Metallcylinder *B* in den Erdboden fließen. Bei diesem Durchgange passiert er so lange das mit Blutlaugensalzlösung getränkte Papier der Empfangsstation, wie auf der Aufgabestation der Stift *b* mit dem Original in Berührung bleibt. Auf diese Weise können die kompliziertesten Windungen einer Handschrift oder Zeichnung wiedergegeben werden, wie die hier beigefügte Handschriftprobe deutlich zeigt.

Die Bestrebungen, Verbesserungen einzuführen, erstreckten sich aber auch auf andere Gebiete. Es galt die Probleme zu lösen, die Anzahl der Drähte



Fig. 264. Caselli'scher Telegraph: Schrift in Original und Nachbildung.

zwischen den Stationen mit lebhafterem Verkehr zu vermindern, so daß gleichzeitig mehrere Depeschen auf demselben Drahte in gleicher oder entgegengesetzter Richtung befördert werden können. Der Erfinder des chemischen Drucktelegraphen, Wilhelm Gintl (geb. 1804, gest. 1883 als österreichischer Telegraphen-Direktor), ist auch auf diesem Gebiete mit Erfolg thätig gewesen.

Bereits im Juli 1853 gelangen seine Versuche in ziemlich befriedigender Weise, auf der Strecke zwischen Wien und Prag ein sogenanntes Gegensprechen zu erzielen. Nach diesem Erfolge wurden dann weitreichende Versuche angestellt, die Thätigkeit der Drähte zu erhöhen. Schwendler konstruierte ein einfaches Verfahren zum Gegensprechen, bei dem aber nur ein Teil des Stromes den Apparat durchfloß, ein großer Teil aber ohne Wirkung auf die Zweigleitungen überging.

Ein Drahtvierel (Fig. 265 A) *a b c d* (Wheatstone'sche Brücke) wird so konstruiert, daß die Produkte der Widerstände zweier Gegenseiten gleich sind $a \cdot d = b \cdot e$, hierauf werden zwei dieser Diagonalpunkte mit einer

galvanischen Batterie, die beiden anderen durch einen Draht mit einer Buffsole verbunden. Es fließt in diesem Drahte kein Strom, so lange

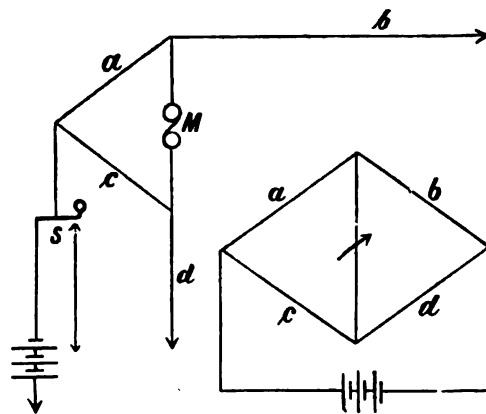


Fig. 265 B.

Gegenredner von Schwendler.

Fig. 265 A.

das Produkt zweier Gegenseiten gleich bleibt. Sobald aber der Widerstand abgeändert, z. B. von der Aufgabestation durch Niederdrückung des Schlüssels ein Zeichen gegeben wird, so entsteht sofort ein Strom. Diese Eigenschaft benutzt man beim Gegensprechen, indem man sich ein Linienschema konstruiert, wie es Fig. 265 B zeigt.

Endlich gelangte man zu dem gegenwärtig verhältnismäßig besten System

durch das Multipelsystem mit der Verteilerscheibe (Fig. 266).

Statt die Linie direkt mit dem Apparat zu verbinden, ist hier eine Verbindung mit einer Achse, welche einen Schlitten über eine Kontaktscheibe

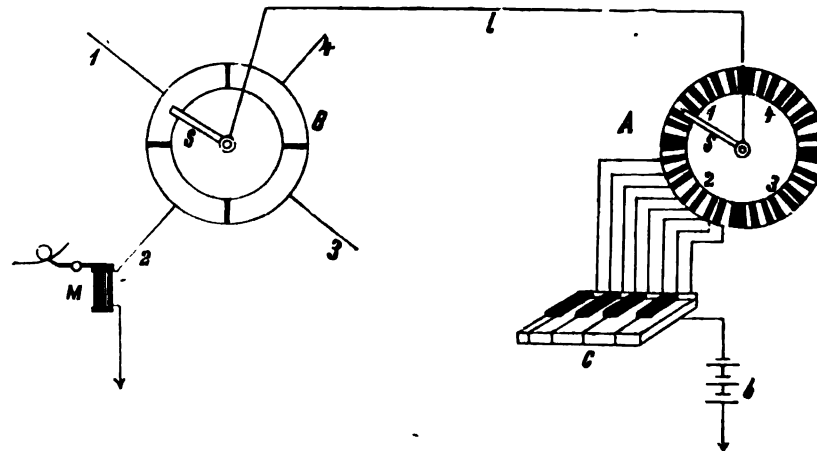


Fig. 266. Doppelredner, Multipler.

führt. Jede der Scheiben A und B ist in eine bestimmte Zahl von Teilschnitten zerlegt, die voneinander isoliert sind (auf Fig. 266 sind es vier), von denen jeder wieder mit einem besonderen Apparate in Verbindung

steht. Dadurch wird jeder Teilschnitt und folglich auch jeder Apparat bei einer Umdrehung während des 4. Teiles (8. Teiles u. s. n. B.) der Umdrehungszeit mit der Linie verbunden und während dieser Zeit ein Zeichen auf die Linie abgeben. Ist nun die Geschwindigkeit der Schlitten, mit welcher sie über die Verteilerscheiben gleiten, genau reguliert, so werden auf zwei Stationen stets immer die gleichen Apparate miteinander verbunden und das von der Station A nach der Station B von dem Apparate bei 1 abgefandte Zeichen geht auf Station B gleichfalls zum Apparate bei 1. Dem Beamten ermöglicht nun folgende Einrichtung eine schnelle Zeichengebung. Zuerst bedient er sich der Morsezeichen, die alle aus vier Punkten und vier Strichen zusammengesetzt sind. Dann überträgt er diese Zeichen auf die vier weißen und vier schwarzen Tasten. Diese Tasten sind mit Metallstreifen verbunden, die abwechselnd schmal und breit mit den Teilschnitten der Verteilerscheibe in Verbindung stehen und zwar die weißen Tasten mit den breiten und die schwarzen Tasten mit den schmalen Metallstreifen. Der Zahl der 8 Metallstreifen entspricht die Einteilung jedes Teilschnittes der Verteilerscheibe in 8 Unterabteilungen. Drückt der Beamte nun eine Taste nieder, so wird dadurch die Linienbatterie bei b mit der betreffenden Unterabteilung der Verteilerscheibe verbunden und es geht bei der Rotation des Schlittens über dieselbe ein Strom auf die Linie l über, dessen Dauer der Zeit genau entspricht, in welcher der Schlitten mit dieser Unterabteilung in Verbindung stand. Ein Zeichen von dieser Form . — . wird also den Beamten veranlassen, erst eine schwarze, dann eine weiße, dann eine schwarze Taste niederzudrücken. Auf der Empfangsstation durchlaufen hiernach die erregten Ströme den Schreib-Apparat M und erzeugen auf demselben das gleiche Zeichen . — . Die Elektromagnete der Schreib-Apparate sind sehr sorgfältig hergestellt und mit polarisierten Ankern versehen, um ein leichtes, schnelles und sicheres Arbeiten zu ermöglichen.

Nachdem das Doppelsprechen mit dem Morse-Apparat ermöglicht war, gelang es Scheffler und Baudot, auch den Typendruck wiederzugeben. Sie wählten dazu eine Klaviatur von 5 Tasten, von denen jede für sich 5 Zeichen, mit der nächsten vereinigt 10, mit der dritten auch 10, zu vier vereinigt noch 5 und alle fünf vereinigt noch ein letztes Zeichen geben können, also 5 Zeichen in Kombination von 5×31 . Der Sender ist wie beim vorigen Apparate eingerichtet, der Geber aber hat jeden Teilschnitt in fünf gleiche Teile geteilt, die voneinander isoliert sind, so daß jede Stromerregung in eine dieser Unterabteilungen gelangt. Diese Abteilungen sind in Verbindung mit einem Relais gesetzt, dessen Anker in Ruhelage ist bei geöffnetem Strom. Sobald aber der Strom einsetzt, wird der Anker des Relais umgelegt. Wenn nun der Schlitten über einen Teilschnitt hinweg-

geglitten ist, so sind die Anker der Elektromagneten alle so gestellt, daß der telegraphierte Buchstabe abgelesen werden kann. Es entspricht also jedem Buchstaben eine bestimmte Stellung der 5 Relais-Anker, und es handelt sich jetzt darum, diese besondere Stellung der Relais-Anker in ein Buchstabenzeichen umzuwandeln. Hierfür stellt sich der von Delanay konstruierte Apparat als der leistungsfähigste bis jetzt dar.

Das Prinzip der Verteilerscheibe ist auch hier angewendet, die Bewegung aber geht hier aus von einem von Lacour erfundenen, sogenannten phonischen Rade. Dasselbe ist ein eisernes Rad mit Zähnen, welche

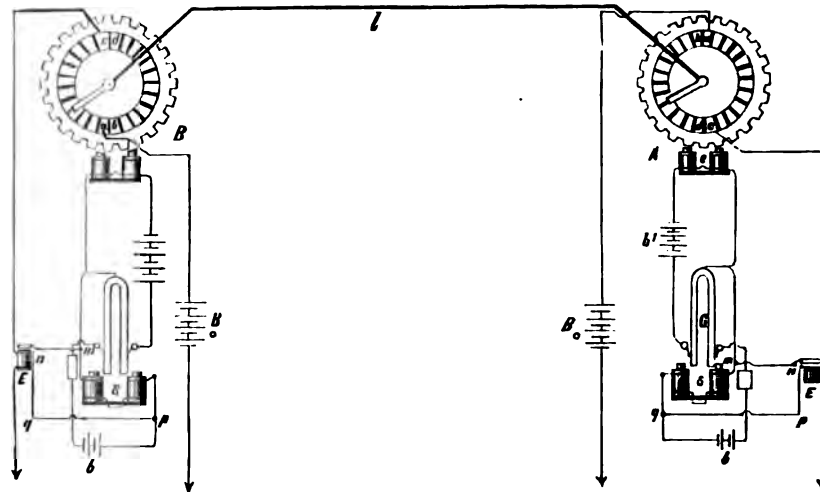


Fig. 267. Doppelsprecher von Delanay mit phonischem Rad.

sehr nahe an dem Pole eines Elektromagnets vorbeigedreht werden können. In Figur 267 geben wir das Schema.

Die elektromagnetische Gabel G erregt den Elektromagneten I. Sie ist mit der gegenüberstehenden Gabel so genau abgeglichen, daß in einer Minute ganz gleich viel Stromstöße erfolgen. Bei jedem Stoße geht ein Zahn des Rades an dem Pole des Elektromagnets vorbei. Die Verteilerscheibe ist in 70 Teilschnitte zerlegt. Geht also der Schlitten mit einer Geschwindigkeit von drei Umdrehungen in einer Sekunde, so geht er in derselben über $3 \times 70 = 210$ Teilschnitte. Je 4, 5 bis 10 Teilschnitte, unter sich verbunden, stehen durch einen besonderen Apparat alle untereinander in Verbindung. Sind nun je 4 Teilschnitte verbunden, so ergibt sich eine vierfache, bei 6 eine sechsfache, bei 10 eine zehnfache Telegraphie.

Zugleich ist ein besonderes System der Korrektion hier angewendet, um einen übereinstimmenden Gang des ganzen Apparates zu sichern. Auf

jeder Verteilerscheibe sind bestimmte Teilschnitte für die Korrektion vorbehalten. Auf unserem Schema (Fig. 267) sind zwei Paare am senkrechten Durchmesser der Scheiben bezeichnet mit a b, c d. Zu a führt der Leitungsdraht der Batterie B, während der Teilschnitt b isoliert ist. Der Teilschnitt c am anderen Ende des Durchmessers ist etwas breiter als der Teilschnitt d, der auch isoliert ist. Sobald nun der gleichzeitig genaue Gang in beiden Apparaten hergestellt ist, wird der Schlitten auf Station A den Teilschnitt a berühren, während der Schlitten bei B über den isolierten Teilschnitt d hinweggleitet. Ginge nun die Drehung der Scheibe A etwas langsamer vor sich, als die Drehung der Scheibe B, so würde der Schlitten bei B schon die Verbreiterung des Teilschnittes c berühren, während er bei A noch auf dem Teilschnitte a ruht. Geschieht das, so findet der Strom der Batterie B unter der Verteilerscheibe A einen Weg durch die Linie, welche in der Verbreiterung des Teilschnittes c belegen, durch den Elektromagnet E zur Erde geht. Der Anker dieses Elektromagnets wird angezogen und schließt bei n eine Nebenleitung für den Strom, welcher die elektromagnetische Gabel der Station B erregt. Somit fließt nicht mehr der ganze Strom der Batterie durch die Windungen des Stromerzeugers, sondern nur ein Teil, indessen der andere Teil auf die von dem Elektromagneten geschlossene Nebenleitung n m p q übergeht. Durch die Schwächung des Stromes werden die Schwingungen der Gabel kleiner, ihre Zahl wird also entsprechend größer und sie giebt jetzt in der Sekunde mehr Stromstöße ab, als vorher. Diese rascher aufeinanderfolgenden Stöße gehen auf das phonische Rad, dessen Bewegung dann beschleunigt wird, bis das Rad der anderen Station eingeholt und die Korrektion vollzogen ist. Im gegebenen Falle findet dann auch das umgekehrte Verhältnis statt.

Trotz aller dieser Verbesserungen bleibt ein großer Übelstand, der in der menschlichen Natur selbst begründet ist. Die Beamten, welche Depesche um Depesche absenden müssen, haben Nerven und diese versagen den Dienst, sobald sie ermüdet sind. Der Morse Schlüssel arbeitet jetzt unregelmäßig und die Depeschen werden, namentlich beim Morse-Apparat, undeutlich. Man ersann daher Apparate, diesen Mangel der menschlichen Individualität durch Apparate zu ersetzen, welche selbständig Depeschen absenden. Solche Apparate nennt man Automaten. Wheatstone errang auch hier den Preis. Sein Apparat, der in England weit verbreitet ist, hat eine Vorrichtung, welche den Papierstreifen nach bestimmten Regeln mit Löchern verfährt (Fig. 268). Die Löcher in der Mitte dienen nicht zum eigentlichen Telegraphieren, sie haben vielmehr den Zweck, daß der Papierstreifen beim Abtelegraphieren mit möglichst gleichmäßiger Geschwindigkeit durch den Abgangs-Apparat hindurchgeht. Deshalb greift ein

Zahnrad in die mittelsten Löcher und nimmt den Papierstreifen, dessen Drehung durch ein Uhrwerk geregelt wird, mit sich. Über und unter diesen Löchern liegen zwei andere Reihen ähnlicher Art, welche für die Stromsendung dienen. Man wendet Wechselströme an. Der Streifen geht durch eine Kontakt-Vorrichtung mit zwei sehr schnell vibrierenden Nadeln, deren eine sich gegen die rechts, die andere sich gegen die links liegende Löcherreihe bewegt. Dadurch trifft die eine Nadel die positive, die andere die negative Stromerregung. Jedesmal nun, wenn die Nadel in ein Loch trifft, tritt ihre Spitze etwas nach unten hervor und trifft auf einen mit einem Hebel versehenen Stift, der den Pol einer Batterie bildet. Die obenlaufende Nadel kommt mit dem positiven Pol, die untere mit dem negativen Pol der Batterie in Verbindung, während beide Nadeln auch mit der Linie in Verbindung stehen. Treffen die Nadeln in kein Loch, so findet auch keine Stromsendung statt. Der Empfänger ist ein polarisiertes Relais. Ein Strich wird nun erzeugt, wenn dem positiven Strome erst in gemessener Zeit ein negativer Strom folgt; ein Punkt, wenn beide

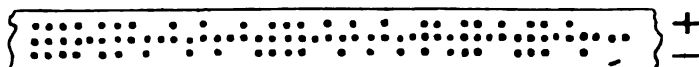


Fig. 268. Automatenchrift (Telegraph).

schnell hintereinander folgen. Der Anker des Relais wird also hier schnell angezogen und sofort zurückgeworfen, während er beim Strich eben einen Augenblick länger in angezogenem Zustande verbleibt. So kommt an der Empfangsstation ein genau entsprechendes Abbild des auf der Aufgabestation eingelegten Papierstreifens zu stande.

Um nun Depeschen auf diese Weise zu befördern, werden dieselben erst auf einen Papierstreifen übertragen, der dann mit großer Geschwindigkeit durch den Absende-Apparat gezogen, automatisch die Stromerregung in die Linie sendet. Die Länge der Striche wird nicht durch die längere Dauer des Stromes, sondern durch die Distanz der Stromstöße bestimmt. Auf langen Telegraphenlinien hat sich dieses Automaten-system als sehr vorteilhaft bewährt, doch auch bei kleineren Linien wird es mit gutem Erfolge angewendet, da auch hier, bei vieler Arbeit, der Morse-Apparat schließlich unbrauchbar wird. Auf der internationalen Elektrizitäts-Ausstellung 1884 in Wien erregte Baudot mit einem sechsfachen Multiplier-Druck-Telegraphen gerechte Bewunderung. Mit diesem Telegraphen kann man in einer Stunde 360 Telegramme befördern.

Durch alle diese rastlosen Verbesserungen sind diejenigen Telegraphen, welche jedes einzelne Zeichen sofort auf beiden Stationen sichtbar machen

und Zeigertelegraphen heißen, in den Hintergrund gedrängt worden. Es war Wheatstone, der den ersten brauchbaren „Zeigertelegraphen“ erfand. Der Grundgedanke desselben ist folgender. Vor dem Elektromagneten *b* (Fig. 269) befindet sich der Anker, welcher den Hebel *C* trägt, der durch die Feder *r* bei geöffnetem Strome in vertikaler Richtung gehalten wird. Wird der Strom geschlossen, so wird der Anker *a* an den Elektromagneten *b* herangezogen, er weicht bei *C* zurück, setzt dadurch die Hemmung *i* bei *d* in Bewegung, die das Zahnrad bei *F* um einen Zahn weiter gehen läßt und beim Aufhören des Stromes in *G* hemmt. Vor diesem Zahnrade ist der Zeiger angebracht, der über eine Kreisteilung läuft, in welcher dann die nötigen Zeichen angebracht sind.

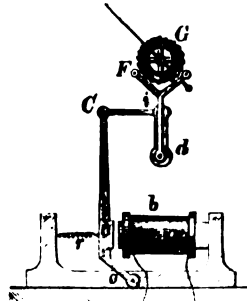


Fig. 269. Zeiger-Telegraph.

Die Drähte bei *D* übertragen den Strom dann auf den Zeiger bei *R* (Fig. 270) und jedesmal, wenn der Zeiger bei *F* eine Stufe weiter rückt, rückt auch der Zeiger bei *R*. Der Beamte auf der Empfangsstation setzt die durch den Zeiger angegebenen Zeichen dann zusammen.

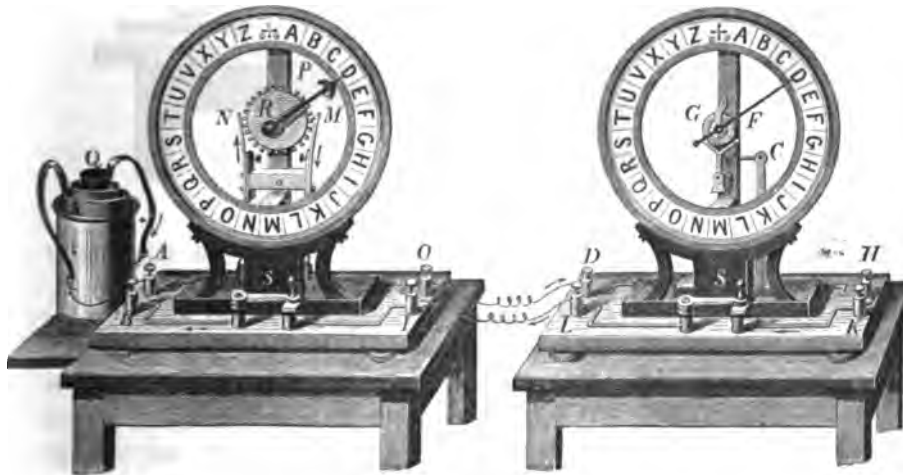


Fig. 270. Zeiger-Telegraph.

Solche Zeigertelegraphen werden in verbesserter Form von Siemens und Halske in Berlin hergestellt. Abbildung 270 zeigt einen derartigen Apparat. Derselbe enthält rechts den soeben beschriebenen Zeigertelegraphen, der hier der „Zeichenbringer“ heißt. Links von ihm steht der Apparat, welcher den Namen „Zeichengeber“ führt. *Q* stellt figurlich eine Batterie

dar. Im Apparat sitzt an der Achse R ein kurzer, dicker Zeiger P auf dem Zahnrade, das durch die beiden Federn N und M bei der Stromschliebung bewegt wird. Von Q aus geht der Strom durch die Klemmschraube A zur Feder N. Dieselbe berührt jetzt einen Zahn des Rades R und der Strom tritt durch das Rad auf die gleichfalls einen Zahn berührende Feder M. Indem nun der Strom geöffnet und geschlossen wird, kann man mittels Handgriffes den Zeiger P um R drehen und von Zeichen zu Zeichen führen, wobei dann bei jedem, einem Zeichen entsprechenden Radzahne eine Schliebung, bei dem Zwischenraume eine Öffnung des

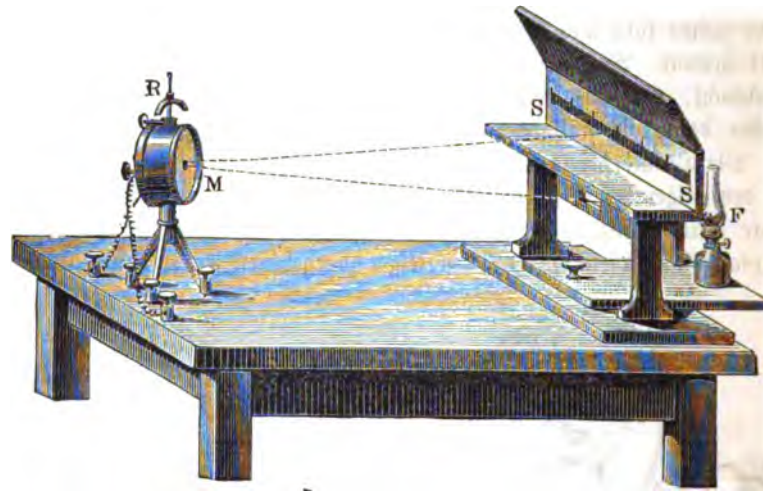


Fig. 271. Schreibapparat für Unterseeabel.

Stromes erfolgt. Von der Feder M geht der Strom zur Schraube O und von hier aus auf die Leitung O D über nach dem Zeiger F.

Bei der Siemens'schen Verbesserung ist Zeichengeber und Zeichenbringer auf einer Scheibe vereinigt und die Bewegung des Zeigers P wird durch ein Uhrwerk veranlaßt. Außerdem hat Siemens seinem Zeigertelegraphen eine liegende Form gegeben, die Buchstaben sind auf bewegliche Lasten gebracht, die beim Niederdrücken das Uhrwerk in Gang setzen, das so lange läuft, wie die Last niedergedrückt bleibt.

Für die Arbeit an unterseeischen Telegraphen hat man Nadel-Telegraphen eingestellt, weil dieselben mit schwachen Strömen arbeiten lassen, und man diese submarinen oder transatlantischen Telegraphen nach dem Principe der Spiegel = Galvanometer baut. Das obenstehende Reflexions = Galvanometer (Figur 271) ist von William Thomson konstruiert.

Das Galvanometer besteht aus einem Gehäuse, in welchem an einem Kotonfaden ein freischwebendes Magnetstäbchen mit seinem Spiegel von ungefähr 12 mm Länge und $2\frac{1}{2}$ mm Breite und Dicke aufgehängt ist. Der Kotonfaden geht in einem Rohr empor, woran ein bügel förmiger Magnet sitzt, der mit einer Mikrometerschraube beliebig gestellt werden kann, um die beabsichtigte Wirkung auf das Magnetstäbchen auszuüben. Die Magnetnadel schwebt über einer kleinen Sammellinse und wirft bei ihrer Ruhelage einen reflektierten Lichtstrahl durch den Spiegel nach dem Nullpunkte der Skala.

Vor dem Galvanometer ist das Holzgestell SS aufgestellt, das aufgeklappt werden kann und dann einen Spalt zeigt, durch den eine dahinter gestellte Lampe F einen Lichtstrahlentegel nach dem Spiegel sendet, der denselben reflektiert und in einem durch die Sammellinse verdichteten Strahle (M) nach der Skala sendet. Je nachdem nun das Magnetstäbchen



Fig. 272. Kabel.

nach rechts oder nach links abgelenkt wird, je nachdem bewegt sich auch der reflektierte Lichtstrahl auf der Skala nach rechts oder nach links vom Nullpunkte und bildet dadurch die beiden Grundzeichen, aus denen dann ein Alphabet aufgebaut wird.

Der Strom der Batterie wird nun nicht unmittelbar durch das Kabel entsendet, sondern der eine Pol der Batterie wird nach der Erde abgeleitet und der andere mit der einen Belegung eines Kondensators, der nach dem Principe einer Franklin'schen Tafel (vergl. S. 171, Fig. 129) eingerichtet ist, verbunden, wogegen das Kabel mit der anderen Belegung verbunden ist. Während nun die Ladung des Kondensators vor sich geht, strömt die von der zweiten Belegung abgestoßene Elektrizität, die mit der von der in Thätigkeit getretenen Batterie gleichnamig ist, durch das Kabel nach dem auf ihm in Amerika, Indien oder Australien verbundenen Zeichenempfänger.

In Figur 272 und 273 geben wir die Abbildung eines Stückes vom zweiten atlantischen Kabel. Hier sind sieben dünne Kupferdrähte D zu einem einzigen Strange zusammengedreht. Die Guttaperchahüllen

a b c d isolieren diesen Strang und sind selbst von außen mit einer Hülle von Lutegarn bezw. geteertem Hanf e umgeben, die als Polster für die äußerste Umhüllung f dient, welche aus mit geteertem Hanf umspinnenen Eisendrähten, welche stark verzinkt sind, hergestellt ist.

Die Zeit, die für oberirdische Leitungen, welche über Stangen mit Isolierköpfen von Porzellan gehen, oder unter dem festen Erdboden in Kabelhülsen, gerechnet wird, um ein Zeichen z. B. von Berlin nach Köln oder nach Wien zu geben, wird als verschwindend klein angesehen, die Zeit aber, in welcher ein Zeichen durch das atlantische oder ein anderes sub-marines Kabel geht, beläuft sich auf fast vier Sekunden.

Auf dem Festlande wurde der erste elektrische Telegraph mit regelmäßigem Betriebe von Fardelly 1844 auf der Taunusbahn zwischen Kassel und Wiesbaden eingerichtet. Im gleichen Jahre stellte die London-South-Western-Eisenbahngesellschaft den elektrischen Telegraphen gegen Entlegung einer Gebühr zur Verfügung, worauf der letzte optische Staats Telegraph in England aufgehoben wurde. 1851 wurden Frankreich und England zwischen Dover und Calais verbunden und im Juli 1866 wurde die erste unterseeische Leitung zwischen Irland und Amerika hergestellt, welche am 4. August desselben Jahres zum ersten Male dem öffentlichen Verkehre diente.



Fig. 273.
Kabel (Durchschnitt).

Im Jahre 1885 repräsentierte die internationale Telegraphen-Konferenz zu Berlin bereits 30 Länder mit 600 Millionen Einwohnern und 60 Millionen Quadrat-Kilometern Flächeninhalt, welche mit Telegraphenlinien verbunden waren. Das Netz dieser Länder betrug zusammen über zwei Millionen Kilometer Drahtlänge, womit man fünfzigmal den Äquator der Erde umspannen oder dreimal die Entfernung zwischen Mond und Erde hin- und zurückmessen kann.

52. Die elektrischen Läutewerke, Klingeln und Registrier-Apparate.

Das Grundprinzip für die elektrischen Läutewerke verdanken wir ebenfalls Wheatstone. Schon Schilling und Steinheil hatten gut funktionierende elektrische Weck-Apparate konstruiert, Wheatstone wollte auch stärkere Läutewerke durch eine Batterie mit verhältnismäßig schwachen Strömen in Bewegung setzen. Er baute, nach vielen anderen Versuchen, ein Uhrwerk, das nur durch die Bewegung des Ankers ausgelöst wird, wodurch mittels der Leitung ein Hammer gehoben wird, der gegen eine Glocke

schlägt (vergl. Fig. 274). Die Glocke kann einfach, doppelt (Fig. 274 h und h') u. s. w. sein, es können mehrere, durch Zugdrähte (l und l') in Bewegung gesetzte Hämmer (a und a') auf eine Glocke, oder ein Hammer kann auf mehrere Glocken schlagen, je nach der beabsichtigten Kombination. Die erzielte Wirkung erweist sich für Dampfeisenbahnen, Dampfschiffe, Leuchttürme und Feuerschiffe, kurz überall als eine überaus nützliche, ganz abgesehen davon, daß sie Wheatstone auf die Konstruktion des Übertragers (Relais) führte.

Für die elektrischen Klingeln ist folgendes Schema maßgebend.

Der an einer Metallfeder befestigte Anker eines Elektromagnets trägt einen Klöppel, der, ähnlich wie bei den Weckeruhren, sehr schnell hintereinander gegen eine Glocke oder ein Glöckchen schlägt, so lange durch Drücken auf eine Taste (Fig. 275 z) ein galvanischer Strom durch die Drahtleitung x y geht. Zunächst geht der Strom auf die Metallfeder

über und von dieser um die Drahtwindungen des Elektromagnets. Dieser wird nun magnetisch, zieht den eisernen Anker an, entfernt die Feder von dem Metallstück, durch welches der Strom eingetreten ist und unterbricht dadurch den Strom. Dadurch wird der Elektromagnet wieder unmagnetisch, läßt den Anker los, die Feder wird zurückgeschleunigt, kommt wieder mit dem Metallstück in Berührung, der Strom wird wieder geschlossen, der Anker von neuem angezogen u. s. f. nach Belieben. Die Glocke läutet oder klingelt, so lange die Taste z niedergedrückt bleibt.

Das Schema für einen elektrischen

Klingelzug, wie er in den Häusern angelegt wird, ist deshalb sehr einfach und für Jedermann leicht ausführbar. Auf Figur 276 geht vom negativen Pol c der aus drei Elementen zusammengesetzten Batterie der Leitungsdraht nach der Klingel B und durch diese weiter in der Richtung nach d durch alle Korridore, Stuben und Säle, in welchen Drucktasten angebracht werden sollen. Vom positiven Pole A dagegen geht ein Leitungsdraht h c parallel. Derselbe ist von dem Drahte d isoliert. Von c h und von d geht nun nach jedem Raume

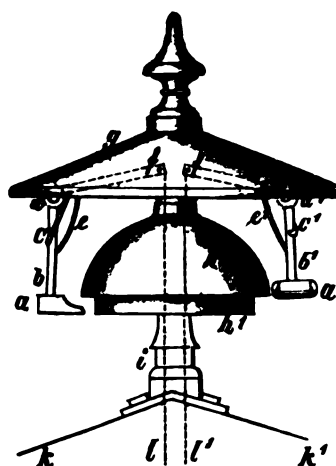


Fig. 274. Elektrisches Lautwerk.



Fig. 275. Drucktaste.

und nach jeder Drucktaste ein Ausläufer, durch den beim Niederdrücken der Taste der Strom geschlossen und die Klingel in Bewegung gesetzt wird. In der folgenden Abbildung 277 (nach Taf. II in Brockhaus' Lexikon, 6. Bd.) wird der Strom durch Niederdruck von B geschlossen, der Anker A vom Elektromagnet M niedergezogen, schlägt mit dem Hammer K auf die Glocke G, dadurch fällt der Hebel F bei U zurück auf D und D legt sich auf P, sobald bei B der Druck aufhört; hierdurch wird über X der Strom wieder unterbrochen, M wird wieder unmagnetisch, der Anker A wird durch die Feder C zurückgezogen und der Vorgang kann von neuem beginnen.

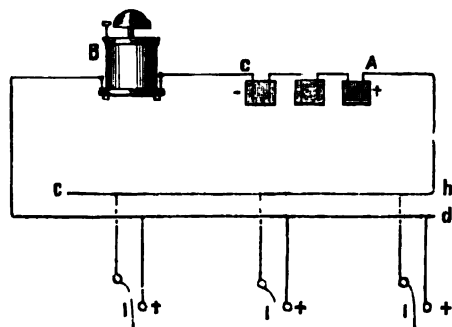


Fig. 276. Elektrischer Klingelzug, Schema.

eine mehrfache Leitung kann man erzielen, daß in einem Hause der ganze Haushaltungs-Apparat von den Schreibtischen, Speisetafeln oder Schlafzimmern aus dirigiert werden kann. Zu Drucktasten sind da hergestellt Briefbeschwerer in allerlei Menschen-, Tier- und Pflanzenformen, die Knöpfe der Schubladen der Schreibtische, Knöpfe von Bettposten u. dergl. m.

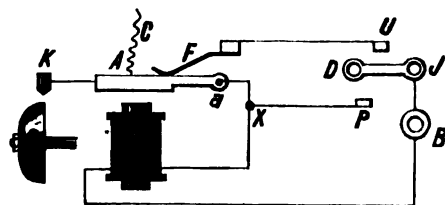


Fig. 277. Elektrische Schlagklingel.

Das Dienerpersonal wird bezeichnet entweder durch Nummern, welche aufspringen, wie bei kombinierten Zügen in den Hotels, oder durch farbige Scheiben, welche sichtbar werden u. s. f.

Desgleichen werden diese Klingelwerke zur Abhaltung von Dieben, zur Benachrichtigung über das Öffnen bestimmter Thüren, für Breisfliegen der Brieftauben mit sogenannten Gabeln oder als Hebel wirkenden Trittbrettern eingerichtet. Ihre Anwendung erspart in größeren Wirtschaften ungeheuer viel Zeit und Mühe und in Verbindung mit den elektrischen Uhren und dem Telephon wird sie allmählich eine vollständige Reform in den Haushaltungen herbeiführen.

Eine außerordentlich wohlthätige Rolle ist den elektrischen Telegraphen außerdem im Dienste der Feuerwehr und der Sanitätspolizei zugefallen.

In dieser hochwichtigen Angelegenheit ging Berlin 1851 voran, indem es die von Siemens u. Halske konstruirten Feuermelder in vielen öffentlichen Gebäuden der Stadt und in 46 Polizeiwachen einführte. Bei solchen Einrichtungen gilt es vor allen Dingen, Kostenaufwand zu vermeiden. Deshalb hat man die automatischen Zeichengeber angewendet, welche mit einem einzigen Zeichen den Bezirk angeben, an dem das Feuer ausgebrochen ist. Jede Person kann ein solches Zeichen geben durch Niederdrücken einer Taste, nachdem der Schupdeckel des Apparats gehoben oder, wenn Glas, zerbrochen worden ist.

Die Firma G. W. Fein in Stuttgart hat für diese Stadt eine ausgedehntere Feuermelder-Anlage nach folgenden Prinzipien hergestellt. An der Meldestelle ist ein Holzschränkchen angebracht, welches an der vorderen Seite mit einer Glashür verschlossen werden kann. Zwei exzentrische Kreise, ein größerer oben und ein kleinerer unten, bezeichnen Kurbel- und Kontaktrad. Auf der Kreisfläche des größeren Kreises ist ein Pfeil angebracht, welcher die Richtung anzeigt, nach welcher die um den Mittelpunkt des Kreises drehbare Kurbel auf die Bezeichnungen „Großfeuer“, „Mittelfeuer“ und „Kleinfeuer“ gestellt werden kann, nachdem mit dem Becker des kleineren Kreises das Zeichen „Achtung“ gegeben worden ist. Die Stadt hat nun vier Hauptmeldelinien, welche auf der Zentralstation auf dem Polizeiamte münden. Diese Meldelinien, in eine bestimmte Anzahl von Sprechstationen geteilt, sind mit vier Morse-Apparaten verbunden. Sämtliche Meldungen gehen auf diesem ein und nachdem der betreffende Becker das Signal gegeben hat, setzt sich der Beamte durch einen Magnet-Induktor mit der Sprechstation in Verbindung. Auch ist Vorkehrung getroffen, daß alle Sprechstationen zugleich eine und dieselbe Meldung empfangen können.

Für wichtige astronomische Beobachtungen sind Genauigkeit und Sicherheit von der größten Bedeutung.

Der Amerikaner Locke brachte zu diesem Zweck galvanisch-registrierende Uhren an. Der Pendel einer astronomischen Uhr wird in eine Vorrichtung eingeschaltet, die dem Morse'schen Telegraphen ähnlich konstruiert ist. Jeder Pendelschlag der Uhr schließt die Kette und macht auf dem Papierstreifen einen Punkt bezw. einen Strich. Neben dem Elektromagnet des Schreib-Telegraphen wirkt noch ein anderer Elektromagnet, dessen Windungen zu einer anderen Kette gehören, die der Beobachter mit dem Finger beliebig schließen oder öffnen kann. Durch diese willkürliche Schließung werden ebenfalls Punkte oder Striche hervorgebracht, die mit den durch das Uhrpendel erzeugten eine Vergleichung zulassen. Man nennt sie Beobachtungspunkte, während die ersteren Sekundenpunkte heißen.

Soll nun astronomisch genau ein Zeitpunkt bestimmt werden, an welchem ein Ereignis eintritt, z. B. der Augenblick, in dem bei einer Sonnenfinsternis der Mondrand wieder vollständig aus der Sonne heraustritt, so legt der Beobachter den Finger an den Schlüssel und drückt ihn in dem Augenblicke nieder, wo er durch das Fernrohr den Austritt wahrnimmt. Bei Vergleichung dieses Beobachtungspunktes mit dem entsprechenden Sekundenpunkte kann entschieden werden, ob beide zusammenfallen oder ob zwischen beiden eine Differenz liegt und diese Differenz kann vermittelt einer Skala in Hundertstel zerlegt und so die Differenz um ein Minimum von hundertstel Sekunden genau bestimmt werden.

Zu dieser Sicherheit kommt noch die Annehmlichkeit, daß die Uhr angebracht sein kann, wo sie will, und daß der Draht durch alle Räume eines wissenschaftlichen Instituts gehen kann. Ebenso läßt sich eine solche registrierende Uhr mit einem Telegraphen in Verbindung bringen und dadurch kann ein und dieselbe Uhr einen registrierenden Apparat in Berlin, einen anderen in Wien haben. Wird nun auf beiden Sternwarten zugleich der Durchgang desselben Sternes durch den Meridian beobachtet, so kann die Längendifferenz zwischen beiden Punkten auf das Genaueste bestimmt werden.

Um die Schließung des Stromes bei jedem Pendelschlag herbeizuführen, sind die Pendel ganz aus Metall hergestellt und tragen am unteren Ende ein vertikal gestelltes Platinblättchen, welches in dem Augenblicke, in dem das Pendel seinen Gleichgewichtspunkt passiert, durch die obere Spitze einer ihm vertikal entgegengesetzten Quecksilbersäule schneidet, in welche der Leitungsdraht mündet. Ein kommunizierendes Gefäß, in welchem eine größere Quecksilbermenge in der Höhe der eben abgestreiften Spitze erhalten wird, erneuert das Quecksilber in der Säule bis zur nötigen Höhe. Der Strom nun, der die Sekundenpunkte markieren soll, wird durch die Quecksilbersäule über das Pendel nach dem Elektromagnet geleitet und also in dem Momente jedesmal geschlossen, in dem das Pendel seine Gleichgewichtslage passiert und die Quecksilberspitze durchschneidet. Auch Spiralfedern, welche horizontal gerichtet, vertikale Metallplättchen tragen, die mit ihrem positiven Pole mit der Batterie in leitender Verbindung stehen, dienen zu diesem Zwecke. Verbessert wurden diese Pendelapparate durch die Anwendung von Farbschreibe-Apparaten, bei welchen die Rädchen zweier Schwarzschreiber (Hasler in Bern) oder eine mit Ruß gefüllte Metalltrommel wirksam werden (Lamont).

Seit Anregung des Meteorologen van Ryffelberghe auf dem internationalen Kongreß für Elektrizität zu Paris werden auch die Registrierungen der einzelnen meteorologischen Beobachtungsstationen nach der Zentralstation

übertragen. Ein einziger Stift zeichnet hier Luftdruck, Windrichtung, Feuchtigkeit und Regenmenge alle 10 Minuten auf eine Metallplatte, die sofort für den Druck angewendet werden kann. Dieser neue Verwendungszweig der elektromagnetischen Kraft verspricht für die Zukunft zu großer Bedeutung heranzuwachsen. Er wird „Telemeteorographie“ genannt.

53. Elektrische Uhren.

Die Konstruktion von Zeigertelegraphen wies mit deutlicher Bestimmtheit auf die Konstruktion elektrischer Zeitmesser hin, und wir haben bereits erfahren, wie Steinheil 1839 dazu den ersten Anstoß gab. Dann waren es Wheatstone und Cooke, die ihren Nadeltelegraphen mit einer Normaluhr verbanden, deren mit einem Steigrad versehene Achse auf eine Scheibe befestigt war, welche mit 30 Berührungsstellen versehen, bei einer Umdrehung 30 Stromunterbrechungen hervorbrachte! Seitdem ist auch in dieser Richtung tüchtig weiter gearbeitet worden und gegenwärtig besitzen wir drei Arten von elektrischen Uhren:

1. Sympathische Uhren, welche mittelst des elektrischen Stromes die Angaben einer Normaluhr auf einer beliebigen Anzahl von Zifferblättern wiedergeben.

2. Gewöhnliche Uhren mit Zeigerwerk, das in bestimmten Zeiträumen durch den Elektromagnet richtig gestellt wird.

3. Eigentliche elektrische Pendeluhren, bei denen die Elektrizität, an Stelle der Feder oder des Gewichtes, das Pendel in Bewegung erhält.

Der Betrieb der ersteren Uhren, wie sie in Berlin und anderen Städten errichtet worden sind, hat seine Schwierigkeiten, da Beschädigungen der Leitungsdrähte, Einfluß der Lufterlektrizität u. s. w. hier hemmend eintreten.

Deshalb werden die Uhren zweiter Art gegenwärtig bevorzugt, da sie im Gange bleiben, auch wenn der Strom, der sie stündlich oder halbtägig u. s. w. reguliert, einmal versagen sollte.

Die elektrischen Pendeluhren wurden anfangs nur benutzt als Regulatoren für die Zeigerwerke sympathischer Uhren und für Registrier-Apparate, in der Gegenwart hat man aber auch hier für Gewichtsuhren mit Quecksilber-Kompensation eine hohe Vollendung erreicht.

Die Grundlage, auf welcher die elektrischen Uhren stehen, ist das von Wheatstone erfundene Chronoskop, das er zuerst brauchen wollte, um die Zeit zu messen, welche Kanonenkugeln zum Durchlaufen beliebiger Strecken ihrer Bahn brauchen (Fig. 278). Die elektrische Batterie A ist an einem ihrer Pole verbunden mit dem Elektromagnet B. Mit dem

Elektromagnet steht die Uhr C in leitender Verbindung. Wenn der Strom geschlossen ist, so ist der Anker b vom Elektromagnet B angezogen und die Uhr C steht still. Sobald der Strom aber geöffnet ist, der Elektromagnet B also seine Kraft verliert, so wird der Anker b durch eine Feder abgezogen, wodurch das Uhrwerk C ausgelöst wird und sich nun so lange in Bewegung setzt, wie der Strom geöffnet bleibt. Dieser Apparat wird nun mit der Kanone in folgende Verbindung gesetzt. Die Kanone D trägt um ihre Mündung einen hölzernen Ring, über welchen der Draht c so gespannt ist, daß er dicht vor der Mündung vorübergeht und die Verbindung zwischen dem Elektromagnet B und der Batterie A bildet. Wird nun die Kanone abgefeuert, so zerreißt das Geschöß den Draht, der Strom wird unterbrochen, der Anker durch die Feder losgezogen und das Uhrwerk

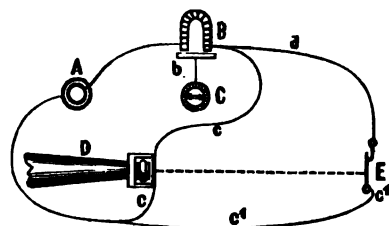


Fig. 278. Wheatstone's Chronoskop.

in Gang gesetzt. In dem Augenblick aber, in dem das Geschöß am Ziel eintrifft, stellt es durch die Metallplatte E die Verbindung mit einem zweiten Draht c' her, der durch den Draht d mit demselben Pole des Elektromagnets verbunden ist, wie der Draht c. Dadurch ist der Stromkreis wieder geschlossen, der Anker wird wieder angezogen und das Uhr-

werk steht still. Jetzt kann man die Zeit ablesen auf der Uhr, deren Scheibe natürlich in Teilskunden zerlegt ist.

Ein Hauptfehler des Chronoskops von Wheatstone, den Hipp aufdeckte, ist aber der, daß das Uhrwerk erst beim Beginn der zu messenden äußerst geringen Zeit in Gang gesetzt wird, wodurch eine bestimmte Zeitquote stets verloren geht, ehe das Uhrwerk in gleichförmigen Gang kommt, eine Zeitquote, die manchmal größer sein kann, als die, welche gemessen werden soll.

Hipp verbesserte deshalb den Apparat nach dieser Richtung, indem er das Uhrwerk c (Fig. 279) mit zwei Zifferblättern versah, welche Hundertstel und Tausendstel einer Sekunde angeben. Das Uhrwerk selbst ist eine Zeigeruhr mit Gewicht, welche, unabhängig vom galvanischen Strom, fortwährend im Gange bleibt. Solange nun der Strom von der Batterie p z aus einen, in dem Uhrwerk angebrachten Elektromagnet umkreist, bleiben die Zeiger der Uhr außer Verbindung mit dem übrigen Werke; sobald aber der Strom unterbrochen wird, so wird die Verbindung der Zeiger mit dem in Gang stehenden Werke sofort hergestellt und sie setzen sich in Bewegung. Verbindet man mit dieser Uhr nun z. B. ein Fallgestell G F C B, um die Zeit zu messen, welche eine von G herabfallende Metallkugel nach B brauchen

wird, so läßt man den Strom der Batterie von p aus nach der Klemmschraube a gehen, von dort aus um den Elektromagnet innerhalb der Uhr, dann über die Klemmschraube b über e nach der Kugel K weiter über c und o nach dem andern Pol der Batterie z. Ueber der Kugel befindet sich die Feder f, welche die Kugel hält. Läßt man diese durch einen Druck auf die Feder fallen, so erfolgt bei K die Unterbrechung des Stromes, die Zeiger der Uhr treten mit dem im Gange befindlichen Werke in Verbindung, bis die auf das Brett B aufschlagende Kugel, welche die bisher getrennten Metallstreifen m und n in Berührung miteinander und mit den Drähten mo und no bringt, dadurch den Strom wieder schließt. Die

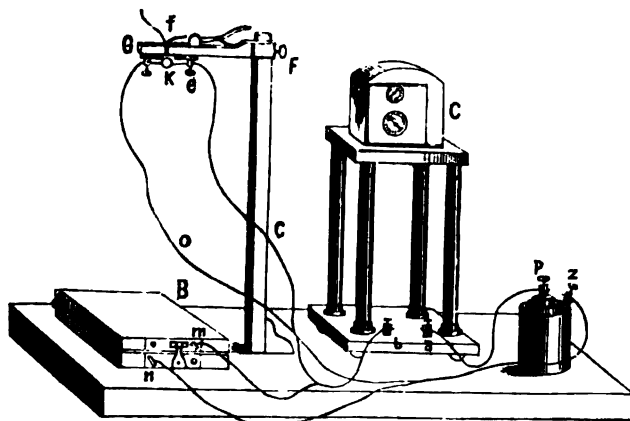


Fig. 279. Hipp's Chronoskop.

Dauer der Fallzeit steht jetzt auf den Zifferblättern genau vermerkt.

Nach dieser schematischen Darstellung lassen wir die ausführliche Beschreibung einer Uhr folgen, wie sie von M. Hipp in Neuchâtel fabrikmäßig angefertigt werden. Fig. 280 zeigt einen Indikator, der durch Wechselströme betrieben wird. Die Eisenkerne der Elektromagneten m und m' sind durch das Metallstück P mit dem Nordpol des kräftigen Stahlmagneten M verbunden, während dessen Südpol zugleich das Lager des Ankers A bildet, der um seine Achse drehbar ist. Durchströmt nun kein Strom den Elektromagnet, so werden die Eisenkerne m und m' gleichstark nordmagnetisch, der Anker A dagegen wird süd magnetisch. Geht nun ein Strom durch den Elektromagnet, so bewegt sich der Anker entweder von m nach m' oder umgekehrt. Der Anker A (Fig. 281) hat eine eigentümliche Form, welche bezweckt, daß auch verhältnismäßig schwache Ströme eine kräftige Wirkung erzielen. Die punktierten Linien zeigen an, in wie

die äußere Begrenzung des Kreises von der Kreislinie abweicht. Bei jeder Stromwirkung legt der Anker fast 60° des Kreisbogens zurück, weshalb

irgend welche Erschütterungen, sowie nicht zu bedeutende Induktionsströme ohne Einfluß auf ihn verbleiben. Unter dem Anker A befindet sich das Steigrad.

Daselbe dreht sich um eine Achse, welche senkrecht zu der Klossspindel a steht, die abwechselnd mit dem oberen und unteren Kloss in das Steigrad eingreift, dasselbe um einen Zahn weitergehen läßt, worauf der Minutenzeiger, der mit dem Steigrade verbunden ist, gleichfalls weiter rückt. Das Steigrad besitzt eine Doppel-Verzahnung, deren Zähne senkrecht zu einander stehen. In die eine Verzahnung greift der Kloss, in die andere da-

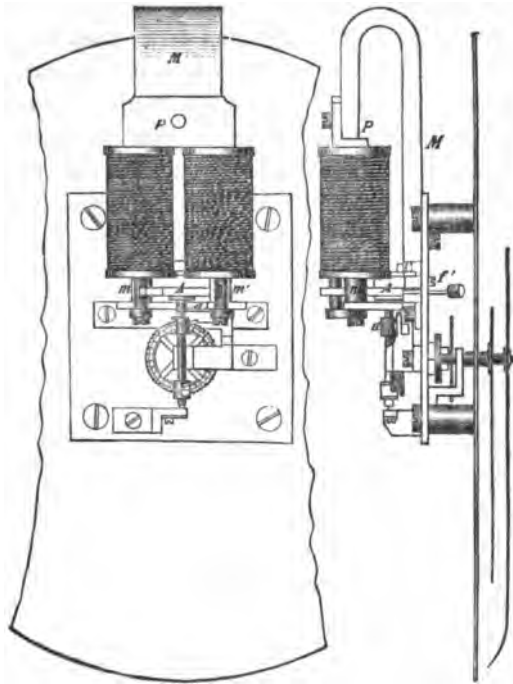


Fig. 280. Hipp'sche elektrische Uhr.

gegen ein kurzer, leicht beweglicher Arm, der Sperrriegel, der ein Zurückgehen des Rades vollkommen unmöglich macht. Geht ein Strom durch

den Elektromagnet in der Richtung, daß m' Nordpol wird, so wird der dort schon vorhandene Nordmagnetismus verstärkt, der gleiche Magnetismus in m dagegen aufgehoben, so daß m ein Südpol wird. (Ginge der Strom zuerst nach m , so wäre die Wirkung umgekehrt.) Der Anker A, stets süd magnetisch, wird nun von m' angezogen, von m dagegen abgestoßen, er bewegt sich also in der Richtung nach m' , wobei der obere Kloss der Spindel das Steigrad um einen

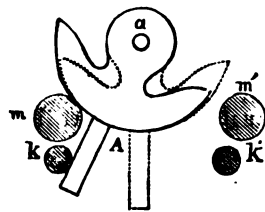


Fig. 281.

Hipp'sche elektrische Uhr, Detail.

Zahn, den Minutenzeiger also um eine Minute, vorwärts schiebt. Das Steigrad, welches den Minutenzeiger bewegt, ist nun mit einem anderen

Zahnrad verbunden, welches auf seiner Achse einen Trieb aufsitzen hat, der in ein drittes Zahnrad eingreift, welches den Stundenzeiger dreht. f' ist ein verschiebbares Gewicht, das den Anker in seiner gleichmäßigen Bewegung regelt, die Polster K K' dämpfen das beim Aufschlagen des Ankers entstehende Geräusch und isolieren zugleich den Anker A von m und m' .

Bei Uhren, welche große Zifferblätter haben müssen (Bahnhofs-, Post- und Straßen-Uhren), werden, wie wir im Schema bereits darstellten, zwei Zifferblätter angewendet, die entweder parallel oder in einem bestimmten Winkel zu einander stehen. Bei diesen bewegt der Anker das Steigrad nicht direkt, sondern die vertikale Achse, die durch konische Räder beide Zeigerwerke in Umdrehung versetzt. Die Zifferblätter sind transparent und werden im Innern vermittelst Gaslicht zur Nachtzeit erhellt. Bei sehr großen Zifferblättern (120 cm u. s. f.) wird die Bewegung der Zeiger durch ein Laufwerk, dessen Betrieb durch Gewichte geregelt wird, bewirkt. Der galvanische Strom überträgt dann nur die Auslösung jede Minute. Hipp hat nun mit seinen elektrischen Uhren auch Schlagwerke verbunden. Eines seiner größten Werke befindet sich in Zürich, auf dem Turm von St. Peter. Die Zeiger desselben sind 8,4 m lang und wiegen zusammen 700 kg. Diese mächtige Uhr hat aber trotzdem keine eigene Leitung, sondern ist eingeschaltet in die städtische elektrische Leitung und erhält nur denselben Strom, wie die kleineren Werke der Stadt Zürich, deren öffentliche und private Zeigerwerke (145) sehr ausgezeichnet funktionieren. Die Stadt hat, auch für private Uhren, Anlage und Einrichtung der Leitung sich vorbehalten und fordert für eine Uhr 20 Fr. jährlicher Abgabe, für jede weitere Uhr von derselben Einrichtung 10 Fr. Die Kosten der Uhr selbst belaufen sich auf 85 Fr. Außer Zürich sind es bereits gegen 60 Städte in der Schweiz, in Italien, in Frankreich und in Deutschland, welche hauptsächlich Hipp'sche Normaluhren eingeführt haben, welche zwei voneinander getrennte Vorrichtungen besitzen, von denen die eine den minutenweise erfolgenden Stromschluß, die andere die Polleitung regelt. Beide Vorrichtungen kommen durch ein besonderes Laufwerk in Gang, während meistens ein sehr genau gehender Regulator mit Sekundenpendel und Gewichtsbetrieb im Gange erhalten wird. Auf einen Regulator werden 7 Elemente von 21 cm Höhe gerechnet, welche mehrere Wochen nicht nachgesehen zu werden brauchen; die Rückleitung geschieht, wo irgend zugänglich, durch das Röhrennetz der städtischen Wasserleitungen.

Soll durch ein Uhrwerk in großen Zwischenräumen, vielleicht 3, 4, 6, 12 stündig u. s. f. nur ein Zeitsignal vermittelt werden, so wendet Hipp eine andere Konstruktion an. Er nennt dieselbe „Koincidenz-Uhr“ (Fig. 282). Das Pendel dieser Uhr befindet sich in absoluter Ruhelage durch eine sogenannte Arretierung. Geht nun ein Strom durch den Elektro-

magnet a, so zieht derselbe seinen Anker an, der Haken b, welcher den Hebel c arretierte, läßt denselben los und sein rechts liegender Arm, beschwert mit einem Gewichte, senkt sich und das Pendel kann jetzt die Achse von c, welche halb durchschnitten ist, passieren. Das Pendel schlägt in der Minute 61 Sekunden. Soll nun eine entfernt stehende astronomische Uhr mit einem Regulator verglichen werden, so wird an der ersteren eine Kontaktvorrichtung angebracht, welche täglich ein oder mehrere Male den Strom in die Koincidenzuhr sendet. Regulatorpendel und Koincidenzuhrender bilden dann einen Nonius, durch den der 61. Teil einer Sekunde noch beobachtet werden kann.

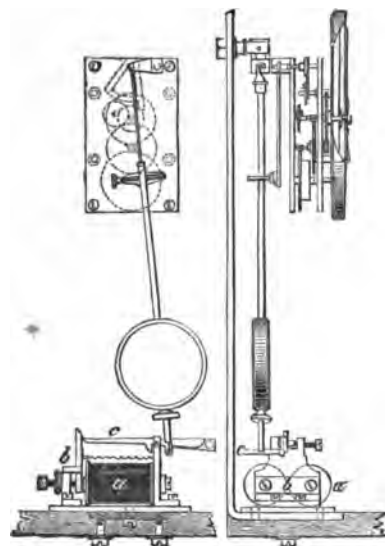


Fig. 282.
Hipp'sche elektrische Uhr (Koincidenz-Uhr).

Diese Koincidenzuhr ist für die berühmten Industrie-Orte in der Uhrenfabrikation von größter Bedeutung. Die Sternwarte von Neuchâtel sendet täglich nach La Chaux de Fonds, nach Loile, Ponts, Saint-Croix u. s. w. eine Zeitmitteilung. Seit 1883 haben Grau und Wagner ein anderes System konstruiert, das ganz auf maschinellem Wege hergestellt werden kann, bei dem nicht wie bei Hipp, der Anker in jeder Lage stehen bleibt, die ihm gegeben wird, sobald kein Strom durch den Elektromagnet geht, sondern bei dem der Anker stets in eine bestimmte Ruhelage zurückkehrt. Das System Grau-Wagner soll einfacher und billiger sein, als das System Hipp, und dennoch gleich zuverlässig

arbeiten. Dasselbe wird fabrikmäßig hergestellt durch den Uhrmacher C. Th. Wagner in Wiesbaden. Siemens und Halske in Berlin haben gleichfalls ein verbessertes System hergestellt, welches bei der Herstellung elektrischer Uhrwerke in Berlin Verwendung findet.

Ebenso hat Arzberger eine einfache Konstruktion erfunden, welche, am Polytechnikum zu Prag schon seit 10 Jahren in Anwendung, sich gut bewährt hat.

54. Die Richtung der Ströme durch Magnete.

Die auf die Richtung der Magnete einwirkende Kraft der galvanischen Ströme legt den Gedanken nahe, daß die Ströme auch umgekehrt von den Magneten beeinflusst werden müssen. Um den Beweis für die Richtig-

keit dieses Gedankens aber zu bringen, muß man in der Lage sein, Stromleiter von recht leichter Beweglichkeit herzustellen. Diese Notwendigkeit führte Ampère auf Erfindung des nach ihm benannten Gestells.

Das Ampère'sche Gestell (Fig. 283) besteht aus einem Brettchen A, welches die Messingsäulchen v und t trägt. Dieselben sind nach oben rechtwinkelig umgebogen und tragen an ihren Enden stählerne Näpfschen y und y', von denen y unter y' zu stehen kommt. Beide Näpfschen sind mit Quecksilber gefüllt. Der in Form eines Rechtecks gebogene Draht c d e, welcher aus Kupfer oder Aluminium sein kann, wird in der Mitte seiner oberen Seite nicht zusammengestoßen, sondern rechtwinkelig hakenförmig nach oben ausgebogen und an die Enden werden seine Stahlspitzen gelötet, mit welchen das Drahtrechteck in die Quecksilbernäpfschen eingehängt werden kann. Dasselbe hängt dadurch äußerst lose und dreht sich um die aus den Spitzen gebildete Achse bei der leisesten Einwirkung. Wird nun das eine Säulchen v durch die Klemmschraube mit dem positiven Pole eines galvanischen Elements, das andere Säulchen t dagegen mit dem negativen Pole desselben verbunden, so geht der positive Strom durch das bewegliche Rechteck c d e in der durch die Pfeile bezeichneten Richtung.

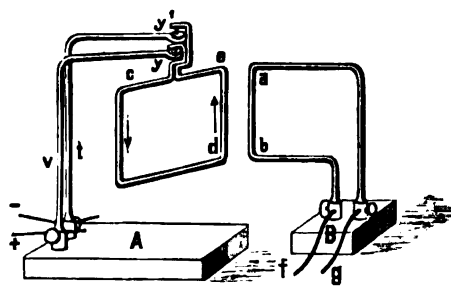


Fig. 283. Ampère'sches Gestell.

Dieser Vorrichtung gegenüber steht eine zweite. Hier trägt das Brettchen B ein aus gleichem Drahte hergestelltes Rechteck a b, das an einer Ecke ausgezogen ist und durch die Zuleitungsdrähte f und g zu gleicher Zeit einen Strom empfangen kann. Wenn nun der positive Strom in diesem Rechteck von b nach a geht, so läuft er parallel dem Strom von d nach e, und zieht dadurch das Rechteck c d e an; schaltet man aber bei a b einen Stromwender ein und kehrt den Strom um, so daß er von a nach b fließt, so stößt er c d e ab. Daraus erhellt, daß sich zwei parallel gerichtete Ströme anziehen, wenn ihre Ströme in derselben Richtung ziehen, sich aber abstoßen, wenn das Gegenteil der Fall ist.

Läßt man auf den beweglichen durchströmten Leiter den Erdmagnetismus allein wirken, so stellt er sich so, daß seine Ebene rechtwinkelig auf der Ebene des magnetischen Meridians steht. Der positive Strom steigt dann stets auf der Westseite empor und kreist, von der Südseite betrachtet, wie die Zeiger der Uhren (Fig. 284).

Stellt sich nun ein kreisförmig gebogener Leitungsdraht rechtwinkelig ein auf dem magnetischen Meridian, so muß auch ein schraubenförmig gewundener Draht, wenn er an ein Ampère'sches Gestell gehangen und durchströmt wird, sich so einstellen, daß die Ebene seiner Windungen gleichfalls auf der Ebene des magnetischen Meridians rechtwinkelig steht, seine Achse also in denselben zu liegen kommt. Ein solcher Draht, Solenoid geheißen (Fig. 285), trägt oben einen isolierenden Stab *a* *b*, an welchem die einzelnen Windungen befestigt sind. Der Strom kreist von *b* in der Richtung des Uhrzeigers nach Süden, von *a* aus nach Norden; es muß sich nun also *b* nach Süden und *a* nach Norden drehen, bis das Solenoid in der Richtung der Magnetnadel steht. *a* wird also von dem Nordpol eines ihm nahe gebrachten Magneten abgestoßen, *b* dagegen angezogen werden.

Zwei einander genäherte Solenoide werden also aufeinander wirken genau wie zwei Magnete, deren jeder einen Südpol und einen Nordpol

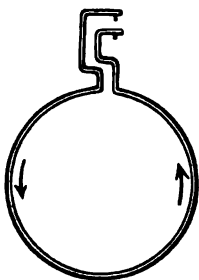


Fig. 284. Kreisstrom.

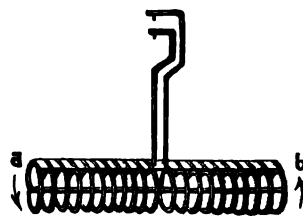


Fig. 285. Solenoid.

besitzt. Ohne also Eisen oder Stahl in Anwendung zu bringen, lassen sich alle Erscheinungen des Magnetismus nachahmen durch die Wechselwirkung von galvanischen Strömen und somit liegt der Schluß nahe, daß der Magnetismus in Eisen und Stahl eine Wirkung von elektrischen Strömen sei.

Alle Ströme, welche nicht parallel gerichtet sind, heißen gekreuzte Ströme, gleichgiltig, ob sie in einer und derselben Ebene liegen, ihre Richtungen sich also wirklich schneiden oder ob sie in verschiedenen Ebenen liegen, so daß ihre Richtungen sich nicht treffen. Kreuzungspunkt und Schnittpunkt fallen in einer und derselben Ebene zusammen; bei verschiedenen Ebenen ist der Kreuzungspunkt ein Punkt auf der Linie der kürzesten Entfernung beider Ströme. Geht ein Stromleiter *r* *s* (Fig. 286) über dem um *a* drehbaren Stromleiter *p* *q* oder unter ihm weg, so sind beide Ströme bestrebt, sich gleichgerichtet und parallel zu stellen; in denjenigen Teilen der beiden Stromleiter, in denen beide Ströme sich nach dem Kreuzungspunkte *o* hin (oder von ihm weg) bewegen, findet daher Anziehung, zwischen je

zwei Teilen der beiden Stromleiter aber, an welchen der eine Strom nach der Kreuzungsstelle zu, der andere von ihr wegfieht, findet Abstoßung statt.

Anziehung findet also statt (Fig. 286) zwischen den Teilen $p o$ und $r o$, in denen der Strom nach dem Kreuzungspunkte o geht, und zwischen den Teilen $o q$ und $o s$. Dagegen zwischen den Teilen $p o$ und $o s$ und $r o$ und $o p$ findet Abstoßung statt.

Der Beweis läßt sich erbringen durch die von Garthe angegebene Vorrichtung (Figur 287). Der bewegliche Holzrahmen $C D$, welcher mit übersponnenem Kupferdraht von $\frac{1}{2}$ mm Stärke mehrfach umwunden ist, wird in der Mitte seiner Langseiten durchbohrt, damit er zwischen dem gleichfalls mit über-

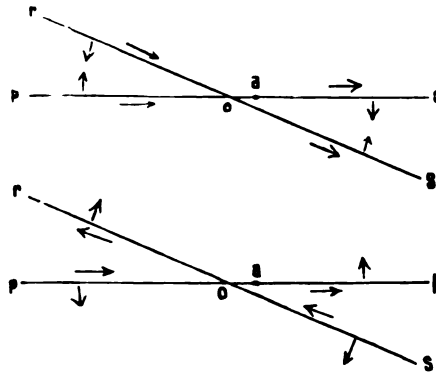


Fig. 286. Gekreuzte Ströme.

sponnenem Kupferdrahte mehrfach umwundenen größeren Holzrahmen $A B$ auf eine vertikal gestellte Achse gebracht werden kann, auf deren Stahlspitze er leicht hin und her spielt. Der Rahmen $A B$ ist mit einem weit dickeren Drahte von 1—5 mm Stärke ausgerüstet. Die freien Enden des Rahmens

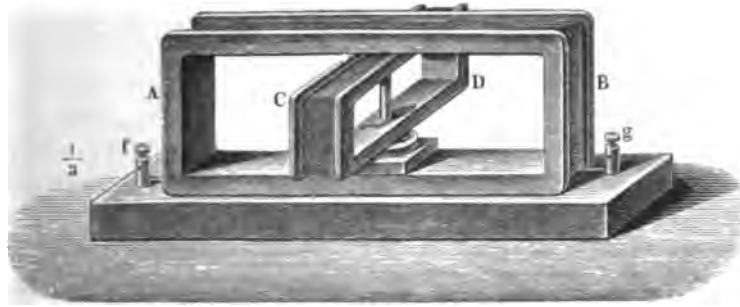


Fig. 287. Garthe's Rotations-Apparat.

$C D$ tauchen in zwei voneinander isolierte Quecksilbernapfchen ein, die unter der vertikalen Achse angebracht sind. Durch die Klemmschrauben f und g wird den Drahtwindungen des Rahmens $A B$ ein entsprechend starker Strom zugeführt, während zwei andere Drähte zum Quecksilber gehen. (Für jeden Rahmen genügen zwei Bunsen'sche Becher). Geht nun ein Strom durch die Drähte bei f und g , so dreht sich der bewegliche Rahmen, bis

der Strom in seinen Windungen demjenigen, welcher A B durchkreift, gleichgerichtet und parallel ist; damit aber der Rahmen C D in dieser Lage nicht stehen bleibt, wird er durch die in das Quecksilber eintauchenden Drähte (den Stromwender oder Kommutator) umgekehrt, d. h. die Stromteile, welche sich soeben anzogen, stoßen sich sofort ab und die Drehung setzt sich in der gegebenen Richtung fort.

Für diese gegenseitige Wirkung zweier Ströme hat Ampère ein Gesetz aufgestellt, nach welchem sich die gegenseitige Einwirkung zweier Stromteilchen für alle gegenseitigen Lagen berechnen läßt, worauf W. Weber berechnet hat, welches die Gesamtwirkung zweier durchströmter Drahtwellen sein müsse und darauf durch Messungen das Ergebnis seiner Rechnungen geprüft. Das Ergebnis war, daß die elektrodynamische Kraft, mit welcher zwei Leitungsdrähte aufeinander wirken, durch welche Ströme von gleicher Intensität gehen, dem Quadrate dieser Intensität proportional ist. Dieses, durch Ampère und W. Weber herbeigeführte Ergebnis nennt man das Grundprinzip der Elektro-Dynamik.

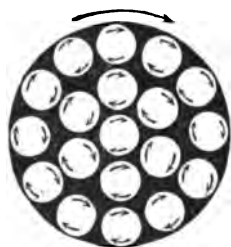


Fig. 288.
Magnetische Ströme.

Weitere Versuche Weber's brachten die Bestätigung der Richtigkeit des Gesetzes von Ampère dadurch, daß durch sie festgestellt wurde: Es gelten für die elektrodynamischen Wirkungen zweier Ströme aufeinander in die Ferne dieselben Gesetze, wie für die gegenseitige Wirkung zweier Magnete. Ampère suchte nun, nachdem auf diesem Wege die Gesetze der

Elektro-Dynamik begründet waren, alle Erscheinungen des Magnetismus auf dieselbe zurückzuführen und stellte deshalb eine Theorie auf, die wir nach seinem Namen die Ampère'sche Theorie nennen. Das Prinzip derselben besteht darin, daß jedes Molekül eines Magnets betrachtet wird als beständig von einem Strome umflossen, welcher in sich selbst zurückkehrt und deshalb einfach als Kreis angesehen werden kann, wodurch sich jedes Molekül so verhält, als wäre es selbst ein kleiner Magnet, dessen Achse senkrecht auf der Ebene dieses Kreisstromes steht. Stellen wir uns den Gang der einzelnen Ströme schematisch dar, wie in Fig. 288, welche Querschnitte der Moleküle darstellt, so können wir uns dieselben, statt von der Anzahl der Moleküle entsprechenden Strömen, alle Querschnitte von einem einzigen Strome umkreist denken, welcher dann die Mittelkraft aus allen elementaren Teilen dieses Querschnittes ist, und durch dieses Hilfsmittel läßt sich ein Magnetstab denken als ein System unter sich geschlossener paralleler Ströme. Jeder Magnet muß sich also verhalten wie eine von elektrischen Strömen unaufhörlich umkreiste Drahtspirale, d. h. wie ein Elektromagnet.

Eine anschauliche Erklärung für die Anziehung und Abstoßung der Pole der Magnete bei verschiedenen Stellungen gegeneinander läßt sich am besten auf folgende Weise geben. Man stellt sich Cylinder aus Holz oder Pappe (Fig. 289) her von 30—50 cm Länge und 5—7 cm Durchmesser. Man bezeichnet auf denselben die Nordpole N und die Südpole S und die Richtung der Ströme durch Pfeile. Nun stellt man zwei Cylinder zuerst so, daß die gleichnamigen Pole einander gegenüberstehen, alle vier Pfeile sind dann gleichgerichtet, was einer Anziehung entspricht. Dann stellt man sie so, daß die gleichnamigen Pole einander zugekehrt sind, dann zeigen die beiden Pfeile links nach oben, die beiden rechts nach unten oder umgekehrt, die links nach unten und die beiden Pfeile rechts nach oben, was einer Abstoßung entspricht. Nach dieser Ampère'schen Theorie ist auch der Erdmagnetismus nichts anderes, als die Wirkung von elektrischen Strömen, welche die Erde umkreisen, und somit bietet uns die theoretische Annahme von Molekularströmen ein bequemes Hilfsmittel, eine bedeutende Gruppe von Erscheinungen unter einem einheitlichen Gesichtspunkte aufzufassen.

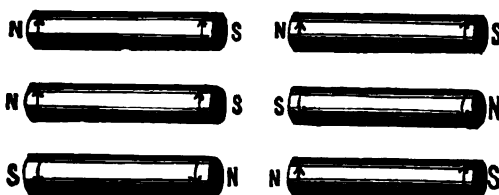


Fig. 289. Erklärung des Magnetismus.

Die Drehungen von Magnetpolen um die Stromleiter und von Stromleitern um die Magnetpole sind von Faraday auf folgende Weise anschaulich dargestellt worden.

Die Kraft, welche ein von einem Strom durchflossener Draht ausübt auf einen Magnetpol, steht senkrecht mit ihrer Richtung auf der durch den Stromleiter und den Magnetpol gelegten Ebene, wie wir bereits wissen. Könnte man den Magnetpol nun isolieren, so würde eine dauernde Rotation des Poles um den Stromleiter stattfinden. Umgekehrt muß ein feststehender Magnetpol auf einen in seiner Nähe befindlichen Stromleiter, wenn derselbe beweglich ist, eine dauernde Rotation desselben um den Magnetpol veranlassen. Um die erstere Rotation zu veranschaulichen, konstruierte Faraday folgenden Apparat (Fig. 290):

Auf einem kreisförmig geschnittenen Brett tragen Säulchen eine ringförmige, hölzerne Rinne A A, welche mit Quecksilber gefüllt ist. In der Mitte des Brettes erhebt sich ein Säulchen gerade bis in die Mitte der hölzernen Rinne. Dieses Säulchen ist durchbohrt, um den Leitungsdraht B aufzunehmen. An der Spitze ist das Säulchen vertieft wie ein Räßchen, in welches gleichfalls Quecksilber gefüllt wird. Hierauf werden

zwei parallele Magnetstäbchen, welche mit den Polen gleichgerichtet und unter sich durch einen Metallstreifen verbunden sind, mit einem an dem Metallstreifen in der Mitte angebrachten Stahlzäpfchen freischwebend in das Quecksilbernapfchen eingehangen. Von diesem Stahlzäpfchen geht quer ein Platindraht zu der mit Quecksilber angefüllten Holzrinne. Diese steht mit dem negativen Pole eines Elementes bei A —, der Leitungsdraht B mit dem positiven Pole in leitender Verbindung, so daß der positive Strom von B über den Platindraht zu dem Elemente zurückkehrt. Der in B aufsteigende Strom wirkt nun auf die Magnetpole N N und setzt beide Magnet-

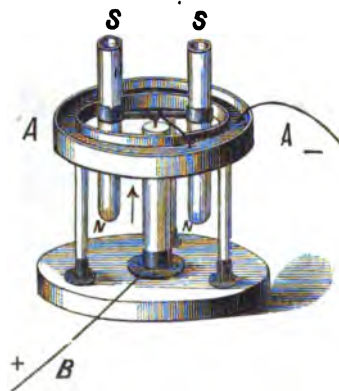


Fig. 290.

Drehung des Magnetpols am den Stromleiter.

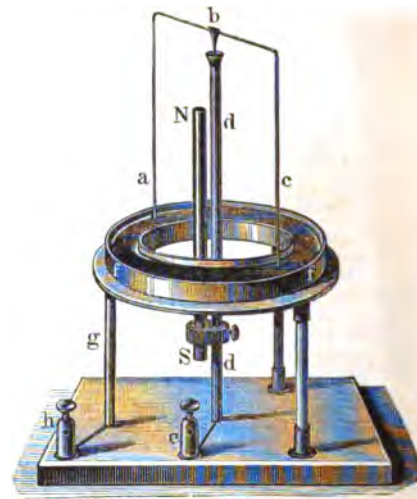


Fig. 291.

Rotations-Apparat.

stäbe in Rotation, deren Richtung, nach der Ampère'schen Theorie, umgekehrt wie der Gang eines Uhrzeigers sein muß. Wird daher die Richtung des Stromes oder die Polarität der Magnetstäbe (N oben S unten) umgekehrt, so rotieren die Magnetstäbe in entgegengesetzter Richtung.

Richtet man dagegen den Apparat so ein, daß eine Metallsäule d d (Fig. 291), welche unten mit der Klemmschraube e verbunden ist, oben ein stählernes Quecksilbernapfchen trägt, in welches der kupferne Drahtbügel a b c mittels der Stahlspitze b eingesetzt werden kann, so daß seine Enden in die hölzerne Quecksilberrinne f tauchen und bringt an der Säule d d eine Fassung an, welche den kräftigen Stahlmagnet N S trägt und die vermittelst einer Schraube hinauf und hinunter geschoben werden kann, so wird, wenn der positive Leitungsdraht durch die Klemmschraube h dem Metallstab g zugeführt ist, der negative durch e aber nach d geht, in den

Drähtarmen a und c der positive Strom in die Höhe geleitet und dann von beiden Seiten nach b und von da durch die Säule d d abströmen.

Die Wirkung des näheren Magnetpols N überwiegt die schwächere des entfernteren Poles S und dreht den Drahtbügel in der Richtung der Drehung eines Uhrzeigers und bei Umkehrung der Magnetpole oder der Stromrichtung erfolgt auch hier eine Umkehrung der Drehungsrichtung. Wenn man den Strom so auf und niederströmen läßt, daß er die eine Hälfte der Achse eines Magnets durchzieht, so rotiert er, entsprechend aufgehängt, um seine eigene Achse. Die Richtung der Drehung entspricht gleichfalls dem Ampère'schen Gesetz. Je nachdem das Nordende oder das Südende des Magnets nach oben gestellt sind, dreht er sich nach der einen oder der anderen Richtung.

55. Die Thermosäulen.

Aus der Erfahrung heraus sind für den galvanischen Strom und seine Wirkungen folgende Sätze, von jeder Theorie unabhängig, gewonnen worden:

1. Die Ursache, welche bewirkt, daß zwei verschiedene Leiter bei ihrer Berührung die Elektrizitäten so verteilen, daß eine konstante Potential-Differenz (ein beständiger Kraft-Unterschied) auf denselben stattfindet, nennen wir elektromotorische Kraft (vergl. S. 416).

2. Die Größe dieser Kraft ist unabhängig von der Größe der Berührungsfläche und der Größe, Lage und Gestalt der sich berührenden Leiter, aber abhängig von der Natur der Körper.

3. Die Dichtigkeit der Elektrizität und ihre Spannung an den korrespondierenden Oberflächenpunkten bildet einen in rechnerischer Form auszudrückenden Unterschied (algebraische Differenz), der bei gleicher Größe, Gestalt und Lage der sich berührenden Körper derselbe (konstant) bleibt und weder durch Zu- noch durch Ableitung von Elektrizität geändert wird. Sind die sich berührenden Körper verschieden an Lage, Gestalt und Größe, so ist der Spannungsunterschied proportional der elektromotorischen Kraft.

4. Die Menge der erzeugten Elektrizitäten ist gleich der Summe der freien und der an der Berührungsstelle gebundenen. Die erstere ist abhängig von der Größe, Lage und Gestalt der sich berührenden Körper, die letztere von der Größe der Berührungsfläche. Die Summe der erzeugten Elektrizitäten ist also abhängig von der Größe, Lage und Gestalt der sich berührenden Körper und von der elektromotorischen Kraft.

5. Die elektromotorische Kraft zwischen zwei festen Körpern ist gleich der Summe der elektromotorischen Kräfte aller dazwischen liegenden Kombinationen der Spannungsreihe.

6. Der geschlossene Strom kann also nur Wirkungen hervorrufen, wenn zwischen den Enden der Kette eine elektrische Differenz vorhanden ist. Jede Kette, welche ausschließlich aus festen Leitern gleicher Temperatur gebildet ist, an den Enden also gleiche Metalle enthält, besitzt keine elektrische Differenz, weil sich die entgegengesetzten elektromotorischen Kräfte in ihrer stromerzeugenden Wirkung aufheben.

Wenn nun Metalle ungleiche Temperatur haben, oder ungleiche Metalle sich an den Berührungspunkten treffen, so wird Satz 6 aufgehoben in seiner Gültigkeit.

Professor Seebeck machte im Jahre 1823 die Entdeckung, daß in einem Kupferdrahtbügel, der auf einen Wismutstab gelötet war, ein Strom entstand, wenn die eine der beiden Lötstellen eine höhere Temperatur annahm als die andere.

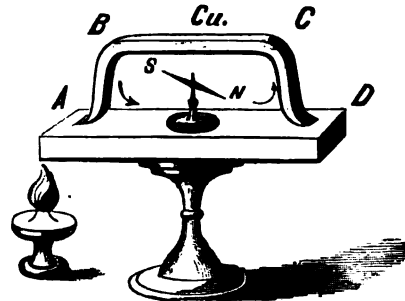


Fig. 292. Thermo-elektrisches Element.

Bildet man eine aus Kupfer und Antimon zusammengelötete Kette A B C D (Figur 292) und erwärmt die eine Lötstelle A, während die andere kalt bleibt, so entsteht ein Strom, der die Magnetnadel S N ablenken und auch noch andere Wirkungen elektrischer Ströme hervorbringen kann. Die Stärke dieses Stromes wächst mit der Differenz der Temperatur an den

beiden Lötstellen. Die Natur der beiden Metalle bestimmt die Richtung und die Intensität des Stromes. Auf Fig. 292 geht der positive Strom von der erwärmten Lötstelle A, d. i. vom Kupfer, nach der kalten D, d. i. zum Antimon, umgekehrt geht er also auch von D nach A.

Diese Ströme, welche in einem metallischen Schließungskreise durch ungleiche Erwärmung der Berührungstellen der Metalle erzeugt werden, heißen thermo-elektrische Ströme.

Wenn man diese Ströme mit Hilfe eines Multiplikators untersuchen will, etwa von Platin und Eisen, so braucht man nur ein Stück Platindraht mit seinen Enden so an dem einen Ende des Multiplikator drahtes zu befestigen, daß eine vollkommene metallische Berührung zwischen Platin und Kupfer hergestellt ist, und dann zwischen den beiden Enden des Platindrahtes ein Stück Eisen anzubringen und nun Platin und Eisen an der einen Berührungsstelle zu erwärmen, so erhält man einen thermo-elektrischen Strom. Ändert man jetzt die Zusammensetzung der Metalle und vergleicht sie mit dem Strom, welchen Platin und Eisen erzeugten, so wird man

große Verschiedenheiten entdecken; hauptsächlich aber die, daß irgend zwei Metalle einen kräftigen Strom erzeugen, während irgend zwei andere unter ganz gleichen Verhältnissen nur einen schwachen Strom hervorbringen.

Solche Untersuchungen haben gezeigt, daß sich die Metalle in eine Reihe ordnen lassen, welche die Eigenschaft hat, daß, nach Bildung der Kette zwischen zweien und Erwärmung der einen Lötstelle, der positive Strom von dem in der Reihe untergeordneten Metall zu dem übergeordneten aufsteigt. Diese Reihe hat für die häufiger vorkommenden Metalle folgende Ordnung:

1. nach Seebeck:	2. nach Becquerel:	3. nach Hankel:
+ Antimon	+ Antimon	+ Antimon
Eisen	Eisen	Eisen
Zink	Zink	Silber
Silber	Silber	Zink
Gold	Gold	Blei
Zinn	Kupfer	Zinn
Blei	Blei	Kupfer
Quecksilber	Platin	Gold
Kupfer	— Bismut	Platin
Platin		Quecksilber
— Bismut		— Bismut

Mit Antimon verbunden wirken also in Bezug auf thermo-elektrische Erregung alle übrigen Metalle negativ, mit Bismut verbunden dagegen positiv. Die Temperatur, welche erzeugt wird, ist hierbei maßgebend; denn bei bestimmten Temperaturen kehrt sich die Wirkungsweise der Metalle bisweilen in das Gegenteil.

Seebeck entdeckte, daß bestimmte Legierungen von Metallen in der obigen Spannungsreihe nicht zwischen den Metallen stehen, aus denen sie hervorgegangen sind. Er fand, daß zwischen Antimon und Eisen eine Legierung von 3 Bismut und 1 Zinn, zwischen Eisen und Zink dagegen eine solche von 3 Bismut und 1 Blei zu stehen kommt.

Der thermo-elektrische Unterschied zweier Metalle ist nun um so größer, je weiter dieselben in der obigen Spannungsreihe auseinanderstehen. Ein thermo-elektrisches Element, welches aus Antimon und Bismut zusammengesetzt ist, wird bei jeglicher Temperatur-Differenz einen stärkeren Strom erzeugen, als ein solches aus Antimon und Zinn u. s. w.

Man kann nun, wie Becquerel, zwischen die beiden Drahtenden eines Galvanometers eine ganze Reihe von Metalldrähten einschalten, welche vorher aneinander gelötet worden sind und alle ihre Lötstellen bis auf eine, die auf n Grad erwärmt worden ist, auf 0 Grad halten, so wird man denselben

Ausschlag erhalten, als ob der ganze Schließungsbogen bei unverändertem Widerstande nur aus den beiden Metallen gebildet wäre, die sich an der auf n Grad erwärmten Lötstelle berühren. Sehen wir für $n = 20$ Grad, so fand Becquerel die Stromstärke am Galvanometer

31,24,	wenn an der Lötstelle sich berührten	Eisen—Zinn
8,55,	= = = = = =	Kupfer—Platin
27,96,	= = = = = =	Eisen—Kupfer
2,00,	= = = = = =	Silber—Kupfer
26,20,	= = = = = =	Eisen—Silber
36,07,	= = = = = =	Eisen—Platin
3,50,	= = = = = =	Kupfer—Zinn
1,00,	= = = = = =	Zink—Kupfer
0,50,	= = = = = =	Silber—Gold.

Bei einer Temperatur-Differenz von 20 Grad ist also die elektromotorische Kraft der Verbindung Eisen—Kupfer = 27,96 und Kupfer—Platin = 8,55 zusammen also 36,51, fast gleich der von Eisen—Platin = 36,07 und ebenso von Eisen—Kupfer = 27,96 und Kupfer—Zinn = 3,50 zusammen 31,46, fast gleich der von Eisen—Zinn = 31,24.

Daraus geht hervor, daß die Summe der elektromotorischen Kräfte zweier Thermo-elemente, von denen das eine Metall mit einem über ihm und dann wieder mit einem unter ihm in der Spannungsreihe stehenden anderen Metalle verbunden ist, gleich ist der elektromotorischen Kraft eines nur aus dem über und unter ihm stehenden Metalle gebildeten Thermo-Elementes.

Man kann deshalb nach dem Prinzip der Volta'schen Säule eine mehr oder minder große Anzahl von thermo-elektrischen Elementen zu einer thermo-elektrischen Säule verbinden. Der Strom, den man durch dieselbe erhält, wird dann eine n mal so große elektromotorische Kraft haben, als ihn bei gleicher Temperatur der Lötstellen ein einziges Element zu erzeugen im stande wäre, wenn man die Lötstellen 1, 3,5 u. s. f. erwärmt, während die übrigen kalt bleiben.

Eine sehr zweckmäßige neuere Konstruktion einer Thermo-säule ist von Noë ausgeführt worden, nachdem seit 1856, auf Rollmann's Vorschlag, anstatt der bis-dahin gebräuchlichen Antimon-Wismut-Elemente Legierungen von Metallen verwendet wurden.

Fr. Noë setzte das betreffende thermo-elektrische Element in eine Metallkapsel (Fig. 293) und in diese einen Eisenstift. Hierauf führte er eine Anzahl von Neusilberdrähten, welche das elektronegative Metall bilden, in diese Kapsel ein und goß dieselbe mit einer hauptsächlich aus Kupfer, Zink und Nickel bestehenden Legierung voll. Solche angefüllten Metallkapseln

verlötete er dann mit Kupferstreifen, welche er an einem Holzringe im Kreise herum befestigte. Dadurch bildete er das sogenannte Abkühlungs-Gestell der Thermo säule. Hierauf verlötete er die Neusilberdrähte mit den Kupferstreifen und zwar so, daß die Drähte des einen Elements mit dem nächsten Streifen, die Drähte des letzten Elements aber mit einem am Ringe befestigten besonderen Metallstück, das den negativen Pol der Säule bildet, verbunden wurden, während der nachfolgende Kupferstreifen, (Fig. 294) den positiven Pol darstellt. Die Eisenstifte, welche gegen die Mitte der Säule sternförmig zusammenstehen, werden dann mit einem Glimmerscheibchen bedeckt, unter welches eine Spirituslampe zu stehen kommt, um die Erhöhung der Stifte und dadurch die elektrische Erregung der Säule



Fig. 293. Roë's Thermo säule.

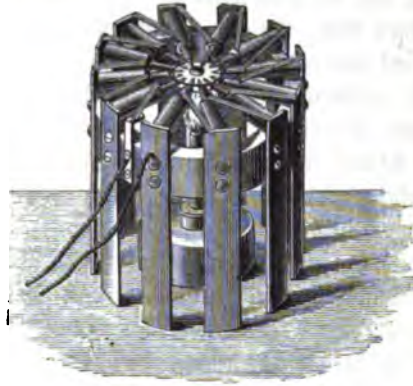


Fig. 294. Roë's Thermo säule.

zu bewirken. Dann stellte er die Kupferstreifen in kaltes Wasser, um eine möglichst hohe Temperatur-Differenz der Lötstellen zu erzielen.

Eine solche Thermo säule zeigt außerordentlich anschaulich, daß sich die Wärme in elektrische Kraft umsetzt. So lange der elektrische Strom wirkt, kann man die Eisenstifte erhitzen, so stark als es angeht, die Temperatur der Kupferstreifen ist nicht über 40 Grad hinaus zu steigern; sobald aber, unter fortdauernder Wärmezuführung der Strom geöffnet ist, erhitzen sich die Kupferstreifen so stark, daß die Lötung an den Verbindungsstellen flüssig wird.

Marcus in Wien (1864) konstruierte eine Thermo säule unter Anwendung folgender Legierungen

- | | |
|--------------------------|---------------------------|
| a) als negatives Metall: | 65 Gewichtsteile Kupfer |
| | 3 " Zink. |
| b) als positives Metall: | 12 " Antimon. |
| | 5 " Zink |

Kupfer—Zink schmilzt bei 1200, Antimon—Zink bei 600 Grad.

Mit einer Säule von 30 solchen Elementen kann man einen Elektromagnet von 70 kg Tragkraft erzeugen.

Zu den Thermo Säulen von Clamond werden Elemente aus einer Legierung von 2 Teilen Antimon und 1 Teil Zink, anderseits aus verzinnem Eisen verwendet. Die Verbindung desselben wird durch Guß hergestellt. Sie werden im Kreise geordnet und mit einem Kitt von Asbest und Natron-Wasserglas verbunden. So stellen sie einen Kranz dar, auf den ein zweiter, dritter u. s. w. dann aufgebaut werden kann. Die Heizung kann zu Holzkohle, Koaks und Petroleum eingerichtet werden.

Die Clamond'schen Säulen hat man auch benutzt zur Erzeugung des elektrischen Kohlenlichts. Man verwendet dazu 4 Säulen zu je 400 Elementen, die, bei Verbrauch von 3,2 cbm Gas, gleich 50 Bunsen-Elementen zu rechnen sind. An der Berührungsstelle zweier verschiedener Metalle tritt aber nicht nur eine Erwärmung ein, sondern es tritt auch eine Erkaltung auf, je nachdem man durch dieselbe einen elektrischen Strom von hinreichender Stärke in der einen oder der anderen Richtung hindurchgehen läßt. Peltier stellte darüber verschiedene Versuche an und wies schließlich die Erkaltung einer Lötstelle durch den elektrischen Strom auf folgende Weise nach:

Ein in seinen Längshälften aus Wismut und Antimon zusammengesetztes Stäbchen wird luftdicht durch die eine Kugel eines Differential-Luftthermometers geführt. Läßt man nun durch das Stäbchen den galvanischen Strom so gehen, daß der positive Strom die Richtung vom Antimon zum Wismut hat, so sinkt die Flüssigkeit in dem rechten Schenkel des Thermometers und zeigt also eine Erwärmung der Lötstelle an, geht er dagegen in der Richtung vom Wismut zum Antimon, so steigt die Flüssigkeit in dem Schenkel, durch dessen Kugel das Metallstäbchen geht und zeigt so eine Erkaltung der Lötstelle an. Dieselbe tritt also ein, wenn man einen Strom entsendet, der gleiche Richtung mit dem durch Erwärmen der betreffenden Stelle erzeugten Thermostrome hat, die Erwärmung tritt ein, wenn der Strom die entgegengesetzte Richtung erhält.

Auch zwischen Flüssigkeiten hat Nobili bereits die Existenz von Thermostromen nachgewiesen und ein Gleiches konstatierten Becquerel, Buff u. A. für die Gase der Flammen.

Die Ursachen aller dieser Erscheinungen sind noch streitig, da die Kontakttheorie für den Galvanismus in Frage gestellt wird, also auch hier eine solche dann nicht mehr Platz greifen kann.

Fr. Kohlrausch's Theorie, welche derselbe 1874 in den Göttinger Nachrichten veröffentlichte, beruht auf der Hypothese, daß mit jedem Wärmestrom in einem bestimmten, von der Natur des Leiters abhängigen, Maße

ein elektrischer Strom verbunden ist; — zu welcher Hypothese dann noch hinzuzufügen wäre, um das Peltier'sche Ergebnis mit dem Differential-Luftthermometer zu erklären: durch den elektrischen Strom wird Wärme bewegt. —

56. Die Erscheinungen der Induktions-Elektrizität.

Wie wir Seite 123 bei der Influenz-Elektrizität bereits gezeigt haben, hat jede Veränderung in dem elektrischen Zustande eines Körpers eine ebensolche Veränderung in jedem benachbarten Leiter zur Folge. Da nun die galvanischen Ströme in ihrer inneren Wesenheit nichts anderes sind, als unausgesetzt bewegte Elektrizität, so kam man bald darauf, bei ihnen auch influenzartige Wirkungen vorauszusetzen. Ampère theilte bereits am 4. September 1822 der Akademie der Wissenschaften zu Paris mit, daß er erfahren habe, als er einen Hufeisenmagneten einem ringförmigen Kupferstreifen, welcher innerhalb einer geschlossenen Stromleitung hing, nahe brachte, daß der Hufeisenmagnet den Kupferstreifen bald zwischen die Schenkel zog, bald ihn abstieß. Er erklärte die Erscheinung bereits dadurch, daß in einem beweglichen Leiter, der einen völlig geschlossenen Kreis bilde, durch die Influenz eines elektrischen Stromes, den man in einem festen, kreisförmigen Leiter erzeuge, sich selbst ein Strom bilde, sobald dieser Leiter dem ersten beweglichen nur so nahe ist, daß die Möglichkeit einer direkten Verbindung zwischen beiden immer noch ausgeschlossen bleibt.

Ampère verfolgte seine Entdeckung aber nicht weiter und erst 1824 im November war es Arago, der damals Versuche über die Einwirkung rotirender Metallscheiben auf Magnetnadeln anstellte, welcher auf die von Ampère entdeckte Erscheinung geführt wurde. Er bemerkte nämlich, daß eine Metalnadel, welche in die Nähe einer rotirenden Metallscheibe gebracht wurde, ihre Ruhelage verließ und selber langsam zu rotieren begann; sobald die Scheibe in Ruhe versetzt war, wurden die Schwingungen der Magnetnadel gedämpft. Als er 1826 den Versuch wiederholte mit Magneten, welche senkrecht an einem Wageballen über der rotirenden Scheibe hingen, wurden dieselben von der Scheibe abgestoßen. Er bestimmte nun die Richtung dieser Kraft für verschiedene Stellungen der Nadel und nannte sie Rotations-Magnetismus. Inzwischen hatten Herschel und Babbage bereits durch Drehung eines Magnets eine freihängende Metallscheibe in Bewegung gesetzt und entdeckt, daß die Wirkung wesentlich verringert wurde, wenn die Scheibe radiale Einschnitte erhielt. Somit war der Weg gebahnt für Faraday's große Entdeckung der Induktions-Elektrizität, welche 1831 erfolgte.

Bereits 1825 hatte dieser, angeregt durch die Erweckung von elektrodynamischen Kräften in magnetisierten weichen Eisenstücken, den Gedanken gehegt, daß auch elektromotorische Kräfte zwischen zwei Leitern derartig wirken möchten, daß die elektrische Erregung des einen beim Durchgange des Stromes auch gleichzeitig eine solche Erregung des anderen hervorrufe.

1831 erneuerte er seine Versuche, indem er auf eine hölzerne Rolle zwei Drähte wand, welche voneinander isoliert waren und den einen mit einer starken Batterie (anfangs von 10, später von 120 Elementen), den anderen mit einem empfindlichen Galvanometer in Verbindung setzte. Hier bemerkte er, daß die Nadel, die, während des Durchgangs des Stromes durch den Draht der Batterie, völlig in Ruhe blieb, eine sehr kurzdauernde, schwache Bewegung machte, so oft er die Leitung schloß oder unterbrach. In beiden Fällen waren die Ausschläge der Nadel entgegengesetzt. Als an der Thatsache kein Zweifel mehr war, sagte sich Faraday, daß dieselbe Wirkung auch erfolgen müsse, wenn er die Stromintensität ändere und der Erfolg bestätigte die Richtigkeit seines Schlusses. Hierauf änderte er seine Versuche nach einer anderen Richtung. Er ersetzte die hölzerne Rolle durch einen eisernen Ring, dessen entgegengesetzte Hälften mit je einem der Drähte umwunden waren und die Nadel zeigte in dem Augenblick, in dem der Ring durch den Durchgang des Stromes magnetisch wurde, und auch im umgekehrten Falle eine starke Ablenkung, die oft in Drehung überging. Als er den Ring durch gerade Eisenstäbe ersetzte, erzielte er dieselbe Wirkung. Hierauf wendete Faraday permanente Magnete an und änderte ihre Einwirkung auf den Draht des Galvanometers dadurch, daß er sie in Bewegung setzte, indem er statt eines Eisenstabes einen Stahlmagnet in der Spirale hin und her schob. Er erzielte dadurch merkbare Ausschläge am Galvanometer. Wurde, der Ampère'schen Theorie gemäß, der Magnet durch eine vom Strome durchflossene Spirale ersetzt, so erfolgte dieselbe Wirkung und zuletzt induzierte er, durch den Einfluß des Erdmagnetismus, Ströme in einer Drahtrolle, welche im magnetischen Meridian hin und her gedreht wurde.

Um nun mit dem Arago'schen Rotations-Magnetismus ins Reine zu kommen, nahm Faraday eine Kupferscheibe und brachte sie zwischen die Pole eines Hufeisenmagnets.

Den Rand derselben verband er durch eine schleifende Feder mit dem Galvanometer und die Achse der Scheibe durch einen Draht gleichfalls mit demselben. Durch die Rotation der Kupferscheibe zwischen den Polen des Hufeisenmagnets gelang es ihm nachzuweisen, daß der Rotations-Magnetismus seine Erklärung finde in galvanischen Strömen, welche durch den Magnet

in der Scheibe erregt werden und daß diese Ströme bei seinem speziellen Versuche in radialer Richtung verliefen.

Nach dieser historischen Übersicht bis zum Zeitpunkte der Entdeckung der Induktions-Elektrizität wollen wir nun die zur Erzeugung derselben gebräuchlichsten Apparate beschreiben und bemerken nur noch, daß man die Erregung elektrischer Ströme durch elektrische Ströme Volta-Induktion und die Erregung elektrischer Ströme durch Magnete Magnet-Induktion nennt.

Ein mit Seide übersponnener dünner Kupferdraht, der auf eine Spule gewickelt ist (A in Fig. 295), ist mit seinen Enden durch die Klemmschraube

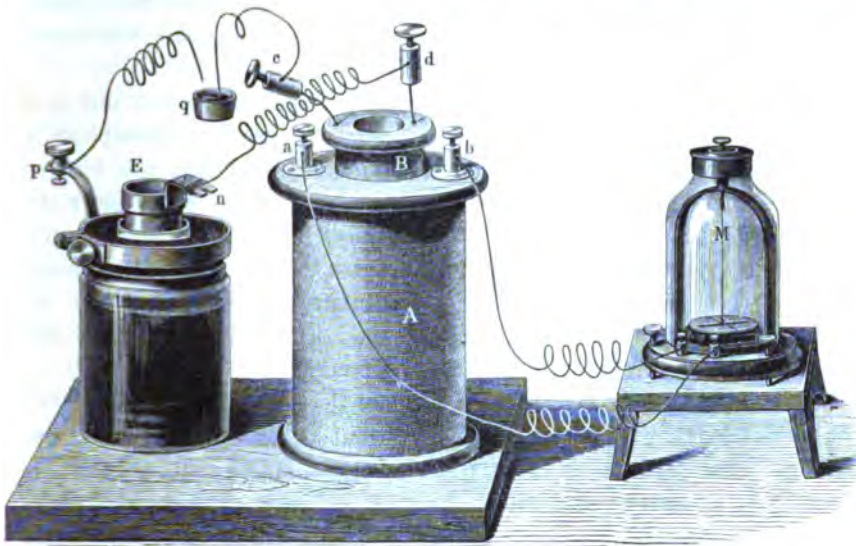


Fig. 295. Induktions-Apparat.

a und b gezogen und mit den Windungen des Galvanometers M verbunden. Dadurch ist der Apparat in sich geschlossen. Jetzt wird in den Hohlraum der Spule A eine zweite Spule B eingeschoben, deren Drahtenden vermittelst der Klemmschrauben d und c mit den Polen eines Bunsen- oder Grove-Elements in Verbindung gebracht werden, jedoch so, daß der Strom jederzeit leicht geschlossen und wieder unterbrochen werden kann. Deshalb schaltet man zwischen der Hauptspirale B und dem Elektromotor E, auf dem Wege von dem einen Pol der Säule zu der einen Klemmschraube, also etwa von p nach c, ein Quecksilbernapfchen ein. Ist der von p kommende Draht in das Napfchen eingetaucht, so wird der Strom geschlossen, wenn man den von c kommenden Draht gleichfalls eintaucht; zieht man diesen heraus, so wird der Strom unterbrochen. So oft man nun die Ver-

bindung zwischen der Spirale B und einem der Pole des Elektromotors E unterbricht, wird die Nadel des Galvanometers (Multiplikators) nach einer bestimmten Richtung abgelenkt. Gelangt die Nadel wieder zur Ruhe, was geschieht, wenn die Verbindung zwischen B und E wiederhergestellt wird, so erfolgt ein Ausschlag nach der entgegengesetzten Richtung. Zirkuliert ein Strom im Hauptdrahte, so erzeugt jede plötzlich eintretende Verstärkung desselben die Induktion eines entgegengesetzt gerichteten Stromes im Nebendrahte, während eine plötzliche Abnahme der Stromstärke im Hauptdrahte einen gleichgerichteten Strom im Nebendrahte induziert.

Eine gleiche Wirkung, wie durch die Zu- und Abnahme der Stromstärke im Hauptdrahte, wird erzielt durch eine Annäherung oder Entfernung des durchströmten Hauptdrahtes vom Nebendrahte.

Wenn man das zeigen will, so muß man die Drähte p c und n d so lang nehmen, daß die Hauptspirale B sich leicht aus der Nebenspirale A herausheben und wieder in sie einschieben läßt. Schiebt man jetzt die von einem Strom durchzogene Hauptspirale B in die Höhlung der Nebenspirale A ein (Fig. 295), so zeigt die Ablenkung der Nadel des Galvanometers einen dem Hauptstrom entgegengesetzt gerichteten Strom in der Nebenspirale an; wird dagegen die durchströmte Hauptspirale B aus der Höhlung der Nebenspirale A plötzlich herausgehoben, so induziert sie in dem Nebendrahte einen dem Hauptstrom gleichgerichteten Strom.

Die Richtung des induzierten Stromes ist durch folgendes, von Lenz formulierte Gesetz bestimmt: Wird die relative Lage zweier Leiter A und B, von denen der erste A von einem Strome durchflossen ist, geändert, so wird in B ein Strom von solcher Richtung induziert, daß er durch seine elektrodynamische Wirkung auf den Strom in A den Leitern eine Bewegung erteilt haben würde, welche derjenigen entgegengesetzt ist, durch welche der Induktionsstrom hervorgerufen wurde.

Berührt man die Drahtenden der Nebenspirale A mit metallenen Griffen und nimmt diese in die vorher angefeuchteten Hände, so kann man sehr kräftige physiologische Wirkungen erzielen. Jedesmal, wenn der Hauptstrom geöffnet oder geschlossen wird, erhält der Körper einen starken Schlag.

Dieses Öffnen und Schließen des Stromes geschieht nun am bequemsten durch das bereits bei den Elektromotoren (S. 373) beschriebene Unterbrechungs- oder Blitzrad (Rheotom).

Gleichzeitig erfanden de la Rive in Genf und Wagner in Frankfurt a. M. den magnetischen Hammer (Fig. 296).

Bei diesem Apparat wird die Unterbrechung mittels eines Elektromagnets durch den Hauptstrom selbst bewirkt.

In das Messingfäßchen a wird der eine Pol (der positive), in das Säulchen f der andere Pol (der negative) einer galvanischen Säule (Rheomotor) eingeschraubt. Die Drahtenden der Hauptspirale des Induktions-Apparates sind dagegen bei d und e eingeschraubt. Ein in das Holz eingelassener Messingstreifen führt nun den Strom von a nach b, dann durch die Platinspitze c auf ein Platinplättchen, welches der Messingfeder p aufgelötet ist, dann weiter nach d, wo er in die Hauptspirale übergeht. Aus dieser gelangt der Strom über e in die Drahtwindungen des Elektromagnets M und aus diesen nach f, wo der andere Pol der galvanischen Säule eingeschraubt ist. Der Eisenkern von M wird nun magnetisch, sobald der Strom durch seine

Drahtwindungen geht. Er zieht jetzt den eisernen Anker n an, der an der messingenen Feder o befestigt ist. Durch das Anziehen des Ankers n an M wird auch die Messingfeder p mit ihrem Platinplättchen etwas niedergezogen und dadurch die Berührung des Platinplättchens mit der Platinspitze c aufgehoben. Infolgedessen findet eine Unterbre-

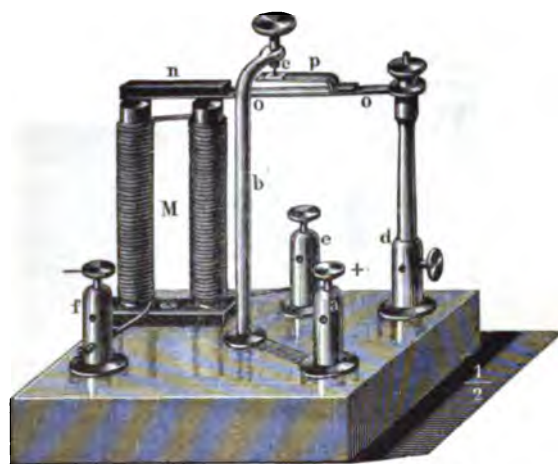


Fig. 296. Magnetischer (Wagner'scher) Hammer.

chung des Stromes in der Hauptspirale und in den Drahtwindungen des Elektromagnets statt. Letzterer verliert nun seinen Magnetismus, die Feder o zieht den Anker n wieder in die Höhe, dadurch wird die Berührung des Platinspitzchens c mit der Platinplatte auf p wieder hergestellt und der Strom von neuem geschlossen.

Mit diesem Apparate erfolgen die Stromunterbrechungen außerordentlich schnell, so daß das Platinspitzchen c wie ein beständig leuchtender Funke erscheint.

Um nun die Unterbrechungen regulieren zu können, sibt das Platinspitzchen c am unteren Ende einer Schraube, durch deren Drehung der Abstand des Ankers n vom Elektromagnet M genau bestimmt werden kann. Die Unterbrechungen des Stromes werden also beschleunigt oder verzögert, je nachdem die Schraube das Spitzchen hoch oder tief stellt. Die Messingfeder o ist so weit geführt, daß sie auch die Pole des Elektromagnets

bedeckt, damit der eiserne Anker n nicht in unmittelbare Berührung mit demselben kommt. Dies muß deshalb verhindert werden, weil sonst bei Unterbrechung des Stromes stets ein geringer Teil des Magnetismus in den Eisenkernen zurückbleiben würde, dessen allmähliche Anhäufung schließlich so stark wirken müßte, daß der Anker durch die Feder o nicht mehr loszuziehen wäre.

Um die Induktions-Apparate für physiologische Zwecke nutzbar zu machen, haben wir bereits bemerkt, daß man die Drahtenden der Nebenspirale nur mit metallenen Griffen zu versehen brauche, um, beim Festfassen derselben mit angefeuchteten Händen, wirksame Schläge zu erhalten.

Soll die physiologische Wirkung des Apparats gesteigert werden, so

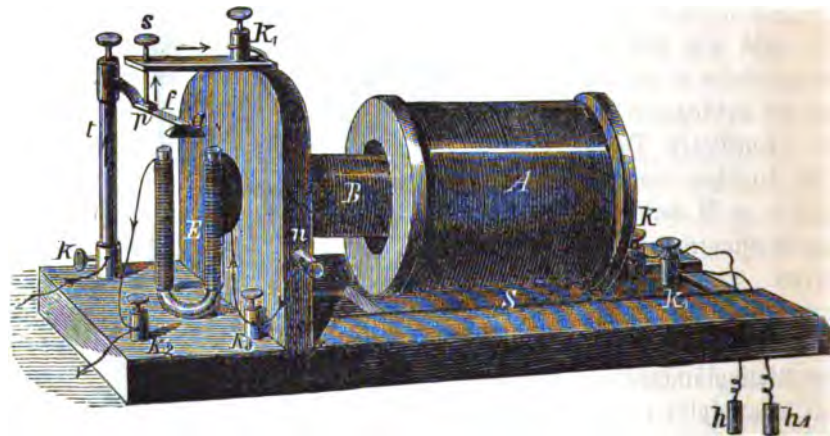


Fig. 297. Schlitten-Apparat.

schiebt man ein Bündelchen Eisenstäbe — 4 bis 5 starke Stricknadeln zusammen gebunden mit Eisendraht — in die Höhlung der Hauptspirale ein.

Einen sehr vortrefflichen Apparat hat du Bois-Reymond konstruiert, indem er zur praktischen Handhabung desselben die Haupt- und Nebenspirale miteinander in beständige Verbindung brachte. Der Apparat heißt Schlitten-Apparat (Fig. 297). Die Hauptspirale B ist an dem senkrecht gerichteten Brette unter K^1 befestigt so, daß ihre Achse horizontal gerichtet ist. Die Nebenspirale A , gleichfalls horizontal gerichtet, ist in die hölzerne Unterlage S gebettet, so daß die Spirale A mit ihrem Zentrum genau über die Spirale B geschoben werden kann. Die Unterlage S ist deshalb verschiebbar nach vorwärts und rückwärts. Wird nun A über B so geschoben, daß B ganz von A umgeben ist, so kann der Strom in B seine volle Wirkung auf A ausüben; wird aber A mehr und mehr zurückgeschoben, so daß von B , der Hauptspirale, immer mehr Drahtwindungen ohne Kontakt

bleiben, so kann der Strom in A nur noch schwach induzierend wirken. Durch Vor- und Zurückschieben der Holzunterlage S ist man also imstande, die Induktionsströme nach Bedarf zu regulieren. Durch die Klemmschraube K^3 steht die Hauptspirale B mit dem Elektromagnet E in leitender Verbindung, der wiederum bei K^2 mit der Batterie verbunden ist, während über K^1 und K die Verbindung mit einem elektrischen Hammer herzustellen ist, der die Funktionen des Ankers a mit der Feder f, welche durch die Schraube S stellbar ist, reguliert. Die Drahtenden der Nebenspirale A gehen in der Holzbettung S über K und K^1 rechts frei hinaus. In diese sind die Handgriffe h und h^1 eingeschraubt, durch welche nun die Einwirkung auf den Körper dessen, der sie mit angefeuchteten Händen ergreift, ausgeübt wird.

Mit diesem Schlitten-Apparat stellt man auch sogenannte elektrische Bäder her. Man befestigt dann an Stelle der Handgriffe h und h^1 zwei handgroße Metallplatten, taucht diese in einiger Entfernung voneinander in Wasser und bringt das erkrankte Glied zwischen sie, doch so, daß sie nicht berührt werden. Der eingetauchte Fuß, Arm, Finger u. s. w. entzieht dem Wasser nun einen großen Teil von der Elektrizität, welche dasselbe durchströmt und empfängt also bedeutende elektrische Erregung.

Die Reibungs-Elektrizität dient ebenfalls zur Erzeugung von Induktionsströmen. Dies läßt sich am besten beweisen durch die von Rieß konstruierten ebenen Induktionsspiralen. Dieselben bestehen aus kreisförmig geschnittenen Brettern, in welche konzentrische Ringe eingeschnitten sind, die durch gekrümmte Querschnitte zu einer spiralförmigen Figur vereinigt werden. In diese Figur wird ein Kupferdraht eingelassen, der mit Siegellack oder Pech gehörig befestigt wird. Die Spiralwindungen des ersten Brettes müssen denen des zweiten Brettes genau parallel laufen. Nun wird auf die horizontale Oberfläche der einen Scheibe eine Glasplatte und dann die andere Holzscheibe darüber gelegt, so daß die Spiralwindungen parallel laufen. Schraubt man nun mit Klemmschrauben Drähte in die obere Scheibe, und sendet den Entladungsschlag einer Leydener Flasche durch die Windungen der unteren Spirale, so wird, wenn man in diesem Augenblick die eingeschraubten Drähte einander nähert auf etwa 1—2 mm, ein Funken überspringen. Werden die Drähte der Klemmschrauben mit Handgriffen versehen, so erhält man einen schwachen Schlag, wenn man dieselben im gleichen Augenblick ergreift.

Bringt man eine mit dünnem übersponnenen Kupferdraht in vielfachen Windungen hergestellte Spirale mit einem Element in schließende Verbindung und alsdann zwei Handhaben so an, daß bei Unterbrechung des Stromes die Spirale durch den die Handhaben haltenden menschlichen Körper

geschlossen ist, so erhält man bei Öffnung der Kette augenblicklich einen mehr oder minder starken Schlag, der von dem Strome herrührt, der in der Spirale in dem Augenblick entsteht, in dem der Hauptstrom zu wirken aufhört. Dieser Strom heißt der Extrastrom.

Faraday, der Entdecker des Extrastroms, erklärt seine Entstehung auf folgende Weise:

Der elektrische Strom, der eine Spirale durchläuft, erzeugt in den parallel laufenden Windungen des Nebendrahtes, beim Schließen der Kette, einen entgegengesetzten, beim Öffnen derselben einen gleichgerichteten Induktionsstrom. Fehlt nun dieser Nebendraht, so erzeugt der Hauptstrom in seinem eigenen Leitungsdraht, in welchem eine Drahtwindung induzierend auf die andere wirkt, einen Induktionsstrom, und zwar ist derselbe beim Öffnen der Kette dem Hauptstrome gleich-, beim Schließen derselben entgegengesetzt gerichtet.

Um die Induktion elektrischer Ströme durch Magnete darzustellen, ersetzt man die Hauptspirale im Induktions-Apparat durch einen Magnet, den man bequem in die Nebenspirale ein- und ausziehen kann.

In Fig. 298 ist der Magnet mit N und S bezeichnet.

Wird nämlich ein weicher Eisenkern NS an Stelle der Hauptspirale in die Nebenspirale A eingeschoben, so wird derselbe magnetisch und unmagnetisch, entweder dadurch, daß man ihn durch die Influenz eines ihm genäherten Magnetpols magnetisch und durch Entfernung desselben unmagnetisch macht oder dieselbe Wirkung durch Schließung und Unterbrechung eines galvanischen Stromes, der den weichen Eisenkern durchströmt, hervorruft. Die Regel, welche Lenz hierfür formuliert hat, lautet: So oft die relative Lage eines Magnets oder eines Stromes gegen einen Stromleiter geändert wird, entsteht im Stromleiter ein Induktionsstrom, welcher bestrebt ist, die derjenigen entgegengesetzte Bewegung an der Lage des Magnets oder Stromes hervorzubringen, durch welche er selbst entstanden ist.

Die Stärke und elektromotorische Kraft der Induktionsströme kann nun auf mancherlei Weise gemessen werden. Die durch eine Reibungs-Elektrifiziermaschine oder durch eine Influenzmaschine hervorgerufenen elektrischen Ströme unterscheiden sich dadurch von den galvanischen Strömen, daß bei den ersteren eine sehr geringe Elektrizitätsmenge mit sehr großer elektromotorischer Kraft (Potentialdifferenz oder Spannung) in Bewegung gesetzt wird, während bei letzteren gerade das Gegenteil der Fall ist.

Deshalb sind die durch Maschinen hervorgebrachten Elektrizitäten überall wirksamer, wo es auf große Spannung (Potentialdifferenz) ankommt, wie z. B. zu physiologischen Wirkungen und zur Funkenentladung; wo aber die Stromstärke (die Quantität der Elektrizität, bewegt in einer Zeit-

einheit) maßgebend ist, wie bei den chemischen, thermischen und elektromagnetischen Wirkungen, haben galvanische Ströme die größere Wirkungsfähigkeit.

Zwischen den Reibungs-Elektrizitäten und den galvanischen Strömen stehen nun die Induktionsströme. Sie erzeugen eine größere Menge von Elektrizität als die Maschinen und eine stärkere Spannung als die Ketten oder Batterien. Zur Einwirkung auf lebende Körper und zu Versuchen

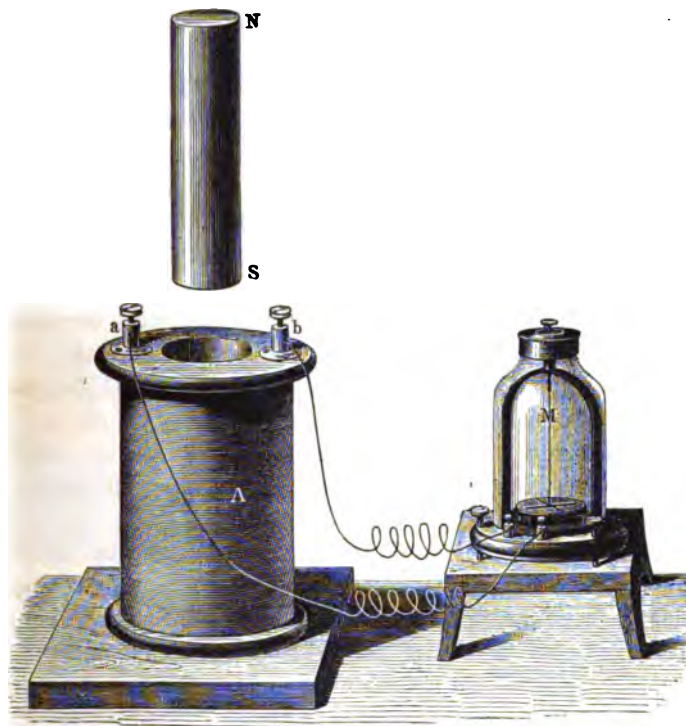


Fig. 298. Magnet-Induktion.

mit Hervorbringung elektrischer Funken sind sie deshalb vorzüglich geeignet. Da bei diesen Vorrichtungen das Öffnen und Schließen des Stromes sehr wichtig ist und seine Regulierung von dem Willen des Experimentators abhängen muß, so wurden das Blitzrad und der elektrische Hammer nebst dem Schlitten-Apparat erfunden.

Es ergibt sich aber aus den Versuchen auch, daß der Strom, der beim Öffnen im Induktions-Apparat hervorgerufen wird, von dem Schließungsstrom verschieden ist und man bedarf deshalb eines Apparates, der es gestattet, daß entweder nur die Öffnungs- oder nur die Schließungsschläge

der Induktionsspirale zur Wirkung gelangen. Dove erfand dazu 1838 den von ihm Disjunktör genannten Apparat, dessen wesentliche Einrichtung folgende ist:

Zwei ganz gleiche Messingräder werden auf einer gemeinschaftlichen Umdrehungsachse so befestigt, daß das eine durch ein dazwischen geschobenes Ebenholzstück vor der metallischen Berührung mit ihr geschützt ist. Die Mantelfläche beider Räder ist durch 6 aufgenietete Stücke von Buchsbaumholz in 12 gleiche Abteilungen geschieden, so daß also eine Metall- mit einer Holzabteilung wechseln. Auf die Achse und die Räder schleifen 4 Metallfedern auf und zwar zwei auf dem Umfange beider Räder und zwei auf der Achse. Diese Federn sind durch Messingstreifen mit entsprechenden Klemmschrauben in Verbindung und zwar die Radfedern links und die Achsenfedern rechts von der Radwelle oder umgekehrt. Zu zweien der Klemmschrauben führen die Drähte der Batterie, in deren Schließungsbogen die Hauptspirale und zu den anderen beiden die Drähte der über die Hauptspirale gezogenen Nebenspirale. Die beiden Räder sind auf der Welle so gestellt, daß das eine um die halbe Breite einer Randabteilung gegen das andere verstellt ist. Geschieht nun eine Umdrehung, so geht die eine Radfeder über eine Trennungsstelle von Holz und Messing, die andere steht auf der Mitte eines Buchsbaumstückes oder auf der Mitte einer Messingabteilung. In diesem letzteren Falle entsteht ein Induktionsstrom. Je nach der Richtung, in welcher die Drehung erfolgt, werden nun entweder Öffnungs- oder Schließungsschläge erteilt.

Schaltet man zwischen dem entsprechenden Rade und dem Drahte der Nebenspirale einen Leiter ein, so wird derselbe also, je nach der Richtung der Umdrehung nur von Öffnungs- oder Schließungsschlägen durchströmt.

Bildet nun z. B. der menschliche Körper die Einschaltung in dem Schließungsbogen einer Induktionsspirale, so erhält derselbe, wenn der Disjunktör so gedreht wird, nur sehr kräftig wirkende Öffnungsschläge, im entgegengesetzten Falle nur die bedeutend schwächeren Schließungsschläge.

Das Gleiche ergibt sich, wenn man den Disjunktör bei Funkenentladungen verwendet: die Öffnungsfunken haben eine viel größere Schlagweite, als die Schließungsfunken.

Wird der Induktions-Apparat zum Magnetisieren von Stahl angewendet, so werden Stahlnadeln stärker magnetisiert, wenn der induzierte Strom durch Drahtbündel strömt; soll weiches Eisen kräftig magnetisiert werden, so läßt man den Strom durch den Eisenstab gehen.

Diese Erfahrungen wurden nun zu Versuchen angewendet, die durch den Induktions-Apparat hervorgerufenen Spannungs-Erscheinungen noch mehr zu steigern, um bei entsprechender Konstruktion der Apparate dahin

zu gelangen, die Ströme zwischen den Spitzen zweier einander genäherter Drähte durch Überspringen als Funken sichtbar zu machen. Das gelang 1846 zuerst Sinsteden dadurch, daß er zur Konstruktion der Nebenspirale einen sehr langen, dünnen Kupferdraht, mit guter Isolierung der einzelnen Windungen, gebrauchte. Diese Entdeckung verfolgte Ruhmkorff und erfand den nach ihm benannten Ruhmkorff'schen Funken-Induktor. Derselbe (Fig. 299) setzt sich zusammen aus 3 Teilen:

1. dem Induktor; 2. dem Stromwender; 3. dem Unterbrecher. Der Induktor besteht aus zwei Drahtspiralen von 35 bis 65 cm Länge und von 16 bis 24 cm Durchmesser, welche konzentrisch ineinander geschoben

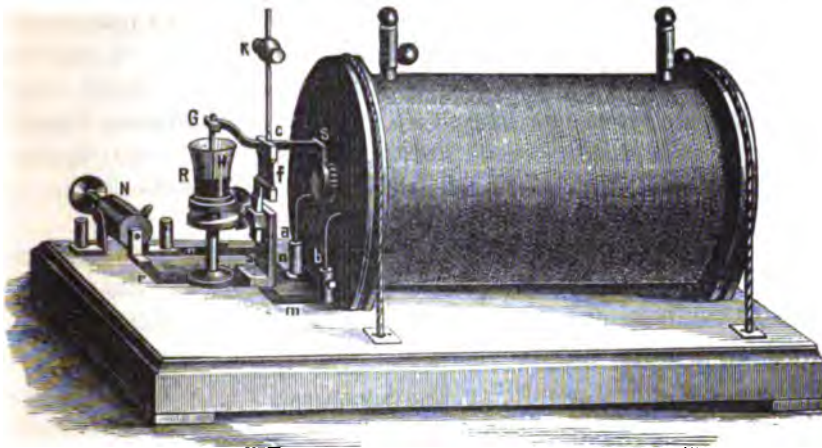


Fig. 299. Ruhmkorff's Funken-Induktor.

sind. Die innere, induzierende Rolle besteht aus einem Cylinder von Pappe, der inwendig mit ausgeglühten Eisendrähten ausgefüllt und außen mit 100 bis 300 Windungen dicken Kupferdrahtes umwickelt ist, dessen Enden bei a und b heraustreten. Die über sie geschobene äußere, die Induktions-Rolle, besteht aus einem mit haarfeinem Kupferdrahte von 20 bis 100 km Länge umwickelter Glaszylinder, der in zwei Klemmschrauben endigt, welche oben aufgesetzt sind. Da die Isolierung eine vollkommene sein muß, so sind die Kupferdrähte mit Seide übersponnen und gefirnisset und die Drahtwindungen durch dünne Guttaperchablätter oder Schichten geschmolzenen Schellacks getrennt. Zwei dicke Glasplatten, mit je einer Öffnung in der Mitte für die Drähte, halten die Drahtspiralen zusammen.

Den Strom nun beliebig schließen und umkehren zu können, ist die Aufgabe des Stromwenders. Die Hartgummiwalze N kann um zwei Stahlzapfen auf Messinglagern durch einen Handgriff gedreht werden.

Dieselbe trägt oben zwei Kupferstückchen aufgelötet, von denen jedes mit einem Zapfen der Walze in leitender Verbindung steht. Gegen diese Walze können zwei Kupferfedern, welche rechts und links mit einer Klemmschraube angebracht sind, angeedrückt werden, nachdem sie mit den Poldrähten einer galvanischen Batterie in Verbindung gebracht sind. Werden nun die beiden Metalllager der Walze N mit den Enddrähten der induzierenden Spirale a und b verbunden, so geht der induzierende Strom durch die eine der beiden Klemmschrauben und die mit ihm verbundene Feder nach dem einen Kupferstückchen auf N und durch die mit ihm in Verbindung kommende andere Feder wieder zur Batterie zurück. Je nachdem nun die Walze N gedreht wird, erfolgen die Wirkungen. Wird sie um 90 Grad gedreht, so berühren die Federn die aufgesetzten Kupferstückchen nicht und der induzierende Strom ist unterbrochen, dreht man sie aber um 180 Grad, so geht der induzierende Strom ebenfalls durch die entsprechende Feder, dagegen durch Kupferstückchen, Zapfen und Zapfenlager wieder in die induzierende Spirale zurück und erst nachdem er die Windungen derselben in nun entgegengesetzter Richtung durchlaufen hat, kehrt er auf demselben Wege zur Batterie zurück.

Die willkürliche Schließung und Öffnung des induzierenden Stromes liegt dem Unterbrecher ob, der nach dem Prinzip des magnetischen Hammers konstruiert ist. Eine nach oben verschiebbare Zahnstange trägt die vertikal gerichtete Messingfeder f, welche oben mit dem dreiarmigen Hebel o verbunden ist. Der vertikale Arm des Hebels trägt die Messingkugel k, durch deren Verschiebung die Schwingungsdauer der Feder f reguliert wird, der horizontale Arm c dagegen den Anker s, unmittelbar über dem sichtbaren Drahtbündel, während der andere horizontal gerichtete Arm bei g das Platinspitzchen H trägt, welches in das Gefäß R taucht, das zum Teil mit Quecksilber gefüllt ist.

Der Boden dieses Gefäßes R ist durchbohrt und trägt in der Durchbohrung einen eingekitteten Platinstift, der das Quecksilber mit dem Messingständer T, auf welchem R steht, in leitende Verbindung setzt. Der Kupferstreifen n n verbindet nun das eine (Fig. 299) nicht sichtbare Zapfenlager mit dem bei a hervorragenden Drahtende der induzierenden Spirale, der Kupferstreifen m das Drahtende b mit dem Träger der Zahnstange des Unterbrechers S, während der Träger des Quecksilbergefäßes T wieder durch den Kupferstreifen r mit dem anderen Zapfenlager des Stromwenders verbunden ist.

Wird nun der Stromwender mit den Poldrähten einer Batterie durch die Klemmschrauben verbunden und die Walze N so gestellt, daß die Messingfedern die Kupferstückchen berühren und geht nun der Strom aus

dem Stromwender über a in die induzierende Spirale, so lehrt er über die Feder des Unterbrechers, den Platinstift, das Quecksilber und den Stromwender wieder zur Batterie zurück. Der Eisendrahtbündel im Induktor wird durch den Strom magnetisch, dadurch wird der Anker des Unterbrechers niedergezogen und das Platinstäbchen H in R aus dem Quecksilber gehoben. Hierauf ist der Strom unterbrochen, das Eisendrahtbündel wird wieder unmagnetisch, die Feder des Unterbrechers zieht den Anker zurück und das Platinstäbchen taucht wieder in das Quecksilber, um den Strom sofort zu schließen u. s. w.

Es werden mit diesem Apparat Öffnungsströme hervorgebracht, welche an Stärke alle mit Maschinen hervorgebrachten elektrischen Ströme übertreffen. Solche Apparate, für große Wirkungen berechnet, haben Drähte von 100 km Länge bei $\frac{1}{8}$ mm Stärke und zur Unterbrechung des Stromes wird bei ihnen ein von Foucault erfundener Apparat angewendet, den er „Interruptor“ (Unterbrecher) nennt.

Sehr bedeutend wird die Wirkung des Ruhmkorff'schen Funken-Induktors gesteigert, wenn in den Schließungsbogen der Hauptspirale ein nach dem Prinzip der Leydener Flasche (S. 176) oder der Franklin'schen Tafel (S. 171) konstruierter Kondensator eingeschaltet wird so, daß im Augenblick der Unterbrechung des Stromes, die Hauptspirale durch ihn geschlossen ist.

Bei den von Stöhrer in Dresden hergestellten Funken-Induktoren sind die Haupt- und Nebenspiralen nicht wagerecht, sondern senkrecht gestellt. Dieselben sind mit einem Quecksilber-Interruptor versehen und auf einen Kasten gestellt, in dem sich der Kondensator befindet. Auf den kleineren Induktionsspiralen sind etwa 18 000 Windungen, auf den größeren 36 bis 37 000 angebracht.

Wird ein Funken-Induktor mit einer Batterie von der nötigen Stärke in Verbindung gesetzt und der Unterbrecher kommt in Thätigkeit, so springen zwischen den Metallspitzen, die mit den Drahtenden der Induktionsrolle leitend verbunden sind, kräftige Funken über. Dieselben werden bei den kleineren Stöhrer'schen Apparaten in einer Länge von 6 bis 8 cm, bei den größeren von 20 cm, bei größten Ruhmkorff'schen bis zu 45 cm erzielt. Man wendet nun bei größeren Apparaten eine Vorrichtung an, den Auslader oder Entlader, zwischen dessen Spitzen die Funken überspringen.

Man schaltet eine kleine Leydener Flasche L durch eine Nebenschließung in den Induktions-Apparat ein, indem man sie mit ihm durch die Drähte d und i verbindet und zwar so, daß d mit dem einen und i mit dem anderen Pol der Induktionsspirale die Verbindung herstellt (Fig. 300).



(Wie ersichtlich ist aus der Abbildung, verbindet d die innere Belegung und i die äußere Belegung der Leydener Flasche L mit der Induktionsspirale.) Die Elektrizität wird nun vorerst bis zu einem gewissen Grade auf den Belegungen von L angehäuft, ehe ein Überspringen des Funkens an den Spitzen des Ausladers s und t erfolgen kann, wenn man dieselben bis auf die Schlagweite der Flasche einander nähert. Die hier überspringenden Funken sind kräftig, hell und verbreiten ein durchdringendes eigentümliches Geräusch.

Will man eine beständige Ladung in einer elektrischen Batterie erzielen, so darf man diese nicht in eine Nebenschließung einschalten, sondern man muß den Draht i über D nach B führen, den Draht c weglassen und an seiner Stelle den Draht d zum Ringe der Stahlspitze t führen.

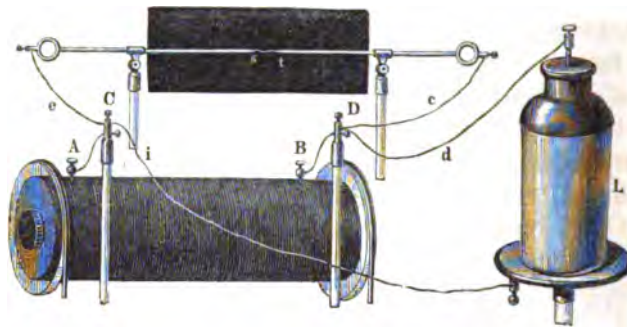


Fig. 300. Metall-Entladung.

Der Entladungsschlag kann hier zu solcher Kraft gebracht werden, daß er dicke Glasplatten durchschlägt.

Stellt man die Spitzen s und t des Ausladers ziemlich nahe zusammen, so kann man an dem überschlagenden Funken deutlich zwei Teile unterscheiden, nämlich einen hellleuchtenden in der Mitte und einen weniger leuchtenden, orangefarbenen um denselben herum, den Lichtstreifen und seine Aureole. Bringt man während des Funkenüberschlagens den Elektromagnet in Thätigkeit, so bleibt der Lichtstreifen unverändert, die Aureole aber nimmt die Form einer halbkreisförmigen Scheibe an, die mit ihrer Ebene rechtwinklig auf der Verbindungslinie der Pole steht.

Beim Übergehen der Funken wird besonders stark der negative Pol-draht erwärmt. Besteht derselbe aus dünnem Eisendraht, so wird er leicht zum Glühen gebracht und kann dann zum Sprengen von Minen angewendet werden. Man steckt dann in jede Patrone zwei dicke, isolierte Zuleitungsdrähte, welche durch einen sehr dünnen, kurzen Stahl- oder Platindraht leitend verbunden sind, der mit Schießpulver oder einer anderen schnell entzündlichen Masse umgeben ist. In der preussischen Armee war

seit 1839 ein Apparat eingeführt, den Dr. Robert Graßmann in Stettin, damals Vorkier-Offizier, berechnet und ausgeführt hat.

Sollen aber mehrere Minen gleichzeitig entzündet werden, so wendet man die Funkenentzündung an. Siemens und Markus haben dafür eigene Apparate hergestellt. Neuerdings ist auch ein sicher wirkendes Verfahren von Stateham erprobt worden. Derselbe entdeckte, daß ein Kupferdraht, den er mit geschwefelter Guttapercha überzogen hatte, sich im Laufe einiger Monate mit Schwefelkupfer überzog. Wird nun die obere Hälfte der Guttaperchahülle an einer Stelle des Drahtes entfernt und in diesem Ausschnitte ein kurzes Stückchen des Drahtes gleichfalls, so bleibt an der Unterbrechungsstelle die andere Hälfte der Guttaperchahülle mit Schwefelkupferüberzug zurück. Schlägt jetzt an dieser Stelle ein hinlänglich starker Funke über, so macht er den Schwefelkupferüberzug glühend und entzündet die Minenladung. Der auf dem Induktionswege erzeugte Glühdraht findet auch in der Chirurgie vorteilhafte Verwendung an Stelle des früher gebrauchten Glüh eisens, indem man eine Schlinge aus Platindraht um das abzuschnürende Objekt legt und dieselbe dann durch Druck auf eine Kontaktvorrichtung zum Glühen bringt (die galvano-kautische Schlinge) oder den Platindraht um einen Porzellanstift in isolierten Windungen wickelt und dann glüht (Porzellanbrenner). Auch führt man den mit einer Schutzhülle von Glas umgebenen weißglühenden Platindraht in den Körper, um innere Höhlungen desselben zu durchleuchten.

Die Verwendung galvanisch glühender Drähte zur Erzeugung des elektrischen Glühlichts werden wir später behandeln.

57. Die Wirkungen der Induktionsströme.

Bereits auf Seite 144 bis 165, wo wir die Reibungs-Elektrizität in ihren Wirkungen als Lichterscheinung und elektrischer Funke behandelten, haben wir einen Teil der am Schlusse des vorgehenden Kapitels erwähnten Vorgänge, die nun auch für die Induktions-Elektrizität in Anspruch genommen wurden, für die Reibungs-Elektrizität erklärt und auch in diesem Kapitel müssen wir auf die erwähnten Seiten hinweisen zu besserem Verständnis. Werden wir doch späterhin bei der Optik das, was für die Spektralanalyse von Wichtigkeit ist, auf unsere jetzigen Auseinandersetzungen und Erklärungen zurückführen müssen. Denn die Wirkungen der Induktionsströme und die Wirkungen der Reibungs-Elektrizitäten sind die gleichen und es sind auch hier dieselben einzuteilen in: physiologische, chemische und mechanische, sowie in Wärme- und Licht-Wirkungen.

Die physiologischen Wirkungen der Induktionsströme sind außerordentlich stark und es genügen schon sehr kleine Apparate, um auf Tiere und Menschen kräftig einzuwirken. Stärkere Apparate töten kleinere Tiere, wie Hunde, Kaninchen, Meerschweinchen u. dgl. augenblicklich und von einem starken Apparate reicht ein einziger Öffnungsstrom hin, einen erwachsenen Menschen zu erschlagen.

Die chemischen Wirkungen der Induktionsströme erfolgen entweder nur an den Elektroden und sind rein elektrolytisch oder sie sind Wirkungen der Wärme-Entwicklung und zeigen sich in der ganzen Bahn der Entladung.

Will man die mechanischen Wirkungen nachweisen, so bringt man den Körper, von dem der Entladungsschlag ausgehen soll, zwischen die beiden Messingstäbe eines Henley'schen Ausladers (S. 182 Fig. 139) und verbindet dieselben mit den Enden der Induktionsspirale.

Desgleichen braucht man denselben Auslader, um die Wärmewirkungen darzustellen. Man verbindet die Messingstäbe desselben mit den Enden der Induktionsspirale und diese dann unter sich durch einen kurzen, sehr dünnen Eisendraht. Derselbe schmilzt und brennt ab, sobald der Strom durch den Apparat geht. Nähert man die Stäbe des Ausladers so einander, daß zwischen ihnen nur kurze Funken überschlagen, so entzünden sich, zwischen sie gehalten, leicht brennbare Körper wie Schießbaumwolle, Petroleum, Leuchtgas, Spiritus u. s. f.

Betreffs der Lichtwirkungen wird, wie bei der Reibungs-Elektrizität, gleichfalls eine Gas- und eine Metall-Entladung unterschieden.

Will man die Erscheinungen bei der ersteren Entladung zeigen, so muß man sich des S. 156 Fig. 118 bereits dargestellten elektrischen Gieß bedienen oder man wendet die Glocke einer Luftpumpe an, welche mit einer Stopfbüchse versehen ist, durch die unten ein Stab hindurchgeht, der eine Kugel trägt. Man steckt dann in die zentrale Öffnung des Tellers der Luftpumpe ein kurzes Stäbchen, welches eine zweite Kugel trägt; hierauf setzt man den Teller mit dem einen Pole, die Fassung der Glocke mit dem anderen Pole des Funken-Induktors in leitende Verbindung. Alsdann wird die Luft soweit ausgepumpt, daß die Barometerprobe bis auf etwa 1 mm heruntergegangen ist. Die positive Elektrizität strömt dann von der oberen zur unteren Kugel herab in leichtgekrümmten horizontalen Bogen mit purpurrotem, von dichten schwarzen Streifen durchsetztem Lichte, während die negative Kugel tiefblau aufleuchtet. Bringt man vor dem Auspumpen der Luft in den Rezipienten der Luftpumpe einige Tropfen Alkohol oder Terpentinöl, so tritt die schwarze Streifung besonders deutlich hervor. Dabei bleibt das vom positiven Pol ausgehende rote Licht stets durch einen vollkommen dunklen Zwischenrand von dem blauen Lichte und dem negativen Pol getrennt.

Um die jedesmalige mühsame Arbeit mit der Luftpumpe zu ersparen, hat nun Gassiot und nach ihm Geißler luftleere (evacuierte) zugeschmolzene Glasröhren hergestellt unter Anwendung der Quecksilber-Luftpumpe.

In diesen Geißler'schen Röhren befinden sich verschiedene Gase in sehr verdünntem Zustande, in welchen Platin-Elektroden bleibend eingeschmolzen sind.

In Figur 301 ist eine solche Röhre mit dem dazu gehörigen Gestell dargestellt.

Die an den Enden herausragenden Drähte sind die Platindrähte, welche die Elektroden darstellen, dieselben werden mit den Polen des Funken-Induktors verbunden. Die Lichterscheinungen in der Röhre sind gleich den eben beschriebenen Erscheinungen in der Luftpumpenglocke. Die Färbung des Lichtstromes, der vom positiven Pol ausgeht, ist von verschiedenen Um-

ständen abhängig, einmal von der Weite der Röhren, dann von dem Verdünnungsgrade des Gases und dann von der Intensität des Entladungsstromes. Quecksilberdampf in den Röhren erzeugt eine Bleifarbe, verdünntes Wasserstoffgas ist in dem verengerten Teil einer Röhre schön purpurrot, in den Ballons dagegen grünlich-blau, und kräftige Induktionsströme verwandeln das Purpurrot in Drangerot, während die Funken vom Konduktor einer Elektrifiziermaschine dasselbe in Wasserblau umändern.

Um Fluoreszenz-Wirkungen hervorzubringen, legt man auf den Teller der Luftpumpe ein Stück Drahtnetz, auf welches man einen Becher aus Uranglas setzt, hierauf schiebt man durch die Stopfbüchse einen Messingstab, der an seinem Ende eine Kugel trägt so weit hinab, daß er auf dem Boden des Uranglases aufsitzt. Bringt man dann, nachdem die Luft ausgepumpt ist, den Messingstab mit dem positiven und den Körper der Luftpumpe mit dem negativen Pol des Induktors in Verbindung, so strömt das Purpurlicht kastadenartig über den Rand des Uranglases, das im Gegenseite zu ihm prachtvoll grün leuchtet. Aus Thüringer Glas gefertigt, leuchtet der Becher hell apfelgrün, aus englischem Glase blau. Will man die Fluoreszenz (Phosphoreszenz) anderer Körper unter der Einwirkung des negativen Lichtes zeigen, so schmilzt man sie in Glasbehältern ein, die die Form eines an beiden Enden kegelförmig ausgezogenen Cies haben, dann

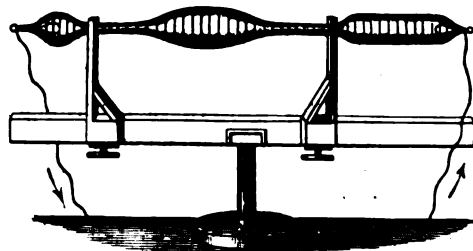


Fig. 301. Geißler'sche Röhre.

leuchtet Rubin und Kalkspat rot, Bhenakit (Beryllerde-Silikat) blau, Bektolith schwefelgelb, Smaragd karmoisin, einige Spielarten von Diamanten grün u. f. w. Sobald man leuchtende Sterne herstellen will, läßt man diese Röhren mittels eines elektromagnetischen Motors um eine auf der Mitte der Röhrenachse senkrecht angebrachte, horizontal liegende Achse rotieren. Die Strahlen des negativen Lichtes werden von einem festen Körper, auf den sie treffen, aufgefangen und sehr leichte Körper werden von ihm in Bewegung gesetzt, wie der von Crooker erfundene Apparat zeigt. Bringt man nämlich innerhalb einer weiten evakuierten Röhre eine gläserne Schienenbahn so an, daß sie in die Mitte der Röhre zu stehen kommt und legt auf dasselbe ein Rädchen, dessen Speichen Schaufeln aus Glimmer bilden, und schmilzt an den Enden der Röhre, oberhalb der Mitte, Elektroden aus Aluminiumdraht ein, so rollt die Achse des Rades, sobald man die Elektroden mit den Polen des Induktors verbindet, nach der positiven Elektrode hin.

Ebenso kann nachgewiesen werden, daß ein Körper, der von strahlender Materie getroffen wird, sich erwärmt. Wenn man viele derartige Strahlen in einem Brennpunkte (Fokus) vereinigt, so kann man in demselben Stridiumplatin weißglühend machen.

Am vollkommensten entwickeln sich die Erscheinungen des negativen Lichtes bei einem gewissen Grade der Verdünnung, etwa bei einem Drucke von ein Milliontel Atmosphäre; bei höherer Verdünnung werden sie wieder schwächer und hören im vollkommen leeren Raume ganz auf.

Auffällig ist bei allen Erscheinungen der elektrischen Entladung, daß die Vorgänge am positiven Pol so durchaus verschieden sind von den Vorgängen am negativen Pole. Diesen Umstand zu erklären, geht man von folgender Betrachtung aus:

Jeder luftumflossene Körper bedeckt sich mit einer Luftschicht, welche vermöge der zwischen seinen und den Luftteilen bestehenden Anziehungskraft fest an ihm haftet. Die metallischen Pole, welche in die Röhren hineintragen, sind von solchen verdichteten Gasschichten überzogen. Macht man nun einen Pol negativ elektrisch, so werden die Teile seiner Gasschicht auch negativ elektrisch und werden, sobald die elektrische Abstoßung stark genug geworden ist, von dem Pol weggeschleudert, da ihre Anziehungskraft dann aufgehoben ist. Nun hat Volta bereits dargethan, daß der Wasserstaub, der sich unterhalb eines Wasserfalles bildet, negativ elektrisch ist, daß also beim Zerstäuben des Wassers (also auch beim Zertrümmern von anderen Körpern) Elektrizität entwickelt wird. Darnach müssen wir auch annehmen, daß die von den Polen abgestoßenen Teilchen negativ elektrisch werden und daß die vom negativen Pol abgestoßenen Teilchen noch die im Augenblick der

Losreißung entwickelte negative Elektrizität hinzubekommen, also stärker negativ elektrisch sind, als vorher. Dagegen müssen dann die am positiven Pol positiv elektrisierten Teilchen, weil ihre positive Elektrizität durch die beim Losreißung entstandene negative Elektrizität teilweise aufgehoben wird, schwächer positiv sein als vorher. Die Gaspartikel erfahren also am negativen Pol eine kräftigere Abstoßung und fliegen mit stärkerer Geschwindigkeit weg, als am positiven Pol. Deshalb vermögen sie störende Einflüsse besser zu überwinden und beim Stoße gegen feste Körper Bewegung, Licht und Wärme hervorzurufen, während zu solchen Wirkungen die Kraft der vom positiven Pol losgelassenen Teilchen nicht groß genug ist. Die Erklärung dagegen, warum die elektrische Entladung in einem stark verdünnten Gase ganz anders vor sich zu gehen scheint, wie in mäßiger verdünnten Gase muß man in dem Wesen des luftförmigen Zustandes suchen.

Man denkt sich bekanntlich alle Körper aus kleinsten Teilchen bestehend, den Atomen, von denen je zwei oder mehrere wieder ein Molekül bilden. Diese Atome bzw. Moleküle befinden sich in den verschiedenen Aggregatzuständen der Körper in den verschiedensten Stadien der Annäherung. Bei den Gasen sind die Entfernungen zwischen ihnen sehr weite, im Verhältnis zu den festen Körpern und sie können also den Raum völlig frei nach allen Richtungen mit großer Geschwindigkeit durchheilen und bei gegenseitigem Zusammenstoß voneinander wie elastische Bälle abprallen.

Wird nun das in einem Glasgefäße eingeschlossene Gas durch Auspumpen verdünnt, so wird das Gedränge der Moleküle natürlich geringer, der Weg, den jedes einzelne durchlaufen kann, ohne mit dem anderen zusammenzuprallen, ist freier und das Molekül kann ihn geradlinig gestalten. Diese Freiheit des Weges muß sich also mit der Verdünnung des Gases steigern und die am negativen Pol kräftig zurückgestoßenen Moleküle, welche nun senkrecht zur Polfläche in gerader Linie enteilten, können diese Bewegung weiter fortsetzen, als bei geringerer Verdünnung. Der von ihnen frei durchmessene Raum bleibt deshalb dunkel, und erst, wenn ein Zusammenprall der Moleküle stattfindet, wird ein Teil ihrer fortschreitenden Kraft dabei in Wärme umgesetzt und sie leuchten auch mit der dem betreffenden Gase eigentümlichen Farbe. Daher ist der dunkle Raum um den negativen Pol anzusehen als die mittlere freie Länge des Weges, welchen ein Molekül zurücklegen kann, ohne mit einem anderen zusammenzuprallen. Crooker glaubt, daß in einem höchst verdünnten Gase die Moleküle in einen Zustand übergehen, der von dem gewöhnlichen Zustand der Gaspartikel ganz verschieden ist und den er deshalb vorschlägt, als vierten Aggregatzustand anzusehen und ihn den strahlenden zu nennen.

58. Die magneto-elektrischen Induktions-Apparate als Umkehrung der elektromagnetischen Maschinen.

Bei der Induktion der elektrischen Ströme durch Magnete haben wir das von Lenz formulierte Gesetz kennen gelernt, daß „jede relative Bewegung zwischen dem Magnetpol und dem Stromleiter, in diesem letzteren einen Induktionsstrom von solcher Richtung erzeugt, daß durch ihn der ursprünglichen Bewegung entgegengesetzte Wirkung erfolgt“.

Die Gültigkeit dieses Gesetzes wird bewiesen dadurch, daß man jeden elektromagnetischen Motor, dem man einen dauernd wirksamen Magneten einfügt, in einen Induktions-Apparat verwandelt und durch Aufwendung von Arbeit in Bewegung setzen kann. Wir haben das an den Apparaten von Ritchie, Birli und Werner Siemens (S. 422 ff.) bereits ausführlich nachgewiesen.

Ebenso haben wir die von Antonio Pacinotti in Florenz 1860 erfundene elektromagnetische Maschine, den Ring-Induktor dort (S. 424) besprochen. Pacinotti selbst beschrieb sie im Jahre 1864 und gab in dieser Beschreibung bereits an, daß diese Maschine aus einem elektromagnetischen in einen magnet-elektrischen Motor verwandelt werden könne.

Er erklärte: „Wenn man den Elektromagnet der Maschine durch einen permanenten Magnet ersetzt und den Ring rotieren ließe, so hätte man eine magnet-elektrische Maschine, welche einen kontinuierlichen, stets in derselben Richtung fließenden Induktionsstrom liefert“.

Dadurch hat sich Pacinotti den Ruhm gesichert, der Erfinder der magnet-elektrischen Maschinen zu sein.

Das Prinzip aber, welches diesen Maschinen zu Grunde liegt, ist zuerst von Dr. Ernst Werner Siemens (geb. am 13. Dezember 1816) im Jahre 1866 nachgewiesen worden. Dasselbe beruht darin, daß der von der Maschine selbst erzeugte Induktionsstrom dazu gebraucht wird, den Elektromagnet dauernd magnetisch zu erhalten.

Dieses Siemens'sche oder das dynamo-elektrische Prinzip scheidet die Motoren in:

1. Apparate, welche ohne Anwendung von im Voraus vorhandenen Stahlmagneten oder Elektromagneten durch Aufwand von Arbeit elektrische Ströme erzeugen; dieselben heißen dynamo-elektrische Maschinen;
2. Apparate, welche den Magnetismus nicht durch den selbst erzeugten Strom erhalten, sondern auf beliebigem Wege; dieselben heißen magneto-elektrische Maschinen.

Beide Arten von Maschinen erzeugen Elektrizität auf Kosten der aufgewendeten Arbeit.

Die Umwandlung der Pacinotti'schen Maschine geschah erst 1871 durch Zénobe Théophile Gramme aus Belgien, Modellstecher bei der Compagnie d'Alliance. Um aber die durch Gramme in Wahrheit erzielte Wirksamkeit der dynamo-elektrischen Maschine recht klar zu fassen, müssen wir erst die Maschinen beschreiben, welche H. Wilde im Jahre 1866 in Manchester in England und W. Siemens in Berlin ausgeführt haben.

Wilde faßte den Gedanken, die mittels einer magneto-elektrischen Maschine erzeugten Ströme zur Herstellung eines starken Magnets zu benutzen, welcher dann wiederum elektrische Ströme von größerer Wirkungskraft in einem Induktor erzeuge, der zwischen den Schenkeln desselben in Rotation versetzt würde. Er führte den Gedanken in folgender Weise aus (Figur 302):

Eine magneto-elektrische Maschine I wirkt mit ihren permanenten Stahlmagneten M M auf einen von ihnen umschlossenen Siemens'schen Cylinder-Induktor n, welchen die Polschuhe C C

halten. Die Wechselströme des Induktors werden durch einen Stromwender (Kommutator) gleichgerichtet und durch Schleiffedern nach den Klemmschrauben a und b geführt. Mit diesen Klemmen sind die Enden der Drahtwindungen des Elektromagnets E verbunden. Der Elektromagnet E ist sehr stark und wirkt als Strombildner in der unter I stehenden Maschine II. Seine Polschuhe K K sind durch den Streifen L voneinander isoliert um den Cylinder-Induktor m gelegt, der durch einen Dreibriemen in Drehung versetzt wird, zugleich mit dem Induktor n der

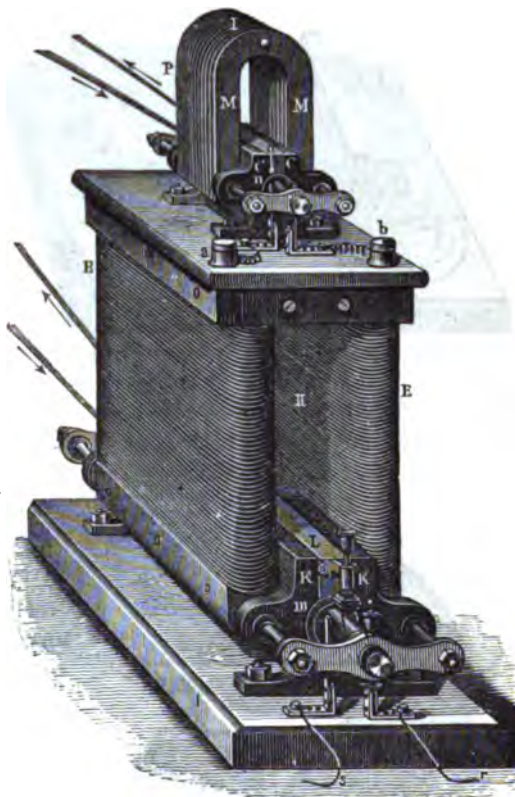


Fig. 302. Wilde's magneto-elektrische Maschine mit Siemens'schem Cylinder-Induktor.

Maschine I. Der jetzt entstehende stärkere Strom könnte nun einen dritten Magnet, diese drei zusammen dann wieder einen vierten u. s. f. erzeugen, doch ist dem Ideale auch hier eine reale Grenze gesetzt. Man läßt es in der Praxis bei drei Induktoren. Dieselben erzeugen bei einem Umtriebe von 1500 Drehungen auf die Minute einen so mächtigen Strom, daß

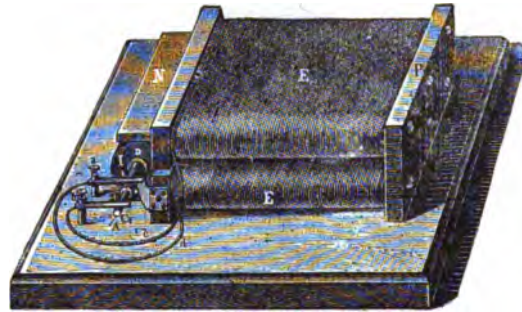


Fig. 303. Erste Siemens'sche Dynamo-Maschine.

Eisenstäbe von 6 mm Durchmesser und 40 cm Länge glühend gemacht und geschmolzen werden können. Gehen die Ströme über Kohlenspitzen von 10 bis 12 mm Durchmesser, so leuchten sie mit der Kraft von 4000 Wachskerzen.

Diese Wilde'sche Maschine war aber sehr teuer

und ihr Gebrauch kostspielig, denn zu ihrem Betriebe sind etwa 8 Pferdekkräfte nötig und sie selbst wiegt 6000 kg. Die erste Dynamo-Maschine, welche W. Siemens konstruierte, war viel einfacher. Aus zwei Platten

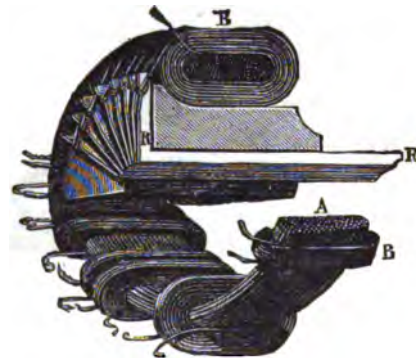


Fig. 304. Gramme'scher Ring-Induktor.

von weichem Eisen, jede etwa 60 cm lang, 50 cm breit und 10 cm dick, werden, nachdem sie mit isoliertem Kupferdraht umwunden sind, so aufeinander befestigt, daß sie einen einzigen Elektromagnet E und E (Fig. 303) darstellen. Dies geschieht durch eine dritte Platte P. Die Drahtenden des Elektromagnets c d sind befestigt in den Klemmschrauben a und b, welche verbunden sind mit den aufschleifenden Federn 1 u. 2.

Die Feder 2 liegt auf dem Ende der Welle A, die Feder 1 auf dem Kommutator n, der in Verbindung steht mit dem Induktor I und sich zwischen den Magnetpolen N und entsprechend S dreht.

Die Gramme'sche Maschine, von demselben erfunden, ohne daß er von der Maschine Pacinotti's etwas wußte, erweist sich dennoch als -füßend auf deren Prinzip, stellt aber eine bedeutende Verbesserung derselben dar. Gramme wendet ebenfalls den Eisenring an wie Pacinotti; aber er

ersetzte den massiven Kern des Ringes durch Bündel von Eisenstäben, wie es der Durchschnitt desselben Fig. 304 klar darlegt.

Die Eisenstäbe, aus denen der Ring zusammengesetzt ist, sind gegläht, um sie für die wechselnde Polarität sehr empfänglich zu machen. Die Drahtumwicklung dieser Stäbe ist so ausgeführt, daß der Enddraht der ersten Spirale mit dem Anfangdraht der zweiten u. s. f. verlötet ist. Der Ring hat 60 bis 100 solcher Umwickelungen, jede von etwa 300 Windungen, welche nun durch die Verlöthung eine zusammenhängende Leitung bilden.

Alle Lötstellen liegen auf einer Seite des Ringes und sind an rechtwinklig gebogene Kupferstreifen R R befestigt, die sich an einen Holzring, der den Draht ring stützt, anlegen und auf der Rückseite desselben hervorragen. Sie umgeben also die Welle und bilden unter sich und von der Welle isoliert einen Kollektor (an Stelle des sonst angewendeten Kommutators), von dem Schleiffedern die bereits gleichgerichteten Ströme einfach abnehmen.

In Fig. 305 führen wir eine magneto-elektrische Maschine von Gramme des Näheren aus.

Ein aus vielen Stahlbändern zusammengesetzter sogenannter Blättermagnet, durch Samin konstruiert, ist mit seinen beiden Enden in Polschuhe aus weichem Eisen eingeschraubt. Diese Form ist deshalb gewählt, weil dünne Eisenbänder sich leichter auf die höchste magnetische Kraftentwicklung bringen lassen, als dicke Stäbe. Dieser Blättermagnet umschließt nun mit seinen Polschuhen den Ring-Induktor fast vollständig, dessen Zusammensetzung in Fig. 303 beschrieben wurde. Der Ring-Induktor wird nun zwischen den Polen des Blättermagnets gleichfalls magnetisch und kann

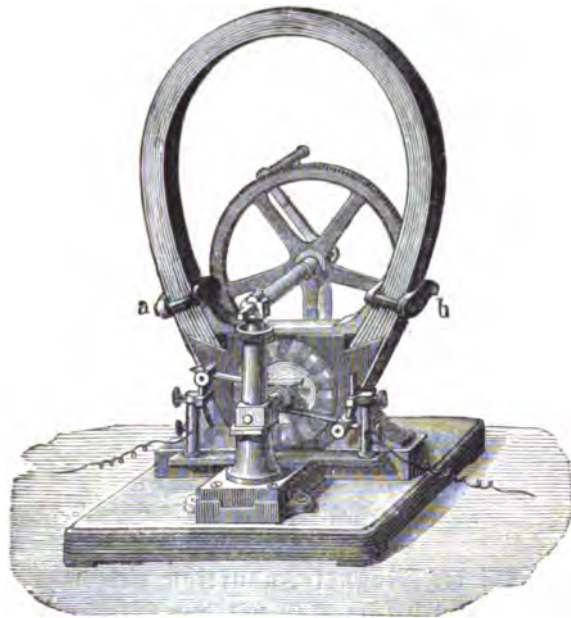


Fig. 305. Gramme'sche Dynamo-Maschine für Handbetrieb.

nun angesehen werden als zwei Halbkreismagnete, deren Nord- und Südpole den Polen des Blättermagnets entgegengesetzt sind.

Nach der Ampère'schen Theorie werden diese Halbkreismagnete von Strömen durchkreist, deren Richtungen von dem Nordpole nach dem Südpole und umgekehrt verlaufen. Bei einer Umdrehung des Ringes bleiben die Pole desselben fest an ihrer Stelle und somit entspricht dem Nordpol des Blättermagnets der Südpol des Ring-Induktors und umgekehrt. Mit der Geschwindigkeit der Umdrehung und dem Magnetismus des Ringes wächst die Stromstärke der Maschine.

Setzt man aber bei dieser Maschine an Stelle des Blättermagnets einen Elektromagneten, so wird aus einer Magnet-Induktionsmaschine eine dynamo-elektrische Maschine.

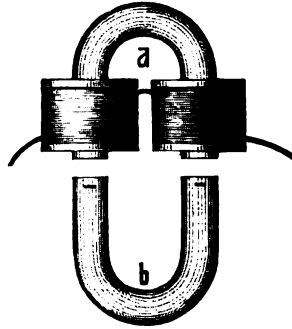


Fig. 306. Magnet-Induktion.

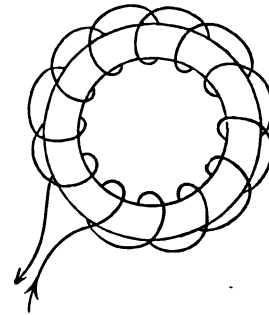


Fig. 307. Ringmagnet.

Bei der Magnet-Induktion giebt man am vorteilhaftesten dem Stahlmagnet b (Fig. 306) und dem Eisenkern a Hufeisenform und schiebt auf den Eisenkern a zwei Drahtspiralen. Die wechselnde Annäherung und Entfernung der Magnetpole bewirkt man dadurch, daß man den Eisenkern so dreht, daß er mit seinen Schenkeln stets einer auf a b errichteten vertikalen Linie parallel bleibt. Die rasche Drehung des Eisenkerns in dieser Richtung erzeugt in den ihn umgebenden Drahtwindungen entgegengesetzte Ströme, die ihre Richtung jedesmal umkehren, sobald die Pole des Eisenkerns a den Magnetpolen von b gegenüberstehen.

Werden dagegen die ungleichnamigen Pole von zwei Elektromagneten, die mit ihren Windungen demselben Schließungskreise angehören, voneinander entfernt, so wird in den Windungen ein Induktionsstrom erzeugt, der die entgegengesetzten Wirkungen, nämlich die sich anziehenden Pole noch mehr einander zu nähern, hervorzubringen bestrebt ist. Der neu erzeugte Induktionsstrom ist dem bereits vorhandenen Strom gleichgerichtet, bildet also

eine Verstärkung desselben. Hierdurch wird eine Verstärkung des Magnetismus des Elektromagnets und also eine Verstärkung seiner induzierenden Wirkung herbeigeführt und in schneller Steigerung eine Stromstärke bis zu einer bestimmten Wirkungskraft erzielt. Ist dieses geschehen, so kann die erste Kraft, welche anfangs den Strom erzeugte und die Eisenkerne magnetisierte, außer Thätigkeit gesetzt werden, denn nun genügt der in den Eisenkernen vorhandene geringe Magnetismus, um die Wirkung jedesmal wieder einzuleiten.

Auf diesem Prinzip beruhen die im Jahre 1867 von Werner Siemens in Berlin erfundenen dynamo-elektrischen Maschinen, in welchen Ring-Magnete (Fig. 307) angewendet werden. Um nun das Verständnis für

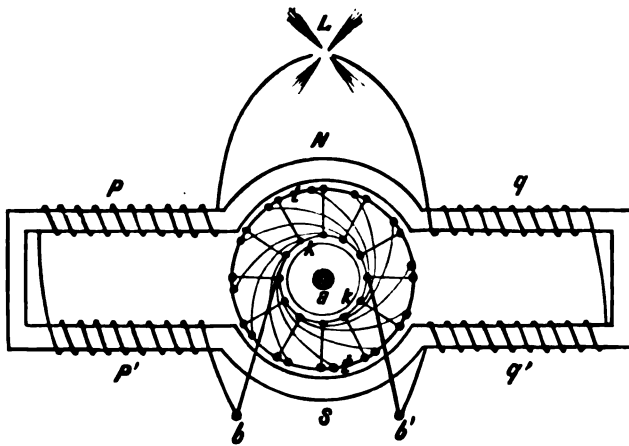


Fig. 308. Schema einer dynamo-elektrischen Maschine.

die Einrichtung und Wirkung der dynamo-elektrischen Maschinen für jedermann zu erleichtern, legen wir ein in der Zeitschrift Humboldt (August 1882) von Dr. Krebs in Frankfurt am Main beschriebenes Schema zu Grunde.

In Fig. 308 stellen die Eisenstäbe $p p^1$ und $q q^1$ die Schenkel zweier Elektromagnete vor, welche in der Mitte kreisförmig ausgebogen sind und deren Pole N und S miteinander in Verbindung stehen. Der eiserne Ring $t t^1$ ist zwischen den Polen angebracht und von der Drahtumwindung desselben führen Verbindungsdrähte zu dem Kollektor $k k^1$. Die von dem Kollektor in der Richtung nach b und b^1 führenden Drähte sind die Schleifbürsten, welche den Strom aufnehmen, der bei der Drehung des Ringes um seine Achse a erzeugt wird. Die Drähte b und b^1 sind nun wieder mit der Drahtumwindung um p^1 und q^1 verbunden, also mit den Schenkeln des Elektromagnets und zwar geht von b der Draht um p^1 , dann weiter nach p und von dort nach irgend einem Gegenstande, beispiels-

weise einer elektrischen Lampe bei L. Von dieser geht er dann weiter über q nach q^1 und von da nach b^1 . Der im Ringe entstehende Strom geht also stets sowohl in die äußere Leitung, wie auch in die Drahtwindungen des Elektromagnets. Die Schenkel oder Kerne des Elektromagnets $p p^1$ und $q q^1$ sind aber aus weichem Eisen hergestellt, das den Magnetismus schnell annimmt und ebenso schnell wieder abgibt. Sobald aber einmal ein Strom durch die Windungen des Elektromagnets hindurchgegangen ist, verbleibt soviel Magnetismus für immer in dem Eisen zurück, als zum Umdrehen des Ringes um a und dadurch zur Wirksamkeit der Maschine nötig ist. Denn, so schwach auch der in der ersten Durchströmung erzeugte Magnetismus sein mag, so erzeugt er doch in den den Polen N und S gegenüberliegenden Teilen des Ringes N gegenüber einen Süd- und S gegenüber einen Nordpol. Beim Umlauf um die Windungen des Ringes also noch sehr schwach, verstärkt er bei seinem Wege durch die Windungen

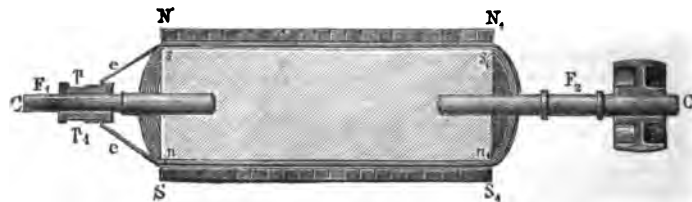


Fig. 309. Trommel-Induktor von Hefner-Alteneck.

der Schenkel $p p^1$ und $q q^1$ die magnetische Kraft dennoch um einen Bruchteil. Dieselben sind nun etwas stärker magnetisch, als eben zuvor, folglich verstärken auch die den Polen N und S gegenüberliegenden Teile des Ringes ihren Magnetismus, dieser erzeugt nun in den Windungen einen um etwas stärkeren Strom, der die Schenkel des Elektromagnets aufs neue um einen Bruchteil kräftiger magnetisch macht, wodurch den Polen gegenüber im Ringe wieder eine Verstärkung der magnetischen Kraft erfolgt und immer so weiter, bis Magnetismus und Stromstärke in einigen Minuten so kräftig geworden sind, daß sie die Kohlenspitzen bei L in Glut versetzen. Die dynamo-elektrischen Maschinen erzeugen also wie die Influenz-Elektrifizier-Maschinen (S. 125 und 128 Fig. 95 und 96) durch die Drehungs-Arbeit Elektrizität, d. h. sie setzen Arbeit in Elektrizität und Elektrizität in Arbeit um.

Die neueren, von Siemens und Halske in Berlin gebauten Dynamo-Maschinen verwenden den von dem Chef-Ingenieur der Firma von Hefner-Alteneck erfundenen Trommel-Induktor, Fig. 309. Der Induktor ist hier nicht ein mit Draht umwickelter Ring, sondern eine bewickelte Trommel,

deren Haupteinrichtung folgende ist: NN^1 sind eine Reihe von Nordpolen, SS^1 eine Reihe von Südpolen der induzierenden Magnete. Der Eisen-Cylinder $s s^1 n^1 n$, mit den Zapfen F^1 und F^2 befindet sich zwischen diesen Polen. C ist eine Riemenscheibe, welche den Cylinder in Umdrehung versetzt. Die Drähte sind um den Cylinder so gewickelt, daß sie parallel zur Achse liegen. Ganz wie beim Gramme'schen Ringe werden bei einer Umdrehung in dem Eisen-Cylinder durch die Pole N, N^1, S, S^1 entgegengesetzte Pole $s s^1$ und $n^1 n$ erzeugt (induziert) und weil der Cylinder den Magnetpolen sehr nahe ist, so werden in den aufgewickelten Drähten starke elektrische Ströme hervorgerufen. Die Drähte sind außerdem so aufgewickelt, daß sie eine bestimmte Anzahl (8—28) Abteilungen bilden und die Drahtenden dieser Abteilungen sind mit zwei isolierten Teilen, deren Anzahl (8—28) sich mit den Drahtabteilungen deckt (Fig. 309 e e), mit dem Kollektor $p p^1$ verbunden. In je zwei sich gegenüberliegenden Teilen des Kollektors kommen nun Ströme von entgegengesetzter Richtung zusammen, die sich dann in ihrer ganzen Hauptsumme durch die auf dem Kollektor aufstreifenden Federn oder Bürsten nach außen führen lassen. Fig. 310 stellt einen solchen Kollektor dar. Jede Drahtabteilung geht von einem Streifen des Kollektors k aus, biegt sich von a aufwärts nach b , geht über b nach c , von dort nach d über e nach f und dann an den anderen Kollektorstreifen k^1 . Diese Bewickelung hat den Vorteil, daß die magnetischen Pole wesentlich nur auf die ihnen zunächst liegenden äußeren Teile wirken, die seitwärts liegenden und die inneren Teile dagegen nur in geringem Maße erregen, was beim Ringe in hohem Grade erfolgt, wodurch der in den äußeren Teilen induzierte Strom, der sie durchlaufen muß, kräftigen Widerstand erfährt. Die beim Ringe auch durch die Innenseite geführten Windungen schwächen deshalb den Strom, ohne selbst Ströme zu erzeugen.

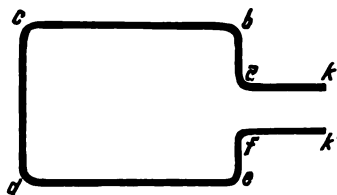


Fig. 310. Dynamo-Maschine, Detail.

Die Fig. 311 zeigt eine solche Dynamomaschine mit Trommel-Induktor, welche 8—10 Pferdekräfte Betriebskraft erfordert. Dieselbe für Reinmetallgewinnung erbaut, liefert, aus schwefelsaurer Rohkupferlösung, täglich einen Niederschlag von 4—500 kg.

Die Elektromagnete der Maschine sind nicht mit Kupferdrähten, sondern siebenfach mit Kupferstangen umwickelt, die einfache Umwindung des Trommel-Induktors dagegen besteht aus breiten Kupferbändern, welche durch passende Ansätze mit dem Kollektor verbunden sind. Die Stromsammler am Kollektor sind starke Kupferplatten und um allen möglichen

Ereignissen vorzubeugen, ist die Isolierung der Kupferteile durch Asbest bewirkt. Ein anderes System von Dynamomaschinen der Firma Siemens und Halske hat auf einer Grundplatte zwei gußeiserne Ständer, deren Querschnitt sich der Kreisform nähert. Diese Ständer tragen 6, 8, 10 u. s. w. Elektromagnete, welche so eingefügt sind, daß sich stets entgegengesetzte Pole sowohl nebeneinander, wie einander gegenüber befinden. Die Drahtwindungen und die Eisenkerne bilden eine ununterbrochene Leitung. Eine um zwei geringere

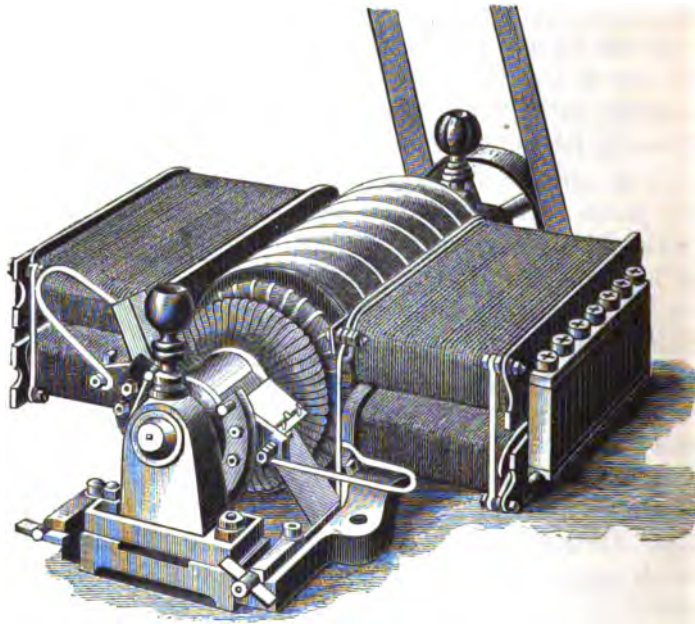


Fig. 311. Siemens-Halske's dynamo-elektrische Maschine.

Zahl als die Anzahl der auf je einer Seite angebrachten Elektromagnete, auf Holzkerne gewundener Induktorspiralen rotieren in den magnetischen Feldern der Pole, die mit flachen Polschuhen versehen sind. Dadurch wird erzielt, daß die Abstände einander benachbarter Magnetpole kleiner sind als die Abstände einander benachbarter Induktorspiralen. Bei einer Umdrehung des Induktors kommen nun nicht alle Spiralen gleichzeitig den Magnetpolen gerade gegenüber zu stehen, sondern dies geschieht nur stets bei zwei Spiralen, welche einander genau entgegengesetzt liegen; die anderen Spiralen alle befinden sich in dem gegebenen Augenblick in größerer oder kleinerer Entfernung von den Magnetpolen, nach welchen hin sie ihre Richtung bei der Drehung erhielten. Der höchste Grad der Stromstärke entsteht daher

nicht gleichzeitig in allen Spiralen, sondern wenn in zwei Spiralen eben diese höchste Stärke erreicht war, erreichen sie im nächsten Augenblicke der Drehung zwei andere und dann die folgenden, so daß die sämtlichen Spiralen des Induktors ununterbrochen von Stromwellen durchlaufen werden, an deren Erzeugung in verschiedener Stärke sie selbst alle in jedem Augenblicke Anteil haben, so daß, da die Spiralen je zweier benachbarter Elektromagnete entgegengesetzte Richtung haben, sie selbst aber wieder stets von entgegen-

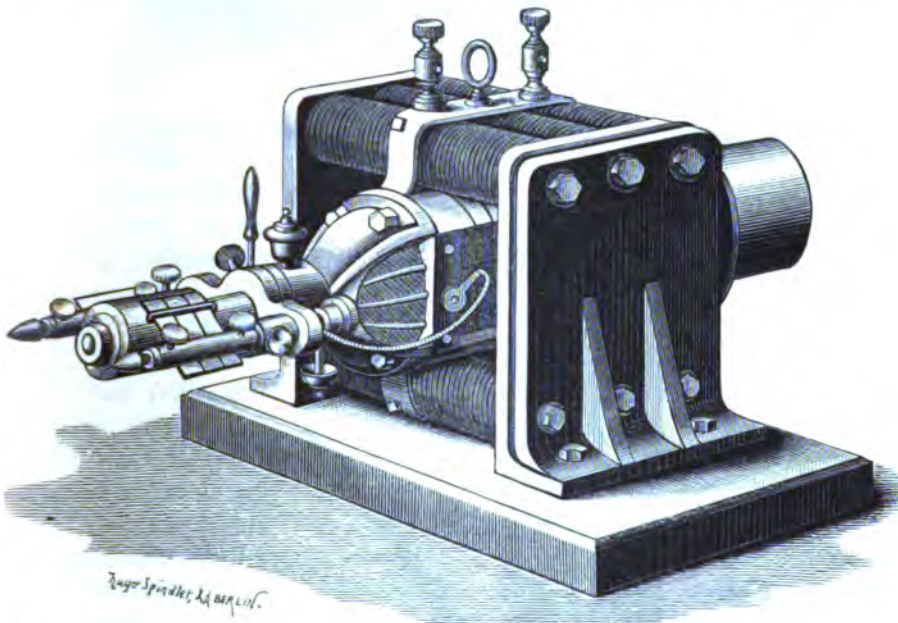


Fig. 312.

gesetzten Magnetpolen erregt werden, wodurch die elektrischen Ströme gleiche Richtung erhalten, ein beinahe konstanter elektrischer Strom erzeugt wird.

Eine sehr interessante dynamo-elektrische Maschine ist die von Weston, welche von H. G. Möhring in Frankfurt a. M. fabrikmäßig hergestellt wird. Die Trommel derselben (Fig. 312) besteht aus einer Anzahl eiserner Scheiben, die an ihrem Umfang 16 vorspringende Zapfen tragen, die, in kleineren Zwischenräumen voneinander aufgesetzt, 16 geradlinige Reihen bilden. Dadurch bildet die Trommel eine Art Cylinder mit 16 tiefen Längsschnitten. Zwei halbkugelige Eisenstücke schließen die Trommel an beiden Enden. In den Längsschnitten liegen die Drahtstränge, welche um das hintere Endstück und die Achse herum über das vordere hinweg zum Kollektor geführt werden. Bei einer Drehung wird nun in der hohlen

Trommel ein kräftiger Luftstrom erzeugt, der durch die Zwischenräume der eisernen Scheiben hindurch geht und die Drähte also stets kühlt.



Fig. 313.

Der Kollektor ist zusammengestellt aus einer Anzahl schräg gerichteter Kupferstreifen, welche abgeschraubt werden können. Die Schleifbürsten

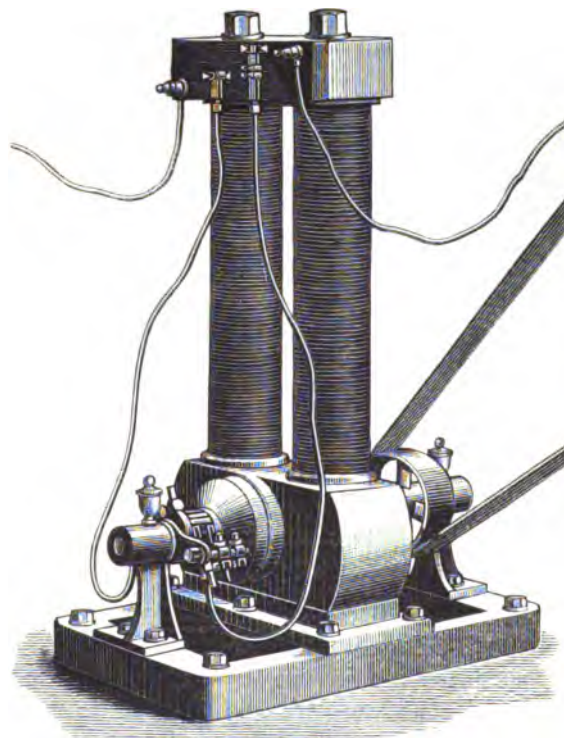


Fig. 314.

müssen immer mindestens zwei Streifen berühren, wodurch eine vollkommene Ableitung des Stromes erzielt wird. Dieselben sind aus zehn und mehr dünnen elastischen Kupferstreifen, die in drei Spitzen ausgezogen sind, hergestellt. Die Streifen sind aufeinander gelegt (Fig. 313).

Um auf die leichteste Weise die beste Stelle zur Ableitung des Stromes zu ermitteln, sind die Bürstenhalter an einer Scheibe angebracht, welche sich durch eine Handhabe verstellen läßt.

Diese Maschinen arbeiten mit einer verhältnismäßig geringen Stromstärke und erzeugen dadurch ein fast rein weißes Licht, in welchem alle Farben deutlich in ihrer Natur unverändert

erscheinen. Sie sind ein entschiedener Fortschritt in der Elektrotechnik und erfreuen sich der günstigsten Urteile. Der Amerikaner Thomas Alva Edison (geb. am 10. Februar 1847) hat bei seinen Maschinen einen hohen Elektromagnet in vertikaler Stellung als Induktor (Fig. 314).

Derselbe trägt äußerst kräftige Anker, welche die horizontal gestellte Trommel umgeben. Letztere ist in ihrer Länge mit starken Kupferstangen ausgerüstet, auf denen ebenfalls zerschlichte Kupferstreifen als Bürsten aufstreifen, die, wie bei der Wöhrling'schen Maschine, verstellbar sind. Natürlich hat auch Edison bei seiner Maschine die Bewickelung so eingerichtet, daß der Widerstand ein möglichst geringer wird.

In der neuesten Zeit verbindet man den Ableiter auf der Achse mit den Enden der einzelnen Drahtgruppen, die mit Kontaktbürsten ausgerüstet sind.

59. Die elektrische Kraftübertragung.

Der elektrische Strom, welcher verwendet wird chemische Arbeit zu leisten, wie bei der Elektrolyse, oder Magnete zu bewegen, wie bei den elektrischen Uhren, setzt sich vollständig in Wärme um, die unter Umständen Draht zum Glühen bringen kann. Diese Wärmemenge entspricht also theoretisch der Kraft des elektrischen Stromes, sie ist ihr äquivalent.

Es war nun geboten, ehe ein weiterer Fortschritt angebahnt werden konnte, die Arbeit messen zu können, welche einen Strom von bestimmter Kraft erzeugen kann und umgekehrt die Wärmemenge zu kennen, welche für den Betrieb einer elektromagnetischen Maschine durch den Strom verbraucht wird. Nachdem dies gelungen war, erstreckte man die Untersuchungen darauf, wieviel Kraft bezw. Wärme in der Praxis mehr erzeugt werden müsse, um die Gegenwirkung der Reibung an den Achsen, des Widerstandes der Luft u. s. w. aufzuheben und nach gründlichen Untersuchungen, die bis 1881 dauerten, wurde festgestellt, daß die großen Maschinen nach Gramme, Siemens u. A. einen Wirkungsgrad als Stromerzeuger von 73—89 Prozent erreichen.

Die Kraft der Elektromotoren in den Maschinen nimmt man an, sei fast proportional der Umdrehungsgeschwindigkeit, bei schwachen Stromstärken jedoch wächst sie zuerst, bis sie etwa 80 Siemens'sche Einheiten (S. 416) erreicht, worauf eine merkliche Zunahme nicht mehr eintritt, der Sättigungspunkt der Magnete also nahezu erreicht ist.

Magneto-elektrische und dynamo-elektrische Maschinen unterscheiden sich von einander wesentlich in ihrem Verhalten.



Eine dynamo-elektrische Maschine, welche in Gang gesetzt werden soll, muß sich erst den induzierenden Magnet selbst erzeugen. Ihre Stromstärke ist deshalb in vollem Umfange nicht sofort wirksam. Treten starke Widerstände auf, so machen dieselben sich in zweifacher Weise deutlich fühlbar, einmal nach dem Ohm'schen Gesetze (S. 409 u. f.) und zweitens, weil die Verminderung der Stromstärke eine Verminderung der magnetischen Kraft und somit eine Verminderung der Induktion hervorbringt. Die Dynamo-Maschinen sind also, obwohl eine vorzügliche Errungenschaft des menschlichen Geistes, dennoch in ihrer Wirksamkeit abhängig von allen Einwirkungen auf den Stromkreis.

Bei den magneto-elektrischen Maschinen ist die Wirksamkeit, wenn sie in Gang gesetzt werden, eine augenblickliche. Dieselbe entspricht der Umdrehungsgeschwindigkeit, weil die induzierenden Magnetpole stets vorhanden sind und etwa auftretende Verstärkungen der Widerstände den Strom nicht mehr stören, als das Ohm'sche Gesetz feststellt.

Magneto-elektrische Maschinen sind in ihren induzierenden Wirkungen daher unabhängig von jeglichen Vorgängen im Stromkreise und Unterbrechungen des Stromes wirken nur während ihrer Dauer. Man benützt beide Systeme zur Erzeugung des elektrischen Lichtes, wovon später die Rede sein wird und zur Wirkung in die Ferne. Ehe wir diese Art von Wirkung näher besprechen, gedenken wir an dieser Stelle einer Anwendung der Akkumulatoren (S. 382), die, so gut wie die Fernwirkung der Dynamo-Maschinen, in Zukunft noch sehr bedeutsam werden können.

Durch Camillo Faure wurde eine bedeutendere Verbesserung der Akkumulatoren dadurch herbeigeführt, daß er die Wirkung der Polarisation erleichterte und erhöhte, indem er die Bleiplatten, welche Planté anwandte, mit rotem Bleioryd (Mennige) überzog, welches durch den Einfluß der Säure direkt in Superoxyd und schwefelsaures Blei verwandelt wird.

Solche Akkumulatoren lassen sich durch eine kleinere Maschine leicht laden und dann zu allerlei nützlichen Zwecken verwerten, wie zum Betriebe von Pferdeeisenbahn- und Arbeitswagen, Rähnen, Unterrichts-Apparaten u. s. w.

Die Zeitschrift „La Nature“ berichtet über eine interessante Anwendung von Akkumulatoren, welche Herr Clovis Dupuy, der technische Leiter einer großen Bleicherei in Savados, gemacht hat.

In dem Etablissement waren elektrische Maschinen aufgestellt zu Beleuchtungszwecken. Da diese Maschinen am Tage nicht in Thätigkeit standen, so kam Herr Dupuy auf den Gedanken, dieselben am Tage zu verwerten zur Ladung von Akkumulatoren, welche er benutzen wollte, um eine Lokomotive in Gang zu bringen zur Aufnahme der Leinwandstücke

von den Bleichplätzen. Dieselben dehnen sich in einer Fläche von 15 ha aus und erforderten bis dahin zahlreiche, zeitraubende Handarbeit.

Herr Dupuy umgab jetzt die gesamte Fläche mit einem Schienenwege von 500 m Länge, welcher durch 21 Zweiggeleise durchquert wurde, so daß im ganzen 2040 m Schienen verwendet wurden. Zum Betriebe der Lokomotive verwendete er 60 Akkumulatoren nach Faure, welche, nachdem sie durch die elektrischen Maschinen geladen, in Körben verpackt auf einen Wagen (Fig. 315) geladen wurden, der mit einem zweiten Wagen in Verbindung gebracht wurde, auf welchem sich die elektrische Maschine befindet.

Die Kraft, welche von den Akkumulatoren ausgeht, dient nur zum Betriebe der Maschine. Letztere hat etwa zwei Pferdekraft, welche auf die Räder mittels einer Kette übertragen werden. Den zwei zusammengekoppelten Wagen wird ein dritter offener vorgekoppelt, der, mit einem Mann besetzt, die Leinwand, welche

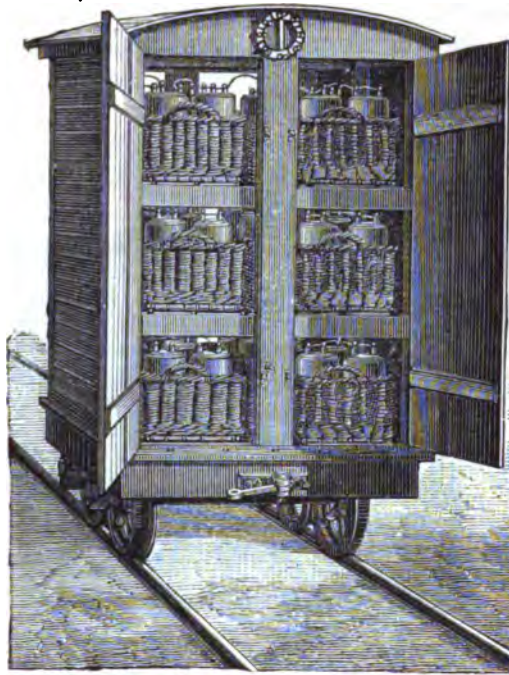


Fig. 315. Wagen mit Akkumulatoren.

von den Bleichflächen abgerollt wird, in der Weise empfängt, wie folgende Fig. 316 deutlich darthut.

Die Fahrgeschwindigkeit des Apparates richtet sich natürlich nach der Stärke der Ladung, welche die Akkumulatoren aufgenommen haben; bei voller Ladung derselben arbeitet die Maschine drei Stunden, indem sie ungefähr eine Fahrgeschwindigkeit von 12 km pro Stunde entwickelt, welche für die zu verrichtende Arbeit vollkommen ausreichend ist.

Man verwendet auch Akkumulatoren zur Speisung von elektrischen Lampen in den Eisenbahnwagen und ebenso bei den Signallaternen an Lokomotiven, deren Akkumulatoren durch eine elektrische Maschine geladen

werden, welche in Umdrehung gesetzt wird dadurch, daß sie mit den Rädern der Lokomotive verbunden ist. Die Akkumulatoren dienen hier das elektrische Licht zu erhalten, wenn der Zug anhält, weil sonst die Maschine, mit der Lokomotive zum Stillstand gelangend, eine Beleuchtung nicht mehr bewirken könnte.

Große Schaubühnen bedienen sich gleichfalls der Akkumulatoren zu verschiedenen Zwecken und wenn auch ihre Anwendung noch vielerlei Schwierigkeiten darbietet, so dürfte die Zeit doch nicht mehr fern sein, wo sie wieder zur Anwendung in erhöhtem Maße gelangen werden.

Die Kraftübertragung durch zwei Dynamomaschinen, welche durch eine beliebig lange Leitung miteinander verbunden sind, geschieht in folgender

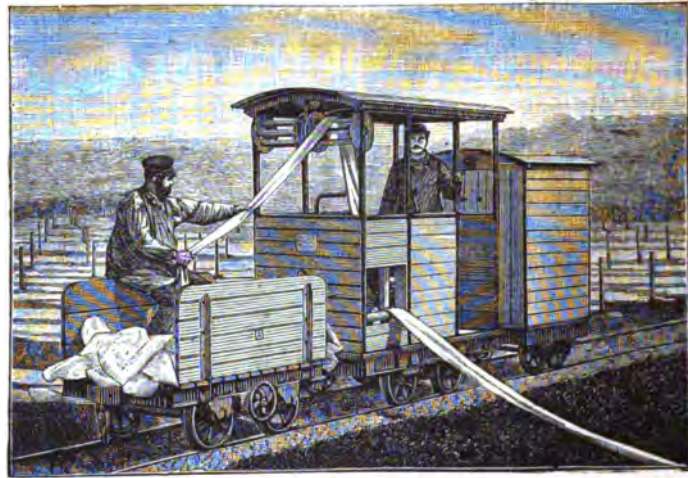


Fig. 316. Elektrische Maschine im Dienst der Industrie.

Art auf weitere Strecken. Die eine der Maschinen liefert den Strom auf Kosten von Arbeit, die andere verwandelt den Strom wiederum in Arbeit. Natürlich geht eine solche Kraftübertragung nicht ohne Verlust vor sich, denn längs der Schließungskreise wird ein großer Teil von Kraft in Wärme umgewandelt. Dieser Verlust, der durch Erwärmung der Leitung, welche beide Maschinen verbindet, hervorgerufen wird, ist proportional dem Widerstande der Leitungsdrähte. Doch können auch bei langen Leitungen über 50 Prozent der erzeugten Arbeit am elektrischen Motor wieder erlangt werden und auch noch ein höherer Prozentsatz, wenn die Maschinen in recht schnelle Drehung versetzt werden.

Um Boote zu treiben, benutzte Trouvé eine modifizierte Siemens'sche Dynamomaschine. Er gab den Polflächen des Siemens'schen Induktors

eine spiralförmige Gestalt und erreichte dadurch, daß in jedem Momente der Drehung ein Teil der Polflächen unter die Wirkung der inducierenden Magnete gerät, also sogenannte tote Punkte vermieden werden. Eine solche kleine Maschine konnte für die Hausindustrie (Fig. 317) verwertet werden, um Strick- oder Nähmaschinen, Kurbelmaschinen u. dgl. damit zu treiben. Trouvé konstruierte auch ein kleines Boot von etwa 80 Kilogramm Gewicht, in dessen Mitte eine aus 12 Elementen bestehende Bunsen'sche Batterie im Gewicht von etwa 100 Kilogramm mit der Maschine in Verbindung stand. Letztere war oberhalb des Steuerruders angebracht. Die leitende Verbindung wurde durch zwei elastische Kabel hergestellt, welche zugleich das Steuer regulierten.

In einem Ausschnitte des Steuerruders befand sich eine Propellerschraube, auf welche die Kraft mittels eines Treibriemens übergelenkt wurde. Das Boot hatte eine Geschwindigkeit von 1 m gegen den Strom. In England wurden diese Versuche im Großen wiederholt. Man konstruierte ein Boot aus Eisen, 8 m lang und in der Mitte

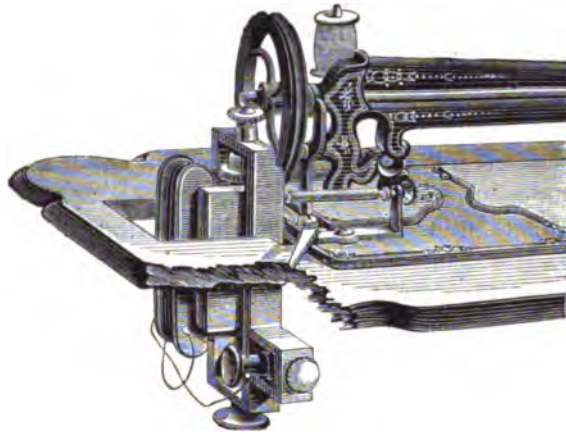


Fig. 317. Trouvé's Elektromotor.

ebenso breit, mit einem Tiefgange von $\frac{1}{2}$ m vorn und $\frac{3}{4}$ m hinten. Dasselbe erhielt eine Propellerschraube von $\frac{1}{2}$ m Durchmesser und fast 1 m Ganghöhe, welche eine Umdrehungsgeschwindigkeit von 350 per 1 Minute haben soll. Der Betrieb findet statt durch zwei Siemens'sche Dynamo-Maschinen, denen der Strom durch 54 Sellen-Volkmar'sche Sekundärbatterien zugeführt wird, die, während das Boot vor Anker liegt, vom Geschäftshause aus vermittelst Drahtleitung geladen werden. Die Elemente der Batterien sind in dem Boote so verteilt, daß der Laderaum völlig frei bleibt; sie wiegen insgesamt gegen 1000 kg. Treibriemen verbinden die Motoren mit den Riemenscheiben einer Vorlegewelle, von welcher wieder Riemen über die Riemenscheibe der Schiffschraubenachse führen. Die Akkumulatoren setzen auch noch ein starkes Läutewerk zur Zeichengebung in Bewegung.

Dieses Boot verrichtet seinen regelmässigen Tagesdienst auf der Themse mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 9 englischen Meilen auf die Stunde gerechnet.

Mit dem Betriebe des Bootes „Electricity“ ist somit der Grund gelegt für eine gänzliche Umgestaltung der gesammten Schifffahrt, welche sich naturgemäss nicht im Handumdrehen vollziehen kann. Wie aber nach Erfindung des Dampfschiffs noch bis heute Segelschiffe aller Art in überwiegender Anzahl in Thätigkeit sind, so wird auch im kommenden Jahrhundert das elektrische Schiff nur eine Vervollkommnung des Dampfschiffs darstellen und neben demselben um den Preis ringen müssen, so lange bis eine neue Combination auch die „Electricity“ wieder in die zweite Linie drängen wird. Ein Stillstand in der Entwicklung ist nach dieser Seite hin noch auf lange Zeit ausgeschlossen, obgleich auch hier nach ewigen Gesetzen einst eine längere Ruhepause eintreten wird, um das bis dann Erregene vollkommen auszugestalten. Daß der Fortschritt für die Einführung von elektrischen Motoren auf dem Wasser schneller vor sich gehen muß, liegt eben in der schönen Eigenschaft des Wassers, Weg und Geleise zugleich zu sein, ohne Gebirge, Sümpfe, Abgründe und Grundeigentümer. Anders stellt sich der Fortschritt für die elektrischen Eisenbahnen, die eben tausend Hindernisse bewältigen müssen. Deshalb ist, trotz aller Begeisterung, die elektrische Beförderung zu Lande noch nicht sehr über die kleinsten Versuche hinausgekommen, aber auch hier dürfen wir getrost dem Menschengeiste vertrauen, der allein in Deutschland, das vor 50 Jahren die erste Dampfbahn empfing, ein so gewaltiges Netz von Eisenbahnen geschaffen hat.

Die erste Herstellung einer elektrischen Eisenbahn ist, fast in derselben Zeit, in welcher in Deutschland die erste Dampfbahn zwischen Nürnberg und Fürth in Aussicht genommen wurde, in England hergestellt worden.

Der Ingenieur Davidsohn konstruirte eine Lokomotive von 5 m Länge und 2 m Breite im Gewichte von 5 000 kg. Dieselbe wurde durch zwei Motoren an beiden Geleisen in Gang gebracht, die von einer Voltasäule, System Spurgon, ihren Strom erhielten. Man hoffte Glasgow und Edinburgh auf diese Weise bequem zu verbinden, erzielte aber trotz der vollkommen ebenen Lage der Strecke nur eine Geschwindigkeit von 4 englischen Meilen auf die Stunde und stellte deshalb den Betrieb bald wieder ein.

Wenn auch nun die Versuche niemals geruht haben, endlich eine Konstruktion zu erreichen, die geeignet war, den Dampfbahnen Konkurrenz zu machen, so dauerte es doch beinahe 40 Jahre, ehe man wieder wagte, Versuche im Großen anzustellen.

Die Firma Siemens und Halske war auch auf diesem Gebiete wieder die Bahnbrecherin. Sie wandte zuerst das Prinzip an, von einer fest-

stehenden Dynamomaschine aus den elektrischen Strom auf die Sekundär-batterie während der Fahrt zu übertragen. 1879 auf der Berliner Gewerbeausstellung wurde der Strom von der Primärmaschine aus durch die Schienen fortgeleitet. Zu diesem Zweck waren 3 Schienen eingelegt. Die mittlere leitete den elektrischen Strom über auf die Batterie des Personenwagens, die ihn wieder über die Räder auf die beiden äußeren Schienen zurückführte zur Stromerzeugenden Maschine.

Es stellte sich dabei bald heraus, daß das norddeutsche Klima einer solchen Anwendung und Verwertung des elektrischen Stroms unübersteigliche Hindernisse in den Weg stellt und deshalb gab man die Legung einer dritten Schiene bald auf und versuchte nun eine andere Lösung.

Die Central-Kadettenanstalt zu Groß-Lichterfelde bei Berlin sollte mit der Hauptstadt dadurch in schnellere Verbindung gebracht werden, daß die Anstalt selbst in direkte Verbindung mit dem Bahnhof Lichterfelde der Anhalter Bahn gesetzt wurde.

Siemens und Halske erhielten die Genehmigung zur Erbauung einer elektrischen Bahn von 2,6 km Länge, bei welcher nur zwei Schienen in Anwendung kommen, von denen die eine zur Hinleitung, die andere zur Rückleitung des elektrischen Stromes dient. Auf diesen Schienen fährt ein Personenwagen, der 30 Personen fassen kann, zu sämtlichen Zügen, welche auf dem Bahnhofs halten, von der Kadettenanstalt ab mit einer in der Konzession bedingten Geschwindigkeit von 20 km in der Stunde, welche aber unter besonders günstigen Umständen sich auf 35 bis 40 km erhöhen kann.

Der Grund zu diesem auffallenden Unterschiede liegt darin, daß an eine Isolierung der beiden Eisenbahnschienen absichtlich nicht gedacht worden ist, sondern daß man durch Versuche und Berechnungen im Voraus sich über den Stromverlust vergewisserte, der namentlich da entstehen muß, wo die Bahn die in ihrem Niveau liegenden Straßenzüge durchschneiden muß und wo der Strom bei ungünstiger Witterung teils von einer Schiene zur anderen durch den Erdboden oder in denselben geht. Dieser Stromverlust ist bisweilen ein ziemlich bedeutender, dennoch arbeitet die seit 1881 im Betriebe stehende elektrische Eisenbahn mit größter Regelmäßigkeit ohne erhebliche Störungen. Die Triebkraft der Maschine ist auf $5\frac{1}{2}$ Pferdekraft, das Gewicht des Wagens mit dem Motor auf 500 kg festgestellt. Die Belastung kann bis 26 Personen betragen.

Der Betrieb geht in folgender Weise vor sich: Eine erste (Primär-) dynamo-elektrische Maschine, welche durch Dampfkraft in Umdrehung versetzt worden ist, überträgt den durch sie erzeugten elektrischen Strom auf eine an dem Eisenbahnwagen angebrachte zweite (Sekundär-) dynamo-



elektrische Maschine, welche ihrerseits nun in Umdrehung gebracht, den elektrischen Strom zur Bewegung der Wagenräder entsendet. Letztere ist dabei so angebracht, daß sie von außen kaum sichtbar, sich zwischen den Rädern unter dem Boden des Wagens befindet und so konstruiert, daß sie völlig geräuschlos arbeitet.

Der elektrische Strom geht nun von den Schienen immer wieder zu den Radkränzen der Wagenräder zurück, da diese mit den Schienen unausgesetzt in Berührung stehen. Die Radkränze sind durch Anwendung von Holzscheibenrädern von den Achsen isoliert, stehen aber mit isolierten Schleifkontakt-Ringen in leitender Verbindung, welche die Achsen umschließen. Die Pole der zwischen den beiden Wagenrädern liegenden elektrischen Lokomotivmaschine sind nun derart zu Schleiffedern ausgezogen, daß sie nicht nur auf den Kontakttringen aufschleifen, sondern daß auch die Schleiffedern der einen Wagenseite, bez. der Schiene mit dem einen Ende des Umwindungsdrahtes (Spirale) der zweiten Betriebsmaschine und die gleichen Stücke der anderen Wagenseite mit dem anderen Ende desselben in stets leitender Verbindung bleiben.

Die leitende Verbindung wird also durch den Umwindungsdraht zwischen beiden Schienen hergestellt, wodurch die Maschine, sobald der elektrische Strom einen Durchgang macht, in Umdrehung versetzt wird. Stählerne Transmissionscheiben übertragen diese Drehung auf die Wagenräder, die den Wagen jetzt fortbewegen, so lange der elektrische Strom geschlossen ist.

Um nun die Bewegung bewirken oder hemmen zu können, ist für den Führer des Wagens auf dem Vorder- und Hinterrad eine drehbare Kurbel angebracht. Soll der Wagen beliebig vorwärts oder rückwärts gesteuert werden, so bewirkt dies eine Umsteuerung, durch die der Strom beliebig positiv oder negativ durch die Umwindungsdrähte geleitet werden kann. Die auf dieser Bahn angestellten Versuche haben aber auch des Weiteren ergeben, daß durch eine und dieselbe Elektrizitätsquelle mehrere solcher Wagen in beliebigen Abständen von einander zu gleicher Zeit in Bewegung gesetzt werden können.

Einen weiteren interessanten Versuch stellte die verdiente Firma an zwischen Charlottenburg und dem Eingang zum Grunewald, an dem sogenannten Spandauer Bock.

Hier wurden die von der schon bestehenden Pferdeisenbahn in Gebrauch genommenen Schienen benutzt, die Stromzuleitung aber dadurch bewirkt, daß Telegraphenstangen aufgestellt wurden, welche auf Isolatoren eine doppelte Drahtleitung trugen. Auf dieser lief ein kleiner Kontaktwagen, der die Verbindung mit der dynamo-elektrischen Maschine dadurch bewirkte, daß er gleichfalls einen Doppeldraht trug, der mit dem einen

Stränge die Verbindung mit den Polen der Dynamomaschinen herstellte und mit dem andern den kleinen Kontaktwagen selbst fortzog. (Fig. 318.)

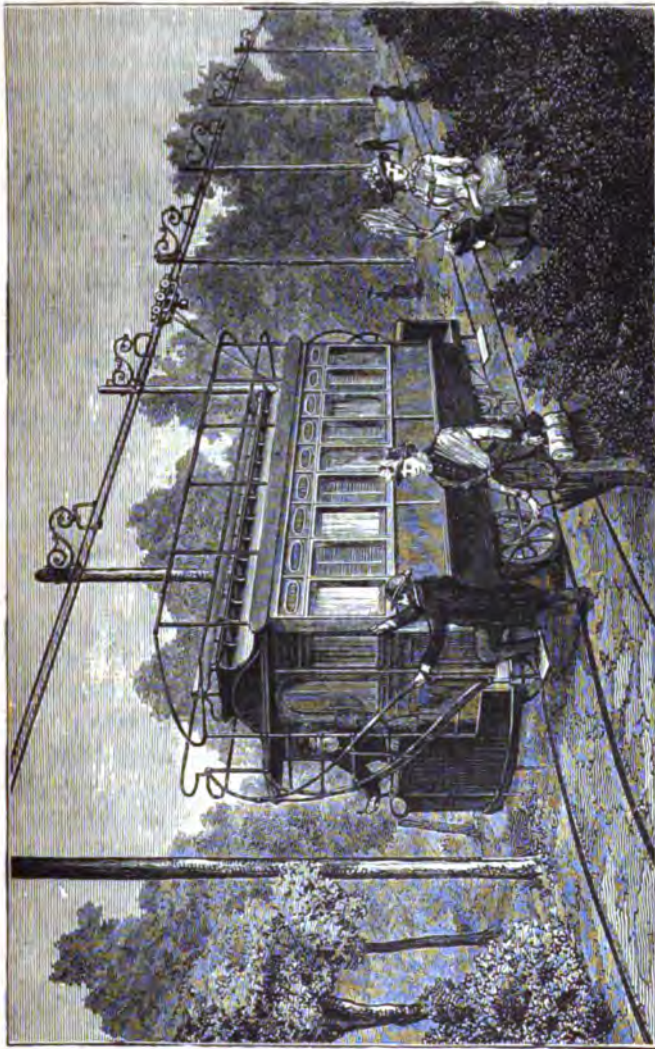


Fig. 318. Elektrische Eisenbahn.

Als bei dieser Einrichtung die Schwierigkeit sich ergab, Straßenbiegungen mit der gehörigen Sicherheit und Leichtigkeit zu überwinden, weil der Kontaktwagen an solchen Stellen aufhörte für einen Moment, die Leitungs-
Naturfr. I.

drähte zu berühren, wurden statt der Drähte Röhren von 25 mm Weite angebracht, welche geschliffen, gleichfalls von Isolatoren getragen und an denselben mittels Tragefeilen aufgehängt waren. An Stelle des Kontaktwagens lief in diesen Röhren ein Kontaktschiffchen, welches hergestellt war aus 4 federnden Kontaktknöpfen, die auf ein Kupferdrahtseil aufgelötet und deren 1. und 4. auf eine Stahlschiene genietet waren, welche den einen Leitungsdraht trug, während der zweite an einer zweiten durch Ruten mit der ersteren verbundenen Schiene lief. Beide Leitungsdrähte führten dann vereint zum Wagen.

Diese elektrische Bahn war bloß bis 1883 im Betriebe, da sie mit verhältnismäßig geringen Kosten nur als Versuchstation zu dienen, eingerichtet wurde.

Dieses hier erprobte System kam nun zur Anwendung beim Baue der elektrischen Eisenbahn zwischen Frankfurt am Main und Offenbach, welche in einer Länge von 6,6 km im April 1884 vollendet und eröffnet wurde.

Siemens und Halske begnügten sich aber nicht mit der Personenbeförderung, sie wendeten dies System auch auf die Fortbewegung von Lasten anderer Art an und konstruierten elektrische Eisenbahnen für Gruben.

Die erste dieser Eisenbahnen richteten sie ein für die Steinkohlengrube von Zaukerode im Königreich Sachsen. Sie liegt 260 m tief unter der Erdoberfläche und hat eine Länge von 700 m. Für die nur schmalen Stollen ist eine verhältnismäßig kleine Maschine konstruiert, dieselbe hat aber dennoch eine Geschwindigkeit von 12 km in der Stunde, wobei sie eine Last von 8000 kg Kohlen befördern kann. Die Primär-Dynamomaschine, die den Strom erzeugt, befindet sich außerhalb der Grube. Sie ist mit einer kleinen Cylinder-Dampfmaschine verbunden, durch welche sie in Bewegung gesetzt wird. Der durch die Primärmaschine erzeugte Strom wird durch ein Kabel zu den Leitungsschienen, die aus T-Eisen gebildet, oberhalb der Stollen laufen, hingeleitet. Auf diesen Schienen gleiten kleine Kontaktschlitten, die mit der Lokomotive durch Leitungsseile so verbunden sind, daß sie den Strom auf die Sekundärmaschine sowohl überleiten, als auch selbst die Kontaktschlitten mit der Lokomotive zugleich fortbewegen.

Nach dem Muster dieser Bahn ist dann eine zweite doppelgleisige in der Hohenzollerngrube zu Beuthen in Oberschlesien in Betrieb gesetzt worden. Das Gelingen aller dieser Unternehmungen hat im In- und Auslande zahlreiche ähnliche Einrichtungen hervorgerufen, die ihrer großen Vorteile wegen die Leistungsfähigkeit der Grubenwerke mächtig erhöhen.

Den Lesern und Freunden dieses Werkes aber möchten wir mit diesen Auseinandersetzungen noch etwas ans Herz legen.

Von Anstrengung und Arbeit Erholung zu suchen ist jeder Mensch berechtigt. Die Erholung jedoch, welche Kraft und Gesundheit am meisten fördert, besteht nicht im Nichtsthun, sondern in der Abwechselung des Thuns. Deswegen sind wissenschaftliche Versuche, wie wir sie nun bereits in überaus großer Anzahl ausgeführt haben, von großer Bedeutung und bergen für den Ausführenden ganz erheblichen Nutzen und Genuß. Deshalb geben wir auch an dieser Stelle wieder die Beschreibung eines Apparates, der, in vollendeter Form von dem tüchtigen Mechaniker Ernedé in Berlin hergestellt, die Funktionen der elektrischen Eisenbahnen aufs vollkommenste anschaulich werden läßt.

Außerlich stellt sich die gesamte Einrichtung sehr zierlich und sauber dar. Ein vollkommen ebener Teller wird am Rande von den ihn umlaufenden Schienen eingefasst, die den zierlichen Wagen tragen. Zwei Klemmschrauben an einer Seite rechts und links von den Schienen, nehmen die Drähte auf, die zu dem in der Mitte stehenden, sehr gut wirkenden Flaschenelemente führen. Sobald die Drähte in die Schrauben geführt sind, ist der Strom geschlossen und der kleine Wagen beginnt seinen Kreislauf. Der Wagen selbst, ein Muster von Zierlichkeit und solider Arbeit, ist folgendermaßen eingerichtet:

Auf ein zierliches Brettchen ist in der Mitte ein Elektromagnet aufgeschraubt, dessen Eisenkerne an der vorderen Seite gegenüber ein eisernes Rad angebracht ist, welches sechs tief eingeschnittene breite Zähne hat. Dieses Rad dreht sich um eine Achse, deren Enden in Metallstreifen laufen, welche an den Längsseiten des Brettes, da wo die Räder des Wagens sich drehen, eingelassen sind. Diese Achse trägt einen Trieb auf der einen Seite, welcher in ein Zahnrad eingreift, während auf der anderen Seite ein anderes Rädchen, welches mit wenigen, aber tief eingeschnittenen Zähnen versehen ist, auf eine Feder aufschleift. Die Zahnradachse ist aber zugleich Achse des rechten Vorderrades, das auf der äußeren Kreischiene läuft; dreht sich also das Zahnrad, muß sich auch dieses Wagenrad drehen; sobald dies geschieht, laufen die anderen 3 Wagenräder mit. Der positive Strom geht hier auf die innere Schiene, von dieser auf das linke Hinterrad, über dessen Achse auf den anliegenden Metallstreifen, von diesem durch einen Verbindungsdraht in die Drahtendungen des Elektromagneten, aus ihnen auf die Feder des rechten Vorderrades, wenn sie mit einem Zahne des aufschleifenden Rades in Verbindung tritt, über dieses nach der Achse des größeren Rades und von dort noch über das rechte Vorderrad nach der äußeren Schiene und tritt hier mit dem negativen Strome in Verbindung.

Der Strom ist hier stets geschlossen, sobald die Feder mit einem Zahne des Zahnrades in Berührung tritt. Dann zieht der Eisenkern einen

Zahn des ihm gegenüberliegenden Eisenrades an, dasselbe dreht sich also nur etwa um ein Sechstel seines Umfangs und dabei zugleich wieder das Zahnrad, welches die Feder nun zwischen den nächsten Einschnitt gleiten läßt, wodurch der Strom unterbrochen wird. Dadurch hört die Anziehung des Eisenkerns auf, die Drehung geht aber weiter, die Feder trifft wieder einen Zahn des Zahnrades und das vorige Spiel wiederholt sich.

Den Dampfbahnen gegenüber kann man den elektrischen Bahnen vielerlei Vorteile zusprechen. Die Betriebs- und Anlagekosten derselben sind erheblich geringer, sie entwickeln weder Rauch noch Dampf, arbeiten geräuschlos und erfordern geringeres Aufsichtspersonal; dafür aber haben sie den Nachteil, daß sie stets zweier Maschinen bedürfen, die wiederum noch eine kleine Dampfmaschine erfordern, weshalb sie auf längere Strecken noch nicht anwendbar sind. Aber auch für kürzere Strecken ist man wieder zur Anwendung von Akkumulatoren geschritten, da neuere Fortschritte den Verbrauch der Kraft erheblich verringern, und die Weiterführung der elektrischen Bahn nach dem Grunewald bei Berlin beweist, daß auch auf diesem Wege noch bedeutende Erfolge zu erzielen sind. Kostet doch auf der Linie Tourevinge-Rouboix in Paris der elektrische Omnibus nur 0,32 Frank auf Kilometer und Stunde, während die Kosten für Pferdewagen 0,54 Frank im Durchschnitt und für den Dampfwagen 0,75 Frank betragen.

Zur Inbetriebsetzung der Dynamomaschinen eine unablässig wirkende Kraft herbeizuziehen, lag so nahe, daß mit allen diesen Bestrebungen sich auch die verbanden, die ungeheuren Wasserkräfte, welche über die ganze Erde verteilt, so gut wie gar nicht ausgenutzt werden, in den Bereich und den Dienst der Elektrizität als Motoren zu stellen. Die chemische Fabrik von Shaw in Greenwich hat einen von ihr etwa 137 m entfernten Wasserfall derartig in ihren Dienst gezogen, daß sie die Kraft des Falles auf eine Turbine wirken läßt, welche wiederum eine Siemens'sche Dynamomaschine in Bewegung setzt. Diese erste Maschine steht durch kupferne Leitungsdrähte mit einer zweiten Siemens'schen Maschine, die im Innern der Fabrik aufgestellt ist, in Verbindung. Die Achse dieser überträgt mittels der Riemen die Bewegung auf eine Bohrmaschine, eine Drehbank und eine Kreissäge.

1883 machte Marcel Deprez auf der elektrischen Ausstellung zu München den gelungenen Versuch, zwei leergehende Dreschmaschinen von der Hirschau aus, welche 5 km von München entfernt ist, in Bewegung zu setzen. Er benutzte dazu die Wasserkraft eines Baches bei Thalkirchen, die er eine Turbine von 50 Pferdekraften treiben ließ. Diese Turbine setzte eine erste (Primär-) Dynamomaschine an der Hirschau in Umdrehung, diese,

mit einer zweiten (Sekundär-) Dynamomaschine durch eine Art Telegraphenleitung von Kupferdrähten verbunden, übertrug ihre Kraft auf letztere, welche die Dreschmaschine in Thätigkeit setzte. Die Kraftverhältnisse, welche des Nachts ebenfalls ununterbrochen einen Strom erzeugten, der die elektrischen Lampen vor dem Glaspalaste und auf dem Königsplatze unterhielt, waren so berechnet, daß auf die Minute 65 Umdrehungen der Turbine 680 Umdrehungen an der Dynamomaschine hervorbrachten.

Die kleinen, vortrefflich gebauten Dynamomaschinen hatte die Firma Schuckert in Nürnberg geliefert und ihre Wirkungen erregten die Bewunderung der Kenner. Ganz begeistert schreibt ein Berichterstatter darüber: „Man muß selbst den Boden unter sich zittern fühlen, durch die gewaltigen Umdrehungen der massiven, schweren Turbine, daneben die kleine elegante Maschine von Schuckert mit ihrem rastlos kreisenden Anker sehen, selbst die dünnen unscheinbaren Leitungsdrähte erblicken, die ruhig und bewegungslos auf ihren Trägern bleiben, selbst sich sagen, in diesen einfachen Kupferdrähten fließt die rohe, gewaltige Wasserkraft, gebändigt durch die Elektrizität, wohin man sie nur haben will, um dort von ihren Vändigern freigegeben, wieder als rohe Kraft Arbeit zu verrichten oder im glühenden Bogen sonnenhell aufzuleuchten: wer dann nicht fühlt, daß er vor einer Errungenschaft der modernen Technik steht, die ebenso zu den wunderbarsten wie zu den weittragendsten dieses erfindungsreichen Jahrhunderts zählt, der ist überhaupt unfähig, irgend einen bedeutungsvollen Moment zu erfassen.“

Glücklicherweise nimmt die Zahl der Nichtwissenden und Nichtfühlenden immer mehr ab und was auch die zelotischen Verächter menschlicher Denkkraft hervorbringen mögen, das 2000. Jahrhundert n. Chr. wird alle ihre Strebungen zu Schanden werden lassen. Die geheimen Geister, welche der Kinder Glaube der Alten leben und weben sah als Götter in der Natur, welche geistvolle Menschen im Mittelalter durch Schmelzen und Glühen hervorzulocken und unter ihre Herrschaft zu bannen suchten, jene Zauberer und Feen mit ihren Wolkenwagen, Tarnkappen und Siebenmeilenstiefeln, wir haben sie in unsere Gewalt bekommen und sind ihrer Meister geworden. Und nicht Pfaffengeschwäg und Denksaulheit werden die Sünde aus der Menschenwelt schaffen, sondern die Erkenntnis und Mitarbeit an den Aufgaben eines sich erneuenden Menschengeschlechts, das ein eisernes, gemeinsames Band umschließt, welches durchströmt wird von der Dynamomaschine des menschlichen Geistes. Das Ziel, das dunkel ahnend heilige Urkunden dem Menschengeschlecht stellen: Herr der Erde zu werden — es wird durch die rastlose Arbeit der Geschlechter erreicht werden, freilich nicht ohne gewaltige Rückschläge, deren Dauer und Macht aber ebenso abnehmen muß, wie die furchtbaren Erdumwälzungen früherer Jahrtausende. — Der

gelungene Versuch von Marcel Deprez wirkte auf allen Gebieten äußerst anregend und zieht seine Kreise weit in die Zukunft hinein. Kann man Dreschmaschinen durch Elektrizität treiben, deren Erzeugerin die Kraft des Wassers ist, so kann man die Elektrizität auch anwenden zur Bebauung des Bodens und elektrische Pflüge finden ihre Anwendung auf dazu geeigneten Stellen.

Amerika ist auf diesem Gebiet am rührigsten und es kann das auch, denn seine Wasserkräfte allein, in den Dienst der Menschheit gestellt, können schaffen für das gesamte Menschengeschlecht. Und so rückt denn der Riesenplan, der schon seit Jahren besprochen wurde, einen Teil der Gigantenkraft der Niagarafälle zum Bewegen von Maschinen aller Art zu benutzen, seiner Ausführung immer näher und wir werden nicht verfehlen, nach vollendeter Durchführung dieses staunenswerthen Unternehmens, in einem Nachtrage eingehend zu berichten.

Ein zweiter Versuch in München lenkt die elektrische Kraftübertragung aber auf weitere Gebiete.

In dem Wiesbach, der 57 km entfernt liegt, hatte man eine Gramme'sche Dynamomaschine als Primärmaschine aufgestellt, welche durch eine ähnliche Telegraphenleitung, wie bei dem Versuch von Deprez, mit einer Sekundärmaschine auf dem Ausstellungsplatz verbunden war. Nachdem die Primärmaschine durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt war, erzeugte der Strom in ihr 2700 Umdrehungen, welche wiederum auf der Sekundärmaschine 1400 hervorbrachten. Letztere stand mit einer Pumpe in Verbindung, die Wasser auf einen künstlichen Felsen hob, von dem es dann als Wasserfall in ein tiefer gelegenes Bassin abfloß.

Deprez ging nun mit verstärktem Eifer an die Durchführung einer sehr wichtigen Frage für die Weiterentwicklung der Kraftübertragung. Bisher wußte man noch nicht, ob sich eine Teilung des elektrischen Stromes in dem Maße verwirklichen lassen werde, daß man denselben zum Betrieb der verschiedenartigsten Maschinen anwenden könne, ohne daß der Kraftverbrauch der einen den der anderen Maschine stört oder eine wesentliche Änderung erfährt, wenn die Einschaltung von in Bewegung zu setzenden Maschinen geändert wird.

Er stellte nun die Ansicht auf, die Primärmaschine müsse nicht nur ihre Erregung durch sich selbst herstellen, sondern ihre Magnete müssen auch noch durch einen besonderen Strom erregt und das Verhältnis der Wirkungen beider Ströme, sowie die Geschwindigkeit der Maschine muß unabänderlich bestimmt werden. Alle sekundären Maschinen also, welche die für den Menschen nughare Arbeit verrichten sollen, müssen daher in den Stromkreis der primären Maschine nebeneinander eingeschaltet werden. Die

Magnete derselben dürfen aber nicht von dem Maschinenstrom selbst erregt werden, sondern durch einen abgesonderten Strom, weil, wenn das erstere der Fall sei, also für alle nur ein gleicher Widerstand stattfinde, bei Ausschaltung einer Maschine der Gesamtwiderstand des Stromkreises größer werden müsse, der Hauptstrom also geschwächt würde. Durch Anwendung eines abgesonderten Stromes dagegen wird der Hauptstrom nur in einfachem Verhältnis schwächer, deshalb kommt, da wenige Zweigleitungen vorhanden sind, auf jede ein größerer Prozentsatz dieses Stromes. Das Verhältnis der Widerstände bestimmt, ob der Strom nun in den einzelnen Sekundärmaschinen ebenso groß bleiben oder geringer oder stärker werden wird.

Die Ausstellung zu Paris gab Deprez Gelegenheit, seine Theorie auf ihre praktische Wertbarkeit zu erproben und er erzielte einen glänzenden Erfolg.

Er hatte eine Gramme'sche Maschine als Primärmaschine aufgestellt. Dieselbe, durch einen Gasmotor in Bewegung gesetzt, erhielt aber den Strom für ihre Elektromagnete nicht durch Selbsterregung, sondern durch eine kleine Siemens'sche Maschine. 27 Sekundärmaschinen waren nun mit der Primärmaschine durch Leitungsdrähte in Verbindung gebracht, die Drähte aber so geführt, daß sie, eine Haarnadelform bildend, wieder in die Nähe ihres Ausgangspunktes zurückliefen. Alle Zweigdrähte zweigten sich von einer Stelle des Hauptdrahtes ab, die von dem positiven Pol genau soweit entfernt war, wie die zurückgeführte Stelle von dem negativen Pol.

Die Hauptstromkreise erhielten dadurch gleiche Länge mit den Zweigstromkreisen, die hier auf 1000 m berechnet, eine vollkommene Gleichmäßigkeit der elektromotorischen Kraft in allen Teilen der Leitung bewirkte.

20 m lang, aus 9 mm starkem Drahte hergestellt, führte die erste Zweigleitung zur ersten Sekundärmaschine, welche eine Metallschneide mit einer Wirkung von 0,2 Pferdekraft in Betrieb setzte, andere Zweigleitungen sorgten für den Betrieb von zwei Plattiermaschinen, einer Holzbearbeitungsmaschine, einer Kupferdrahtzieherei, einem Galvanometer, einer Glühlampe, mehreren Nähmaschinen u. a. m. Aus diesen Zweigleitungen waren weitere Abzweigungen verwendet zum Betriebe einer Siemens'schen Maschine, einer Holzschneidemaschine, zweier weiterer Plattiermaschinen und einer elektrischen Lampe. Ferner wurde an einer anderen Zweigleitung ein großer Magnet elektrifiziert und ein Elektromotor in Bewegung gesetzt; eine andere Zweigleitung war der Trieb für eine Kreissäge und eine Uhrmacherdrehbank, wieder eine andere für eine Druckpresse und eine Plattiermaschine. Bei den letzteren beiden wurde auch nachgewiesen, daß, obgleich beide Maschinen ungleich entfernt, durch ungleiche Drähte abgeleitet, doch einzeln arbeiten konnten, ohne daß eine Betriebsstörung eintrat.



Solche Erfolge mußten zu immer kühneren Projekten anspornen, die, wenn auch zur Zeit noch nicht durchführbar, doch den Weg zeigen, den der Menscheng Geist in Zukunft wandeln wird. Eines der kühnsten wollen wir hier noch Erwähnung thun.

London hatte vor 5 Jahren etwa 4 200 000 Einwohner, welche etwa 84 000 Pferdekkräfte an Maschinen verbrauchten, die durch Verbrennung von Kohle erzeugt werden mußten. Bessemer schlug nun vor, die Stadt mit einem der nächstbelegenen Kohlendistrikte durch einen Kupferdraht von 25 mm Durchmesser, der etwa 120 engl. Meilen lang sein dürfte, in Verbindung zu setzen, um die damals zur Erzeugung der 84 000 Pferdekkräfte jährlich gebrauchten 10 126 000 Tonnen Kohlen von London fern zu halten und damit den entsetzlichen Rauch und Ruß zu beseitigen, diesen Kohlendistrikt anzuzünden und durch den Draht die Heizkraft überzuleiten auf die Dampfmaschinen. Er berechnete, daß bei einem Verbrauche von 150 kg Kohle auf die Pferdekraft täglich und bei einer Arbeitsleistung von $6\frac{1}{2}$ Tag pro Dampfmaschine, ein Viertel der bisherigen Heizkosten mindestens für London erspart würde.

Bei der elektrischen Beleuchtung werden wir sehen, daß die Teilbarkeit des elektrischen Stromes wirklich bereits ins Großartige übersezt worden ist.

60. Die elektrische Beleuchtung.

Bereits im Jahre 1801, also gerade mit dem Beginne dieses Jahrhunderts, hatten Gilbert und Pfaff die Bemerkung gemacht, daß der Funken, welcher von einer galvanischen Säule erzeugt wird, sich sehr wesentlich unterscheidet von dem Funken, welcher bei der Spannungs-Elektrizität überspringt, und sie hatten den Grund des Unterschiedes richtig darin gefunden, daß der galvanische Funke aus abgerissenen Metallteilchen bestehe, welche durch die Kraft, welche zu ihrer Losreißung nötig ist, ins Glühen geraten.

Bestätigt wurde diese Erklärung durch den Nachweis, welchen Simon erbrachte, daß der galvanische Funke durch Sauerstoff geleitet, wesentlich heller aufleuchtet.

Metalldrähte lassen sich aber immer nur durch bedeutenden Kraftaufwand zum Glühen bringen, und somit lag es nahe, daß man sich nach einem leichter zum Glühen zu bringenden Körper umseh, den endlich Curtet in Brüssel in den Kohlenstiften entdeckte, die er in die Leitung einschaltete.

Dieselben verbrannten unter lebhaftem Funkenprühen, und die Funken setzten Schießpulver sofort in Brand. Zu demselben Ergebnis gelangte in

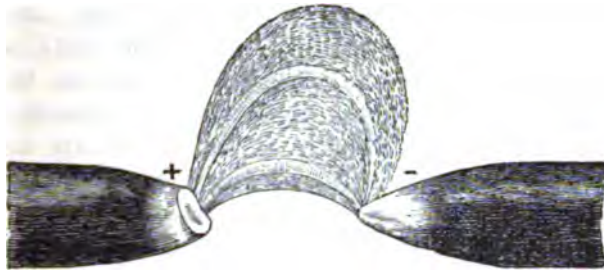


Fig. 319. Volta'scher Lichtbogen.

Paris Robertson im Jahre 1802 und Ritter, eifrig mit derselben Erscheinung beschäftigt, kam durch einen neuen Versuch auf ein wichtiges Ergebnis. Er schaltete nämlich nur einen Kohlenstift und als Pendant einen Silberdrahtstift ein und entdeckte, daß sich Wärme nur am positiven, niemals aber am negativen Pol entwickelte.

Die eintretenden Kriegrünruhen waren auch der Weiterentwicklung dieser wichtigen Entdeckungen nicht günstig und erst im Jahre 1812 gelangte Davy dazu, sich mit ganzer Kraft und ausgedehnten Mitteln denselben wieder zuzuwenden und seine Bemühungen krönte ein großartiger Erfolg. Er erzeugte durch Anwendung einer Batterie von 2000 Elementen zwischen zwei einander genäherten Kohlenstäben ein blendendes Licht, dessen Dauer und Leuchtkraft er noch dadurch erhöhte, daß er es im luftverdünnten Raum entstehen ließ.

Dabei bemerkte er bald, daß sich die positive Elektrode immer tiefer, in Kraterform, aushöhlte, indes die negative nur geringe Veränderung zeigte, und er schloß daraus ganz ebenso wie Ritter, daß der Lichtbogen nicht seine Entstehung in der Verbrennung der Kohlenstifte selbst, sondern nur in dem Übergange glühender Teilchen vom positiven zum negativen Pol habe.



Fig. 320. Pole des Volta'schen Lichtbogens.

Wie richtig er geschlossen, bewies er dadurch, daß er nachwies, wie der Lichtbogen durch Einwirkung magnetischer Kräfte abgelenkt wird. Daß aber auch die negative Elektrode nicht ganz unverändert bleibt, sondern auch von ihr, wenn auch in bedeutend geringerem Maße, Kohlentheilchen zur positiven Elektrode hinüberwandern, wies Breda 1817 nach. Von diesem Zeitpunkt an tritt wieder eine lange Ruhepause ein, die allerdings ausgefüllt wurde durch unausgesetzte Entdeckungen auf verwandten Gebieten, die aber auch, wie in vielen ähnlichen Fällen erkennen läßt, daß auch die geistige Arbeit einer Regelung dringend bedarf, die mit Patenten, Preisauszeichnungen und Staatsprämien noch keineswegs beendet ist.

1844 wendete sich Leon Foucault den Entdeckungen Davy's zu und schaltete statt der von diesem angewendeten Holzkohle, welche sich sehr schnell verbrauchte, Retortenkohle ein, die bedeutend widerstandsfähiger ist und erzeugte Lichtbogen von größerer Dauer, welche öffentlich in Paris einem größeren Publikum vorgestellt wurden und bereits den Gedanken erweckten, die neue Beleuchtungsart für praktische Zwecke zu verwerten. Bei diesen Versuchen wurde die Stellung der Kohlen zu einander fortwährend vom Darsteller reguliert. Schon ein Jahr später suchte Wright die Entfernung der Kohlen dadurch konstant zu erhalten, daß er statt der Cylinder, rotierende Kohlenscheiben einschaltete. 1846 wendete Staitte Spiralfedern an, welche die Kohlencylinder einander gleichmäßig nahe halten mußten und schon 1847 gelang ihm die wichtige Entdeckung, den elektrischen Strom selbst als Regulator anzuwenden. Jetzt erst konnte die Praxis daran gehen, die elektrische Beleuchtung im Großen auszuführen.

Archeron war der erste, der 1848 einen brauchbaren Regulator herstellte unter Anwendung des elektrischen Stromes. Auf einer hölzernen Unterlage sind zwei Träger errichtet, welche in der Mitte eine Kupferspirale an Querbändern halten, durch die ein Eisenstab geht, der an seinem oberen Ende einen der Kohlencylinder trägt, während er an seinem unteren Ende auf einer Schnur steht, die über eine Rolle gezogen durch ein Gegengewicht gehalten wird. Die Spirale steht mit dem einen Pol der Batterie in Verbindung, während von einem dritten Querbande, vertikal zum unteren Kohlencylinder der obere steht, der mit dem zweiten Pole der Batterie in Verbindung gesetzt worden ist. Während der Strom nun die Spirale durchläuft, wirkt er anziehend auf die Eisenstange und bewegt sie nach abwärts, dadurch werden die Kohlenspitzen von einander entfernt und es entwickelt sich ein Lichtbogen. Die Kohlen brennen jetzt langsam ab, wodurch sich der Widerstand vergrößert, der Strom also an Kraft abnimmt und dadurch ebenso seine Anziehungskraft auf den Eisenkern. Das Gewicht unten senkt sich, spannt die Schnur und hebt nun den Eisenstab und mit

ihm den Kohlencylinder wieder entsprechend hoch bezw. die Entfernung beider Kohlenspitzen bleibt eben für bestimmte Zeitdauer die gleiche.

Auf diesem Prinzip fußen die Regulator-Lampen für elektrisches Bogenlicht, die von Duboscq 1848, Jaspar 1855, Serrin 1857 u. a. m. in Anwendung gebracht wurden. Aber unvollkommen blieb die Sache doch; denn erstens mußte für jede Lampe eine besondere Batterie und ein besonderer Regulator aufgestellt werden, zweitens war die Kostenfrage schwer ins Gewicht fallend.

Jetzt galt es das Problem zu lösen, den Strom so zu teilen, daß er mehrere Lampen zugleich speiste, ohne daß dieselbe an Lichtstärke erhebliche Einbuße erlitten. Unermüdlige Versuche nach dieser Richtung hin führten zu keinerlei praktischen Ergebnissen, bis endlich im Jahre 1876 Paul Zablockoff, ein ehemaliger russischer Offizier, geb. 1847, durch die nach ihm benannten elektrischen Kerzen alle Schwierigkeiten in der einfachsten Weise überwand, und zwar ohne jeden Regulator. (Fig. 321.)

Zwei Kohlenstäbchen werden parallel nebeneinander aufgestellt und durch eine nichtleitende Schicht von Gips u. s. w. voneinander getrennt erhalten. Der Lichtbogen entsteht also nicht in einer vertikalen, sondern in einer horizontalen Ebene und streicht über die nicht leitende Schicht. In dem Maße, in welchem sich nun die Kohlenspitzen aufzehren, schmilzt zwischen ihnen die nichtleitende Schicht ab und verflüchtigt sich mit der Kohle. Entzündet werden die Kohlenspitzen durch ein sie verbindendes Kohlenstäbchen und zugleich werden, da, wie wir bereits wissen, die positive Kohlenkerze schneller abbrennt, Wechselströme angewendet, die also bald positiv, bald negativ auf jede der beiden Kerzen wirken. Selbstverständlich werden diese Wechselströme durch Dynamomaschinen erzeugt.

Diese epochemachende Erfindung wurde zuerst im Winter von 1877 zu 1878 in größere Anwendung gebracht, in welchem Jahre die Avenue de l'Opéra zu Paris dauernd elektrisch erleuchtet wurde. Alle größeren Anlagen seit dieser Zeit beruhten auf diesem System, dessen Mängel aber bald ebenfalls fühlbar wurden, da das Licht sich nicht selbstthätig entzünden kann und beim Erlöschen einer Kerze, alle zugleich ausgingen, was in Theatern u. s. w. egyptische Finsternis herbeiführte und zum Nebengebrauch von Petroleum und Gas nötigte.

Dieser Übelstand wurde aber bald behoben, denn der technische Leiter der Firma Siemens und Halske in Berlin, der Ingenieur v. Hefner-Alteneck

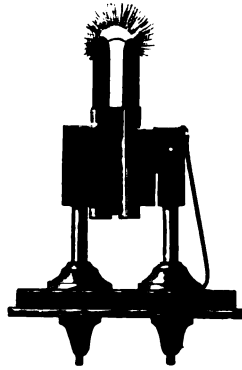


Fig. 321.
Zablockoff'sche Kerzen.

löste die Teilung des elektrischen Lichtes in fast vollkommener Weise durch Erfindung der sogenannten Siemens'schen Differentiallampe im Jahre 1879; dieselbe ist für Einrichtung von größeren Beleuchtungsräumen bis heute grund- und maßgebend geblieben. Die Kohlenstäbe umschließen jetzt nach dem Vorgange von Siemens Kupferdrähte.

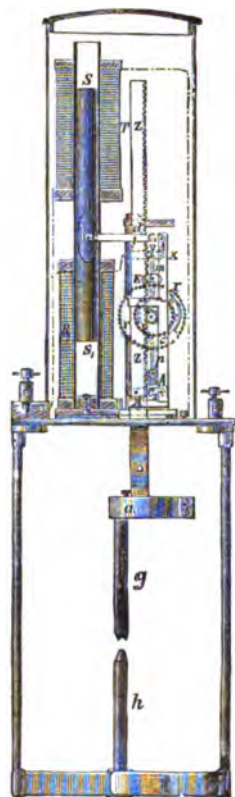


Fig. 322. Differential-Lampe v. Hefner-Alteneck (Durchschnitt).

Wir geben jetzt eine Beschreibung einer Differentiallampe von v. Hefner-Alteneck. Fig. 322 zeigt uns den Durchschnitt einer solchen.

Die obere Spirale T ist hergestellt aus feinem, die untere Spirale R aus starkem Kupferdraht. Demgemäß bietet Spirale T einen größeren Widerstand als Spirale R. Durch beide Spiralen geht der Eisenkern SS', der durch den in seiner Mitte befindlichen Hebel coc, mit dem Kohlenstifthalter a verbunden ist. Der untere Kohlenstifthalter liegt fest. Der zwischen den Spiralen T und R eintretende Strom zweigt sich auf beide Spiralen ab. Sind nun die beiden Kohlenstäbe zu weit voneinander entfernt, so daß ein normaler Lichtbogen nicht mehr gebildet werden könnte, so geht der stärkste Stromzweig durch die obere, stärkeren Widerstand leistende Spirale T, der Eisenkern SS, wird dadurch magnetisch. Dadurch in die Höhe gezogen, wird der Hebel coc, an seinem hinteren Ende gehoben und der Kohlenträger g wird niedergedrückt. Nähern sich dagegen die Kohlenspitzen einander zu sehr, so geht der stärkere Strom durch die schwächere Spirale R, der Hebel coc, wird an seinem vorderen Ende gehoben und dadurch der Kohlenträger g wieder in die Höhe gerückt, wodurch der nötige Abstand wiederhergestellt ist. Mit dem Hebel und dem oberen Kohlenhalter a ist ein eiserner Rahmen AA' verbunden, der sich durch eine Führung nur nach oben oder unten bewegen kann. Dieser Rahmen trägt ein kleines Zahnrad r und einen kleinen Auslöser E, der das Pendel P in Gang bringen kann. Der obere Kohlenhalter g(a) sitzt an der Zahnstange Z, welche in das Rad r eingreift. Ist nun der Rahmen AA, nach oben gegangen, so wird das Pendelende m in dem Loche y eingeklemmt und dadurch werden der Auslöser E und das Rad r festgehalten. Die Zahnstange Z, welche mit dem Rahmen AA, verbunden ist, muß seiner Bewegung folgen und nach

oben gehen. Senkt sich nun der Rahmen AA_1 , so wird das Pendelende m aus dem Loche y freigelassen, das Rad ist nicht mehr gehemmt und die Zahnstange Z mit dem Kohlenträger g (a) bewegt sich abwärts.

Der Strom fließt, so lange die Kohlenstäbe in g und h getrennt sind, nur durch die Spirale T . Dadurch wird der Eisenkern S in sie hineingezogen, der Rahmen AA_1 senkt sich und die Pendelstange m tritt aus y heraus, während die Zahnstange Z langsam nieder fällt und dadurch das Rad



Fig. 323. Bogenlichtlampe.

r und durch den Auslöser E das Pendel m in Bewegung gesetzt; sobald sich aber dann beide Kohlenstippen berühren, geht sofort ein starker Strom durch die Spirale R , der Eisenkern S_1 wird herniedergezogen, der Rahmen AA_1 steigt mit dem Rad r und die Pendelstange m wird wieder in dem Loche y festgehalten. Dadurch muß die Zahnstange Z wieder dem Rahmen folgen, der Kohlenträger g wird gehoben und die nötige Entfernung so wiederhergestellt. Da diese Bewegung vollständig regelmäßig geschieht, so bleibt das Licht stets ein gleichmäßiges ruhiges und ist nun zu Beleuchtungszwecken vollkommen brauchbar.

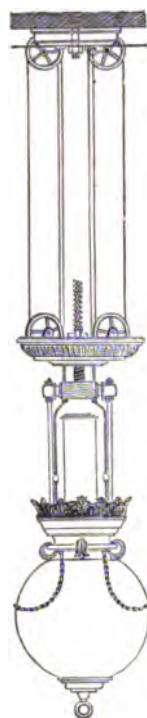


Fig. 324.
Bogenlichtlampe.
Aufzichvorrichtung.

Die fabrikmäßige Herstellung von Lampen aller Art geschah nun überraschend schnell und ihre äußere Ausrüstung ging mit dem neu erwachten besseren Geschmack Hand in Hand. Die ältere Lichterzeugerin aber, das Gas, ließ sich nicht so ohne weiteres aus ihrem weiten Besitzfelde drängen und bot die Hand zu einem interessanten Wettkampf, der scheinbar einen Ausschlag zu Gunsten der Gasanstalten gab, so lange die Stromverteilung nicht gelang, der aber von da ab sich mehr und mehr zu Gunsten des elektrischen Lichtes entscheidet, namentlich seitdem in der Erfindung des

Glühlichtes auch für alle häuslichen Zwecke ein außerordentlich brauchbarer Ersatz für das Gaslicht gefunden wurde.

Bei den jetzt gebräuchlichen Bogenlichtlampen steckt die Regulierungsvorrichtung in einem Metallgehäuse, während die Lampe selbst von einer Glocke aus dickem Milchglas umschlossen ist, die, um größeren Widerstand leisten zu können, mit Draht überflochten ist.

In Fig. 323 und 324 geben wir die äußere Ausrüstung von zwei Siemens'schen Lampen. Fig. 323 ist eine jetzt allgemein gebräuchliche Lampe für Säle, Läden u. s. w. Die Lampe hat eine Vorrichtung, welche es gestattet, sie auszuschalten, um event. neue Kohlencylinder in sie zu setzen, während die anderen Lampen ruhig weiter brennen. In Fig. 324 ist eine Aufziehvorrichtung abgebildet. Das Balance-Gewicht ist über der Lampe angebracht und mit verkürztem Wege versehen, damit sie auch für niedrige Räumlichkeiten verwendet werden kann.

Die Lampe selbst ist an Kupferdrähten aufgehangen, durch welche der elektrische Strom zu- und abgeleitet wird.

Statt der Milchglasglocken werden auch Alabasterkugeln in Anwendung gebracht, wie Bürgin sie zuerst anwandte auf der elektrischen Ausstellung 1881 zu Paris. Auch die Lage der Kohlenspitzen zu einander ist bald vertikal, bald horizontal.

Die Einschaltung von Jablockhoff'schen Kerzen gestattet nun, da der Widerstand der Kohlen sich nicht ändert, die Stromstärke also im ganzen Kreise sich gleich bleibt, eine Reihe von Kerzen in denselben einzuschalten, so, daß der Strom von der ersten zur zweiten, von dieser zur dritten u. s. w. geht.

Eine Differentillampe für Bogenlicht, welche durch ihre Einfachheit sehr empfehlenswert ist, stellt Weston-Möhrling her. Er umwickelt einen Elektromagnet mit zweierlei Draht, dünnem und dickem in entgegengesetzter Richtung. Der Strom läuft durch beide wiederum in entgegengesetzter Richtung, so daß die eine Wirkung desselben die andere Wirkung auf den Eisenkern abschwächt. Der in Federn hängende Anker wird dadurch bald stärker, bald schwächer angezogen; damit dies aber nicht plötzlich geschehen kann, ist an ihm eine Stange mit einem Kolben angebracht, der sich in einem Gefäß mit Glycerin auf und nieder bewegt.

Zugleich kann die Hubhöhe des Ankers und dadurch die Entfernung der Kohlenspitzen durch An- und Abspannen einer Feder vergrößert oder verkleinert werden. Der Anker hebt zugleich einen Hebel, an dem eine Messingstange angebracht ist, welche die positive Kohle trägt.

Der Strom läuft nun, so lange die positive Kohle der negativen nahe ist, hauptsächlich durch den dicken Draht; sobald sich aber die Entfernung

zwischen den Kohlenspitzen vergrößert, nimmt der Hauptstrom immer mehr seinen Lauf durch den dünnen Draht und dann in entgegengesetzter Richtung. Der hierdurch geschwächte Elektromagnet läßt den Anker und damit die Stange, welche die positive Kohle trägt, sinken, worauf der Hauptstrom wieder auf den dickeren Draht übergeht und dieser Vorgang wiederum wie vorhin verläuft.

Klostermann konstruiert eine Bogenlampe, die durch einen eigenen Mechanismus das Vorschieben der Kohle selbständig besorgt. Derselbe wird durch einen im Nebenschlusse liegenden Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt und gewährt den Vorteil, daß der Lichtbogen fast konstant bleibt. Auf der Wiener Ausstellung 1883 beleuchtete die Cance-Beleuchtungsgesellschaft mit Bogenlampen von 350 Normalkerzenstärke ihren eigenen Ausstellungsplatz, dann die Innenräume der französischen Telephongesellschaft, den Pavillon des französischen Ministeriums, der Posten und Telegraphen, die Kuppel des türkischen Pavillons und den Platz selbst, auf dem sieben Gramme'sche Maschinen, angetrieben durch eine 50pferdige Dampfmaschine, den zu den Bogenlichtern nötigen Strom erzeugten.

In Berlin haben die größeren Unternehmungen, die öffentlichen Gebäude und teilweise einzelne Straßenzüge bereits elektrische Beleuchtung erhalten. Die Riesenhalle des Anhalter Bahnhofes enthält mit ihrem Zugangsperron 24 Differentiallampen von 350 Normalkerzenstärke. Sie erhalten ihren elektrischen Strom durch drei große Wechselstrommaschinen, welche in Betrieb durch zwei liegende Hochdruck-Dampfmaschinen von je 15 Pferdekraften gesetzt werden.

Jede Wechselstrommaschine liefert zwei getrennte Stromkreise, die jeder fünf Differentiallampen speisen. Da dadurch aber nur 30 Lampen in Thätigkeit gesetzt werden könnten, so sind alle Maschinen- und alle Lampenleitungen zu einem Apparat geführt, der „Generalumschalter“ genannt wird.

Derselbe besteht aus zwei voneinander isolierten Reihen von Metallschienen, welche, die eine Reihe aus sechs, die andere aus acht Schienen hergestellt, sich rechtwinklig kreuzen. An jeder Kreuzungsstelle kann nun ein Stöpsel eingeschaltet werden, der den Strom alsdann schließt. Dadurch geht der Strom durch alle fünf Lampen hindurch durch die Erde zurück und bleibt für alle Lampen gleich.

Ein solcher „Generalumschalter“ kann deshalb angewendet werden, weil jede Reihe von fünf Lampen beliebig mit jeder Wechselstrommaschine in Verbindung gebracht werden kann.

Statt der Hintereinanderschaltung wendet man auch eine Nebeneinanderschaltung der Lampen an und indem man jede zwischen zwei Parallelleitungen legt, läßt man sie ihre Regulierung untereinander selbst besorgen.



Alle diese Systeme der Stromteilungen bewirken, daß man statt eines starken Bogenlichtes deren mehrere schwächere durch denselben Stromkreis speisen kann. Die Verteilung eines und desselben Stromes auf mehrere Lampen erfordert aber, um die gleiche Menge von Licht zu erzeugen, mit der Zunahme der Lampenzahl eine um so stärkere Spannung. Letzterer Umstand aber macht eine zu ausgedehnte Verwendung gefährlich, da bei hohen Spannungen eine hinreichende Isolierung schwer zu erreichen ist und die Arbeiter deshalb leicht verunglücken können; aber auch große Verluste an Kraft sind nicht zu vermeiden und die Betriebskosten mehren sich.

Für Schreibtuben, Haushaltungen und alle kleineren Einrichtungen kann die Bogenlichtlampe aber Petroleum und Gas nicht verdrängen, da sie dann, um ein ähnliches Licht mit denselben Kosten etwa zu erzielen, so klein hergestellt werden müßte, daß eine Regulierung nicht mehr sicher auszuführen wäre.

Doch die Vielseitigkeit menschlichen Thuns erfordert, daß eine wichtige Erfindung nach allen Richtungen hin ausgebeutet wird und so wendete man denn auch sich zu Konstruktionen von Lampen für den Eisenbahnverkehr, für die Schifffahrt, für Kriegszwecke u. a. m.

Auf der Wiener Ausstellung befand sich unter den Ausstellungsgegenständen der österreichischen Direktion für den Staatsbahnbetrieb eine von Sedlaczel-Witubill konstruierte „elektrische Lokomotivlampe“, welche von der berühmten Firma Schuckert in Nürnberg ausgeführt, an dem Westrand der Rotunde von dem Portale aus weit in die Perspektive der Praterallee hineinleuchtete. Dieselbe, vorn an der Lokomotive angebracht, soll allen Schwankungen der Maschine Widerstand leisten und stets gleichmäßig in ihrer Leuchtkraft bleiben.

Ihre Einrichtung gründet sich auf das Gesetz der kommunizierenden Gefäße (Röhren).

Zwei vertikal gestellte, parallellaufende und miteinander kommunizierende Cylinder, mit einer Flüssigkeit (z. B. Glycerin) gefüllt, die der Bildung eines Vakuums Widerstand leistet und die für die Stärke des hier in Anwendung kommenden Druckes als nicht zusammendrückbar anzusehen ist, tragen auf- und niedergehende Kolben, welche luftdicht schließen. Der eine dieser Kolben, vertikal gerichtet, ist kurz, der andere, doppelt rechtwinklig niederwärts gebogen, ist dreimal so lang. Beide Kolben tragen an ihrem Ende die Kohlenstäbe mit ihren Haltern. Derjenige Cylinder, der die positive Elektrode führt, hat an seinem unteren Teil einen kleinen Hahn, der cylindrisch durchbohrt ist. In diese Durchbohrung ist ein Kolben eingelassen, welcher mit dem Eisenkern einer Induktionsspirale in Verbindung steht, der aber von der Bewegung des Hahnes unabhängig ist.

Sobald sich der Hahn öffnet, treten beide Cylinder in Kommunikation; da aber der Kolben, der die positive Elektrode trägt, schwerer ist, so sinkt



Bild. 325. Veränderung bei Uebersetzung durch elektrisches Licht.

diese abwärts, dadurch hebt sich die weggedrängte Flüssigkeit in dem Cylinder, der die negative Elektrode führt und beide Kohlenspitzen kommen in Kontakt. Jetzt bewirkt aber der sie durchkreisende Strom, in dessen

Kreis auch die Induktions-Spirale eingeschaltet ist, daß der Eisenkern in letztere etwas hineingezogen wird und damit auch der Kolben in der cylindrischen Durchbohrung des Hahns. Sobald dies aber geschieht, wird die Kommunikation zwischen den beiden Cylindern unterbrochen. Jetzt sinkt die Flüssigkeit in dem Cylinder der negativen Elektrode, die Kohlenspitzen sind entfernt und der Lichtbogen ist entstanden. Durch das Wegbrennen der Kohlen vergrößert sich der Widerstand, die Kraft des Stromes wird geringer und die Induktions-Spirale besitzt nicht mehr die Kraft, dem Widerstande einer Feder die Wage zu halten, die bestimmt ist, den Kolben vorwärts zu drücken, die Kommunikation der Röhren stellt sich wieder her, der schwere Kolben treibt die Flüssigkeit wieder unter den leichten, die Elektroden nähern sich wieder, die Induktions-Spirale zieht den Eisenkern mit den Kolben wieder an und so fort bis zum Aufhören des Stromes. Um nun das Licht in konstanter Höhe zu halten, ist der Cylinder, der den negativen Kolben trägt, beinahe um den doppelten Querschnitt weiter als der, welcher den positiven führt, weil eben die positive Kohle fast doppelt so rasch verbraucht wird. Die Lampe führt einen Reflektor und zu ihrem Betriebe dient eine auf dem Kessel der Lokomotive montierte Flachreizmashine aus der Schuckert'schen Fabrik. Bei einer Lichtstärke von 4000 Normalkerzen wird die Bahn auf 1—2 km erhellt.

Nicht minder wichtig wie für die Eisenbahnen ist die Beleuchtung der Fahrwege für die Schifffahrt. Dieselbe kann auf doppelte Weise ausgeführt werden, indem entweder die Lichtquelle auf dem Verdeck des Fahrzeuges selbst, oder auf den längs der Fahrstraße verankerten Bojen angebracht ist. Fig. 325 zeigt uns den ersteren Fall.

Die große Schokoladenfabrik zu Noisset besitzt eine so eingerichtete eigne Dampfjacht, welche ihre Verbindung auf der Marne und Seine mit Paris vermittelt.

Die Bogenlampe, mit einem Projektor ausgerüstet, erleuchtet beide Ufer so hell, daß man deutlich auf weite Strecken jede Krümmung bemerkt und dieselben umgehen kann, ohne die Fahrgeschwindigkeit zu mindern.

Dampfer können sich nun solche Schutzvorrichtungen verhältnismäßig leicht herstellen, die aber noch bei weitem größere Zahl von Segelschiffen wäre derselben ebenfalls recht bedürftig, doch ist bis jetzt noch keine Aussicht vorhanden, das Wasser, in dem ihr Kiel streift, als Motor für den elektrischen Strom zu verwenden.

Dagegen lag es sehr nahe, den Leuchttürmen die neue Lichtquelle zuzuführen, und man ging auch ungesäumt ans Werk.

Ein rühmlicher Wettstreit entstand, und was zum Beispiel Sauter und Lemmonier auf der Wiener Ausstellung auf Anordnung der französischen

Leuchtturm-Behörden vorführten, das Modell eines Leuchtturms mit funkeln- dem elektrischen Lichte und gruppenweiser Farbenstrahlung, erregte allgemeine Aufmerksamkeit.

Hatte man doch bereits in Havre de Grace, das am Kanal gelegen, nur mit einer guten Rhede bedacht worden ist, während den Schiffen in Cherbourg ein sicherer Hafen winkt, mit Schmerz bemerkt, wie die unsichere Rhede bei zu erwartendem Eintritte der Flut während der Nacht gemieden wurde und die Schiffe lieber Cherbourg anliefen, wenn solches Ereignis bevorstand. Deshalb richtete man eine elektrische Beleuchtung der wichtigsten Einfahrten in den Hafen ein, die seit 1881 bei jeder nächtlichen Flut stets eine Stunde vor deren Eintritt bis eine Stunde nachher in Wirksamkeit tritt.

Es sind zu dieser Beleuchtung 24 Lampen mit je 4 Fablokoff'schen Kerzen verwendet, welche auf 6 Stromkreise verteilt sind.

In England wurden vier elektrische Lichtstationen versuchsweise eingerichtet, doch scheinen sich dort die Einrichtungen nicht, wie gewünscht, bewährt zu haben, denn die Kommissäre der irischen Leuchtturmlichter sprachen sich in einer Eingabe an das Parlament folgendermaßen aus: „Die Versuche mit dem elektrischen Licht haben zu der Thatsache geführt, daß, obgleich dasselbe unzweifelhaft das glänzendste Licht bei klarem Wetter, es jedoch in keiner Weise verhältnismäßig wirksam ist bei Nebel, wo der Seemann am meisten dieses Licht benötigt.“

Es haben sich hauptsächlich bezüglich der Leuchtturmsignale folgende Mängel am elektrischen Lichte herausgestellt:

1. Dasselbe täuscht bei hellem Wasser die Seeleute, indem dieselben die Entfernung vom Leuchtturme nicht mehr abzuschätzen wissen, weil das Licht, die atmosphärische Beschaffenheit mag sein wie sie will, gleich hell erscheint, ob das Schiff zehn Seemeilen oder eine von ihm entfernt ist (1 Seemeile = 1,8551 km = $\frac{1}{4}$ geographische Meile).

2. Bei Nebelwetter, wo das elektrische Licht ganz besonders nötig wäre, wird es weit mehr gedämpft als Gas oder auch nur Öllicht. Der Nebel verschluckt nämlich die brechbarsten Strahlen, blaue und violette, aus denen das elektrische Licht hauptsächlich zusammengesetzt ist, während er nur seine weniger brechbaren Strahlen, gelb und rot, durchgehen läßt. Gas- und Öllicht dagegen sind in der Hauptsache aus gelben und roten Strahlen zusammengesetzt und senden deren eine bei weitem stärkere Anzahl durch den Nebel, als das elektrische Licht.

Trotz dieser Einwände ist das elektrische Licht von den Leuchttürmen nicht verdrängt worden, man hat vielmehr durch Verbesserung der Linsensysteme, von denen in der Optik des Näheren die Rede sein wird, welche



alle in einer vertikalen Ebene ausgehenden Lichtstrahlen in eine horizontale Ebene vereinigen, diese Übelstände zum Teil bereits überwunden.

Den Glanzpunkt seiner Wirksamkeit dürfte das elektrische Bogenlicht wohl auf der internationalen elektrischen Ausstellung zu Wien 1883 erreicht haben. Die aus der Weltausstellung von 1873 erhaltene großartige Rotunde trug in der mittleren Laternengalerie eine Bogenlichtlampe, deren Lichtkegel von 20 000 Normalkerzenstärke abwärts gelenkt wurde.

Die obere Galerie trug 28 Bogenlichtlampen, jede zu 2—3000 Kerzenstärke, die untere, größte Galerie 112 Lampen zu je 1000 Kerzenstärke und das Parterre der Rotunde 36 Lampen zu je 500 Kerzenstärke. Die Halbgalerie von 28 Bogen um die Rotunde herum hatte je eine äußere und eine innere Lampe, zusammen also 56 von je 800 Kerzen, rund also ein Lichtmeer von 265 000 Kerzen, zu denen dann für die Beleuchtung der Außen- und Nebenräume, die Zufahrten und Zugänge der Baumgänge und sonstiger Wege noch 247 Lampen mit je 1000 Kerzen hinzutraten, und so kann man sich einen Begriff machen von dem überwältigenden Eindruck dieser Anlage.

Die Wirkung wurde aber noch dadurch erhöht, daß von der Höhe des Hauptportals und von der Höhe der Laterne aus noch mehrere amerikanische Reflektoren von je 10 000 Kerzenstärke zur Beleuchtung weit entfernter Gegenstände, wie der Karlskirche, des Stephansdomes u. s. w. verwendet wurden, so daß, den amtlichen Bericht der Stadt Wien, nach welchem die Stadt durch Gas mit ihren zehn Bezirken in Stärke von 120 000 Normalkerzen beleuchtet war, zu Grunde gelegt, die Beleuchtung der Ausstellung auf abendlich 600 000 Kerzen festzusehen ist.

Die Kosten für solche ausgedehnten Unternehmungen waren aber außerordentlich hohe und sie namentlich schreckten von Versuchen für Einführung des Bogenlichts in kleineren Bezirken ab. Da war es die Firma Siemens und Halske in Berlin, die in dieser Beziehung mit Genehmigung der städtischen Behörden einen genau abgegrenzten Versuch anstellte, der in jeder Hinsicht zu befriedigenden Ergebnissen geführt hat.

Vom 20. September 1882 bis zum 20. September 1883 übernahm die Firma gegen Vergütung des Selbstkostenpreises die elektrische Beleuchtung des Potsdamer Platzes und des an ihn grenzenden Teiles der Leipzigerstraße bis zur Friedrichstraße mit 11 Bogenlichtlaternen für den Platz und mit 25 für die Leipzigerstraße. Drei Dynamomaschinen speisten diese 36 Laternen, je 12 derselben. Die Dynamos selbst wurden durch Gasmaschinen getrieben. Die Betriebskosten stellten sich auf 26 040 Mark. Die Stadt bewilligte der Firma auch die gleiche Summe für 1883/84; die Firma stellte nun an Stelle der Gasmaschinen eine Dampfmaschine zu

36 Pferdekraften zum Betriebe auf und bis heutigen Tages ist die ganze Anlage im Betriebe geblieben, ohne irgend erhebliche Störungen, so daß man die elektrische Beleuchtung bereits als etwas Selbstverständliches ansieht.

Da jede Dynamomaschine hier 12 Lampen speist, so sind 3 Stromkreise vorhanden, die jeder ein Kabel erfordern, welches, aus Kupferdraht bestehend, der mit Blei umpreßt in eine harzige Hanfmasse eingelegt ist, unterirdisch zu den Lampenständern und in ihnen dann aufwärts geführt ist.

Jeder Leitungsdraht hat 3,4 mm im Durchmesser, die Kohlenstäbe in den Lampen 11 mm, ihre Brenndauer beträgt, unter einem Steigungswinkel von 30° zur Horizontalen, 9 Stunden bei einer Stärke von 880 Normalkerzen. Die Dynamomaschinen wiegen jede 800 kg.

Da nun die Firma Siemens und Halske zugleich die Erfinderin der Gas-Regenerativbrenner ist, so wurde ein Teil der Leipzigerstraße gleichzeitig auch mit diesen Brennern erleuchtet und eine Vergleichung der Kosten lieferte folgendes Ergebnis: die Beleuchtung der Flächeneinheit mit Regenerativbrennern kostete 32, mit Bogenlicht 38 Pfennige auf die Stunde. Die Lacarrièr'schen Ringbrenner und die Bray'schen Dreiflammensbrenner, welche zugleich mit den Bogenlichtlampen und den Regenerativbrennern einen anderen Teil der Leipzigerstraße erhellten und die wie die letzteren für Gasverbrauch eingerichtet waren, kosteten 48 Pfennige. Das elektrische Bogenlicht hat somit den siegreichen Kampf mit dem Gaslicht aufgenommen und da mit den Verbesserungen an den Dynamomaschinen, die jetzt schon bis zu 40 000 Normalkerzenstärke Licht liefern können, die Kosten weiter vermindert werden, so wird das Bogenlicht in Zukunft für Erleuchtung weiter Räume von einem Punkte aus entschieden den Vorrang behaupten.

61. Das elektrische Glühlicht.

Wir haben bei der Lehre von der Elektrizität bereits ausgeführt, daß, wenn man einem elektrischen Körper einen Leiter mehr und mehr nähert, an den einander zunächst gegenüberstehenden Stellen der beiden Körper entgegengesetzte Elektrizitäten sich anhäufen, deren Dichtigkeit fortwährend wächst, weil die in dem Leiter durch Verteilung erregte und nach seinem äußersten Punkte hinübergezogene Elektrizität die entgegengesetzte Elektrizität des elektrischen Körpers ebenfalls nach dem dem Leiter gegenüberstehenden Punkte hinzieht. Sobald die Dichtigkeit der beiden Elektrizitäten groß genug geworden ist, so durchbrechen sie die trennende Luftschicht und vereinigen sich unter knisterndem Geräusch oder mit einem Knall zu einem elektrischen

Funken, welcher in Dampf verwandelte und glühende Teilchen beider Leiter, zwischen denen er übergeht, mit sich reißt.

Jeder Leiter nun, durch den ein elektrischer Strom geht, wird erwärmt. Die dabei entwickelte Wärmemenge wächst im Verhältnis des Widerstandes des Leiters und im quadratischen Verhältnis der freiverdenden Elektrizitätsmenge d. h. der Stromstärke. Metalldrähte müssen also um so höher erwärmt werden, je dünner sie sind und je geringer das Leitungsvermögen des Metalls ist, aus dem sie gezogen sind. Daher schmelzen starke Ströme Drähte aus leichtschmelzbarem Metall, Drähte aus schwererschmelzendem wie Platindrähte geraten in Weißglühhitze.

Diese Erhitzung von Drähten benutzt man zum Sprengen von Minen, wie wir S. 488 dargethan haben.

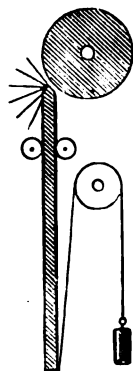


Fig. 326.
Marum's Glühlampe.

Da weißglühende Platindrähte in ihrer nächsten Umgebung sehr helles Licht verbreiten, so benutzt die Heilkunde dieselben, um von außen zugängliche Höhlen des menschlichen Körpers in ihrem Innern zu erleuchten. Nun hatte schon Jobart in Brüssel 1838 vorgeschlagen, glühende Kohle im luftleeren Raume für die elektrische Beleuchtung zu benutzen, und auf diese Anregung hin konstruierte im Jahre 1841 Moleyes in Cheltenham eine Lampe, die aus einem luftleergemachten Glasballon bestehend eine mit Kohlenpulver überdeckte Spirale aus Platindraht enthielt, der durch den galvanischen Strom zum Glühen gebracht wurde. Es war dies die erste elektrische Glühlampe und durch ihre Erfindung der Weg zu einer weiteren gewaltigen Entwicklung nach dieser Richtung hin gegeben.

Freilich geriet man hier auch wieder erst auf mancherlei Abwege. So brachten 1844 Changy und 1845 Starr wieder glühende Kohlenstäbchen in Anwendung, und da auch hier die rasche Abnutzung auf Abhilfe drängte, versuchten Greener und Staitte 1848 die Abnutzung zu verzögern, indem sie die Kohle vor dem Gebrauch mit Salpetersäure reinigten; da aber auch das nicht viel half, so wendete Petrie 1849 statt der Kohle Iridium an.

Da auch Iridium sich nicht bewährte, so versuchte 1852 Changy die Stromstärke durch Anziehung eines Elektromagnets zu regulieren; aber erst Konn gelangte 1875 einen Schritt weiter, indem er mehrere Kohlenstäbe nebeneinander stellte, welche der Reihe nach zum Glühen kamen, wodurch die Brenndauer entsprechend verlängert wurde.

1878 verwarfen Sawyer und Man die nicht genügenden Widerstand leistende Retortenkohle und wendeten Kohle von Weidenholz an.

Die wirklich bahnbrechende Erfindung aber war das Werk eines jungen

Genies, dessen Name seitdem durch die ganze Welt geeilt, eines Landsmannes des unsterblichen Erfinders des Zeichendrucktelegraphen, der amerikanische Telegraphenbeamte Thomas Alva Edison, geboren am 10. Februar 1847.

Zur Herstellung von Kohle wendete derselbe 1879 Kartonpapier und später Bambusrohr an, und er war es, der durch seine rastlosen Bemühungen diesen Zweig der elektrischen Technik auf fast vollendete Höhe geführt hat. Bevor aber das System Edison alle anderen Systeme verdrängte, schienen die mit den Fablochloff'schen und Samin'schen Kerzenlampen verwandten sogenannten Kontaktglühlampen Erfolg zu versprechen.

In denselben wird ein Kohlenstab gegen ein Stück Kohle oder Metall gepreßt und an der Berührungsstelle durch den galvanischen Strom zum Glühen gebracht. Die von Reynier in Paris und später von Markus in Wien konstruierten Glühlampen (Fig. 326) bestehen aus einem Kohlenstäbchen, das zwischen einer Rollenführung vermittelt eines Gewichtes gegen den Umfang einer drehbaren Kohlenscheibe gedrückt wird. An der Berührungsstelle findet der nach der Scheibe vom Stäbchen aus übergehende Strom starken Widerstand; er erhitzt das Ende des Stäbchens und bringt es zum Weißglühen. Da nun durch das Gewicht das Kohlenstäbchen beim Abbrennen immer nachgeschoben wird, so versetzt es dadurch die Scheibe in Umdrehung. Dieselbe bietet jetzt immer neue, frische Stellen zum Angriff dar, wodurch ein Einbrennen von Löchern in die Scheibe vollkommen verhindert wird.

Reynier bewirkte die Drehung der Kohlenscheibe mittelst Übertragung durch eine Zahnstange.

Werdermann in London dagegen hing den Kohlenstab an Schnüren auf, welche über Rollen laufen, und ließ ihn gegen ein massives Stück Kupfer andrücken.

Brockie stellte eine sogenannte Kontakt-Stoßlampe her, welche die normale Entfernung der Kohlenspitzen dadurch herstellt, daß die obere Kohle jedesmal, sobald die nötige Entfernung überschritten werden mußte, herabgleitet, bis sie die untere berührt. Sie führt dadurch wieder die volle Kraft des Stromes herbei und wird nun wieder zur richtigen Entfernung zurückgeführt. Eine ähnliche Einrichtung konstruierte Mackenzie u. A. Mit dem Hervortreten Edisons an die Öffentlichkeit verschwanden die Kontaktglühlampen und die elektrische Beleuchtung trat in einen neuen bedeutenden Abschnitt ein.

Die erste von Edison hergestellte Glühlampe, die allgemein praktischen Wert hat und die zahlreichen Nachfolgern als eine grundlegende gedient hat, Fig. 327, besteht aus einem luftleren Glasballon in der Form und Größe einer Birne, in welchem der zum Leuchten bestimmte Bügel, der

aus einer hufeisenförmig gebogenen verkohlten Bambusfaser besteht, die von 1 qmm Querschnitt an ihren Enden mit zwei durch den Boden, auf dem der Ballon steht, hindurchgeführten Platindrähten verbunden ist.

Der Hals der Lampe wird durch einen Glasstöpsel, der in ihn hineinragt, luftdicht abgeschlossen. Der Glasstöpsel selbst bildet eine Röhre, die an dem oberen Ende durch einen Glasboden verschlossen, an dem unteren dagegen wulstig ausgebaucht ist. Durch diese Röhre und den Glasboden sind die Platindrähte luftdicht zum Bambuskohlenbogen geführt und mit diesem durch galvanische Verkupferung verbunden. Der Fuß der Lampe kann beliebig geformt werden. Das Licht, welches eine solche Lampe ausstrahlt, kommt an Farbe und Leuchtkraft fast einer Gasflamme nahe, hat



Fig. 327.
Edison's Glühlampe.

aber den Vorteil, daß es niemals flackert, sondern mild und ruhig stetig leuchtet. Dies wird nur möglich durch die im Ballon vorhandene Luftleere, durch welche die Lampe während der Dauer eines recht langen Winters, 7—8 Monate, unausgesetzt brennen kann; dieselbe Luftleere giebt der Lampe auch das goldig schimmernde Licht, das sich von dem weißlichen oder bläulichen Bogenlicht so vorteilhaft unterscheidet. Die Lampe leuchtet aber nur, so lange diese Luftleere besteht; tritt durch irgend ein Ereignis atmosphärische Luft an den Kohlenbogen, so wird derselbe sofort zerstört und die Lampe ist unbrauchbar.

Bei diesen Lampen ist namentlich die Herstellung des oberen Glasbodens in der Röhre, durch welchen die Platindrähte luftdicht geführt werden müssen, überaus schwierig, da es hauptsächlich darauf ankommt, die Drähte einzufügen, so lange die Glasmasse noch flüßig ist. Damit nun die Enden des Kohlenbogens, welche mit den Platindrähten durch galvanische Verkupferung verbunden sind, durch zu hohe Temperaturen nicht abschmelzen, werden die Verbindungsstellen so verstärkt, daß der Stromwiderstand nur gering bleibt und damit die Wärmeentwicklung gleichfalls auf das geringste zurückgeführt wird. Der Herstellung von Kohlenfaser mußte nun die nötige Aufmerksamkeit zugewendet werden und namentlich galt es, dieselbe durch Großbetrieb zu erzeugen. Zu diesem Zwecke hat man eigene Maschinen erdnen und hergestellt, welche das Bambusrohr entschälen, es dann in Fasern schneiden von 120 mm Länge und 1 mm Dicke und diese Fasern dann in Form eines langgezogenen U umbiegen.

Diese UBogen werden in Tausende gepackt, in genau anschließenden

Formen der Glühofenhitze ausgesetzt und rasch verkohlt. Die Bogen erhalten dadurch die Widerstandskraft und Feinheit, die sie auf längere Dauer für den Gebrauch haben müssen.

Nachdem das Prinzip bekannt gegeben war, haben spätere Verfertiger von Glühlampen Kohlenfäden auch aus anderen Stoffen, wie Papier, mit Hanffäden umwundenen Koaksteilchen, in Hufeisenblättchen geschnittene Holzspähne u. s. w. hergestellt, oder auch die Form der Kohlenfäden von der Hufeisenform abweichend hergestellt. Fig. 328 a zeigt die Form des Kohlenbügels der Glühlampe von Maximé, die er später in die Form b umwandelte, c die der Lampe von Lane-For, d die der Lampe von Böhm. Swan, der schon vor Edison eine Glühlampe konstruiert hatte, fertigte den Kohlenfaden aus Baumwollfasern, welche er dadurch fest und hart wie Pergamentpapier machte, daß er sie in Schwefelsäure tauchte. Hierauf bog er die Fasern in eine einfache Schlinge, Fig. 328 e, und brachte sie in luftdicht verschlossene Schmelztiigel zum Verkohlen. f zeigt uns den Kohlen-

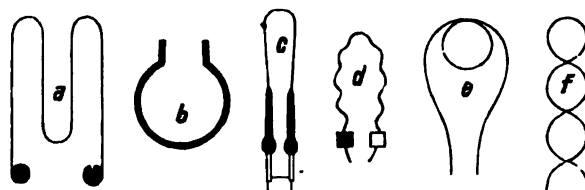


Fig. 328. Verschiedene Kohlenfäden (Glühlicht).

faden, wie ihn Müller in Hamburg biegt, um eine größere Leuchtfläche zu erzielen. Die weitere Einrichtung der Edisonlampen besteht darin, daß die freien Enden der Platindrähte mit zwei durch eine Gipsfüllung voneinander isolierten Kupfergarnituren verbunden werden, von denen die erstere den Boden des Sockels bildet, während der Umfang der zweiten mit Schraubengewinden versehen ist, welche so tief in das Muttergewinde des Lampenfußes eingeschraubt werden, daß die Garnitur den Boden des Fußes berührt.

Muttergewinde und Lampenfuß sind mit Leitungsdrähten versehen und durch eine Scheibe von eigentümlicher Masse getrennt, um, gleichwie der Holzring, der den Lampenfuß umgiebt, die naheliegenden Metallflächen zu isolieren.

Sobald die Lampe nun in den Fuß eingeschraubt ist, so entsteht zwischen dem Schraubengewinde und der Mutter einerseits und der Kupfergarnitur und dem Boden des Lampenfußes andererseits ein gleichzeitiger Kontakt. Das Ganze hat nun eine zweiteilige, mit Messingblech umkleidete Holzfassung, innerhalb deren die Reibung durch Berührung zweier auf-

einander geschraubter Plattenpaare hergestellt wird. Das eine Plattenpaar hat die von dem Muttergewinde und der Fußplatte ausgehenden Drähte aufgelötet, beim anderen werden die von der Batterie aus kommenden Leitungsdrähte mit Schrauben gegen jede Platte gepreßt.

Das Auslöschfen der Lampen wird auf folgende Weise bewirkt. Der von dem Muttergewinde ausgehende Draht wird nicht direkt zur Fußplatte geführt, sondern in der Mitte unterbrochen und zu einer gleichfalls durchbrochenen Platte geführt, so daß die eine Hälfte des Drahtes mit der einen halben, die andere Hälfte mit der anderen halben Platte verbunden wird. Beide Plattenhälften sind isoliert, beim Anzünden der Lampe muß ein Kontakt zwischen ihnen hergestellt werden, der dem Strome den Übergang gestattet und bei dessen Unterbrechung das Licht wieder erlischt.

Dazu ist jede der Plattenhälften nach innen versenkt, so daß in dieser Hohlungsachse ein in einem Konus endender geschlitzter Zapfen der trichterförmigen Öffnung sich genau anpassen kann, wozu außerdem noch eine in dem Schlitze angebrachte Druckfeder wirksam ist. Der Zapfen trägt einen Zahn, dessen Kopf in einer schraubenförmig gewundenen Koulisse läuft, um eine Bewegung des Zapfens in der Richtung der Achse nach beiden Richtungen hin zu ermöglichen.

Sobald nun der Hahn von links nach rechts gedreht wird, drückt der Konus des Zapfens gegen die Plattenhälften, dadurch wird die in dem Schlitze liegende Druckfeder gespannt und der Zahn in der Rinne nach innen bewegt und der Strom hat ungehinderten Durchgang. Soll nun der Strom unterbrochen werden, so giebt man dem Hahn eine geringe Drehung nach links, dadurch tritt die Schraube aus dem Anschläge, die Feder dehnt sich aus und der Konus springt aus seinem Sitze. Diese Vorrichtung gestattet eine Verwendung der Glühlampen zu allen häuslichen und gewerblichen Zwecken. Auf den internationalen Ausstellungen zu Paris und München waren Kronleuchter mit 80 Edisonlampen in Thätigkeit, welche den weitgehendsten Anforderungen in Bezug auf Bequemlichkeit der Handhabung und Sicherheit entsprachen, und die Erleuchtung großer Säle mit elektrischem Licht ist seitdem unaufhaltsam vorgeschritten nicht bloß in den Weltstädten, sondern sogar schon in verhältnismäßig kleinen Ortschaften.

Fig. 329 zeigt uns einen weiteren Fortschritt in der Technik für elektrische Lampen. Die bisher beschriebenen Arten bedürfen nur einer bestimmten Anlage, die so lange unverändert bleibt, wie die Lampe an einer bestimmten Stelle Verwendung findet. Für häusliche Zwecke sind solche Lampen nur schwer verwendbar, und es lag die Aufgabe vor, eine Tischlampe zu konstruieren, welche überall hingetragen und in Wirksamkeit versetzt werden kann. Die Lösung dieser Aufgabe wurde gefunden durch

Herstellung eines Kabels von beliebiger Länge, das in unserer Figur neben der Lampe zu sehen ist. Am Ende des Kabels ist ein Stöpsel angebracht, der nur in die dabeistehende Hülse eingeschraubt zu werden braucht, um den Kontakt mit den zu dem Strome führenden Drähten sofort herzustellen. Eine Reguliervorrichtung, welche in dem Lampenschafte angebracht ist, gestattet ganz nach Belieben die Lichtstärke zu verändern.

Die Reguliervorrichtung ist sehr sinnreich eingerichtet. Dieselbe besteht aus 7 Kohlenstiften, welche verschiedene Stärke haben, die aber für jeden

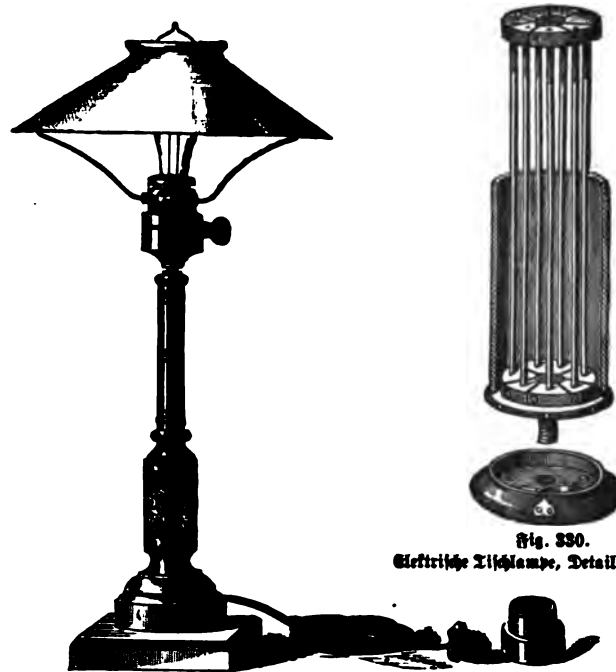


Fig. 330.
Elektrische Tischlampe, Detail. (Fig. 329.)

Fig. 329. Glühlicht-Tischlampe.

Stift genau bemessen ist. Diese 7 Stifte, Fig. 330, sind in einen Kreis gestellt, und jeder derselben wird dem elektrischen Strome einen anderen Widerstand entgegensehen, je nachdem er dick ist, und zwar wird der größte Widerstand von dem dünnsten Stifte ausgehen. Über ein bestimmtes Maß der Dünne darf aber nicht hinausgegangen werden, weil sich der Widerstand sonst derartig steigert, daß ein Erglühen des Stiftes eintreten muß, und da bei so geringem Durchmesser die Abmessung nicht mit absoluter Sicherheit eintreten kann, so ist der die Stifte umschließende Metallmantel mit Öffnungen versehen, welche den Zutritt und die Zirkulation der Luft gestatten, so daß die Kohlenstäbe immer wieder gleichmäßig gekühlt werden.

Jeder dieser 7 Stifte kann nun durch die unten abgebildete drehbare Scheibe mittelst einer Schraube nach Belieben in die Leitung eingeschaltet werden und dadurch wird, weil der jedesmalige Widerstand ein anderer ist, das Licht der Lampe bald heller, bald dunkler leuchten.

In den großen Städten Amerikas hat diese Art der Erleuchtung die weiteste Verbreitung bereits gefunden, ja man hat die Einrichtung getroffen, eine einzige Lampe feststehend in der Decke des größten Raumes einer Etage anzubringen und das Licht von dort aus durch Reflektoren in die übrigen Räume zu leiten.

Solche Lampen werden nach ihren Herstellern, wie wir bereits bei den Kohlenfäden erwähnt haben, benannt. Es giebt also Swan-Lampen, die sich von den Edisonlampen wenig unterscheiden, Maximlampen, in denen außer dem M förmigen verkohlten Bristolpapier Gasolindämpfe in die Glasbirne gelassen werden, die durch eine Luftpumpe erheblich verdünnt worden sind. Dann erst wird der Strom zugelassen, der den Kohlenstreifen glühend macht, worauf durch Zersetzung der Gasolindämpfe sich Kohle auf dem M Streifen niederschlägt, die ihn immer dicker und fester macht. Dann erst erfolgt das völlige Auspumpen der Glasbirne. Um die Lampe, wenn ein Teil von ihr etwa beschädigt werden sollte, nicht ganz unbrauchbar zu machen, ist der hohle Glasstößel, in welchen die Platindrähte eingeschmolzen sind, nicht mit der Glasbirne verschmolzen, sondern gut in dieselbe eingeschliffen und mit Kopalharz oder Wachs gut verdichtet.

Bei den Lane-For-Lampen sind die Enden der Kohlenfäden mittelst eines besonders leitenden Cementes an Platindrähte gekittet, welche in Glasröhren eingelassen sind. Ihre oberen Enden tauchen in kugelförmige, mit Quecksilber gefüllte Ausbuchtungen, in welche zugleich die kupfernen Zuleitungsdrähte eingelassen sind, die mit ihren Enden in die Hausleitungsdrähte gehängt werden. Die kugelförmigen Ausbuchtungen stehen mit dem unteren hohlen Teile des Glasstößels in Verbindung, der gleichfalls mit Quecksilber gefüllt ist.

Bei den Boston-Lampen sind statt der Kohlenfäden Kohlenröhrchen verwendet. Nachdem man soweit vorgeschritten war, handelte es sich darum, ausfindig zu machen, wie man die Teilung des elektrischen Lichtes so einrichten könne, daß die Zahl der in einem Stromkreis eingeschalteten Lampen oder Glühlichter innerhalb weiter Grenzen verändert werden konnte. Denn sollte das Bogen- oder Glühlicht mit dem Gaslicht erfolgreich in Wettstreit treten, so mußte eine Flamme nach der anderen beliebig gelöscht werden können, ohne daß die übrig bleibenden wesentlich heller brennen. Daß man das bei den Bogenlichtern für einen sehr beschränkten Kreis erreichte, haben wir bereits kennen gelernt. Für einen weiteren Kreis aber, zum Beispiel zur

Einrichtung einer Zentral-Beleuchtungsstation, mußten die Übelstände, daß man mit größter Aufmerksamkeit Widerstände auf Widerstände ein- oder ausschalten muß, wenn an irgend einer Stelle eine Anzahl Lichter gelöscht oder in erhöhter Anzahl in Betrieb gesetzt werden sollten, so vollkommen wie möglich beseitigt werden.

Da die Teilung des elektrischen Lichtes und die Einschaltungsweise namentlich bei Glühlicht äußerst wichtige Dinge sind, so besprechen wir dieselben eingehender. Es werden, wie bei den Bogenlichtern bereits bemerkt, zweierlei Schaltungsweisen unterschieden, die Hintereinander- und die Nebeneinander- oder Parallel-Schaltung.

Die Hintereinander-Schaltung besteht einfach darin, daß der Strom von der ersten zur zweiten, von dieser zur dritten u. s. f. geht und daß dadurch mit jeder Lampe mehr der Widerstand wächst.

Diese Zahl kann man aber nicht beliebig verändern, weil der elektrische Strom nach dem Ohm'schen Gesetze dann am kräftigsten wirkt, wenn innerer und äußerer Widerstand einander gleich sind.

Unter äußerem Widerstand verstehen wir den Widerstand, der durch die äußere Drahtleitung und die Anzahl der eingeschalteten Lampen entsteht, während der innere Widerstand bei einer galvanischen Kette derjenige ist, den die Flüssigkeiten in den galvanischen Elementen erzeugen, bei einer Dynamomaschine dagegen derjenige, den die Drahtumwicklung des Ringes und der Schenkel des Elektromagnets bezw. der Trommel erzeugt. Man läßt diesen inneren Widerstand wegen der starken Erwärmung der Drahtumwindungen, die bei höchster Kraftentfaltung eintritt, nur $\frac{3}{7}$ des äußeren betragen. Bei den magnet-elektrischen Maschinen ist der innere Widerstand nur in der Umwicklung des Ringes vorhanden und meist sehr gering, weil der Kupferdraht, aus welchem die Umwicklung besteht, ein guter Leiter ist.

Mit einer gewöhnlichen magnet-elektrischen bezw. dynamischen Maschine ist es deshalb nicht möglich, ein Glühlicht zum Leuchten zu bringen, weil die Dünne des Kohlenfadens einen bedeutenden Widerstand entwickelt und also mehrere schon gar nicht, die hintereinander geschaltet werden, weil der äußere Widerstand dann den inneren wiederum ganz gewaltig überträfe. Eine gewöhnliche Gramme'sche Maschine zur Erzeugung von elektrischem Licht hat nun einen inneren Widerstand von 2—3 Ohm, während der innere Widerstand einer Glühlichtlampe oft bis 120 Ohm steigt.

(1 Ohm = 1,06 Siemens'sche Einheiten [s. S. 416]. 1 Siemens'sche Einheit S. E. ist der Widerstand, den eine Quecksilberfäule von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt dem elektrischen Strome entgegenstellt.)

Bei der Hintereinanderschaltung kann also von einem Gleichgewichte zwischen dem inneren und äußeren Widerstand keine Rede sein.

Deshalb muß, um Glühlichter zu erzielen, die Nebeneinander- oder Parallel-Schaltung angewendet werden. Wir haben nun bereits erfahren, daß ein Draht umsomehr Elektrizität durch sich hindurchgehen läßt, je dicker er ist. Die Elektrizität muß in ihm also so verteilt sein, daß er der Länge nach ganz genau gespalten, auch auf jeder Seite die genaue Hälfte der Elektrizitätsmenge leitet, bei ungenauer Spaltung das Plus von Elektrizität dem dickeren Faden zukommt. Dasselbe findet auch statt, wenn man zwei Drahtfasern so voneinander trennt, daß sie nur noch am Anfangs- und am Endpunkte zusammenhängen. Denkt man sich also ein Drahtende in beliebig viele Fasern der Länge nach gespalten, so fließt durch sie genau ebensoviel Elektrizität, wie durch das ungeteilte Stück; die Elektrizität ist aber hier im Verhältnis der Querschnitte auf die einzelnen Fasern verteilt.

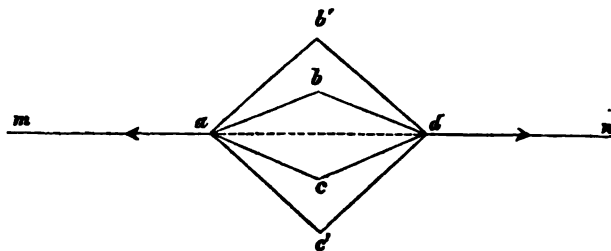


Fig. 331. Nebeneinanderschaltung I.

Das Drahtstück a d, Fig. 331, ist in vier Fasern zerlegt. Der bei a eintretende Strom verteilt sich auf diese Zweige a b' d, a b d, a c d und a c' d im Verhältnis ihrer Querschnitte und läuft bei d wieder mit der dort angekommenen und hier verteilten Stärke zusammen, gerade so, als ob er einfach von a nach d gegangen wäre. (Wir setzen hier voraus, daß a b' d = a d sei.) Wird nun eine Faser, a b' d etwa, weggenommen, so nimmt die Stromstärke ab, da nun a b d + a c d + a c' d ein dünneres Drahtstück ergeben müssen, als das ursprüngliche Stück a d. Je dünner aber ein Teil des Leitungsdrahtes wird, je mehr wächst der Widerstand und um so schwächer wird der Strom; umgekehrt also muß der Strom stärker und der Widerstand schwächer werden, wenn man eine Faser hinzufügt, also wieder a b' d, so ist das Stück dicker als vorher und bietet dem Strom weniger Widerstand dar. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist also folgendes:

„Durch Vermehrung der Zweige bezw. Fasern nimmt der Widerstand ab und die Stromstärke zu, während durch Verminderung derselben der Widerstand wächst und die Stromstärke abnimmt.“

Man erhält also ein Maximum der Stromstärke, wenn man so viele Zweige zusammenfügt (bezw. unendlich viele), daß durch das Zusammenlegen derselben der Draht die größtmögliche (bezw. unendliche) Dicke erhielte. Der Strom würde jetzt gar keinen Widerstand mehr zu überwinden haben und eine solche Stärke annehmen, daß Punkt a mit Punkt d zusammenfielen.

Sind nun bei $b^1, b, c, c^1 \dots$ Glühlichter in den Strom eingeschaltet, so bieten dieselben dem Strom einen gewissen Widerstand dar, welcher durch den Widerstand einer bestimmten Drahtlänge ausgedrückt werden kann. Ersetzt man nun die Glühlichter durch die entsprechenden Drahtlängen und denkt man sich diese einzelnen Zweigdrähte zu einem Drahtstück vereinigt, so erhellt, daß der Gesamtwiderstand umsomehr abnehmen und die Gesamtstromstärke umsomehr zunehmen muß, je mehr Glühlichter eingeschaltet werden. Eine andere Form der Parallelschaltung zeigt Fig. 332.

Zwischen zwei dicken Drähten, welche von einer Batterie oder einer Dynamomaschine ausgehen, sind die Glühlichter $L, L^1, L^2, L^3 \dots$ vermittels Querdrähten eingeschaltet. Die durch dieselben fließenden Teilströme

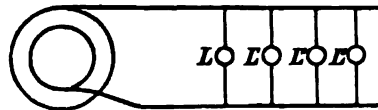


Fig. 332. Nebeneinschaltung II.

sind zusammen gleich der Stärke des Hauptstromes. Je mehr Glühlichter jetzt nebeneinander geschaltet werden, um so schwächer wird der Gesamtwiderstand und um so stärker wird der Gesamtstrom. Je mehr Glüh-

lichter also vorhanden sind, um so mehr Querdrähte und Kohlenfäden sind vorhanden. Man kann nun alle Querdrähte aneinandergestoßen und alle Kohlenfäden aufeinandergelegt denken, dann erhält man einen um so dickeren und besser leitenden Kohlenfaden, je mehr Glühlichter eben vorhanden sind. Aus dieser Thatsache erklärt es sich, daß durch eine Dynamomaschine ein einziges Glühlicht nicht, viele dagegen ganz bequem zum Leuchten gebracht werden können. Zwischen den Dynamomaschinen und den magnetelektrischen Maschinen bezw. den galvanischen Batterien ist, wie wir im allgemeinen schon ausgeführt haben, in der Stromentwicklung ein großer Unterschied vorhanden.

In den bestimmten galvanischen Elementen, beispielsweise Bunsen'schen Ketten, ist eine konstante elektromotorische Kraft vorhanden, deren Stärke lediglich von der Natur der die Leiter bildenden Stoffe Zink, Kohle, verdünnte Schwefelsäure und Salpetersäure abhängig ist, niemals aber vom äußeren Widerstand. Ebenso hängt bei der magnetelektrischen Maschine die Neigung Elektrizität zu entwickeln, also die elektromotorische Kraft, nur von der Stärke des permanenten Magnets und der Umdrehungsgeschwindigkeit

des zwischen seinen Polen rotierenden Gramme'schen Ringes ab, niemals aber vom Widerstand der Leitung.

Das alles verhält sich aber ganz anders bei den Dynamomaschinen. Wenn bei ihnen die Drehung beginnt, ist der Magnetismus im Elektromagnet noch sehr schwach, folglich auch die Einwirkung des Ankers des Elektromagnets auf den Ring, d. i. die elektromotorische Kraft.

Mit der Zunahme der Drehungsgeschwindigkeit wächst aber die Stärke des Elektromagnets von Augenblick zu Augenblick und damit auch die elektromotorische Kraft, weil der bei der Drehung des Ringes erzeugte Strom auch die Schenkel des Elektromagnets umkreist. Dabei geht der Strom auch durch die äußere Leitung zugleich und somit hängt von der letzteren die Stärke der Erregung des Elektromagnets und damit auch die elektromotorische Kraft ab.

Bei großen Widerstandsabständen arbeiten also die Dynamomaschinen mit sehr geringer Wirkung, dieselbe wächst aber in dem Maße, wie der äußere und innere Widerstand einander sich nähern. Während also die magnetelektrische Maschine bezw. galvanische Batterie gegen den äußeren Widerstand vollkommen unempfindlich sind, empfindet die Dynamomaschine die geringste Schwankung desselben sofort. Bei wachsendem äußeren und geringem inneren Widerstand nimmt bei einer Dynamomaschine also die Stromstärke fortwährend ab, der Magnetismus der Schenkel des Elektromagnets verringert sich und somit also auch die elektromotorische Kraft und damit auch die Spannung der Elektrizität an den Polklemmen der Bürsten, welche die Elektrizität auf die äußere Leitung überführen. Die Größe der Klemmspannung ist aber für den äußeren Strom entscheidend; sie ist aber immer geringer als die elektromotorische Kraft, weil der durch letztere erregte Strom durch den inneren Widerstand der Maschen geschwächt an den Polklemmen nur mit verminderter Spannung anlangt. Bei einer gewöhnlichen Dynamomaschine ist es deshalb unmöglich, eine erhebliche Änderung in der Zahl der in dem Stromkreis eingeschalteten Glühlichter vorzunehmen. Aber auch bloß chemische Zersetzen, Ladung von Akkumulatoren u. dergl. vorzunehmen, ist die einfache Dynamomaschine nur von beschränkter Brauchbarkeit. Bei chemischen Zersetzen bildet sich ein sogenannter Polarisationsstrom, der dem Hauptstrom entgegengerichtet ist, beim Laden eines Akkumulators (zwei Bleiplatten in verdünnter Schwefelsäure) setzt sich an der einen Bleiplatte Wasserstoff und an der anderen Bleisuperoxyd ab, wodurch ein dem Strom der Dynamomaschine entgegengesetzter Strom in der Leitung erzeugt wird. Dieser Gegenstrom kann so stark werden, daß bei einem augenblicklichen Versagen der Dynamomaschine der Strom des Akkumulators zur Herrschaft gelangt, der dann die Maschine

plötzlich in entgegengesetzter Richtung umtreibt und die Anker der Schenkel des Elektromagnets umgekehrt magnetisiert. Um einem solchen Ereigniffe zu begegnen, trennt man die Umwicklung der Schenkel des Elektromagnets von dem Hauptstrom und legt sie in „Nebenschluß zum Anker“.

In Fig. 333 geben wir das Schema einer gewöhnlichen Dynamomaschine, in Fig. 334 das gleiche einer Nebenschluß-Dynamomaschine.

Bei c denken wir uns die Glühlichter eingeschaltet. In Fig. 333 geht die Leitung von der einen Bürste a durch die Reihe der Glühlichter c, hierauf um den Elektromagnet und dann zur zweiten Bürste b. Es liegt also die Umwicklung der Schenkel des Elektromagnets im Hauptstromkreis

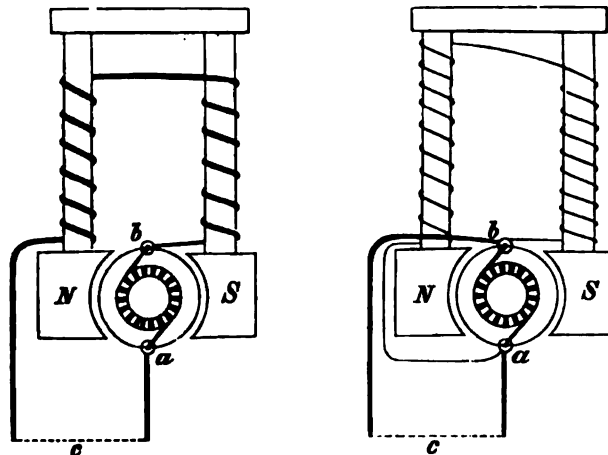


Fig. 333. Gewöhnliche Dynamomaschine. Fig. 334. Nebenschluß-Dynamomaschine.

und ist ein integrierender Teil desselben. In Fig. 334 dagegen gehen von den zwei Bürsten a und b zwei Zweigleitungen aus, deren eine von a über die Glühlichter bei c nach b, deren zweite von a aus aber über die Schenkel des Elektromagnets nach b geht. Die Umwicklung der Schenkel des Elektromagnets besteht hier aber aus dünnem Draht in mehreren Windungen, während die erste Zweigleitung über die Glühlichter, den äußeren Stromkreis also, aus dickem Drahte besteht.

Der Strom verteilt sich über beide Zweigleitungen nur im Verhältnis der Widerstände. Sobald der Widerstand im äußeren Kreise sich vergrößert, geht ein größerer Teil des Stromes in die Windungen des Elektromagnets, die Einwirkung der Pole auf den Ring und die Klemmspannung steigert sich und der Strom, trotz des größer gewordenen Widerstandes, wächst zuerst rasch, bei weiterer Zunahme des äußeren Widerstandes langsamer.

(Erreicht allerdings der Widerstand einen großen Wert, so nimmt die Stromstärke wieder ab.) Die Klemmspannung wächst beständig, allerdings mit wachsendem äußeren Widerstande in abnehmendem Maße. Ein im äußeren Kreise auftretender Polarisationsstrom ist nun wegen dieser Steigerung der Klemmspannung nicht im stande, die Kraft der Maschine zu überwinden, kann sie also nicht mehr plötzlich in entgegengesetzter Richtung drehen und die Pole entgegengesetzt magnetisieren. Aber auch in einer Nebenschlußmaschine erreicht, sobald die eingeschalteten Glühlichter eines nach dem anderen gelöscht werden, die Stromstärke wegen des zunehmenden Widerstandes eine solche Höhe, daß sie schließlich die Kohlenfäden durch-

brennt, so daß auch mit der Nebenschaltung das Ziel nicht erreicht war, die Dynamomaschine so umzuändern, daß man von mehr als 100 Glühlichtern alle bis auf wenige löschen kann, ohne daß eine wesentliche Änderung in der Helligkeit eintritt. Dieses Ziel ist erst durch die Konstruktion der „Compound-Dynamomaschine“ erreicht worden.

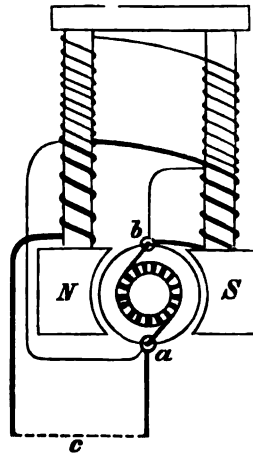


Fig. 335.
Compound-Dynamomaschine.

Diese Maschine hat den Vorteil, daß die Klemmspannung in ihr groß genug ist, um den Strom hinreichend schnell durch die Kohlenfäden zu senden und daß sie sich gleichbleibt, so daß die Elektrizität mit gleicher Kraft dieselben durchläuft. Dann aber sendet sie auch eine hinreichende, sich stetig gleichbleibende Menge von Elektrizität durch jeden Kohlenfaden, erzeugt dadurch eine hinlängliche, sich gleichbleibende Leucht-

kraft und der Gesamtstrom im äußeren Kreise wird in demselben Maße stärker oder schwächer, je nachdem die Zahl der Lampen ab- und zunimmt.

Eine Compound-Dynamomaschine erzielt man nun, wenn man eine gewöhnliche Dynamomaschine mit geringem inneren Widerstande und eine Nebenschluß-Dynamomaschine miteinander kombiniert; denn bei der einen fällt, bei der anderen steigt die Klemmspannung mit stets wachsendem Widerstande, wodurch derselbe stets nahezu ausgeglichen wird.

Die Bewickelung läßt sich dabei so einrichten, daß die Stromstärke annähernd in gleichem Maße abnimmt, also umsoweniger Elektrizität nötig wird, je kleiner die Zahl der Glühlichter ist, wie ja auch bei der magnetischen Maschine sich die Stromstärke mit wachsendem Widerstande verringert.

In Fig. 335 sehen wir das Schema der Compound-Maschine.

Eine Leitung aus dickem Drahte geht von der Bürste a, in welche bei c die Glühlichter eingeschaltet sind, in wenigen Windungen um den Schenkel des Elektromagnets und endigt in der Bürste b; dies ist die Schaltung der gewöhnlichen Dynamomaschine. Abermals aber geht von a eine Leitung aus dünnem Draht in vielen Windungen um den oberen Teil der Schenkel des Elektromagnets und endigt dann ebenfalls in b; dies ist die Schaltung einer Nebenschluß-Dynamomaschine. Wächst nun der Widerstand von 0—16 Ohm, so bleibt die Klemmspannung fast ganz gleich, während die Stromstärke annähernd geradlinig abnimmt.

Diese Kombination haben gleichzeitig mehrere Techniker gefunden, der erste, der diese Art der Schaltung angegeben hat, scheint Synsteden 1871 gewesen zu sein. Aber erst mit der Notwendigkeit, Glühlicht von einer Zentralstelle aus zu verteilen, wurde diese Schaltung für die Praxis wichtig, denn der Vorteil, den das Gaslicht bietet, beliebig viele Lampen durch Umdrehung eines Hahnes in die Leitung ein- oder aus ihr ausschalten zu können, wird annähernd durch die Compound-Dynamomaschine erreicht, die es möglich macht, den größeren Teil der in die äußere Leitung eingeschalteten Glühlichter zu löschen, ohne die Helligkeit der übrigen merklich herabzumindern.

Die Verbreitung der Beleuchtung durch elektrisches Glühlicht schreitet nun unaufhaltfam fort.

Das erste große Theater, das durch Glühlicht erleuchtet wurde, war das Savoy-Theater in London. 1200 Glühlichtlampen nach dem System Swan erhellen dasselbe. Zur Speisung derselben sind 6 Siemens'sche Wechselstrom-Maschinen thätig, deren Magnete durch 6 Dynamomaschinen erregt werden, die wiederum durch Dampfmaschinen in Betrieb gelangen. Diesem Beispiele folgte das Theater zu Brünn in demselben Jahre, dann erhielten 1883 das königliche Residenz-Theater zu München und ebendasselbe in Stuttgart Glühlichteinrichtung.

In diesen drei Theatern arbeiten Dynamomaschinen nach Edisons System und zwar drei in München, vier in Brünn und vier in Stuttgart, jede wieder durch Dampfmaschinen in Betrieb gesetzt. Es werden in denselben 250 Glühlampen zu 16 Normalkerzenstärke gespeist. Der Strom ist bei diesen Anlagen schließlich in 2 Stromkreise zerlegt, die Hausleitung, welche diejenigen Lampen speist, die den ganzen Abend hindurch gleichmäßig brennen müssen, und in die Bühnenleitung, wo dieselben öfter gedämpft zu leuchten haben. Bei der Stuttgarter Anlage ist sogar die Notbeleuchtung durch Glühlampen vorgesehen.

Die Hausleitung steigt aus dem Erdgeschoß senkrecht auf und zweigt sich dann nach allen Richtungen hinab, die Bühnenleitung dagegen führt

zunächst zu dem Regulierungs-Apparat für die Lichtstärken. Zu Leitungsdrähten hat man Kupferdrähte angewendet, die mit unverbrennlich gemachter Baumwolle umwickelt sind, zwischen Edison'schen Sicherheitseinschaltungen, um Erhitzung zu verhindern.

Die Bühnenbeleuchtung erfordert eine ziemlich kombinierte Einrichtung. Es muß hier allen Anforderungen entsprochen werden. Sämtliche Flammen müssen gleichzeitig hell oder dunkel werden; sie müssen allmählich vom Hellen zum Dunkeln und umgekehrt sich wandeln und ebenso müssen einzelne Gruppen, unabhängig von den anderen, regulierbar sein.

Man hat dazu zwei verschiedene Konstruktionen in Anwendung gebracht. Die eine besteht darin, daß man entsprechend der Anzahl der Lampengruppen eine gleiche Anzahl von Kurbeleinschaltern angewendet hat, mittelst deren die Neusilberdrähte, welche oberhalb des Apparates angebracht sind und als Widerstand dienen, eingeschaltet werden können. Hier muß für jede Kurbeleinschaltung ein besonderer Arbeiter eingestellt sein. Die andere Konstruktion besteht aus mehreren Wellen, welche eine Anzahl auf ihnen drehbarer doppelarmiger Hebel tragen, deren unterer Arm über Kontaktflöße schießt, die mit vier Rheostaten verbunden sind. Die oberen Arme sind mit verschiebbaren Handgriffen versehen, um mehrere Lampengruppen auf einmal regulieren zu können. Wird ein solcher Handgriff nach oben verschoben, so tritt er zwischen einen Rahmen, der durch ein Handrad und ein Schneckengetriebe hin und her bewegt werden kann.

Um Farbwirkungen hervorzubringen, sind die Glühlichter drehbar und transparente farbige Flächen können vor sie geschoben werden.

Die erste Beleuchtungsanlage, bei welcher der Strom von einer Zentralstation den einzelnen Verbrauchsstationen zugeleitet wird, ist von der Electric Light Edison Company zu New-York ausgeführt worden. Der Raum, den die Zentralstation versorgt, umfaßt 2,25 qkm (1 engl. Quadratmeile).

6 Dynamomaschinen nach Edisons System mit einem Widerstands-Apparate und einem Regulator werden hier von 6 Dampfmaschinen mit je 125—200 Pferdekraften in Betrieb gesetzt. Diese Maschinen können 7916 Lampen von 16 und 6359 Lampen von 8 Normalkerzenstärke speisen. Dieser Anlage ist die Stadt Mailand mit gleichzeitiger Beleuchtung des Mailänder Domes nachgefolgt.

In Berlin ist gleichfalls mit der deutschen Edison-Gesellschaft ein Vertrag abgeschlossen worden, der die Anlage von mehreren Zentralstationen im Zentrum der Stadt dieser Gesellschaft übertragen hat, die wiederum unter bestimmten Bedingungen Glühlicht für Privathäuser u. s. w. liefern muß.

Die großartigste Anlage wird die Beleuchtung der Straße Unter den

Linden, vom Brandenburger Thor bis zum königlichen Schloß, den Museen und der Kaiser-Wilhelmsbrücke werden.

Natürlich wirtschaftet man bei solchen Anlagen nicht mehr auf Geratewohl. Man hat Messungs-Apparate erfunden, welche für die Stärke und den Verbrauch der elektrischen Ströme genauen Anhalt geben.

Für die Preisberechnung über den Verbrauch von Elektrizität liegt diejenige Strommenge zu Grunde, welche eine Edison-Glühlampe von 16 Normalkerzenstärke in einer Stunde verbraucht. Dieser Preis, reduziert auf eine solche Einheit, beträgt, wie er durch den Elektrizitätsmesser ermittelt worden ist, einschließlich des Erfasses der durch gewöhnliche Benutzung verbrauchten Glühlampen 4 Pfennige.

Eine Preistabelle für Glühlampen verschiedener Stärken stellt sich ungefähr, wie folgt:

10kerzige Glühlampe auf die Stunde	2,5 Pfennige
16 " " " " "	4,0 "
32 " " " " "	8,0 "
50 " " " " "	12,5 "
100 " " " " "	25 "

Soll die Elektrizität zu anderen Zwecken als zur Beleuchtung angewendet werden, so kann der Abnehmer verlangen, daß für ihn ein besonderer Meß-Apparat aufgestellt werde. Der Preis muß dann aber besonders vereinbart werden.

Um nun aber von vornherein zwischen der Gesellschaft und den Abnehmern ein möglichstes Gleichgewicht zu schaffen, sind noch folgende besondere Bestimmungen getroffen worden:

Für jede in einem Hause eingerichtete Lampe, unbeschadet der Leuchtkraft derselben, ist außer den oben angeführten Kosten für die Beleuchtung noch jährlich eine besondere Abgabe von 6 Mark an die Gesellschaft zu entrichten. Dafür verpflichtet sich die Gesellschaft den Abnehmern gegenüber, bei jährlicher längerer Benutzung zur Gewährung folgender Rabatte:

800 Stunden	5 pCt.
1000 "	7 $\frac{1}{2}$ "
1200 "	10 "
1500 "	12 $\frac{1}{2}$ "
2000 "	15 "
2500 "	20 "
3000 " und darüber	25 "

Die Benutzungszeit der Lampen wird im Durchschnitt festgestellt durch die Summe aller Brennstunden, reduziert auf die Lampe von 16 Normalkerzenstärke, dividiert durch die Zahl aller vorhandenen Lampen.

Für sehr große und ausgedehnte Anlagen, in denen in getrennten Räumen Beleuchtung verlangt wird, können mehrere Meßapparate aufgestellt und die Kabatte nach deren Ausweis getrennt berechnet werden.

Nachdem wir so die hohe Bedeutung des elektrischen Lichtes für das kommende Jahrhundert dargelegt haben, dürfen wir auch der Verwendung der Glühlichter für weniger ernste und erhabene Zwecke einige Erwähnung thun.

Im Savoy-Theater zu London und jetzt auch an allen größeren Theatern, bei Schaustellungen u. s. w. dient das Glühlicht zur Erzielung von allerlei überraschenden Wirkungen. Geister von Fleisch und Bein erscheinen in diesem Licht fast als durchsichtig. Sie tragen, wenn Genien, zwischen den Flügeln einen kleinen Kasten mit zwei Plante'schen Akkumulatoren, die eine Glühlampe speisen und auf 60 Minuten aushalten, oder sie haben einen solchen Apparat an irgend einer anderen Stelle angebracht.

Von M. G. Trouvé in Paris werden kleine Taschenbatterieen konstruiert, die etwa 300 g schwer, eine Tuch- oder Busennadel gegen dreißig Minuten erleuchten. Batterieen von 800 g Gewicht haben etwa die Größe einer Cigarrentasche. Ebenso bringt diese Firma elektrisch aufleuchtende Haarnadeln, Rockknöpfe, Broschen, Theaterdiademe u. dergl. mehr in den Handel. Alle diese Schmucksachen tragen Glühlämpchen im Innern, die mit einer durchbrochenen Metallhülle umgeben sind, welche die geschliffenen weißen oder bunten Glassteine verdecken.

In Nürnberg werden jetzt eben dergleichen Spielereien verfertigt. Ein Druck auf den Knopf der Taschenbatterie ist hinreichend, die Nadel, Brosche u. s. w. zum Leuchten zu bringen. Schmuck mit Apparat kosten 20—50 Mark.

In der neuesten Zeit machen den Compound-Dynamomaschinen die sogenannten Transformatoren einen erfolgreichen Wettbewerb. Wir wissen, daß es immer noch große Schwierigkeiten bereitet, große Mengen von Elektrizität auf weite Entfernungen fortzuleiten, weil durch die Länge der Leitung ein bedeutender Teil der Energie verloren geht. Man stellt die Leitungen deshalb aus teuren, dicken Kupferdrähten her, um den Verlust an Energie recht klein zu machen und eine zu große Erwärmung derselben zu verhindern; allein solche Leitungen erfordern wiederum ein so großes Anlagekapital, daß sie dadurch den Nutzen des elektrischen Betriebes sehr herabdrücken.

Durch die Transformatoren sucht man nun der kostspieligen Leitung aus dicken Kupferdrähten zu entgehen, indem man auf eine ganz besondere Art die elektrische Energie weiter zu führen versucht und dabei nicht die

Quantität des elektrischen Stromes, sondern seinen Bewegungszustand zu Grunde legt.

Man ist dabei wieder zur Benutzung von Wechselströmen zurückgekehrt. Dieser Wechselstrom geht in sehr dünnen Leitungsdrähten bis zum Verbrauchsorte, wo er in eine Induktionsspirale eintritt, in welcher er als primärer Strom in der zweiten Umwicklung einen sekundären Strom erzeugt. Von der Intensität dieses primären Stromes und von der Schnelligkeit der Richtungsänderungen ist dann die Intensität des induzierten (sekundären) Stromes abhängig.

Wenn nun große Mengen von Elektrizität auf weite Entfernungen zu übertragen sind, so kann man die Leistungsfähigkeit einer dünnen Leitung sehr steigern dadurch, daß man die Zahl der Stromwechsel vergrößert. Auf diesem Prinzip beruhen die von Gaulard und Gibbo zuerst angewendeten, jetzt von Ganz u. Co. in Budapest, Inh. Zipernowsky-Déri, hergestellten Anlagen. Von letzteren Konstrukteuren ist in Luzern eine Transformations-Leitung hergestellt, deren größte Entfernung 5 km beträgt. Der dabei verwendete Kupferdraht ist nur von 6 mm Durchmesser. Es sind zwei Leitungen in Form eines Ringes angelegt, die nicht nur eine große Regulierung gewähren, sondern auch eine sehr vollkommene automatische Regulierung ermöglichen.

Wieviel Glühlampen z. B. auch in den sekundären Stromkreis eingeschaltet werden, ob 10, 100, 1000 oder mehr, alle Lampen brennen immer gleich hell, ohne daß künstliche Widerstandserreger eingeschaltet zu werden brauchen.

In Italien werden zu Rom und Mailand gleichfalls transformatorische Leitungen in Wirksamkeit treten, und es hat den Anschein, als würden dieselben mit den Compound-Dynamomaschinen in siegreichen Wettbewerb treten.

Nun bleibt uns noch ein Punkt zu berühren übrig, das ist die Messung der Lichtstärke des elektrischen Lichtes in Bogen- und Glühlicht-Lampen. Selbstverständlich braucht man zum Messen einen Maßstab, d. h. man muß eine Lichtstärke zu Grunde legen, mit welcher die Lichtstärke des elektrischen Lichtes verglichen werden kann, um festzustellen, wievielmals die Leuchteinheit übertroffen wird.

Zwei Lichter werden gleiche Stärken haben, wenn sie eine und dieselbe Fläche in gleichen Abständen gleich stark beleuchten. Ihre Lichtmengen verhalten sich dann wie die Quadrate ihrer Entfernung von dieser Fläche. Mit der Entfernung der Lichtquelle nimmt die Helligkeit der beschienenen Fläche ab und zwar im Quadrate der Entfernung. Soll dieselbe Helligkeit in

der Erleuchtung einer Fläche erzielt werden, wie bei 4 m Entfernung, bei 10 m, so muß die Lichtquelle $10 \times 10 = 100$ mal so stark sein.

Zur Ermittlung einer allgemein giltigen Lichteinheit sind auch die Elektriker-Kongresse noch nicht gelangt. In Frankreich gilt als Lichteinheit das sogenannte Bec=Carcel, d. i. das Licht einer sogenannten Modérateur-(Carcel-) Lampe von 23 mm Rundbrennerweite bei 40 gr Rübölverbrauch in der Stunde, welches Licht gleich gerechnet wird einer Flamme, die 140 l Gas in der Stunde verzehrt. In England gilt die sogenannte Parlamentskerze, welche in der Stunde 7,77 gr Walrat bei einer Flammenhöhe von 45 mm verbraucht. Siemens und Halske nehmen als Einheit eine Petroleumlampe mit bestimmtem Rundbrenner.

Die Messung der Lichtstärke geschieht nun durch ein Photometer. Das von Rumford konstruierte ist sehr einfach. Ein Stück weißes Papier wird über einen vertikal gestellten Rahmen gespannt und vor dasselbe ein undurchsichtiges Stäbchen (Bleistift) aufgestellt. Hinter dieses Stäbchen werden die beiden Lichtquellen gebracht, welche verglichen werden sollen. Jede dieser Lichtquellen entwirft auf dem Papier einen Schatten des Stäbchens, deren jeder nur von derjenigen Lichtquelle beleuchtet wird, welche den anderen erzeugt. Verschiebt man nun die eine Lichtquelle, so läßt es sich leicht herbeiführen, beide Schatten gleich hell zu machen, und es müssen sich dann die Lichtstärken der beiden Flammen verhalten wie die Quadrate ihrer Entfernungen von der Papierfläche.

Für technische Zwecke genauer und brauchbarer ist das Bunsen'sche Photometer. Auch hier ist ein Stück Papier die Hauptsache; nur ist dieses Papier in der Mitte mit einem Öl- oder Stearinflecken versehen. Derselbe erscheint hell mit dunklem Grunde, wenn das Papier stärker von der Rückseite, dunkel mit hellem Grunde dagegen, wenn es stärker von der Vorderseite beleuchtet wird.

Sollen zwei Lichtquellen verglichen werden, von denen die eine vor, die andere hinter dem Schirm angebracht ist, so verschiebt man entweder die eine Flamme oder das Papierstück so lange, bis der Fettfleck auf beiden Seiten nicht mehr zu unterscheiden ist, und das Verhältnis der Lichtstärken ergibt sich wie oben. Bringt man eine Millimeter-Vorrichtung an, auf der man den Papierstreifen hin und her schieben kann, so kann man die Stärken sofort ablesen.

Soll das Ergebnis ein richtiges sein, so müssen allerdings alle anderen Lichteinwirkungen ferngehalten werden, d. h. die Wände der Kammer, in der die Messung stattfindet, müssen schwarz gestrichen werden und die Lichter müssen gleichfarbig sein.

Das elektrische Bogenlicht übertrifft nun nach der Messung alle anderen

künstlichen Lichtquellen ungemein stark. Bei einer großen Gramme'schen Maschine beträgt das in 1000 Umdrehungen in der Minute erzeugte Licht 1800 Bec-Carcel oder 14 136 Paraffinkerzen von 20 mm Durchmesser. Um durch Öl ein gleiches Licht herzustellen, müßte man 78 kg oder fast 100 l verbrennen oder soviel Leuchtgas in der Stunde, daß ein Ballon von 9 m Durchmesser damit gefüllt werden könnte.

Außer dem Glanze und der großen Leuchtkraft des elektrischen Lichtes fällt beim Vergleiche mit anderem Lichte auch der Farbenunterschied sofort ins Auge. Mit Gaslicht verglichen, welches eine rötlich-gelbe Farbe zeigt, erscheint das elektrische Licht rein weiß mit schwachem Rosaschimmer. Wird das Licht durch das Prisma zerlegt, so ersehen wir, daß Öl- und Gasflammen reich sind an roten, orangefarbenen und gelben Strahlen, während die grünen sehr schwach, die blauen noch schwächer und die violetten gar nicht vertreten sind; zerlegen wir dagegen das elektrische Bogenlicht, so enthält es Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Dunkelblau, Violett nahezu in gleichem Verhältnis wie das Sonnenlicht. Wie dieses läßt also das elektrische Licht die natürlichen Farben deutlich hervortreten, und deshalb können Stoffe, Gemälde u. s. w. bei letzterem fast ebensogut beurteilt werden, wie bei ersterem. Die Photographen können deshalb zu jeder Tages- und Jahreszeit gut belichtete Aufnahmen ermöglichen und jedes größere photographische Atelier ist darum mit elektrischer Beleuchtung versehen.

Aber auch auf die Kultur der Gartengewächse ist das elektrische Licht von mächtiger Einwirkung. In Paris sowohl am Schlusse der elektrischen Ausstellung 1881, wo Deherain den Bericht erstattete, wie vor der britischen Naturforscher-Versammlung in York, auf welcher W. Siemens Berichterstatter war, wurde folgendes festgestellt:

1. Rein und vollwirkendes elektrisches Licht ist den Pflanzen schädlich, wegen des zu großen Übergewichtes der ultravioletten chemischen Strahlen.
2. Umgiebt man das reine und volle Licht mit weißem Milchglase, so werden die ultravioletten Strahlen fast vollständig zurückgehalten. Geht das Licht durch gelbes Glas, so erfolgt ein schwächliches Wachstum der Pflanzen, gehts durch rotes oder blaues Glas, so wirkt es ganz und gar schädlich.

Versuche im Großen sind nach diesen Erfahrungen durch Siemens angestellt worden. Er ließ zwei Glashäuser unausgesetzt von Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang durch je eine Lampe von 5000 Normalkerzenstärke beleuchten und erhielt folgende Ergebnisse:

Im Oktober ausgesäete Erbsen hatten bereits um die Mitte des Februar reiche Früchte; Himbeeren gelangten in 75 Tagen, Weinreben in 10 Wochen zur Reife. Ausgesäeter Roggen, Weizen u. s. w. schoß üppig

und rasch empor, bildete dann aber Lagerfrucht ohne Körner, wogegen im Freien ausgefäetes Getreide, welches nachts durch elektrisches Licht beleuchtet wurde, nicht nur rasch wuchs, sondern auch einen sehr reichen Körnerertrag lieferte. Die unter der Einwirkung des elektrischen Lichtes mit abwechselndem Tageslichte erblühten Pflanzen zeigten lebhaftere, frischere Farben und ihre Früchte zeichneten sich durch lebhaften Duft aus; während ihr Zuckergehalt sehr erheblich gegen die normale Zusammensetzung zurückblieb, was sich aus der dem elektrischen Licht mangelnden Wärme erklärt. Siemens spricht die Überzeugung aus, daß in einer nicht mehr ferneren Zukunft Großgärtner und reiche Leute Warmhäuser anlegen werden, in denen Sonne und elektrisches Licht die Früchte ganz unabhängig von den Jahreszeiten zur Reife bringen werden.

Ehe aber diese Voraussagung in Erfüllung gehen wird, muß doch der Kostenpunkt noch ein viel geringerer werden, denn die Kosten der elektrischen Beleuchtung einer mechanischen Weberei in Linden-Hannover betragen für die Einrichtung 17 500 Mark, wovon allein Kessel und Dampfmaschine mit den nötigen Bauten und Ausrüstungen inkl. Bauplatz fast 15 000 Mark verschlingen.

Zum Schluß fügen wir noch den Auszug aus dem Berichte der Verwaltung der Stadt Berlin in betreff des Beleuchtungswesens der Stadt an, wie er am 1. Januar 1888 veröffentlicht wurde.

Der Etat der Gasanstalten für 1888/89 schließt in Einnahme und Ausgabe mit 18 514 904 Mark ab, von welcher Summe 4 109 400 Mark als Gewinnüberschuß an die Stadthauptkasse abzuführen sind. Die städtische Straßenbeleuchtung erfordert die Summe von 412 204 Mark gegen 205 900 Mark des Vorjahres, so daß also 206 304 Mark mehr für diesen Zweck erforderlich sind, für welche Summe 16 299 öffentliche Flammen unterhalten werden sollen, die ungefähr 11 748 000 Kubikmeter Gas verbrauchen werden. An Petroleumlaternen sind für das Jahr 1888/89 noch 60 Stück neue vorgesehen, und steigt jetzt der Kostenaufwand für dieselben auf 60 200 Mark. Die Kosten für die elektrische Beleuchtung der Leipzigerstraße sind auf 29 160 Mark, die der Straße „Unter den Linden“ auf 57 903 Mark angenommen.

62. Die Telephonie oder das Fernsprechen.

Noch vor ganz kurzer Zeit betrachtete man das Fernsprechen als eine Art Spielerei und behandelte diesen äußerst wichtigen Zweig der Telegraphie nur so nebenbei. Aber die rastlose Arbeit auch auf diesem Gebiete hat in ganz kurzer Zeit so Unglaubliches geleistet, daß wir gegenwärtig dreißt

behaupten dürfen, die Telephonie, das Fernsprechen, wird sich der Telegraphie, dem Fernschreiben, bald als ebenbürtige Gehilfin zur Seite stellen.

Zur Bedienung der Telegraphen gehören besonders geschulte und geübte Beamte als Vermittler der Verkehrsparteien, und es sind immer für das Vermittelte schriftliche Urkunden vorhanden, die nicht zu allen Zeiten für ihren Urheber gerade segensreich wirken können; zur Bedienung des Telephons sind Zwischenpersonen für die Verkehrsparteien nicht mehr nötig und ohne besondere Übung in außerordentlich angenehmer und bequemer Weise kann sich jeder des Fernsprechers bedienen.

Durch diese großartige Entdeckung ist in Wahrheit die seelische und geistige Entfernung unter den Menschen auf dem Wege des Verschwindens. Denn viele Kilometer von einander körperlich getrennte Personen werden durch das Telephon miteinander in fast unmittelbare Berührung gebracht, so daß nicht bloß ein leerer Schall das Ohr erreicht, sondern Mutter-, Vaters-, Freundes- und Liebes-Wort und auch das Gegenteil des letzteren überspringen die weiten Entfernungen und verschaffen sich unmittelbaren Zugang zum Herzen.

Geschäfts- und Familienverbindungen, der amtliche Verkehr von Behörden, die militärische Verbindung, die Lenkung der Wasserfahrzeuge, alles wird durch den Fernsprecher vereinfacht mit ungeheurer Zeit- und also Geldersparnis. Während ein Wort der Beruhigung von Berlin nach Hamburg, von Köln nach Berlin u. s. f. zu senden ein Ding der Unmöglichkeit war, und wenn man hätte Millionen opfern wollen, können jetzt die Eltern direkt zum Kinde sprechen, es ermahnen, ermutigen, trösten, erheben. Wochenlange Hin- und Herschreibereien, um Mißverständnisse auszugleichen, sind jetzt im Verschwinden, zehn Worte genügen um alles aufzuklären. Wie bequem für die Hausfrau, um den Lieferanten zu rufen und ein Duzend Bestellungen aufzugeben, von denen sonst bei stundenlanger Ausfahrt die Hälfte vergessen wurde; wie herrlich, in dem gewaltigen Kaufhause, der ausgedehnten Fabrikanlage jedermann zu jeder Zeit rufen zu können! Und wenn das 2000. Jahrhundert es erfinden wird, wie man die menschliche Stimme über den Ozean trägt, wie man im Zimmer mit der Familie teilnehmen kann an dem Genusse einer herrlichen Musik, eines herzstärkenden Gesanges, wie man sich eine sprechende Bibliothek anlegen kann und noch manche andre Dinge, welche jetzt noch dem Traumreiche anzugehören scheinen, dann wird ein neuer gewaltiger Schritt geschehen sein zur Ausgleichung der menschlichen Interessen, zur Umwandlung der Erde in einen Wohnplatz einer von gemeinsamen Gedanken getragenen Menschenfamilie.

So neu also die That des wirksamen Fernsprechers ist, so liegen die Anfänge zu dieser hocherfreulichen Entdeckung schon weit zurück.

In England war es der Naturforscher Robert Hooke, der bereits 1667, wie sein Landsmann Breece berichtet, Versuche anstellte, an einem ausgespannten Faden die menschliche Stimme fortzupflanzen.

Aber erst mit dem Jahre 1819 kam der berühmte Wheatstone der Sache näher durch Konstruktion seiner sogenannten „magischen Lyra“. Dieselbe, ein wirklich telephonischer Apparat, bestand aus einer langen dünnen tannenen Stange, an deren beiden Enden Resonanzkästchen angebracht waren, die mit gespannten Saiten versehen werden konnten. Ließ man die Saiten an dem einen Ende durch Streichen mit dem Bogen oder Rupfen mit den Fingern in Schwingungen gelangen, so übertrugen sich dieselben auf das andere Ende und kamen dort gleichfalls als Töne zum Vorschein. Diese Konstruktion führte wieder auf das Fadentelephon zurück, das man an beiden Enden jetzt mit einer tierischen Membran versah und so thatsächlich zur Fortleitung des Schalles auf geringe Entfernungen benutzte. Damit aber war die Thatfache nachgewiesen, daß artikulierte Laute fortplanzbar seien und daß Membrane, welche sich dem menschlichen Trommelfell und seiner Aufnahmefähigkeit nähern, auch aus weiter Ferne vermittelte Schwingungen aufzunehmen vermögen.

Im Jahre 1837 machte Page in Baltimore, fast zu derselben Zeit, in welcher Morse die ersten Versuche mit seinem Zeichendrucktelegraphen vornahm, die für das Fernsprechen grundlegende Entdeckung, daß der Eisenstab eines Elektromagnets zeitweilig durch rasch aufeinanderfolgende Ströme magnetisiert zu tönen beginnt. Diese Entdeckung und mit ihr verwandte Erscheinungen wurden nun gründlich durch Marrian 1844 und Wertheim 1848 untersucht und man fand, daß der durch Längenveränderungen des Eisenstabes erzeugte Longitudinalton (s. S. 421), bei hinlänglicher Schnelligkeit der Stromunterbrechungen, durch einen anderen Ton verdrängt wird, dessen Höhe der Zahl der Stromunterbrechungen entspricht.

Dieses galvanische Tönen brachte den Institutslehrer Philipp Reis in Friedrichsdorf bei Hornburg, geboren am 7. Januar 1834 zu Gelnhausen und gestorben am 14. Januar 1874, auf den genialen Gedanken, nachdem er sich seit 1852 schon mit Versuchen zur Schallübertragung in die Ferne beschäftigt hatte, durch Tonschwingungen umgekehrt unterbrechbare Ströme zu erzeugen. Schon 1860 hatte er den Namen „Telephon“ gebraucht in einer Arbeit, die im Jahresberichte des Frankfurter physikalischen Vereins 1860/61 veröffentlicht wurde. Es war am 26. Oktober 1861, als Reis in diesem Verein sein erstes Telephon vorzeigte. Dasselbe schloß sich in seiner äußeren Gestalt der menschlichen Ohrmuschel an und enthielt in der Gegend,

wo das Trommelfell sich befindet, eine Membran, an der ein Platinstreifen befestigt war, dem eine Feder mit einem zweiten Platinplättchen gegenübergestellt war. Diese Feder und der erste Platinstreifen standen mit den Polen einer Batterie in Verbindung, durch deren Berührung der Stromschluß hergestellt wurde. Nachdem das Fernsprechen mit diesem Apparat

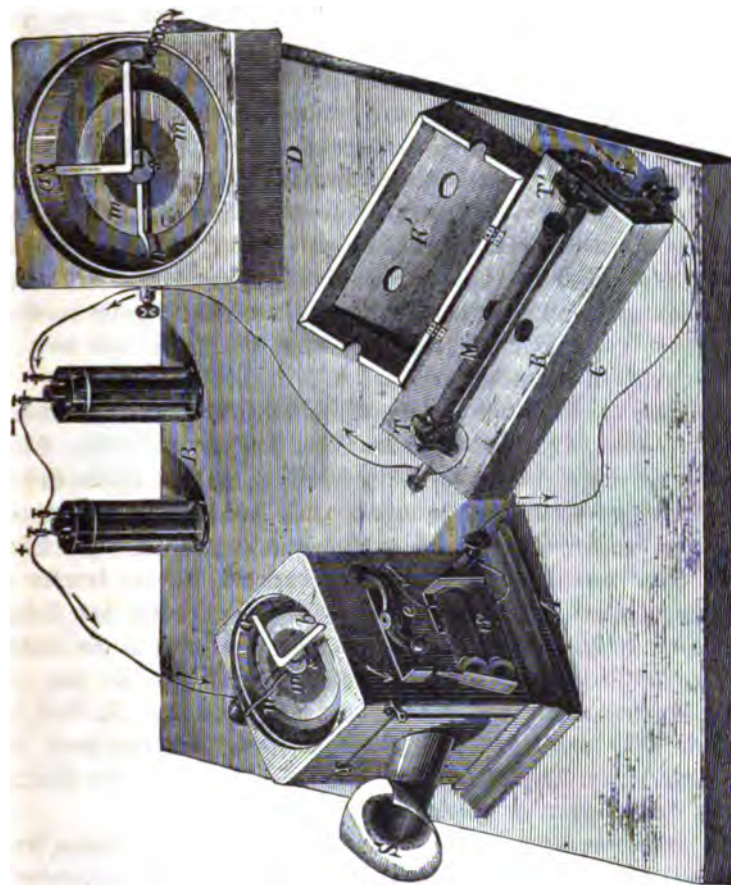


Fig. 336. Reis' Telephon.

unwiderleglich erwiesen war, ging Reis an die Verbesserung seines Apparates und stellte denselben, wie er in Fig. 336 aufgezeichnet ist, am 4. Juli 1863 gleichfalls dem physikalischen Verein zu Frankfurt a. M. vor.

Der obere Teil dieses Apparates ist im D besonders dargestellt. Die Membran m ist hier in die Höhlung eines Holzkästchens A eingelassen, welches an der Seite mit dem Mundstück S versehen ist. Ein fester

Platinstift ist mit dem einen Leitungsdrahte b leitend verbunden und diesem gegenüber, gerade in der Mitte der Membran, ist ein Scheibchen s aus Platin befestigt, das durch einen Platinstreifen wiederum mit dem zweiten Leitungsdraht n in Verbindung steht. Der Leitungsdraht geht von dem Holzkästchen (dem Geber) nach dem Empfangsapparat (dem Hörer) R, während der negative Leitungsdraht der Batterie B nach der zweiten Klemmschraube des Hörers geht. Letzterer besteht aus einem etwa 20 cm langen dünnen Eisenstäbchen M, das mit einer Papphülse umgeben ist, auf welche dünner, mit Seide übersponnener Kupferdraht vielfach aufgewunden ist. Die Enden dieses Drahtes stehen mit beiden Klemmschrauben in Verbindung, wodurch ein stabförmiger Elektromagnet hergestellt ist, der auf dem flachen Kästchen C ruht, das den Resonanzboden bildet.

Wird nun durch das Mundstück S in den Apparat hineingesprochen, so gerät die Membran m in Schwingung und schlägt nach deren Impulsen mit ihrem Platinscheibchen gegen den Platinstift, wodurch jedesmal momentan ein stoßartig wirkender elektrischer Strom den Leitungsdraht durchläuft. Der Eisenstab des Hörers empfängt nun durch den Draht alle diese Impulse und giebt sie genau wieder.

Die Töne dieses ersten Telephons waren aber von sehr schwacher Klangfarbe, denn sie bestanden in der That nur aus elektrischen Stößen, welche von den Berührungen des Platinstiftchens und des Platinscheibchens auf die Membran des Gebers herrührten und deshalb nur den einzelnen Wellenbergen der Schwingungen dieser Membran entsprachen. Die Wiedergabe der Töne wurde dadurch hart und schnarrend und es konnten nicht alle Worte, sondern nur besonders geeignete Worte durch das Telephon hörbar weiter befördert werden. Dadurch kam es, daß man der wichtigen Entdeckung in Deutschland wenig Beachtung schenkte, sie als eine wenig lohnende Spielerei ansah und den Erfinder nicht beachtete. Sa Reis selber blieb, weil ohne Anregung, bei diesen Grundlagen der Telephonie stehen und benutzte seinen Apparat nur, um seinen Schülern daran die Wirkungsweise des Gehörorgans zu demonstrieren.

Die praktischen Amerikaner dagegen beschäftigten sich mit diesen Grundlagen eingehender und schon 1868 führte van der Weyde im polytechnischen Klub zu Philadelphia ein verbessertes Reis'sches Telephon vor, das alle Wörter, wenn auch mit einem näselnden Klange, wiedergab.

Außer van der Weyde beschäftigte sich auch Elisha Gray in Chicago mit Verbesserung des Telephons und in England die Brüder Cecil und Leonardo Gray, welche 1876 einen dem Reis'schen ähnlichen Apparat herstellten, während Cromwell Varley 1877 einen elektrischen Kondensator dazu in Anwendung brachte. Da aber diese Apparate alle die Schallwellen

durch mechanisch erregte Unterbrechungen des elektrischen Stromes erzeugt, welche harte Stromstöße, aber keine der Natur der Schallwellen entsprechende Schwingungen hervorzubringen geeignet sind, so eigneten sie sich wohl zur Übertragung von musikalischen Lauten, aber nicht zur Wiedergabe der menschlichen Sprache, und die Lösung dieser Aufgabe, die man anfangs für unmöglich hielt, gelang dem Schotten Graham Bell, der als Taubstummenlehrer zu Boston wirkte. Derselbe brachte bereits 1875 anstatt der plötzlichen Intensitätsveränderungen allmählich verlaufende wellenförmige Ströme zur Anwendung, denen sich alle Arten von Schwingungen vollständig anschmiegen. Dies bewirkte



Fig. 337. Telephon-Mundstück.
E Spirale. Mitte: eiserne Membran

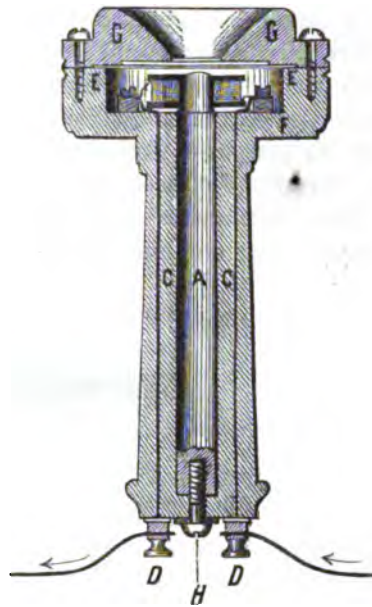


Fig. 338. Bells Telephon
(Durchschnitt).

er dadurch, daß er ein Goldblättchen statt der Membran anbrachte, mit welchem der leichte Eisenanker eines um seine Achse drehbaren Elektromagnets verbunden war. Geber und Empfänger waren durchaus identische Apparate, so daß die in einem Apparate erzeugten Schwingungen genau dieselben in dem anderen Apparate hervorrufen mußten. Die Apparate von Elisba Gray und von Graham Bell wurden gleichzeitig am 14. Februar 1876 zur Patentierung eingereicht.

Bell unterwarf seine Erfindung mehrfachen Umänderungen. Er befestigte den Elektromagnet des Gebers mit dem als Mundstück dienenden Metallringe auf einem Brettchen und benutzte als Anker ein in der Mitte der Membran angebrachtes Blättchen aus weichem Eisen. Der Empfänger (Hörer) enthielt den Elektromagnet von einem eisernen Gehäuse umgeben dessen an einer Seite befestigter Deckel die Stelle des Ankers vertrat. Unter dem Gehäuse war zur Verstärkung der Töne eine Resonanzbrücke angebracht.

Endlich im Laufe des Jahres 1877 gelang es Bell, seinem Telephon diejenige Gestalt zu geben, die grundlegend geworden ist, Geber und Empfänger erhielten hier wieder identische Übereinstimmung. Fig. 338 zeigt uns einen Längendurchschnitt desselben. Ein Gehäuse von Holz oder Ebonit, Fig. 339, enthält den Apparat, der vorn in eine kreisrunde Büchse, Fig. 337, ausläuft, vor deren Öffnung die Eisenmembran G liegt und auf die mittels Schrauben der Schalltrichter aufgesetzt ist.

Der stilartig verlängerte Teil enthält den Elektromagneten A, der am hinteren Ende mit einer Schraube versehen ist, mittelst deren man das vordere, den wirksamen Pol bildende Ende des Stabes der Membran G bis auf die geeignetste Entfernung nahe bringen kann. Auf dem vorderen freien Ende des Elektromagnets A sitzt die Drahtrolle C', auf welche ein mit Seide umspinnener Kupferdraht von etwa 60 m Länge aufgewickelt ist, dessen Enden mit den dem Eisenstabe parallel laufenden Kupferstäben

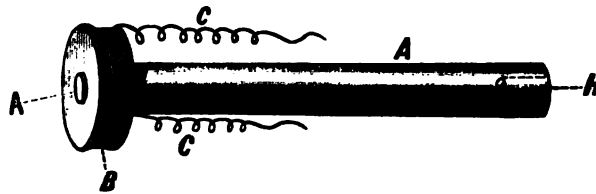


Fig. 339. Telephon. Magnetstab H A, Induktionsspirale B, Pöle A.

C und C verbunden sind. Diese wiederum stehen durch die Klemmschrauben D und D mit den Leitungsdrähten in Verbindung.

Um ein solches Telephon wirksam zu benutzen, muß man recht deutlich und accentuiert vor dem Schalltrichter des Gebers sprechen und der Hörer muß das Ohr ganz dicht an seinen Apparat halten. Dann ist ein vollständiger Stromkreis hergestellt, der aber auch mit einem einzigen Draht zu ermöglichen ist, wenn dafür gesorgt wird, daß die beiden Apparate leitend mit der Erde verbunden sind, was bei langen Leitungen immer der Fall sein muß.

Man kann auch mit einer Drahtleitung mehr telephonische Hörer durch kurze Zweigdrähte verbinden und so bewirken, daß mehrere Personen das vom Geber Gesprochene zugleich hören. Oder man benutzt als Hörer ein kleines Resonanzkästchen, welches mit zwei Membranen geschlossen ist, von denen die eine sich über der schwingenden Platte befindet. Wenn vom Resonanzkästchen dann mehrere akustische Röhren ausgehen, so können ebenfalls mehrere Personen gleichzeitig hören. In New-York angestellte Versuche ergaben auch, wenn man die Leitung beim Telephon in gewissen Zwischenräumen mit einem Leitungsdrahte verbindet, gleichfalls mehrfache Über-

tragungen geschehen können. Bei anderen Versuchen verband man Telephone in verschiedenen Entfernungen mit einer 12 km langen Leitung und ließ mehrere Personen durch dieselben eine Unterredung anknüpfen. Jede dieser Personen konnte hören, was die anderen sprachen, und die sich durchkreuzenden Fragen und Antworten waren gut vernehmbar. Man verband nun ein Telephone mit einem anderen 10 km langen Draht, welcher in einer Entfernung von 50 cm auf 2 km seiner ganzen Länge nach mit dem ersten Drahte parallel lief, und auch jetzt konnte man die durch den ersten Draht stattfindende Unterhaltung nicht nur gut vernehmen, sondern auch die Stimmen an der Klangfarbe unterscheiden. In neuester Zeit ist man nun dahin

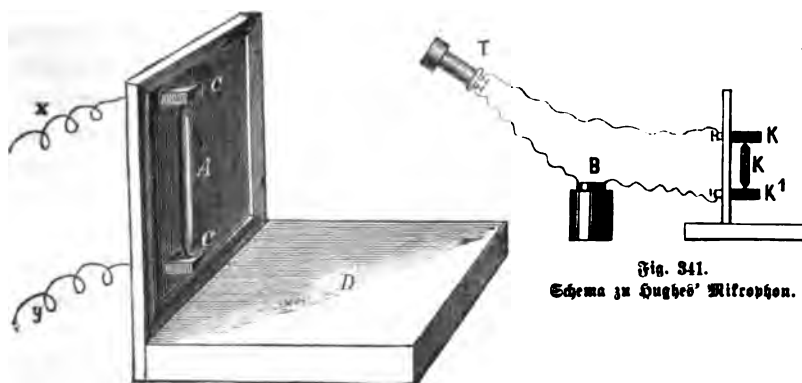


Fig. 340. Hughes' Mikrophon.

Fig. 341.
Schema zu Hughes' Mikrophon.

gelangt, schon ganz gewaltige Entfernungen zu überwinden, wie die Verbindungen Berlin-Hamburg, Berlin-Leipzig, Berlin-Breslau und vor allem Berlin-Köln, 474 km Luftlinie, beweisen.

Die Wirkungen des Telephons sind nun seit 1881 wesentlich erhöht worden durch Erfindung des „Mikrophons“, eines Hör-Apparates, mit welchem man die feinsten Tonschwingungen in ganz ähnlicher Weise hören kann, wie man durch ein Mikroskop die kleinsten Dinge sieht. Professor Hughes, der Erfinder des Drucktelegraphen, hat denselben zuerst konstruiert.

An ein Resonanzkästchen D ist ein vertikal gestelltes Holzbrettchen befestigt, in welchem die Kohlenstückchen C und C' (Fig. 340) angebracht sind. (K und K' Fig. 341.) In die Höhlungen derselben ist das Stäbchen A (K), welches aus Hartkohle besteht, eingefügt. Die Drähte x und y, welche mit C und C' (K und K') in leitende Verbindung gebracht sind, führen zur Batterie B, in deren Stromkreis das Telephone T eingeschaltet ist. Spricht oder singt man nun gegen das lose eingestellte Kohlenstäbchen A (K), so giebt das Telephone die Laute deutlich wieder, aber auch schon

die leiseste Berührung des Resonanzbodens, z. B. das Auffallen eines Kohnförmchens, das Aufstreichen mit einem feinen Pinsel u. s. w. bringt das Mikrophon zum Tönen.

Diese Konstruktion immer mehr und mehr zu vervollkommen, ging nun das Bestreben dahin, den Apparat als Hör-Apparat mit einem geeigneten Telephon als Gebe-Apparat zu verbinden.

Der Mineningenieur Léon de Lochet-Labye zu Lüttich stellte zu Paris einen solchen Apparat aus, der mitten in dem Losen der Dampfmaschinen auf eine Entfernung von 10 m noch deutlich Worte und Sätze vermittelte. Er nennt seine Konstruktion „Pan-Telephon“, d. h. ein Telephon, welches alle Arten von Tönen genau übermittelt. Die innere Einrichtung desselben zeigt eine verhältnismäßig große, sehr dünne Korkplatte, welche von zwei elastischen Federn lose gehalten wird, auf deren unteren Teil ein Kohlen-scheibchen aufgeleimt ist. Mit letzterem steht ein in einem Kniegelenk drehbarer Hebel in Verbindung, dessen oberes Ende ein Platinknöpfchen trägt, welches, je nachdem der Hebel gestellt wird, einen mäßigen oder festen Kontakt mit dem Kohlen-scheibchen herbeiführt. Das untere Ende des Hebels ist mit einer Drahtleitung nach einem Knopfe außerhalb des Resonanzkästchens versehen. Von dem Kohlen-scheibchen dagegen, unter der Korkplatte weg, führt eine Drahtleitung nach oben und dann nach einer am Boden des Apparates angebrachten Induktionssrolle, welche als Stromverstärker eingeschaltet und deren Spirale mit einem anderen Knopfe außerhalb der Resonanz verbunden ist. Von diesen beiden Knöpfen führen dann Drahtleitungen durch eine vierelementige Leclanché- oder Meidinger-Batterie nach der zweiten Station, an der sie ein Bell'sches Telephon in sich aufnehmen. Wird nun gegen die Korkscheibe gesprochen, so gerät dieselbe in Folge ihrer Größe, ihrer Leichtigkeit und ihrer elastischen Aufhängung, selbst bei dem leisesten Sprechen, und auch bei Entfernung bis zu 10 m vom Apparate, in ziemlich bedeutende Schwingungen, welche dem entfernten Telephon auf das deutlichste jeden Laut übermitteln. Mit jeder Station sind zwei Hör-telephone für beide Ohren des Hörers verbunden. Ein Läutewerk giebt die nötigen Zeichen und die Einrichtung ist so getroffen, daß das Läutewerk durch eine Kontaktfeder eingeschaltet werden kann, durch welche zugleich das Mikrophon ausgeschaltet wird und umgekehrt. Die Empfindlichkeit dieses Apparates ist außerordentlich groß und ganz geeignet zum Anhören von Konzertstücken und Gefängen auf weite Entfernungen hin.

Einen anderen Apparat hat der Telegraphensekretär Böttcher zu Frankfurt am Main hergestellt. Derselbe unterscheidet sich hauptsächlich von anderen Systemen dadurch, daß der Magnet nicht, wie sonst allgemein üblich, mit dem Gehäuse fest verbunden, sondern mittelst Schrauben und

Stahldrähten frei schwebend in demselben aufgehängt ist. Dadurch wird es möglich, daß der Magnet die Schwingungen der Membrane innerhalb bestimmter Grenzen mitmachen kann. Mit der Annäherung der Membrane an den Magneten verstärkt sich die Anziehungskraft und dadurch nähert sich auch der Magnet derselben und umgekehrt. Die Differenz zwischen beiden Bewegungen ist somit bedeutend größer, als bei anderen Apparaten, und deshalb ist auch die Induktion, sowie die Wirkung des Empfangsapparates eine viel bedeutendere.

In einer sehr zahlreich besuchten Versammlung der elektrotechnischen Gesellschaft zu Frankfurt am Main wurde nun eine Verbindung eines de Locht'schen Apparates mit einem Böttcher'schen vorgeführt. Ersterer wurde als Empfangsapparat benutzt und im Saale hoch an der Wand aufgehängt, während letzterer als Hör- oder Vermittlungsapparat auf einem Tische mitten im Saale stand. Jeder im Saale Anwesende konnte nun, ohne an die Telefone herantreten zu müssen, sich mit den an der entfernten Station Anwesenden unterhalten und auch die Antworten wurden gleichzeitig, ebenso wie die vorgetragenen Gesangsstücke, im ganzen Saale gehört. Die Schallwellen von den Sprechenden und Singenden gingen zur Korkplatte von de Locht und durch die Drähte zum Böttcher'schen Telephon, das jede Schwingung laut und deutlich wiedergab.

Einen anderen Apparat, um bei Telephonanlagen ein möglichst lautes und deutliches Sprechen zu erzielen, nennt man Transmitter oder Mikrophonsender. Er hat die Gestalt einer runden Dose, welche senkrecht an die Wand gehängt wird. In den Deckel derselben ist ein Schalltrichter eingelassen, welcher die Schallwellen auf eine dünne Eisenplatte überträgt. Auf die Mitte dieser Platte ist ein Stück Graphit aufgesetzt, welches von einem kleinen Hammer berührt wird, dessen Kopf gleichfalls aus einem Graphitstück besteht, dessen Stiel aber um ein Charnier leicht drehbar ist. Beide Graphitstücke sind in den Strom eines Leclanché-Elementes eingeschaltet, welcher durch die Hauptspirale eines kleinen in der Dose angebrachten Induktionsapparates geht, dessen Nebenspirale durch das Telephon geschlossen ist. Wird nun in einer Entfernung von 1—2 m gegen den Schalltrichter gesprochen, so entstehen durch das Erzittern des Hämmerchens in der Hauptspirale Schwankungen der Stromstärke; dadurch werden in der Nebenspirale Induktionsströme erzeugt, welche durch das entfernte Telephon gehen und dasselbe zu so lautem Sprechen erregen, daß man die Worte ganz deutlich im Zimmer versteht.

Es sind nun die verschiedensten Konstruktionen versucht worden, alle unterscheiden sich aber nur durch die Beschaffenheit ihres magnetischen Feldes. Es können da dreierlei Arten angenommen werden.

Erstens kann die Membran sehr dünn und der Magnet sehr stark sein. Dann übt die Membran so wenig Einfluß auf die magnetischen Linien, daß sie von diesen ungehindert durchsetzt wird. Sie bildet alsdann einen Transversalmagnet, dessen dem Nordpole des permanenten Magnets zugewandte Seite zum Südpol und die abgewandte zum Nordpol wird.

Zweitens kann die Membran so konstruiert sein, daß sie den größten Teil der magnetischen Linien ablenken und an sich ziehen muß. Sie wird in diesem Falle zu einem annularen Magnete, ihr Zentrum zum Südpol und ihr Rand zum Nordpol.

Drittens kann die Membran zweipolig sein und ein Hufeisenmagnet ihr gegenübergestellt, dem entsprechend sich auch in der Membran zwei nebeneinander liegende Pole entwickeln.

Unter diesen drei Konstruktionen ergiebt die transversal magnetisierte Membran die schwächsten Wirkungen, weil die beiden einander sehr nahe liegenden Pole sich gegenseitig ergänzen und die übrig bleibende Differenzwirkung nur sehr gering sein kann. Die beiden anderen Konstruktionen sind in ihrer Wirkung fast gleichwertig und das am meisten verwertete ist das annular magnetisierte Telephon von Bell. Dagegen eignet sich dasselbe als Sender zur Verwandlung von mechanischer in elektrische Energie weniger gut, weil infolge seiner kleinen Membran und der sehr kleinen Schwingungs-Amplituden relativ nur schwache Ströme in der Drahtspirale induziert werden können. Zu diesem Zwecke eignet sich besser die von Siemens eingeführte Konstruktion. Hier hat der Trichter eine Einrichtung, durch welche die Wirkung desselben bedeutend verstärkt und eine besondere Vorrichtung zum Anrufen entbehrlich gemacht wird. Statt des Stahlmagnets ist ein Hufeisenmagnet angebracht, an dessen Polenden auf der Innenseite eine Lage flacher, dünner Eisenplatten (Bandmagnete) so befestigt ist, daß sie zur Hälfte über die Magnetpole hervorsteht. Über diese hervorragenden Enden, deren Polflächen möglichst nahe bei einander stehen, sind die elliptisch geformten Drahtspiralen geschoben. Setzt man auf das Mundstück eine Zungenpfeife und bläst hinein, so erfolgt auf der Hörstation ein so lauter Ton, daß er im Zimmer durch jedes Geräusch hindurch sich vernehmbar macht. Auch das Gower'sche Telephon ist mit einer Zungenpfeife zum Anrufen versehen, die Schenkel des halbkreisförmigen Magnets liegen aber parallel zur schwingenden Eisenplatte, wodurch der Apparat eine flache, dosenähnliche Gestalt erhält. Die Pole des Magnets liegen unter der Eisenplatte ganz nahe aneinander und tragen flache, mit Drahtwindungen umgebene Eisenstücke.

Aber auch das Siemens'sche Telephon reicht auf ganz langen Linien

nicht aus. In Amerika telephoniert man auf Entfernungen, die zwischen New-York und Chicago bis zu 1900 km steigen.

Auch in Deutschland überwindet man, wie wir bereits bei Köln-Berlin gesehen haben, große Entfernungen. Das wurde aber nur möglich durch die Erfindung des Mikrophons, von denen wir die Konstruktion der Hughes'schen Kontaktmikrophone bereits kennen gelernt haben, die Blake dahin verbessert hat, daß er das eine Kontaktstück aus Kohle, das andere aus Platin herstellt, bei welchem der Druck durch eine Feder reguliert wird. Die von Berliner verbesserten Apparate haben als Kontaktstücke wieder Kohle, von denen das eine Kohlenstück als Pendel aufgehängt ist und durch seine eigene Schwere gegen das zweite gepreßt wird. Für weite Entfernungen bringt Berliner drei solcher Pendel-Elektroden an.

Fizeau und Gounelle haben nun nachgewiesen, daß die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des elektrischen Stromes in verschiedenen Leitern verschieden ist. Sie bestimmten dieselbe im Eisen zu 100 000 km, im Kupfer zu 180 000, und Villari wies nach, daß der Widerstand eines Eisendrahtes größer ausfalle, wenn zu seiner Bestimmung intermittierende Ströme verwendet werden, als bei einer Messung mit einem konstanten Strom. Die Größe des Widerstandes wächst mit der Zahl der Unterbrechungen und mit der Intensität des Stromes. Die wahrscheinlichste Erklärung für diese Thatsache ist die, daß eine Umlagerung der Moleküle stattfindet, welche beim Eisen größer ist, als beim Kupfer. Auch ist die für gleichgerichtete Ströme aufzuwendende Energie kleiner als für Wechselströme, bei denen die Umlagerung für jeden Stromimpuls sich wiederholt.

Es muß deshalb, in Folge dieser Eigenschaft der Metalle, eine Verzögerung rasch aufeinander folgender Impulse eintreten. Folgen dieselben in einem langen Drahte einander nun zu schnell, so stören sie und vermischen sich gegenseitig.

Breece hat nach dieser Richtung interessante Versuche auf Telegraphenlinien aus Kupfer- und aus Eisendrahten anstellen lassen. Diese mit einem Wheatstone'schen Telegraphenapparate ausgeführten Versuche haben ergeben, daß bei einfacher Schaltung im Eisendrahte 345, im Kupferdrahte dagegen 414 Worte in der Minute abgegeben werden konnten auf einer 50 km langen Linie. In der Schaltung für Gegensprechen lieferte der Eisendraht 237, der Kupferdraht aber 270 Worte. Der Unterschied wird für das Telephonieren noch viel bedeutender, da sich hier die Wellen viel schneller folgen, als beim Telegraphieren.

Die Telephonie hat sich viel schneller, als die Telegraphie, die Welt erobert, seitdem man, auf diese Erfahrungen hin, überall Kupferdraht verwendet. Ein Uebelstand für größere Städte ist aber der, daß die oberirdisch

geführten Drähte schließlich die Häuser zu sehr belasten und in den oberirdischen Trägern auch ihre Grenzen finden. Demselben ist nun gleichfalls durch Konstruktion der Kabel abgeholfen worden, von denen wir später sprechen wollen.

In den Vereinigten Staaten von Nordamerika ist gegenwärtig ein Kapital von 600 Millionen Mark bereits in Telephonanlagen festgelegt und auf der ganzen Erde werden gegen 700 000 Fernsprecher im Betriebe sein.

In Berlin wurde der telephonische Verkehr zuerst 1881 mit einer Zahl von 87 Teilnehmern eröffnet. 1882 wuchs der Verkehr schon so bedeutend, daß durchschnittlich im Monat 6000 telephonische Gespräche stattfanden.

Die Leitungen hatten bereits eine Gesamtlänge von 1554 Kilometern erreicht und es waren drei Vermittlungsstellen (Zentralstationen) vorhanden in Gebäuden, welche das Reich erworben hatte. Von diesen hatte die Vermittlungsstelle in der Französischen Straße vier Klappensysteme mit 50 Klappen aufgestellt, bei denen 3 bis 4 Beamte von 8 Uhr morgens bis 9 Uhr abends den Dienst versahen.

In den drei Wochen vor Weihnachten wurden 34 530 einzelne Drahtverbindungen ausgeführt, auf den Tag also rund 1650 Verbindungen. Die Mittag- und Abendstunden hatten den stärksten Verkehr. Natürlich nimmt die Börse hier den Löwenanteil, namentlich in den Mittagstunden, in Anspruch.

Gegenwärtig, wo wir dieses schreiben, ist ein wichtiger Fortschritt in der Einrichtung der Zentralstationen zu verzeichnen. Die bisherigen Systeme für Klappenschränke bereiteten viele Schwierigkeiten in der Verbindung von Drähten, welche an verschiedenen Klappenschränken einmünden. In Amerika hat man nun einen Vielfach-Klappenschrank erfunden, der diese Schwierigkeit umgeht, indem er jeden Beamten in den Stand setzt, an seinem Schranke alle Drähte, und wären es deren auch mehrere tausend, direkt zu verbinden, gleichviel ob die betreffenden Linien in seinem Schranke ausmünden oder nicht.

An der Berliner Börse selbst sind die Sprechzellen so eingerichtet, daß das in den Apparat hineingesprochene Wort nicht hinausdringen kann und daß die Sprechenden durch von außen eindringendes Geräusch nicht belästigt werden. Die Zellen sind deshalb mit Doppelwänden ausgestattet, zwischen welche Asche, Sägespäne, trockener Sand u. s. w. als schlechte Leiter festgeschüttet werden. Im Innern sind sie mit dünner Pappe überzogen, über welche auf Leisten gespannter und mit Baumwollentoff überzogener Filz befestigt ist, auf den dann die Tapete geklebt wurde.

Jetzt im Jahre 1888 sind öffentliche Fernsprechstellen über die ganze

Stadt verbreitet, von denen aus Jedermann gegen Erlegung einer Gebühr von 50 Pfennigen nach allen Richtungen der Windrose innerhalb der Stadt 5 Minuten lang sprechen darf und ebenso, gegen entsprechend erhöhte Gebühr, nach allen angeschlossenen Städten.

Die Verbesserung der Konstruktion der Apparate ist ebenfalls erstaunlich weit gebracht worden. Signalapparat und Telephon sind so auf einer Platte angebracht, daß bei dem Wegnehmen des Telephons von seinem Platze am Apparat sich die Verbindung zwischen den beiden Stationen von selbst herstellt, während durch das Wegstellen des Telephons an seinen Platz die beiden Wechselapparate wieder in Verbindung gesetzt werden und somit zur Benutzung stets bereit sind. Wechsel- und Nummerapparate benachrichtigen die Vermittlungsstelle, wann, wer und mit wem man sich in Verbindung zu setzen wünscht, und der betreffende Beamte stellt die Verbindung her, indem er an der betreffenden Zentralstelle einen metallenen Stöpsel am geeigneten Platze einsteckt. Mit der Entfernung des Stöpsels wird die hergestellte Verbindung wieder unterbrochen.

Den Anfang mit einer unterirdischen Leitung hat Paris gleich bei der Einrichtung der Fernsprechstellen insofern machen können, als sein weit ausgedehntes Kanalisationsystem dazu eine nicht sehr kostspielige Gelegenheit bot. Die Verbindungsdrähte zwischen den einzelnen Häusern und den Vermittlungsstellen sind zu Kabeln vereinigt, welche, mit Blei umhüllt, unter den Gewölben der Schleusen aufgehangen sind. Jedes solches Kabel enthält 14 von einander isolierte Drähte, welche 7 Doppelleitungen herstellen. Jedes Kabel hat 18 mm im Durchmesser. Die mittlere Länge einer Leitung zwischen den 11 Vermittlungsstellen und einem Abnehmer beträgt 1146 m. Unter sich sind die Vermittlungsstellen (Bureaux) durch 170 Hilfsleitungen verbunden.

In den Zentralbureaux befinden sich sogenannte Tableaux. Jedes derselben enthält 25 Nummern, von denen jede mit einem beweglichen Deckel versehen ist. Wird nun von einem Abonnenten sein Signalknopf angedrückt, so fällt in dem betreffenden Zentralbureau der Deckel von seiner Nummer nieder und der Beamte erfieht aus dem Register, wer gerufen hat. Der Beamte fragt jetzt an, mit wem gesprochen werden soll, und stellt auf die Antwort die Verbindung mittelst zweier durch eine Schnur vereinigter Metallstöpsel her, klappt den Deckel der Nummern wieder zu und entfernt sich. Bei Beendigung des Gespräches ruft ihn ein Glockenschlag des ersten Anrufers wieder zurück.

Dieses System, einfach und praktisch, funktioniert sehr vortrefflich und ist Tag und Nacht geöffnet. Bei Tage von morgens 8 bis abends 7 Uhr besorgen junge Mädchen den Dienst, während beim Nachtdienste nur

männliche Beamte in Thätigkeit sind. Ein solches Kabelsystem, wie in Paris, läßt sich aber nicht überall in Anwendung bringen. Wo die Kabel in der Erde fortgeführt werden müssen, da stößt man bei sehr langen Leitungen auf ganz besondere Schwierigkeiten. Dieselben sind von zweierlei Art und werden bezeichnet als Deformation und Induktion. Deformation nennen wir die Schwächung und Verspätung, welche jede elektrische Stromwelle, die in einem Kabel fließt, erleidet, wie dies längst bekannt ist aus den Erfahrungen, die man an den atlantischen Telegraphenkabeln gemacht hat. Wenn von Europa nach Amerika telegraphiert wird, so vergeht über eine Sekunde, ehe eine merkbare Wirkung hervortritt. Mehrere Sekunden aber vergehen, ehe der Apparat zu voller Wirksamkeit gelangt.

Dr. Wietlisbach in Bern erklärt diese Thatsache dadurch, daß die Geseze der Fortpflanzung für Wärme und Elektrizität dieselben sind und daß sich beide von einander nur durch die Form der Wellen unterscheiden. Die Sonne sendet uns nämlich gleichzeitig und auf demselben Wege sowohl Wärme wie elektrische Energie zu. Über die Auffangung der letzteren durch die Erde sind wir noch nicht hinlänglich klar. Um so besser kennen wir aber die Fortleitung der Wärme. In der Telephonie handelt es sich nur immer um undulierende, die Intensität stets wechselnde Ströme. Durch die Sonne werden in der Erde ähnliche, periodisch wechselnde Wärmeströmungen erzeugt. Dabei können wir hauptsächlich zwei verschiedene Perioden unterscheiden, die tägliche und die jährliche.

Die kleinere ist die tägliche. Dieselbe erreicht in Mitteleuropa ihr Maximum um zwei Uhr nachmittags und ihr Minimum um vier Uhr morgens. Diese Wellen pflanzen sich nun in das Innere der Erde fort. Aber schon in einer Tiefe von 1 m wird die Periode unmerkbar, so daß dort eine konstante Temperatur herrscht. In einer Tiefe von einem halben Meter aber kann man diese Schwankungen noch beobachten. Sie betragen hier aber nur noch den funfzigsten Teil von denjenigen an der Oberfläche und erscheinen außerdem bereits um zwölf Stunden verspätet.

Ganz dieselben Erscheinungen zeigt die Fortpflanzung der elektrischen Wellen in einem Kabel und sie werden, wenn sie auch nicht so stark wirken, doch schon auf verhältnismäßig kurze Entfernungen fühlbar. Werden die Kabel nun zum Telephonieren benutzt, so werden die elektrischen Wellen noch durch einen besonderen Umstand wesentlich verstärkt, und diese weitere besondere Schwierigkeit ist eben die Induktion.

Wir wissen bereits, daß, wenn zwei Drähte nebeneinander parallel laufen und in dem einen Drahte fließt ein intermittierender Strom, so erzeugt jeder Stromwechsel in diesem einen Induktionsstrom im zweiten

Drahte. Zu solchen Strömen, welche beständig ihre Richtung ändern, gehören nun auch die Telephonströme. In dem zweiten Drahte entsteht daher ein ganz ähnlicher undulierender Strom wie in dem ersten, und wenn die beiden Drähte auf eine lange Strecke parallel nebeneinander herlaufen, so kann man in einem auf dem zweiten Drahte eingeschalteten Telephon verstehen, was auf dem ersten Drahte gesprochen wird.

Beim Kabel sind nun viele Drähte vereinigt und da dieselben ganz nahe bei einander liegen, so wird die Induktion in erhöhtem Maße auftreten. Es wäre nun aber höchst mißlich, wenn auf allen Leitungen verstanden werden könnte, was auf einem Drahte gesprochen wird, und es wäre eine Kabelleitung gar nicht möglich, wenn es nicht gelänge, diese Induktionsströme zu vermeiden. Wie sehr häufig ist auch hier eine große Schwierigkeit durch ein sehr einfaches Mittel behoben worden. Zwei Drähte werden zu einer Leitung kombiniert, welche unter Ausschluß der Erde die Hin- und Rückleitung bilden. In beiden Drähten entsteht dann ein gleich starker und gleich gerichteter Strom, die sich daher beide in der Schlaufe kompensieren. Dieses Mittel ist aber nur für kleine Anlagen anwendbar, im großen angewendet, würde es zu kostspielig sein.

Um hier zum Ziele zu gelangen, umgiebt man jeden Strang des Kabels mit einer Metallhülle und leitet diese beiden Enden zur Erde ab. Es erfolgt jetzt gleichfalls die Kompensierung des Induktionsstromes. In den Metallhüllen werden durch den primären Draht Ströme in erster Linie induziert und es entsteht daher auf dem zweiten Drahte eine Differenzwirkung zwischen dem primären Strom und den entgegengesetzt gerichteten in den Metallhüllen. Durch passende Abmessung der Widerstände und der Entfernungen der verschiedenen Leiter ist dann eine ziemlich vollständige Kompensierung zu erlangen. Enthält das Kabel 50 und mehr Drähte, so bilden diese selbst ihre eigenen Schutzhüllen. Dann braucht nicht mehr jeder Strang mit einer Metallhülle umgeben zu werden, sondern es genügt, wenn das ganze Kabel mit einer gut zur Erde abgeleiteten Metallhülle umgeben wird. Sollen die sekundären Kompensationsströme noch verstärkt werden, so legt man einen oder mehrere dicke Kupferdrähte zwischen die Stränge.

Aber auch jetzt hat man noch nicht alle Schwierigkeiten überwunden. Zuerst macht man die Erfahrung, daß in einem induktionsfrei gemachten Kabel das Telephonieren viel schwieriger wird als in einem Kabel ohne Schutzhülle. Der Grund davon ist, daß das Kabel ohne Schutzhülle eine geringere Kapazität (Aufnahmefähigkeit) besitzt, welche eben durch die Schutzhüllen bedeutend vergrößert wird. Die Kapazität aber ist es, welche die Deformation der Stromwellen bedingt. Könnte man die Kapazität aufheben, so könnte man auch die Deformation unterdrücken. Hier konstruiert

sich also eine Zwickmühle (Dilemma). Vergrößert sich die Kapazität, so nimmt auch die Deformation zu, und verkleinert sich die Kapazität, so nimmt die Induktion zu. Beides ist aber gleich schädlich für die telephonische Übertragung. Deshalb muß man gegenwärtig noch darauf verzichten, ein vollkommen wirkendes Kabel herzustellen.

Gegenwärtig sind Kabel von Patterson, von Felten und Guillaume in Gebrauch, welche das Telephonieren bis auf 20 km Entfernung ermöglichen.

Bedingung ist, daß die ganze Linie nur aus einem Kabel bestehen darf. Nun aber müssen für große Entfernungen lange Luftlinien angegeschlossen werden und dann macht sich die Retardation sehr fühlbar. Die Induktion wirkt hier hauptsächlich hindernd, und das einzige Mittel, um diese Induktion zu mindern, ist bis jetzt in der Anwendung der Schlaufe. Dieselbe kann bei sorgfältigem Bau an derselben Stangenleitung mehrfach angelegt werden, ohne daß die eine der anderen schadet, wenn nur die einzelnen Drähte symmetrisch liegen, was sich durch zeitweiliges Vertauschen des Places stets erreichen läßt.

Da gleichwohl durch die Notwendigkeit, zwei Drähte für jede Leitung herzurichten, die Anlage kostspielig wird, so hat man versucht, die Telegraphendrähte zum Telephonieren zu gebrauchen, also Telegraphie und Telephonie miteinander zu verbinden.

Die Ströme, welche zum Telegraphieren und zum Telephonieren verwendet werden, unterscheiden sich darin, daß beim Telegraphieren ein konstanter Strom von einer gewissen Intensität die Wirkung hervorbringt. Dagegen wirkt beim Telephonieren nicht die Intensität des Stromes, sondern es wirken die Schwankungen desselben. Daher kann man beide Apparate auf demselben Drahte gleichzeitig gebrauchen, wenn der Strom zum Telegraphieren so langsame Schwankungen ausführt, daß er das Telephon nicht mehr beeinflusst, und zum Telephonieren dagegen so schwache Ströme, daß die Telegraphenapparate nicht ansprechen. Dies Letztere geschieht gewöhnlich, das Erstere aber kann nur durch künstliche Hilfsmittel herbeigeführt werden. Nyffeberghe schaltet daher in die Leitung so viele Kondensatoren und Drahtspiralen, bis die Wirkung erreicht ist. Leider aber ist auch hier nur in der Theorie das Ziel erreicht, denn durch die Einschaltung wird der Widerstand der Linie entsprechend vermehrt, und um den Strom dann in seiner normalen Stärke zu erhalten, müssen die Batterien vergrößert werden, und das ist wieder ein neuer, bis jetzt noch nicht überwundener Übelstand.

Den neuesten Fortschritt auf dem Gebiete der vereinigten Telegraphie und Telephonie veröffentlicht Professor Dr. S. C. Wallentin in Wien in der

von Dr. Otto Dammer herausgegebenen Monatschrift für die gesammten Naturwissenschaften „Humboldt“ Novemberheft 1887. Er erwähnt, wie durch die Erfindung des Blocksystems erreicht wurde, daß das Fahren eines Eisenbahnzuges einem entgegenkommenden oder nachfolgenden Zuge und auch den nächsten beiden Stationen angezeigt werden kann, ohne daß man zu optischen Signalen, deren beste immer nur relativen Werth haben, zu greifen braucht. Weil diese Ausführungen von außerordentlicher Wichtigkeit sind, so geben wir hier zuerst eine Darstellung dessen, was man „Block-System“ nennt.

Das Blocksystem beruht darauf, daß auf der Fahrbahn der Züge Signalzwischenstationen (Hilfs- oder Blockstationen) eingeschaltet werden. Es sind dabei zwei Geleise anzunehmen.



Sobald ein Zug auf dem ersten Geleise, welcher vom Bahnhofe A abgefahren ist, bei der Blockstation a vorbeifährt, telegraphiert der Wärter in a dem Wärter in b durch ein hörbares Zeichen und stellt gleichzeitig das in a befindliche, für das Zugpersonal bestimmte große Semaphor auf „Halt“. Der Wärter in b antwortet, daß er die Meldung empfangen, dadurch, daß er an der Blocksignalvorrichtung im Wärterhause a das Zeichen „Strecke besetzt“ hervorbringt, welches, vermöge der Konstruktion der Blocksignalvorrichtung, von dem Wärter in a nicht mehr geändert werden kann. Sobald der Zug in b angelangt ist, meldet dies der Wärter nach c, stellt jetzt sein eigenes Semaphor auf „Halt“, macht den Wärter in a durch elektrische Lärmzeichen aufmerksam und deblockiert ihn d. h. ändert das Zeichen „Strecke besetzt“ um in das Zeichen „Strecke frei“. Dasselbe geschieht dann in c, d u. s. f., bis der Zug auf dem Bahnhofe B angelangt ist. Dadurch wird es fast zur Unmöglichkeit, daß zwischen zwei Blockstationen sich gleichzeitig zwei Eisenbahnzüge auf den Schienen befinden können. Um aber Irrtümer gründlich zu vermeiden, verhindert ein mechanischer Zusammenhang eben den Wärter in a das Zeichen auf „freie Fahrt“ eher zu stellen, als bis ihn der Wärter in b deblockiert hat.

Der auf dem Gebiete der Telephonie neuerdings berühmt gewordene Amerikaner, Lucius Phelps, hat nun ein ingenioses Mittel erdacht, zwischen den fahrenden Zügen und den Stationen nicht nur Signale auszutauschen, sondern auch die Herstellung eines geregelten Verkehrs zu ermöglichen. Er hat seiner Methode dabei das bekannte sehr einfache Prinzip zu Grunde gelegt: Nähert man einem stromlosen Leiterkreise einen vom Strome durchflossenen Leiter, so wird in dem stromlosen Leiterkreise ein Induktionsstrom erregt mit entgegengesetzter Richtung; entfernt man dagegen den Leiterkreis vom Stromkreise, so durchsetzt abermals ein Strom den Leiterkreis, aber in diesem Falle in derselben Richtung, wie sie der induzierende Strom besitzt. Unter Zugrundelegung dieses Prinzips ist keine leitende Verbindung zwischen der Station und dem fahrenden Eisenbahnzuge notwendig, wenn telegraphische oder telephonische Signale übermittelt werden sollen, sondern es genügt eine Induktionsspirale, welche mit der Empfangsstelle verbunden ist, und der Schienenweg zur Stromleitung.

Auf der Strecke zwischen Harlem und New-Rochelle in den Vereinigten Staaten von Nordamerika wurde von einer besonders erwählten Kommission der von Lucius Phelps konstruierte neue „Induktionstelegraph“ am 28. September 1885 erprobt und von derselben ein befriedigender Erfolg festgestellt. Die Konstruktion ist folgende: Von Station zu Station läuft ein Leiterkreis, bestehend aus einem isolierten Kupferdrahte, der in einer hölzernen Rinne von quadratischem Querschnitte mit etwas über 7 cm Seite sich befindet. Diese Rinne war zwischen den Schienen auf den Querschwellen mit Unterlagen angebracht. An den Niveauübergängen sowohl als auch an den Kreuzungsstellen war der Draht in ein Gasrohr eingeschlossen.

Der induzierte Stromkreis ist auf einem Wagen des fahrenden Zuges, gewöhnlich dem Packwagen, befestigt und besteht aus einem feinen, isolierten Kupferdrahte, welcher auf einen Rahmen in 90 Windungen gewickelt ist, die zusammen die beträchtliche Länge von 2,5 km besitzen. Der untere Teil der Windungen verläuft über die ganze Wagenlänge und ist parallel zu dem Leitungsdrahte, welcher sich zwischen den Schienen befindet, in einer 5 cm weiten Gasröhre eingeschlossen, die unterhalb des Packwagens aufgehängt ist und ungefähr 17 bis 20 cm vom induzierenden Drahte absteht. Der obere Teil der Windungen befindet sich über dem Dache des Wagens, wo er oberhalb der Fenster angebracht ist.

Ein durch den induzierenden Schienendraht geschickter Strom erzeugt in der Induktionsspirale einen Induktionsstrom; durch ein äußerst zart konstruiertes Relais (s. S. 437), welches von dem letztgenannten Strome affiziert wird, wird ein Lokalstrom geschlossen, der auf einen Morseklüffel

wirkt (s. S. 435), so daß die telegraphischen Zeichen gut gehört werden können. Die Enden der Induktionsspirale führen gewöhnlich von unten in den Packwagen hinein und sind daselbst mit den Empfangsapparaten, welche sich in einer abgeforderten kleinen Wagenabteilung befinden, in Kommunikation.

Nun ist es leicht einzusehen, daß sich ein Telephon noch weit besser zum Empfange eines Telegrammes eignen wird, als bloß ein Morfeschlüssel, denn um die Eisenmembran des Telephons in Schwingungen zu versetzen, sind Induktionsströme nötig, welche rasch umwechseln. Dies wird dadurch erreicht, daß der Absender mit dem Schlüssel durch Hinunterdrücken und Heben desselben nicht einfach den Batteriestrom schließt und öffnet, sondern daß beim Niederdrücken des Handgriffes (Manipulators) ein sogenannter Schwinger (Vibrator) in Wirksamkeit (Funktion) tritt. Durch den Schwinger werden abwechselnd positive und negative Ströme durch die Leitung gesendet, welche sehr rasch aufeinander folgen und ebenso rasch aufeinander folgende Induktionsströme in der Drahtspirale hervorrufen.

Diese Induktionsströme nun haben entgegengesetzte Richtungen; die durch die Schwingungen der Telephonmembran entstehenden Töne, die je nach der Erregungsart eine längere oder kürzere Dauer haben, bilden einen Ersatz für die durch den Morfeschlüssel zu erzeugenden Punkte und Striche. Die Anwendung des Telephons bewies nun wieder aufs deutlichste, daß der induzierende Strom eine sehr geringe Stärke besitzen und seine Wirkung auf das Telephon dennoch intensiv genug ausüben kann. Ja sogar die Legung der Linienleitung zwischen den Schienen des Geleises erwies sich als überflüssig, wenn das Nachbargeleise eine solche induzierende Leitung besitzt.

Die Rückfahrt von New-Rochelle nach Harlem fand auf einem Geleise statt, welches keine Linienleitung besaß; es war der untere Teil der Induktionschiene von dem induzierenden Kupferdrahte um 3,4 m entfernt und nichtsdestoweniger waren die telegraphischen Zeichen, welche von Harlem abgeschickt wurden, auf dem Telephon des Wagens deutlich genug vernehmbar.

In Harlem war eine Batterie von 150 Elementen aufgestellt, auf dem Wagen befand sich eine solche von 12 Elementen, welche nach dem Bunsen'schen System, aber mit einigen Modifikationen konstruiert waren. Die Telegramme, welche nach Harlem von dem Wagen gerichtet wurden, waren trotz der geringen Stromintensität in Harlem noch deutlich genug mittels des Telephons wahrzunehmen, während hier ein Morfeschlüssel auch bei der zarresten Konstruktion seinen Dienst versagt hätte.

In New-Rochelle selbst war kein Apparat aufgestellt, sondern der Strom ging daselbst zur Erde. Ein wesentlicher Umstand aber bleibt zu berücksichtigen, weil davon das Gelingen des Versuches abhängt.

Bei der Rückfahrt nach Harlem lag der obere Teil der auf dem Wagen vorhandenen Induktionsspirale auf jener Seite des Wagens, die sich vom Nachbargeleise, auf welchem der induzierende Stromkreis sich befand, entfernt hielt. Liegen nämlich der obere und der untere Teil der Induktionsspirale in derselben Entfernung von der Linienleitung des Nachbargeleises, so werden in diesen Teilen Induktionsströme entstehen, welche — was ihre Richtung zum induzierenden Strome betrifft — gleichgerichtet, selbst aber gegeneinander gerichtet sind, was zur Folge hat, daß diese Ströme, da sie von gleicher Intensität sind, sich gegenseitig aufheben; sind sie jedoch ungleich, was dann der Fall sein wird, wenn der obere und untere Teil der Induktionsspirale ungleich weit von der induzierenden Linienleitung abstehen, dann wird ein Differenzstrom, die erstere durchfließend, auf das Telephon wirken.

Diese erste Anlage eines „Induktions-Telegraphen“ auf der Linie Harlem—New-Rochelle war äußerst sorgfältig hergestellt worden, weil man von vielen Seiten gegen den Vorschlag von Phelps Zweifel hegte. Die englische Meile kostete 1300 Mark zur Herstellung. Nachdem aber dieser Versuch einen sehr befriedigenden Verlauf genommen hatte, lehrten spätere Untersuchungen, daß statt des teuren Kupferdrahtes gewöhnlicher Telegraphendraht in Anwendung gebracht werden kann, daß ferner derselbe nicht in eigenen Holzzinnen untergebracht und in denselben isoliert zu werden braucht, endlich daß von Entfernung zu Entfernung dieser Draht auf besonderen Isolatoren an den Verbindungsflaschen der Schienen ungefähr 5 cm auswärts und gerade unter die Schienenfläche gelegt werden kann. Die Entfernung je zweier solcher Isolatoren betrug in den weiteren Versuchen gegen 8 m. Die Induktionsspirale ordnete man in denselben auf der Außenseite der Räder derart an, daß der induzierte Strom auf der einen Seite vorwärts, auf der andern Seite rückwärts zirkuliert und daß jede Seite des Wagens der induzierenden Linienleitung zugewendet werden kann. Bei Bahnübersehnungen, ebenso bei Abzweigung von Nebengeleisen kann ferner die Drahtleitung nicht weiter geführt werden, eine Unterbrechung ist dort nicht gestattet. Phelps hatte nun den gescheiterten Gedanken, der sich auch bewährte, den Draht in einer gut isolierenden Hülle in die Erde zu leiten knapp vor der betreffenden Stelle und knapp hinter derselben in seine frühere Lage zurückzuführen. Dadurch erreichte er zugleich, daß der Kostenpreis der induzierenden Leitung sich nur auf den sechsten Teil der oben bezeichneten Summe also etwa 220 Mark für die englische Meile stellte.

Edison gedenkt nun, in Verbindung mit Gilleland auf Grund der Phelps'schen Entdeckung eine Einrichtung zu treffen, durch welche der telegraphische oder telephonische Verkehr zwischen einem fahrenden Eisenbahn-

zuge und einer Station noch billiger hergestellt werden kann. Beide Forscher wollen dies auf folgende Weise erreichen: Denken wir uns einen Kondensator (Franklin'sche Tafel) geladen, so, daß die eine Seite isoliert und positiv elektrisch, die andere zur Erde abgeleitet und negativ elektrisch sei und zwar letztere gebunden. Wird nun der positiven Seite Elektrizität durch Berührung entnommen, so kann die ganze früher gebundene negative Elektrizität nicht mehr auf der zweiten Belegung bleiben, sondern ein Teil derselben muß zur Erde abfließen, in dem Verbindungsdrahte aber, welcher die Kommunikation zwischen der zweiten Belegung und der Erde herstellt, wird sich eine elektrische Strömung kundgeben. Edison und Gilleland denken sich nun die längs der Bahnstrecke laufenden Telegraphendrähte, welche mit ihren Enden in die Erde gelegt sind, als die eine Armatur eines großen Kondensators, dessen zweite Belegung in der nachfolgenden Weise konstruiert ist.

Die Seitenwand eines jeden Wagens des Eisenbahnzuges entlang soll ein dünner Kupferblechstreifen angebracht werden, welcher von dem Wagen durch eine untergelegte harte Gummiplatte isoliert ist; die Gesamtheit dieser Streifen steht durch biegsame Leiter in Verbindung. Die Luft zwischen den Telegraphendrähten und dem Kupferblechstreifen soll das isolierende Medium des so gebildeten großen Kondensators abgeben. Eine Variation der Elektrizität einer Belegung wird sich durch eine entsprechende Variation der elektrischen Verhältnisse der anderen Belegung kundgeben und es ist klar, daß dieselbe durch ein für Elektrizitätsvariationen empfindliches Instrument, wie es in hohem Grade das Telephon ist, den Sinnen zugänglich gemacht werden kann. Gelingt die praktische Ausführung dieser Gedanken, so wäre für die telegraphische Korrespondenz zwischen einem fahrenden Eisenbahnzuge und den Stationen ein großer Vorteil geschaffen, ohne daß die Kosten sehr besonders ins Gewicht fielen.

Nachdem wir so darauf hingewiesen haben, welche gewaltige Zukunft dem Telephon noch vorbehalten ist, geben wir zum Schlusse dieses Kapitels die Beschreibung eines neuen Demonstrations-Telephons, wie es von Professor Dr. Müttrich konstruiert, vom Mechaniker Erneck in Berlin für 33 Mark hergestellt wird.

Ein runder Holzfuß trägt einen hölzernen Cylinder. Derselbe ist aus zwei Teilen zusammengesetzt, so, daß der äußere Cylindermantel des oberen Teiles abgehoben werden kann und dann nur der untere Teil des Cylinders und der Kern des oberen Teiles übrig bleiben. Die Achse des Cylinders ist ausgehöhlt, so daß ein Stabmagnet in diese Höhlung eingesteckt werden kann. Auf den Kern des Cylinders, welcher aus dem oberen Cylindermantel etwas herausragt, kann eine Drahtspirale aufgesetzt werden, deren

Enden durch Zwischendrähte mit den Polen eines Multiplikators verbunden sind.

Soll nun zuerst die Entstehung eines Induktionsstromes gezeigt werden, so entfernt man den beweglichen oberen Cylindermantel und bewegt die Drahtspirale über den Magneten oder entfernt sie von ihm und beobachtet dann den Ausschlag an der Multiplikatornadel. Will man das beim Telephon vorhandene Verhältnis im großen herstellen, so setzt man den beweglichen Cylindermantel auf den unteren Teil des Apparates und auf ihn die Drahtspirale. Die Dimensionen sind dabei so gewählt, daß der Pol des Magneten mit dem oberen Ende der Drahtspirale ungefähr in dieselbe Ebene fällt. Um einen elektrischen Strom zu induzieren, ist es jetzt nur erforderlich, die Intensität des Magnetpols abwechselnd zu verstärken oder zu schwächen, was dadurch leicht erreicht werden kann, daß man ein Stück weiches Eisen dem Magnetpole nähert und dann von ihm entfernt. Bei jeder Bewegung des Eisens erhält die Multiplikatornadel einen Stoß, und wenn man das Eisen isothermisch mit den Schwankungen der Multiplikatornadel dem Magnetpole nähert und von ihm entfernt, kann der Ausschlag der Nadel beliebig groß gemacht werden. Die Übertragung des Versuchs auf die Einrichtung des Telephons ergibt sich von selbst, indem hierbei das Eisengewicht nur durch die metallische Membran ersetzt ist, diese durch die Sprache in Schwingungen gerät und sich dem Magnetpol nähert und von ihm entfernt. Die dadurch hervorgerufenen Induktionsströme werden von dem ersten Telephon zu dem zweiten geleitet und verursachen hier eine Stärkung oder Schwächung des Magnetpols, wodurch die Eisenmembran in Schwingungen versetzt wird, die denen am ersten Telephon entsprechen. Diese Schwingungen teilen sich der umgebenden Luft mit und rufen die Töne hervor.

63. Phonograph, Photometer und Photophon.

Neben den elektrischen Telegraphen, den magneto-elektrischen, elektromagnetischen, Dynamo- und Compound-Maschinen, den Akkumulatoren, dem Telephon, Mikrophon und Induktions-Telegraphen und Induktions-Telephonen lassen sich einige Erfindungen recht gut besprechen, die, wie Phonograph und Photophon gegenwärtig nur ein wissenschaftliches Interesse besitzen, deren Zukunft aber noch unbekannt ist, wenn ihre gewaltige Bedeutung auch ahnend vermutet werden kann.

Wir wissen bereits, daß durch die Einschaltung eines Mikrophons das Telephon erst ein wirklicher Sprechdraht geworden ist und diese Erfahrung

brachte Edison zu dem Schlusse, daß, wenn man imstande ist, eine kleine Platte in sehr schnelle Schwingungen zu setzen und zwar in durchaus geordnete, diese Schwingungen fixiert werden könnten, um nach Belieben wieder reproduziert zu werden.

Dieser Gedanke führte ihn auf die Erfindung der Sprechmaschine, des Phonographen, von dem wir glauben, daß er in Zukunft an telephonischen Leitungen angebracht, es ermöglichen wird, Briefe und Meinungen auf weitere Entfernungen hin so zu sprechen, daß sie nach Hause gebracht und vor Gericht getragen, dort Wort- und Stimmlaut der Lebenden wiedergeben werden.

Wie alle großen Erfindungen ist auch der Phonograph (Laut- oder Klangschreiber) von äußerst einfachem Bau und Jedermann glaubt dann eben so ein Ding erfinden zu können. Er hat den Zweck, die menschlichen und beliebige andere Laute aufzuzeichnen und nach beliebiger Frist wiederzugeben.

Auf einem Gestell sind zwei Achsenlager befestigt, in deren einem ein Schraubengewinde eingeschnitten ist. In diesem Achsenlager liegt eine Achse, die ebenfalls zur Hälfte ein Schraubengewinde besitzt und in ihrer Mitte eine Messingwalze trägt, auf deren Oberfläche gleichfalls eine schraubenförmige Rinne läuft von derselben Steigung wie die Schraubenrinne der Achse. Diese Walze wird zum Gebrauche mit einem dünnen Staniolblatte überzogen. Der zeichengebende Teil, der ebenfalls auf dem Gestelle seine Unterlage hat, besteht aus einem Mundstück, welches mit einem Schallbecher versehen ist, in dem eine dünne Platte wie ein Trommelfell ausgespannt ist. Dieselbe drückt einen von einer Metallfeder getragenen Stift durch Vermittelung zweier Dämpfer aus Kautschuk gegen die Walze, so daß der ruhende Stift, wenn die Achse durch die Kurbel gedreht wird, eine der Rinne der Walze folgende Schraubenlinie beschreiben würde. Wenn man nun in das Mundstück hineinspricht, während die Walze gleichmäßig gedreht wird, gerät die Platte in Schwingungen und der Stift bringt auf dem Staniolblatte Eindrücke hervor, welche den gesprochenen Lauten entsprechen. Um diese Laute wieder hervorzubringen, schlägt man den Zeichengeber zurück, dreht die Walze rückwärts und bringt Stift und Mundstück wieder in die anfängliche Lage. Dreht man jetzt die Kurbel wie anfangs, so versetzt der Stift, indem er über die Eindrücke des Staniolblattes hinweggleitet, die Platte in Schwingungen, welche denjenigen, die sie vorher beim Aufzeichnen gemacht hatte, ähnlich sind. Die gesprochenen Worte ertönen nun, mehr oder minder deutlich, in der Klangfarbe des Lebenden wieder. Es ist also möglich auch zu erkennen, ob ein Ostpreuße, Sachse, Westfale u. s. f. gesprochen haben, wie auch die Töne der Flöte, Geige, Klarinette u. a. Instrumente wiedergegeben werden können.

Der Grund, warum der Phonograph eine größere praktische Verwertung bis jetzt nicht gefunden hat, liegt darin, daß die Staniolblättchen von sehr geringer Dauer sind, so daß eine 3 bis 4 malige Benutzung derselben das höchste Maß ist, denn sobald die feinen Eindrücke durch die wiederholten Schwingungen sich ausgleichen, ist von einem geordneten Tönen nicht mehr die Rede.

Gleichwie die Wirksamkeit des Phonographen gewissermaßen eine schwebende (latente) geworden ist, ebenso ist es mit der nicht minder wichtigen Erfindung Graham Bells, das Licht zum Vermittler der Laute in die Ferne zu machen. Ehe wir aber dieser erstaunlichen Erfindung näher treten können, müssen wir erst einen kleinen Abstecher in die Optik, die wir erst im zweiten Bande behandeln können, bereits hier unternehmen.

Vor etwa 70 Jahren entdeckte Söns Jakob Berzelius (geboren den 29. August 1779, gestorben den 7. August 1848) ein neues Element, das viele Ähnlichkeit mit einem früher entdeckten Element hatte, welches Tellur genannt wird (tellur, telluris = Erde). Er nannte deshalb das neue Element nach dem Monde Selen. Dieses „Selen“ ist eine bräunliche, leichte Masse, welche bei mäßiger Wärme schmilzt, beim Erkalten krystallisiert und in der Regel in kleinen Stangen von der Dicke eines Bleistifts geformt wird. Dasselbe, sonst nicht praktisch bisher verwertbar, machte die Elektriker durch eine besondere Eigenschaft auf sich aufmerksam. Man fand nämlich, daß das Selen zu den schlechten Leitern gehört und dem elektrischen Strome einen starken Widerstand entgegenstellt, daß aber geschmolzenes Selen sich dabei anders verhält wie krystallisiertes. Vor etwa 10 Jahren machte nun ein amerikanischer Elektriker May die Entdeckung, daß der Widerstand des Selen sehr bedeutend abnimmt, wenn ein Lichtstrahl auf dasselbe fällt, und daß der Widerstand wieder bedeutend zunimmt, wenn man es wieder ins Dunkle bringt. Dies gab Veranlassung zu der hochwichtigen Entdeckung, daß das Licht nicht nur Wärmestrahlen und chemische Strahlen, sondern auch indifferente Lichtstrahlen enthält, d. h. solche Strahlen, welche weder die Gegenstände erwärmen, noch färben, noch ihren Aggregatzustand irgendwie verändern.

Diese Entdeckung benutzte Dr. Werner Siemens, um ein sehr wertvolles Instrument für die Wissenschaft herzustellen, einen Lichtmesser oder ein Photometer. Da unser Auge nicht imstande ist, über feine Lichtunterschiede zu urteilen, so war ein Maßstab für die Beurteilung der Lichtstärken von gewaltiger Bedeutung.

Dieses Photometer besteht aus einer kleinen Röhre, an deren Boden ein Stückchen zubereitetes Selen zwischen zwei Leitungsdrähten angebracht ist. Durch diese geht ein galvanischer Strom, welcher durch ein äußerst

konstantes Kupfer-Zink-Element erzeugt ist, in ein Galvanometer von möglichst großer Empfindlichkeit, dessen Nadel, wie der Zeiger einer Uhr, die Stärke des Stromes nach bestimmten Graden nachweist. Ist die Röhre geschlossen, so daß kein Licht an das Selenstückchen gelangen kann, stellt dasselbe dem galvanischen Strom den vollen Widerstand entgegen und läßt die Nadel nur wenig Grade anzeigen; wird die Röhre aber geöffnet und Licht dringt zum Selen, so wird dessen Widerstand zusehends schwächer, der Strom gewinnt immer mehr an Kraft, die Nadel zeigt immer mehr Grade, d. h. Lichtstärke an.

Läßt man nun zwei verschiedene Lichter nacheinander auf das Selen wirken, so kann man ihren Lichtunterschied in Graden messen, denn bei dem

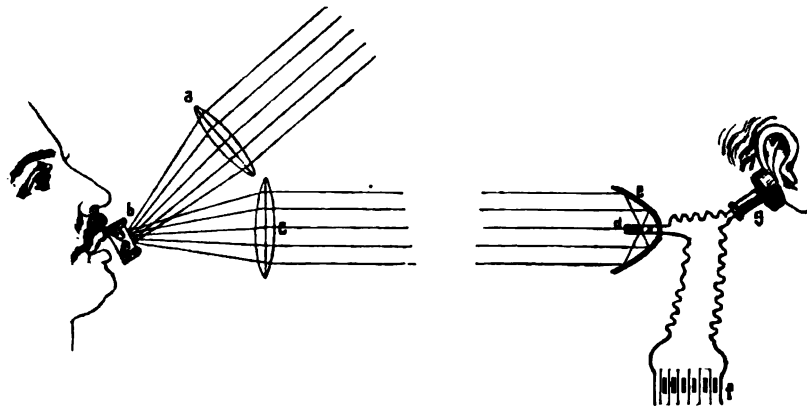


Fig. 342. Bells Photophon (Schema).

schwächeren wird die Nadel zurück, bei dem stärkeren nach vorwärts eilen. Diese Messung kann auch auf die Lichthelligkeit zweier verschiedener Tage ausgedehnt werden und gestattet nach Graden zu unterscheiden, welcher Tag eine größere Lichtmenge hatte.

Diese Eigenschaft des Selen, sich äußerst empfindlich gegen das Licht zu zeigen und dadurch einen elektrischen Strom beliebig schwächen und verstärken zu können, hat Professor Bell angewendet, um einen Lichtsprecher (Photophon) auf folgende Weise herzustellen.

Man legt zwei feine Messingdrähte um Holzrollen in Gestalt von flachen Spiralen zusammen, entfernt die Rollen und legt die Spiralen dann auf ein Glimmerblatt derart, daß sie sich gegenseitig nicht berühren. Jetzt erhitzt man das Glimmerblatt und die Messingspiralen und streicht mit einem Stück Selen über das erstere. Wiederholtes Abkühlen, Erhitzen und Streichen erhöhen die Leitungsfähigkeit und Lichtempfindlichkeit bis auf

den höchsten Grad. Diesen kleinen Apparat nennt man eine Selenzelle. Dieselbe Fig. 342 wird in den Brennpunkt eines Hohlspiegels l gebracht und mit dem Telephon g in den Schließungskreis eines möglichst konstanten Kupfer-Zink-Elementes f eingeschaltet. Auf der entfernten Station ist ein kleiner ebener Spiegel b aus einem versilberten Glimmerblättchen oder sonst einem biegsamen Stoffe angebracht, auf welchen durch die Linse a die parallelen Sonnenstrahlen gesammelt, alsdann, von ihm zurückgeworfen, durch eine zweite Linse c wieder in ihrer Parallelität hergestellt und dem Hohlspiegel e der ersten Station zurückgesandt werden, welcher sie in seinem Brennpunkte auf der Selenzelle vereinigt.

Sobald nun eine Person durch ein Mundstück gegen die Rückseite des Spiegelchens b spricht, setzt sie dasselbe in Schwingungen, welche auf den zurückgeworfenen Lichtstrahl übergehen. Nach der Stärke dieser Schwingungen ändert sich die Stärke des auf die Selenzelle fallenden Lichtes, damit also auch der galvanische Widerstand des Selen und die Stärke des durch die Drahtwindungen des Telephons fließenden Stromes. Die Eisenplatte des Telephons wird daher gleichfalls in hörbare Schwingungen versetzt, welche denen des schwingenden Spiegelchens entsprechen und ohne irgend eine Drahtleitung wird zwischen zwei Stationen die Stimme des Sprechenden auf dem Lichtstrahle in die Ferne getragen.

Freilich bleibt die Erfindung des Photophons zunächst noch an manche Vorbedingungen für ihre Umsetzung in die Praxis gebunden, worunter der Hauptmangel, daß beide Stationen so ausgewählt werden müssen, daß sie auch durch die nur in gerader Linie fortwandernden Lichtstrahlen verbunden werden können, aber schräggestellte Spiegel würden den Lichtstrahl auch beliebig wenden, wüßten wir nur zu bestimmen, bis auf welche Entfernung sich das Licht noch wirksam anwenden läßt. Die Lichtstärke, welche mit dem Quadrat der Entfernungen abnimmt, muß dann eben auf sehr weite Entfernungen bedeutend verstärkt werden können. Die bisherige Lichtquelle auf der einen Station, brennender Magnesiumdraht oder elektrisches Bogenslicht, reichen noch nicht aus, wenn nicht ein Weg gefunden werden kann, das Selen noch viel lichtempfindlicher zu machen, oder ein Stoff entdeckt wird, der dasselbe an Empfindlichkeit weit übertrifft. Und zuletzt bleibt dann noch ein bisher unbefiegter Feind zu überwinden, der Nebel. Das zweitausendste Jahrhundert hat also noch ein überreiches Arbeitsfeld.

An diesen Abschnitt aber wollen wir, da sowohl bei der Elektrizität und dem Magnetismus, wie jetzt auch bei der Lichtmessung von Strom- und Lichtstärken fortgesetzt die Rede gewesen, einen Überblick geben über das absolute magnetische und elektrische Maßsystem. Nach dem Vorgange der British Association for the advancement of science, welche dem

von Gauß und Weber begründeten magnetischen und elektrischen Maßsystem auch in technischen Kreisen Verbreitung verschafft haben, giebt Professor Leop. Pfundler in Innsbruck in seiner achten Bearbeitung von Müller-Pouillet eine Übersicht, der wir hier folgen.

W. Thomson schlägt vor, statt der unbequemen kleinen von Gauß und Weber gebrauchten Einheiten für Länge und Maße (Millimeter, Milligramm) Zentimeter und Gramm zu gebrauchen. Die British Association Unity (B. A. U.) braucht das Meter-Gramm = Sekunden-System. Im absoluten System erscheinen alle Größen als Funktionen von Länge l , Maße m , Zeit t , welche Funktionen die Dimension der treffenden Größe genannt wird. So ist z. B. die Dimension (Ausdehnung) einer Fläche = l^2 , eines Raumes = l^3 , einer Geschwindigkeit = $\frac{l}{t}$, einer Kraft = $\frac{m l}{t^2}$. Die Angabe dieser Dimensionen erleichtert die Übersicht und die Umrechnung von einem System zum andern. Außer diesem absoluten Maßsystem giebt es noch mehrere Gruppen von Maßeinheiten.

I. Mechanische Maße.

Geschwindigkeit c ist das Verhältnis der zurückgelegten Weglänge l zur verfloffenen Zeit t also $c = \frac{l}{t}$.

Einheit der Geschwindigkeit hat ein Punkt, welcher, wenn seine Geschwindigkeit konstant bleibt, in 1 Sekunde 1 cm zurücklegt.

Beschleunigung φ ist das Verhältnis zwischen der Geschwindigkeitsänderung zu der Zeit, welche während dessen verfließt:

$$\varphi = \frac{c}{t} = \frac{l}{t^2}.$$

Einheit der Beschleunigung hat ein Punkt, dessen Geschwindigkeit in jeder Sekunde um 1 cm zunimmt.

Kraft f wird gemessen durch das Produkt der durch sie hervorgerufenen Beschleunigung φ eines Körpers mit seiner Masse m

$$f = \varphi m = \frac{m l}{t^2}.$$

Einheit der Kraft ist jene, welche der Masse von 1 g die Beschleunigung 1 giebt, d. h. auch, welche der Masse von 1 g in einer Sekunde die Geschwindigkeit 1 cm erteilt.

Arbeit a ist das Produkt aus einer Kraft mit der Länge des in ihrer Richtung zurückgelegten Weges.

$$a = fl = \frac{l^2 m}{t^2}.$$

Einheit der Arbeit wird geleistet, wenn ein Punkt mit der Kraft 1 um 1 cm in deren Richtung verschoben wird.

II. Elektrostatische Maße.

(Mechanische Maße der Elektrizität.)

Elektrizitätsmenge q . Da die Menge q auf eine gleiche Menge q im Abstände l die Kraft $f = \frac{q^2}{l^2}$ ausübt, so ist

$$q = \sqrt{fl^2} = \frac{l^{3/2} m^{1/2}}{t}.$$

Einheit der Elektrizitätsmenge ist hiernach diejenige Menge, welche auf eine ihr gleiche im Abstände von 1 cm die Kraft ausübt.

Elektrostatistisches Potential v . Das Potential der Elektrizitätsmenge q auf einen im Abstände l befindlichen Punkt ist gegeben durch

$$v = \frac{q}{l} = \frac{l^{1/2} m^{1/2}}{t}.$$

Einheit des Potentials ist das Potential der Elektrizitätsmenge 1 auf einen Punkt in 1 cm Abstand.

Elektrostatistische Kapazität k . Unter der Kapazität eines Leiters versteht man das Verhältnis der auf ihm vorhandenen Elektrizitätsmenge q zu dem dadurch erreichten Potentiale v , also

$$k = \frac{q}{v} = l.$$

Befindet sich auf einer Kugel vom Halbmesser l eine Elektrizitätsmenge q , so übt sie auf den Mittelpunkt, also auch auf jeden anderen Punkt der Kugel das Potential $\frac{q}{l}$ aus. Ihre Kapazität ist dann

$$k = q : \frac{q}{l} = l,$$

also gleich dem Halbmesser.

Einheit der Kapazität ist demnach die Kapazität desjenigen Leiters, welcher durch die Einheit der Elektrizitätsmenge zum Potential = 1 geladen wird. Eine Kugel vom Halbmesser 1 cm besitzt demnach die Kapazität Eins.

III. Magnetische Maße.

Menge des freien Magnetismus μ (Stärke eines Magnetpols).

Da die Menge μ auf eine gleiche im Abstände 1 die Kraft $f = \frac{\mu^2}{1^2}$ ausübt, so ist

$$\mu = \sqrt{f 1^2} = \frac{1^{3/2} m^{1/2}}{t}.$$

Einheit des freien Magnetismus ist diejenige Menge Magnetismus, welche auf eine gleich große Menge in 1 cm Abstand die Kraft ausübt.

Magnetisches Moment M (Stabeisenmagnetismus). Dasselbe ist gleich dem Abstände 1 der beiden Pole, multipliziert mit dem freien Magnetismus eines Poles μ , also

$$M = 1 \mu = \frac{1^{3/2} m^{1/2}}{t}.$$

Einheit des magnetischen Moments hätte daher ein Magnetstab, welcher aus zwei Polen mit den freien Magnetismen $\pm \mu$ im Abstand 1 cm bestände oder ein Magnetstab, welcher auf einen gleichen Stab aus einer großen Entfernung L in der 2. Hauptlage das Drehungsmoment $\frac{1}{L^3}$ ausübt, besitzt Einheit des magnetischen Moments.

Magnetische Intensität eines Ortes T ist jene Kraft, welche an einem Orte auf einem Magnetpol von der Stärke 1 ausgeübt wird:

$$T = \frac{m^{1/2}}{1^{1/2} t}.$$

Einheit der magnetischen Intensität ist an einem solchen Orte, wo auf einen Magnet vom Stabmagnetismus 1, der zur Krafttrichtung senkrecht steht, die Einheit des Drehungsmoments ausgeübt wird.

IV. Elektromagnetische Maße.

Stromstärke i . Ein Stromelement von der Länge 1 und der Stärke i wirkt auf den freien Magnetismus von der Menge μ , welcher sich im Abstände 1 in der Senkrechten auf die Stromrichtung befindet mit der (transversalen) Kraft

$$f = \frac{1 i \mu}{L^2},$$

also

$$i = \frac{f L^2}{\mu 1}.$$

Da $\frac{L^2}{l}$ eine Länge ist, so ergibt sich die Dimension

$$i = \frac{fl}{\mu} = \frac{l^2 m}{t^2} \cdot \frac{t}{l^{3/2} m^{1/2}} = \frac{l^{1/2} m^{1/2}}{t}.$$

Die Einheit der Stromstärke hat also jener Strom, welcher einen Leiter von der Länge l durchfließend im Abstände L von einem Magnetpol 1 auf diesen die Kraft $\frac{1}{L^2}$ ausübt, oder:

Die Einheit der Stromstärke hat der Strom, welcher die Flächen-
einheit (qcm) umfließend, sich in die Ferne verhält, wie ein zur Strom-
ebene senkrechter kurzer Magnet vom Stabmagnetismus 1 .

Elektromotorische Kraft e . Es sei an einem Orte von der magnetischen Intensität T ein geradliniger zur Richtung von T senkrechter Stromleiter von der Länge l vorhanden. Wird derselbe mit der Geschwindigkeit c in der Richtung bewegt, welche senkrecht steht auf der durch l und T gelegten Ebene, so entsteht in ihm durch Induktion eine elektromotorische Kraft

$$e = l T c = \frac{l^{3/2} m^{1/2}}{t^2}.$$

Einheit der elektromotorischen Kraft ist also jene, welche in einem Leiter von der Länge eines Zentimeters induziert wird, wenn er an einem Orte, wo die magnetische Intensität herrscht, unter obigen Verhältnissen mit der Geschwindigkeit = 1 cm per Sekunde bewegt wird.

Leitungswiderstand r . Derselbe ist nach dem Ohm'schen Gesetz gleich dem Verhältnisse der elektromotorischen Kraft zur Stromstärke, also

$$r = \frac{e}{i} = \frac{l^{3/2} m^{1/2}}{t^2} : \frac{l^{1/2} m^{1/2}}{t} = \frac{1}{t}.$$

Einheit des Widerstandes ist der Widerstand eines Leiters, in welchem die elektromotorische Kraft 1 die Stromstärke 1 erzeugt.

Nimmt man Rücksicht auf die Gesetze der Erwärmung durch den elektrischen Strom und auf das Induktionsgesetz, so kann man auch sagen:

Einheit der elektromotorischen Kraft ist die Kraft, welche in einem Leiter bei der Stromstärke 1 per Sekunde eine der Arbeitseinheit äquivalente Wärmemenge entwickelt.

Einheit des Widerstandes hat der Leiter, in welchem bei der Stromstärke 1 per Sekunde eine der Arbeitseinheit äquivalente Wärmemenge entwickelt wird.

Die Elektrizitätsmenge und die Kapazität eines Kondensators kann dann mittels Stromstärke und elektromotorischer Kraft nach elektromagnetischem Maße gemessen werden.

Einheit der Elektrizitätsmenge ist dann jene, welche bei der Stromstärke 1 per Sekunde durch den Querschnitt des Leiters fließt.

Einheit der Kapazität besitzt der Kondensator, welcher mit der elektromotorischen Kraft 1 geladen die Elektrizitätsmenge 1 aufnimmt.

Nach dem Vorgange der Engländer nennt man die Widerstandseinheit Ohm, die elektromotorische Kraft Volt, die Kapazität Farad. Die Größe oder Kleinheit der absoluten Einheiten wird durch den Zusatz von Mega und Mikro bezeichnet. Siehe nachstehende Tabelle.

Tabelle der absoluten magnetischen und elektrischen Maße nach den drei Systemen.

Benennung der Maßeinheiten	Meter, Gramm, Sekunde (British Association)	Zentimeter, Gramm, Sekunde (W. Thomson)	Millimeter, Milligramm, Sekunde (Gauß-Weber)	Betrag in willkürlichem Maße	
Widerstand	Megohm . .	10 ¹³	10 ¹⁵	10 ¹⁶	= 1.0493 Stem.- Einh. (Quecksilber 1 m Länge, 1 qmm Querschnitt)
	Ohm	10 ⁷	10 ⁹	10 ¹⁰	
	Mikrohohm . .	10	10 ⁸	10 ⁴	
Elektr. Kraft	Megavolt . .	10 ¹¹	10 ¹⁴	10 ¹⁷	= 0.9 Daniell (nahezu)
	Volt	10 ⁵	10 ⁸	10 ¹¹	
	Mikrovolt . .	10 ⁻¹	10 ²	10 ⁴	
Stromstärke per Sekunde	Megafarad .	10 ⁻⁴	10 ⁵	10 ⁷	
	Farad . . .	10 ⁻²	10 ⁻¹	10	
	Mikrofarad	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	10 ⁻⁵	
Kapazität	Farad . . .	10 ⁻⁷	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	= 10.54 Sakobi (Kubik-Zentimeter Knallgas per Min.)
	Mikrofarad	10 ⁻¹³	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹⁶	

64. Die Grundercheinungen des Diamagnetismus.

Fast zugleich mit den Entdeckungen der Erscheinungen der Induktionsströme gelangte Faraday zu der Erfahrung, daß Magnete von hinlänglicher Stärke nicht nur einwirken auf Eisen, Mangan und Chrom, sondern ganz allgemein auf alle Körper. Diese Einwirkung ist sowohl vorhanden in leitenden Körpern, welche in Bewegung sich befinden, wie in nichtleitenden im Zustande der Ruhe. Die Körper teilt man deshalb in zwei Klassen.

Die erste Klasse dieser Körper, unter denen Eisen der hervorragendste ist, heißt die paramagnetische, die andere die diamagnetische Klasse.

Der Unterschied beider Klassen besteht darin, daß in der einem Magnetpole genäherten Stelle eines paramagnetischen Körpers ein entgegengesetzter Pol entsteht, welcher angezogen wird, während in einem diamagnetischen Körper ein gleichnamiger Pol entsteht, der abgestoßen wird.

Paramagnetische Körper (in Stabform) stellen sich zwischen den Polen eines Magnets mit ihrer Längsachse in die Verbindungslinie der Pole (achsal); diamagnetische Körper dagegen senkrecht auf die Verbindungslinie (äquatorial).

Bringt man ein Stäbchen aus Wismut, mit horizontaler Längsachse an Seidenfäden aufgehängt so, daß es sich frei drehen kann, zwischen die Pole eines starken Elektromagnets, so stellt sich dasselbe rechtwinklig zur Verbindungslinie der Pole und kehrt, mit Gewalt aus dieser Lage herausgebracht, stets wieder in dieselbe zurück. Ein Eisenstab dagegen bleibt stets in der Lage der Verbindungslinie zwischen den Polen.

Wismut

Eisen

$$N \quad | \quad S$$

$$N \quad \text{---} \quad S$$

Eisen steht also achsal, Wismut äquatorial.

Faraday fand nun durch Anwendung sehr kräftiger Elektromagnete, daß die Gruppe der paramagnetischen Körper sehr zahlreich ist und daß außer Eisen auch Mangan, Chrom, Cer, Titan, Palladium, Platin und Osmium zu ihr gehören. Aber nicht nur das Metall, sondern auch alle Verbindungen mit Eisen erweisen sich zwischen den Polen des Elektromagnets als magnetisch, wie die Eisensalze und das grüne Flaschenglas. Dieselben Erscheinungen zeigen auch flüssige Körper: sie sind entweder paramagnetisch oder diamagnetisch. Man weist ihre Zugehörigkeit zur ersten oder zweiten Gruppe dadurch nach, daß man sie in dünnwandige Glasröhren füllt und nun die Magnetpole auf sie einwirken läßt.

Von den Metallen sind in abnehmender Reihe diamagnetisch:

Wismut, Antimon, Zink, Zinn, Cadmium, Quecksilber, Blei, Silber, Kupfer, Gold, Arsen, Uran, Rhodium, Iridium, Wolfram.

Von den Metalloiden sind es:

Tellur, Selen, Schwefel, Phosphor.

Von den zusammengesetzten Körpern: Wasser, Alkohol, Aether, Schwefelkohlenstoff, Säuren, eisenfreies Glas, viele Salze und Erden, Ole, Wachs, Harz, Zucker, pflanzliche und tierische Körper.

Ist der Paramagnetismus eine Anziehung, so ist der Diamagnetismus eine Abstoßung.

Finden sich Spuren von Eisen in diamagnetischen Körpern, so stellen sich dieselben bei sehr schwachem Strome anfangs achsial, nehmen aber bei verstärktem Strome nach und nach die äquatoriale Richtung an. Pflücker wies dies nach, indem er Stanniol mit Wismut zusammenschmolz und daraus Stäbchen anfertigte. Müller erklärt diese Erscheinung daraus, daß Eisen über eine bestimmte Grenze hinaus nicht magnetisiert werden kann und daß deshalb für geringe Eisenmengen sehr schwache magnetisierende Kräfte hinreichen, das Maximum des Magnetismus zu erzeugen.

Mit Flüssigkeiten stellte Pflücker folgenden Versuch an: Er brachte in ein Uhrglas eine konzentrierte Lösung von Eisenchlorid, die einen Kreis von 25 mm Durchmesser bildete, und stellte dasselbe zwischen die Kanten der Magnetstäbe. Sobald nun der Strom geschlossen wurde, krümmte sich die Lösung zu kleinen Hügeln bez. erhob sich in der Mitte. Derselbe Versuch mit diamagnetischen Flüssigkeiten ergab an der Stelle des Hügels eine Vertiefung.

Zur Theorie des Diamagnetismus bemerkt Faraday, daß sich das Verhalten der diamagnetischen Körper gegen Magnetpole durch die Annahme erklären lasse, daß in einem derartigen Körper durch die Nähe eines Magnetpols Ströme erzeugt werden, welche den Ampère'schen Strömen des Magnets entgegengesetzt sind, so daß gleichnamige Pole einander gegenüberzustehen kämen, in magnetischen Metallen dagegen würden Ströme gebildet, welche mit dem Magnet gleich gerichtet sind und deshalb kämen in diesen ungleichnamige Pole einander gegenüberzustehen.

Lyndall schloß nach eingehenden Versuchen, daß die diamagnetische Abstoßung im einfachen Verhältnisse der Stromstärke wachsen müsse, wenn sie eine Wirkung der Magnetpole auf die unveränderte Substanz des diamagnetischen Körpers wäre, sei die Abstoßung aber die Folge einer durch den Magnetpol erst in der Substanz hervorgerufenen Polarität, so müsse sie im quadratischen Verhältnisse der Stromstärke wachsen. Es gelang ihm auch, zu erweisen, daß letzteres der Fall sei und Reich fand ganz dasselbe Ergebnis durch Hilfe der Drehwage, welcher er sich zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde bediente.

Aus diesen bisher festgestellten diamagnetischen Abstoßungen lag der Schluß nahe, daß in einem diamagnetischen Körper, unter dem Einflusse einer magnetisierenden Kraft, eine magnetische Polarität hervorgerufen wird, welche derjenigen entgegengesetzt ist, die ein Eisenstab unter denselben Umständen angenommen haben würde.

Um auch dieses zu erweisen, konstruirte sich Tyndall einen sehr sinnreichen Apparat aus 5 Magnetisierungs spiralen, von denen je zwei mit zugewendeten Polen so angebracht sind, daß die fünfte zwischen ihnen quer liegt. In dieser fünften schwebt frei ein Wismutstäbchen.

Weber stellt zur Erklärung der Polarität, welche sich in diamagnetischen Körpern bildet, unter dem Einflusse magnetisierender Kräfte, folgende Theorie auf:

Nähert man einem Magnetpol einen Leiter, so werden in demselben, nach bekannten Gesetzen der Induktion, Ströme gebildet, welche den Ampère'schen Strömen des Magnets entgegengesetzt sind. Nähert man z. B. ein Kupferstäbchen dem Nordpol eines Magnets, so wird das dem Magnet zugekehrte Ende des Kupferstücks durch diese induzierten Ströme, wenn auch nur vorübergehend, selbst zum Nordpol.

Durch Annäherung gegen einen Magnetpol wird also ein Wismutstab durch Induktion in einen polaren Zustand versetzt, welcher demjenigen ganz gleich ist, welchen wir zur Erklärung der diamagnetischen Erscheinungen annehmen müssen. Bekanntlich sind aber die Ströme, welche in der Masse eines Leiters induziert werden, wenn er einem Magnetpole genähert wird, nur vorübergehend; sie verschwinden sofort, wenn der Leiter ruhig in seiner Stellung gegen den Magnet verbleibt. Um daher die Erscheinungen des Magnetismus zu erklären, kommt es darauf an zu zeigen, wie es möglich ist, daß dieser bei der Annäherung gegen den Magnetpol hervorgerufene Zustand ein bleibender sein kann, so lange sich der Leiter dem Magnetpol gegenüber befindet.

Wären in dem Wismut u. s. w. magnetische Fluida vorhanden, wie im Eisen, oder wäre, was auf dasselbe hinauskommt, jedes Molekül Wismut schon von einem kontinuierlichen Strome umkreist, so könnte die Einwirkung eines Magnetpols durchaus keine andere Wirkung hervorbringen, wie beim Eisen auch; der Strom müßte also die schon vorhandenen Molekularströme denen des einwirkenden Magnetpols parallel stellen. Hierauf lassen sich aber die Erscheinungen des Diamagnetismus nicht zurückführen.

Die Polarität, welche der diamagnetische Körper durch die Ströme erhält, muß erst dadurch gebildet werden, daß bei der Annäherung an einen Magnetpol Magnetismus in demselben entsteht und sie müssen unausgesetzt so lange andauern, wie der Körper dem Magnetpole genähert bleibt. Das wird aber nur durch die Annahme erklärlich, daß die in dem diamagnetischen Körper kreisenden Ströme sich nur um die einzelnen Moleküle desselben kreisend bewegen, also Molekularströme sind, bei denen, im Gegensatz zu Leitungsströmen, kein Widerstand zu überwinden und daher eine gleiche Intensität ohne Erneuerung der elektromotorischen Kraft möglich

ist. Bei den Leitungsströmen dagegen bewegt sich der Strom von einem Moleküle zum anderen und muß bei jeder Bewegung einen gewissen Widerstand überwinden, der, wenn nicht stets Erneuerung der dadurch zugefetzten Kraft eintritt, endlich die Kraft des Stromes aufzehrt. Wir sind daher nach der Weber'schen Theorie gezwungen, zweierlei Ströme anzunehmen: induzierte Leitungs- und induzierte Moleküleströme.

Gleichzeitig mit der Untersuchung des Diamagnetismus in festen und flüssigen Körpern ging Faraday auch zur Untersuchung des Verhaltens der Gase vor, ohne aber einen entscheidenden Erfolg zu erhalten. Erst Bancalari fand, daß eine Flamme, welche zwischen die Pole eines Elektromagnets gestellt wird, im Augenblicke der Stromschliebung eine Abstoßung erfährt und bei Öffnung desselben wieder in ihre erste Lage zurückgeht.

Interessante Ergebnisse mit der Flamme hatten die Untersuchungen von Plücker. Derselbe brachte zwischen die Pole eines Elektromagnets, welche 3,5 mm Entfernung hatten, eine nicht Ruß absetzende Talgkerze so, daß sich zwischen den Polspitzen $\frac{1}{8}$ der Flamme befand. Bereits als die Flamme zu $\frac{1}{8}$ gehoben war, nahmen ihre Strahlen eine horizontale Richtung, stellten sich also äquatorial. Als die Kerze so weit gehoben wurde, daß $\frac{2}{8}$ der Flamme zwischen den Polspitzen brannten, kühlten dieselben die Flamme ab und ihr Licht trübte sich wesentlich. Sowie nun der Strom geschlossen wurde, leuchtete die Flamme intensiver auf als früher und streckte sich sogleich in äquatorialer Richtung.

Jetzt wurde der Versuch mit einem Talglichte wiederholt, welches stark Ruß absetzte. Als die Flamme zu $\frac{6}{8}$ gehoben war, nahm die Äquatorialrichtung eine deutliche Bogenform an; aus dem Zentrum stieg ein grauer Dunst auf, der die Gestalt einer scharf begrenzten Parabel annahm, deren Scheitel genau in die Mitte der beiden Polspitzen fiel. Ölige Pappe, Terpentinöl u. a. zeigten dieselben Erscheinungen, deren Hervorbringung aber große Elektromagnete und starke Ströme erforderte.

Der Flammenstoff wird also, wie diese Versuche ergaben, durch die Magnetpole abgestoßen und zwar von der Achsenlinie aus nach den Seiten hin; er verhält sich also diamagnetisch und zwar in einem höheren Grade als die umgebende Luft.

Die Prüfung für das Verhalten verschiedener Gase bei der Temperatur der umgebenden Luft (bez. bei ausgeglichener Temperatur) geschieht nach Faraday in folgender Weise: Eine Woulf'sche Flasche wird mit dem zu prüfenden Gase angefüllt und in die eine Öffnung derselben eine fast bis zum Boden der Flasche reichende Röhre befestigt, durch welche das Wasser, das das Gas austreiben soll, eingegossen wird. Vorher aber wird das Zulaufen des Wassers so reguliert, daß per Minute 200 cbcm Wasser durch

die Öffnung der Röhre einlaufen und also dann ebensoviel Gas durch die andere Öffnung ausströmt. Eine zweite Glasröhre leitet das Ausströmen des Gases bis zur gewünschten Stelle.

Je nachdem man nun mit einem leichteren oder mit einem schwereren Gase zu arbeiten hat, wird die Ausströmungsöffnung für das Gas von etwa 3 mm Durchmesser unter oder über die Polspitzen geführt, so daß ein in der Mitte zwischen den Polspitzen aufsteigender oder niedersinkender Gasstrom hervorgebracht wurde.

In der Ausströmungsröhre wird ein Stück mit konzentrierter Schwefelsäure befeuchtetes Fliesspapier angebracht, um dem ausströmenden Gase stets etwas Salzsäure zuzuführen. Der Weg, den die auf- oder niedersteigende Gasäule einschlägt, wird auf folgende Weise gekennzeichnet: Eine fingerlange und ebenso dicke, oben und unten offene Glasröhre wird über oder unter dem Mittelpunkt der Verbindungslinie zwischen beiden Polspitzen angebracht und auf jeder Seite derselben in äquatorialer Richtung eine gleiche Röhre, so daß die Ebene, welche die Achsen dieser drei Röhren verbindet, äquatorial steht. In jede dieser Röhren ist ein in Ammoniakflüssigkeit getauchtes Stück Fliesspapier eingeschoben, wodurch beim Durchgange des mit Salzsäure getränkten Gases Nebel entstehen müssen. Es ist nun klar, daß Gas, welches frei durch die Mittelröhre geht, nicht, dagegen aber, daß Gas, welches bei Stromschliebung in den Seitenröhren auftrat, diamagnetisch gegen Luft sein muß.

Faraday fand auf diesem Prüfungswege, daß sich diamagnetisch zeigen folgende Gase: Wasserstoff, Kohlensäure, Kohlenoxyd, Stickstoffoxydul, Steinkohlengas, Chlornasserstoffsäure, Jodwasserstoffsäure, Ammoniak, Chlor, Jod, Brom, Cyan; Stickstoff nur schwach, Stickstoffoxyd und salpetersaures Gas unentschieden.

Als Faraday die Versuche dahin abänderte, daß er den Versuchsraum gegen die äußere Luft absperrte und ihn mit Kohlensäure, mit Steinkohlengas oder mit Wasserstoffgas füllte, fand er, daß das Sauerstoffgas sich magnetisch verhielt gegen alle anderen Gase. Sperrt man Sauerstoffgas in eine Seifenblase und bringt man dieselbe zwischen die Pole eines Elektromagnets, dessen Strom man abwechselnd öffnet oder schließt, so tritt dieser relative Magnetismus des Sauerstoffgases sehr deutlich zu Tage. Da die Bestimmung der Intensität magnetischer und diamagnetischer Kräfte festgestellt werden muß, so unternahm Plücker folgenden Versuch: Er füllte ein Uhrglas mit abgeschliffenem Rande bis an diesen mit einer Flüssigkeit, von der festgestellt werden sollte, eine wie große Anziehung sie durch die Magnetpole erleide. Mit einem als Deckel dienenden matten Glase wurde jetzt die Flüssigkeit abgestrichen, so daß es sicher feststand,

daß die eingeschlossene Flüssigkeit bei gleicher Form stets dasselbe Volumen einnahm. Dieses so vorbereitete Uhrglas brachte er in einen dünnen Ring von Messing, welcher an drei bis 200 mm langen Seidenfäden an einer Wage hing, welche, Gewichte bis zu einem Milligramm anzugeben imstande, so aufgehängt war, daß außer ihrem Wagebalken keinerlei Eisen in der Nähe war. Nun wird das Glas nicht mit einem einzelnen Pole in Berührung gebracht, sondern die beiden Halbanker werden so auf die Pole gelegt, daß ihre zugekehrten Enden nur noch 6 mm weit voneinander abstehen und die Wage wird nun so adjustiert, daß das Uhrglas mit dem Ringe, wenn die Wage tariert ist, gleichzeitig jeden Halbanker eben berührt. Nachdem der Magnetismus erregt ist, wird das Uhrglas mit der Flüssigkeit angezogen. Um es nun von den Halbankern abzureißen, wird auf die Wage- schale der anderen Seite ein passendes Taragewicht gelegt, dessen Größe jedesmal das Maß für die magnetische Kraft ist.

Leer zeigte sich das Uhrglas mit seinem Ringe magnetisch und wurde mit einer Kraft von 0,4 g angezogen. Mit Wasser gefüllt betrug die Anziehung 0,28 g, also beträgt die diamagnetische Abstoßung des im Uhr- glase eingeschlossenen Wassers 0,12 g.

Als das Uhrglas mit Eisenchlorür in Lösungen gefüllt wurde, deren Salzgehalt wie 8 : 4 : 2 : 1 war, ergab sich, daß die Anziehung der Eisen- chlorürlösung dem Gehalte an Eisenchlorür proportional war. Ähnliche Ergebnisse wurden erzielt mit in frischem Schweineschmalz gleichmäßig fein verteiltem Eisen, mit eisen- und nickelhaltigen Stoffen, und es ist aus den- selben folgende Tabelle aufzustellen.

	A	B	C	D
	Gewicht der untersuchten Substanz	Eisengehalt	Größe der be- obachteten magnetischen Anziehung	Quotient von C dividirt durch B
	g	g	g	g
Salpetersaures Eisenoryd	14,55	1,212	2,502	2,064
Salzsaures Eisenorydul .	16,53	2,825	7,095	2,501
Schmalzmischung 50 : 1	8,225	0,161	82,370	50,740
Gepulvertes Eisenoryd .	14,82	10,377	21,690	2,090
Eisenglanz	33,72	23,604	91,755	3,887
Eisenorydhydrat	16,50	8,750	13,238	1,513

Die Zahlen der Reihe D, erhalten durch Division von C durch B, geben an, wie groß die Anziehung gewesen sein würde, wenn bei gleich-

mäßiger Verteilung im Innern des Uhrglases der Eisengehalt der Substanz gerade 1 g betragen hätte. Daraus geht hervor, daß die magnetische Anziehung verschiedener Eisenverbindungen bei gleichem Eisengehalt dennoch sehr verschieden ist, ja, daß in dem größten Teile seiner Verbindungen das Eisen in seinen magnetischen Erscheinungen geschwächt ist. Der Unterschied wird in die Augen fallen, wenn wir die Anziehung des metallischen Eisens gleich 100 000 setzen, dann ist die Anziehung, welche die gleiche Eisenmenge in verschiedenen Verbindungen unter gleichen Umständen erfährt, wie folgt:

Metallisches Eisen	100 000
Eisen im oxydierten Eisen	714
= = Eisenglanz	761
= = Eisenoxydhydrat	296
= in der Lösung von salpetersaurem Eisenoxyd	410
= = = = = salzsaurem Eisenoxydul	490

Dagegen ergibt der Magnetismus des Eisens, mit 100 000 bezeichnet, ein gleiches Gewicht Magneteisenstein 40 227.

Die Größe der diamagnetischen Abstoßung wurde nun ermittelt, wie beim Wasser vorhin angegeben. Nimmt man die Stärke des Diamagnetismus im Wasser mit 100, so ist bei gleichem Volumen die Stärke der diamagnetischen Abstoßung für Alkohol 93, für Äther 93, für Schwefelkohlenstoff 129 und für Schwefelsäure 64.

Wiedemann fand durch sehr komplizierte Versuche, daß der Magnetismus aus einer Salzlösung ihrem Salzgehalte proportional ist. Wiederholte Versuche mit Lösungen desselben Salzes in verschiedenen Lösungsmitteln ergaben, daß der Magnetismus der Salzlösungen nahezu unabhängig ist von der Natur des Lösungsmittels. Ebenso fand Wiedemann, daß der Magnetismus der gelösten Salze proportional der Temperatur abnimmt.

Darauf dehnte er seine Untersuchungen aus auf den Magnetismus einer Reihe von Salzen in fester Form. Dieselben wurden fein gepulvert und mit geglühter Kieselsäure möglichst innig zusammengerieben in das Glasgefäß des Torsions-Apparats gebracht. Er fand bei diesen Versuchen, daß der Magnetismus der Salze in trockenem Zustande fast derselbe ist, wie der Magnetismus derselben in gelöstem Zustande und daß die Verbindung der wasserfreien Salze mit Krystallwasser ihren Magnetismus nicht wesentlich ändert. Alle Salze müssen bei diesen Versuchen chemisch rein sein.

Die Untersuchung der diamagnetischen Erscheinungen zeigten Plücker, daß die Krystallisationsverhältnisse einen wesentlichen Einfluß auf dieselben ausüben.

Er hängte eine parallel zur Achse geschliffene Turmalinplatte so auf, daß Achsenrichtung und Fadenrichtung zusammenfielen (Fig. 343). Die Platte stellte sich, zwischen die Pole eines Elektromagnets gebracht, sofort achsial; ein Beweis, daß der Turmalin eine magnetische Substanz ist. (Turmalin ist eine Eisenverbindung.) Jetzt hängte er die Platte aber so auf, daß die Richtung der optischen Achse rechtwinklig zur Fadenrichtung war und da stellte sich die Platte sofort äquatorial.

Die Plücker mit dem Turmalin, so machte Faraday Versuche mit gut krystallisierten Wismutstückchen. Hier zeigte sich, daß die Hauptrichtung der Spaltung sich immer bestrebte, eine äquatoriale Stellung zwischen den Magnetpolen einzunehmen, d. h. eine Säule aus krystallisiertem Wismut, deren Achse auf der Fläche der Hauptspaltung rechtwinklig steht, stellt sich, selbst bei entschieden vorherrschenden Längendimensionen, achsial. Das nennt Faraday die Magnet-Krystall-Achse.

Bei geschmolzenem Wismut, das Plücker langsam zwischen den Magnetpolen krystallisieren ließ, zeigte sich nach dem Erstarren, daß die Ebenen der Hauptspaltbarkeit vorwiegend nach der äquatorialen Richtung lagen.

Die Erklärung über dieses eigentümliche Verhalten der Krystalle ist nach Plücker folgende: „Unter der induzierenden Wirkung eines Magnetpols wird jedes kleinste Teilchen eines Krystalls polarmagnetisch oder polar-diamagnetisch. Aber die Polarität tritt auf, nicht wie bei der gewöhnlichen Induktion, nach einer veränderlichen Richtung, sondern, je nach der Krystallform, nach einer oder mehr als einer festen Richtung. Solche Richtungen, die in dem Krystalle durch die Form desselben gegeben sind, habe ich die magnetischen Achsen des Krystalls genannt.“

Die Krystalle des regulären Systems haben keine solche magnetische Achse. Plücker ist nun der Ansicht, der Krystall, dessen magnetische Achse zwischen den Magnetpolen sich achsial stellt, sei magnetisch positiv, der Krystall aber, dessen Achse sich äquatorial stellt, sei magnetisch negativ. Knoblauch dagegen meint, daß in magnetischen wie diamagnetischen Körpern, deren Atome nicht nach allen Seiten hin gleich weit voneinander abstehen, die magnetische oder diamagnetische Wirkung immer in der Richtung am stärksten ist, in welche die Atome dichter bei einander liegen. Wiedemann dagegen bezweifelt die Ansicht von Knoblauch und eine allgemein angenommene Erklärung ist zur Zeit noch nicht vorhanden.

Eine weitere interessante Entdeckung machte Faraday, als er zwischen die Pole eines kräftigen Elektromagnets ein etwa 5 cm langes Stück Glas



Fig. 343.



Fig. 344.

(kieselforsaures Bleioryd) brachte. Er fand, daß die Polarisationssebene eines durch dieses Glasstück hindurchgehenden linear-polarisierten Lichtstrahls durch den Einfluß der Magnetpole eine Drehung erfahren hatte.

In einem Langwürfel von 48 mm Länge aus solchem Glase betrug die Drehung der Polarisationssebene 16° . Zur Erzielung dieses Ergebnisses war eine Säule von etwa 50 Bunsen'schen Bechern, mit starker Säure gefüllt, angewendet worden. Faraday schloß nun richtig, daß, wenn ein kräftiger Elektromagnet die Polarisationssebene in durchsichtigen Körpern zu drehen vermag, ein elektrischer Strom, der in Form eines Schraubendrahtes um die durchsichtigen Körper herumgeleitet werde, dieselbe Wirkung haben müsse.



Fig. 345.

Um dies nachzuweisen, kann man sich folgendes, hier Fig. 345 perspektivisch dargestellten Apparats bedienen. Eine, an beiden Enden mit Glasplatten geschlossene Röhre, welche mit der betreffenden Flüssigkeit angefüllt ist, wird in die Höhlung einer Magnetisierungsspirale eingeschoben, welche fest auf einem Gestell ruht, das an seinen Enden zwei Nikol'sche (Kalkspath) Prismen *a* und *b*, welche nur ein polarisiertes Bild geben, so trägt, daß die Achsen derselben mit der Achse der Spirale eine gerade Linie bilden. Nachdem nun hinter dem Prisma *a* irgend ein leuchtender Gegenstand, Kerze oder Argandlampe, hingestellt worden ist,

wird das Prisma *b* so gedreht, daß das Gesichtsfeld dunkel ist, die Prismen also die beiden Spiegel des Polarisations-Apparates vertreten. Sobald nun ein kräftiger Strom (Säule von 10 bis 12 großen Bunsen'schen Bechern) durch die Spirale läuft, erscheint der helleuchtende Gegenstand wieder und man muß das Prisma *b* nach rechts oder links drehen, um das Gesichtsfeld wieder dunkel zu machen. Es wird also die Polarisationssebene des Strahles nach derselben Richtung gedreht, nach welcher der positive Strom in der Spirale umläuft.

Sind Körper in die Höhlung der Spirale eingeschoben, die bereits ein Drehungsvermögen haben, so wird die Wirkung des elektrischen Stromes zur Wirkung ihrer eigenen Kraft addiert oder subtrahiert, je wie der Strom die Polarisationssebene nach gleicher oder entgegengesetzter Richtung dreht, wie die Flüssigkeit selbst.

Zwischen der Drehung der Polarisationssebene in einem Körper, der

schon von Natur ein Drehungsvermögen besitzt, und der Drehung derselben durch den elektrischen Strom besteht wesentlich ein Unterschied. Fig. 346

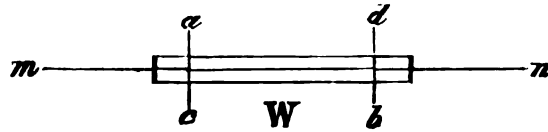


Fig. 346.

sei *W* ein diamagnetischer durchsichtiger Körper, der in der Richtung von *a c* und *d b* von elektrischen Strömen umkreist wird, dann wird auch die Polarisationsebene eines Strahles, der *W* in der Achsenrichtung durchkreuzt, immer in der Richtung *a c* und *d b* gedreht. Folgt aber der Strahl der Richtung *m n*, so erblickt das Auge in *n* eine Drehung nach links und bei umgekehrter Richtung *n m* in *m* eine Drehung nach rechts.



Fig. 347.

Bei Körpern mit natürlichem Drehungsvermögen (zirkumpolarisierenden) würde dagegen, wenn derselbe ein rechtsdrehender ist, die Polarisationsebene noch mehr gedreht erscheinen, gleichgültig ob man von *m* nach *n* oder umgekehrt sieht. Auf eine sehr sinnreiche Weise hat Faraday die Drehung der Polarisationsebene in einem kurzen Stücke eines diamagnetischen Körpers bemerkbar gemacht. Er ließ aus schwerem Glase ein Parallelepipedon 7,5 cm lang mit einem quadratischen Querschnitte von 14 mm Seite anfertigen, das an beiden Enden poliert und versilbert wurde. An einer Seite, Fig. 347 bei *m* und an der anderen Seite bei *n* wurde die Versilberung in einer Breite von etwa 2 mm angenommen, so daß ein bei *m* ein wenig schräg eintretender Strahl, nachdem er das Glas mehrere Male in der Richtung der Zickzacklinie hin und her durchlaufen hatte, bei *n* austreten konnte. Die Drehung der Polarisationsebene ist nun genau gleich der Anzahl der Längen, welche der Strahl in der Glasplatte durchlaufen hat, also 5, 7, 9, 11 u. s. w. Mal so groß, wenn 5, 7, 9, 11 u. s. w. Zickzack-

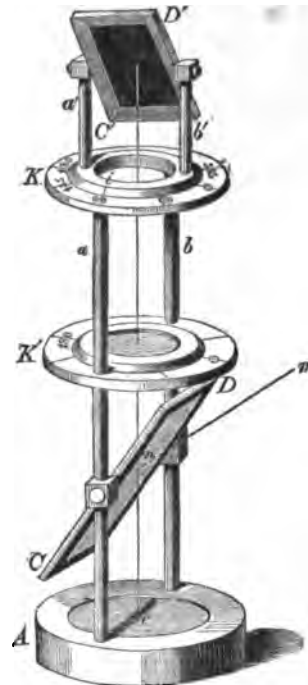


Fig. 348. Polarisations-Apparat.

Linien zu verzeichnen sind, als bei nur einmaligem geraden Durchgange. Zu diesen Versuchen bedient man sich am besten des Polarisations-Apparates von Nörremberg. Bei demselben dient eine durchsichtige Spiegelglasplatte, welche mit der Achse des Apparates einen Winkel von 33° bildet, als Polarifator. Das etwas schräg einfallende Licht wird von ihr nach einem im Fuß des Gestells festgelegten Spiegel gelenkt, der es durch die Spiegelglasplatte zurück nach dem als Polarisoskop an der Spitze angebrachten schwarzen Spiegel wirft. Derselbe wird von zwei Säulchen getragen, welche auf einem Ringe stehen, der innerhalb eines festen, in Grade getheilten Ringes drehbar ist. Statt dieses schwarzen Spiegels kann auch ein Nicol'sches Prisma als Polarisoskop angewendet werden.

Mit Hilfe des Nörremberg'schen Apparates zeigte Vertin die diamagnetische Drehung der Polarisationssebene. Für eine Glasplatte nach Faraday von 18 mm Stärke betrug sie 10° , für eine von 48 mm Stärke aber 21° .

Es sind nun von Wiedemann über den Zusammenhang zwischen der Stärke des Stromes, welcher eine in Fig. 341 dargestellte Magnetisierungs-Spirale durchläuft, und der Drehung der Polarisationssebene in einer Flüssigkeit, welche in die Höhlung dieser Spirale eingeschoben ist, Versuche angestellt, bei denen er, den Wert der Stromstärke mit i bezeichnend, die Drehungen der Polarisationssebene in Schwefelkohlenstoff für die Strahlen des Spektrums, den Fraunhofer'schen Linien D, E und F entsprechend, feststellte, wie folgt:

Stromstärke i	Fraunhofer'sche Linien		
	D	E	F
260	$0,70^\circ$	$1,1^\circ$	—
394	1,2	1,7	1,9
521	1,5	2,2	2,5.

Hieraus ergibt sich, daß

1. die Drehung der Polarisationssebene der Stromintensität proportional ist;

2. ihre Drehung mit der Brechbarkeit der Strahlen zunimmt.

Verdet hat nun Versuche angestellt, um die Abhängigkeit der Drehung der Polarisationssebene in einem zwischen den Polen eines Elektromagnets angebrachten Körper zu ermitteln von den auf ihn dann einwirkenden magnetischen Kräften. Er bediente sich bei diesen Versuchen der von Ruhmkorff konstruirten Form des Elektromagnets, die in folgender Art hergestellt ist:

Zwei mit in der Achsenrichtung durchbohrten Eisenternen versehenen geradlinigen Elektromagnete sind horizontal so angebracht, daß ihre Achsen eine gerade Linie bilden. Sie ruhen mit ihren Enden rechts und links in eisernen Trägern, welche auf einer horizontalen Stange einander ge-

nähert und voneinander entfernt werden können, in der Mitte auf einem Träger, dem ein Stäbchen von schwerem Glase aufgelegt werden kann. Die durchbohrten Achsen bilden somit einen Kanal, durch den das Auge frei hindurchblicken kann. An das eine Ende dieses Kanals wird nun ein Nikol'sches Prisma a befestigt, an das andere aber ein gleiches Prisma b so angebracht, daß es um seine Achse gedreht werden und diese Drehung zugleich an einer Teilscheibe abgelesen werden kann. Dabei sind die Drahtwindungen um die Spiralen so geführt, daß, sobald der Strom sie durchläuft, die dem Träger in der Mitte zugekehrten Pole ungleichnamig werden, also Nord- und Südpol. Legt man jetzt in der Mitte ein Glasstäbchen auf und rückt die beiden Eisenkerne möglichst dicht an dasselbe, so muß man, vor Schließung des Stromes, die beiden Nikol'schen Prismen kreuzen, damit das Gesichtsfeld dunkel erscheint, wenn man in der Achsenrichtung durch das Nikol b nach dem Glasstäbchen und dem Nikol a sieht, hinter dem die Flamme einer Kerze angebracht wird. Wird nun der Strom geschlossen, so wird das Gesichtsfeld mehr oder weniger erhellt und man muß das Okular-Nikol b um bestimmte Grade drehen, um das Gesichtsfeld wieder zu verdunkeln; das ist aber nichts anderes als eine Drehung der Polarisationsebene und ihre Richtung ergibt sich als dieselbe, nach welcher der positive Strom in den Windungen der Elektromagnete kreist. Nun brachte Verdet, um die Stärke der magnetisierenden Kraft zwischen den Polen des Elektromagnets zu messen, an der betreffenden Stelle eine kleine Induktionsspirale an, die man durch einen Knopf um eine horizontale Achse drehen konnte, welche zur Achse der Elektromagnete rechtwinklig stand. Diese Spirale, mit einem Gesamtdurchmesser von 28 mm, war 15 mm hoch und hergestellt aus einem 23 mm langen und 0,5 mm dicken übersponnenen Kupferdrahte. Ihre Drahtenden waren mit einem empfindlichen Spiegelgalvanometer verbunden, der in einiger Entfernung aufgestellt war.

Zuerst wurde die Spirale so gestellt, daß ihr Mittelpunkt mit der Achse der Elektromagnete in gleicher Höhe stand und alsdann rasch um 90° gedreht, so daß ihre Achse in gleiche Richtung mit der Achse der Elektromagnete zu stehen kam. Durch diese Drehung wurde in der Spirale ein Strom induziert, der eine entsprechende Ablenkung des Galvanometers bewirkte.

Die Beobachtung dieser Ablenkung ergab also ein Maß für die Stärke der magnetisierenden Kraft, welche dort wirkt, wo die Spirale angebracht ist. Verdet brachte jetzt an diese Stelle das zu untersuchende Diamagnetikum, welches er auf einen Rahmen legte, der durch eine Zahnstange so weit herabgelassen wurde, daß die Achse des diamagnetischen Körpers mit der Achse des Elektromagnets zusammenfiel. Hierdurch wurde es möglich, die in dem diamagnetischen Körper hervorgerufene Drehung der Polarisationsebene zu beobachten.

Diese Beobachtungen, angestellt mit einem 40 mm langen Stabe von Faraday'schem (schwerem) Glase, zeigten folgende Ergebnisse:

Zahl der Bunsen'schen Becher	Abstand der Pole	Magnetisierende Kraft m	Drehung der Polarisations-ebene a	$\frac{a}{m}$
20	60	143,4	9° 13,75'	3,86
20	80	115	7 28,50	3,90
10	60	112,4	7 17,75	3,89
10	90	63,6	3 55,75	3,71

Durch die fast übereinstimmende Gleichheit der Quotienten $\frac{a}{m}$ wird bewiesen, daß die Drehung der Polarisations-ebene in dem diamagnetischen Körper stets der magnetisierenden Kraft proportional ist, welche auf ihn einwirkt.

Berdet konstruierte jetzt den Gegenbeweis, indem er ein Stäbchen von Faraday'schem Glase an verschiedenen Stellen des Raumes zwischen den Polen der beiden Elektromagnete im Apparate aufstellte so, daß das Stäbchen keinem der Pole genähert wurde: jetzt blieb die Drehung der Polarisations-ebene fast unverändert dieselbe.

Diese Versuche vervollständigte Bertin dahin, daß er die Drehung der Polarisations-ebene, welche ein kräftiger Magnetpol auf ein und dasselbe Glasstäbchen in verschiedenen Entfernungen hervorbringt, untersuchte, und er erhielt folgende Ergebnisse mit einem Stäbchen von 38,9 mm Dicke:

Polabstand des Stäbchens	Beobachtete Drehung	$\frac{y'}{y}$	Berechnete Drehung	Unterschied zwischen beiden Drehungen
0 mm	11° 12'		11° 12'	0'
1	11 0	0,9821	10 56	- 4
2	10 25	0,9470	10 41	+ 19
3	10 7	0,9712	9 57	- 10
4	9 50	0,9719	9 51	+ 1
5	9 30	0,9661	9 35	+ 5
6	9 20	0,9824	9 16	- 4
7	8 47	0,9417	9 4	- 17
8	8 35	0,9772	8 34	- 1
9	8 20	0,9709	8 22	+ 2
10	7 55	0,9508	8 6	+ 11

Es ergibt hier jede folgende Drehung, dividiert durch die vorhergehende, beinahe denselben Quotienten, wie $\frac{y'}{y}$ nachweist. Wird nun die von dem Glasstäbchen im Polkontakte erzeugte Drehung mit A bezeichnet und die in einem Abstände von 1 mm erfolgte mit Ar, dann ist in n Millimeter Abstand $y = Ar^2$. Diese Formel liegt der Spalte „Berechnete Drehung“ zu Grunde; r ist angenommen = 0,97587.

Die Drehung der Polarisationssebene ist also bei einem zwischen zwei Magnetpolen befindlichen diamagnetischen Körper die Summe aller Drehungen, welche jeder Pol einzeln in diesem Körper hervorruft.

Da Bertin und Verdet in ihren Resultaten nicht ganz übereinstimmen, so stellte Bertin einen weiteren Versuch an. Er brachte zwei in Berührung stehende Stücke von Flintglas zwischen die Pole eines Elektromagnets und stellte die Drehung der Polarisationssebene fest. Hierauf entfernte er ein Stück Flintglas, beobachtete die Drehung der Polarisationssebene, brachte dasselbe dann an seine frühere Stelle zurück und entfernte nun das andere, indem er jetzt gleichfalls die Drehung der Polarisationssebene feststellte. Er erhielt hierdurch folgendes Ergebnis: Beide Stücke Faraday'sches Flintglas, das erste 18,3 mm, das zweite 38,9 mm dick ergaben zusammen an Drehung $23^{\circ} 10'$, das erste allein $8^{\circ} 10'$, das zweite allein $17^{\circ} 5'$, also nur einen Unterschied von $-5'$. Das Ergebnis ist:

Die elektromagnetische Drehung der Polarisationssebene in einem diamagnetischen Körper ist gleich der Summe der Drehungen, welche die magnetisierende Kraft unmittelbar in den einzelnen Schichten desselben hervorbringt.

In verschiedenen Stoffen ist nun die Drehung der Polarisationssebene, gleiche Umstände vorausgesetzt, sehr verschieden. Faraday stellte dieselbe für schweres Glas auf 6, für Flintglas auf 2,8, für Steinsalz auf 2,2 und für Wasser auf 1° fest.

Bei den Salzlösungen ist das elektromagnetische Drehungsvermögen sehr verschieden, je nachdem die Salze selbst magnetisch oder diamagnetisch sind. Bei letzteren ist das Drehungsvermögen meist größer als das des Wassers, bei ersteren meistens kleiner. Also Aluminium-, Magnesium-, Kalium-, Natrium- und Kalzium-Salze haben ein größeres, Eisenvitriol, Eisenchlorür und Eisenchlorid ein kleineres Drehungsvermögen, als Wasser.

65. Tierische Elektrizität.

Seite 356 Fig. 197 haben wir bereits die Entdeckung angeführt von Galvani in Bologna über die Einwirkung der Elektrizität auf frisch getötete Frösche und die von Galvani und Volta gegebenen Erklärungen über

diese Erscheinung. Galvani suchte die Quelle der Elektrizitätserregung in dem Froschschenkel selbst, Volta dagegen behauptete, die Zuckungen würden lediglich durch einen elektrischen Strom erzeugt, dessen Quelle außerhalb des Froschschenkels liege und zwar an der Berührungsstelle der Metalle, welche den Leitungsbogen bilden. Volta's Ansicht wurde die herrschende und doch hatte Galvani auch nicht ganz unrecht, wenn er annahm, daß in dem Froschschenkel selbst eine Erregung von Elektrizität stattfindet. Wir dürfen daher den Froschschenkel als ein sehr empfindliches Rheoskop (Stromanzeiger) ansehen, bei dem die Nerven allein die Stromleiter sind. Der Froschschenkel kann deshalb zur Auffindung schwacher elektrischer Ströme gebraucht werden, die durch die Nerven desselben geleitet werden. Der Schenkel wird sich also ruhig verhalten während der Dauer eines gleichmäßig wirkenden Stromes, während er bei Schwankungen in der Stromstärke Zuckungen macht.

Du Bois-Reymond hat aus dieser Thatsache folgendes Gesetz für die Bewegungsnerven hergeleitet:

„Nicht der absolute Wert der Stromdichtigkeit in jedem Augenblicke ist es, auf den der Bewegungsnerv mit Zuckung antwortet, sondern die Veränderung dieses Wertes von einem Augenblicke zum andern, und zwar ist die Anregung zur Bewegung, welche diesen Veränderungen folgt, um so bedeutender, je schneller sie bei gleicher Größe vor sich gingen oder je größer sie in der Zeiteinheit waren.“

Es ist also die durch den Körper gehende Elektrizitätsmenge bei Entladung einer Leydener Flasche sehr gering, die Schnelligkeit der Entladung wirkt aber physiologisch wie ein heftiger Schlag und ähnliches gilt auch von den Induktionsströmen.

Die Empfindungsnerven, soweit der elektrische Strom auf sie einzuwirken vermag, sind neben dieser Wirkung auch imstande, auf die Fortdauer der Strömung in beständiger Größe zu reagieren. Daraus erklärt sich der Schmerz in wunden Hautstellen, der elektrische Geschmack, die blickartige und dauernde Lichtwirkung, das kontinuierliche Geräusch u. a. m. Die kontinuierliche Wirkung ist jedoch auch in den Empfindungsnerven schwächer als die, welche bei Öffnung und Schluß des Stromes auftritt, wodurch zwischen Induktion und Nervenregung eine sehr nahe Übereinstimmung festgestellt wird.

Der Strom, welcher im Froschschenkel Zuckungen hervorruft ohne Metalle und der, wie Nobili festgestellt hat, nicht bloß im Augenblicke der Schließung, sondern kontinuierlich vorhanden ist, heißt der Froschstrom. Seine Wirkung wird verstärkt, wenn man mehrere Frösche, nach dem Gesetze der Säule geordnet, in den Stromkreis einschaltet; sie erhöht sich dann von 5° beständiger Ablenkung bei einem für drei Frösche auf 11°. Der

Strom ist von dem Zuckungsvermögen völlig unabhängig und dauert fort, wenn die Zuckungen längst nicht mehr hervorgerufen werden können.

Das Gesetz über diese Muskelströme verdanken wir Du Bois-Reymond. Er bediente sich zu seinen Versuchen eines Multiplikators (Galvanometers) von 4600 Windungen. Jedes Ende des Drahtes stand mit einer Platinplatte in Verbindung, die durch eine messingene Klemmschraube gehalten, am Ende eines horizontal gerichteten Messingstabes angebracht war, an dessen anderem Ende der Multiplikator Draht eingeschraubt war. Die Platinplatte taucht in ein Gefäß ein, das mit einer konzentrierten Lösung von Kochsalz gefüllt ist. In diese werden entweder die tierischen Teile selbst getaucht oder für feinere Versuche werden Bäusche aus Fliesspapier angewendet, über welche ein Stückchen in Eiweis aufgeweichte tierische Blase gelegt wird, worauf dann das Präparat anzubringen ist.

Du Bois wies mit diesem Apparate nicht allein die Muskelströme, sondern auch die viel schwächeren Nervenströme nach.

Eine eigentümliche Erscheinung in der Natur bilden die elektrischen Fische. Die älteste bekannte Familie derselben bilden die Zitterrochen oder Torpedos, von denen uns *Torpedo marmorata*, *Torpedo Galvanic* und *Narcine brasiliensis* bekannt sind. Die ersten beiden sind Bewohner des atlantischen Ozeans, von dem aus sie in die Nordsee und das mittelländische Meer gelangen und bereits Réaumur weiß 1714 von der Wirkung ihres Schläges zu erzählen, ohne die Ursachen desselben zu ergründen. Erst Walsh stellte 1772 genauere Versuche mit den Torpedofischen an. Er stellte fest, daß ein starker Schlag, wie aus einer Leydener Flasche erfolgt, wenn man die eine Hand dem Fische an den Bauch legt und mit der anderen ihm den Rücken streicht. Erhöht wird die Wirkung so stark, daß sie eine Kette von mehreren Personen empfindet, wenn man den Fisch mit dem Bauche auf einen metallenen Teller legt und die eine Person den Teller, die andere den Rücken gleichzeitig berührt. Die Schläge im Wasser erfolgen ganz unter den nämlichen Bedingungen und der Fisch vermag, bei dem guten Leitungsvermögen des Wassers hier sogar eine gewisse Wirkung in die Ferne auszuüben und kleine Fische zu betäuben. Im gereizten Zustande verstärken die Torpedos ihre Schläge bis auf 50 innerhalb einer Minute.

Davy lenkte mit den Schlägen von Torpedos die Magnetnadel ab und machte Stahlnadeln magnetisch, wodurch er den Zusammenhang der Elektrizität, welche in den Fischen erregt wird, mit der Reibungs- und Berührungselektrizität nachwies. Becquerel wies nach, daß der positive Strom bei den Torpedos immer vom Rücken zum Bauche geht und daß die Schläge nach Willkür gegeben werden können; der Rücken ist positiv, der Bauch negativ elektrisch.

Matteucci stellte mit Torpedos aus dem adriatischen Meere folgenden Versuch an. Er legte den Fisch auf einen Metallteller und deckte den Rücken mit einem zweiten Metallteller. Von diesen ging je ein Draht, an dessen Ende ein Goldblättchen angebracht war. Wurde nun der Fisch gereizt und die Goldblättchen wurden einander ziemlich nahe gebracht, so sprang ein Funken zwischen ihnen über.

Es konnte natürlich nicht fehlen, daß man sich den Zitterrochen auch inwendig bejah, um das Organ herauszufinden, welches die Elektrizität entwickelt. Die sorgfältigsten Untersuchungen haben nun festgestellt, daß das elektrische Organ bei den Torpedos vorn dicht am Borderrande des Kopfes anliegt. Es ist mit der Rücken- und Bauchhaut durch eine faserige Bildung verbunden und liegt mit der äußeren Fläche am Knorpel der Seitenflosse, mit der inneren an den Kopfmuskeln. Es besteht aus einer sehr großen Anzahl vieleckiger oder rundlicher Stäbchen, deren Achse in der Richtung vom Bauche zum Rücken liegt. Begrenzt ist jedes Stäbchen von einer dichten sehnigen Haut; es besteht aus sehr vielen aufeinander liegenden feinen Blättchen, die bald eben, bald gebogen durch sehr klebrige Schleimschichten voneinander getrennt sind, so daß das Ganze recht gut mit einer aufrechtstehenden Volta säule zu vergleichen ist. Die Zahl der Stäbchen wird noch verschieden angegeben, je nach der Größe des untersuchten Exemplars; gewöhnlich nimmt man 4 bis 500 an, doch erreicht ihre Zahl bei sehr großen Fischen wohl die Zahl von 1200.



Fig. 349. Zitterrochen.

Wir geben Fig. 349 eine Abbildung eines Zitterrochen, der an der Seite geöffnet ist.

Die Buchstaben d, e, f, g zeigen auf vier starke Nervenbündel, welche sich über das ganze elektrische Organ ausbreiten.

Die zweite Familie der elektrischen Fische umfaßt die Aale. In Südamerika, hauptsächlich in Surinam am Orinoko und am Marañon (Amazonenstrom) lebt der Zitteraal (*Gymnotus electricus*), der Welt aus der schönen Schilderung Alexander von Humboldts bekannt, und die afrikanischen Flüsse Nil, Kongo, Niger u. a. bergen den Zitterwels (*Malapterurus electricus*). Walsh hat auch die Zitteraale untersucht und ganz dieselben Ergebnisse erhalten, wie bei den Untersuchungen der Torpedos, zugleich aber

nachgewiesen, daß der Schlag des Aales von einem Leiter zum andern durch eine dünne Luftschicht fortgepflanzt werden kann unter Entwicklung elektrischer Funken.

Das elektrische Organ liegt bei den Zitteraalen im Schwanz, der sehr lang ist, nämlich da der After bei ihnen sehr weit nach vorn angebracht ist, $4\frac{1}{2}$ mal so lang als Rumpf und Kopf zusammen.

Es erstreckt sich auf beiden Seiten der ganzen Schwanzlänge nach und unterhalb der Wirbelsäule hin. Seine Stäbchen stehen nicht senkrecht, wie bei den Torpedos, sondern gehen in der Richtung des Schwanzes und der positive Strom geht bei ihnen nicht vom Rücken zum Bauche, sondern vom Kopfe nach dem Schwanz hin. Die Schläge, die sie auszuerteilen vermögen, sind außerordentlich kräftig. Ihre Größe ist ziemlich beträchtlich, sie werden 1 bis $1\frac{1}{2}$ m lang und haben dann ein Gewicht von 6—10 kg. Ihre Farbe ist dunkel, an der Unterseite des Kopfes rot und gelb gemischt und an beiden Seiten reihenweise gelb gefleckt. In diesen Flecken stehen Löcher, welche durch die Haut gehen, aber mit dem elektrischen Organe in keiner Verbindung stehen. Aus ihnen sondern die Aale einen Schleim ab, der, nach Volta, ein sehr vorzüglicher Elektrizitätsleiter sein soll. Sie haben eine außerordentlich große Schwimmblase, die weit über die Hälfte der Länge des Tieres einnimmt. Die Zahl der Stäbchen in dem elektrischen Organ schätzt man auf 20,000.

Bei Austeilung der Schläge zittert der Torpedo mit seinen Brustflossen, der Zitteraal dagegen bleibt ganz unbeweglich, die Wirkung geht bei ihm bloß von den Nerven aus und sie ist viel andauernder, als beim Zitterrochen. Humboldt erzählt, daß 1 m lange Krokodile, im Neze mit Zitteraalen zusammen herausgezogen, tot waren und daß zwei dieser Tiere, an den Sattel eines Pferdes gebunden, demselben, während der Dauer einer Stunde, von Zeit zu Zeit so heftige Schläge gaben, daß das Pferd durchging.

66. Nachtrag.

Entstehung der Kugelblitze, Wasserhosen, Wirbelstürme, Springfluten, der atmosphärischen Elektrizität u. a. Erscheinungen.

Die Erklärung einiger kosmischen und meteorologischen Erscheinungen durch Annahme einer Häufung von dynamischer Elektrizität, welche sich im Zustande hoher Spannung befindet, hat uns Gaston Planté (geb. 1834) zu geben versucht, indem er diese Erscheinungen in seinem Laboratorium zu Paris Rue de Tournelles, durch Zusammenkuppelung einer sehr großen

Anzahl von Sekundärelementen (200—800) künstlich hervorrief. Diese Versuche, angestellt in den Jahren von 1859 bis 1879, also zwanzig Jahre hindurch, sind von so hohem Interesse, daß wir dieselben für die bekanntesten Erscheinungen, wie die des Hagels, der Tromben, der Nordlichter und der Sonnenflecken, an dieser Stelle besprechen müssen.

S. 276 ist bereits Planté's Erklärung über die Entstehung der Kugelblitze angeführt, da aber diese ersten Versuche für die Erklärung der späteren von großer Bedeutung sind, so folgen wir einer Arbeit von Professor Dr. F. G. Wallentin in Wien (Humboldt 1885 und 1886), um dieselben eingehend zu erläutern.

Erscheinungen von Blitzen in Kugelform sind zwar seit dem Altertum her bekannt, ihr Auftreten ist aber doch sehr selten bis zur Gegenwart beobachtet worden. Meistens sind es Seefahrer, welche von solchen Blitzen berichten, wie ja erst im Beginn des Jahres 1888 von einer Erscheinung auf dem atlantischen Ozean berichtet wurde, welche mehrere Sekunden dauerte, sich auf dem Wasser in der Größe einer Kanonenkugel fortbewegte und dann plötzlich verschwand.

Es durften deshalb die Repräsentanten der United States sich wohl erschrocken zeigen, als im März 1888 ein gewaltiger Blitz in das Kapitol zu Washington einschlug und in mehreren Feuerkugeln durch die Säle und Korridore rollte. Planté wendete zu seinem Versuche ein Voltmeter an mit angesäuertem Wasser (Schwefelsäure oder Salz). Zuerst tauchte er den, aus einer Sekundärbatterie von 200 Elementen hergeleiteten, positiven Golddraht ins Wasser und näherte dann den negativen Draht dem Wasserspiegel. Als bald wurde derselbe durch Weißglühhitze verflüchtigt unter Auftreten einer Flamme und eines pläzenden Geräusches. Wurde nun durch Zuführung von Wasser der Säuregehalt vermindert, so blieben die Flammerscheinungen, aber das Schmelzen des Metalls hörte auf. Die umgekehrte Ausführung des Versuchs, also Eintauchen des negativen und Nähern des positiven Golddrahtes ergab dagegen am Ende des positiven Drahtes keinen Schmelzprozeß, sondern das Auftreten einer kleinen leuchtenden Kugel unter eigentümlichem Brausen. Diese Kugel vergrößerte sich bis auf 1 cm im Durchmesser unter gleichzeitiger lebhafter Drehung, die sie schnell in ein abgeplattetes Ellipsoid verwandelte, worauf sie bei weiterer Näherung des Drahtes an den Wasserspiegel verschwand. Wurde der negative Golddraht nun unter die Oberfläche des Wassers eingetaucht, so entstand ein knisternder Funke. Bei nun wieder bewirkter Entfernung der Elektroden voneinander, wiederholten sich die Erscheinungen immer in derselben Folge.

Planté vergleicht nun die Feuerkugeln mit der Erscheinung im elektrischen Ei und meint, der bedeutende Lichtschimmer derselben rühre daher,

daß die Quantität der stark gespannten Elektrizität sehr groß ist, auch könne das Leuchten durch Entzündung kosmischer Teilchen vermehrt werden, während die verschieden auftretende Färbung von dem Feuchtigkeitsgrade der Luft und der Menge der auftretenden Elektrizität abhängig sei. Die blaue oder violette Färbung werde also bei verhältnismäßig trockener, die rote bei sehr feuchter Luft auftreten. Das bei den Kugelblitzen eintretende Brausen verdankt sein Entstehen der raschen Dampfbildung. Die hervorgerufene Elektrizität ist bei den Feuerkugeln, wie die Lufterlektrizität bei Gewittern, positiv.

Die langsame Bewegung, welche an den Kugelblitzen bemerkt wird, erklärt Planté auf folgende Weise:

„Würde man die in dem Laboratoriumsversuche dienende positive Elektrode bewegen, so würde die am Ende der letzteren auftretende Feuerkugel ebenfalls sich mit der Elektrode fortbewegen. Die in der Naturerscheinung auftretende Elektrode ist eine Säule von stark elektrifizierter feuchter Luft und es erfolgt der Ausfluß der Elektrizität aus dieser Säule gegen die negative Erde unter der Gestalt der Feuerkugel; begreiflicherweise veranlaßt die Bewegung dieser Wolkenelektrode eine Bewegung der an ihrem Ende entstandenen Feuerkugel und die Geschwindigkeit der letztgenannten Bewegung ist identisch mit jener der Wolkensäule.“

Es kann aber auch, wenn keine Verrückung der elektrifizierten feuchten Luftsäule stattfindet, eine langsame Bewegung des Kugelblitzes eintreten.

Von einer Batterie, aus 800 Elementen zusammengesetzt, wurden beide Pole mit dem Belage eines Kondensators verbunden, dessen Folierschicht aus Glimmer bestand. Bei der Entladung entstanden Funken, analog denen der statischen Elektrizität. An den dünnen und rissigen Stellen der Glimmerschicht dagegen, bildete der Funke eine kleine sehr helleuchtende Kugel, die sich unter eigentümlichem Geräusch langsam bewegte und auf dem Staniolbelage des Kondensators eine tiefe, geknickte und unregelmäßige Furche hinterließ. Diese Erscheinung erklärt Planté auf eine zweite Weise:

„In der Atmosphäre können die Bestandteile eines Kondensationsapparats vorhanden sein; eine Schicht (Säule) von stark elektrifizierter feuchter Luft spielt dann die Rolle der oberen Belegung des Kondensators, der Erdboden die der unteren Belegung und die dazwischen befindliche Luft stellt die Lamelle dar. Wird nun diese isolierende Luftschicht von einer Elektrizitätsströmung durchsetzt, so entsteht zwischen dem Erdboden und der als obere Belegung wirkenden feuchten Luftschicht eine leuchtende Blitzkugel. Dieselbe bewegt sich ebenso wie in dem ersten Versuche, zwischen der oberen und unteren Belegung des Kondensators, ohne daß eine Verrückung der Elektroden oder der Belegungen eintritt.“

von salpetersaurem Kali bei obigen Versuchen an und sah, daß die in der umgebenden Luft von gewöhnlicher Temperatur erstarrten Tropfen dieser Lösung dieselbe Gestalt, wie die Hagelkörner, annahmen.

Der Bau der Hagelkörner, die, wie bekannt, gar verschiedene Größe annehmen, ist von der Art, daß um einen weißen Kern im Zentrum sich abwechselnd durchsichtige und undurchsichtige Schalen bilden oder er ist strahlig. Letzteres kann nur bei unmittelbarem Gefrieren der zerstäubten Wasserteilchen eintreten. Die Bildung der ersteren Art glaubt Planté dadurch entstanden, daß Verdampfung und Erstarrung wechselseitig folge, begleitet von einer starken Drehungsbewegung. Zuerst erfolgt, um den Kern zu bilden, ein plötzliches Zusammenfrieren des Wasserdampfes zur Schneeflocke. Die Wirbelbewegung innerhalb der feuchten Wolke ruft um die entstandene Schneeflocke eine Eisschicht hervor, deren Bildung langsamer erfolgt, weshalb dieselbe durchscheinend bleibt. Zufolge einer neuen elektrischen Entladung findet eine zweite Ausströmung von Dampf statt, welcher um die durchscheinende Schicht schnell herumfriert und eine undurchsichtige Schicht bildet, dann tritt wieder die erstere, hierauf die zweite Wirkung ein u. s. f. Die Wirbelbewegungen dabei sind eine Folge von elektrodynamischen Wirkungen. Um dies nachzuweisen, verwendete Planté einen Kupferdraht als positive Elektrode eines mit Schwefelsäurehydrat gefüllten Voltameters. Sandte er nun durch dasselbe einen sehr stark gespannten Strom, so zeigte sich eine Zuspitzung der positiven Elektrode an dem in die Flüssigkeit getauchten Ende und zugleich ging von dieser Spitze ein Strom feingeteilten Kupferoxyds aus, der sich in der Flüssigkeit verbreitete. Näherte man dem Voltameter einen Magnetpol, so schlugen die Drydteilchen Spiralsbewegungen ein und zwar der Uhrzeigerbewegung entgegengesetzt, wenn der Magnetpol ein Nordpol war; ein genäherter Südpol rief das Gegenteil hervor. Säulen feuchter Luft (Wolken) sind nun sehr leicht in allen Richtungen beweglich und werden unter dem Einflusse des Erdmagnetismus eine heftige Wirbelbewegung annehmen, in die die entstandenen Hagelkörner hineingerissen werden und somit läßt sich durch diese Versuche eine ungezwungene Erklärung der Entstehung des Hagels geben.

Um eine wissenschaftliche Erklärung für die Erscheinungen der Tromben, der Cyclonen und der in den Schweizer Seen auftretenden Seichen zu gewinnen, ließ Planté aus einem Trichter, in welchen der positive Poldraht eintauchte, Salzlösung in eine oberhalb eines Magnetpols aufgestellte Schale fließen, in welche die negative Elektrode eingeführt war. Sofort erschien ein Lichtfaden; am unteren Ende der Flüssigkeitsader sprangen Funken mit Geräusch weg und die den unteren Teil der Ader umhüllende Flüssigkeit nahm eine wirbelnde Bewegung an.

In der Natur muß ein ganz ähnlicher Vorgang stattfinden, wenn von feuchten Luftsäulen (Wolken), welche stark positiv elektrisch sind, Entladungen gegen Wasserflächen ausgehen. Die alsdann auftretende Erscheinung ist eine Wasserhose oder Trombe. Die Wirbelbewegung in derselben, hervorgerufen vom Erdmagnetismus, entspricht ganz dem Versuche. Die Richtung der Tromben gegen den Erdboden läßt sich durch eine elektrostatische Anziehung derselben und der Erde erklären; sie sind positiv geladen und influenzieren die negative Elektrizität der Erde; durch die Wechselwirkung dieser beiden Elektrizitäten erhalten die Tromben ihre herabsteigende Form.

Von den Cyclonen wissen wir, daß die Drehung der Luftsäule auf beiden Erdhalbkugeln in umgekehrter Richtung erfolgt und daß die heftigen elektrischen Erscheinungen, die sie begleiten, sich um eine Stelle herum bilden, welche das Auge der Cyclone genannt wird. Die Wolkensäule, in wirbelnde Bewegung versetzt, teilt diese der sie einhüllenden Luft mit. Ihre fortschreitende Bewegung hängt von den wehenden regelmäßigen Winden ab. Die Versuche Planté's bestätigen auch hier die elektrische Theorie dieser Erscheinung.

Unter der Bezeichnung „elektrische Springflut“ hat Planté durch seinen sinnreichen Versuch nachgewiesen, daß Flüssigkeitsmassen durch einen Strom von starker Elektrizität abgestoßen und gehoben werden können. Er beobachtete, daß in einem mit Salzlösung gefüllten Voltameter die positive Elektrode das Wasser abstieß und es bis zur Höhe von $1\frac{1}{2}$ cm über die normale Oberfläche emporhob. Sobald die Flüssigkeit Stellen von ungleichem Widerstande enthielt, teilte sich der Fluß und zeigte mehrere Wasserhügel. Die Dampfbildung, durch die Entladung hervorgerufen, bringt die Hebung durch ihren Druck hervor.

Das Auftreten der Seichen erklärt Forel als eine Interferenzerscheinung der direkt fortschreitenden und von den Ufern zurückgeworfenen Wellen.

Planté zeigt, daß ein Strom atmosphärischer Elektrizität Flüssigkeitsmassen abstoßen oder heben kann, wie ein heftiger Wind. Da nun bei stark entwickelten Seichen in der That sehr veränderliches Wetter und niederer Luftdruck beobachtet wird, so kann die Vibrationsbewegung (außer durch Windstöße, Erdbeben oder sonst sehr schnell und mächtig wirkende Luftdruckänderungen) auch durch elektrische Entladungen gegeben werden und Forel's Theorie wird durch Planté ergänzt und erweitert.

Das Aufwärtsziehen des Wassers beim Auftreten von Tromben erklärt Planté als eine direkte Folgerung aus der Annahme stark elektrificierter Säulen aus feuchter Luft oder Wasserdampf bestehend. Um diese Erklärung zu bestätigen, führte er den positiven Polar Draht in ein Haarröhrchen ein

dergestalt, daß am Ende derselben ein Zwischenraum von $1\frac{1}{2}$ cm frei blieb und tauchte dieses Röhrchen in ein mit Salzlösung gefülltes Gefäß, in das die negative Elektrode eingetaucht war. Die Flüssigkeit stieg sofort mit großer Schnelligkeit in der Röhre bis zu einer Höhe von 25 bis 30 cm. Diese Erscheinung hängt unstreitig mit der Erzeugung von Wasserdampf und Kondensation desselben um die Elektrode zusammen und es kann leicht eingesehen werden, daß bei dem Aufwärtsziehen des Wassers durch die Tromben ein ähnlicher Vorgang stattfinden muß.

Die erstaunlichen Ergebnisse seiner Versuche ermutigten Planté die Entstehung der Nordlichter aufzuklären und daraus eine Theorie zur Erklärung des Ursprungs der atmosphärischen Elektrizität herzuleiten.

Er brachte den positiven Golddraht einer aus 400 Elementen zusammengesetzten Sekundärbatterie der Oberfläche einer salzhaltigen Flüssigkeit nahe, in welche die negative Elektrode eingetaucht war und beobachtete nun, je nach der mehr oder weniger großen Entfernung der positiven Elektrode von der Flüssigkeit, eine um den Draht gebildete Lichtkrone (Aureole) oder einen leuchtenden, ausgefranzten Lichtbogen oder eine wellenartig hin und her schwankende Lichtkurve. Dabei war eine starke, mit eigentümlichem Geräusch verbundene Dampfbildung wahrzunehmen und eine Magnetnadel, nahe dem Stromkreise aufgestellt, zeigte fortwährend variierende Schwankungen. Diese Erscheinungen sind denen der Nordlichter vollkommen gleich, sowohl in Bezug auf das Auftreten der Lichtkronen, der Fransen derselben, wie auch der Erzeugung des eigentümlichen Geräusches, das durch das Eindringen des elektrischen Stromes in eine flüssige Masse entsteht. Die gleichzeitig auftretende Dampfbildung zeitigt sowohl die starken Winde, wie den Regen und Schnee, welche oft die Erscheinung der Nordlichter begleiten. Ebenso tritt die Ablenkung der Magnetnadel bei den Versuchen Plantés ein, deren Größe eben von der größeren oder geringeren Entwicklung des Lichtbogens in der Flüssigkeit abhängt.

In der Natur werden also die Nordlichter durch einen Strom positiver Elektrizität erzeugt. Als negative Elektrode wirkt dabei aber nicht die Erde, sondern der nicht vollkommen leere Raum der höheren Regionen, weil sonst die Nordlichterscheinungen von Blitzen begleitet sein würden und die Richtung der Strahlen eine andere sein müßte, als die, welche sie in Folge der oberen Lage der negativen Elektrode in der That besitzt.

Alle diese Untersuchungen und die daraus entspringenden Schlüsse brachten Planté dahin, auch die Frage über den Ursprung der atmosphärischen Elektrizität in den Kreis seiner Untersuchungen zu ziehen.

Ob wir hier die Theorie Plantes besprechen, ist es aber notwendig, eine Übersicht über den ganzen Verlauf der hochwichtigen Frage, in welcher wir im wesentlichen gleichfalls Professor Wallentin folgen, zu geben.

Um festzustellen, in welcher Weise das elektrische Potential der Atmosphäre sich mit der Erhebung von der Erdoberfläche ändere, konstruierte sich Sauffure (geb. 1730 und von 1762—1799 Professor der Philosophie in Genf) ein Elektroskop, das aus einem Fischstocke bestand, welcher durch isolierende Stützen und Seidenfäden vertikal gehalten wurde und am Ende mit einem Elektrometer verbunden war. Letzteres bestand aus einem Stabe, welcher die Goldblättchen trug, die in ein viereckig gestaltetes Glasgehäuse eingeschlossen waren, auf dessen Vorderseite ein Gradbogen die Divergenz der Blättchen angab. Ein Metallhut schützte den Apparat vor dem Eindringen des Regens. Mit diesem Apparate konnte Sauffure 15 bis 16 Fuß in die Höhe gehen und er bemerkte, daß schon eine Erhebung von 3 dem genügte, um einen Ausschlag der Blättchen um fast 20° zu erzielen. Diese Ablenkungen waren den Potentialdifferenzen proportional.

Für größere Erhebung (bis zu 15 m) bediente er sich einer Metallkugel, die am Ende eines Metalldrahtes befestigt, dessen anderes Ende einen Ring trug, der längs des Konduktors des Elektrometers schleifen konnte. Diese Metallkugel warf er mit der Hand vertikal in die Höhe und die Divergenz der Blättchen entsprach dem Potential, welcher vom Konduktor in dem Augenblicke erreicht wurde, in welchem sich der Ring vom Elektrometer entfernte.

Bequerel und Breschet, welche später Versuche am Großen Sankt Bernhard anstellten, benutzten einen Pfeil, den sie mittelst eines stark gespannten Bogens in die Luft schleuderten. Ein mit Rauschgold überzogener Seidenfaden von 80 cm Länge wurde einerseits mit dem Elektrometer, andererseits mit dem Pfeile leitend verbunden. Je höher nun der Pfeil geschleudert werden konnte, um so größer erschien die Elektrifizierung des Elektrometers, die sich immer als positiv erwies.

Am 24. August 1804 brachten Gay-Lussac und Biot ein Elektroskop in das Schiffchen eines Luftballons und versahen dasselbe mit einem 50 m langen Metalldrahte, welcher aus der Gondel hing und durch eine Metallkugel in Spannung gehalten wurde. Da nun die positive Elektrizität das Bestreben hat, sich von Orten hohen Potentials zu solchen niedrigen Potentials zu begeben und die negative Elektrizität sich gerade umgekehrt verhält, fanden die beiden Forscher das obere Ende des der influenzierenden Wirkung der atmosphärischen Elektrizität ausgesetzten Konduktors negativ-elektrisch.

Zur Bestimmung des Potentials der atmosphärischen Elektrizität in absoluten Werten wendet man folgende Methode an: Man denkt sich eine

leitende Kugel als in der Atmosphäre in einer bestimmten Höhe befindlich und diese Kugel durch einen Draht von geringer elektrischer Kapazität mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt, so wird die Elektrizität, welche der influenzierenden entgegengesetzt ist, sich auf der Oberfläche ansammeln, die der ersteren gleichnamige Elektrizität wird aber zur Erde abgeleitet. Da die Kugel mit der Erde in Verbindung steht, wird ihr Potential Null sein; dasselbe setzt sich aber aus dem positiv vorausgesetzten Potential der atmosphärischen Elektrizität V und dem Potential der über die Kugeloberfläche verbreiteten negativen Elektrizitätsschichte $-E$ zusammen, welches (nach der mathematischen Theorie der Elektrizität) durch $-\frac{E}{r}$ ausgedrückt wird, wenn r den Kugelradius anzeigt. Es muß deshalb

$$V = \frac{E}{r} \text{ sein}$$

und da man den Radius der Kugel bestimmen und ebenso die Elektrizitätsmenge E in der Weise finden kann, daß man die Kugel isoliert und sie im Laboratorium mit einem Elektrometer in Verbindung bringt, so ist dann V leicht anzugeben.

Zur Beobachtung meteorologischer Größen wendet man schon seit längerer Zeit selbstregistrierende Instrumente an und gleiche Apparate hat man auch in den Untersuchungen über atmosphärische Elektrizität mit Vorteil eingeführt.

Der französische Physiker E. Mascart hat, unter Benützung der Arbeiten von Thomson ein Quadrantenelektrometer hergestellt, dessen Beschreibung wir hier folgen lassen:

Eine Metallbüchse ist durch zwei diametrale, aufeinander senkrechte Schnitte in Quadranten geteilt, von denen je zwei diametral gegenüberstehende untereinander in leitender Verbindung stehen. Das eine Quadrantenpaar wird mit dem einen Pole einer aus 20 Elementen gebildeten Volta'säule, das andere mit dem zweiten Pole der letzteren in Verbindung gesetzt. In dieser Batterie ist gewöhnliches Wasser angewendet worden und die Gefäße sind, um die Verdunstung zu hindern, unvollkommen mit Korkpfropfen verstopft. Zwischen den Quadranten schwebt eine bikuitsförmige Nadel aus Aluminium, welche einen Spiegel trägt und von welcher ein Draht in ein mit konzentrierter Schwefelsäure gefülltes Gefäß taucht, wodurch einerseits die Luft im Innern des in einem mit Fenstern versehenen Metallgehäuse (das zur Erde abgeleitet ist) befindlichen Elektrometers trocken erhalten, andererseits eine Dämpfung der Nadelerschwingungen erreicht wird. Der Spiegel an der Aluminiumnadel ist entweder eben und dann ist gegenüber demselben eine Linse angebracht, um die Schärfe des Bildes zu erzeugen

oder es ist ein Hohlspiegel und dann wird die Linse durch eine planparallele Glasplatte ersetzt.

Erhält nun die Nadel eine positive Ladung, so wird sie sich von den positiven Quadranten entfernen und sich den negativen nähern; bei Abnahme der Ladung wird die Nadel zum Teil zurückkehren und mit ihr der Spiegel, der nun in folgender Weise das Bild entwirft:

Auf dem Kasten des Registrier-Apparats, welcher das vom Elektrometerspiegel reflektierte Licht erhält, befindet sich eine Lampe mit einem vertikalen Spalt, durch welchen sie ein Lichtbündel auf den Elektrometerspiegel sendet. Die Lampe wird durch Gazogen, einer Mischung von 4 Teilen 97gradigem Alkohol und 1 Teil Terpentinöl gespeist, von welcher Mischung sie pro Tag weniger als 15 ccm braucht. Die Linse des Elektrometers ist plankonver, mit der ebenen Fläche nach innen gekehrt. Befindet sich die Öffnung der Lampe in der Brennebene der Linse, so werden nach der Brechung an der Vorderseite die von der Lampe ausgesendeten Strahlen parallel und zum Teil auf dem nun als eben vorausgesetzten Elektrometerspiegel, zum Teil auf der Rückwand der Linse reflektiert. Wird nun in die Brennebene eine photographische Platte gebracht, so erzeugen die reflektierten Strahlen zwei Bilder der Spalte, von denen das von der Reflexion an der ebenen Fläche der Linse herrührende, weniger helle einen Fixpunkt hat, während das hellere andere durch die Reflexion am Elektrometerspiegel erzeugt wurde.

Schöben sich nun, wenn die Nadel mit dem Erdboden in Verbindung steht, Potential gleich Null, beide Bilder übereinander, so würde die Ablenkung der Strahlen, welche das zweite Bild erzeugen, einem Winkel entsprechen, welcher doppelt so groß ist wie der Drehungswinkel der Nadel.

Ein photographischer Rahmen und ein Pendeluhrwerk mit Gewichten bilden den eigentlichen Registrier-Apparat. Der Rahmen kann sich in 24 Stunden um seine ganze Höhe herabbewegen. Er besteht aus zwei Glasplatten, ist zweiteilig und läßt sich aufklappen; zwischen den Glasplatten ist ein photographisches Papier eingeschoben. Diejenige Glasplatte, welche das reflektierte Licht empfängt, ist transparent, die andere ist geschwärzt. In dem Kasten wird der Apparat nun so angebracht, daß die empfindlich gemachte Papiersseite einer in der Mitte befindlichen horizontalen Spalte gegenüber liegt, durch welche das Markenbild und das vom Elektrometer erzeugte Bild fallen.

Auf der transparenten Glasplatte sind 24 horizontale schwarze Striche angebracht, welche zu den verschiedenen Beobachtungsstunden vor der Spalte erscheinen, wodurch sie auf eine äußerst kurze Zeit das Licht von dem photographischen Papiere abhalten.

Auf der geschwärzten Glasplatte sind die Zahlen, welche den verschiedenen Stunden des Tages entsprechen, weiß aufgetragen. Eine verhältnismäßig geringe Lichtmenge und eine kurze Expositionszeit genügen, um auf dem photographischen Papiere deutliche Aufzeichnungen zu erhalten. Der Fixpunkt (siehe oben) läßt dabei auf dem Papiere eine gerade Linie zurück, welche parallel der Verrückung des Rahmens ist, der andere (hellere) Punkt beschreibt auf dem Papier eine Kurve derart, daß das von einem Punkte der Kurve auf die Gerade gefällte Perpendikel dem Potential der Nadel proportional ist und also als Ordinate für die entsprechende Zeit wirkt.

Der Wasserbehälter wird, nachdem er gefüllt ist, durch eine Klemmschraube leitend mit der Erde verbunden, es erfolgt dann keine Ablenkung der Nadel.

Wird das Gefäß durch Isolierfläschchen isoliert und Wasser aus demselben gelassen, so erhält das Gefäß und die Nadel bald ein Potential, welches dem der Luftschichten gleichkommt, in denen ein Auflösen des Strahles in Tropfen stattfindet.

Nachdem das Papier 24 Stunden hindurch exponiert war, wird der Rahmen, welcher es trägt, herausgezogen. Er wird dann in ein Kästchen mit geschwärztem Boden gebracht, so daß das transparente Glas sich unten befindet, und dem Lichte einer Kerzenflamme einige Sekunden hindurch ausgesetzt; die auf der schwarzen Glasplatte in Weiß hergestellten Aufzeichnungen ergeben dann ein photographisches Bild.

Zur Fixierung hierzu geeignete Flüssigkeiten müssen nach Professor Mascart auf dreifache Weise hergestellt werden:

1. Lösung: 1000 g Wasser, 250 g neutrales oxalsaures Kali, 3 g Ammoniumbromür.
2. Lösung: 1000 g Wasser, 250 g reines Eisensulfat, 1—2 g Weinsäure.
3. Lösung: 1000 g Wasser, 300 g Hyposulfit, 30 g pulverisierten Kalialaun.

Zunächst wird das Papierblatt in ein mit Wasser gefülltes Gefäß getaucht und dann in einer ebenen Küvette mit einer Mischung von 100 ccm der ersten mit 25 ccm der zweiten Lösung übergossen. Dabei wird die Küvette fortwährend geschwenkt, bis die Kurven schwarz erscheinen. Dann wird das Papier gewaschen und zur Fixierung des Bildes in ein mit der dritten Lösung gefülltes Gefäß getaucht. Nach einigen Minuten kann das Gefäß ans Licht gebracht, demselben noch etwa eine halbe Stunde ausgesetzt bleiben. Hierauf wird das Papierblatt in ein anderes mit Wasser gefülltes Gefäß ein paar Stunden gelegt und das erste durch eingelegetes Filtrierpapier getrocknet.

Dieser Registrier-Apparat, der sich zu Studien über atmosphärische Elektrizität vorzüglich eignet, kostet mit seinen photographischen Nebenapparaten 700 Mark.

Um das Maß der Influenz-Intensität im Augenblicke der Beobachtung zu erhalten, wandte Palmieri ein Bifilar-Elektrometer an, das er mit einem beweglichen Konduktor in Verbindung brachte. Neben einem Bügel mit zwei festen horizontalen Armen ist eine, von diesem isolierte, bewegliche Aluminiumnadel an zwei Konkonfäden bifilar aufgehängt. Die Nadel trägt unter der Drehungsachse eine horizontale Scheibe aus Aluminium, welche frei in einer niedrigen cylinderförmigen Metallschale schwebt, mit der sie genau konaxial eingestellt ist. Da die Schale mit dem festen Bügel verbunden ist, so wird, wenn sie elektrifiziert wird, die Aluminiumscheibe entgegengesetzt, die Nadel gleichnamig elektrifiziert und diese Nadel erleidet daher vom festen Bügel einen Zurückstoß. Unter der Nadel befindet sich eine Kreisteilung auf der Peripherie eines Ringes, über welche die Enden des Bügels sowohl als auch der Nadel vertikal herabgebogen sind, so daß, zugleich unter Anwendung eines Mikroskops, welches auf dem Fuße des Gestells angebracht ist, die Ablenkung der Nadel ganz genau bestimmt werden kann. Die Ablenkungen, welche die Nadel unmittelbar nach der Elektrifizierung des Bügels zurücklegt, werden „impulsive“ genannt. Sie sind, ganz ebenso wie die sogenannten „definitiven“ Bogen, welche die Nadel zu behalten strebt, bis über 70 Grad dem Potentiale proportional.

Der bewegliche Konduktor besteht aus einem Messingrohr, das 1 cm im Durchmesser und 2 cm Länge hat. Es geht durch eine in der Decke des Beobachtungszimmers angebrachte Öffnung und trägt an seinem Ende eine Messingscheibe von 27 cm Durchmesser. Ein umgestürzter Trichter unter derselben verschließt die Öffnung, wenn nicht beobachtet werden soll. Ein gläserner Isolierstab oder Knopf, mit Schellack überzogen, befindet sich am unteren Ende des Metallstabes und liegt auf der Schnur eines Flaschenzuges auf. Ein seitlich angebrachter Hebelarm kann den Konduktor mit dem Elektrometer in Verbindung setzen. Bei einer schnellen Hebung des Konduktors zeigt sich augenblicklich eine Abweichung der Nadel, die proportional ist dem Potentiale derjenigen Luftschicht, in welche die Scheibe bewegt wurde.

Um eine Elektrizitätszerstreuung bei feuchtem oder nebligem Wetter zu verhüten, kann der Verbindungsdraht mit dem Elektrometer ausgelöst werden. Die Ergebnisse der Beobachtungen der Luftpotelektrizität mit diesen Apparaten sind nun mancherlei Art. Zuerst wurde festgestellt, daß eine Erhebung der Apparate durch verschiedene Luftschichten eine Vergrößerung des Potentiales der Luft anzeigt, so daß die elektrischen Zeichen unter

gleichen atmosphärischen Verhältnissen viel deutlicher in der Höhe sind, als in der Ebene und daß die relative Höhe des Beobachtungsortes, bezüglich der umliegenden Gegenstände, einen größeren Einfluß als die absolute Höhe auf die im Elektrometer zur Anschauung kommende Kraft der atmosphärischen Elektrizität nimmt. In der Nähe der Erdoberfläche beobachtete Thomson bei schönem Wetter zwischen dieser und einer etwa 3 m darüber befindlichen Luftschicht eine Potentialdifferenz von 430 Volt, ja bei trockenen Winden, wie Ost und Nordost, zeigte sich dieselbe schon bei 0,3 m Entfernung von der Erdoberfläche. Das Luftpotential ändert sich also unausgesetzt zu den verschiedenen Stunden des Tages und die mittlere tägliche Elektrifizierung zu verschiedenen Jahreszeiten.

Die Tages-Periode für ruhiges und heiteres Wetter hat zwei Maxima und zwei Minima. Im Sommer tritt das erste Maximum gegen 8 Uhr morgens, im Winter gegen 10 Uhr ein, das zweite dagegen um 9 Uhr abends im Sommer und um 6 Uhr abends im Winter. Gegen Tagesanbruch und in den Nachmittag fallen die Minima. Störungen in diesen Perioden werden verursacht durch Wind, Nebel und Wolken. Im allgemeinen entsprechen die Schwankungen der atmosphärischen Elektrizität den täglichen Schwankungen des Barometerstandes und der magnetischen Declination, ebenso treten die Maxima in den Tagesstunden auf, in denen der Temperaturwechsel sich oft jäh vollzieht, während die Minima feststehende Thermometerskalen aufweisen. Feuchtigkeit der Luft bedingt das Größerwerden und die längere Dauer der Maxima. Im Jahresverlaufe zeigen sich die Maxima im Januar und im Juni, das erstere ist bei weitem das stärkste. Die auftretende Elektrizität ist bei heiterem, beständigem Wetter positiv, sobald aber das Wetter unbeständig ist, negativ, und Palmieri machte die Erfahrung, daß beim Auftreten von negativer Elektrizität am Beobachtungsorte in einer gewissen Entfernung Regen, Hagel oder Schnee fiel. Fällt der Regen dagegen am Beobachtungsorte selbst und wird negative Elektrizität wahrgenommen, so ist der Regen in einer gewissen Entfernung dann immer stärker als am Beobachtungsorte, und Palmieri bemerkte, daß dann starke Mengen negativer Elektrizität gegen denselben strömen.

Bei starker Verdichtung von Wasserdampf in der Atmosphäre ist die Anhäufung von Elektrizität so bedeutend, daß der in die Höhe gehaltene Konduktor kräftige Funken giebt. Palmieri aber meint trotzdem, daß Gewitterwolken sich von gewöhnlichen Regenwolken nur insofern unterscheiden, als sie sich öfter und schneller in Wasser auflösen und dadurch eine größere Menge von Elektrizität entwickeln. Deshalb kann man beim Auftreten eines Maximums auf das baldige Erscheinen von Wolken schließen. Ferner beobachtete er bei Ausbrüchen des Vesuv, daß der in den Rauch-

wollen sich verdichtende Wasserdampf starke Mengen positiver Elektrizität enthält, während die dem Erdboden sich nähernde, herabfallende Aische negative Elektrizität annimmt.

Die Ergebnisse ermutigten die Entstehungsurachen der atmosphärischen Elektrizität bis zu ihrem Beginn zu verfolgen, freilich mit immer noch vergeblicher Mühe, weil die Schwierigkeiten überaus große sind und Gaston Planté nimmt an, daß alle Weltkörper von Anbeginn positive Elektrizität besitzen, welche sie ausströmen. Da nun auf der Erde die unteren Luftschichten die dichtesten sind, so kann sich die ihr entströmende positive Elektrizität nur in den oberen Luftschichten ansammeln und zwischen der Wolke, welche diese Elektrizität aufnimmt und der negativ elektrischen Erdoberfläche müsse dann der Ausgleich stattfinden.

William und Werner Siemens betrachten die Sonne als Elektrizitätsquelle. Dieselbe, positiv, wirkt influenzierend auf die Erde, zerstreut dadurch die positive Elektrizität der Erde in den Weltraum und bannt die negative an die Erdoberfläche. Die der Erde entriffene positive begegnet sich mit der von der Sonne fortgeschleuderten negativen Elektrizität an der Grenze der Erdatmosphäre und bildet hier die Polarlichter, während Edlund (Seite 342) den elektrischen Strom als einen Ätherstrom ansieht, dessen Intensität durch die Äthermenge bedingt wird, welche durch den Querschnitt des Stromleiters in der Zeiteinheit fließt. Jordan dagegen entwickelt folgende Ansicht:

Durch die im Luftraum stattfindenden Bewegungen, welche mit Reibung verbunden sind, werden die Wasserteilchen positiv, die Luftteilchen negativ elektrisch. Letztere sind Nichtleiter und behalten als solche ihre Elektrizität bei, während erstere ihre positive Elektrizität an alle Körper übertragen, mit denen sie in Berührung kommen. Die Wolken können nun positiv oder negativ elektrisch auftreten.

Das erstere wird der Fall sein, wenn die Dunstbläschen, bevor sie sich zur Wolke vereinigen, einen Reibungsprozeß durchgemacht haben, das letztere wird eintreten, wenn die aufsteigenden Dunstbläschen, welche vor ihrer Reibung noch nicht elektrifiziert sind, die negative Elektrizität der Luft empfangen. Palmieri ist der Ansicht, daß der unmittelbare Ursprung der atmosphärischen Elektrizität in der Verdichtung der Wasserdämpfe zu suchen sei, weil die Lufterlektrizität sofort zunimmt, wenn die relative Feuchtigkeit der Luft stärker wird und die Spannung derselben bei Regen, Schnee oder Hagel bis zur Funkenbildung wächst.

Aber nicht bloß die elektrischen Erscheinungen in unserer Atmosphäre sind in den Kreis der Untersuchungen gezogen worden, sondern der gesamte Kosmos ist von Gaston Planté auf solche Erscheinungen hin untersucht,

und er hat dargethan, daß das Kupferoxyd, welches von der positiven Elektrode einer starken Batterie in einen Voltameter abgegeben wird, unter dem Einflusse eines Magnetpols eine spiralförmige Bewegung annimmt, welche rechts- oder linksseitig ist, je nachdem der genäherte Magnetpol ein Nord- oder ein Süd-Pol ist. Diese Erscheinungen gleichen den Bildern der Nebelflecke, wie sie uns von den Astronomen gegeben werden, sehr genau und man kann annehmen, gleichviel, ob wie im Haare der Berenice die Spiralbewegung eine umgekehrte Uhrzeigerbewegung oder in den Jagdhunden eine regelrechte Uhrzeigerbewegung ist, daß der Zentralkern dieser Nebelflecke der Ausgangspunkt eines Elektrizitätsstromes ist und die dem Nebel nahe stehenden Himmelskörper eine starke magnetische Wirkung ausüben. Ist dies der Fall, so ist die Bildung der Nebelflecke durch Plante erklärt.

Die mit der negativen Elektrode einer Sekundärbatterie in mit derselben verbundenen Stücken von Fliesspapier erzeugten elektrischen Durchbohrungen, sobald dieselbe in die Nähe der positiven Elektrode gebracht wurden, zeigten dieser gegenüber ein faserig aufgeworfenes Loch, dessen Fasern der Elektrode zugekehrt waren. Längere Fasern krümmten sich dabei an ihrem Ende hakenförmig. Diese Erscheinung ist sowohl eine Folge der kalorischen Wirkung als auch der bedeutenden Spannung der verwendeten Elektrizitätsquelle. Erstere bewirkt eine Verdampfung der Flüssigkeit und eine Austrocknung der feuchten organischen Fasern, letztere die mechanische Teilung der Materie, die der Entladung unterliegt und somit auch die Anziehung der Fasern.

Diese Erscheinung steht, nach Plante, in großer Übereinstimmung mit der Form und der Bildung der Sonnenflecken. Dieselben sind seiner Ansicht nach Höhlungen, welche durch starke elektrische Ausbrüche entstehen. Die Sonnenmasse muß, da die faserartigen Abstürze der Ränder der Flecken nach innen gekehrt sind, starke Ströme positiver Elektrizität entsenden. Folgende Versuche führten Plante zu einer ganz bestimmten Erklärung: Wenn man 4 oder 5 Sekundärelemente mit ihren gleichnamigen Polen verbindet, so ist der durch diese Verbindung erzeugte Strom so stark, daß er dicke Eisen- und Stahl-Drähte schmilzt und es lassen sich dadurch geschmolzene Metallkugeln von 7 bis 8 mm im Durchmesser herstellen. Plante beobachtete die Entstehung dieser Kugeln während des Schmelzprozesses durch eine Lupe und ein geschwärztes Glas.

Die geschmolzene Oberfläche der Kügelchen zeigte unter lebhafter Bewegung eine Reihe von Flecken, Erzeugnisse der aus dem Innern hervortretenden Gase.

Auch Lichterscheinungen und deren Schatten und Halbschatten konnten beobachtet werden. Unter fortwährend heftiger Bewegung entströmten zuletzt durch die Oberfläche der Kügelchen glühende Teilchen. Abgekühlt zeigten die Kügelchen sich rissig an der Oberfläche und hohl und ihre Umhüllung war

um so dünner, je gasreicher das Metall war. Sobald die Kügelchen ein bestimmtes Volumen erreicht hatten, riß der Draht, durch den der Entladungsstrom gefendet wurde und das entsprechende Kügelchen blieb an dem einen Drahtende hängen, wobei immer noch glühende Teilchen abgeschleudert wurden.

Das Ergebnis dieses Versuches brachte Plante zu folgenden Annahmen über die Erscheinungen am Sonnenkörper: Die Sonne kann als eine elektrifizierte Hohlkugel betrachtet werden, erfüllt mit Gasen und Dämpfen, rings umgeben mit einer glühenden geschmolzenen Hülle. Die Schwingungsbewegung derselben erzeugt die wahrgenommenen Faltungen der Oberfläche und die Sonnenflecken sind Durchbohrungen der Hülle, erzeugt durch die austretenden Dämpfe und Gase. Ihre eigentümliche Form erhalten sie dadurch, daß die Dämpfe stark positiv elektrisch sind. Die Protuberanzen oder Sonnenfackeln sind besonders starke Bewegungen der Gasmassen, die gleichfalls dem Sonneninneren entstammend, leuchtender sind als die Photosphäre, weil sie die Sonne mit einer höheren Temperatur verlassen. Die Dauer dieser Erscheinungen bei den kleinen Metallkügelchen läßt auf die Dauer derselben bei einer so ungeheuer großen Kugel wie die Sonne schließen.

Die Sonne selbst aber ist elektrifiziert; sie erzeugt diese Elektrizität aber nicht selbst, ebensowenig wie die Wärme und das Licht, welche sie entsendet, sondern sie hat einen Schatz von Elektrizität aus dem Urnebelringe erhalten, durch dessen Zusammenziehung sie mit den Planeten allmählich entstanden ist. Dieser Urnebelring würde sich aus einer anderen elektrischen Welle ableiten, die wiederum von einer anderen u. s. f. bis auf die erste Ursache, den Grund aller Dinge. Das Glühen und Leuchten der Sonne, auch auf Millionen Jahre hinaus noch gleich kräftig, würde doch nur einen Funken von kurzer Dauer darstellen in Bezug auf die Unendlichkeit des Raumes und der Zeit.

Nachdem wir so nachgewiesen haben, wie die Elektrizität uns den Weg in die Unendlichkeit zeigt und uns vom Weltenbau zuverlässige Kunde zu geben verspricht, kehren wir wieder zu unserer Mutter Erde zurück und verzeichnen die neuesten Ergebnisse des Fernsprechwesens, der Anwendung von elektrischem Lichte und der neuesten Edison'schen Versuche im Jahre 1888. Einer der wichtigsten Fortschritte im Fernsprechwesen ist gemacht worden durch die Ausdehnung desselben auf sehr große Entfernungen. Es ist dies ermöglicht worden durch die Einschaltung sehr empfindlicher Mikrophone.

Aber auch die Ausdehnung der telephonischen Anlagen auf dem platten Lande und ihre Verwendung im Dienste der Landwirtschaft nimmt immer größeren Umfang an. Es mehren sich täglich die Fälle in allen Bezirken, daß die Besitzer größerer Güter die Hauptstationen ihres Besitzes telephonisch mit ihrem Schreibtische in Verbindung bringen und dadurch fast gleichzeitig

das Personal in der Brennerei, der Stärkefabrik, im Pferde- bez. Kuhstalle, und Gärtner, Förster und Inspektor entsprechend in ihren Dienstwohnungen kontrollieren, ja sogar die Arbeit auf dem Felde leiten können.

Wie die Zeitschrift „Prakt. Landw.“ schreibt, sind zwei große und musterhafte Anlagen, mit den besten Apparaten neuester Konstruktion versehen, auf dem, dem Herrn Rittergutsbesitzer Märker gehörigen Besitztum Koblau bei Warlubien und auf der Herrschaft Kobylniki bei Obersitzko in der Provinz Posen, dem Herrn von Dwardowski gehörig, neuerdings (Frühjahr 1888) in Wirksamkeit getreten. Auf Kobylniki ist das Schloß Zentral- und zwei Vorwerke sind Telephon-Station, auf Koblau ist das Schloß mit dem Forsthaus und den Ökonomiegebäuden in direkte telephonische Verbindung gebracht.

Beide Anlagen sind mit den vom Kaiserlichen Reichs-Postamt für den Fernsprechverkehr als Geber ausschließlich eingeführten Mikrophonen, welche von Mix und Genest in Berlin erfunden und hergestellt sind, versehen. Diese Apparate erhöhen die Deutlichkeit der Sprachübertragung auch auf weite Fernen wesentlich und sie sind es hauptsächlich, welche den telephonischen Verkehr von Berlin mit Stettin, Hamburg, Halle, Leipzig, Breslau, Hannover u. s. w. vermitteln. Diese Apparate, welche mit einer senkrechten Schallplatte versehen sind, gestatten außerdem die Konstruktion eines tragbaren Apparates, den man als Handtelephon in Krankenzimmern, Schreibstuben und Wohnsälen u. s. w. benutzt.

Wir haben jetzt auch eine Statistik des Stadtfernsprechwesens in Europa. Nach derselben steht Deutschland an der Spitze von Europa. Es betrug:

in	am 1. Januar 1882		am 1. Januar 1888	
	Zahl der Netze	Zahl der Stellen	Zahl der Netze	Zahl der Stellen
Deutschland	21	3707	151	24 322
Österreich	3	870	13	4 200
Belgien	6	1941	14	4 674
Dänemark	1	516	6	1 837
Spanien	3	—	8	2 248
Frankreich	18	4437	28	9 487
Großbritannien	75	7287	183	20 426
Italien	13	5507	28	9 183
Luxemburg	—	—	15	483
Norwegen	—	—	21	3 930
Niederlande	4	1340	9	2 872
Portugal	2	80	2	890
Rußland	6	1351	37	7 585

Der Fernsprechbetrieb hat sich also in den 6 Jahren von 1882 bis 1888 in Frankreich verdoppelt, in England nicht ganz verdreifacht, in Österreich verfünffacht und in Deutschland verachtfsacht. Deutschland hat gegenwärtig dreimal soviel Telephonstellen wie Frankreich, sechsmal soviel wie Österreich und 4000 mehr als Großbritannien. Die elektrische Beleuchtung der Straßen, Plätze, öffentlicher und privater Gebäude hat ebenfalls gewaltige Fortschritte gemacht. Nicht nur, daß in allen Stadt- und Industriegebieten Glühlichter und Bogenlichter in staunenswerten Zahlen zunehmen, auch die Art der Anwendung wird immer großartiger.

Raum ist für Berlin die Umgestaltung der unvergleichlichen Straße „Unter den Linden“ beschlossen und die dafür vorgeschlagene märchenhafte elektrische Beleuchtung genehmigt, so tritt schon ein neuer Plan hervor, ganz nach amerikanischem Muster, die Beleuchtung ganzer Stadtteile auszuführen.

Am 16. Februar 1888 hat die Stadtverordneten = Versammlung von Berlin beschlossen, den Magistrat zu ersuchen, Auskunft zu geben, ob mit der elektrischen Beleuchtung nach dem System Brush Versuche angestellt sind, ob die betreffende Gesellschaft auch Privatbeleuchtung übernimmt und welche Ergebnisse etwa bereits bekannt sind. Zur Beantwortung dieser Fragen hat nun die in Berlin domizilierte Thüringer Bergbau-Gesellschaft dem Magistrat eine Offerte eingereicht in Begleitung einer ganz genau durchgearbeiteten technischen Vorlage, nach welcher die Gewerkschaft bereit ist, den Stadtteil: Platz vor dem Brandenburger Thor, Königgräberstraße bis einschließlich des Askaniſchen Platzes, Anhaltstraße, Wilhelmstraße bis zur Straße „Unter den Linden“, Poststraße, Wilhelm- und Zietenplatz und die um den Kaiserhof und die Dreifaltigkeitskirche belegenen Straßen, nach dem Brush-System elektrisch zu erleuchten.

Die Beleuchtung soll erfolgen mit 150 Brush-Bogenlampen zu 11 Ampère und 2000 Normalkerzen Lichtstärke und zwar für den Preis von 30 Pfennigen pro Lampe und Stunde. Dieser Preis ist um den sechsten Teil geringer als der, welchen die Stadt vertragsmäßig an die „Allgemeine Elektrizitäts = Aktiengesellschaft“ zu zahlen hat. Die Gewerkschaft hat bereits die Konzession zur Errichtung einer elektrischen Zentralsstation auf ihrem eigenen, in der Mühlenstraße Nr. 8 belegenen Grundstück, auf dem die Etabliſſements bereits erbaut sind. Von hier aus denkt sie den elektrischen Strom nicht bloß zur Straßenbeleuchtung abzugeben, sondern ihn auch allen möglichen Privatunternehmungen, welche desselben bedürfen werden, zuzuführen und so den Gedanken zu verwirklichen, von jetzt an auch das elektrische Licht auf weite Entfernungen zu senden.

Amerika ist freilich in dieser Beziehung Europa weit voraus und es sind dort Anlagen ausgeführt, die unser Erstaunen erregen. Ja, kühne Geister fassen den Gedanken, elektrische Lichtstationen auf dem Ozean einzurichten, den Meeresgrund willkürlich zu erleuchten und ein kontinuierliches Photophon um die ganze Erde zu spannen. Wer leben wird, wird sehen. Daß dabei das Erfindungs-genie eines Edison nicht unthätig bleibt, ist leicht vorauszusehen und gerade jetzt erfahren wir von ihm, daß er gegenwärtig an der Frage arbeitet, wie sich die Wärme am ausgiebigsten in Elektrizität umsetzen läßt. Er stützt sich dabei auf die längst bekannte Thatsache, daß der Magnetismus durch Wärme geschwächt und schließlich aufgehoben werden kann. Es verliert nämlich Eisen bereits bei 400° C., Nickel bei Rot- und Kobalt bei Weißglut seinen Magnetismus, ja diese Metalle erweisen sich bei solcher Temperatur auch gänzlich unempfindlich für Magnetisierung und sind also um so schwächer magnetisch, je mehr ihre Temperatur sich dem Vernichtungspunkte nähert.

Gerade umgekehrt aber verhalten sich diese Metalle bei der Abkühlung, d. h. je mehr dieselbe zunimmt, desto stärker magnetisch werden sie und es wächst auch ihre Aufnahmefähigkeit für den Magnetismus. Aus diesen Thatsachen ergibt sich, daß der Magnetismus durch Schwankungen in der Temperatur verändert wird.

Sobald sich nun geschlossene Leiter in dem magnetischen Felde befinden, werden durch Veränderungen des Magnetismus elektrische Ströme erregt.

Diese beiden Thatsachen haben Edison auf die Erfindung seines „pyro-magnetischen Elektrizitäts-Entwicklers“ gebracht. Derselbe besteht aus einer kurzen, dünnwandigen Röhre von gewelltem Eisenblech, welche mit Kupferdraht umwickelt wird. Dieselbe wird als Induktor zwischen die Pole eines Magnets gestellt und alsdann werden abwechselnd bald heiße, bald kalte Ströme durch die Eisenröhre gesandt. Diese Ströme beeinflussen den Magnetismus, der in der Röhre durch die beiden Magnetpole erzeugt wird und zwar, nach den oben festgestellten Thatsachen, schwächt die heiße Luft denselben, während ihn die kalte Luft verstärkt. Jede Veränderung des Magnetismus aber induziert Ströme in der Kupferspirale und dieselben können, wie die von den Dynamomaschinen erzeugten Ströme, weitergeleitet werden.

Edison selbst teilte nun in einem Vortrage, welchen er in einer Sitzung der American Association for the Advancement of Science hielt, die Grundzüge seiner Erfindung mit und beschreibt einen von ihm konstruierten Apparat. Er hat zu demselben acht Elektromagneten verwendet, zwischen denen acht Eisenröhren obiger Konstruktion in Thätigkeit

sind. Die Umdrehungen einer halbkreisförmigen Scheibe bewirken, daß immer je vier Röhren der heißen Luft zugänglich sind, während die vier andern gegen dieselbe geschützt, sich, vermöge ihrer dünnen Wandung, rasch abkühlen. Die Scheibe macht in der Minute 120 Umdrehungen, bewirkt also in einer Minute 120mal eine Erhitzung und eine Abkühlung der Röhren, und Edison versichert, daß die bisherigen Ergebnisse zu dem Schlusse berechtigen, daß die Ökonomie der Produktion elektrischer Energie mittels der Wärme durch diesen Apparat mindestens gleich, wahrscheinlich aber größer sein werde, als die, welche mittels jeder anderen der bisher gebräuchlichen Methoden erzielt wird. Außerdem bedürfe der Apparat keiner Beaufsichtigung und die überschüssige Energie des Brennmaterials lasse sich leicht zur Erwärmung des Hauses benutzen. Der „pyro-magnetische Elektrizitäts-Entwickler“ sei somit der Stromerzeuger der Zukunft, der nicht nur unser Haus bequem elektrisch erleuchten, sondern auch zugleich durchwärmen werde.

Wer es erlebt, der wird ja sehen, ob sich Edisons neuester Gedanke auch in der Praxis so, wie sein Erzeuger meint, bewähren wird — es wäre der gewaltigste Fortschritt auf dem Gebiete der elektrischen Erleuchtung, auf dem Gebiete, das in dem Augenblicke, wo wir dies niederschreiben, alle anderen Fortschritte des scheidenden Jahrhunderts hinter sich läßt. Während Ende März 1886 die Zahl der elektrischen Beleuchtungseinrichtungen in Berlin 152 mit 736 Bogen- und 12 705 Glühlampen betrug, war dieselbe Ende März 1887 auf 333 Einrichtungen mit 1554 Bogen- und 22 705 Glühlampen gestiegen und dürfte Ende März 1888 auf 500 Einrichtungen mit 3000 Bogen- und 40 000 Glühlampen gewachsen sein.

Die rastlose Thätigkeit Edisons hat auch wieder den Phonographen aus dem Dunkel hervorgezogen und ihn in erneuerter Auflage an die Öffentlichkeit gebracht. Im Prinzipie desselben ist keine Neuerung eingetreten, wohl aber in der Konstruktion des Apparats. Das Staniolblatt, in welches die Luftwellen sonst eingegraben wurden, ersetzt Edison jetzt durch einen Wachsylinder, in welchen zuerst eine englaufende Spirale eingeschnitten wird, dann erst werden durch die registrierende Membran, welche in ihrer Mitte eine Stahlnadel trägt, die Eindrücke der auf sie treffenden Luftwellen entsprechend eingetragen. Ein Goldschlägerhäutchen, an welchem ein dünner Stahldraht sitzt, der über die Wachsspirale hingeleitet, bildet das zweite Diaphragma, welches die Töne wiedergiebt. Ein elektrischer Motor mit empfindlicher Regulierung setzt den Cylinder in gleichmäßige Umdrehung. Zu seinem Betriebe bedarf es nur zweier galvanischer Elemente. Durch diese Änderung in der Konstruktion hat Edison

nicht die Tonfülle bei der Wiedergabe verstärken, sondern eine möglichst getreue Wiedergabe der Luftwellen erwirken wollen und nach seiner Erklärung auch auf eine ihn selbst überraschende Weise erwirkt.

Dr. Wietlisbach in Bern giebt uns im Aprilheft des Humboldt 1888 Bericht über das von Elihu Thomson in Amerika angewendete Verfahren, den elektrischen Strom zum Schweißen der Metalle zu verwerten.

Seine Methode beruht auf folgender Erwägung: Metallstücke, gegeneinandergepreßt, erhitzen sich an der Berührungsstelle, sobald ein starker Strom durch sie gesendet wird, am stärksten und ein sehr kräftiger Strom erwirkt eine solche Erweichung der Metallstücke an dieser Stelle, daß sie eine dauernde und mechanisch widerstandsfähige Verbindung eingehen. Um für die Praxis diese Thatsache zu verwerten, reichen aber die Ströme, welche von gewöhnlichen Maschinen erzeugt werden, bei weitem nicht aus und Thomson benutzte deshalb als Stromquelle einen Transformator (eine entsprechend konstruierte Induktionsspirale) mit großem Umformverhältnisse, welcher durch eine ebenfalls entsprechende Wechselstrommaschine gespeist wird. Ein zu solchem Zwecke konstruierter Transformator besitzt eine sekundäre Wirkung mit bloß 0,00003 Ohm Widerstand und liefert einen Strom von 12 000 Ampère, dabei ist die elektromotorische Kraft, welche durch die Induktion des primären Stromes erzeugt wird, nicht größer als 1 Volt.

Durch eine so gewaltige Stromstärke kann eine Hitze erzeugt werden, welche jedes Metall zum Schmelzen bringt und es lassen sich also auch Metalle schweißen, die früher nur unter großen Schwierigkeiten oder gar nicht zusammenzubringen waren. Dabei ist das Verfahren äußerst einfach. Die blanken Enden der Metallstücke, welche zusammengeschnitten werden sollen, werden in die Klemmen der sekundären Wirkung des Transformators eingefügt und zusammengepreßt. Die Verbindungsstelle wird mit Zinkchlorid und Borax überzogen, dann schließt man den primären Kreis und verstärkt nach und nach die Wirkung entweder durch Einschieben von Eisenkernen oder durch Ausschalten von Widerständen, die sich im primären Stromkreise befinden, bis die Schweißung sich vollzogen hat. Je geringer das elektrische und das Wärmeleitungsvermögen ist, mit desto schwächeren Strömen gelingt die Schweißung und desto stärkere Stücke lassen sich verbinden. Darum gelang es Stahlstücke von 22 cm Durchmesser, aber nur Kupferdrähte von 1,6 mm Durchmesser zu schweißen. Ein anderes Schweißungsverfahren zeigen Benardos und Dlugenski in St. Petersburg an. Die Metallstücke werden nach demselben mit dem negativen Pole einer Stromquelle verbunden und gleichzeitig mit einer Kohle berührt, welche an den positiven Pol angeschlossen ist. Mit dieser Kohle erzeugt

man an der betreffenden Stelle einen Lichtbogen mit einer so großen Wärmewirkung, daß alle Metalle zum Schmelzen gebracht werden. Dieses Verfahren ermöglicht es auch Metallbleche zu durchbohren.

Am negativen Pole wird dabei eine kräftig reduzierende Wirkung erzeugt, welche die Drydation des bearbeiteten Stückes verhindert, was deshalb wesentlich zum Gelingen des Schweißprozesses ist, weil bei der Drydation Dämpfe von solcher Dichtigkeit auftreten, daß die zu bearbeitende Stelle unsichtbar wird. Um eine genaue Regulierung der Spannung und Stromstärke zu erzielen, werden besonders konstruierte Akkumulatoren verwendet, welche parallel oder nach Bedürfnis in beliebiger Anzahl hintereinander geschaltet werden können. Auch die größere oder geringere Entfernung des Kohlenstabes von dem betreffenden Metallstück, also die Veränderung der Länge des Lichtbogens, ändert die Stromstärke. Diese Art der Stromveränderung bewirkt, daß nur diejenigen Metallteilchen zum Schmelzen gelangen, welche von dem Lichtbogen getroffen werden und daß, wenn die Wirkung desselben aufhört, die Metallteilchen wieder erstarren. Die Wirkung dieser Art des Schweißverfahrens ist überaus kräftig, doch liegen über die Haltbarkeit der Schweißstellen noch keine Erfahrungen zur Zeit vor.

Die Elektrizität, als Arbeitskraft der Zukunft, fördert nun auch bereits die Gewinnung des Aluminiums, des Metalls der Zukunft.

Um Aluminium darzustellen, bediente man sich bisher eines Gemisches von Thonerde, Eisenoxyd, Wasser und etwas Kieselsäure — Baurit genannt — mit Hilfe von Natrium. Das Verfahren, ziemlich umständlich und kostspielig, drängte zu ergebnisreicheren Versuchen und es lag nahe, dazu die Elektrolyse zu verwenden. Von den auf derselben ruhenden Versuchen ist der bekannteste der von E. G. Cowles, der die Wasserkraft am Niagarafall dazu in Dienst nimmt.

Die Elektrolyse geschieht hier in einem Schmelzofen, welcher in Form eines rechteckigen länglichen Kastens aus feuerfestem Material aufgebaut ist. An den schmalen Enden treten die Elektrodenkohlen in den Kasten ein. Die Füllung desselben besteht aus 6 kg gepulvertem Korund, 8 kg gekörntem Kupfer mit Zwischenfüllung von grob zerkleinerter Holzkohle. Die Feuerung, unter dem Kasten angebracht, schmilzt diese Mischung, in welchem Zustande sie erst leitend wird. Durch die Elektroden wird jetzt ein starker elektrischer Strom in die geschmolzene Masse geleitet, wobei der Korund (Aluminiumoxyd) in Aluminium und Sauerstoff zerlegt wird. Der Sauerstoff verbindet sich mit der Kohle zu Kohlenoxydgas und entweicht, während das Aluminium sich mit dem Kupfer zu einer Legierung vereinigt, die es vor einer neuen Verbindung mit der Kohle, wozu es große

Neigung hat, bewahrt. Um durch dieses Verfahren 1 kg Aluminium zu gewinnen, bedarf es eines Aufwandes von 60 Pferdekraften durch 24 Stunden.

Seit etwa zwei Jahren hat nun Cowles bei Lockport, in 40 km Entfernung vom Niagarafall, eine Fabrik eingerichtet, zu welcher das Wasser in Röhren geleitet wird. Der zur Elektrolyse nötige Strom wird erzeugt durch eine von Brush konstruierte Dynamomaschine, die größte und stärkste aller gegenwärtig vorhandenen Dynamomaschinen. Sie hat ein Gewicht von 10 Tonnen, absorbiert 500 Pferdestärken und liefert einen Strom von 3800 Ampère mit 300 Volt Klemmspannung.

Da das Verfahren von Cowles noch Kohlenfeuerung erfordert, so verwendet Kleiner zum Schmelzen den elektrischen Lichtbogen und als Rohmaterial den Kryolith, eine Fluorverbindung. Derselbe wird zu Staub zermalen, mit einem Alkalium und Holzkohle vermischt in einen Herd aus Bauxit gefüllt, in welchen nur die eine Kohlenelektrode hineinragt. Dann wird durch einen besonderen Kohlenstab ein Lichtbogen erzeugt, mit welchem das Erz geschmolzen wird. In diese geschmolzene Masse wird als zweite Elektrode ein Kohlencylinder eingetaucht und dann ein Strom hindurchgeschickt, der das geschmolzene Erz reduziert. Das dadurch erzeugte Produkt soll 95—99 pCt. reines Aluminium enthalten. Um das Verfahren im großen zu erproben, wollte man dazu die Kraft des Rheinfalles bei Schaffhausen verwenden. Die Verhandlungen führten aber zu keinem Ergebnis und so soll jetzt das Verfahren in den Kohlendistrikten Englands in größerem Maßstabe versucht werden.

Um die physikalische Beschaffenheit des elektrischen Lichtbogens zu ergründen, sind zahlreiche Versuche angestellt worden, die aber noch kein sicheres Ergebnis erzielt haben.

Der Widerstand des elektrischen Lichtbogens ist von Fröhlich auf die Form $W = a + b \cdot l$ gebracht worden, a und b bezeichnen die Konstanten und l die Länge des Lichtbogens. Diesen Widerstand versuchten einige in den Ohmschen Widerstand und eine sogenannte elektromotorische Gegenkraft zu zerlegen und für den Widerstand $b = 1$ bis 1,5 Ohm, wenn l in mm, und für die Gegenkraft $a = 40$ Volt festzusetzen.

Doch haben neuere Versuche klargestellt, daß a keine elektromotorische Gegenkraft, sondern ein Spannungsverlust infolge eines Übergangswiderstandes ist, der durch die Größe der Stromstärke mitbestimmt wird.

In der Münchener Versuchstation hat auf Grund der Fröhlich'schen Formel Uppenborn mit Kohlen der verschiedensten Herkunft zahlreiche Messungen angestellt, aus denen er folgende Modifikationen derselben herleitet:

Die Konstanten a und b sind nicht von der Stromstärke, sondern von der Stromdichtigkeit abhängig; a nimmt mit wachsender Stromdichte zu und zwar von 25 bis 45, b nimmt mit wachsender Stromdichte ab. Bei gleicher Stromstärke sind die Konstanten a und b abhängig von der Beschaffenheit der Kohlenstäbe.

Wie Uppenborn die Kohlen, so hat v. Lang eine Anzahl von Metallen untersucht. Er berücksichtigte dabei aber die Abhängigkeit der Konstanten a und b von der Stromdichte nicht und erhielt deshalb keine gut übereinstimmenden Ergebnisse. Er schloß aber aus diesen Untersuchungen, daß der Übergangswiderstand um so höher liege, je höher der Schmelzpunkt des untersuchten Metalls ist.

Dr. E. Lerch stellte dieses Ergebnis dahin richtig, daß die Potentialdifferenz des Lichtbogens von der Temperatur der Elektroden abhängig ist. Setzt man zwei Kohlenelektroden in bestimmte Entfernung von 2 mm, so kann durch Erwärmung oder Abkühlung derselben die Potentialdifferenz von 52 Volt bis auf 35 Volt erniedrigt werden. Je kälter also die Elektroden sind, um so tiefer sinkt auch die Potentialdifferenz und daraus erklärt sich sofort, warum dieselbe bei leicht schmelzbaren Metallen tiefer liegt, als bei schwer schmelzbaren. Bestehen die Elektroden aus Platin oder Eisen, so liefert Lerch den Nachweis, daß die Entladungen diskontinuierlich von der einen Elektrode auf die andere überspringen. Zu diesem Zwecke wird ein dünner Messingdraht durch einen Kondensator zwischen die beiden Elektroden des Lichtbogens angeschlossen. Wenn die Ladung nun intermittierend vor sich geht, so entstehen Ladungs- und Entladungsströme des Kondensators, welche bei der getroffenen Einrichtung genügen, den Messingdraht intermittierend zu erwärmen, wodurch derselbe in Vibration versetzt wird. Findet jedoch die Überleitung der Elektrizität im Lichtbogen kontinuierlich statt, so entstehen keine Ladungsströme, es kommt keine intermittierende Erwärmung zustande und der Draht kommt nicht in Vibration. Das letztere ist aber nur der Fall, wenn die Elektroden aus Platin oder Eisen bestehen, sind sie aus anderen Metallen oder aus Kohle hergestellt, so unterbleibt die Vibration. Das Unterbleiben der Vibration bei den Elektroden, die nicht aus Platin oder Eisen hergestellt sind, läßt nur den Schluß zu, daß die Entladungen bei diesen Elektroden so rasch aufeinanderfolgen, daß keine Abkühlung zwischen der Erwärmung möglich ist.

Auf dem Gebiete der Physiologie hat bereits Du Bois-Reymond die Thatsache entdeckt und nachgewiesen, daß bei der Thätigkeit der Muskeln eine Säuerung derselben auftritt. Dreher hat nun im Zentralblatt für Physiologie 1887 S. 193 die beste Methode angegeben, diese Thatsache handgreiflich zu demonstrieren.

Die Gewebe eines Frosches werden durch Einspritzung von 2—3 cem einer fünfprozentigen Säurefuchsinlösung innerhalb 12 Stunden imprägniert. Dieser Stoff ist unschädlich und in den alkalischen Körperflüssigkeiten farblos. Hierauf schneidet man den Frosch mitten durch und reizt den nervus ischiadicus der einen Seite intermittierend tetanisch mit Hilfe eines Metronoms, das in den primären Stromkreis eines Du Bois-Reymond'schen Schlitten-Induktors eingeschaltet ist, während der Dauer von 10—15 Minuten. Wenn man dann die Haut von den Unterschenkeln abzieht, so zeigen sich die Muskeln der gereizten Stelle lebhaft fuchsinrot gefärbt, die der anderen dagegen erscheinen farblos. Die mikroskopische Untersuchung des frisch geröteten Muskels ergibt, daß der die Säure anzeigende Farbstoff nicht in den Muskelfasern selbst, sondern in den Lymphspalten zwischen ihnen sich befindet. Dies zeigt sich besonders deutlich an den Anheftungsstellen der Sarkolemmschläuche an die Sehnen.

In den Versuchen, chemische Prozesse der Synthese mit Wasserabspaltung außerhalb des Organismus nachzuahmen, welche seit Jahren von Drechsel unter Mitwirkung von Elektrizität verfolgt werden, hat sich die Vergrößerung der Wirkungsflächen und die Verkleinerung des Abstandes der Elektrodenflächen gegenwärtig sehr wirksam erwiesen. Auf die Thatfache bauend, daß auch im tierischen Körper die chemischen Umsetzungen vermutlich auf einem sehr kleinen Raum stattfinden, der Kleinheit der elementaren Gewebeteile entsprechend, und daß ferner durch die große Anzahl der thätigen Orte eine Häufung der Produkte stattfindet, hat Drechsel in die Lösungen, auf welche er den konstanten Strom einwirken lassen wollte, Platinmohr eingetragen. Sobald der konstante Strom hindurch geleitet wurde, bildeten sich Gasblasen im Mohr als Zeichen, daß an der Oberfläche der Mohrteilchen Zersetzung auftrat. Bei einem solchen Versuche mit kohlensaurem Ammoniak gelang es, das Auftreten von Harnstoff nachzuweisen, welches ausblieb, wenn der Mohr weggelassen wurde. Ein Versuch mit einem Gemenge von Phenol und schwefelsaurem Natron ergab die Bildung von Phenolätherschwefelsäure. Nach diesen Ergebnissen hält es Drechsel für wahrscheinlich, daß elektrische Ströme auch im Organismus bei diesen Synthesen wirksam sind.

Auch über die Wärmeleitfähigkeit im magnetischen Felde liegen neue Ergebnisse vor. Wie Batelli gezeigt hat, verändert sich dieselbe für das Eisen nur sehr wenig. Goldhammer vermutete, daß die Änderung für das Wismut bedeutend sein dürfte, da nach Righi die elektrische Leitfähigkeit dieses Metalls unter Umständen 12 bis 16 Prozent abnehmen kann und dieser Eigenschaft die Wärmeleitung meist parallel verläuft. Righi ist es nun nach langen Mühen durch besondere Anordnung der

thermischen Ketten und mit Hilfe anderer besonderer Kunstgriffe gelungen, die sehr großen Schwierigkeiten für diese Untersuchungen zu überwinden. Er brachte zwei gleiche Stücke Wismut, welche aus demselben Barren entnommen waren, in gleicher Lage gegen die Stromrichtung und gegen die Kraftichtung, in magnetische Felder von gleicher Stärke. Die elektrische Leitungsfähigkeit des einen verminderte sich um 11,4 Prozent, die Wärmeleitungsfähigkeit des anderen um 12,2 Prozent.

Laduc dagegen fand eine Verminderung der elektrischen Leitungsfähigkeit um 16 und der Wärmeleitung um 14 Prozent. Er hatte bei diesen Versuchen ein doppelt so starkes magnetisches Feld wie Righi und benutzte als positives Metall seiner Thermoketten die Wismutplatte selbst und setzte als negatives Metall an verschiedenen Stellen Platindrähte ein.

Zur sichtbaren Darstellung des Diamagnetismus bedient sich Marangoni einer besonderen Methode. Er füllt die betreffende Flüssigkeit in eine kleine Glasugel bis zu zwei diametralen Öffnungen, durch welche die zwei Polspitzen eines Elektromagnets herein in die Oberfläche der Flüssigkeit ragen. Beim Stromschlusse hebt sich die Flüssigkeit, wenn sie paramagnetisch, und sinkt, wenn sie diamagnetisch ist. Stärker tritt die Erscheinung auf, wenn die untere Hälfte der Kugel mit einer schwereren paramagnetischen Flüssigkeit, etwa mit ätherischer Eisenchloridlösung, und die obere mit einer leichteren diamagnetischen, etwa Melkenöl, gefüllt ist. Gingen dabei die Pole von oben und unten in einen Glaszylinder bis an die Oberfläche der zu untersuchenden Flüssigkeit, so kann die Erscheinung durch Projizieren mit Skioptikon auf eine dunkle Wand einer großen Versammlung objektiv dargestellt werden.

So sehen wir, wie auf allen Gebieten den elektrischen, magnetischen und magnetoelektrischen Erscheinungen nachgeforscht wird und wie durch die unermüdete Thätigkeit der Wissenschaft nicht nur neue Hilfsquellen für die materielle Existenz der Menschen geschaffen, sondern auch geheimnisvolle Prozesse erklärt werden, deren Aufhellung vor kurzem noch ganz unmöglich erschien. Kein Gedanke ist mehr zu kühn für den Menschen; soweit die Erde reicht, fühlt er sich als Herr und Schritt für Schritt geht er den geheimen Ursachen nach, welche in den Dingen thätig sind, um sie, erkannt, sofort seinen Befehlen dienstbar zu machen. Es kann nicht fehlen, daß dadurch die neu hervordachsenden Geschlechter immer mehr sich anderen Lebensbedingungen zuneigen, und daß mit dem Antritte des 2000. Jahrhunderts in der Entwicklung der Menschheit eine Epoche abgeschlossen wird, die man mit vollem Rechte die Zeit der Herrschaft des Eisens nennen darf.

Das achtzehnte und neunzehnte Jahrhundert bilden die Überleitung zu einem ganz neuen Leben und die Zukunft wird dem Menschen in seiner

Bewegungsfähigkeit auf seinem Erdenwohnsttze thatsächlich Schwingen verleihen und wie wir gegenwärtig mit heimlichem Grausen auf das Leben der vorgehichtlichen Menschen blicken, so wird man in kommenden Zeiten mit ebenso heimlichem Grausen auf die abgeschlossene Eisenzeit zurückblicken, in der die Menschen sich nach allen Regeln der Kunst zerfleischten und die Kanonen schließlich allein das entscheidende Wort hatten. Wesen, welche sicher durch die Lüfte steuern, Werkzeuge und Maschinen aus Aluminiumlegierungen herstellen und das Wasserstoffgas an Stelle der Kohlen und des Kohlengases setzen, werden sich nicht nur andere Wohneinrichtungen schaffen, sondern durch veränderte Lebensbedingungen auch in der leiblichen Erscheinung sich ändern, und da das Leben ein stetiges Herausarbeiten aus dem Häßlichen zum Schönen darstellt, so dürfen wir annehmen, daß der Mensch der Zukunft einst in vollendeter Schönheit über die durch seine rastlose Thätigkeit neugewandelte Erde dahinschreiten wird.

Sachregister.

(Die beigefügten Zahlen sind die Seitenzahlen.)

- Baronsstab 148.
Aberglaube 343.
Abstoßung, elektrische 97; magnetische 299.
Abstoßungskraft 44.
Abweichungs-Nadel 328.
Achromatisches Fernrohr 14.
Achse, magnetische 295. 593.
Actino-Elektrizität 237.
Aggregat-Zustände 43.
Agone 324.
Akumulatoren 174. 506; galvanische 382;
Wagen mit A. 507.
Akustik 14. 38. 47. 48.
Alchemie 7.
Alfenide 396.
Alkohol-Entzündung, elektr. 158.
Alphabet. Telegraphen-A. 435.
Aluminium, elektr. Gewinnung 625; Leit-
fähigkeit 230.
Aluminiumbronze, Leitfähigkeit 230.
Aluminiummetall 400.
Amalgamieren galvanischer Elemente 369.
Ammoniak 15.
Ampère'sche Theorie 466.
Ampiktube 328.
Analoger Pol 236.
Anelektrische Körper 55. 56.
Aneroid-Barometer 39.
Anion 379.
Anlassen des Stahls 308.
Annäherung, magnetische 303.
Anode 379.
Ansammlung der Elektrizität 108.
Ansammlungs-Apparate, elektr. 165.
Anstreichung, magnetische 302.
Antiloger Pol 236.
Antimon, Leitfähigkeit 230.
Anziehung, elektr. 97; magnetische 295. 299.
Anziehungskraft 44.
Apparat zur Entwicklung von Knallgas 378;
zur galvanischen Verfilberung 395; galvano-
plastischer 385. 387. 388; Induktions-A.
477; magnetischer Schlitzen-A. 480; mag-
neto-elekt. Induktions-A. 494; Rota-
tions-A. 465. 468; zur Zerlegung des
Wassers 377.
Äquator, magnetischer 295. 325.
Äquivalenz der Arbeit und Wärme 33.
Arbeit in Elektrizität umgewandelt 130;
magnet-elekt. 581.
Armatur natürlicher Magnete 296.
Armierung natürlicher Magnete 296.
Armstrong's Dampf-Elektrifiziermaschine 118.
Astratische Nadel 320.
Astronomie 7.
Astronomie 1.
Astronomische Beobachtungen durch galva-
nische Uhren 455.
Astrophysik 36.
Äther 35; Ä.-Entzündung 158; Physik des
Äthers 47; Ä.-Theorie 66.
Atmosphäre (Dampfdruck) 121.
Atmosphäre, elektrische 74.
Atmosphärische Elektrizität 67. 239. 610.
Atome 40. 42.
Atomistische Molekular-Theorie 43.
Aufhebung, gegenseitige, der Elektrizität 64.
Aufreißungsscheibe, zentrale 215.
Aufsaugen der Elektrizität 97.
Aufftreuungsringe 215.
Ausdehnung, magnet-elekt. 581.
Ausläder, elektr. 175. 184. 487.
Ausladungs-Elektrometer 185.
Ausströmen der Elektrizität 95; eines Dampf-
strahls erregter G. 234.
Automaten-Schicht, telegraphische 417.
Bäder, elektrische 481.
Ballon-Elemente 368.
Barometer 10. 39.
Batterie, Bunsen'sche 368; Comacho's Chrom-
säure-B. 370; elektrische 183; galvanische
20. 366; Planté's Sekundär-B. 382.
Baumwolle, elektrische 137.
Bec-Carrel 552.
Beker-Apparat, galvanischer 371; Volta'scher
B.-A. 367.
Beleuchtung, elektrische 520.
Bell's Telephon 25. 559.
Beobachtung der Naturgegenstände 45.
Berger's Elektrophor 87.
Bergwerke, Verwertung der Elektrolyse in
denselben 398.
Berührung, magnetische 302.
Berührungs-Elektrizität 20. 67. 355.
Beschleunigung, magnet-elekt. 581.
Beschreibende Naturwissenschaften 1.
Bestrahlung von Krytallen 237.
Bifilar-Elektrometer 615.
Bildsäulen, Reproduktion 391.
Binjenmarc-Elektroskop 82.
Blei, elektr. Leitfähigkeit 230.
Blitz 146. 206. 225. 264. 272; -ableiter
18. 206. 286; -bild 283; - und Donner
239; - ohne Donner 292; Einschlagen

Blitz.
 desselben 277; in Kugelform 604; -rad,
 galvanisches 373; -röhren 147. 205. 281;
 -schläge 265. 277; -schläge, kalte 282;
 -tafel 148. 175; -versuch 194; -zeich-
 nungen 282.
 Blocksystem bei Eisenbahnen 571.
 Blume, elektrische 137.
 Blumentopf, elektrischer 211.
 Bogenlicht, elektrisches 30. 375.
 Bogenlichtlampe, elektrisches 525.
 Boot, elektrisches 509.
 Boston-Lampen 540.
 Botanik 1.
 Braunstein-Element, Reclanché's 369.
 Brennspiegel 8.
 Brillen 7.
 Brochen, elektr. leuchtende 550.
 Brücke, Wheatstone'sche 415.
 Bundeslade (biblische) 260.
 Bunsen'sche Batterie 368.
 Büschellicht, elektrisches 152.
 Busennadeln, elektr. leuchtende 550.
 Bussole, Deklinations- 323.

Camera lucida 37; obscura 8. 12.
 Caselli's Handschrift-Telegraph 442.
 Chemie 1.
 Chemisch zusammengesetzte Körper 43.
 Chemische Wirkungen 214; des Blitzes 284;
 des galvanischen Stromes 376; der In-
 duktionsströme 490.
 Chemischer Drucktelegraph 441.
 Chlorwasserstoff 15.
 Chrom-Alaun 370; -säure 370.
 Chromsäure-Batterie, Comacho's 370.
 Chronoskop 457.
 Cliches 392.
 Comacho's Chromsäure-Batterie 370.
 Compound-Dynamomaschine 546.
 Corbinello 397.
 Coulomb's elektr. Drehwage 19. 100; C.'s
 Gesetz der elektr. Anziehung und Ab-
 stoßung 97.
 Cyankalium 388.
 Cylindern 608.
 Cylinder-Elektrifiziermasch. 112; -Induktor 423.

Daguerre's Apparat 37.
 Daguerrotypen 37.
 Damaszierung, galvanische 398.
 Dampflochtopf 13.
 Dampfmaschine, doppelt wirkende 16. 17;
 Savary's D. 16.
 Dampf-Elektrifiziermaschine 27. 118. 121.
 Dampfstrahl erzeugt Elektrizität 231.
 Daniell's Element 32. 367.
 Dauer des Entladungsfunkens 225.

Deformation beim Telephonieren 568.
 Deklination, magnetische 322.
 Deklinationsbussole 323.
 Deklinatorium 323.
 Demonstrations-Telephon 575.
 Diademe, elektr. leuchtende 550.
 Diamagnetische Körper 307. 586.
 Diamagnetismus 22. 585. 629.
 Dichte, elektrische 103.
 Dichtigkeit der Elektrizität 93.
 Dielektrika 57. 76.
 Dielektrikum 174.
 Dielektrische Körper 57; Polarisation 75.
 Dielektrizitäts-Konstante 175.
 Differentiallampe Helmholtz's 31. 524.
 Dimension, magnet.-elektr. 581.
 Disjunktur 484.
 Diffipation 250.
 Donner 284; und Blitz 239.
 Doppelpendel-Elektroskop 77.
 Doppelsprecher, telegraphischer 444; mit pho-
 nischem Rad 446.
 Doppeltisch beim Magnetisieren 313.
 Doppel-Typendruck-Telegraph 445.
 Drache, elektrischer 255.
 Drehung der Polarisationsebene 596.
 Drehungs-Elastizität 420.
 Drehwage, Coulomb'sche 19; elektrische 100.
 Druck, Elektrizitäts-Erregung 234.
 Drucktelegraph, chemischer 441.
 Dualistische Hypothese 64.
 Duplikator 123.
 Durchbohrung, elektrische 191; von Glas 161.
 Dynamik 47.
 Dynamomaschinen 494. 545. 546.

Edison's Dynamomaschine 502; Glühlampe
 536.
 Ei, elektrisches 156.
 Einfache Körper 43.
 Einfacher Strich beim Magnetisieren 312.
 Einheit, elektrische 103. 105.
 Einschlagen des Blitzes 277.
 Eisen, Leitfähigkeit 229; Magnetisierung 304.
 Eisenbahn, elektrische 29. 510.
 Eisendraht, Erwärmen, Glühen, Schmelzen 199.
 Eisennieder schläge, galvanische 386.
 Elastizität, Ervions- (Drehungs-) E. 420.
 Elektrizität 54.
 Elektrikum 63.
 Elektrisch. Ansammlungs-Apparate 165; At-
 mosphäre 74; Bäder 481; Batterie 183;
 Baumwolle 137; Beleuchtung 520; Blume
 137; Blumentopf 211; Bogenlicht 375;
 Bogenlichtlampe 525; Boot 509; Büschel-
 licht 152; Dichte 103; Drache 255; Dreh-
 wagen 100; Durchbohrung 161. 191; Ei
 156; Eisenbahn 29. 510; Entladung 492;
 Entzündung 158; Extrastrom 482; Feld 74;

Elektrisch.

Fernwirkung 97; Feuermelder 455; Fische 601; Flugrad 96. 142; Funke 144. 146. 222; Funkenspiel 151; Generalumschalter 527; Gewinnung des Aluminiums 625; Glühlicht 154; Gloden-
spiel 140; Glühlicht 533; Grubenbahnen 514; Halbkugeln 90; Hauchbläser 197; Kapazität 107; Klingeln 453; Kohlenlicht 375; Kondensatoren 165; Kräftlinien 74; Kraftübertragung 505; Kugeln 137; Kugeltanz 138; Lautwerte 452; Leuchttürme 530; Licht 29, Kosten 554, Lichtinheit 551, Messung der Lichtstärke 551, Wirkungen des Lichts 558; Lichtbogen 626; Lokomotivlampe 528; Luftballon 137; Luftercheinungen 252; Luftthermometer 200; u. magnet. Maßsystem 581; Maschinen im Dienst der Industrie 508; Metallschweißung 624; Mörser 194; Nähhrad 143; Nadel 61. 77; Nadeltelegraph 429. 432; Papierbüffel 136; Pendel 58. 59. 60. 76; Perpetuum mobile 362; Pistole 159; Potential 106. 174; Prisma 95; Puppentanz 138; Ringfiguren 215; Rohr 90; Rouleaux 91; Schaufel 139; Schlagringel 454; nasser Schwamm 137; Sonnenladung 251; Spannung 105; Spinne 138; Spitzenrad 96; Springflut 609; Staubbilder und Figuren 19. 198; Strom, Induktion durch Magnete 482; Stromlinien 74; Tänzer 139; Telegraphie 231. 426; Tischlampe 539; Torflonswage 100; Uferbeleuchtung 529. 530; Uhren 25. 457; Verdichtungsapparate 166; Wind 95. 142; Windmühle 143; Wirkungsbereich 76; Wirkungssphäre 74; Zündapparat 207.

Elektrifermaschinen 107; Dampf- 27. 118. 121; Guericke's- 10; Hydro- 120; Scheiben- 113; Winter's Scheiben- 131.

Elektrizität 9. 17. 48. 49; Actino- \mathcal{E} . 237; -Anzeiger 61; atmosphärische 239. 610; Auffangen 97; Ausströmen 95; Berührung- \mathcal{E} . 20. 355; Dichte oder Dichtigkeit 93; pyro-magnet. \mathcal{E} -Entwickler 622; Erregung durch Ausströmen eines Dampfstrahls 234; Erregung durch Druck und Trennung 234; Erregung durch Temperatur-Veränderung 236; Erregung durch Treibriemen 234; Fortpflanzungs-Geschwindigkeit 222. 226. 227; Gewitter- \mathcal{E} . 259; Hervorrufung und Ansammlung 108; Induktions- \mathcal{E} . 475; Luft- \mathcal{E} . 239; -Menge 103; -Messler 549; Photo- \mathcal{E} . 237; Pyro- \mathcal{E} . 236; -Quantität 104; ruhende 104; Thermo- \mathcal{E} . 236; tierische 32. 599; -träger 82; immerwährender \mathcal{E} -träger 87; Verbreitung auf der Oberfläche leitender Körper 89; Verdoppler 123; Was ist \mathcal{E} ? 62; Wolken- \mathcal{E} . 263.

Naturfr. I.

Elektroden 379.
Elektrodynamik 418.
Elektrographie 394.
Elektrolyse 20. 378; in Bergwerken 398; der Salze 380.
Elektrolyte 378.
Elektromagnet 297. 418.
Elektromagnetische Maschinen 422; Maße 583; Motoren 421; Stromstärke 583.
Elektromagnetismus 21. 418.
Elektrometeore 252.
Elektrometer 81. 359; Flaschen- \mathcal{E} . 77; lebendige 346; Magnet- \mathcal{E} . 103; Quadranten- \mathcal{E} . 134; Sinus- \mathcal{E} . 103; Strohhalmen- \mathcal{E} . 81.
Elektromotor 509.
Elektromotorische Kraft 358. 366. 469. 584.
Elektron 53.
Elektro- \mathcal{O} b 348.
Elektrophor 19. 82; Berger's \mathcal{E} . 87; \mathcal{E} -Maschinen 123.
Elektrostrop 18. 61. 76; Winsenmark- \mathcal{E} . 82; Quadranten- \mathcal{E} . 134.
Elektrostatik 19. 104.
Elektrostatische Induktion 70; Kapazität 582; Maße 582; Potential 582.
Elektrotechnik 48.
Elektrotypie 392.
Elemente 43; Ballon- \mathcal{E} . 368; Daniell's \mathcal{E} . 32. 367; Faure's Sekundär- \mathcal{E} . 383; galvanische 366; galvanische Konstante 31. 365; Leclanché's Braunstein- \mathcal{E} . 369; magnetische 331; Reibinger's \mathcal{E} . 368; Planté's Sekundär- \mathcal{E} . 381; thermo-elektrische 470.
Elektrofore perpetuo 87.
Einsfeuer 293.
Emanulektor 352.
Energie, potentielle 203; der Reibungs-Elektrizität 67.
Energien 47.
Entlader, elektrischer 487.
Entladung, elektr. 180. 188. 492; kontinuierliche (ruhige, fließschweigende) 153; plötzliche oder disruptive 144.
Entladungsfunken, Dauer desf. 225.
Entladungsschlag, Teilung desf. 212.
Entzündung, elektrische 158.
Erbbuch 344.
Erbschlüssel 344.
Erdmagnetismus 319. 327.
Ernecke's Apparat 515.
Erregung des Magnetismus 304.
Erscheinungen, elektrische und magnetische 316.
Erwärmen, elektr. 199.
Eudiometer 161.
Expansionskraft 44.
Experimental-Physik 46.
Experimente 45.
Extraktrom, elektrischer 482.

- Fallmaschine 14.
 Farad 585.
 Farbe des elektr. Funkens 146.
 Farberinge, Kobalt'sche 383.
 Farbschreib-Apparate, telegraph. 438.
 Faure's Sekundär-Element 383.
 Fechner's Säulen-Elektroskop 364.
 Feld, elektrisches 74.
 Felsprengung, unterseeische 209.
 Fernrohr, achromatisches 14. 15; Holländ.
 oder Gallei'sches 9; Kepler'sches 11.
 Fernschreiber 25.
 Fernsprechen 554.
 Fernsprecher 25.
 Fernwirkung, elektr. 68. 97; magnetische 303.
 Feste Körper 41. 43.
 Feuer, vom Himmel herabgekommenes 259.
 Feuermelder, elektr. 455.
 Figuren, magnetische 315.
 Fische, elektr. 601.
 Flächenblitze 274.
 Flamme, Leitungs-Widerstand 412.
 Flasche, Leybener 18. 176.
 Flaschen-Elektrometer 77.
 Flaschen-Element, galvanisches 371.
 Flugrad, elektrisches 96. 142.
 Fluidum, elektr. 63; magnetisches 302.
 Fluoreszenz-Wirkungen d. Induktionsstr. 491.
 Flüssige Körper 41. 42. 43.
 Flüssigkeit, galvanische 357.
 Form der Magnete 309.
 Fortpflanzung der Elektriz. 222; in Leitern
 226; -Geschwindigkeit 227.
 Foucault's Pendel 39.
 Franklin's „elektr. Drache“ 255; Tafel 18.
 170. 221.
 Freie Elektrizität 72.
 Froschversuch, galvanischer 356.
 Fulguriten 281.
 Funke, elektr. 144. 146; Dauer 222; 225.
 Wirkung auf den menschl. Körper 162.
 Funken-Bild, elektr. 227; -Induktor 28.
 485; -spiel, elektr. 151; -zieher 145.
 Galvanisch. Batterie 20. 366; Becher-Apparat
 371; Blitzrad 373; Damaszierung
 398; Elemente 366, konstante E. 31, 365,
 amalgamieren 369, Ballon-E. 368, Dun-
 sen's E. 368, Daniell's E. 367, Flaschen-
 E. 371, Leclanché's E. 369, Meidinger's
 E. 368, Volta's 367; Flüssigkeit 357;
 Froschversuch 356; Inkrustierung 398;
 Kette 20. 365; Kobaltniederschläge 398;
 Polarisation 411; Sprengungen 374;
 Strom 365. 401, Magnetisierung durch
 g. Str. 418, Wirkungen d. g. Str. 373;
 Unterbrechungsrad 373; Vergoldung 387.
 397; Verkupferung 385; Vernickelung
 398; Versilberung 387.
 Galvanismus 20. 67. 355.
 Galvanoglyptik 391.
 Galvanographie 393.
 Galvanometer 403; Spiegel-G. 406; Uni-
 versal-G. 407.
 Galvanoplastik 20. 31. 377. 384; Apparat
 32. 385. 387. 388.
 Galvanoskop 403.
 Garthe's Rotations-Apparat 465.
 Gase 33.
 Gasförmige Körper 43.
 Gazogen 613.
 Gebiete der Physik 46.
 Gebundene Elektrizität 72.
 Gegensprecher, telegraph. 443.
 Geißler'sche Röhre 491.
 Geistererscheinungen durch elektr. Licht 550.
 Geisterseherei 343.
 Generalumschalter, elektr. 527.
 Geographie, mathemat. 1; physikal. 1.
 Geräusch, elektr. 164.
 Geruch, elektr. 164.
 Geschmack, elektr. 164.
 Geschwindigkeit der Elektrizität 222. 227; in
 Leitungsdrähten 226. 230; magnet.-elektr.
 581.
 Gesetz der elektr. Anziehung und Abstoßung 97.
 Gewitter 253. 263; -Elektrizität 259; Häufig-
 keit und Verbreitung 267; -herde 268;
 -wolken 264. 271.
 Gintl's chemischer Druck-Telegraph 441.
 Glas, Einschmelzen von Gold in Gl. 204;
 elektr. Durchbohren 161; -Elektrizität 62.
 Gläser, elektr. Sprengen 193.
 Glasplatten, elektr. Durchbohrung 192.
 Glasröhren, elektr. Sprengen 193.
 Glasstab, elektr. 52.
 Gleichnamige Elektrizitäten 62.
 Glimm-Entladung 154; -Licht 19; -Licht,
 elektr. 154.
 Glodenspiel, elektr. 140.
 Glühfen, elektr. 199.
 Glühlicht, elektr. 533.
 Glühlichtlampe 30; Boston-G. 540; -Licht-
 lampe 539; - von Edison 536; - von
 Lamn-Fox 540; - von Marfus 534; - von
 Swan 540.
 Gold, Einschmelzen in Glas 204; Leitfähig-
 keit 229. 230.
 Goldblatt-Elektroskop 77. 167. 358.
 Gramm's Dynamo-Maschine 497; Ring-Induktor
 496.
 Gravitation 12.
 Grifeln der Haut 163.
 Grubenbahnen, elektr. 514.
 Grundstoffe 43.
 Gueride's Elektrifizier-Maschine 10. 109.
 Gürtel, indifferenten, bei der Elektrizität 69.
 Gußstahl 307.
 Gyrotrope 373.

- Haar, -Hygrometer, Sauffure's 16; -nadeln, elektr. leuchtende 550; -sträuben, elektr. 163.
 Hagel 265, 606; -körner 265.
 Halbkugeln, elektr. 90; Magdeburger 10.
 Halbleiter der Elektrizität 57.
 Hammer, magnetischer 478.
 Handsicht-Telegraph 442.
 Härten des Stahls 307.
 Harz-Elektrizität 62; -ruchen 83.
 Hautbilder, elektr. 197.
 Hautreizeln 168.
 Helmer-Alteneck's dynamo-elekt. Maschine 502.
 Helena 293.
 Helenenfeuer 294.
 Heliographie 37.
 Henley's Ausladet 182.
 Herodianischer Tempel 262.
 Heronsball 6.
 Hervorrufung von Elektrizität 108.
 Hintereinander-Schaltung für elektr. Licht 541.
 Hipp's Chronoskop 458; elektr. Uhr 460.
 Hollundermark-Kugeln 52.
 Holz'sche Influenz-Maschine 27, 125.
 Holz, elektr. Durchbohrung 191.
 Hufeisen-Magnete 310.
 Hughes' Mikrophon 561; Typendrucktelegraph 440.
 Hydro-Elektrifiziermaschine 120.
 Hygrometer 16.
 Hypnotismus 319.
 Hypothesen 46; dualistische 64.

 Zablochstoff'sche Kerzen 523.
 Jacoby's galvanoplastischer Apparat 387.
 Idoelektrische Körper 55, 56.
 Imponderabillen 47.
 Indifferenter Gürtel bei der Elektrizität 69.
 Indifferenzpunkt, magnetischer 295.
 Induktions-Apparat 477; Z.-M., magneto-elekt. 494; Z.-spirale, ebene 481; Z.-telegraph 572.
 Induktion, elektrostatische 70; Z.-Elektrizität 475; Z. elektrischer Ströme durch Magnete 482; Magnet-Z. 498; Z.-ströme 232, 482; Z. beim Telephonieren 568.
 Induktor, Cylinder- 423; Ring-Z. 424, 496; Trommel-Z. 500.
 Influenz, elektr. 68; Z.-Elektrizität 70; magnetische 302; Z. der Nichtleiter 74.
 Influenzmaschine 76, 123; Holz'sche 27.
 Inklination 8; magnetische 325.
 Inklinationsnadel 325.
 Inklinatorium 326.
 Inkrustration, galvanische 398.
 Intensität, magnet., eines Orts 583.
 Inversoren 373.
 Iogenen 324.
 Isolieren 326.
 Isolatoren 57, 174, 347.
 Isolier-Köpfe 57; -Schmelz 17, 18, 162; -Stativ 163.
 Jupiter Elicius 259.

 Kabel für unterseeische Telegraphie 24, 451.
 Kalispat-Krytalle 12, 234.
 Kalmen (Windstürlengürtel am Äquator) 264, 268.
 Kalorik 48.
 Kalte Blitzzschläge 282.
 Kapazität 173; elektr. 107; elektrostat. 582.
 Kapillarität 8.
 Kartenblatt, elektr. Durchbohrung 191.
 Kastaden-Batterie 190, 222.
 Kasten und Postzug 293.
 Katheder 379.
 Kation 379.
 Kepler'sches Fernrohr 11.
 Kerzen, elektr. 31, 523.
 Kette, Bunsen'sche 368; geschlossene galvanische 365; galvanische Konstante 365.
 Ketzertangen 290.
 Klangfarbe 38; -figuren 14; -schreiber 577.
 Kleit'sche Flasche 176.
 Klingeln, elektrische 453.
 Klingenstein, Solinger 307.
 Knallgas, Entzündung 159; Apparat zur Entwicklung 378.
 Knöpfe, elektr. leuchtende 550.
 Kobaltmieder schläge, galvanische 398.
 Koerzitivkraft 305.
 Kohäsionskraft 44.
 Kohlenlicht, elektr. 375.
 Coincidenz-Uhr 461.
 Kollektor-Platte 166.
 Kolophonium, elektr. Entzündung 206.
 Kommutator 373, 422, 425.
 Kompaß 7, 321, 324.
 Kompression 44.
 Kondensations-Elektroskop 166; R.-Ringe 215.
 Kondensator, elektr. 129, 165, 168, 403; R.-Platte 166.
 Kondensierende Kraft 174.
 Konduktor 17, 56, 134; R. der elektr. Scheibenmaschine m. Winter'schem Ring 114.
 Konstanten des Rheometers 416.
 Kontaktsühlampe 535.
 Kopier-Telegraph 24, 442.
 Korffugeltanz 138.
 Körper, anelekt. 55, 56; Gemisch zusammen-gesetzte 43; diamagnet. 586; dielekt. 57; einfache 43; elektr. 53; idiolekt. 55, 56; paramagnet. 586; Wirkungen des Blitzzschlags auf menschl. und tier. R. 282.
 Kräfte für elektr. Licht 554.
 Kräfte 44.
 Kraft, elektromotorische 358, 366, 469, 584; kondensierende 174; magnet.-elekt. 581.

Krafteinheit, elektr. 105.
 Kraftlinien, elektr. 74.
 Kraftübertragung, elektr. 505.
 Kreisende Scheibe im Schein des Funkens 224.
 Kreisstrom 464.
 Krystalle, Pyro- u. Thermo-Elektrizität 236.
 Kugelblitze 274, 604.
 Kugel-Elektrifiziermaschine 111; leuchtende 8.
 604.
 Kugeln, elektr. 137.
 Kugeltanz, elektr. 138.
 Kupfer, Leitfähigkeit 229. 230.
 Kupferauscheidung durch Elektrolyse 399.
 Kupfergewinnung 400.
 Kupfernieber Schlag, galvanischer 385.
 Kurven, magnetische 74. 314.

 Ladung, elektr. 188; per Cascade 190.
 Ladungsfähigkeit 173; -zeit 230.
 Lane's Maßflosche 18. 185.
 Lane-Fox-Lampen 540.
 Laterna magica 12.
 Lautschreiber 577.
 Leuchterwerke, elektr. 452.
 Leclanché's Braunstein-Element 369.
 Leiter der Elektrizität 54; Influenz der elektr.
 2. 68.
 Leitfähigkeit der Metalle 229.
 Leu-Db 348.
 Leuchtende Kugel 604.
 Leuchttürme elektr. beleuchtet 530.
 Lehdener Flasche 18. 176.
 Licht, Lehre vom 34. 48.
 Licht, elektr. 29; Kosten dafür 554; Licht-
 einheit 551; Messung der Lichtstärke 551;
 Wirkungen 553.
 Licht, -Äther 66; -blasen durch elektr. Wind
 143; -blitz, elektr. 164; -bogen, Volta'scher
 30. 375. 376. 521, elektr. 626; -büffel,
 elektr. 153; -einheit f. elektr. 2. 551; -messer
 578; -mühle 34; -punkt, elektr. 155;
 -sprecher 579; -streifen, elektr. 227; -wir-
 kungen der Induktionsströme 490.
 Lichtenberg'sche Staubfiguren 87. 195.
 Linien-Batterie, telegraph. 437; -blitze 274.
 Linse, achromatische 15.
 Lokalbatterie, telegraph. 437.
 Lokomotive, Stephenson's erste 34.
 Lokomotivlampe, elektr. 528.
 Longitudinalton 421.
 Luft-Elektrizität 67. 239; Ursprung 247.
 Luftballon, elektr. 137.
 Lustercheinungen, elektr. 252.
 Luftförmige Körper 42. 43.
 Luftkältemesser 161.
 Luftpumpe, Guericke's erste 10; Quecksilber-
 2. 39. 40.
 Luftthermometer, elektr. 200.
 Vallin'scher Versuch 192.

Magazin, magnetisches 311. 314.
 Magdeburger Halbkugeln 10.
 Magie 7.
 Magnesia in Lydien 298.
 Magnesium 400.
 Magnet 296; armerter 297; Elektro-M. 418;
 M.-Elektrometer 103; Form 309; künst-
 licher 299. 307, Tragkraft 311; Mole-
 kular-M. 300; Nordpol 299; natürliche
 295; Polarität 299; Pole 299; Richtung
 299; Ring-M. 498; Südpol 299; tempo-
 rärer 419; Teilung 301.
 Magneteisenstein 295; -erz 295.
 Magnet-elekt. Maßsystem 581.
 Magnet-Induktion 22. 477. 498; M.-Kry stall-
 Achse 593.
 Magnetisch. Abstoßung 299; Achsen 593;
 Annäherung 303; Ansteking 302; An-
 ziehung 299; Aequator 325; Berührung
 302; Elemente 331; Declination 322;
 Eigenschaft der Metalle 306; Fernwirkung
 303; Figuren 315; Fluidum 302; Ham-
 mer 478; Influenz 302; Inklination 325;
 Intenfität eines Orts 583; Kurven 74.
 314; Magazin 311. 314; Maße 583;
 Meridiankurven 323; Mittheilung 302,
 Moment 583; Pendel 328; Polarität 299;
 Sättigung 306; Sättigungspunkt 316;
 Schlitzen-Apparat 480; Ströme 462; Ver-
 tellung 302; Wirkungen 214; Wirkung des
 Blüthes 283.
 Magnetisierung 312; des Eisens 304; durch
 galvanischen Strom 418; des Stahls 305;
 M.s-Spirale 418.
 Magnetismus 9. 48. 49. 295; Erd-M. 327;
 Erregung 304; Rotations-M. 475.
 Magnettrafialinien 314.
 Magnetrudel 309; Spiegelableitung 332.
 Magneto-elektrische Maschinen 28. 494.
 Magneto-Elektrizität 67.
 Magnet-Db 348.
 Magnetometer 329.
 Magnetpol, Drehung um den Stromleiter
 467.
 Magnetstab 310; mit Molekular-Magneten
 301.
 Magnetstein 295.
 Manometer 10. 39. 40.
 Marcus' Glühlampe 534.
 Marum's Scheiben-Elektrifiziermaschine 113.
 Maschine, dynamo-elektrische 494; elektrische,
 im Dienst der Industrie 508; elektro-
 magnetische 422; magneto-elektrische 494.
 Masse des Körpers 41.
 Maße, elektromagnet. 583; elektrostat. 582;
 magnet. 583.
 Maßflosche, Lane's 18. 185.
 Maßsystem, magnet-elekt. 581.
 Materie 41; Physik der M. 47.
 Mathematische Geographie 2.

- Maximum-Thermometer** 15.
Mechanisch. Äquivalent der Wärme 33; **Physik** 38—47; **Theorie der Wärme** 33; **Wirkungen der Induktionsströme** 490.
Mega 585; **Farad** 585; **Volt** 585.
Megohm 585.
Meidinger's Element 368.
Menschlicher Körper, elektr. Wirkungen 210; **Wirkungen des Blitzschlags** 282.
Meridiankurven, magnetische 323.
Mesmerismus 319.
Messing, Leitfähigkeit 229; **galvanische M.-niedererschläge** 394.
Messung der Elektrizitäts-Menge 185; **der Reichweite des elektr. Lichts** 551.
Metalle. M.-Barometer 39; **Entladung** 488; **Gewinnung in Bergwerken** 399; **M.-Manometer** 39; **magnetische Eigenschaft** 306; **Leitfähigkeit** 229; **thermo-elektrische Wirkung** 471.
Metallsalze, Zersetzung 381.
Metallschweißung, elektr. 624.
Mikro 585; **Elektroskop** 170; **Farad** 585; **Volt** 585.
Mikrohm 585.
Mikrophon 25. 26. 561; **Mikrophonsender** 563.
Mikroskop 8.
Minen-Sprengung 374. 488.
Mineralogie 1.
Minimum-Thermometer 15.
Mittelung, magnetische 302.
Mittellinie, magnetische 295.
Molekular-Kräfte 44; **Magnet** 300; **Physik** 47; **Theorie, atomistische** 43.
Moleküle 32. 40. 42.
Moment, magnet. 583.
Momentaufnahme durch den Blitz 283.
Montgolfières 14.
Morse's Stiftschreiber 23; **Telegraph** 433. **Schlüssel zu M. Telegr.** 435.
Mörser, elektr. 194.
Rotoren, elektromagnet. 421.
Rührrad, elektr. 143.
Multiplik, telegr. 444.
Multiplikator 123. 403.
- Nabel, Abweichungs-** 328; **astatische** 320; **elektrische** 61. 77; **Inkursions-** 325; **Reigungs-** 328; **telegraph** 23; **elektrischer telegraph** 429. 432.
Nairne's Cylinderelektrofiermaschine 113.
Name, leuchtender 150.
Natur-Erscheinungen 40. 43; **geschichte** 1; **Körper** 40; **Kräfte** 40. 43; **lehre** 1; **selbstbrude** 393.
Nebeldecke 618.
Nebeneinander-Schaltung für elektr. Licht 542.
Nebstrom 231.
- Negative Elektrizität** 58.
Neigungs-Nabel 328.
Neusilber, Leitfähigkeit 229.
Neutrale Elektrizität 65; **N. Zone in der Elektr.** 69.
Neutralisieren der Elektrizität 64.
Newton's Spiegelfernrohr 12.
Nichtleiter der Elektr. 54; **Znfluens** 74; **werden durch Znfluens elektrisch** 75.
Nidel, Leitfähigkeit 230.
Niello 397.
Robill'sche Farbenringe 383.
Roë's Thermosäule 473.
Rolle's Kugel-Elektrofiermaschine 111.
Nordlicht 251. 333. 610; **glorie** 338; **pol** 338.
Nordmagnetismus 299. 300.
Nordpol des Magnets 299.
- Ob** 348.
Ohm 585.
Ohm'sches Gesetz 408.
Optik 34. 48.
Oxydiertes Silber 396.
Oxydringe 215.
Oxon 164. 214.
- Pantelegraph** 442.
Pantelephon 562.
Papierblatt, elektr. Durchbohrung 191.
Papierbüchse, elektr. 136.
Papin'scher Topf 13.
Pappbedel, elektr. Durchbohrung 191.
Parallelschaltung für elektr. Licht 542.
Paramagnet. Körper 586.
Paramagnetismus 587.
Parlamentskerze 552.
Pendel, elektr. 58. 59. 60. 76; **Foucault's** 39; **magnetisches** 328.
Pendeluhr, elektr. 457.
Perpetuum mobile, elektr. 362.
Pflanzen-Wachstum erzeugt Elektrizität 249; **Wirkungen des elektr. Lichts auf Pfl.** 553.
Pflanzenkunde 1.
Phonisches Rad (Telegr.) 446.
Phonograph 38. 576. 623.
Phosphorbronze-Telephondraht 230.
Photo-Elektrizität 237.
Photographie 37.
Photometer 552. 576.
Photophon 25. 26. 576.
Physik, Bedeutung, Geschichte, Gegenstand 1. 5.
Physikalische Geographie 1.
Physiologie 1.
Physiologische Wirkungen 210; **des Blitzes** 282; **des galvanischen Stroms** 373. 374; **der Induktionsströme** 490.

- Pistole, elektr. 159.
 Plante's Sekundär-Batterie 382; Sekundär-
 Element 381.
 Platin, Leitfähigkeit 229. 230.
 Platindraht, Erwärmen, Glühen, Schmelzen
 199.
 Pol, analoger und antiloger 286; magnet.
 295. 320; des Magnets 299.
 Polarisation 12; Apparat 595; dielekt. 75;
 galvanische 411.
 Polarisationsebene, Drehung 596.
 Polarlicht 251. 333; Erklärung 340.
 Polarität, magnet. 299; der Magnete 299.
 Positive Elektrizität 58.
 Potential, elektr. 103. 106. 174; elektrostat.
 582; Theorie, galvan. 415.
 Potentielle Energie 203.
 Priestley'sche Ringfiguren 198.
 Prisma, elektr. 95.
 Protuberanzen 619.
 Psychograph 352.
 Puppentanz, elektr. 138.
 Pyro-Elektrizität 67; der Krystalle 236.

 Quadranten-Elektroskop (-meter) 134. 612.
 Quantität, Elektrizitäts-D. 104.
 Quecksilber-Luftpumpe 39. 40.
 Quecksilbertropfen im Schein des Funkens 223.

 Madaroc-Pulver 210.
 Rad, phonisches (Telegr.) 446.
 Radiometer 34.
 Rauch, elektr. Wirkung auf denselben 217.
 Reibungs-Elektifiziermaschinen 108; Elek-
 trizität 51.
 Reis' Telephon 557.
 Relais, telegraph. 436.
 Rheochord 414.
 Rheomotor 413; Konstanten des Rh. 416.
 Rheostat 412; Stöpsel-Rh. 414.
 Richmann's Apparat 257.
 Richtung des Magnets 299.
 Rieß' elektr. Luftthermometer 200; Spirale 232.
 Ringfiguren, elektr. 215; Priestley'sche 198.
 Ring-Induktor 424. 496.
 Ringmagnet 498.
 Röhre, elektr. 90; Geißler'sche 491.
 Rotations-Apparat 465. 468; R.-Magnetis-
 mus 475.
 Rouleaux, elektr. 91.
 Rückschlag 280.
 Rückschlag, elektr. 165; des Blüses 282.
 Ruhende Elektrizität 104.
 Ruhmkorff's Funken-Induktor 485.

 Salomonischer Tempel 262.
 Salzlösungen, Zersetzung 216.

 Sättigung, magnetische 306; Sättigungs-
 punkt 316.
 Sauerstoff 15.
 Säule, trockene 361; Volta'sche 20.
 Säulen-Elektroskop 363.
 Schall, Fortpflanzung 12; Lehre vom Sch.
 38. 48.
 Schaltungen für elektr. Licht 541.
 Schaufel, elektr. 139.
 Scheibe einer Elektrifiziermaschine 115; im
 Schein des Funkens kreisende Sch. 224.
 Scheiben-Elektifiziermaschine 108. 113; Win-
 ter's 131.
 Schießbaumwolle, elektr. Entzündung 207.
 Schießpulver, elektr. Entzündung 207.
 Schlagklingel, elektr. 454.
 Schlagweite, elektr. 145. 187.
 Schließungsbogen 231.
 Schlitten-Apparat, magnet. 480.
 Schlüssel zu Morse's Telegraph 435.
 Schmelzen, elektr. 199.
 Schnurblicke 277.
 Schreibtelegraph 433.
 Schriftprobe (Telegr.-Alphabet) 435.
 Schwamm, elektr. nasser 137.
 Schwedisches Eisen, Leitfähigkeit 230.
 Schwefeläther-Entzündung, elektr. 158.
 Schwerkraft 44.
 Schwingungszustände des Äthers 66.
 Seekompaß 324.
 Seiden 608.
 Sekundär-Batterie, Plante's 382; S.-Ele-
 ment, Fauré's 383; S.-Element, Plante's
 381.
 Selen 578; -zelle 580.
 Sensitive Person 348.
 Sicherheitslampe 20.
 Silber-Ob 348.
 Siemens' Differentillampe 524; Dynamo-
 Maschine 496; magnet.-elektr. Maschine
 28; -Stahl 230; Telephon 25.
 Signal-Apparat 431.
 Silber, Leitfähigkeit 229. 230; oxydiertes 306.
 Silbererze, Ausbeutung 399.
 Siliciumbronze - Telegraphendraht 230; S.-
 Telephondraht 230.
 Sinus-Buffale 405; -Elektrometer 103.
 Sol-Ob 348.
 Solenoid 464.
 Sollinger Klingenstein 307.
 Sommergewitter 269.
 Sömmering's Telegraph 22. 427.
 Sonne, Einfluß derselben auf Luft-Elek-
 trizität 250.
 Sonnenbilder 37; -Faden 619; -Flecke 618;
 -körper 619.
 Sonnenladung, elektr. 251.
 Spannung, elektr. 103. 105.
 Spannungsreihe für Reibungs-Elektrizität 67.
 Spektral-Analyse 36; -Apparate 35. 36.

- Spektroskop** 36.
Spiegelableitung (Magnetnadel) 332.
Spiegelfernrohr, Newton's 12.
Spiegelgalvanometer 406.
Spiegelsegment 14. 15.
Spinne, elektr. 138.
Spiritus-Entzündung, elektr. 158.
Spitzenrad, elektr. 96.
Spitzenwirkung, elektr. 89.
Sprachrohr 13.
Sprachmaschine 577.
Sprengungen, elektr. 218; elektr. G. v. Gläsern oder Glasröhren 193; galvanische 374.
Springflut, elektr. 609.
Stahl, Anlassen 308; Härten 307; Magnetisierung 305.
Stahl 8. 47.
Staubbilder, elektr. 198.
Staubfiguren, elektrische 19; Lichtenberg'sche Staubfiguren 195.
Staubteilchen erhöhen die Entwicklung der Luft-Elektrizität 265; Menge und Verbreitung in der Atmosphäre 266.
Steinheil's Telegraph 430.
Stereoskop 37.
Stereotypie 392.
Stern, elektr. 155.
Sterndeuterei 7.
Sternkunde 2.
Stickstoff 15.
Stiftschreiber, Morse's 23. 433; Schlüssel 435.
Stiftshütte (biblische) 260.
Stilographie 393.
Stimmgabel-Magnet 311.
Stimmichreiber 38.
Stoffe, unwägbare 47.
Stöpsel-Rheostat 414.
Störungen magnetischer Elemente 333.
Strahlenbündel, elektr. 154.
Strahlenbüschel, elektr. 155.
Strahlungsmesser 34.
Streichen der Magnete 312.
Streichmagnet 312.
Stich, einfacher, beim Magnetisieren 312.
Strohhalbm-Elektrometer 81; -Elektroskop 19.
Strom, elektr., Induktion durch Magnete 482.
Strom, galvanischer 365. 401; Magnetisierung durch densf. 418; Wirkungen dessf. 373.
Ströme, getrennte 464; magnetische 462; thermo-elektrische 470.
Stromlauf zwischen zwei Telegraphen-Stationen 435.
Stromlinien, elektr. 74.
Stromstäbe, elektro-magnetische 583; galvanische 376.
Stromwender 373.
Südmagnetismus 299. 300.
Südpol des Magnets 299.
Swan-Kampen 540.
Sympathische Uhren 457.
Tachytrop 372.
Tafel, Franklin'sche 18. 170.
Talbottypie 37.
Tangentenbussole 405.
Tänger, elektr. 139.
Technologie 4.
Teilung des elektr. Funkens 147; eines Magnets 301.
Telegraph, Automaten 447; Doppelsprecher 444; Doppelsprecher mit rhombischem Rad 446; Doppel-Druck 445; hemispherischer Druck 441; Gegensprecher 443; Handschrift 442; Kopier 442; Kabel 429. 432; Morse's Stiftschreiber 433; Multipler 444; Pan 442; Schlüssel zu Morse's Z. 435; Schreib 433; Schummering's Z. 427; Sprechapparat für Untersee-Kabel 450; Steinheil's Z. 430; Typendruck 440; Zeiger 449.
Telegraphen-Alphabet 435; -Apparate 22; -Blitzableiter 291.
Telegraphie, elektr. 21. 231. 426; Z. und Telephonie vereinigt 570.
Telegraphische Farbschreib-Apparate 438; Linienbatterie 437; Lokalbatterie 437; Relais 436.
Telemeteorographie 457.
Telephon 25. 556. 619; Bell's Z. 559; Demonstrations-Z. 575; Pan-Z. 562; Reis' Z. 557.
Telephonie 554; Z. und Telegraphie vereinigt 570.
Telephonleitungen, unterirdische 568.
Tellur 578.
Tempel zu Jerusalem 262.
Temperatur-Veränderung erregt Elektrizität 236.
Temporärer Magnet 419.
Theorie, Ampère'sche 466; mechanische der Wärme 33.
Thermische Wirkungen 199.
Thermo-elektrisch Element 470; Ströme 470.
Thermo-Elektrizität 67; der Krystalle 236.
Thermometer 15.
Thermosäulen 469.
Thonzellen 367.
Tiere, elektr. Wirkungen 210; des Blitzschlags 282.
Tierische Elektrizität 32. 67. 599.
Tierkunde 1.
Tischlampe, elektr. 539.
Tischrücken 349.
Zonenempfindungen 38; Zonenschreiber 38.
Torpedos (Fische) 601.
Torsions-Elastizität 420.
Torsionswaage, elektr. 100.
Tragapparate 364.
Tragkraft künstl. Magnete 311.
Transatlantische Telegraphen-Kabel 451.
Transformatoren für elektr. Leitungen 550.

- Transmitter 563.
 Treibriemen v. Transmissionen entwickeln
 Elektrizität 232.
 Trennung, Elektrizitäts-Erregung 234.
 Trockene Säule 361.
 Tromben 608.
 Trommel-Induktor 500.
 Trouvé's Elektromotor 509.
 Zuchnabeln, elektr. Leuchtende 550.
 Turmalin-Krystalle 236.
 Typendrucktelegraph 24. 440; Doppel- 445.

 Uferbeleuchtung, elektr. 529. 530.
 Uhren, elektr. 25. 457; Koincidenz-U. 461;
 U. mit Zeigerwert 457; galvanische für
 astronom. Beobachtungen 455; sympa-
 thische 457.
 Undulationstheorie 12.
 Unitarier 63.
 Unterbrechungsrad, galvan. 373.
 Unterseelabel, telegr. 451.
 Urphosph 5.
 Ursprung der Luft-Elektrizität 247.

 Variationen magnetischer Elemente 331.
 Verbreitung der Elektrizität auf der Ober-
 fläche leitender Körper 89.
 Verbrennen dünner Metallstreifen 204.
 Verdichtungs-Apparate, elektr. 166.
 Vergoldung, galvanische 387. 397.
 Vergrößerungsgläser 7.
 Vertupferung, galvanische 385.
 Verniedelung, galvanische 398.
 Versilberung, galvanische 387. 395.
 Verstärkungsflasche 176; -röhre 129; -zähl
 174.
 Versuche mit Naturgegenständen 45.
 Verteilung, elektr. 68. 69; Apparat 71.
 Verteilung, magnetische 302.
 Viervielfältigung des elektr. Funkens 147.
 Vielfach-Klappenschrank 566.
 Volt 585.
 Volta-Induktion 477.
 Volta's Becher-Apparat 367; Fundamental-
 Versuch 357; Kette 365; Lichtbogen 30.
 375. 376. 521; Plattenpaar 360; Reihen
 358; Säule 20. 360.
 Voltmeter 378.

 Wagen mit Akkumulatoren 507.
 Wärmelehre 15. 32. 48.
 Wärmestoff-Theorie 33.
 Wärmestrahlen 33.

 Wärmewirkungen 199; des Lichtes 281; der
 Induktionsströme 490.
 Was ist Elektrizität? 62.
 Wasserzerlegung 216.
 Wasserdämpfe erzeugen Elektrizität 248.
 Wasserhohe 609.
 Wassermännchen 10.
 Wasserhähne 6.
 Wasserzerlegungs-Apparat 21. 376.
 Weingeist-Entzündung, elektr. 158.
 Wellenlehre 35.
 Weltkathode 66.
 Weston's Dynamo-Maschine 503.
 Wetterleuchten 292.
 Wheatstone's Brücke 415; Chronoskop 458.
 Widerhall 285.
 Widerstand der Drähte gegen Fortpflanzung
 der Elektrizität 230; flüssiger Leiter 412.
 Wilde's magneto-elekt. Maschine 495.
 Wind, elektr. 95. 142.
 Windmühle, elektr. 142.
 Winter's Scheiben-Elektrifiziermasch. 108. 131.
 Wintergewitter 269.
 Wirkungen des Lichtes 279.
 Wirkungen der Elektrizität, Gemische 214;
 magnetische 214; physiologische 210; auf
 Rauch 217; thermische 199.
 Wirkungen des galvanischen Stroms 373;
 der Induktionsströme 489.
 Wirkungskreis, elektr. 76; -sphäre 74.
 Wolken-Elektrizität 263.
 Wollaston'sche Batterie 364.
 Wunder, biblische 260.

 Zamboni'sche Säule 362.
 Zauberei 7.
 Zauberlaterne 13.
 Zementkupfer 399; -wasser 399.
 Zerlegung der Metallsalze 381; Apparat zur
 Z. des Wassers 21.
 Zeigertelegraphen 449.
 Zeitdauer des elektr. Funkens 223.
 Zirkadblitze 274.
 Zink-Ausscheidung 400; Leitfähigkeit des Z.
 229. 230.
 Zinn, Leitfähigkeit 230.
 Zitteraal 602.
 Zitterrochen 601.
 Zone, neutrale, in der Elektrizität 69.
 Zoologie 1.
 Zündapparat, elektr. 207.
 Zündmasse, elektr. 209.
 Zündungen des Lichtes 281.
 Zündungs-Versuche 205.
 Zustand, elektr. 53.

Inhalt.

	Seite
Einleitung. Bedeutung, Geschichte, Gegenstand der Physik	1
Geschichte der Physik	5
Naturkörper, Moleküle, Atome	40
Naturkräfte und Naturerscheinungen	43
Beobachtung und Versuch	45
Die Gebiete der Physik	46
Erster Abschnitt. Von der Reibungs-Elektrizität.	
1. Erregung der Elektrizität durch Reibung	51
2. Leiter und Nichtleiter der Elektrizität	54
3. Elektrisches Pendel. Positive und negative Elektrizität	58
4. Was ist Elektrizität?	62
5. Spannungsreihe für Elektrizität	67
6. Elektrische Verteilung (Influenz)	68
7. Elektroskop	76
8. Der Elektrophor	82
9. Verbreitung der Elektrizität auf der Oberfläche leitender Körper. Spitzenwirkung	89
10. Coulomb's Gesetz der elektrischen Anziehung und Abstoßung. Elek- trische Fernwirkung, Drehwage	97
11. Elektrizitätsmenge. Elektrische Dichte, Spannung, Einheit. Potential	103
12. Elektrifiziermaschinen	107
A. Reibungs-Elektrifiziermaschinen.	
a) Kugel-, Cylinder- und Scheiben-Elektrifiziermaschinen	108
b) Die Dampf- oder Hydro-Elektrifiziermaschine	116
B. Influenzmaschinen	123
13. Wirkungsweise und Behandlung der Elektrifiziermaschine	130
14. Versuche mit der Elektrifiziermaschine	134
Das Quadranten-Elektroskop	134
A. Versuche mit der elektrischen Anziehung und Abstoßung	136
B. Versuche mit Licht-Erscheinung	144
a) Der elektrische Funke	144
b) Das elektrische Büschellicht	152
c) Das elektrische Glühlicht	154

	Seite
C. Zündungs- und Bohrversuche	158
D. Wirkung des Funkens auf den menschlichen Körper	162
15. Elektrische Kondensatoren, Ansammlungs-Apparate	165
A. Der Kondensator	166
B. Die Franklin'sche Tafel	170
C. Die Leydener Flasche	176
16. Wirkungen der elektrischen Entladung.	
Versuche mit der Leydener Flasche	188
A. Mechanische Wirkungen	191
B. Optische Erscheinungen	195
C. Thermische (Wärme-) Wirkungen	199
Zündungs-Versuche	205
D. Physiologische Wirkungen (Wirkungen auf den tierischen und menschlichen Körper)	210
E. Magnetische Wirkung	214
F. Chemische Wirkungen	214
17. Dauer des elektrischen Funkens	222
Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität	222
Elektrische Telegraphie. Schließungsbogen. Nebenstrom	231
18. Einige andere Elektrizitäts-Quellen	232
1. Elektrizitäts-Erregung durch Druck und Trennung	234
2. Elektrizitäts-Erregung durch Temperatur-Veränderung	
(Pyro- oder Thermo-Elektrizität der Krystalle)	236
19. Atmosphärische oder Luft-Elektrizität	239
20. Die elektrischen Lufterscheinungen (Elektrometere)	252
A. Das Gewitter	253
Der Blitz	272
Der Donner	284
Der Blitzableiter	286
B. Das Wetterleuchten	292
C. Das Elmsfeuer	293
Zweiter Abschnitt. Vom Magnetismus.	
21. Natürliche Magnete. (Magnetische Anziehung)	295
22. Magnetische Polarität; Nord- und Süd-Magnetismus. (Magnetische Anziehung und Abstoßung)	299
23. Magnetische Verteilung (Influenz). (Verschiedenes Verhalten des weichen Eisens und des Stahls)	302
24. Künstliche Magnete. (Gestalt, Herstellung, Armierung)	307
25. Das Magnetisieren. Die magnetischen Kurven	312
26. Ähnlichkeit und Verschiedenheit der elektrischen und magnetischen Erscheinungen	316
27. Erdmagnetismus	319

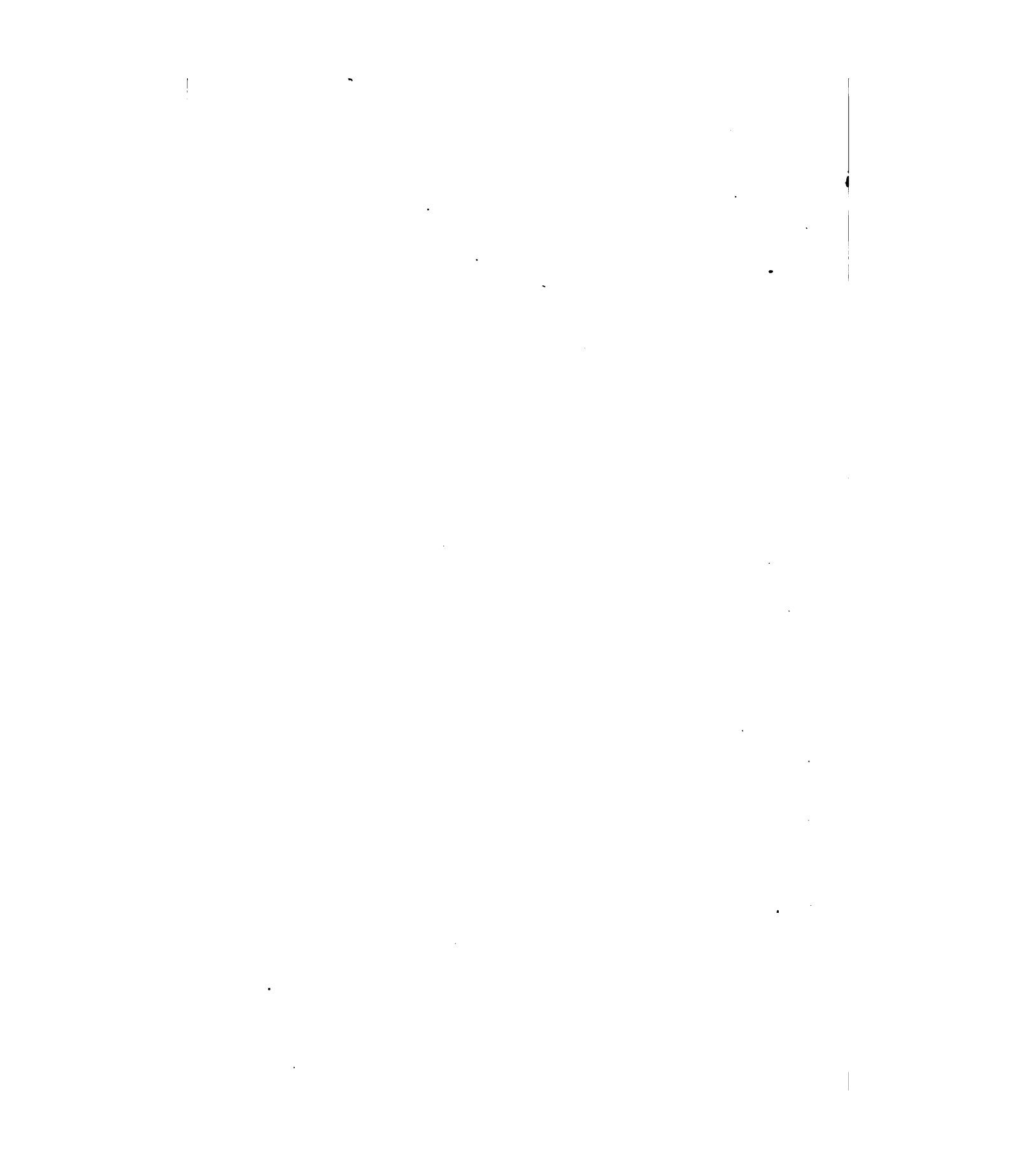
	Seite
28. Magnetische Declination. Buffole. Kompaß	322
29. Magnetische Inclination	325
30. Intensität des Erdmagnetismus	327
31. Variationen der magnetischen Elemente	331
32. Das Polarlicht (Nordlicht)	333
33. Die Wissenschaft und das Polarlicht	340
34. Aberglaube und Geisterseherei	343

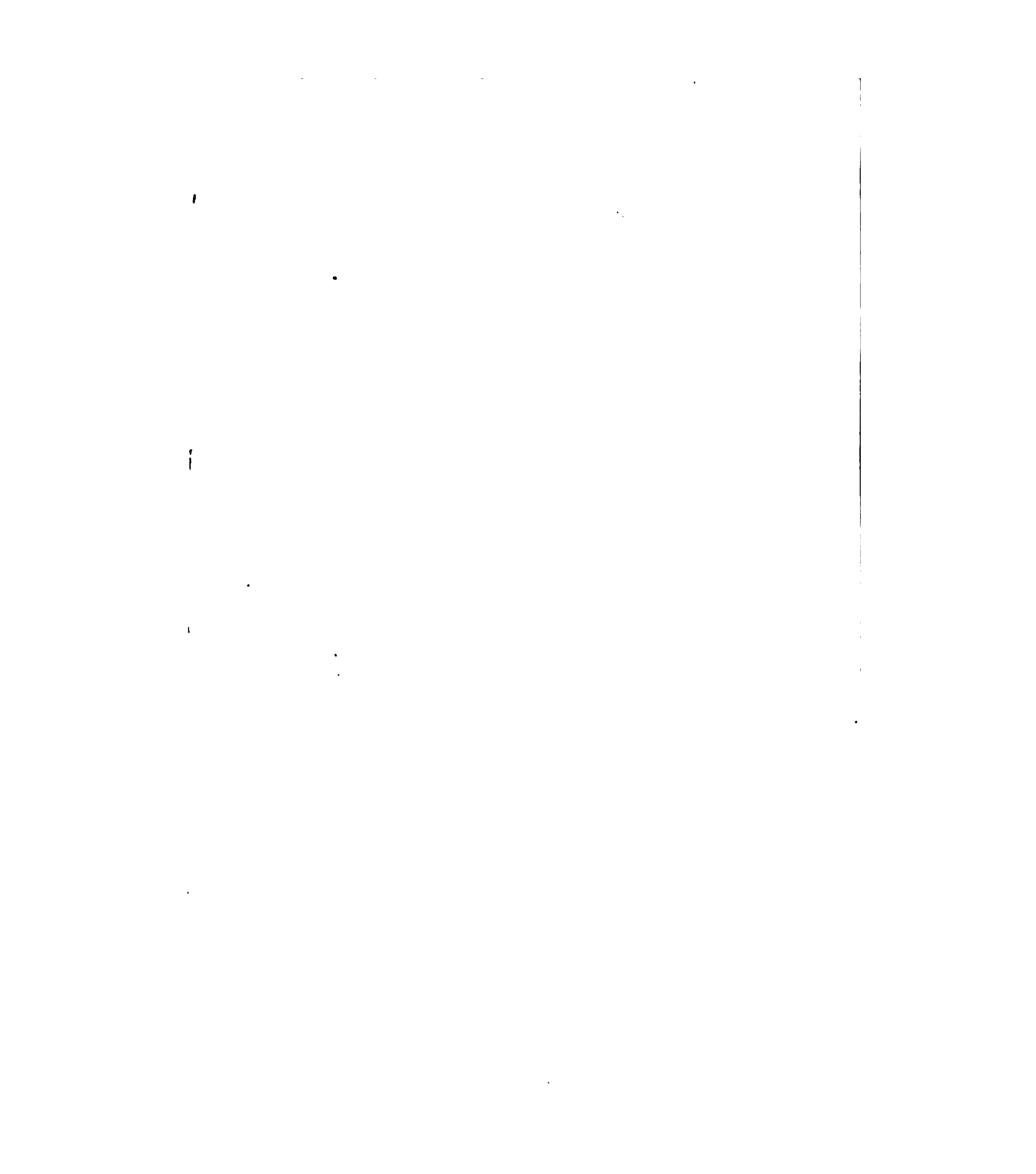
Dritter Abschnitt. Vom Galvanismus. (Berührungs-Elektrizität.)

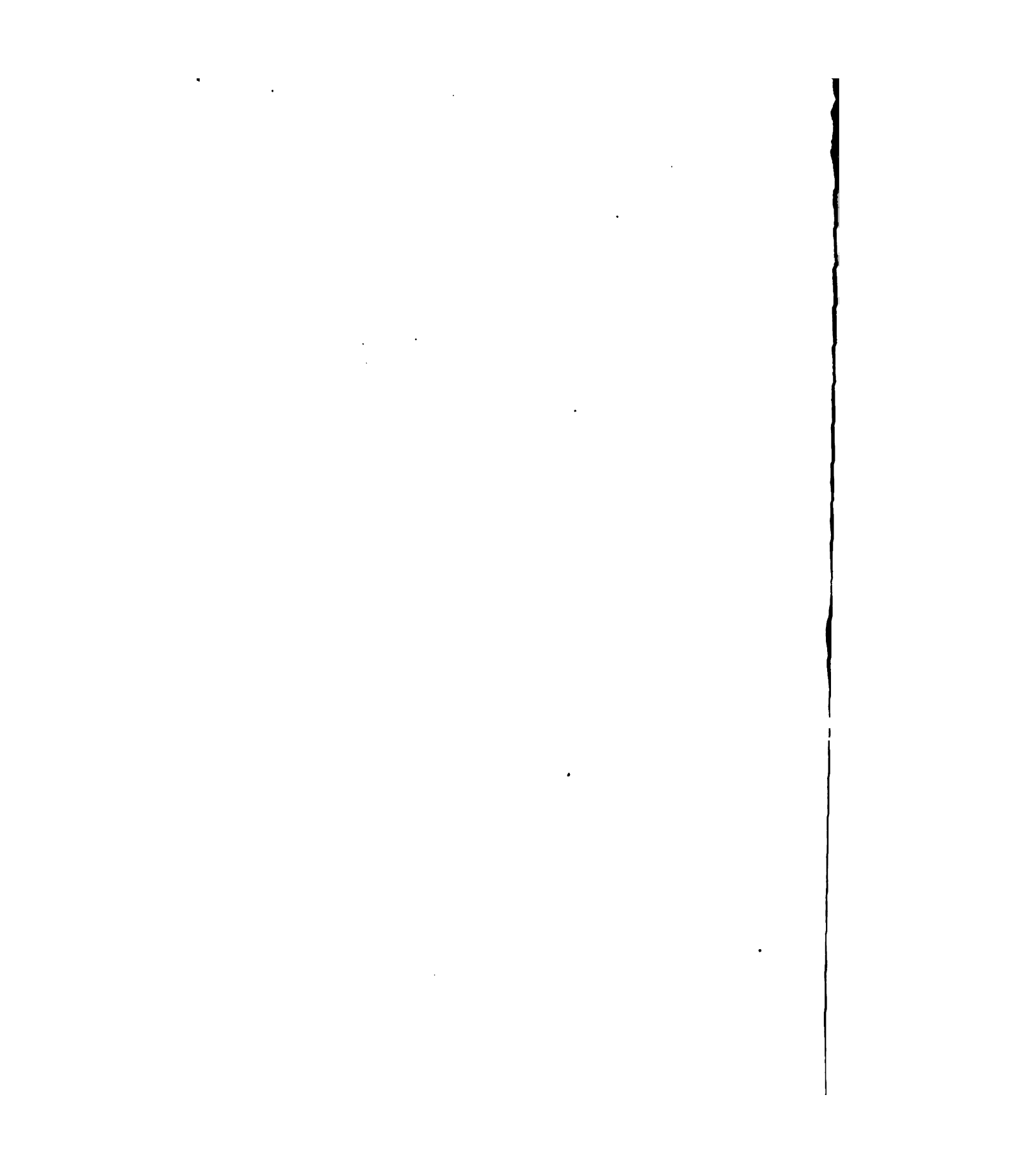
35. Die Entdeckung des Galvanismus	355
36. Die Volta'sche Säule	360
37. Die konstanten Elemente oder Ketten	365
38. Übersicht der Wirkungen des galvanischen Stromes	373
39. Von der Elektrolyse	378
40. Die Galvanoplastik	384
41. Die wichtigsten Fortschritte in der Galvanoplastik	391
42. Die Verwertung der Galvanoplastik in der Groß-Industrie	395
43. Die Verwertung der Elektrolyse in den Bergwerken	398
44. Die magnetischen Wirkungen des galvanischen Stromes	401
45. Die Spiegel-Galvanometer	406
46. Das Ohm'sche Gesetz	408

Vierter Abschnitt. Elektromagnetismus und Elektrodynamik.

47. Magnetisierung durch den galvanischen Strom	418
48. Elektromagnetische Motoren	421
49. 50. Die elektrische Telegraphie	426
51. 52. Die elektrischen Läutewerke, Klingeln und Registrier-Apparate	452
53. Elektrische Uhren	457
54. Die Richtung der Ströme durch Magnete	462
55. Die Thermosäule	469
56. Die Erscheinungen der Induktions-Elektrizität	475
57. Die Wirkungen der Induktionsströme	489
58. Die magneto-elektrischen Induktions-Apparate als Umkehrung der elektromagnetischen Maschinen	494
59. Die elektrische Kraftübertragung	505
60. Die elektrische Beleuchtung	520
61. Das elektrische Glühlicht	533
62. Die Telephonie oder das Fernsprechen	554
63. Phonograph. Photometer und Photophon	576
64. Die Grunderscheinungen des Diamagnetismus	585
65. Tierische Elektrizität	599
66. Nachtrag. Entstehung der Kugelblitze, Wasserhosen, Springfluten, der atmosphärischen Elektrizität u. a. Erscheinungen	603







LANE MEDICAL LIBRARY

To avoid fine, this book should be returned on
or before the date last stamped below.

--	--	--

