



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/>

0296 T900 54 2



LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF TORONTO

Dr. W. Guttman  

---

Elektrizitätslehre  
für Mediziner.



Ex  
Libris

Dr. H. J. Kreutzmann

LANE

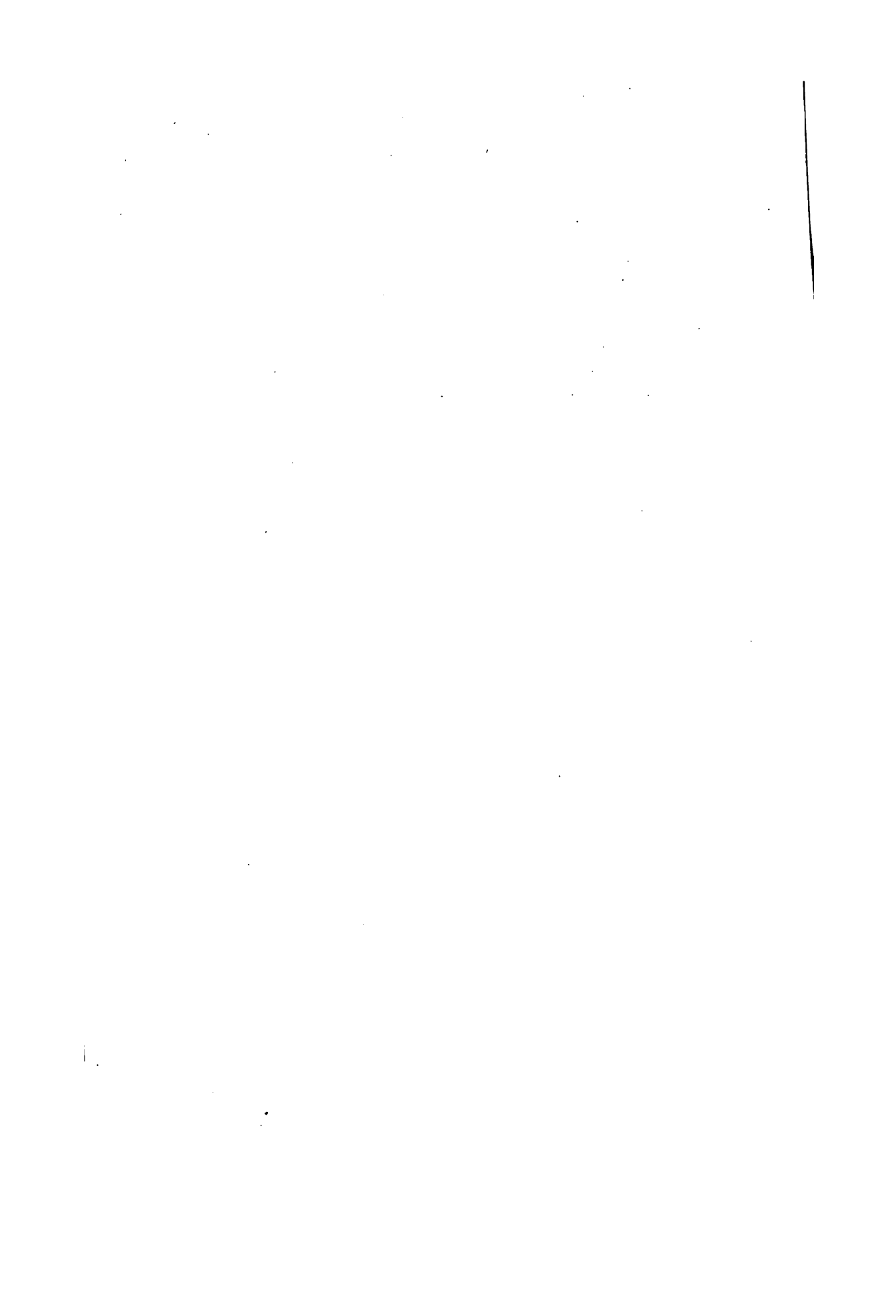
MEDICAL



LIBRARY

GIFT

Dr. Henry A.R. Kreutzmann



# Elektrizitätslehre für Mediziner.

Einführung

in die

physikalischen Grundlagen der Elektrodiagnostik,  
Elektrotherapie und Röntgenwissenschaft

von

**Dr. Walter Guttman**

Stabsarzt an der Kaiser Wilhelms-Akademie für das militärärztliche Bildungswesen.

---

Mit 263 Abbildungen und zwei lithographischen Tafeln.

---

Leipzig.

Verlag von Georg Thieme.

1904.

7

BRARY

YASRI: 3A1

G 98  
1904

## Vorwort.

---

Angesichts der großen Bedeutung, welche die Elektrizität nicht nur für die gesamte Kultur, sondern auch speziell auf dem Gebiete der Medizin erlangt hat, wird die Behauptung, jeder Arzt müsse sich mit ihren wichtigsten Gesetzen und Anwendungsformen vertraut machen, wohl kaum auf Widerspruch stoßen. Dagegen läßt sich über die Frage streiten, ob es für den Arzt zweckmäßig ist, sich diese notwendigen Kenntnisse aus den gebräuchlichen physikalischen Lehrbüchern anzueignen, oder ob für ihn ein „in usum proprium“ geschriebenes Buch, das also die Lehre von der Elektrizität unter besonderer Berücksichtigung der ärztlichen Bedürfnisse behandelt, vorzuziehen ist. Meiner Ansicht nach, die ich jedoch keineswegs als maßgebend hinstellen will, ist das letztere der Fall. Ganz abgesehen nämlich davon, daß in den speziellen physikalischen Lehrbüchern die Darstellung für Nichtfachleute oft recht schwer verständlich ist, behandeln sie eine Menge von Dingen, die den Arzt nicht unmittelbar interessieren, während sie wieder Vieles, worüber er sich gern orientieren möchte, vermissen lassen. In der richtigen Voraussetzung, daß den Ärzten die notwendigen physikalischen Grundlagen vielfach fehlen, finden sich nun allerdings in den meisten Lehrbüchern der Elektrodiagnostik und Elektrotherapie sowie der Röntgenwissenschaft einige einleitende Kapitel, in denen die Hauptgesetze der Elektrizitätslehre in gedrängter Kürze zusammengestellt sind. Aber das ist doch nur ein Notbehelf: Einerseits läßt sich nämlich in dem gewöhnlich dafür zur Verfügung stehenden knappen Raume das Thema nicht mit der wünschenswerten Ausführlichkeit und Verständlichkeit erledigen, und andererseits wird durch diese doch zum eigentlichen Inhalte nicht gehörigen Vorbemerkungen der Umfang der betreffenden Bücher unnötig vergrößert.

Hier soll nun das vorliegende Buch ergänzend und aushelfend eintreten. Aus Vorträgen entstanden, die ich an der Kaiser Wilhelms-Akademie gehalten habe, bezweckt es, die grundlegenden Gesetze und Erscheinungen der Elektrizitätslehre, soweit sie für Mediziner in Betracht kommen, in allgemein verständlicher Form, jedoch unter Vermeidung unnötiger Breite, zur Darstellung zu bringen, um im Anschluß daran

70407

eine Beschreibung der hauptsächlichsten Anwendungsformen der Elektrizität in der modernen Medizin sowie der gebräuchlichsten elektromedizinischen Apparate zu geben. Es stellt demnach eine physikalische Einleitung in das Gebiet der Elektrodiagnostik und Elektrotherapie sowie der Röntgenwissenschaft vor.

Wie weit dies Programm und die Auswahl des Stoffes den zu stellenden Anforderungen entspricht, das zu entscheiden überlasse ich dem Leserkreise. Nur das Eine möchte ich hier hervorheben, daß ich mit Absicht die elektrischen Maschinen und Transformatoren sowie die Wechsel- und Drehströme etwas ausführlicher behandelt habe, als es auf den ersten Blick nötig scheinen könnte. Es geschah dies im Hinblick auf die stetig wachsende Bedeutung der Anschlußapparate, welche die bisher allein üblichen galvanischen Batterien und Akkumulatoren immer mehr in den Hintergrund drängen, sowie mit Rücksicht auf die moderne Entwicklung der Elektromedizin, die ja zur Zeit der Wechselstrom- und Drehstrombehandlung einen hervorragenden Platz einräumt.

Ich habe die Vortragsform beibehalten, da mir diese Darstellungsweise für Autor und Leser eine Reihe von Vorzügen zu besitzen scheint. Besonderen Wert habe ich ferner darauf gelegt, durch möglichst zahlreiche Abbildungen das Verständnis des Textes zu erleichtern. Da es nun nicht der Zweck eines solchen Buches sein soll und kann, recht viele Originalfiguren zu bringen, habe ich einen Teil der Abbildungen anderen Werken sowie den Katalogen einiger renommierten Firmen entnommen, für deren freundliches Entgegenkommen ich ihnen auch an dieser Stelle danke. Die Quellen sind aus dem nachfolgenden Verzeichnis der Abbildungen zu ersehen. Zum Schlusse spreche ich auch Herrn Verlagsbuchhändler THIEME meinen besten Dank aus für die Bereitwilligkeit, mit der er alle meine Wünsche betreffs Ausstattung des Buches erfüllt hat.

Berlin, September 1904.

**W. Guttman.**



# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort . . . . .	III—IV
Verzeichnis der Abbildungen . . . . .	VII—XI
<b>I. Einige physikalische Grundbegriffe und ihre Maße . . . . .</b>	<b>1—4</b>
Kraft. Arbeit. Energie. Effekt. Absolutes Maßsystem. Massengramm und Grammgewicht. Dyne. Erg. Joule. Sekundenerg. Watt. Mechanische Arbeit und Wärme.	
<b>II. Elektrostatik . . . . .</b>	<b>5—27</b>
Einteilung der Elektrizitätslehre. Statische Elektrizität. Reibungselektrizität. Glas- und Harzelektrizität. Elektroskope. COULOMB'sches Gesetz. Leiter und Nichtleiter. Elektrische Dichte. Elektrisches Potential. Elektrische Kapazität. Elektro- meter. Influenz. Spitzenwirkung. Reibungselektroskopmaschine. Kondensator. FRANKLIN'sche Tafel. Leydener Flasche. Dielek- trische Polarisation. Influenzmaschinen. Elektrische Entladung. Elektrischer Funke. Büschel- und Glimmlicht.	
<b>III. Der galvanische Strom und seine Gesetze . . . . .</b>	<b>27—61</b>
GALVANI und VOLTA. Leiter erster und zweiter Klasse. VOLTA'sche Spannungsreihe. Elektrolyse. Galvanische Elemente. Kon- stanter Strom. Polarisation. Elektromotorische Kraft und Potentialdifferenz. Stromstärke. Widerstand. Rheostate. OHM's- ches Gesetz. Klemmenspannung. Spannungsverlust. Regu- lierung der Spannung und Stromstärke. Hinter- und Neben- einanderschaltung von Elementen. Stromverzweigungen. KIRCHHOFF'sche Gesetze. Rheostate im Haupt- und Neben- schlusse. Voltregulatoren. WHEATSTONE'sche Brücke. Strom- und Spannungsmesser. Volt-Milliampèremeter. Shunts.	
<b>IV. Stromarbeit und Stromeffekt. Wärme- und chemische Wirkungen des elektrischen Stromes . . . . .</b>	<b>61—88</b>
Stromenergie. Volt-Coulomb und Joule. Stromeffekt. Volt- Ampère und Watt. JOULE'sche Wärme. Normalquerschnitte. Schalter. Sicherungen. Glühlampen. Elektrisches Bogenlicht. PELTIER'sches Phänomen. Thermoströme. Elektrolyse. CLAUDIUS- ARRHENIUS'sche Theorie. FARADAY'sche Gesetze. Voltmeter. Polarisation. Konstante Elemente. Akkumulatoren. NERNST- sche Theorie.	
<b>V. Elektromagnetismus und Elektrodynamik. Induktionsströme . . . . .</b>	<b>88—114</b>
Ablenkung der Magnetonadel. Elektromagnete. WAGNER'scher Hammer. Kraftlinien. Schirmwirkung des Eisens. Solenoide. Permeabilität. OHM'sches Gesetz für den Magnetismus. Elektro- dynamische Gesetze. Meßinstrumente. Tangentenbusssole. Multi- plikatoren. Spiegelgalvanometer. Astatistische Nadeln. Aperi- odische Galvanometer. Spulengalvanometer. Federgalvanometer. Technische Galvanometer. Elektrodynamometer. Elektrizitäts- zähler. Magneto- und Voltainduktion. Richtung der Induktions- ströme. Größe der induzierten elektromotorischen Kraft. Selbst- induktion. Extrastrom. Selbstpotential.	

	Seite
<b>VI. Elektrische Maschinen und Transformatoren. Wechsel- und Drehströme</b> . . . . .	114—140
Elektrische Maschinen. Generatoren und Elektromotoren. Induzierendes und induziertes System. Gleichstrommaschinen. Magnetelektrische Maschinen. STÖHRER's Kommutator. Doppel-T-Anker. GRAMME'scher Ring. Trommelanker. Dynamoprinzip. Dynamomaschinen. Wechselstrom. Phasendifferenz. Effektive Spannung und Stromstärke. Impedanz. Wattlose Ströme. Wechselstrommaschinen. Mehrphasenströme. Drehstrommotoren. Transformatoren. Zuleitung des Stromes. Zwei- und Dreileiter-System. Energieübertragung.	
<b>VII. Induktionsapparate</b> . . . . .	140—156
Medizinische Induktionsapparate. Schlitteninduktoren. „Primäre“ Induktionsströme. Funkeninduktoren. FIZEAU'scher Kondensator. Funkenlänge und Spannung. Funkenstrecke. Stromwender. Unterbrecher. Platin-, Motor-, Quecksilberstrahl-, Flüssigkeitsunterbrecher. WALTER-Schaltung. Betrieb mit Wechselstrom. Drosselzellen. GRAETZ'sche Schaltung.	
<b>VIII. Röntgen- und Becquerelstrahlen. Teslaströme</b> . . . . .	156—171
Entladungserscheinungen in verdünnten Gasen. GEISSLER'sche, HITTORF'sche, CROOKES'sche Röhren. Kathodenstrahlen. Kanalstrahlen. X-Strahlen. Elektronen. Wesen der Kathoden- und X-Strahlen. Radioaktive Substanzen. Becquerelstrahlen. Radium, Polonium, Aktinium. $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -Strahlen. Induzierte Radioaktivität. Ursprung der Energie des Radiums. Ionisation der Luft. Teslaströme. Impedanz. Licht der Zukunft.	
<b>IX. Die Anwendung der Elektrizität in der Medizin</b> . . . . .	171—218
Wirkung der Elektrizität auf den lebenden Organismus. Franklinisation. Influenzmaschine. Elektrostatisches Luftbad. Franklinische Kopfdusche. Spitzenausstrahlung. Funkenentladungen. MORTON'sche Ströme. Galvanischer Strom. Widerstand des menschlichen Körpers. Elektrische Dichtigkeit. Elektroden. Applikation derselben. Instrumentarium für Galvanisation. Stromquellen. Kollektoren. Rheostate. Galvanometer. Stromunterbrecher und -wender. Fehlerquellen beim Gebrauch galvanischer Apparate. Anwendung des galvanischen Stromes. Elektrolyse. Kataphorese. Galvanokaustik. Elektrische Thermophore. Elektrische Schwitzbäder. Elektrische Beleuchtung. Finsenapparat. Eisenbogenlicht. Dermolampe. Faradisation. Universalapparate. Stromwechsler. Funkeninduktoren. Ozonapparate. Elektrisches Funkenlicht. Monodischer Voltastrom. Kondensatorentladungen. Sinusoidale und undulierende Ströme. Hydroelektrische Bäder. Zwei- und Vierzellenbad. d'Arsonvalisation. Resonanzerscheinungen. Elektromagnete. Permea-Verfahren. Elektromotoren. Anschlußapparate für Gleich- und Wechselstrom.	
Index . . . . .	219—224

## Verzeichnis der Abbildungen.<sup>1</sup>

Fig.

1. Goldblattelektroskop (*Ernecke*).
2. Elektrometer nach KOLBE (*Kohl*).
3. COULOMB'sche Drehwage (*Ernecke*).
- 4 und 5. Zur Erläuterung des Potentialbegriffes.
6. Potentialflächen und Kraftlinien (*Riecke*).
7. Quadrantelektrometer (*Leppin* u. *Masche*).

Fig.

8. Quadrantelektrometer, schematisch.
9. Schema der Influenzwirkung.
10. RIESS'scher Verteilungsapparat (*Leppin* u. *Masche*).
11. Elektrisches Flugrad (*Leppin* u. *Masche*).
12. Spitzenwirkung.
13. Reibungselektroskopmaschine (*Leppin* u. *Masche*).

<sup>1</sup> Die kursiv gedruckten Namen bezeichnen die Autoren und Firmen, aus deren Werken bzw. Verzeichnissen die betreffenden Abbildungen entnommen sind. Es sind dies in alphabetischer Reihenfolge:

*Aron, H.*, Elektrizitätszählerfabrik, Charlottenburg. *Berliner, A.*, Lehrbuch der Experimentalphysik in elementarer Darstellung. Jena 1903. GUSTAV FISCHER. *Dorn, R.*, Die Elektrizität und ihre Anwendung in der Zahnheilkunde. Leipzig 1898. GEORG THIEME. *Ernecke, F.*, Fabrik physikalischer Apparate. Berlin SW., Königgrätzerstr. 112. *Ealer, K.*, Grundzüge der Elektrotechnik. Wien 1895. SPIELHAGEN und SCHURICH. *Gaiße, G.*, Fabrik elektromedizinischer Apparate. Paris. 9, rue Méchain. *Graetz, L.*, Die Elektrizität und ihre Anwendungen. 11. Aufl. Stuttgart 1904. J. ENGELHORN. *Hirschmann, A. W.*, Fabrik elektromedizinischer Apparate. Berlin N., Ziegelstr. 30. *Holz, A.*, Die Schule des Elektrotechnikers. Leipzig. MORITZ SCHÄFER. *Küttler, E.*, Handbuch der Elektrotechnik. Stuttgart 1892. FERDINAND ENKE. *Kohl, M.*, Fabrik physikalischer Apparate. Chemnitz. *Kolbe, B.*, Einführung in die Elektrizitätslehre. Berlin-München 1893 und 1895. JULIUS SPRINGER und R. OLDENBOURG. *Leppin* u. *Masche*, Fabrik physikalischer Apparate. Berlin SO., Engelufer 17. *Levy, M.*, Fabrik elektrischer Apparate. Berlin N., Müllerstr. 30. *Lommel, E.*, Lehrbuch der Experimentalphysik. 10. und 11. Aufl. Leipzig 1904. JOHANN AMBROSIVS BARTH. *Mann, L.*, Elektrotherapie, in GOLDSCHIEDER-JACOB, Handbuch der physikalischen Therapie, Teil I, Bd. II. Leipzig 1901. GEORG THIEME. *Müller-Pouillet*, Lehrbuch der Physik, III. Bd. 9. Aufl. Herausgegeben von L. PFAUNDLER. Braunschweig 1888—90. FRIEDRICH VIEWEG u. Sohn. *Reiniger, Gebbert* u. *Schall*, Fabrik elektromedizinischer Apparate. Erlangen. *Riecke, E.*, Lehrbuch der Physik. 2. Aufl. Leipzig 1902. VEIT u. Comp. *Rieger, C.*, Grundriß der medizinischen Elektrizitätslehre. 3. Aufl. Jena 1893. GUSTAV FISCHER. *Ruhmer, E.*, Konstruktion, Bau und Betrieb von Funkeninduktoren. Leipzig 1904. HACHMEISTER und THAL. *Sanitas*, Elektrizitätsgesellschaft. Berlin NW., Luisenstr. 22a. *Schnée, C. E.*, Das elektrische Vierzellenbad. Berlin 1904. Selbstverlag. *Thompson, P. S.*, Mehrphasige elektrische Ströme und Wechselstrommotoren. Übersetzt von STRECKER. Halle 1896. WILHELM KNAPP.

Fig.

14. Schema des Kondensators.
15. FRANKLIN'sche Tafel (*Leppin u. Masche*).
16. Leydener Flasche (*Leppin u. Masche*).
17. Verteilung der Elektrizität bei der Leydener Flasche.
18. Leydener Batterie (*Leppin u. Masche*).
19. Dielektrische Polarisierung.
- 20–22. HOLTZ'sche Influenzmaschine (*Kolbe*).
23. TÖPLER'sche Influenzmaschine (*Leppin u. Masche*).
24. Mehrplattige Influenzmaschine (*Kohl*).
25. Wimshurstmaschine (*Gaiße*).
26. Verteilung der Elektrizität auf einer Wimshurstmaschine (nach *Graetz*).
27. Analogon zur Funkenentladung.
28. GALVANI's Versuch (*Müller-Pouillet*).
29. Galvanisches Element.
30. VOLTA'sche Säule (*Leppin u. Masche*).
31. Zur Erläuterung der elektromotorischen Kraft.
32. Hintereinanderschaltung.
33. Flüssigkeitsrheostat (*Gaiße*).
34. 35. Graphitrheostat (*Reiniger, Gebbert u. Schall*).
36. Stöpselrheostat (*Leppin u. Masche*).
37. Schema eines Stöpselrheostaten.
38. Walzenrheostat (*Leppin u. Masche*).
39. Schieberrheostat (*Reiniger, Gebbert u. Schall*).
40. Kurbelrheostat (*Kittler*).
41. Kurbelrheostat (*Reiniger, Gebbert u. Schall*).
42. Zur Erklärung des Potentialabfalls (*Holz*).
43. Zur Erläuterung des Potentialabfalls und der Klemmenspannung.
44. Schaltungsweisen von Elementen (*Kolbe*).
- 45–47. Stromverzweigung.
48. 49. Rheostat im Haupt- und Nebenschluß (*Mann*).
50. Kombination zweier Rheostate im Haupt- und Nebenschluß.
51. 52. Voltregulator (*Reiniger, Gebbert u. Schall*).
53. WHEATSTONE'sche Brücke.
54. WHEATSTONE'sche Brücke (*Leppin u. Masche*).

Fig.

55. Milliampèremeter (*Reiniger, Gebbert u. Schall*).
56. Voltmeter (*Reiniger, Gebbert u. Schall*).
57. Schaltungsweise von Strom- und Spannungsmessern (*Holz*).
58. Voltmilliampèremeter (*Reiniger, Gebbert u. Schall*).
59. Ampèremeter mit Nebenschluß.
60. Milliampèremeter mit zwei Nebenschlüssen (*Reiniger, Gebbert u. Schall*).
61. 62. Einpoliger Schalter (*Holz*).
63. Zweipoliger Schalter (*Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft*).
64. Durchschnitt durch eine Sicherung (*Holz*).
65. Sicherung mit Fassung (*Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft*).
66. Glühlampe (*Dorn*).
67. Parallelschaltung von Glühlampen.
68. Versuch über Thermo-Elektrizität (*Dorn*).
69. 70. NOBILI's Thermosäule (*Müller-Pouillet*).
71. GÜLCHER's Thermosäule (*Leppin u. Masche*).
72. Schema der galvanischen Versilberung usw. (*Dorn*).
73. DANIELL-Element (*Ernecke*).
74. Chemische Vorgänge in einem DANIELL-Element.
75. MEIDINGER-Element (*Ernecke*).
76. Reichstelegraphen-Element (*Ernecke*).
77. BUNSEN-Element (*Ernecke*).
78. Flaschen-Element (*Reiniger, Gebbert u. Schall*).
79. Tauch-Batterie (*Reiniger, Gebbert u. Schall*).
80. LECLANCHÉ - Element (*Leppin u. Masche*).
81. LECLANCHÉ - BARBIER - Element (*Reiniger, Gebbert u. Schall*).
82. Trocken - Element (*Siemens u. Halske*).
83. 84. Entstehung eines sekundären Elements, schematisch.
85. Akkumulator nach PLANTÉ (*Dorn*).
86. Akkumulatorzelle (*Holz*).
87. Platte eines Akkumulators (*Holz*).

- Fig.  
 88. Akkumulatorzelle, schematisch (*Dorn*).  
 89. Schaltung beim Laden eines Akkumulators (*Dorn*).  
 90. Vorschaltwiderstand zum Laden von Akkumulatoren, bestehend aus zwei parallelgeschalteten Glühlampen (*Reiniger, Gebbert u. Schall*).  
 91. Rechte-Hand-Regel (*Holz*).  
 92. Verhalten der Pole zur Stromrichtung.  
 93. Elektromagnet (*Dorn*).  
 94. WAGNER'scher Hammer.  
 95. Kraftlinienverlauf im Felde eines Stabmagneten (*Dorn*).  
 96. Kraftlinien eines Hufeisenmagneten (*Holz*).  
 97. Kraftlinien eines Hufeisenmagneten bei Annäherung von weichem Eisen (*Holz*).  
 98. Magnetische Schirmwirkung des Eisens (*Holz*).  
 99. 100. Kraftlinien eines stromdurchflossenen Leiters (*Holz*).  
 101. Kraftlinien um einen Kreisstrom (*Lommel*).  
 102. Kraftlinien eines Solenoids (*Holz*).  
 103. Magnetische Wirkungen eines Solenoids.  
 104. AMPÈRE'sches Gestell (*Dorn*).  
 105. Wirkung gekreuzter Ströme aufeinander.  
 106. Tangentenbussole (*Leppin u. Masche*).  
 107. Vertikalgalvanometer zu Demonstrationszwecken (*Kohl*).  
 108. 109. WIEDEMANN'sches Galvanometer (*Kittler*).  
 110. Spiegelgalvanometer mit Astasierungsmagnet (*Leppin u. Masche*).  
 111. Astatistisches Nadelpaar.  
 112. Dsgl. (*Kittler*).  
 113. Spiegelgalvanometer nach DEPRED'ARSONVAL (*Kittler*).  
 114. Zeigergalvanometer nach DEPRED'ARSONVAL (*Kittler*).  
 115. Technisches Galvanometer nach HUMMEL (*Holz*).  
 116. Federgalvanometer nach KOHLRAUSCH (*Kittler*).
- Fig.  
 117. Technisches Ampèremeter (*Lommel*).  
 118. Elektrodynamometer nach SIEMENS u. HALSKE (*Kohl*).  
 119. Dgl. (*Holz*).  
 120. Coulombzähler nach ARON.  
 121. Wattzähler nach ARON.  
 122. Ablesung bei Elektrizitätszählern (*v. Gaisberg*).  
 123. Nachweis der Induktion (*Müller-Pouillet*).  
 124. Schema der Induktion (*Dorn*).  
 125. Richtung der Induktionsströme bei Bewegung im magnetischen Felde (*Kittler*).  
 126. Zur Erläuterung des LENZ'schen Gesetzes.  
 127. Nachweis des Öffnungs-Extrastroms (*Kittler*).  
 128. Bifilare Wicklung (*Holz*).  
 129. Magnetoelektrische Maschine nach STÖHRER (*Kolbe*).  
 130. Ankerwicklung einer magneto-elektrischen Maschine.  
 131. Kommutator nach STÖHRER (nach *Landois*, Lehrbuch der Physiologie).  
 132. SIEMENS' Doppel-T-Anker oder Zylinderinduktor (*Dorn*).  
 133. Zur Erläuterung des GRAMME'schen Ringes (*Kittler*).  
 134. GRAMME'scher Ring, schematisch.  
 135. GRAMME'scher Ringanker (*Kohl*).  
 136. Analogon z. GRAMME'schen Ringe.  
 137. Verschiedene Formen von Gleichstrom (*Dorn*).  
 138. Trommelanker (*Kohl*).  
 139. Wicklung eines Trommelankers (*Kittler*).  
 140. Hauptstrom-Dynamo (*Holz*).  
 141. Nebenschluß-Dynamo (*Holz*).  
 142. Compound-Maschine (*Holz*).  
 143. Ladung von Akkumulatoren durch eine Nebenschlußmaschine.  
 144. Außenpolmaschine mit Ringmagnet (*Holz*).  
 145. Vierpolige Innenpolmaschine (*Holz*).  
 146. Schema des Wechselstroms (*Dorn*).  
 147. Induktionsströme eines Funkeninduktors.

- |  |   |
|--|---|
| <p>Fig.<br/>148. Phasendifferenz von Wechselströmen (nach <i>Graetz</i>).<br/>149. Wattloser Wechselstrom (<i>Graetz</i>).<br/>150. Zehnpolige Wechselstrommaschine (<i>Meyer</i>, <i>Konservationslexikon</i>).<br/>151. Schema einer Wechselstrommaschine (<i>Exler</i>).<br/>152. Dreiphasenstrommaschine (<i>Thompson</i>).<br/>153. Dreiphasiger Wechselstrom (<i>Thompson</i>).<br/>154. Dreiphasenstrommaschine (<i>Berliner</i>).<br/>155. Erzeugung eines Drehfeldes (nach <i>Holz</i>).<br/>156. Schema der Drehstromwirkung.<br/>157. Zweiphasenstrom.<br/>158. Dreiphasenmotor (<i>Berliner</i>).<br/>159. Wechselstrom - Gleichstromtransformator (<i>Hirschmann</i>).<br/>160. Kerntransformator (<i>Holz</i>).<br/>161. Manteltransformator (<i>Holz</i>).<br/>162. Zweileitersystem.<br/>163. Dreileitersystem.<br/>164. Wechselstromverteilung.<br/>165. Schema eines medizinischen Induktionsapparates (<i>Mann</i>).<br/>166. Schlitteninduktorium (<i>Hirschmann</i>).<br/>167. Durchschnitt durch einen Funkeninduktor (<i>Sanitas</i>).<br/>168. Kondensator nach <i>FIZEAU</i> (<i>Ruhmer</i>).<br/>169. Verstellbare Funkenstrecke (<i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i>).<br/>170. <i>RÜHMKORFF</i>'scher Stromwender (<i>Müller-Pouillet</i>).<br/>171. Durchschnitt durch einen <i>RÜHMKORFF</i>'schen Stromwender.<br/>172. Stromwender (<i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i>).<br/>173. Stromwender (<i>Mann</i>).<br/>174. <i>DEPREZ</i>-Unterbrecher (<i>Ruhmer</i>).<br/>175. Quecksilberwippe.<br/>176. 177. Unterbrecher von <i>LEVY</i>.<br/>178. 179. Unterbrecher von <i>HIRSCHMANN</i>.<br/>180. <i>WEHNELT</i>-Unterbrecher (<i>Ernecke</i>).<br/>181. Dreiteiliger <i>WEHNELT</i>-Unterbrecher (<i>Ernecke</i>).<br/>182. <i>GRAETZ</i>'sche Schaltung v. Drosselzellen (<i>Holz</i>).</p> | <p>Fig.<br/>183. <i>GEISSLER</i>'sche Röhren (<i>Leppin u. Masche</i>).<br/>184. Geradlinige Ausbreitung der Kathodenstrahlen (<i>Ernecke</i>).<br/>185. Wirkung der Kathodenstrahlen auf ein Glimmerrädchen (<i>Ernecke</i>).<br/>186. Wirkung der Kathodenstrahlen auf ein Radiometer (<i>Ernecke</i>).<br/>187. <i>LENARD</i>'scher Versuch (<i>Riecke</i>).<br/>188. Röntgenröhre.<br/>189. <i>TESLA</i>-Anordnung, schematisch.<br/>190. Hochspannungstransformator nach <i>TESLA</i> (<i>Ernecke</i>).<br/>191. Nachweis der Impedanz (<i>Ernecke</i>).<br/>192. Metallschirme zur Erzeugung eines Hochspannungsfeldes (<i>Ernecke</i>).<br/>193. Influenzmaschine nach <i>EULENBURG</i> (<i>Hirschmann</i>).<br/>194. Elektrodenhalter (<i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i>).<br/>195. Franklinische Brause (<i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i>).<br/>196. Franklinische Ohrelektrode (<i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i>).<br/>197. Elektrode mit verstellbarer Funkenstrecke (<i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i>).<br/>198. Zur Erläuterung der Stromdichte.<br/>199. Verschiedene Elektroden (<i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i>).<br/>200. Elektrodenhalter (<i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i>).<br/>201. Bürsten- und Pinselektrode (<i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i>).<br/>202. Walzenelektrode (<i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i>).<br/>203. Elektrode mit langem Stiel (<i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i>).<br/>204. Unterbrecherelektrode (<i>Hirschmann</i>).<br/>205—208. Stromverlauf im Körper nach <i>ERB</i> (<i>Mann</i>).<br/>209. Kurbelkollektor (<i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i>).<br/>210. Schema eines Kurbelkollektors (<i>Mann</i>).<br/>211. Doppelkollektor, schematisch (<i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i>).<br/>212. Virtuelle Kathoden (<i>Mann</i>).<br/>213. Elektropunktornadeln (<i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i>).</p> |
|--|---|

- | Fig.  | Fig.   |
|---|--|
| 214. Uterus-Elektrode zur elektrolytischen Behandlung ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ). | 240. <i>I</i> Induktionsstrom, <i>II</i> Sinusoidaler Strom, <i>III</i> Drehstrom, <i>IV</i> Undulierender Strom ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ). |
| 215. Kataphoretsche Wirkung des elektrischen Stromes ( <i>Dorn</i> ).                         | 241. 242. Apparat f. ein- u. dreiphasigen Wechselstrom ( <i>Hirschmann</i> ).  |
| 216. Kataphoresen-Elektrode ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).                           | 243. Plattenelektrode für elektr. Bäder ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).  |
| 217. Handgriff für Galvanokaustik ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).                     | 244. Metallstange zur Stromzuführung bei elektrischen Bädern ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).   |
| 218. Galvanokaustische Brenner ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).                        | 245. Zweizellenbad nach GÄRTNER ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).  |
| 219. Prostatainzisor nach BOTTINFREUDENBERG ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).           | 246. Vierzellenbad nach SCHNÉE ( <i>Schnée</i> ).  |
| 220. 221. Elektrische Thermophore ( <i>Hirschmann</i> ).                                      | 247. Elektrisches Kopfbad ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).  |
| 222. Allgemeines Glühlicht-Schwitzbad ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).                 | 248. Badeumschalter f. d. Zweizellenbad ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).  |
| 223. Glühlicht-Schwitzbad für die Arme ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).                | 249. Stromverlauf beim Vierzellenbad ( <i>Schnée</i> ).  |
| 224. Stirnlampe ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).                                       | 250. Apparat zur d'Arsonvalisation, schematisch ( <i>Mann</i> ).   |
| 225. Handlampe ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).  | 251. Apparat zur d'Arsonvalisation ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).   |
| 226. Ohrbeleuchtungsinstrument nach BRUNTON ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).           | 252. Hochspannungstransformator nach d'ARSONVAL ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).  |
| 227. Urethroskop nach GÖRL ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).                            | 253. Resonator nach OUDIN ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).  |
| 228. Kystoskop nach NITZE ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).                             | 254. Stehende Wellen.  |
| 229. Apparat nach FINSEN zur Bogenlichtbehandlung ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).     | 255. Großes Solenoid zur allgemeinen d'Arsonvalisation ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).   |
| 230. 231. Dermolampe ( <i>Sanitas</i> ).  | 256. Kondensatorelektrode ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).  |
| 232. Stromwechsler nach DEWATTEVILLE ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).                  | 257. Kondensatorbett nach APOSTOLI ( <i>Gaiiffe</i> ).   |
| 233—235. Stationärer Apparat für Galvanisation und Faradisation ( <i>Hirschmann</i> ).        | 258. Kleine Augenmagnete ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).   |
| 236. Ozonapparat nach LABBÉ und OUDIN ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).                 | 259. Großer Augenmagnet nach HAAB ( <i>Sanitas</i> ).  |
| 237. Ozoninhalator ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).                                    | 260. Apparat zur Behandlung mittels wechselndem magnetischen Felde ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).   |
| 238. Apparat zur Behandlung mit Funkenlicht ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).           | 261. Elektromotor zur Erschütterungsmassage ( <i>Hirschmann</i> ).   |
| 239. Kondensatorapparat, schematisch ( <i>Reiniger, Gebbert u. Schall</i> ).                  | 262. Universal-Anschlußapparat ( <i>Hirschmann</i> ).  |
|   | 263. Schaltungsskizze zum Universalapparat in Fig. 262 ( <i>Hirschmann</i> ).  |





## I. Einige physikalische Grundbegriffe und ihre Maße.

Meine Herren! Bevor wir uns zu unserem eigentlichen Thema, der Lehre von der Elektrizität und ihrer medizinischen Verwertung, wenden, dürfte es angebracht sein, einige allgemeine physikalische Begriffe kurz zu besprechen, die zum Verständnis vieler elektrischer Vorgänge bzw. Gesetze notwendig sind. Es sind dies die Begriffe Kraft, Arbeit, Energie, Effekt und ihre Maße.

**Kraft** nennt man bekanntlich jede zur Erklärung einer Erscheinung angenommene und aus ihren Wirkungen zu erschließende Ursache. Da wir es in der Physik mit Bewegungserscheinungen im weitesten Sinne zu tun haben, so können wir für unsere Zwecke Kraft definieren als Ursache einer Bewegungsänderung. Ein ruhender Körper verharrt in seinem Zustand der Ruhe oder geradlinigen gleichförmigen Bewegung, solange keine neue Kraft auf ihn einwirkt (1. NEWTON'sches Bewegungsgesetz). Jede Änderung des Bewegungszustandes aber, sei es nun der Übergang aus der (scheinbaren) Ruhe in sichtbare Bewegung, sei es eine Änderung der Bewegungs-Richtung oder -Intensität, setzt eben eine Kraft voraus. Damit sind wir in der Lage, den Begriff noch etwas präziser zu formulieren: Kraft ist dasjenige, was einer Masse eine gewisse Beschleunigung<sup>1</sup> verleiht.

$$F = \frac{m v}{t}.$$

Allen Massen wird nun durch die Anziehungskraft der Erde eine gewisse Beschleunigung erteilt. Fällt nämlich ein Körper, so erreicht er am Ende der ersten Sekunde die Beschleunigung  $g = 981 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$  (vgl. Anmerkung); die Erde zieht also alle Massen an mit einer Kraft  $P$  (Pondus)  $= mg$ . Diese auf sie ausgeübte Kraft äußern die Massen durch ihr Gewicht. Man kann somit Kräfte durch Gewichte messen und benutzt daher in der Mechanik als praktische Krafteinheit das Kilogramm (kg).

---

<sup>1</sup> Während Geschwindigkeit das Verhältnis zwischen Weg und Zeit ist,  $v = \frac{s}{t}$ , ist Beschleunigung der Zuwachs an Geschwindigkeit, bezogen auf die Zeit,  $b = \frac{v}{t}$  bzw.  $= \frac{s}{t^2}$ .

**Arbeit** im physikalischen Sinne heißt das Produkt aus Kraft und dem von ihr zurückgelegten Weg.

$$A = Fs.$$

Ist in diesem Produkte ein Faktor = 0, so ist auch die geleistete Arbeit = 0. Dieser Fall besteht z. B., wenn ein Gewicht an einem Faden hängt. Hier wirkt zwar die Anziehungskraft der Erde ein, aber der Körper wird nicht verschoben. Als praktisches Arbeitsmaß dient das Meterkilogramm (mkg), d. h. die Arbeit, welche geleistet wird, wenn 1 kg 1 m gehoben wird.

Die Fähigkeit, Arbeit zu leisten, wird in der modernen Physik mit dem Ausdruck **Energie** bezeichnet. Man unterscheidet hierbei **aktuelle** und **potentielle Energie**. Aktuelle oder kinetische Energie, Energie der Bewegung, früher auch „lebendige Kraft“ genannt, ist die Energie, die ein Körper jeden Augenblick infolge seiner Bewegung besitzt. Dies ist z. B. bei einer abgeschossenen Kanonenkugel der Fall, die eben durch ihre Bewegung befähigt wird, Mauern zu zertümmern usw. Potentielle Energie besitzt dagegen ein Körper, der in einer gewissen Ruhelage ist, aber jeden Augenblick Arbeit leisten kann, wenn er nämlich seine Lage verläßt. So hat z. B. ein Stein auf einem Dache potentielle Energie; denn wenn er fällt, kann er Arbeit leisten. Aus diesem Beispiel geht schon deutlich hervor, daß potentielle Energie eine relative Größe ist; denn die Arbeit, die dieser Stein leisten kann, ist von der Höhe (Niveaudifferenz) abhängig, die er herunterfallen kann. Auch eine gespannte Feder besitzt potentielle Energie (daher auch „Spannkraft“ genannt); ebenso die Atome in einem Molekül, wie sich dies besonders markant bei Sprengstoffen zeigt.

Im praktischen Leben kommt es nun nicht darauf an, daß überhaupt Arbeit geleistet wird, sondern daß sie in einer bestimmten Zeit geleistet wird. Das Verhältnis von Arbeit zu der dazu nötigen Zeit nennt man **Leistung** oder **Effekt**.<sup>1</sup>

$$E = \frac{Fs}{t}.$$

Als praktische Effekteinheit dient die Pferdekraft<sup>2</sup>, d. h. eine Arbeit von 75 Meterkilogramm pro Sekunde. Sie entspricht ungefähr der Arbeitsleistung von sieben kräftigen Männern in 1 Sekunde.

<sup>1</sup> Zuweilen wird synonym dafür die Bezeichnung **Nutzeffekt** gebraucht. Genau genommen ist aber Nutzeffekt nur derjenige Effekt, der wirklich nutzbare Verwendung findet.

<sup>2</sup> Dieser Ausdruck kann wie die früher für kinetische Energie übliche Bezeichnung „lebendige Kraft“ leicht zu Irrtümern führen. Es handelt sich hier eben nicht um Kräfte, sondern im ersten Fall um ein **Effektmaß**, im zweiten um eine **Arbeitsgröße**.

Nachdem wir somit einige der wichtigsten allgemeinen physikalischen Grundbegriffe, die für unsere Zwecke besonders in Betracht kommen, und ihre praktischen Maße kennen gelernt haben, wollen wir noch ihre Beziehungen zu dem sogenannten **absoluten Maßsystem** kurz besprechen. In diesem von GAUSS und WEBER begründeten System werden alle Größen durch die Einheiten der Länge, Masse und Zeit ausgedrückt, und zwar wählt man jetzt als solche ausschließlich das Zentimeter, das Gramm und die Sekunde (Z-G-S-System). Auf das Zentimeter — den hundertsten Teil eines in Paris aufbewahrten Normalmaßstabes — und die Sekunde — den 86 400 sten Teil des mittleren Sonnentages — brauchen wir hier nicht näher einzugehen; wohl aber bedarf der Begriff „Gramm“ einer Erklärung, da hier manche Unklarheiten herrschen. Man hat nämlich zwei Arten von Gramm zu unterscheiden, das Massengramm und das Grammgewicht. Im absoluten Maßsystem bedeutet „Gramm“ ausschließlich eine Masse, nämlich die Masse eines Kubikzentimeters Wasser von 4°. Hier haben wir es also mit dem Massengramm zu tun. Im gewöhnlichen Leben dagegen verstehen wir unter Gramm bekanntlich ein Gewicht. Dieses Grammgewicht repräsentiert ein Kraftmaß und ist — entsprechend der Formel  $P = mg$  (s. o.) — 981 mal größer als das Massengramm. Diesen prinzipiellen Unterschied muß man beachten, wenn man das Folgende verstehen will. Als absolute Krafteinheit oder Dyne bezeichnet man nun, entsprechend der bereits erwähnten Formel  $F = \frac{mv}{t}$ , diejenige Kraft, die der Masseneinheit (also dem Massengramm) in der Zeiteinheit (also in 1 Sekunde) die Geschwindigkeit 1 erteilt.<sup>1</sup> Im gewöhnlichen Leben werden, wie wir sahen, Kräfte durch Gewichte ausgedrückt. Es liegt daher die Frage nahe: Wieviel absolute Krafteinheiten (Dyner) entsprechen einem Gramm? (Und zwar handelt es sich hier natürlich um das Grammgewicht.) Da letzteres, entsprechend der Formel  $P = mg$ , das Produkt aus der Masseneinheit (1 Massengramm) und der Beschleunigung durch die Erdanziehung ( $g = 981$ ) ist, ergibt sich ohne weiteres: Um ein Grammgewicht in Dyner zu verwandeln bzw. um das Gewicht einer Masse zu finden, hat man mit 981 zu multiplizieren. Will man umgekehrt Dyner durch Grammgewichte ausdrücken oder die einem Gewichte entsprechende Masse finden, so hat man durch 981 zu dividieren. Also:

$$1 \text{ (Gewichts-) Gramm} = 981 \text{ Dyner}$$

$$1 \text{ Dyne} = \frac{1}{981} \text{ Gramm} = 1,02 \text{ Milligramm.}$$

---

<sup>1</sup> Die Geschwindigkeit 1 ist vorhanden, wenn ein Weg von 1 cm in 1 Sekunde zurückgelegt wird.

Die absolute Arbeitseinheit ist, der Formel  $A = F s$  entsprechend, vorhanden, wenn die absolute Kräfteinheit (1 Dyne) eine Verschiebung um die Längeneinheit (1 cm) bewirkt. Diese absolute Arbeitseinheit wird mit dem Namen Erg bezeichnet. Nennt man nun 1 Million Erg 1 Megaerg<sup>1</sup> und 10 Megaerg 1 Joule, so ist das gewöhnliche praktische Arbeitsmaß, 1 Meterkilogramm = 98,1 Megaerg bzw. 9,81 Joule.

Es ist nämlich 1 Meterkilogramm = 100 000 Zentimetergramm. Da es sich hier um Grammgewichte handelt, müssen dieselben zur Umwandlung in das absolute Maßsystem mit 981 multipliziert werden. Mithin ist 1 mkg = 98 100 000 Erg, d. h. eben = 98,1 Megaerg oder 9,81 Joule.

Die absolute Effekteinheit ist schließlich, entsprechend der Formel  $\frac{F s}{t}$ , vorhanden, wenn die Arbeitseinheit (1 Erg) in der Zeiteinheit (1 Sekunde) geleistet wird. Diese absolute Einheit wird daher auch als Sekundenerg bezeichnet. 1 Million solcher Einheiten heißen wieder 1 Sekunden-Megaerg, 10 Millionen 1 Watt. Letzteres kann auch definiert werden als 1 Joule pro Sekunde. Das gewöhnliche Effektmaß der Praxis, 1 Pferdekraft, entspricht 736 Watt oder 0,736 Kilowatt.

Es ist nämlich 1 Pferdekraft = 75 Meterkilogramm pro Sekunde = 75 · 98,1 Megaerg pro Sekunde = 7360 Sekunden-Megaerg = 736 Watt.

Multipliziert man ein Effektmaß mit der Zeit, so erhält man wieder das Maß der während dieser Zeit geleisteten Arbeit:  $\frac{F s}{t} \cdot t = F s$ . In diesem Sinne spricht man von Wattstunden, Kilowattstunden usw.

Oft kommt es darauf an, mechanische Arbeit durch die von ihr produzierte Wärme, also in Kalorien auszudrücken. Unter 1 Kalorie versteht man diejenige Wärmemenge, die nötig ist, um 1 Gramm bzw. 1 Kilogramm Wasser von 0° auf 1° zu erwärmen. Zwischen Wärme und mechanischer Arbeit besteht nun die wichtige Beziehung, daß eine (Kilogramm-) Kalorie äquivalent einer Arbeit von 425 Meterkilogramm ist (1. Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie). Es ist also

$$\begin{aligned} 1 \text{ Kilogrammkalorie} &= 425 \text{ Meterkilogramm} \\ &= 425 \cdot 9,81 \text{ Joule.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Folglich 1 Joule} &= \frac{1 \text{ Kilogrammkalorie}}{425 \cdot 9,81} \\ &= 0,00024 \text{ Kilogrammkalorien} \\ &= 0,24 \text{ Grammkalorien.} \end{aligned}$$

<sup>1</sup> Die Vorsilbe Mega- bezeichnet bei Maßen das Millionfache, Mikro- den millionten Teil der Einheit.

## II. Elektrostatik.

Meine Herren! Unseren praktischen Zwecken entsprechend, wollen wir uns nicht lange bei den verschiedenen Hypothesen über das Wesen der Elektrizität aufhalten und auch darauf verzichten, eine alle elektrischen Vorgänge umfassende Definition des Begriffs Elektrizität zu geben. Es mag genügen, darauf hinzuweisen, daß Elektrizität jedenfalls eine Form der Energie vorstellt, die also nur in Verbindung mit Massen und durch ihre Wirkung an solchen zu unserer Wahrnehmung kommen kann. Nach neueren Forschungen ist sie sogar wahrscheinlich die Urenergie des Weltalls, worauf wir bei der Elektronenhypothese noch zurückkommen werden.

Man kann die sogenannten elektrischen Vorgänge danach einteilen, ob es sich um „ruhende“ oder „bewegte“ Elektrizität handelt, und unterscheidet demgemäß die Lehre von der statischen Elektrizität (Elektrostatik) und von der dynamischen Elektrizität (Elektrodynamik oder besser Elektrokinetik). Oder man charakterisiert sie nach der Art ihrer Entstehung und spricht dann von Reibungs-, galvanischer, Thermo-, Induktions- usw. Elektrizität.

Wir wollen uns nun zunächst mit den Gesetzen der **statischen Elektrizität** befassen, obwohl sie für Mediziner weniger wichtig ist. Aber einmal ist sie die zuerst bekannt gewordene Form der Elektrizität, und andererseits sind gewisse elektrostatische Grundbegriffe für das Verständnis des Folgenden unerlässlich.

Das am längsten bekannte Mittel, Körper elektrisch zu machen, besteht bekanntlich darin — wie schon die Alten beim Bernstein (*ἤλεκτρον*) beobachteten und daher den Namen ableiteten —, Körper zu reiben. Sie gewinnen dadurch die Eigenschaft, leichte Gegenstände (Papierschnitzel usw.) anzuziehen bzw. abzustößen. Hierbei verhalten sich nicht alle Körper gleich. Ein mit Seide geriebener Glasstab zieht z. B. Gegenstände an, die von einer mit Pelz geriebenen Siegellackstange abgestoßen werden. Man unterscheidet demgemäß Glaselektrizität und Harzelektrizität und nennt auch erstere herkömmlicherweise positive, letztere negative Elektrizität. Reibt man zwei Körper gegeneinander, so wird der eine (z. B. Glas) stets positiv, der andere (z. B. Seide) negativ.

Zum bequemen Nachweis des elektrischen Zustandes dienen die sogenannten **Elektroskope**. Die einfachste Form derselben ist das

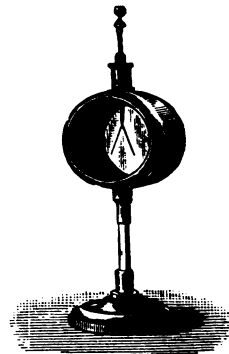


Fig. 1.  
Goldblattelektroskop.

elektrische Pendel, ein an einem Seidenfaden aufgehängtes Kügelchen aus Holundermark. Nähert man letzterem einen elektrischen Körper, so wird es angezogen bzw. abgestoßen. Besser sind die Blattelektroskope (Fig. 1). Hier geht durch den Hals eines Glasbehälters eine Metallstange, die oben in einem Knopf, unten in zwei Streifen von Blattgold oder Aluminium usw. endet. Berührt man den Knopf mit einem elektrischen Körper, so fließt die Elektrizität (s. u.) in die beiden Metallstreifen, die also beide dieselbe Art von Elektrizität erhalten. Man beobachtet dann, daß sie auseinander gehen. Entfernt man nun den ersten elektrischen Körper, der z. B. positiv war, und berührt den Knopf mit einem anderen positiven Körper, so wird die Divergenz der Streifen noch größer; berührt man ihn dagegen mit

einem negativen elektrischen Körper, so fallen die beiden Blättchen zusammen. Mit einem solchen Elektroskop kann man somit nicht nur das Vorhandensein, sondern auch die Art einer elektrischen Ladung und aus der Größe des Divergenzwinkels auch die vorhandene Elektrizitätsmenge bestimmen. In letzterem Falle nennt man die Apparate Elektrometer (s. u.). Besonders vollkommen ist das Aluminiumblatt-elektrometer nach KOLBE (Fig. 2.) Dasselbe besteht, abgesehen von verschiedenen

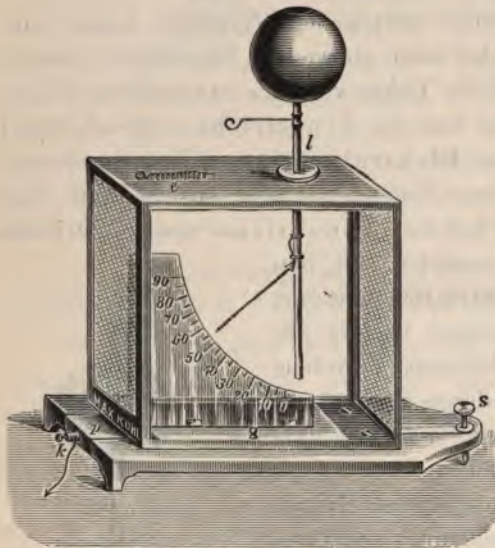


Fig. 2. Elektrometer nach KOLBE.

Nebenapparaten, aus einem metallenen Leitungsstab, an dem ein Aluminiumblättchen angebracht ist, und ist von einem metallenen Gehäuse umgeben, das bei feineren Versuchen zur Erde abgeleitet wird. Beim Nichtgebrauch wird der Leitungsstab durch einen biegsamen Metalldraht ( $e$ ) mit dem Gehäuse und dieses mit der Erde leitend verbunden.

Aus den eben beschriebenen Versuchen folgt: 1. Gleichnamige elektrische Körper stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an. 2. Gleiche Mengen positiver und negativer Elektrizität neutralisieren sich gegenseitig. Demnach kann man sich einen unelektrischen Körper als solchen vorstellen, der beide Arten von Elektrizität in gleichen Mengen enthält.

Die **Stärke der gegenseitigen Anziehung** bzw. Abstoßung zweier elektrischer Körper ermittelte COULOMB 1785 mittels der sogenannten Drehwage (Fig. 3). Hier wirken zwei kleine Kugeln aus leitender Substanz aufeinander, von denen die eine feststeht, die andere an einem in der Horizontalebene drehbaren Wagebalken angebracht ist. Ladet man die Standkugel, so stößt sie die bewegliche Kugel ab. Die Größe der Abstoßung kann bei kleiner Ablenkung dem Drehungswinkel, der an einer Skala abgelesen wird, proportional gesetzt werden.

Durch vielfache Messungen fand nun COULOMB das nach ihm benannte Gesetz: Bezeichnet man mit  $e$  und  $e'$  die elektrische Ladung zweier Körper, mit  $r$  deren Abstand, so ist die Intensität der Anziehung bzw. Abstoßung direkt proportional den Elektrizitätsmengen, umgekehrt proportional der Entfernung

$$F = - \frac{e \cdot e'}{r^2}.$$

Durch das Minuszeichen ist zugleich die Richtung der Bewegung bestimmt. Sind nämlich  $e$  und  $e'$  gleichnamig, so folgt aus  $- (+e \cdot +e')$  oder  $- (-e \cdot -e')$ , daß Abstoßung stattfindet; sind sie ungleichnamig, so ergibt  $- (+e \cdot -e')$  Anziehung.

Als absolute (elektrostatische) Einheit der Elektrizitätsmenge ist nach dieser Formel diejenige Elektrizitätsmenge zu bezeichnen, die auf eine ihr gleiche im Abstände 1 cm die Kraft 1 Dyne ausübt. Da diese Größe außerordentlich klein ist, hat man als praktische Einheit der Elektrizitätsmenge das Dreimilliardenfache derselben gewählt und sie dem Entdecker des Gesetzes zu Ehren Coulomb genannt.

Wie wir sahen, kann also ein Körper durch Reibung elektrisch werden. Der elektrische Zustand kann aber auch dadurch entstehen, daß ein unelektrischer Körper von einem bereits elektrischen berührt wird. Nach ihrem Verhalten hierbei unterscheidet man **Leiter** und **Nichtleiter**. Bei ersteren verteilt sich die Elektrizität von der Berührungsstelle aus schnell über den ganzen Körper; man kann ihn also von einem Punkte aus „laden“, umgekehrt aber auch „entladen“.

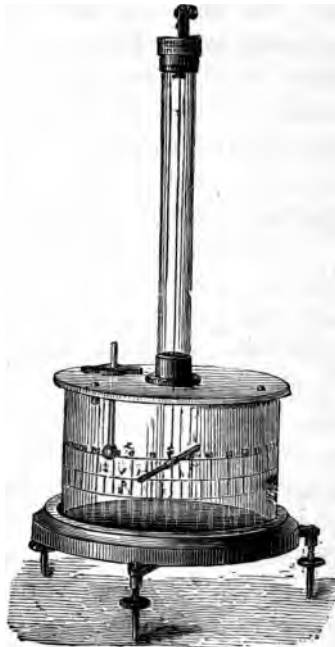


Fig. 3. COULOMB'sche Drehwage.

Solche Leiter<sup>1</sup> der Elektrizität sind vor allem die Metalle (unter ihnen wieder in erster Linie Silber und Kupfer), der menschliche Körper, die Erde, feuchte Luft, Kohle usw. Um also einen mit Elektrizität geladenen Leiter zu entladen, braucht man nur eine Stelle desselben mit der Erde, die das größte Reservoir sowohl für positive wie für negative Elektrizität vorstellt, in leitende Verbindung zu bringen, etwa indem man einen Metalldraht von dieser Stelle zur Erde (direkt oder durch Vermittlung einer Wasser- oder Gasleitung) führt oder ihn mit der Hand berührt; in letzterem Falle „fließt“ eben die Elektrizität durch den ebenfalls leitenden menschlichen Körper zur Erde. Ein „zur Erde abgeleiteter“ oder „geerdeter“ Leiter verliert also sofort seine ganze Elektrizität.

Berührt man dagegen einen Nichtleiter mit einem elektrischen Körper, so wird er nur an der Berührungsstelle elektrisch; umgekehrt wird ein geladener Nichtleiter immer nur an der Stelle entladen, die zur Erde abgeleitet wird. Auf diesem Verhalten der Nichtleiter beruht ihre Fähigkeit, Leiter, welche von ihnen umgeben werden, vor dem Verluste der Elektrizität zu schützen, mit anderen Worten zu isolieren. Die Nichtleiter heißen daher auch Isolatoren. Ein geladener elektrischer Körper ist also z. B. isoliert, wenn er auf einer Unterlage von Glas steht, wenn er von Kautschuk umgeben ist usw. Zu den Isolatoren gehören besonders Glas, Porzellan, Harz, Seide, Hartgummi, trockene Luft.

In neuerer Zeit ist man allerdings zu einer ganz anderen Auffassung von der Wirkung der Leiter und Nichtleiter gelangt, wie wir bei der Besprechung der Dielektrica sehen werden. Einen vollkommenen Isolator gibt es übrigens für Elektrizität ebensowenig wie für Wärme; zwischen den ausgesprochenen Leitern und Nichtleitern stehen die sogenannten Halbleiter, z. B. Holz und Fischbein. Beiläufig bemerkt, kommt es nicht selten vor, daß Glas Elektrizität nicht zu isolieren vermag; es hat dies dann seinen Grund darin, daß sich an seiner Oberfläche der Wasserdampf der Luft niederschlägt.

Folgende Tabelle (nach PFAUNDLER, 9. Aufl. von MÜLLER-POUILLET'S Physik) enthält eine Zusammenstellung der bekannteren Leiter, Halbleiter und Nichtleiter, wobei die aufgeführten Stoffe in der Reihenfolge von den besten zu den schlechtesten Leitern geordnet sind:

Leiter:	Metalle, Kohle, Graphit, Säuren, Salzlösungen, Seewasser, Fluß- und Quellwasser, Regenwasser, Schnee (naß), lebende Vegetabilien, lebende animalische Teile, lösliche Salze, Leinen, Baumwolle.
Halbleiter:	Alkohol, Äther, Glaspulver, Schwefelblumen, trockenes Holz, Marmor, Papier, Stroh, Eis bei 0°.

<sup>1</sup> Leiter heißen auch Konduktoren, speziell wenn sie auf einem nicht leitenden Fuße stehen.



**Nichtleiter:** Trockene Oxyde, fette Öle, Asche, Eis bei  $-25^{\circ}$ , Phosphor, Kreide, Kautschuk, ätherische Öle, Porzellan, gutgetrocknete Vegetabilien, Leder und Pergament, Federn, Haare, Wolle, Seide, Edelsteine, Glimmer, Glas, Wachs, Paraffin, Schwefel, Harze.

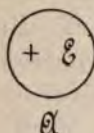
Da, wie wir sahen, gleichnamige Elektrizitätsmengen sich abstoßen, so folgt unmittelbar daraus, daß sich bei Leitern die Elektrizität stets an der Oberfläche derselben befinden muß. Experimentell wies dies FARADAY dadurch nach, daß er sich mit einem Elektroskop in das Innere eines — isoliert aufgestellten — Metallkäfigs begab. War das Elektroskop mit der Wand desselben leitend verbunden, so zeigte es auch bei stärkster Elektrisierung des Käfigs keinen Ausschlag.

Betrachten wir nun die Art der Verteilung der Elektrizität auf einem Leiter. Hierbei ist es zweckmäßig, sich des Begriffs der **elektrischen Dichte** zu bedienen. Man versteht darunter diejenige Elektrizitätsmenge, die auf die Flächeneinheit (1 qcm) kommt. Wie man experimentell nachweisen kann, ist z. B. auf einer Kugel die Elektrizität überall gleichmäßig verteilt, die Dichte also an allen Stellen dieselbe; auf einem länglichen Zylinder bzw. einem eiförmigen Körper ist die Dichte an den Enden größer als in der Mitte. Man kann dies dadurch nachweisen, daß man mit 1 qcm großen metallischen Probescheibchen an den verschiedenen Stellen Elektrizität entnimmt und auf ein Elektrometer überträgt. Auf diese Weise findet man das allgemeine Gesetz, daß die Dichte der Elektrizitätsmenge direkt, dem Krümmungsradius umgekehrt proportional ist. Hieraus folgt — und die Erfahrung bestätigt dies —, daß die elektrische Dichtigkeit am größten in Spitzen ist, deren Krümmungsradius ja als unendlich klein betrachtet werden kann. Wir werden auf die Spitzenwirkung noch zu sprechen kommen.

Das Bestreben der Elektrizität, sich auszubreiten, das ja, wie wir sahen, ihre Anordnung auf der Oberfläche von Leitern bedingt, findet eine Schranke durch einen umgebenden Nichtleiter. Obschon aber die Elektrizität sich in diesem Falle nicht weiter ausbreiten kann (cf. S. 20), ist die Tendenz hierzu nicht erloschen, sondern äußert sich in dem Bestreben, den Leiter zu verlassen. Dieses Bestreben nennt man **elektrische Spannung**. Die elektrische Spannung kann etwa mit dem Druck verglichen werden, den ein Gas auf die Wände seines Behälters ausübt. In neuerer Zeit hat man an Stelle des Begriffs elektrischer Spannung den Begriff **elektrisches Potential** eingeführt, auf den wir seiner großen Wichtigkeit wegen etwas näher eingehen müssen.

Ein mit der positiven Elektrizitätsmenge  $+E$  geladener Körper  $A$  (Fig. 4) besitzt, wie bereits erwähnt, die Eigenschaft, andere ebenfalls

positive elektrische Körper abzustößen. Nähern wir ihm also einen mit der Elektrizitätseinheit  $+e$  geladenen Körper  $B$  aus der Unendlichkeit<sup>1</sup> bis etwa zum Punkte  $P$ , so müssen wir gegen die abstoßenden Kräfte von  $A$  eine bestimmte Arbeit<sup>2</sup> leisten. Überläßt man dann den bis zu dem Punkte  $P$  herangebrachten Körper  $B$  der Einwirkung



$\times$   
 $\mathcal{P}$

$\oplus$   
 $\mathcal{B}$

von  $A$ , so wird umgekehrt  $B$  von  $P$  aus in die Unendlichkeit abgestoßen und leistet nach dem Gesetze von der Erhaltung der Energie eine ebenso große

Fig. 4. Zur Erläuterung des Potentialbegriffs.

Arbeit, wie vorher zur Annäherung aufgewandt werden mußte. Der Körper  $B$  besitzt also im Punkte  $P$  eine bestimmte potentielle Energie (S. 2), oder, wie man zu sagen pflegt, ein bestimmtes Potential. Das Potential in einem Punkte eines elektrischen Feldes entspricht demnach der Arbeit, die gegen elektrische Kräfte aufgewandt werden muß, um die Einheit der (gleichnamigen) Elektrizitätsmenge aus unendlicher Entfernung bis zu diesem Punkte heranzubringen; bzw. es entspricht der Arbeit, die elektrische Kräfte leisten, um die Einheit der (gleichnamigen) Elektrizitätsmenge von diesem Punkte aus bis zur Unendlichkeit fortzubewegen. Hierbei ist es ganz gleichgültig, welchen Weg die

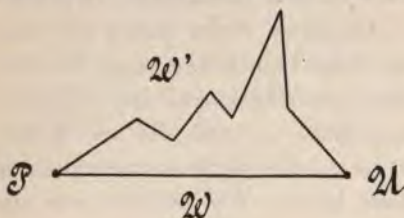


Fig. 5.

Zur Erläuterung des Potentialbegriffs.

Elektrizitätseinheit zwischen  $P$  und der Unendlichkeit zurücklegt. Wäre dies nämlich nicht der Fall, würde man z. B. auf dem Wege  $W$  (Fig. 5) weniger Arbeit zur Annäherung der Elektrizitätseinheit aufwenden, als auf dem Wege  $W'$  bei ihrer Abstoßung geleistet wird, so erhielte man ja eine Arbeitsleistung

ohne entsprechende Energieaufwendung, kurz ein Perpetuum mobile, was bekanntlich ein Ding der Unmöglichkeit ist. In jedem Punkte eines elektrischen Feldes hat daher das Potential nur einen ganz bestimmten Wert. Die Flächen, welche Punkte gleichen Potentials einschließen, heißen Äquipotentialflächen. Die elektrischen Kräfte bzw. die Linien, die zu ihrer Darstellung dienen (Kraftlinien), stehen überall senkrecht zu den Potentialflächen. Fig. 6 zeigt z. B. einen Durchschnitt der Potentialflächen, die einen aus zwei Kugelabschnitten zusammengesetzten Konduktor umhüllen, nebst den Kraftlinien.

<sup>1</sup> Mit „unendlich“ ist hier die Entfernung gemeint, in der die von  $A$  ausgeübte Abstoßung  $= 0$  ist.

<sup>2</sup> Arbeit  $=$  Kraft  $\times$  Weg (S. 2).

Wie groß ist nun das Potential im Punkte  $P$  (Fig. 4)? Offenbar proportional der auf  $A$  befindlichen Elektrizitätsmenge, umgekehrt proportional der Entfernung zwischen  $A$  und  $P$ . In der Tat ergibt die mathematische Ableitung, von der wir hier absehen wollen,  $V^1 = \frac{E}{r}$ . Herrscht in zwei Punkten verschiedenes Potential, so entspricht die Potentialdifferenz (oder wie man auch sagt, der Spannungsunterschied) an diesen Punkten der Arbeit, die zur Überführung der Elektrizitätseinheit aus der einen Lage in die andere

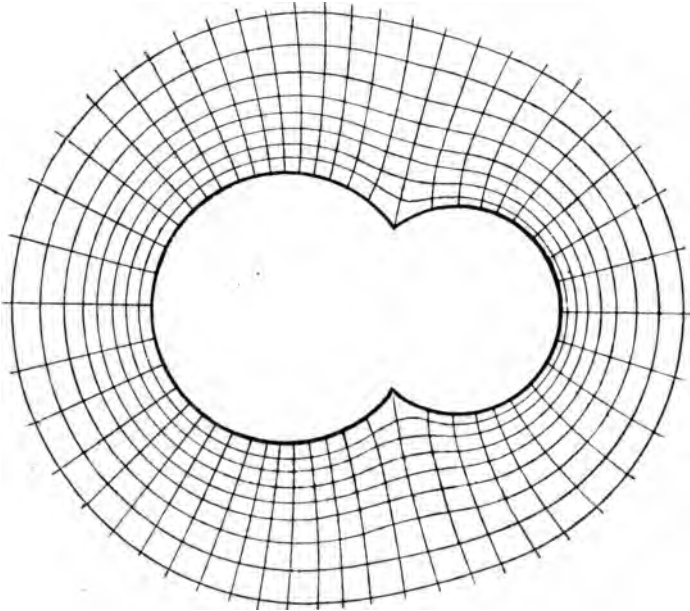


Fig. 6. Äquipotentialflächen und Kraftlinien.

erforderlich ist. Ebenso nun wie eine Flüssigkeit bestrebt ist, von einem höheren Niveau zu einem tieferen zu fließen, wie ein Gas sich von Orten höheren Drucks zu solchen niederen Drucks ausbreitet, so strömt auch die Elektrizität stets von Stellen höheren zu solchen niedrigeren Potentials. Verbindet man dagegen zwei Punkte gleichen Potentials miteinander, so findet keine Bewegung der Elektrizität statt; oder, wie man auch umgekehrt sagen kann: die Oberfläche eines Leiters, auf dem die Elektrizität im Gleichgewicht ist, ist eine äquipotentielle Fläche (Niveaufläche). Die Erfahrungstatsache, daß alle zur Erde abgeleiteten Körper ihre Elektrizität verlieren, drückt man dadurch aus, daß man (willkürlich) das Potential der Erde mit Null bezeichnet, wie man ja auch aus praktischen

<sup>1</sup> Potential wird gewöhnlich mit  $V$  bezeichnet, was entweder die Abkürzung von *vis* (Kraft) oder *Volt* ist.

Gründen das Meeresniveau willkürlich als Null-Niveau annimmt. Und wie man streng genommen nur von Temperatur- und Niveaudifferenzen sprechen kann, gibt es auch kein absolutes Potential, sondern nur Potentialdifferenzen, entweder zwischen einem Punkte und der Erde oder zwischen zwei beliebigen Punkten.

Die absolute Einheit der Potentialdifferenz ist nun vorhanden, wenn die Arbeit, die beim Transport der Elektrizitätseinheit von einem Punkt zum andern geleistet wird, gerade 1 Erg beträgt (S. 4). Ein Körper besitzt also z. B. das Potential 1, wenn die Arbeit 1 Erg notwendig war, um die Elektrizitätseinheit von der Erde auf ihn zu schaffen. Als praktisches Maß für Potentiale und Potentialdifferenzen gebraucht man den 300. Teil dieser elektrostatischen Einheit und nennt sie 1 Volt. Man kann auch 1 Volt definieren als diejenige Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten, bei der die Arbeit von 1 Joule zum Transport von 1 Coulomb von einem Punkt zum andern notwendig ist.

Eng verbunden mit dem Potentialbegriff ist der Begriff der **elektrischen Kapazität**. Wie nämlich das Niveau einer Flüssigkeit nicht nur durch ihre Menge, sondern auch durch die Weite (Kapazität) des Behälters bedingt ist, wie die Spannung eines Pneumatiks nicht nur von der Menge der hineingepreßten Luft, sondern auch von der Größe (Kapazität) der Gummireifen, die Temperaturzunahme eines Körpers nicht nur von der zugeführten Wärmemenge, sondern auch von seiner Natur (Wärmekapazität) abhängt, so kommt also auch für das Potential eines Körpers dessen elektrisches „Fassungsvermögen“, seine Kapazität, in Betracht. Das heißt: um verschiedene Körper auf dasselbe Potential zu bringen, sind verschieden große Elektrizitätsmengen erforderlich. Die Kapazität ist somit das Verhältnis zwischen Elektrizitätsmenge und Potential  $\kappa = \frac{e}{V}$ . Einheit der Kapazität ist also vorhanden, wenn die Einheit der Elektrizitätsmenge (in der Praxis also 1 Coulomb) einem Körper zugeführt werden muß, damit sich seine Spannung um eine Einheit (in der Praxis also um 1 Volt) erhöht. Diese Einheit wird nach dem großen Physiker FARADAY mit dem Namen Farad bezeichnet. Ein Körper besitzt also die Kapazität 1 Farad, wenn er bei Ladung mit 1 Coulomb das Potential 1 Volt annimmt. Da diese Einheit unbequem groß ist (die gesamte Erdkugel besitzt z. B. die Kapazität 0,0007 Farad), so benutzt man in der Praxis als Einheit gewöhnlich den millionsten Teil davon, das Mikrofarad. Hervorgehoben sei noch, daß die elektrische Kapazität im Gegensatz zur Wärmekapazität nicht von der Natur des betreffenden Körpers abhängt, sondern nur von seiner Größe und Form (und der Nachbarschaft anderer Leiter).

Aus der erwähnten Formel  $\alpha = \frac{e}{V}$  folgt natürlich, daß man jede dieser drei Größen (Kapazität, Elektrizitätsmenge, Potential) kennt, wenn die beiden anderen gegeben sind. So ist z. B.  $V = \frac{e}{\alpha}$ . Das heißt aber nichts anderes, daß das Potential eines Körpers seiner Ladung proportional ist. Wird auf einem Konduktor die Elektrizitätsmenge verdoppelt, so ist eben die doppelte Arbeit nötig, um die Einheit der gleichnamigen Elektrizität auf ihn zu bringen (s. o.) Schließlich ist  $e = \alpha \cdot V$ ; d. h. die Ladung, die man auf einen Körper bringen kann, hängt von seiner Kapazität und dem Potential des ladenden Körpers ab. Da nun die Divergenz der Blätter eines Elektroskops proportional ihrer Ladung ist, so ist sie auch proportional dem Potentiale, zu dem das Elektroskop geladen wurde, somit auch proportional dem Potentiale des ladenden Körpers. Man kann die Divergenz also auch als Maßstab des Ladungspotentials betrachten. Elektroskope nun, welche durch Anbringung einer Skala (die gewöhnlich empirisch nach Volts geeicht ist) die Messungen von Elektrizitätsmengen und Potentialen bzw. Potentialdifferenzen gestatten, heißen **Elektrometer** (auch elektrostatische Voltmeter). So kann z. B. das bereits erwähnte KOLBE'sche Elektroskop (Fig. 2) als Elektrometer dienen. Besonders empfindlich ist das Quadrantelektrometer von Lord KELVIN (früher Sir W. THOMSON).

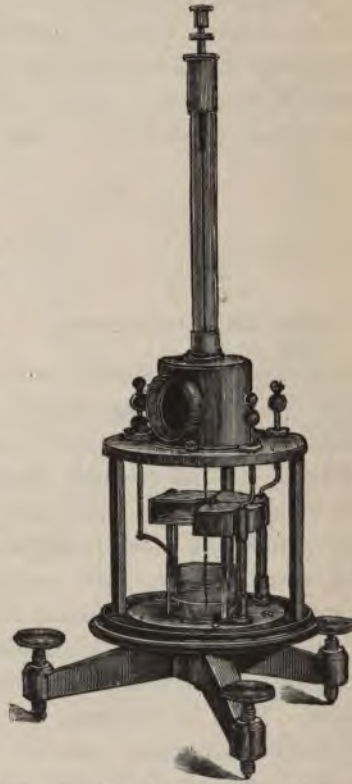


Fig. 7. Quadrantelektrometer.

Hier (Fig. 7) schwingt ein stets stark positiv geladenes, ungefähr sohlenförmiges Aluminiumblättchen in einer Messingbüchse, die aus vier voneinander getrennten, durch Glasfüße isolierten Quadranten besteht (in der Figur ist ein Quadrant fortgelassen, damit man die Nadel sehen kann). Je zwei dieser Quadranten, und zwar die gegenüberstehenden, sind miteinander ständig durch einen Draht verbunden (Fig. 8); zwei tragen ein Metallstäbchen. Verbindet man nun eines dieser Metallstäbchen mit der Erde, so wird dadurch das Potential des zugehörigen Quadrantenpaares = Null. Führt man jetzt durch das andere Stäbchen dem zweiten Quadrantenpaare Elektrizität zu, so wird das stets

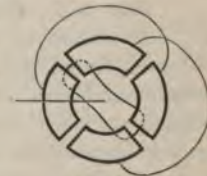


Fig. 8.

positive Aluminiumblättchen von ihm abgestoßen oder angezogen, je nachdem die zugeführte Elektrizität positiv oder negativ war. Die Größe der Drehung — die man an einem Spiegel abliest, der an der Achse der Nadel angebracht ist und das Bild einer entfernten Skala zeigt — ist ein Maß für die Elektrizitätsmenge bzw. das Potential des untersuchten Körpers. Die Achse der Nadel taucht gewöhnlich in ein Gefäß mit Schwefelsäure, die einerseits zur Zuleitung der positiven Ladung der Nadel, andererseits zur Dämpfung der Nadel-schwingungen dient.

Wir kommen nun zu einem besonders wichtigen Kapitel der Elektrostatik, nämlich zur Lehre von der **elektrischen Influenz**. Ein Körper kann nämlich nicht nur durch Reibung bzw. Berührung mit einem anderen bereits elektrischen Körper selbst elektrisch werden. Es genügt vielmehr schon die Annäherung eines elektrischen Körpers. Diese Wirkung nennt man eben elektrische Influenz oder elektrostatische Induktion. Daß es sich hierbei um keine sogenannte

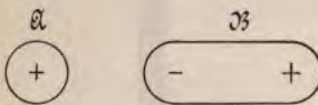


Fig. 9.

Schema der Influenzwirkung.

Fernwirkung handelt, werden wir später sehen. Betrachten wir nun die Influenzwirkung genauer, so finden wir, daß der bis dahin unelektrische Körper *B* (Fig. 9), wenn man ihm den positiv elektrischen Körper *A* nähert, auf der diesem zugewandten Seite negativ, auf der abgewandten Seite positiv elektrisch wird. Zur Erklärung nimmt man an, daß ein unelektrischer Körper eben schon beide Arten von Elektrizität besitzt, aber in gleichen Mengen, so daß sie sich neutralisieren. Nähert man ihm einen elektrischen Körper, so zieht dieser die ungleichnamige Elektrizität in das zugewandte und stößt zugleich die gleichnamige Elektrizität in das abgewandte Ende. Die ungleichnamige, unter dem Einfluß des elektrischen Körpers *A* stehende Elektrizität heißt gebundene, die gleichnamige heißt freie Elektrizität. Letzere kann man nämlich zur Erde ableiten, wenn man z. B. den Finger an *B* bringt; erstere dagegen nicht. Wird *A* entfernt, so findet auf *B* wieder ein Ausgleich der Elektrizitäten statt, und *B* wird unelektrisch. Hat man dagegen, bevor man *A* entfernt, die freie Elektrizität von *B* zur Erde abgeleitet, so bleibt auf *B* ungleichnamige Elektrizität zurück.

Man kann diese Tatsachen z. B. mit dem RIESS'schen Verteilungsapparat (Fig. 10) nachweisen, bei dem ein isolierter Metallzylinder von einer ebenfalls isolierten Metallkugel durch Luft und eine Glasscheibe getrennt ist. Am Metallzylinder sind drei kleine Pendelchen angebracht. Wird nun die Kugel positiv geladen, so macht der oberste und unterste Pendel einen Ausschlag, der mittelste (an der Neutralitätszone angebrachte) bleibt in der Ruhelage. Und zwar ist das oberste Pendel positiv, das unterste negativ geworden. Berührt man den Zylinder mit dem Finger, so fällt der oberste Pendel zurück. Leitet man dann die Kugel zur Erde ab, so breitet sich die bisher gebundene negative Elektrizität auf dem Zylinder aus, und alle drei Pendel divergieren jetzt. Berührt man jetzt den Zylinder, so wird auch die negative Elektrizität abgeleitet, und alle Pendel fallen zurück.

Durch Influenzwirkung ist es auch zu erklären, daß ein elektrischer Körper ein unelektrisches Kügelchen erst anzieht und dann abstößt. Die dem (z. B. negativ) elektrischen Körper zugewandte Seite des letzteren wird eben positiv, die entgegengesetzte negativ elektrisch. Die einander zugekehrten ungleichnamigen Elektrizitäten ziehen sich nun an. Kommt es aber zur Berührung, so fließt vom ersten Körper negative Elektrizität auf das Kügelchen und neutralisiert dessen positive Elektrizität, so daß jetzt zwei negative Körper vorhanden sind, die sich abstoßen. In derselben Weise kann man auch den Übergang gleichnamiger Elektrizität von einem geladenen auf einen ungeladenen Körper bei Berührung beider durch Influenz erklären.

Wir wollen hier noch einen Augenblick beim Elektroskop verweilen und sehen, in welcher Weise ein solches geladen werden kann. In der einfachsten Weise geschieht dies, wie bereits erwähnt, dadurch, daß man den Kopf desselben mit dem zu untersuchenden Körper berührt. Dann erhalten beide Blättchen dessen gleichnamige Elektrizität und divergieren. Man kann aber auch die Blättchen mit ungleichnamiger Elektrizität, entsprechend dem eben Gesagten, laden. Nähert man z. B. einen (positiven) Glasstab dem Knopf des Elektroskops (dadurch wird ja freie + Elektrizität in die Blättchen getrieben, während die — Elektrizität im Knopf gebunden wird) und berührt jetzt den Knopf mit dem Finger (dadurch fließt die + Elektrizität zur Erde), so bleibt nach Entfernung des Glasstabes negative Ladung auf den Blättchen zurück. Da bei Annäherung eines Körpers an ein Elektroskop stets Influenzwirkung stattfindet, welche die Wirkung der direkten Mitteilung stören kann, so benutzt man zur elektroskopischen Prüfung von Elektrizität besser die indirekte (auf Annäherung beruhende) Methode. Nähert man nun einem (z. B. positiv geladenen) Elektroskop einen positiven Körper, so wird die Divergenz der Blättchen größer, weil dadurch nicht nur die freie, noch im Knopf befindliche, sondern auch durch Verteilung neu entstandene Elektrizität in die Blättchen hinabgestoßen wird. Nähert man aber einen negativ elektrischen Körper, so zieht dieser sowohl die positive Elektrizität der Blättchen zum Knopf hinauf und treibt außerdem durch Verteilung negative Elektrizität in die Blättchen. Letztere verlieren also ihre positive Elektrizität und fallen zusammen. Bei weiterer Annäherung entsteht sogar durch Verteilung in ihnen so viel negative Elektrizität, daß sie

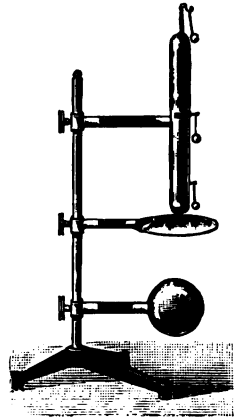


Fig. 10. RIESS'SCHER Verteilungsapparat.

nicht nur ihre positive verlieren, sondern sogar negativ werden, also wieder divergieren.

Wir haben bereits gesehen, daß in Spitzen die elektrische Dichte am größten ist, und müssen uns jetzt noch etwas genauer mit der **Spitzenwirkung**, besonders hinsichtlich der Influenzerscheinungen, beschäftigen. Da mit der Dichte auch die elektrische Kraft an der Oberfläche wächst, so folgt daraus, daß von einer Spitze eines geladenen Körpers aus eine sehr starke Influenzwirkung auf die umgebenden



Fig. 11.  
Elektrisches Flugrad.

Luftteilchen stattfindet. Dieselben werden angezogen, bei der Berührung der Spitze mit deren Elektrizität geladen und dann wieder abgestoßen. An Stelle der abgestoßenen Teilchen strömen von der Seite her neue hinzu, die dann ebenfalls abgestoßen werden, und so fort. Kurz, es entsteht eine beständige Luftströmung, die man gewöhnlich als elektrischen Wind bezeichnet. Hierauf beruht z. B. das elektrische Flugrad (Fig. 11). Führt man

diesem Elektrizität zu, so wird es, analog dem SEGNER'schen Wasserrade, durch den Rückstoß in Bewegung gesetzt.

Auf die eben beschriebene Weise findet auch eine rasche Entladung durch Spitzen statt, indem ja die abgestoßenen Luftteilchen ständig Elektrizität von der Spitze aufnehmen und forttragen (sogenannte konvektive Entladung). Geladene Spitzen strömen Elektrizität aus. Befindet sich nun ein ungeladener Körper in der Nähe einer Spitze, so wird auf ihn deren Elektrizität von den Luft-

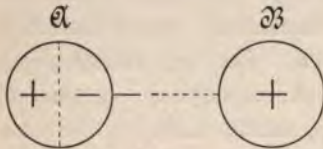


Fig. 12. Spitzenwirkung.

teilchen übertragen. Andererseits aber wirkt ein ungeladener bzw. zur Erde abgeleiteter, mit einer Spitze versehener Körper *A* (Fig. 12), der in der Nähe eines Konduktors *B* steht, entladend auf diesen. Es entsteht nämlich, wenn z. B.

*B* positiv ist, durch Influenz in der

Spitze negative Elektrizität, die ausströmt und die positive Elektrizität von *B* neutralisiert; im abgewandten Teil von *A* entsteht dagegen positive Elektrizität. Somit hat es den Anschein, als wenn durch die Spitze die Ladung von *B* aufgesaugt worden ist. Wir werden später auf diese Spitzenwirkung nochmals zurückkommen und sie vom Standpunkt der Ionentheorie betrachten. Jetzt sei nur noch hervorgehoben, daß die Wirkung des segensreichen, bekanntlich von BENJAMIN FRANKLIN erfundenen Blitzableiters zum Teil auch auf einer solchen Spitzenwirkung beruht; er saugt nämlich die Elektrizität der Wolken auf und führt dadurch einen stillen Ausgleich zwischen ihr und der



Erdelektrizität herbei. Die zweite Aufgabe des Blitzableiters ist, beiläufig bemerkt, die, dem Blitz eine gute metallische Leitung zu bieten und ihn dadurch von dem betreffenden Gebäude fernzuhalten.

Auf Spitzenwirkung beruhen auch die Elektriermaschinen, das sind Maschinen, mit deren Hilfe durch Reibung im größeren Maßstabe Elektrizität gewonnen werden kann. Wir betrachten zuerst die gewöhnliche, von OTTO v. GUERICKE 1653 erfundene **Reibungselektriermaschine**.

Dieselbe besteht aus einer vertikalen drehbaren Glasscheibe (Fig. 13), die sich bei ihrer Bewegung an dem sogenannten Reibzeug (zwei mit Zinnamalgam bestrichene, an die Scheibe gepreßte Lederkissen) reibt. Dadurch wird das — gewöhnlich zur Erde abgeleitete — Reibzeug negativ, die Glasscheibe positiv elektrisch. Letztere gelangt nun bei ihrer Drehung an zwei Spitzenkämme vorbei, die mit einer isolierten Metallkugel, dem Konduktor, leitend verbunden sind. Durch Influenz entsteht im Konduktor positive, in den Spitzen



Fig. 13.

Reibungselektriermaschine.

negative Elektrizität; letztere strömt aus den Spitzen aus und neutralisiert die positive Elektrizität der Glasscheibe. Durch fortgesetzte Drehung wird also der Maschinenkonduktor bis zu einem bestimmten Potential positiv geladen. — Die gewöhnliche Reibungselektriermaschine wird in der ärztlichen Praxis so gut wie gar nicht angewandt. Wir wollen daher die Wirkungen der elektrischen Entladung erst bei den sogenannten Influenzmaschinen besprechen, vorher aber noch das Prinzip der Ansammlungsapparate erklären.

Ein **Ansammlungsapparat** oder **Kondensator** ist ein Apparat, der die Ansammlung größerer Elektrizitätsmengen gestattet. Er besteht aus zwei sich nahe gegenüberstehenden Konduktoren, welche durch eine isolierende Zwischenschicht (Luft, Glas, Hartgummi usw.) — nach FARADAY auch Dielektrikum genannt — voneinander getrennt sind. *A* und *B* (Fig. 14) seien z. B. zwei Konduktoren, die durch Luft voneinander getrennt sind; *B* stehe mit einer Elektrizitätsquelle, z. B. einer Elektriermaschine, in leitender Verbindung, *A* sei zur Erde abgeleitet. Wäre der Konduktor *B* nur allein vorhanden, so könnte er durch die Maschine nur so viel Elektrizität (angenommen positive) zugeführt erhalten, bis auf ihm dasselbe Potential herrscht, wie auf der Maschine. Steht ihm aber der zur Erde abgeleitete Konduktor *A* gegenüber, so entsteht auf diesem durch Influenz positive und negative

Elektrizität. Erstere, die ja „frei“ ist, fließt zur Erde ab; letztere wird durch die positive Elektrizität von *B* gebunden, bindet aber rückwärts auch einen Teil der Elektrizität von *B*. Es wird also durch die Anwesenheit von *A* die freie Elektrizität von *B*, d. h. solche, die nach außen wirken kann, verringert; oder, mit anderen Worten, das Potential von *B* sinkt, und dadurch wächst wieder seine

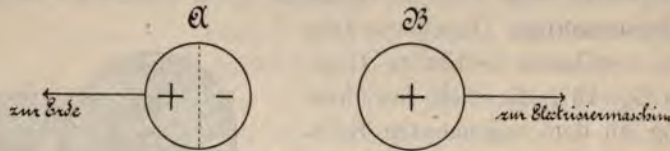


Fig. 14. Schema des Kondensators.

Kapazität. Das heißt ja aber nichts anderes, als daß er jetzt befähigt wird, von neuem Elektrizität von der Elektrisiermaschine aufzunehmen, nämlich so viel, bis er deren Potential wieder erreicht. *B* enthält also jetzt bei weitem mehr Elektrizität, nämlich gebundene und freie. Entfernt man dann *A* und unterbricht die Verbindung mit der Elektrisiermaschine, so ist auf *B* jetzt nur freie Elektrizität vorhanden, deren Menge und somit auch Potential weit höher ist, als es bei einfacher Ladung möglich gewesen wäre. Gewöhnlich bezeichnet man *B* als Kollektor, *A* als Kondensator (im engeren Sinne), da ja durch *A* eben eine „Verdichtung“ der Elektrizität auf *B* stattfindet.



Fig. 15.  
FRANKLIN'sche Tafel.

Unter Kapazität eines Kondensators versteht man nun diejenige Elektrizitätsmenge, welche nötig ist, um den Kollektor auf das Potential 1 zu laden, während der Kondensator (im engeren Sinne) zur Erde abgeleitet ist. Diese Kapazität wächst mit der Größe der Konduktoren, nimmt ab mit ihrer Entfernung. Aber — und das ist besonders wichtig —, sie ist auch von der Natur des Dielektrikums abhängig. Nimmt man z. B. als Dielektrikum Glas statt Luft, so wird sie viermal größer. Die Zahl, die angibt, um wieviel die Kapazität eines Kondensators zunimmt, wenn Luft durch eine andere Substanz ersetzt wird, heißt Dielektrizitätskonstante dieser Substanz; sie ist z. B. für Glas 4—8, für Hartgummi 2—3.

Solche Ansammlungsapparate werden nun in verschiedenster Form benutzt, besonders als **Franklin'sche Tafel** und **Leydener Flasche**. Erstere ist eine Glastafel (Fig. 15), die beiderseits mit Stanniol belegt ist, so jedoch, daß ein breiter Rand

frei bleibt. Dann ist das Glas das Dielektrikum, die Stanniolbeläge repräsentieren die Kollektor- bzw. Kondensatorplatte. Die Leydener Flasche (1745 von KLEIST in Cammin, 1748 von CUNEUS in Leyden entdeckt) ist ein Glasgefäß, das innen und außen bis in die Nähe des oberen Randes mit Stanniol belegt ist (Fig. 16). Das Freilassen des Randes hat hier, wie bei der FRANKLIN'schen Tafel, den Zweck, das Überspringen von Funken zu verhüten; man verstärkt die Isolation gewöhnlich noch dadurch, daß man den unbelegten Teil mit Firniß überzieht. Auch hier ist das Glas wieder das Dielektrikum, die innere Belegung der Kollektor, die äußere der Kondensator. Um die Flasche bequem laden zu können, ist mit der inneren Belegung eine Metallstange verbunden, die mit einem Knopf endigt. Man ladet eine solche Leydener Flasche, indem man sie in die Hand nimmt (also den Kondensator zur Erde ableitet) und mit ihrem Knopf an den Konduktor einer Elektrisiermaschine hält. Dann wird z. B. die innere Belegung positiv, die äußere negativ oder umgekehrt (Fig. 17). Da die erreichbare Spannung von der Größe der Belegungen abhängt, vereinigt man zweckmäßig mehrere Flaschen zu einer sogenannten Leydener



Fig. 16.  
Leydener Flasche.

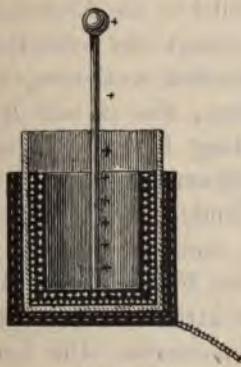


Fig. 17.  
Verteilung der Elektrizität  
bei der Leydener Flasche.



Fig. 18. Leydener Batterie.

Batterie, indem man die äußeren Belegungen auf eine gemeinschaftliche leitende Unterlage stellt und die Knöpfe der inneren Belegungen miteinander oder mit einem Hauptknopf verbindet (Fig. 18).

Wie haben wir uns nun die **Influenzwirkung** vorzustellen? Jedenfalls als keine sogenannte Fernkraft, da die Annahme einer solchen

ja nichts weiter ist wie das Eingeständnis, daß man den zugrunde liegenden Vorgang eben nicht erklären kann. Jetzt nimmt man vielmehr allgemein mit FARADAY an, daß die Influenzwirkung (und auch die Induktion, wie wir später sehen werden) von bestimmten Vorgängen in dem Dielektrikum, der isolierenden Schicht zwischen zwei Leitern, abhängig ist. Diese Vorstellung gründet sich hauptsächlich auf die bereits erwähnte Tatsache, daß bei Anwesenheit verschiedener Dielektrika die Influenzwirkung unter sonst gleichen Bedingungen verschieden stark ausfällt. Nach FARADAY spielt also jedenfalls das Dielektrikum die Hauptrolle bei der Wechselwirkung

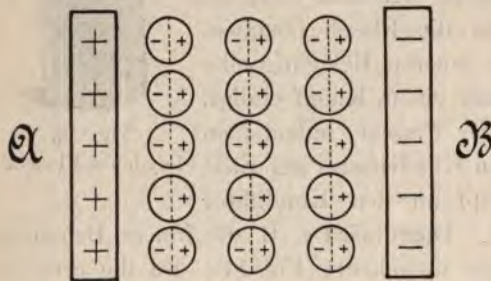


Fig. 19. Dielektrische Polarisation.

der Konduktoren; und zwar hat man sich nach seiner (von MAXWELL mathematisch formulierten) Theorie vorzustellen, daß die Ätherteilchen des Dielektrikums (deren Wirkung wieder von der Dichte desselben abhängig ist) positive und negative Pole bekommen oder, wie FARADAY sich ausdrückte, in einen Zustand dielektrischer Polarisation geraten. Stellt z. B. *A* einen positiven Kollektor, *B* den negativen Kondensator vor, so ist in den zwischenbefindlichen Ätherteilchen die Elektrizität etwa so angeordnet, wie es Fig. 19 schematisch zeigt. In jeder Reihe zwischen *A* und *B* herrscht wegen der elektrischen Anziehung eine Spannung, welche das Dielektrikum zu verkürzen, also *A* und *B* zu nähern sucht. In der dazu senkrechten Richtung herrscht dagegen wegen der elektrischen Abstoßung im Dielektrikum die Tendenz zur Ausdehnung. Kurz unter dem Einflusse der Konduktoren besteht im Dielektrikum ein bestimmter Spannungszustand, und dieser ist für die elektrischen Vorgänge das Wesentliche. Nach der FARADAY'schen Auffassung können nur die Isolatoren (Dielektrika) elektrisch erregt werden; nur sie lassen elektrische Wirkungen hindurchpassieren. Die Leiter sind an ihrer Oberfläche nur scheinbar geladen, insofern sie daselbst an ein Dielektrikum grenzen, welches eben Sitz der Elektrizität ist. Daß im Innern der Dielektrika ein elektrischer Zustand nicht nachweisbar ist, beruht darauf, daß die Teilchen mit verschiedener Elektrizität sich daselbst neutralisieren.

Nach dieser Abschweifung wollen wir uns jetzt zu den **Influenzmaschinen** wenden, die weit rationeller als die gewöhnlichen Reibungselektrifiziermaschinen größere Elektrizitätsmengen zu erzeugen gestatten. Die HOLTZ'sche Maschine (Fig. 20) besteht im wesentlichen aus zwei

dicht hintereinander angebrachten Glasscheiben; die hintere ( $S$  in Fig. 20) ist fest und hat an zwei gegenüberliegenden Stellen Ausschnitte ( $O$ ); in deren Nähe ist sie auf der Rückseite mit Papierstreifen oder Kuchen

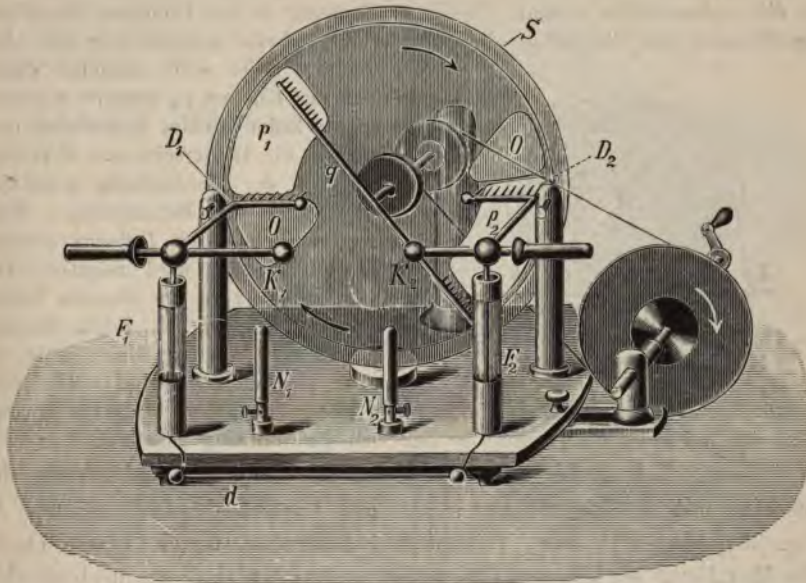


Fig. 20. Holz'sche Influenzmaschine.

( $p_1$  und  $p_2$ ) beklebt, die in die Ausschnitte spitze Fortsätze senden. Vor der vorderen, mittels Schnurlaufs beweglichen Scheibe ( $R$ ) sind an zwei gegenüberliegenden Stellen Spitzen angebracht, die leitend mit zwei Konduktorkugeln ( $K_1$  und  $K_2$ ) verbunden sind. Letztere müssen sich zuerst berühren. Ladet man nun die eine Papierbelegung und dreht die bewegliche Scheibe, so entsteht immer mehr Elektrizität, so daß, wenn jetzt die Konduktoren auseinandergebracht werden, Funken zwischen ihnen übergehen.

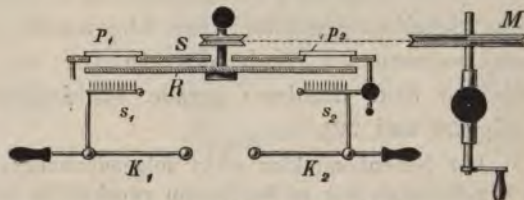


Fig. 21. Horizontalschnitt durch eine Holz'sche Influenzmaschine.

Zur schematischen Erklärung der (in Wirklichkeit viel komplizierteren) Verhältnisse diene Fig. 21, die einen Horizontaldurchschnitt vorstellt.  $S$  stellt die (hintere) feste,  $R$  die (vordere) bewegliche Scheibe,  $p_1$  und  $p_2$  die Kuchen mit ihren Fortsätzen,  $s_1$  und  $s_2$  die Spitzen,  $K_1$  und  $K_2$  die Konduktoren vor. Wird nun z. B. dem Kuchen  $p_1$  positive Elektrizität etwa mit einem geriebenen

Glasstabe mitgeteilt, so wird durch die Influenz die Hinterseite von  $R$  negativ, die Vorderseite positiv elektrisch. Aber die Influenz erstreckt sich auch auf die davor stehende Metallleitung; es wird daher der Konduktor  $K_1$  positiv, die Spitzen  $s_1$  negativ elektrisch. Da letztere ihre Elektrizität ausströmen lassen, so wird also die bewegliche Scheibe  $R$  beiderseits negativ, bis sie durch Drehung auf die andere Seite kommt. Bei einer Drehung in der Richtung des Pfeils (Fig. 20) wird also die ganze obere Hälfte der Scheibe negativ (Fig. 22). Auf

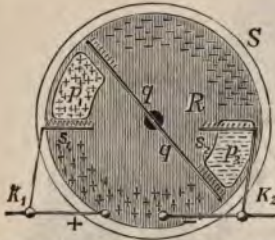


Fig. 22. Verteilung der Elektrizität bei der Influenzmaschine.

so daß eine Ladung von außen nicht mehr nötig ist. Diese Vorgänge wiederholen sich bei jeder Umdrehung, so daß sich die Wirkung verstärkt.

Gewöhnlich verbindet man jeden der beiden Konduktoren der Maschine mit der inneren Belegung einer Leydener Flasche  $F_1$  und  $F_2$  (Fig. 20), deren äußere Belegungen ihrerseits durch einen Draht oder Metallstab ( $d$ ) leitend miteinander verbunden sind; dadurch werden die Funken seltener, aber dafür stärker und glänzender. Die gewöhnlichen Influenzmaschinen versagen leider häufig, namentlich bei feuchter Luft, welche die Elektrizität der Scheibe zerstreut bzw. ihren Ausgleich auf der rotierenden Scheibe begünstigt. Auch tritt nicht selten ein Polwechsel ein, wenn die Konduktoren so weit auseinander stehen, daß kein Funken zwischen ihnen mehr übergeht; dann strömt nämlich ihre Elektrizität auf die Scheibe zurück, neutralisiert sich hier und bewirkt eventuell sogar eine entgegengesetzte Ladung der Konduktoren. Um dies zu verhüten, bringt man nach POGGENDORFF vor der beweglichen Scheibe, gegenüber den abgewandten Enden der Belegungen, einen sogenannten Nebenkonduktor an, d. i. eine um einen konischen Stift drehbare gerade Messingstange mit Spitzenkämmen ( $q$  Fig. 20 und 22).

Der Nebenkonduktor wirkt folgendermaßen: Steht er in der Stellung, die Fig. 20 zeigt, wie es im Beginn zweckmäßig ist, so verstärkt er durch Influenz die ursprünglich schwache Ladung der Kuchen. Rückt man ihn dann, nachdem die Maschine richtig im Gang ist, von den Kuchen ab (Fig. 22), so verhindert er den Polwechsel. Ist nämlich der Übergang der Elektrizität zwischen den Hauptkonduktoren nicht unterbrochen, so daß die rotierende Scheibe ihre normale Ladung hat, so ist die Vorderseite der festen Scheibe  $S$  durch Influenz der negativen Hälfte von  $R$  (Fig. 22) gegenüber positiv, der positiven gegenüber negativ. Unter normalen Verhältnissen werden daher die Spitzen des Hilfskonduktors von den entgegengesetzten Elektrizitäten der Scheibe  $R$  und  $S$  an

der rechten Seite wird zunächst durch Influenz der Kuchen  $p_2$  negativ, während aus seinem Zahn positive Elektrizität ausströmt und die Hinterseite von  $S$  positiv macht. An der Vorderfläche geschieht dasselbe durch die Metallspitzen; diese werden nämlich durch Influenz positiv, der Konduktor  $K_2$  wird negativ. Die Scheibe ist daher in der unteren Hälfte ganz positiv, wie Fig. 22 zeigt. Kommt sie nun wieder auf die linke Seite, so wird der Kuchen durch Influenz positiv,

den betreffenden Stellen influenziert, die sich erfahrungsgemäß aufheben. Kann sich aber die Elektrizität der Hauptkonduktoren nicht ausgleichen und strömt auf die rotierende Scheibe zurück, bleibt also der den Kuchen  $p_1$  nach oben passierende Teil von  $R$  positiv, so werden die oberen Spitzen des Hilfskonduktors durch die positive Elektrizität der festen und der beweglichen Scheibe so influenziert, daß negative Elektrizität auf die Vorderfläche von  $R$  tritt. Sie wird also auf beiden Seiten wieder negativ, wie es zum normalen Gange nötig ist. In analoger Weise wird der die unteren Spitzen passierende Teil von  $R$  positiv. Werden jetzt die Hauptkonduktoren wieder zusammengeschoben, so beginnt das Spiel der Maschine in der früheren Weise.

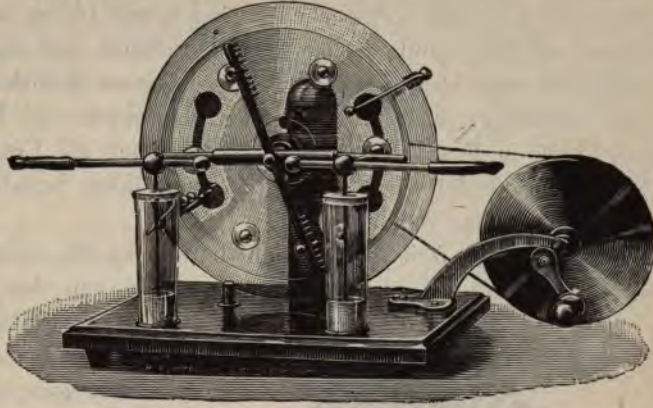


Fig. 23. TÖPLER'sche selbsterregende Influenzmaschine.

Bei der selbsterregenden Influenzmaschine von TÖPLER (Fig. 23) braucht man keine Elektrizität von außen zuzuführen. Hier besorgt die rotierende Scheibe die Selbsterregung durch sechs sogenannte Induktoren, das sind kleine leitende Blättchen mit hervorragenden Metallknöpfen. Die hintere feste Scheibe hat hier keine Öffnungen, aber zwei große, gutleitende Kuchen. Von jedem derselben geht ein Metallansatz aus, der in eine dicht an die rotierende Scheibe herantretende und

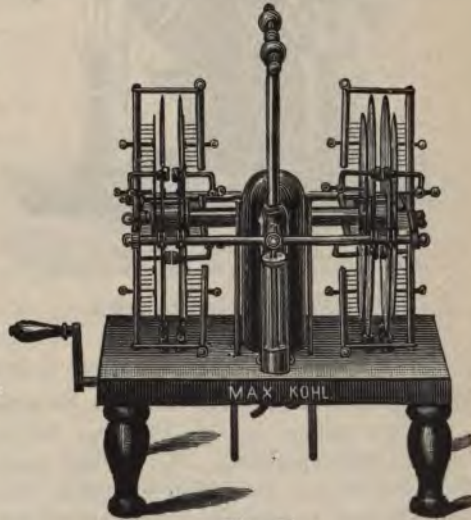


Fig. 24.  
Mehrplattige Influenzmaschine.

ihre Hervorragungen streifende Bürste endigt; zwei analoge Bürsten befinden sich an den Metallspitzen des Hilfskonduktors. Die erste Ladung erfolgt hier entweder durch Reibung der Bürste an den Induktorenknöpfen oder durch Reibung der Zwischenluft; nach einer dritten Ansicht ist auf der festen Scheibe stets eine, wenn auch minimale Menge freier Elektrizität vorhanden.

Da die von einer Influenzmaschine bei einer Umdrehung gelieferte Elektrizitätsmenge der wirksamen Fläche der Scheibe proportional ist, so macht man den Scheibendurchmesser möglichst groß. Dies ist jedoch aus technischen Gründen nur bis zu einer bestimmten Grenze möglich, und so hat man Maschinen mit mehreren (bis 60) Scheiben konstruiert, die auf einer gemeinsamen Rotationsachse befestigt sind. Derartige vielplattige Influenzmaschinen (vgl. Fig. 24) werden, namentlich in Frankreich und England, auch als Ersatz der Funkeninduktoren für den Betrieb von Röntgenröhren benutzt; bei uns sind sie fast gar nicht in Gebrauch.

In der Neuzeit haben sich besonders die selbsterregenden Wimshurstmaschinen<sup>1</sup> eingebürgert, die von der Luftfeuchtigkeit

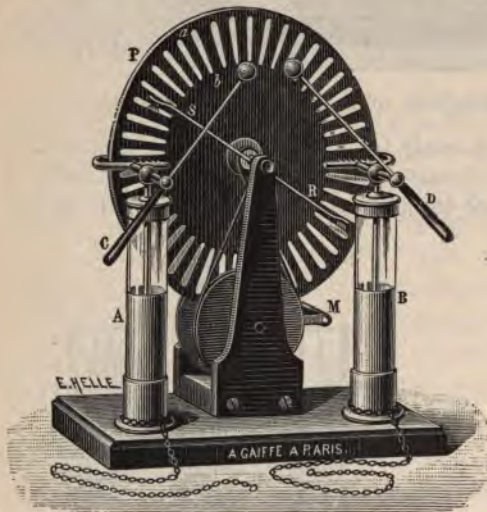


Fig. 25. Wimshurstmaschine.

weniger abhängig sind. Dieselben bestehen aus zwei in entgegengesetzter Richtung rotierenden Glas- oder Hartgummischeiden (Fig. 25), die beide mit zahlreichen Sektoren aus Stanniol beklebt sind. Die beiden Scheiben werden von zwei mit Spitzen versehenen Metallgabeln umfaßt, von denen wieder Messingstangen ausgehen, die in je einer Polkugel endigen. Vor jeder Scheibe befindet sich ferner ein sogenannter Ausgleicher oder Anreger

(in Fig. 25 sieht man den hinteren, senkrecht zum andern stehenden nicht), an dessen Enden Metallpinsel sitzen, die auf den Stanniolbelägen schleifen.

Wir wollen uns die Vorgänge bei dieser Maschine an der Hand einer schematischen Zeichnung (Fig. 26) klar machen, in der der innere und äußere Kreis die vordere bzw. hintere Scheibe vorstellen möge, *ab* den vorderen, *cd* den hinteren Ausgleicher. Zunächst wollen wir annehmen, daß sich nur der innere Kreis in der Pfeilrichtung bewegt, und daß der Sektor bei *a* etwas negative Elektrizität (etwa vom letzten Gebrauch her) besitzt. Geht derselbe an den Sektoren des äußeren Kreises vorbei, so entsteht durch Influenz in diesen positive und negative Elektrizität, die sich aber bald wieder ausgleichen, wenn der Sektor vorbei ist. Kommt letzterer aber an die Stelle *d*, wo der Ausgleicher *cd* die hintere Scheibe berührt, so entsteht dort gebundene positive Elektrizität, während die freie negative durch den metallischen Ausgleicher nach *c* hinströmt. Da sich nun auch der äußere Kreis (die hintere Scheibe) in

<sup>1</sup> Das Prinzip derselben hat übrigens vor WIMSHURST bereits HOLTZ beschrieben.



umgekehrter Richtung wie der innere (die vordere Scheibe) dreht, so entsteht in allen ihren Sektoren links von  $d$  positive, in denen rechts von  $c$  negative Elektrizität. Kommt nun einer der negativ geladenen hinteren Sektoren an die Stelle  $b$ , wo der vordere Ausgleicher die vordere Scheibe berührt, so influenziert er hier positive (gebundene) Elektrizität, während die negative durch den Ausgleicher nach  $a$  abströmt, welches ja die Stelle war, von der wir ausgingen. Zugleich ziehen die bei  $5$  vorübergehenden positiven Sektoren der hinteren Scheibe negative Elektrizität an und stoßen die positive durch den Ausgleicher nach  $4$ . Es resultiert daraus eine immer stärkere Ladung der Sektoren derart, wie es in der Figur durch die Zeichen  $+$  und  $-$  angedeutet ist. In zwei Quadranten ( $I$  und  $III$ ) ist also die Elektrizität beider Scheiben gleichnamig. Dort bringt man die Spitzenkämme an, die dann den mit ihnen verbundenen Konduktoren fortwährend positive bzw. negative Elektrizität zuführen.

Nachdem wir nunmehr in den Elektrisiermaschinen und namentlich in den Influenzmaschinen ein Mittel kennen gelernt haben, größere Mengen hochgespannter Elektrizität bequem zu erzeugen, wollen wir uns jetzt mit den wichtigsten Erscheinungen der **elektrischen Entladung** bekannt machen.

Haben wir zwei Körper, z. B. die Konduktoren der Elektrisiermaschine, auf verschieden hohe Potentiale geladen und bringen beide etwa durch einen Draht in leitende Verbindung, so findet nach dem oben Gesagten ein Ausgleich statt, da sich ja die Elektrizität stets von Orten höheren zu solchen niederen Potentials bewegt. Wird der Potentialunterschied beständig, z. B. durch die Drehung der Elektrisiermaschine, aufrecht erhalten, so zirkuliert in dem Schließungsdraht ein ständiger elektrischer Strom. Auf dessen Gesetze wollen wir indes erst eingehen, wenn wir bequemere Methoden, dauernd Potentialunterschiede zu erzeugen, kennen gelernt haben. Jedenfalls sei schon hier betont, daß ein prinzipieller Unterschied zwischen strömender und ruhender Elektrizität nicht existiert. „Der einzige Unterschied zwischen elektrischer Verschiebung in einem Dielektrikum und elektrischer Strömung in einem Leiter besteht darin, daß jene gegen einen Widerstand zu kämpfen hat, welcher sich mit dem Widerstand vergleichen läßt, den elastische Körper einer Verschiebung ihrer Teilchen entgegensetzen, so daß die Elektrizität sich sofort zurückbewegt, sobald die elektromotorische Kraft zu wirken aufgehört hat. Bei dieser dagegen gibt die elektrische Elastizität fortdauernd nach, und die Elektrizität wird sofort von Ort zu Ort geleitet.“ (MAXWELL, zitiert nach BEBLINER, Experimentalphysik.)

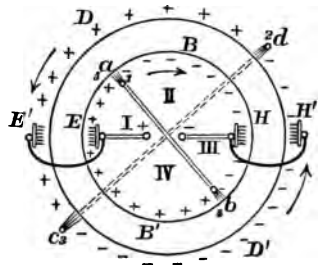


Fig. 26. Verteilung der Elektrizität auf einer Wimshurstmaschine.

Wir wollen also hier nur Formen und Wirkungen einer solchen Entladung betrachten, die nicht durch einen Leiter, sondern durch ein Dielektrikum hindurch erfolgt. Die bekannteste Form einer solchen Entladung ist der **elektrische Funke**, der von einem scharfen Knall begleitet ist. Eine solche „disruptive“ Entladung, wie man sie auch nennt, ist also ein gewaltsamer Ausgleich zweier Elektrizitätsmengen von verschiedenem Potential durch ein Dielektrikum hindurch. Letzteres „reißt“ gewissermaßen, analog wie z. B. eine Membran zwischen zwei Ballons, von denen der eine sehr verdünnte, der andere sehr verdichtete Luft enthält. Dieser Vergleich ist nicht nur bildlich, sondern hat eine reale Grundlage; denn der elektrische Funke kann bekanntlich feste Gegenstände durchbohren. Je größer nun die Potentialdifferenz ist, desto größer ist auch die Schlagweite des Funkens, die somit umgekehrt ein Maß für die Potentialdifferenz ist. Allerdings hat die Form der Konduktoren, die Natur des Mediums usw. einen wesentlichen Einfluß auf die Funkenlänge. Folgende Tabelle (aus WALTENHOFEN, elektrische Maße, 3. Auflage) gibt eine Übersicht über die Beziehungen zwischen Funkenlänge und Potentialdifferenz (in Volts), wenn die Konduktoren Kugeln von 22 mm Durchmesser sind und das Dielektrikum Luft ist.

cm	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	5,0	10,0	15,0
Volt	5490	26730	48600	57000	64800	94800	119100	127800

Wir werden auf die Funkenentladung noch bei den Funkeninduktoren zurückkommen und dann namentlich auch die Form der Entladung in luftverdünnten Räumen besprechen. Hier sei nur noch kurz bemerkt, daß die Funkenentladung in vielen Fällen, wenn

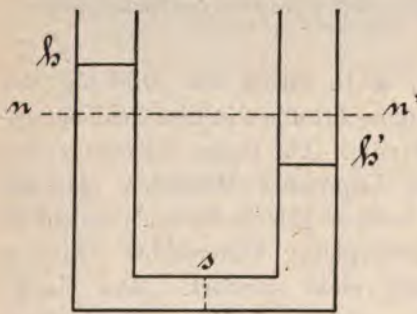


Fig. 27.

nämlich der Widerstand gering ist, aus außerordentlich zahlreichen Einzelentladungen (Schwingungen, Oszillationen) besteht. Die Elektrizität strömt also hier nicht in einer Richtung, sondern wechselt außerordentlich rasch (millionenmal in 1 Sekunde) die Richtung.

Trotzdem beträgt die Dauer des elektrischen Funkens, wie zuerst WHEATSTONE nachwies, weniger als eine milliontel Sekunde.

Diese, z. B. für das Verständnis der elektrischen Wellen und der D'ARSONVAL-Ströme wichtige Tatsache, die zuerst von FEDDERSEN mittelst eines rotierenden Spiegels einwandfrei nachgewiesen wurde, hat — so merkwürdig sie auf den ersten Blick erscheint — doch ein Analogon in einem sehr einfachen hydrodynamischen Phänomen. Sind z. B. zwei kommunizierende Röhren (Fig. 27)

durch einen Schieber  $s$  voneinander abgeschlossen und dann mit Flüssigkeit bis zur Höhe  $h$  bzw.  $h'$  gefüllt, so wird sich nach Entfernung des Schiebers die Flüssigkeit beiderseits auf ein mittleres Niveau  $n n'$  einstellen. Je nach dem Widerstand wird aber der Ausgleich verschiedenartig erfolgen. Wird nämlich der Schieber plötzlich weit geöffnet, der Widerstand also sehr stark vermindert, so steigt die Flüssigkeit rechts nicht nur bis  $n'$ , sondern darüber hinaus, während sie links entsprechend weit unter  $n$  sinkt. Bald darauf findet das umgekehrte Verhalten statt, und der Gleichgewichtszustand stellt sich erst nach mehreren solchen Oszillationen her. Öffnet man  $s$  nur wenig, so daß der Widerstand groß ist, so stellt sich die Flüssigkeit ohne solche Oszillationen allmählich auf das Niveau  $n n'$  ein; es findet gewissermaßen eine „kontinuierliche Entladung“ statt.

Außer der Funkenentladung gibt es noch andere Formen der Entladung. Wird nämlich die Schlagweite überschritten, so strömt die Elektrizität ohne Funkenbildung in die umgebende Luft. Man spricht dann von **stiller Entladung**. Hierher gehört z. B. der bereits erwähnte elektrische Wind. Auch bei der stillen Entladung können Lichterscheinungen auftreten, das **Büschellicht** und das **Glimmlicht**, die jedoch nur im Dunkeln gut wahrnehmbar sind. Das Büschellicht besteht aus einem Bündel violetter Strahlen und kommt an Konduktorstellen von großer elektrischer Dichte vor. Das Glimmlicht ist ein kleines, ruhig schwebendes, leuchtendes Sternchen oder Flämmchen; es erscheint besonders in Spitzen (daher auch Spitzenlicht genannt), sowie bei Entladungen im luftverdünnten Raum. Bei Entladung in freier Luft tritt unter gleichen Umständen am positiven Pol Büschel-, am negativen Glimmlicht auf, so z. B. bei der Influenzmaschine, deren Pole man somit im Dunkeln daran erkennen kann. Von den sonstigen Wirkungen elektrischer Entladungen sei nur noch hervorgehoben, daß der Sauerstoff der Luft hierdurch zu Ozon verdichtet wird — dem ja bekanntlich heilkräftige Wirkungen zugeschrieben werden, ohne daß man über die näheren Bedingungen recht im klaren ist. — Mit den therapeutischen Anwendungen der statischen oder, wie man nach medizinischem Sprachgebrauch meist sagt, der franklinischen Elektrizität wollen wir uns später beschäftigen.

### III. Der galvanische Strom und seine Gesetze.

Meine Herren! Bisher haben wir uns mit den wichtigsten Gesetzen der sogenannten statischen Elektrizität beschäftigt. Weit wichtiger für uns Ärzte sind aber die Erscheinungen der strömenden Elektrizität, zu denen wir uns nunmehr wenden. Zwar kann ein

elektrischer Strom<sup>1</sup>, wie wir sahen, auch durch Reibung entstehen — man braucht ja nur die Konduktoren einer im Gang befindlichen Elektriziermaschine miteinander leitend zu verbinden. Viel zweck-



Fig. 28. GALVANI'S Versuch.

mäßiger aber erhält man elektrische Ströme durch andere Methoden, von denen die zuerst entdeckte sich an die Namen **GALVANI** und **VOLTA** knüpft. 1789 beobachtete bekanntlich die Frau des Bologneser Professors **LUIGI GALVANI**, daß frisch getötete Frösche jedesmal zuckten, wenn Funken aus dem Konduktor einer nahen Elektriziermaschine gezogen wurden. **GALVANI** sah darin eine Äußerung der tierischen Elektrizität, von der man in jener Zeit höchst mystische Vorstellungen hatte, und stellte viele Versuche hierüber an. Unter anderem hing er, um einen eventuellen Einfluß der atmosphärischen Elektrizität festzustellen, enthäutete Schenkel frisch getöteter Frösche, die so präpariert waren, wie Fig. 28 zeigt, mittelst kupferner, im unteren Teil der Wirbelsäule befestigter Haken an einem eisernen Geländer auf und konstatierte,

daß jedesmal eine Zuckung eintrat, wenn die Schenkel das Geländer berührten. Zur Erklärung nahm er an, daß ein in den Nerven befindliches feines Fluidum („galvanische Flüssigkeit“) durch den

<sup>1</sup> „Wenn wir im allgemeinen von elektrischen Strömen sprechen, so sind wir gewohnt, sie als materielle Ströme anzusehen, als ein gewisses Etwas, welches an einem durch den Leiter gebildeten Pfade entlang läuft und deshalb eine bestimmte Richtung hat. Wir sagen, daß die Elektrizität an dem Leiter entlang oder durch den Leiter hindurch fließt von dem Punkte höheren zu dem niederen Potentials, in derselben Weise, wie das Wasser vom höheren zum niederen Niveau durch eine Röhre fließt. Eine derartige Anschauung ist natürlich rein konventionell. Als feststehende Tatsache wissen wir weder, ob es die positive Elektrizität ist, welche in einer gegebenen Richtung fließt, oder die negative Elektrizität, welche in der entgegengesetzten Richtung fließt, oder aber ob beide Elektrizitäten gleichzeitig in einander entgegengesetzten Richtungen fließen, oder schließlich ob überhaupt irgend eine Übertragung der Elektrizität durch den Draht stattfindet. . . . Von einem elektrischen Strome zu sprechen, der durch einen Draht fließt, mag deshalb eine unwissenschaftliche Art sein, unsere Auffassung auszudrücken; es ist jedoch eine sehr bequeme und inofgedessen allgemein angenommene Ausdrucksweise.“ (GISEBERT KAPP, Elektrische Wechselströme, übersetzt von H. KAUFMANN. 3. Auflage. Leipzig 1900.)

metallischen Leitungsbogen auf die Muskeln überginge. Dem gegenüber erklärte ALESSANDRO VOLTA in Pavia auf Grund seiner Versuche die Erscheinung so, daß durch die Berührung zweier verschiedenartiger Metalle jedesmal Elektrizität entsteht, die bei dem Froschexperiment durch die Schenkel fließt und diese zum Zucken bringt. Nach langem Streite fand VOLTA's Erklärung allgemeinen Anklang; doch hat auch GALVANI recht, da in der Tat in lebenden Muskeln und Nerven (sowie auch anderen Körpergeweben) elektrische Spannungen existieren. Jedenfalls hat VOLTA das unbestrittene Verdienst, eine neue Entstehungsart der Elektrizität, nämlich durch Berührung zweier verschiedenartiger Metalle oder von Metallen und Flüssigkeiten, gefunden zu haben. In neuerer Zeit ist man zwar über das Wesen der hier zugrunde liegenden Vorgänge anderer Ansicht wie VOLTA — man hat seine Kontakttheorie durch die chemische Theorie ersetzt (cf. S. 87) — aber die von VOLTA gefundenen Tatsachen bleiben nichtsdestoweniger bestehen.

VOLTA fand also, daß bei Berührung zweier verschiedener Metalle das eine positiv, das andere negativ wird, oder, wie wir heute sagen, daß hierbei eine Potentialdifferenz entsteht. Die (ihrem Wesen nach unbekante) Ursache, welche diese Potentialdifferenz erzeugt, heißt elektromotorische Kraft, da sie ja gewissermaßen die Elektrizität auf den beiden Metallen, die bis dahin im Gleichgewicht bzw. neutralen Zustande war, so verschiebt, daß eben das eine Metall positiv, das andere negativ wird. Früher nannte man sie aus demselben Grunde auch „Scheidekraft“. VOLTA fand nun, daß sich die Metalle und Kohle, die sogenannten **Leiter erster Klasse**, in einer Reihe so anordnen lassen, daß immer jeder in der Reihe voranstehende Körper bei Berührung mit einem nachfolgenden ein höheres Potential annimmt, also ihm gegenüber positiv wird. Diese (modifizierte) VOLTA'sche Spannungsreihe lautet:

+ Zink, Blei, Zinn, Wismut, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Kohle Braunstein —

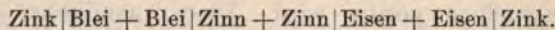
Die bei Berührung zweier Glieder der Spannungsreihe entstehende Potentialdifferenz ist nun ausschließlich abhängig von der Natur der sich berührenden Körper; und zwar ist sie um so größer, je weiter dieselben in der Spannungsreihe auseinanderstehen, dagegen unabhängig von ihrer Gestalt und Größe, unabhängig auch von den absoluten Potentialwerten. Bei Berührung z. B. von einer Kupfer- und Zinkplatte entsteht immer dieselbe Potentialdifferenz (angenommen 1,15 Volt), ganz gleichgültig, welches die Form und Größe der Platten ist; und zwar erhält das Zink das Potential + 0,575 Volt, das Kupfer das Potential — 0,575 Volt. Die Potentialdifferenz beträgt also immer 1,15 Volt und sie behält

diese Größe auch dann, wenn man von außen Elektrizität zuführt. Wird also die Kupferplatte etwa durch den Konduktor einer Elektrisiermaschine auf 1000 Volt geladen, so nimmt die Zinkplatte das Potential 1001,15 an; wird die Kupferplatte zur Erde abgeleitet, also auf das Potential 0 gebracht, so beträgt das Potential der Zinkplatte 1,15 Volt. Wird das Zink zur Erde abgeleitet, so beträgt das Potential des Kupfers — 1,15 Volt usw.

Zum besseren Verständnis dieser Tatsache wollen wir eine Analogie anführen: In einem offenen Manometer z. B. tritt ebenfalls bei demselben Druck im Dampfkessel usw. dieselbe Niveaudifferenz in beiden Röhren ein, ganz gleich, ob die absolute Menge der Flüssigkeit groß oder klein ist.

VOLTA fand nun auch, daß die elektromotorische Kraft bzw. die durch sie verursachte Potentialdifferenz zwischen zwei Leiter erster Klasse gleich der Summen der elektromotorischen Kräfte (bzw. Potentialdifferenzen) der in der Spannungsreihe zwischen ihnen stehenden Gliedern ist. Ist also z. B. die Potentialdifferenz Zink|Blei = 5 Einheiten, Blei|Zinn = 1, Zinn|Eisen = 3, so ist die Potentialdifferenz Zink|Eisen = 9 Einheiten. Da nun natürlich die Potentialdifferenz zwischen zwei Metallen als positiv oder negativ betrachtet werden muß, je nachdem man von dem positiven oder negativen Metall ausgeht — analog wie auch die Niveaudifferenz zwischen zwei Punkten positiv oder negativ ist, je nachdem man von dem höheren oder niedrigeren Punkte ausgeht —, so folgt hieraus die sehr wichtige Tatsache, daß in einem geschlossenen Kreise, der nur aus Leitern erster Klasse besteht, die Summen der elektromotorischen Kräfte = 0 ist, ein dauernder Strom in ihm also nicht existiert.

Wir haben eben dann in dem erwähnten Beispiel die Kombination:



Zwischen den ersten drei Gliedern besteht dieselbe Potentialdifferenz wie zwischen Zink|Eisen, also +9 Einheiten. Hierzu kommt die Potentialdifferenz zwischen Eisen|Zink, nämlich — 9 Einheiten, die Summe ist daher = 0.

Den eben besprochenen Leitern erster Klasse stehen die leitenden Flüssigkeiten (insbesondere Säure- und Salzlösungen) als **Leiter zweiter Klasse** gegenüber, die man auch als **Elektrolyte** bezeichnet, da sie durch den elektrischen Strom zersetzt werden. Dieselben gehorchen nun den eben erwähnten Gesetzen der Spannungsreihe nicht; d. h. bei einer Kombination von Leitern erster und zweiter Klasse ist also die Potentialdifferenz der Endglieder nicht gleich der algebraischen Summe derjenigen der Zwischenglieder, so daß die Anordnung zu einem geschlossenen Stromkreise möglich ist.

Taucht nämlich ein Metall in eine Flüssigkeit, so wird das herausstehende Ende meist negativ elektrisch, die Flüssigkeit und

dadurch auch das eingetauchte Ende meist positiv; und zwar ist die Spannungsdifferenz meist um so größer, je mehr das Metall durch die Flüssigkeit chemisch beeinflußt wird. Sie ist z. B. zwischen Zink und Schwefelsäure 1,5 Volt, zwischen Kupfer und Schwefelsäure nur 0,44 Volt. Auch hier gilt das bereits erwähnte Gesetz, daß die Spannungsdifferenz immer zwischen denselben Substanzen gleich bleibt, unabhängig von ihrem absoluten Potential. Hat also Zink das Potential  $x$  Volt, so hat die Schwefelsäure das Potential  $x + 1,5$  Volt. Tauchen nun Zink und Kupfer zusammen in eine Flüssigkeit, so geht die starke positive Elektrizität des unteren Zinkendes durch die Flüssigkeit zum Kupfer, tritt an dessen hervorstehendem Ende mit schwach negativer Elektrizität zusammen, macht es daher schwach positiv. Umgekehrt geht die schwache positive Elektrizität des unteren Kupferendes bis zum oberen Zinkende und schwächt dessen stark negative Elektrizität so, daß es schwach negativ elektrisch wird (Fig. 29). Tauchen zwei Metalle in eine Flüssigkeit, so wird also das obere Ende des einen positiv, das des anderen negativ. Ist Zink das eine Metall, so wird es mit wenigen Ausnahmen stets negativ.

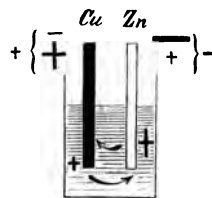


Fig. 29.  
Galvanisches Element  
(schematisch).

Betrachten wir diese wichtige Tatsache noch an der Hand eines Zahlenbeispiels. Wenn Zink und Kupfer in verdünnte Schwefelsäure tauchen, und die Potentialdifferenz zwischen (–) Zink und (+) Lösung 1,5 Volt, zwischen (+) Kupfer und (–) Lösung 0,44 Volt beträgt, so muß zwischen dem oberen Zink- und Kupferende die Potentialdifferenz 1,94 Volt bestehen; denn das Potential des Kupfers muß eben um 0,44 Volt höher sein als das der Flüssigkeit, das Potential der Flüssigkeit wiederum 1,5 Volt höher als das des Zinks.

Man nennt nun die Kombination von zwei Metallen und einer Flüssigkeit (eventuell kann auch jedes Metall in eine besondere Flüssigkeit tauchen) ein **galvanisches Element** oder eine galvanische Kette. Sind die beiden Metalle außerhalb des Elements leitend (durch einen Metalldraht, eine Flüssigkeit, den tierischen Körper usw.) verbunden, so ist die Kette geschlossen, sonst offen. In einer geschlossenen Kette zirkuliert beständig ein elektrischer Strom, da durch die andauernd wirkende elektromotorische Kraft die Potentialdifferenz zwischen den Metallenden ständig aufrecht erhalten wird. Man nennt diesen Strom daher **konstanten** (richtiger wäre: kontinuierlichen) oder dem Erfinder zu Ehren **galvanischen Strom**. Der (positive) Strom fließt z. B. im Schließungsdraht eines Zink-Kupfer-Elements vom positiven Kupfer zum negativen Zink; innerhalb des Elements muß er natürlich vom Zink zum Kupfer fließen, damit der Stromkreis geschlossen ist. Die freien Enden eines Elements bzw. die Enden der damit verbundenen Drähte heißen Pole oder Elektroden; diejenige,

von welcher der Strom herkommt, beim positiven Strom also die positive, wird Anode (*ἀνά* oben, *ὁδός* Weg) genannt, die andere Kathode. Unter Anode und Kathode ohne nähere Bezeichnung versteht man stets den äußeren positiven bzw. negativen Pol. Durch Vereinigung mehrerer Elemente entsteht eine galvanische Batterie. Man kann nun die Elemente verschiedenartig zu einer Batterie schalten und dadurch, wie wir bald sehen werden, ganz verschiedene Zwecke erreichen. Entweder verbindet man den positiven Pol des ersten Elements mit dem negativen des folgenden u. s. f. (Hintereinander- oder Serienschaltung, auch Schaltung auf Qualität genannt); oder man verbindet alle positiven Pole der Elemente miteinander und desgleichen alle negativen (Parallel- oder Nebeneinanderschaltung, Schaltung auf Quantität); oder man kombiniert schließlich beide Arten (vgl. Fig. 44).

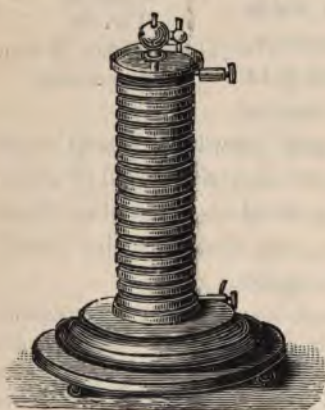


Fig. 30. VOLTA'sche Säule.

Die älteste Form der galvanischen Batterie ist die VOLTA'sche Säule; sie besteht aus abwechselnd übereinandergeschichteten Zink- und Kupferplatten, zwischen denen immer befeuchtete Tuchlappen liegen (Fig. 30). Die Reihenfolge ist hier Zink, Feuchtigkeit, Kupfer; Zink, Feuchtigkeit, Kupfer usw. Es handelt sich also hier um Hintereinanderschaltung.

Die zuerst konstruierten galvanischen Elemente hatten alle den Fehler, daß sie bald immer schwächer wurden. Da nämlich der elektrische Strom in Flüssigkeiten Umsetzungen bewirkt, und sich die Zersetzungsprodukte an den Elektroden abscheiden, so werden diese gewissermaßen von der Flüssigkeit isoliert. So entsteht z. B. bei Zersetzung des Wassers Wasserstoff und Sauerstoff; letzterer wird am Zink abgeschieden und bildet das nicht leitende Zinkoxyd; ersterer überzieht das Kupfer mit einem feinen, ebenfalls nicht leitenden Häutchen. Ja, es entsteht sogar zwischen dem elektropositiven Wasserstoff und dem elektronegativen Sauerstoff ein neuer Strom, der sogenannte Polarisationsstrom, der dem ursprünglichen entgegengesetzt fließt und ihn somit schwächen muß. Um diesen Übelstand zu beseitigen, hat man konstante Ketten konstruiert, bei denen die Elektroden in zwei besondere Flüssigkeiten tauchen, die entweder durch eine poröse Scheidewand oder durch ihr verschiedenes spezifisches Gewicht verhindert werden, sich zu mischen; dieselben haben zugleich die Eigenschaft, die störenden Zersetzungsprodukte zu beseitigen, so



daß also die Elektroden hier unpolarisierbar sind. Wir kommen auf diese Verhältnisse noch genauer bei der Elektrolyse zurück und wenden uns nunmehr zur Besprechung einiger für das Verständnis des galvanischen Stromes unumgänglich notwendiger Grundbegriffe, nämlich der elektromotorischen Kraft, der Stromstärke und des Widerstandes.

Als **elektromotorische Kraft** ( $E$ ) können wir die Kraft definieren, die Elektrizität in Bewegung setzt. Sie ist z. B., wie wir sahen, wirksam bei Berührung zweier verschiedener Metalle, indem sie die positive Elektrizität nach der einen Seite, die negative nach der anderen schafft. Wir haben aber auch schon gesehen, daß Elektrizität sich immer von Orten höheren Potentials zu solchen niedrigeren bewegt, daß ein Strömen der Elektrizität zwischen zwei Punkten also dann stattfindet, wenn eine Potentialdifferenz zwischen diesen Punkten besteht. Es liegt somit nahe, elektromotorische Kraft und Potentialdifferenz zu identifizieren. Und doch ist dies nicht ganz richtig.

Die elektromotorische Kraft ist die Ursache einer Potentialdifferenz; letztere ist ohne erstere nicht möglich, wohl aber umgekehrt. Um dieses wichtige Prinzip besser klar zu machen, wollen wir einen Vergleich aus der Hydrodynamik gebrauchen. Haben wir z. B. (Fig. 31) einen ringförmigen, mit Wasser gefüllten horizontalen Kanal, so wird das Wasser in Ruhe verharren, wenn nicht eine Kraft dasselbe in Bewegung versetzt. Das kann nun

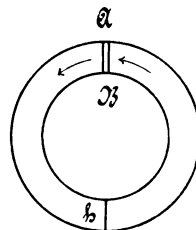


Fig. 31. Zur Erläuterung der elektromotorischen Kraft.

einmal so geschehen, daß etwa bei  $AB$  eine Scheidewand eingesetzt wird und hier eine Pumpe beständig Wasser von der rechten nach der linken Seite pumpt. Auf diese Weise wird das Niveau der Flüssigkeit links von  $A$  beständig erhöht, rechts davon erniedrigt, und im Bestreben, diese Niveaudifferenz auszugleichen, findet eine ständige Zirkulation des Wassers statt. Die an einer Stelle wirkende Pumpe ist das Analogon zur elektromotorischen Kraft (etwa in einem Element), die durch sie erzielte Niveaudifferenz das Analogon zur Potentialdifferenz (an den Polen des Elements). Es kann aber auch die Flüssigkeit unter Fortlassung der Scheidewand dadurch in ständige Zirkulation gebracht werden, daß sie längs der Rinne durch Ruderbewegungen fortgestoßen wird. Hier findet zwar eine Bewegung des Wassers statt, aber ohne daß eine Niveaudifferenz die Ursache davon ist. In analoger Weise treten, wie wir noch sehen werden, bei der Induktion zwar elektromotorische Kräfte, aber keine Potentialdifferenzen auf. Elektromotorische Kraft ist also ein allgemeinerer Begriff als Potentialdifferenz.

Bleiben wir noch einen Augenblick bei dem Beispiel mit der Wasserrinne. Die Niveaudifferenz des Wassers ist offenbar am größten

unmittelbar rechts und links von der Pumpe; zwischen zwei beliebigen anderen Punkten herrscht natürlich auch eine Niveaudifferenz, aber sie ist kleiner. Unmittelbar zu beiden Seiten der Pumpe ist die Niveaudifferenz ein direktes Maß für die motorische Kraft der Pumpe. Ist ferner durch ein Hindernis (z. B. eine Scheidewand) ein Zirkulieren der Flüssigkeit und somit ein Ausgleich der Niveaudifferenz erschwert, so wird sich das Wasser an dem Hindernis stauen, und es wird hier die Spannung (der Druck) größer werden. Verschließt das Hindernis z. B. bei  $h$  die Röhre vollkommen, so kann die Pumpe überhaupt nur solange arbeiten, als sie den Gegendruck des Wassers in der linken Röhrenhälfte überwinden kann. Hält ihr dieser das Gleichgewicht, dann kann kein Wasser mehr von rechts nach links hinüber, und die jetzt bestehende Niveaudifferenz in beiden Hälften der Röhre ist ebenfalls ein Maximum und ein direktes Maß für die motorische Kraft der Pumpe. Genau so verhält es sich auch bei der Elektrizität. Auch hier ist die durch die elektromotorische Kraft erzeugte Potential-

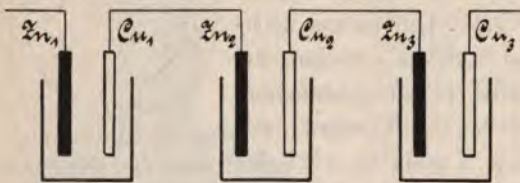


Fig. 32. Hintereinanderschaltung.

differenz am größten (nämlich gleich der elektromotorischen Kraft, — wenn der innere Widerstand vernachlässigt werden kann) an den Polen der Stromquelle bzw. an den Enden der Leitung,

falls diese unterbrochen ist. Ist sie aber nicht unterbrochen, so findet ein kontinuierlicher Abfall des Potentials (bzw. der Spannung) oder, wie man auch sagt, ein Spannungsverlust vom positiven zum negativen Pol statt. Zu beiden Seiten eines Widerstandes herrscht also eine größere Niveau- bzw. Potentialdifferenz, als sie ohne den Widerstand zwischen den betreffenden Stellen existieren würde — zur Überwindung des Widerstandes wird eben motorische Kraft der Pumpe bzw. elektromotorische Kraft absorbiert — und bei unendlich großem Widerstand, das heißt eben bei völliger Unterbrechung der Leitung, ist die Niveau- bzw. Potentialdifferenz ein Maximum. Wegen ihrer nahen Verwandtschaft mißt man elektromotorische Kräfte und Potentialdifferenzen durch ein gemeinschaftliches Maß, nämlich durch Volt (V). Auf die Definition des Volt kommen wir noch zurück.

Besitzt nun ein Element die elektromotorische Kraft (bzw. Klemmenspannung) 2 Volt, so kann man durch Hintereinanderschaltung von  $n$  solchen Elemente eine Spannung von  $2n$  Volt erhalten.

Es ist nämlich das Potential von  $Cu_1$  (Fig. 32) um 2 Volt höher als das von  $Zn_1$ , ebenso das von  $Cu_2$  und  $Cu_3$  um 2 Volt höher als das von  $Zn_2$  bzw.  $Zn_3$ .  $Zn_3$  hat nun, da es mit  $Cu_1$  verbunden ist, dasselbe Potential wie dieses, also

das von  $Zn_1 + 2$  Volt; folglich hat  $Cu_2$  das Potential von  $Zn_1 + 2$  Volt  $+ 2$  Volt.  $Zn_2$  hat analog das Potential von  $Cu_2$ , folglich  $Cu_3$  das von  $Zn_1 + 6$  Volt.

Durch Parallelschaltung von mehreren Elementen erhält man dagegen nie eine höhere Potentialdifferenz, als sie ein einziges Element bereits besitzt. Durch Verbindung von  $n$  gleichnamigen Platten wird ja nichts anderes erreicht, als wenn man eine einzige  $n$  fach größere Platte genommen hätte, und nach dem VOLTA'schen Gesetze ist ja die Größe der Potentialdifferenz ganz unabhängig von der Form und Größe der Platten. Parallelschaltung hat aber auch ihre Vorteile, wie wir bald sehen werden.

Wir kommen nun zu dem zweiten Hauptbegriffe, nämlich der **Stromstärke**. Als Stromstärke oder Stromintensität ( $J$ ) bezeichnet man diejenige Elektrizitätsmenge, die in 1 Sekunde durch irgend einen Querschnitt des Stromkreises hindurchgeht. Man darf also Stromstärke nicht mit elektromotorischer Kraft verwechseln;<sup>1</sup> denn es sind durchaus verschiedene Begriffe, trotzdem eine enge Abhängigkeit zwischen ihnen besteht, wie wir bald sehen werden. Auch die elektrische Stromstärke hat ihr Analogon in der Stromstärke einer in Bewegung befindlichen Flüssigkeit. Dieser Vergleich möge zunächst dazu dienen, um die wichtige Tatsache dem Verständnis näher zu bringen, daß die Stromstärke an allen Stellen eines (unverzweigten) Stromkreises gleich ist, ganz unabhängig davon, ob der Querschnitt an einer Stelle groß oder klein ist. Würde nämlich bei einem Flusse durch einen Querschnitt seines Bettes weniger hindurchgehen als durch einen anderen, so würde eine Stauung eintreten, was eben nicht der Fall ist. Bei engem Querschnitt fließt das Wasser schneller, die Menge, die hindurchgeht, bleibt somit dieselbe. Genau so ist es beim elektrischen Strom, nur mit der Abweichung, daß hier die Elektrizität durch enge Querschnitte nicht schneller fließt, sondern dichter wird. Ist also der Stromkreis an irgend einer Stelle verengt, so ist hier die Stromdichte (das heißt das Verhältnis zwischen Stromstärke und Querschnitt) größer, die Stromstärke aber bleibt dieselbe. Da die Stromdichte gerade bei der medizinischen Anwendung des elektrischen Stromes eine sehr wichtige Rolle spielt, wollen wir später noch genauer auf sie eingehen.

Die Stromstärke kann nun durch irgend eine von ihr abhängige Wirkung des elektrischen Stromes gemessen werden. So hat z. B., wie wir noch sehen werden, die Stromstärke einen Einfluß auf die

<sup>1</sup> Der Ausdruck ist nicht glücklich gewählt; denn da Stärke an Kraft denken läßt, wird Stromstärke oft mit elektromotorischer Kraft verwechselt. Besser wäre vielleicht die Bezeichnung „Sekundenstrom“. Doch hat sich der Ausdruck so eingebürgert, daß man sich mit ihm eben abfinden muß.

Größe der Ablenkung einer Magnetnadel, auf die Menge der Zersetzungsprodukte in einer Flüssigkeit, durch die der Strom geht, usw. Als praktische Einheit der Stromstärke hat man diejenige gewählt, die ein konstanter Strom besitzt, der aus einer Silbersalzlösung in 1 Sekunde 1,118 mg Silber abscheidet. Diese Einheit nennt man dem gleichnamigen Physiker zu Ehren ein Ampère (Am). Die Stromstärke 1 Ampère besitzt nun auch derjenige Strom, bei dem die Elektrizitätsmenge 1 Coulomb im Verlauf von 1 Sekunde durch den Querschnitt des Stromkreises hindurchgeht. Also

$$1 \text{ Ampère} = \frac{1 \text{ Coulomb}}{1 \text{ Sekunde}}.$$

Wir kommen nun zu dem Begriff des **elektrischen Widerstandes**. Darunter versteht man alles das, was die Bewegung des elektrischen Stromes schwächt, also die Stromstärke vermindert. Die Größe eines Widerstandes ist bedingt 1. durch die räumliche Ausdehnung eines Leiters, 2. durch seine stoffliche Beschaffenheit. Der Widerstand wird offenbar um so größer sein, je länger der betreffende Leiter ist, da hier ja die Summe der Widerstände der einzelnen Teile in Betracht kommt. Er wird um so kleiner sein, je breiter die Bahn ist (ein breites Strombett bietet ja auch einem Flusse weniger Widerstand).

Der Widerstand ( $W$ ) ist also direkt proportional der Länge ( $l$ ), umgekehrt proportional dem Querschnitte ( $q$ ) des Leiters. Es zeigt sich aber auch, daß die Natur des Leiters von großem Einfluß ist. Gute Leiter (insbesondere Metalle und Flüssigkeiten) setzen dem elektrischen Strom einen geringen Widerstand entgegen, schlechte Leiter einen großen. Man bezeichnet dies Verhalten als spezifischen Widerstand ( $\sigma$ ) und berechnet denselben gewöhnlich für einen Draht der betreffenden Substanz von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt. Der spezifische Widerstand ist offenbar der reziproke Wert des (spezifischen) Leitungsvermögens ( $\alpha$ ); denn je größer das Leitungsvermögen einer Substanz ist, um so kleiner ist ihr Widerstand.  $\alpha = \frac{1}{\sigma}$ . Die Gesamtformel für den elektrischen Widerstand lautet daher, um es nochmals zu wiederholen:

$$W = \frac{l}{q} \cdot \sigma \text{ oder } W = \frac{l}{q} \cdot \frac{1}{\alpha}.$$

Als praktische Einheit des Widerstandes hat man den Widerstand gewählt, den ein Quecksilberfaden von 1,063 m Länge und 1 qmm Querschnitt bei 0° dem Strom bietet. Diese Widerstandseinheit heißt 1 Ohm ( $\mathcal{Q}$ ).

Spezifischer Widerstand einiger Substanzen in Ohm,  
bei 1 m Länge, 1 qmm Querschnitt und 18° Temperatur.

Silber	0,016		Wismut	1,2
Kupfer	0,017		Quecksilber	0,958
Gold	0,023		Konstantan	0,49
Aluminium	0,032		Manganin	0,42
Zink	0,061		Neusilber	0,16—0,4
Cadmium	0,076		Patentnickel	0,33
Palladium	0,107		Messing	0,07—0,9
Platin, rein	0,108		Gaskohle	ca. 50
Nickel	0,08—1,1	30,4 %	Schwefelsäure	13 650
Eisen	0,15—0,5	23,7 %	Zinksulfatlösung	208 850
Blei	0,21		Essigsäure	6 000 000
Antimon	0,45		Reines Wasser	120 000 000

Der Widerstand eines Kupferdrahtes von 1 m Länge und  $d$  mm Durchmesser — oder was dasselbe ist vom Querschnitt  $q = (0,5 d^2) \pi = 0,785 d^2$  qmm — beträgt also z. B.  $W = \frac{0,017}{0,785 d^2} = \frac{0,022}{d^2}$  Ohm.

Der spezifische Widerstand, und somit auch die Leitfähigkeit aller Körper hängt nun auch von der Temperatur ab. Im allgemeinen wird der Widerstand der Metalle mit wachsender Temperatur größer. Legierungen von Kupfer mit Mangan und Nickel (Manganin und Nickelin) ändern ihren Widerstand innerhalb der gewöhnlichen Temperaturgrenzen nur wenig, werden daher in der messenden Praxis vielfach angewandt. Der Widerstand von Elektrolyten (also solcher Körper, die durch den Strom zersetzt werden) wird bei zunehmender Temperatur kleiner; z. B. leiten warme Lösungen besser als kalte, so daß man zu medizinischen Zwecken die Elektroden mit warmer Salzlösung anfeuchtet. Ebenfalls kleiner bei steigender Temperatur wird auch der Widerstand der Kohle und der Oxyde einiger Erdmetalle (Magnesium, Thorium, Osmium usw.). Diese Eigenschaft wird z. B. bei der Nernstlampe praktisch verwertet. Erwähnenswert ist noch, daß die an sich geringe Leitfähigkeit des metallischen Selen durch Belichtung, insbesondere mit rotem Lichte, verstärkt wird. Hierauf beruht u. a. eine Methode der Telegraphie ohne Draht.

In der Praxis stellt sich nun oft die Notwendigkeit heraus, bestimmte Widerstände in den Stromkreis einzuschalten, z. B. um die

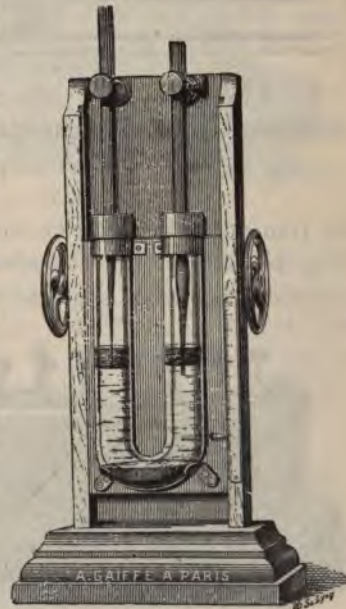


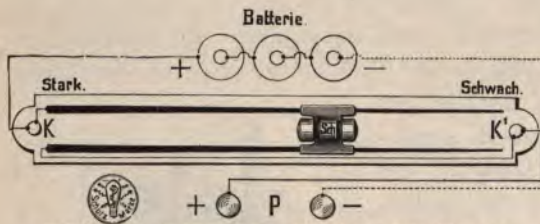
Fig. 33. Flüssigkeitsrheostat.

Stromstärke oder Spannung zu beeinflussen. Man hat daher Apparate konstruiert, die in bequemer Weise die Einschaltung bekannter Widerstände gestatten. Solche Apparate heißen **Rheostate**. Wir wollen



Fig. 34. Graphitrheostat.

hier nur die wichtigsten Typen skizzieren. Auf die Flüssigkeitsrheostate, bei denen der Widerstand durch den veränderlichen Abstand zweier in die Flüssigkeit tauchenden Metallelektroden reguliert



REINIGER, GEBBERT & SCHALL, ERLANGEN.

Fig. 35. Schema eines Graphitrheostaten.

für transportable Batterien empfehlenswert sind die Graphitrheostate (Fig. 34 und 35). Sie bestehen aus zwei Graphitstiften, auf denen ein federnder Kontakt *Sch* hin- und hergleitet.

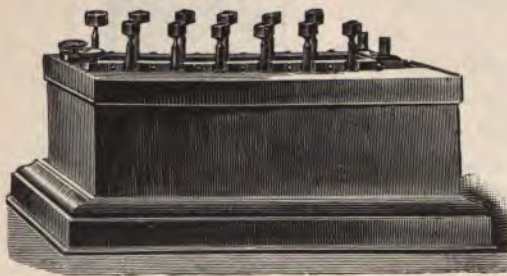


Fig. 36. Stöpselrheostat.

Je nachdem ein größerer oder kleinerer Teil der Graphitstifte in den Stromkreis eingeschaltet ist, kann der Widerstand größer oder kleiner gemacht werden. Am meisten verwandt werden jedoch die Metallrheostate, von denen es wieder verschiedene Arten gibt. Die Stöpselrheostate oder Widerstandskästen (Fig. 36) sind Kästen, auf deren Deckel dicke Messingplatten in geringem Abstand voneinander liegen. Je zwei benachbarte Messingplatten sind immer im Inneren des Kastens durch einen, meist spiralig aufgerollten, Draht von bestimmtem Widerstand leitend verbunden (Fig. 37). Außerdem kann aber auch dadurch eine Verbindung

wird (Fig. 33), wollen wir nicht näher eingehen. Sie sind zwar einfach und billig, eignen sich aber nicht für den Transport und sind wegen bald eintretender Polarisation sehr inkonstant. Einfach, billig, und namentlich

für transportable Batterien empfehlenswert sind die Graphitrheostate (Fig. 34 und 35). Sie bestehen aus zwei Graphitstiften, auf denen ein federnder Kontakt *Sch* hin- und hergleitet. Je nachdem ein größerer oder kleinerer Teil der Graphitstifte in den Stromkreis eingeschaltet ist, kann der Widerstand größer oder kleiner gemacht werden. Am meisten verwandt werden jedoch die Metallrheostate, von denen es wieder verschiedene Arten gibt. Die Stöpselrheostate oder Wider-

zwischen ihnen hergestellt werden, daß in die Lücken dichtanschließende Messingstöpsel eingesetzt werden. In letzterem Falle geht natürlich der Strom durch die Stöpsel, weil dieser Weg ja für ihn einen geringeren Widerstand bietet. Wird aber ein Stöpsel herausgezogen, so muß der Strom durch den zugehörigen Drahtkreis fließen; es wird somit ein Widerstand von bestimmter Größe eingeschaltet. Solche Stöpselrheostate gestatten die Einschaltung genau abgemessener Widerstände in die Strombahn. Zuweilen kommt es aber nur darauf an, rasch Widerstände einzuschalten, ohne ihre Größe genau zu kennen.

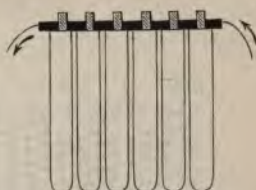


Fig. 37. Schema eines Stöpselrheostaten.

Diesem Zwecke dienen die Walzen-, Schieber- und Kurbelrheostate. Beim Walzenrheostat (Fig. 38) rollt ein Gleitradchen auf dem aufgewickelten Nickelindrahte eines Schieferzylinders und verschiebt sich zugleich längs einer Stange, deren Einteilung mit der Zahl der Drahtwindungen korrespondiert; dabei schaltet es mehr oder weniger vom Drahte (und somit mehr oder weniger Widerstand) in den Stromkreis ein.



Fig. 38. Walzenrheostat.

Ähnlich ist der Schieberrheostat (Fig. 39); nur wird hier der (mit seitlichen Isolationsknöpfen versehene) Schieber mittels der Hand längs der Stange und den Drahtwindungen verschoben. Für starke Ströme verwendet man gewöhnlich Kurbelrheostate von der Form, die Fig. 40 zeigt. Hier sind eine Anzahl von Spiralen (z. B. aus Konstantan) in einem Rahmen befestigt und enden in Metallknöpfe, auf denen eine Messingfeder mittels des Griffes *K* verschoben werden kann. Das eine



Fig. 39. Schieberrheostat.

Ende der Teilung ist mit dem Knopf 0, das andere mit der Messingfeder verbunden, so daß je nach der Stellung der letzteren eine verschiedene Zahl von Spiralen (in Fig. 40 z. B. 5) und somit auch entsprechende Widerstände eingeschaltet sind. Eine oft angewandte Form dieser Kurbelrheostate zeigt Fig. 41, bei der die Zahlen die einzuschaltenden Widerstände in Ohm angeben.

Nachdem wir nunmehr die beim elektrischen Strom in Betracht kommenden Grundbegriffe, Stromstärke, elektromotorische Kraft und Widerstand, kennen gelernt haben, wenden wir uns zu den Beziehungen,

welche zwischen diesen Größen herrschen. Das Gesetz, welches darüber Aufschluß gibt, ist das berühmte **Ohm'sche Gesetz**. Da es der Grundpfeiler der ganzen Elektrotechnik ist, wollen wir es etwas eingehender besprechen und auch durch einige Zahlenbeispiele erläutern.<sup>1</sup>

Das OHM'sche Gesetz lautet: Die Stromstärke ( $J$ ) ist direkt proportional der elektromotorischen Kraft ( $E$ ), umgekehrt proportional dem Widerstande ( $W$ )

$$J = \frac{E}{W}.$$

Das heißt also: Ein Strom wird um so stärker sein, je größer die Kraft ist, die ihn durch seine Bahn treibt (das ist ja eben die elektromotorische Kraft), und er wird um so schwächer sein, je größere Widerstände sich ihm in den Weg stellen. Analog wird ja, wenn man Wasser durch ein Rohr pumpt, um so mehr Wasser durch den Querschnitt in 1 Sekunde gehen oder, was ja dasselbe ist, die Stromstärke wird um so größer sein, je stärker die Pumpe arbeitet und je geringer der Widerstand im Rohre ist. Wenn von den drei Größen  $E$ ,  $J$ ,  $W$  zwei bekannt sind, läßt sich natürlich auch die dritte berechnen.

Aus  $J = \frac{E}{W}$  folgt ja ohne weiteres:

$$E = J \cdot W. \quad W = \frac{E}{J}.$$

Der gesamte Stromkreis (z. B. eines geschlossenen Elementes) setzt sich nun aus zwei Teilen zusammen: aus dem äußeren Stromkreis, der aus dem Schließungsbogen besteht, und aus dem inneren Strom-

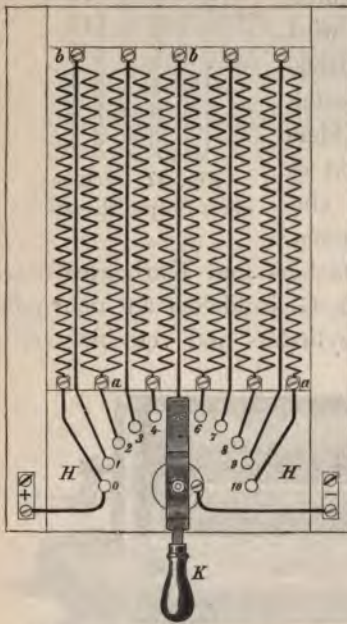


Fig. 40. Kurbelrheostat.



Fig. 41. Kurbelrheostat.

<sup>1</sup> Dieselben sind zum Teil entnommen aus HOLZT, Schule des Elektrotechnikers.



kreis, das ist die Strombahn in der Stromquelle (Element, Dynamomaschine usw.) selbst. Dementsprechend haben wir zu unterscheiden einen äußeren oder außerwesentlichen Widerstand ( $w_a$ ) und einen inneren oder wesentlichen Widerstand ( $w_i$ ). Da also der Gesamtwiderstand  $W$  aus den Widerständen  $w_i + w_a$  besteht, heißt das OHM'sche Gesetz präziser:

$$J = \frac{E}{w_i + w_a}.$$

Als praktische Einheit der Stromstärke hatten wir bereits das Ampère (Am) bzw. Milliampère (MA), als Einheit der elektromotorischen Kraft das Volt (V) und als Einheit des Widerstandes das Ohm ( $\Omega$ ) kennen gelernt. Diese drei Einheiten sind nun so gewählt, daß die Stromstärke 1 Ampère entsteht, wenn die elektromotorische Kraft der Stromquelle 1 Volt und der Widerstand im Stromkreise 1 Ohm beträgt. Also:

$$1 \text{ Ampère} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}} \text{ bzw. } 1 \text{ Milliampère} = \frac{1 \text{ Volt}}{1000 \text{ Ohm}}.$$

Ein Element hat z. B. die elektromotorische Kraft 1,76 V, den inneren Widerstand 0,8  $\Omega$ . Wie groß ist die Stromstärke, wenn der äußere Widerstand 2,72  $\Omega$  beträgt? — Aus  $J = \frac{E}{w_i + w_a}$  folgt  $J = \frac{1,76}{2,72 + 0,8} = 0,5$  Ampère.

Eine Batterie liefert einen Strom von 0,4 Am. Der äußere Widerstand ist 13,95  $\Omega$ , der innere 7,8  $\Omega$ . Wie groß ist die elektromotorische Kraft? —  $E = JW = J(w_i + w_a) = 0,4 (13,95 + 7,8) = 8,7$  Volt.

Das OHM'sche Gesetz gilt nun auch für jeden einzelnen Teil eines Stromkreises. Wir können daher mit seiner Hilfe die Potentialdifferenz oder den Spannungsverlust zwischen zwei Punkten der Strombahn berechnen, wenn der Widerstand auf dieser Strecke und die Stromstärke (die ja im gesamten Stromkreise die gleiche Größe hat) bekannt ist. Als Stromkreis wollen wir ein galvanisches Element mit seinem Schließungsbogen annehmen; doch gelten natürlich die folgenden Betrachtungen auch für jede andere Stromquelle (Thermosäule, Dynamomaschine usw.) mit ihrem Schließungsbogen. Zwischen dem positiven und negativen Pol des Elements findet im Schließungsbogen, wie wir bereits erörtert haben, ein beständiger Potentialabfall statt, so zwar, daß das positive Potential (von dem wir nur sprechen wollen) am positiven Pol sein Maximum, am negativen sein Minimum besitzt. Der Potentialabfall ist nun unter sonst gleichen Verhältnissen ein kontinuierlicher, d. h. die Potentialdifferenz zwischen zwei gleichweit entfernten Punkten ist gleich groß. Wodurch kann nun diese Potentialdifferenz beeinflußt werden? Zum leichteren Verständnis wählen wir wieder ein Beispiel aus der Hydrodynamik. Es sei  $P$  (Fig. 42) ein mit Wasser gefüllter Behälter, aus dem das Wasser

in die tiefer liegende horizontale Röhre  $AB$  abströmen kann. Ist letztere durch den Hahn bei  $B$  gesperrt, so wird in den bei  $A, C, D, E$  angebrachten Steigröhren die Flüssigkeit ebenso hoch stehen wie in  $P$ , entsprechend der Linie  $F_1, F_2, F_3, F_4$ , da der Druck im ganzen System überall derselbe ist. Wird dagegen der Hahn bei  $B$  herausgezogen, so wird der Seitendruck bei  $B$  gleich Null sein und zwischen dem linken und rechten Ende der Röhre kontinuierlich abnehmen, so daß die Steighöhen bei  $A, C, D, E$  der Linie  $G_1, G_2, G_3, G_4$  entsprechen. Wird der Hahn nur zur Hälfte herausgezogen, so werden die Steighöhen etwa der Linie  $H_1, H_2, H_3, H_4$  entsprechen. Die Niveaudifferenz in zwei benachbarten Steigröhren wird also zunehmen, je stärker das Wasser in der horizontalen Röhre strömt, anders ausgedrückt, je größer seine Stromstärke ist. Bei derselben Stromstärke wird ferner die Niveaudifferenz zwischen zwei Punkten um so beträchtlicher sein, je

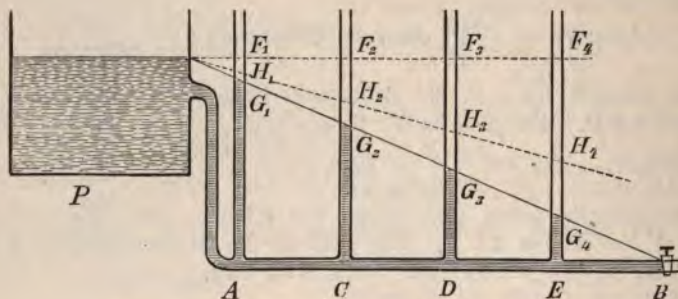


Fig. 42. Zur Erklärung des Potentialabfalls.

weiter sie auseinanderliegen. Die Niveaudifferenz bzw. die Druckabnahme ist also auch proportional der Länge der Röhre zwischen den betreffenden Punkten, d. h. mit anderen Worten (da der Querschnitt hier an allen Stellen gleich ist) proportional dem Widerstande. Es folgt also daraus: Die Niveaudifferenz bzw. Druckabnahme ist proportional der Stromstärke und dem Widerstande.

Genau das gleiche gilt aber auch für den elektrischen Strom, wenn wir für Niveaudifferenz den analogen Begriff Potentialdifferenz einsetzen (vgl. S. 11). Also auch beim elektrischen Strom ist die Potentialdifferenz (bzw. der Spannungsverlust)  $e$  zwischen zwei Punkten proportional der Stromstärke  $J$  und dem Widerstande  $w$ .

$$e = J \cdot w.$$

Es fällt sofort die Ähnlichkeit mit der erwähnten Formel  $E = J \cdot W$  auf. Aber es muß eindringlich auf die Verschiedenheit der beiden Formeln aufmerksam gemacht werden. Bei  $E = J \cdot W$  handelt es sich

um die elektromotorische Kraft und den gesamten Widerstand im Stromkreise; bei  $e = J \cdot w$  um die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten und um den lokalen Widerstand an dieser Stelle. Die Stromstärke ist allerdings in beiden Fällen dieselbe; sie ist ja überall in einem Stromkreise gleich.

Die Potentialdifferenz ist nun, wie wir gesehen haben, zwar eine Folge der elektromotorischen Kraft, darf aber mit ihr keinesfalls identifiziert werden. Selbst an den Polen eines geschlossenen Elements (bzw. einer Dynamomaschine usw.) ist die Potentialdifferenz — hier auch Polspannung, Klemmenspannung oder Netzspannung genannt — nicht gleich der elektromotorischen Kraft, sondern kleiner. Das lehrt schon die Überlegung, daß die elektromotorische Kraft nicht nur die Aufgabe hat, die Elektrizität durch den äußeren Stromkreis, also vom positiven zum negativen Pol der Stromquelle zu schaffen; vielmehr muß sie dieselbe ja auch durch den inneren Stromkreis, also durch das Element usw. selbst treiben. Es ist also  $E = J (w_a + w_i)$ . Die Klemmenspannung dagegen, die nur den Strom im äußeren Schließungskreis zu

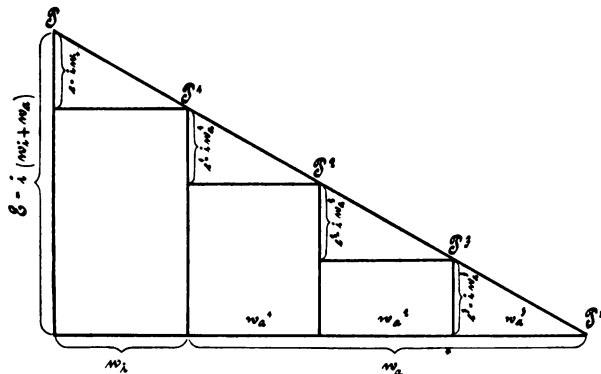


Fig. 43. Zur Erläuterung des Potentialabfalls und der Klemmenspannung.

unterhalten hat, ist  $e = J \cdot w_a$ , also um so viel kleiner als die elektromotorische Kraft, wie der Spannungsverlust im Inneren des Elementes beträgt ( $J \cdot w_i$ ). Ist der äußere Widerstand allerdings unendlich groß — was z. B. der Fall ist, wenn das Element nicht durch einen Schließungsbogen geschlossen ist, bzw. wenn der Schließungsbogen an einer Stelle unterbrochen ist — dann ist die Klemmenspannung für praktische Zwecke gleich der elektromotorischen Kraft zu setzen; denn dann kann  $J \cdot w_i$  gegenüber  $J \cdot w_a$  vernachlässigt werden (vgl. auch S. 34). Beistehendes Diagramm (Fig. 43) möge diese Verhältnisse noch deutlicher machen. Es stelle  $P P_4$  die Strombahn vor, und zwar  $P P_1$  die Strombahn im Elemente selbst mit dem Widerstande  $w_i$ ,  $P_1 P_4$  den Schließungsbogen mit dem Widerstande  $w_a$ , der wieder entsprechend den Strecken  $P_1 P_2$ ,  $P_2 P_3$ ,  $P_3 P_4$  aus den Widerständen  $w_a^1$ ,  $w_a^2$ ,  $w_a^3$  zusammengesetzt ist.  $E$  ist die elektromotorische Kraft,  $e$ ,  $e^1$ ,  $e^2$ ,  $e^3$  sind die Spannungsverluste auf den be-

treffenden Strecken, und zwar  $e$  der Spannungsverlust im Element selbst,  $e^1 + e^2 + e^3$  der Spannungsverlust im Schließungsbogen und identisch mit der Polspannung. Dann folgt ohne weiteres: Je größer  $w_a$  wird, desto mehr nähert sich die Summe von  $e^1 + e^2 + e^3$ , also die Klemmenspannung, der elektromotorischen Kraft  $E$ , und bei sehr großem äußeren Widerstande (oder, was dasselbe ist, bei sehr geringer Stromstärke) können beide Größen praktisch als gleich betrachtet werden. Dies folgt auch daraus, daß man die Klemmenspannung auch definieren kann als elektromotorische Kraft vermindert um den Spannungsverlust im Element,  $e_a = E - iw_i$ ; je kleiner  $i$  wird, um so mehr nähert sich  $e_a$  und  $E$ . Ist andererseits  $i$  so groß, daß  $iw_i = E$  wird, so wird die Klemmenspannung  $e_a = 0$ . Die Stromstärke wird dann ein Maximum, nämlich  $i = \frac{E}{w_i}$ . Dieser Fall tritt ein, wenn man beide Pole durch einen Schließungsbogen von äußerst geringem Widerstand verbindet oder, wie man sagt, das Element kurz schließt. Wir werden auf die Bedeutung des Kurzschlusses noch zu sprechen kommen.

Wiederholen wir: Wenn ein elektrischer Strom durch einen Leiter fließt, so verliert er an Spannung. Dieser Spannungsverlust (in Volt) ist gleich dem Produkte aus der Stromstärke (in Ampère) und dem Widerstande des betreffenden Leiters (in Ohm). Wir wollen diese wichtigen Verhältnisse noch an der Hand einiger Zahlenbeispiele klar machen.

Ein Element besitzt die elektromotorische Kraft 1,06 Volt, den inneren Widerstand 2,4 Ohm und ist durch einen äußeren Widerstand von 18,8 Ohm geschlossen. Wie groß ist die Klemmenspannung? — Die Klemmenspannung ist  $e_a = iw_a$ . Nun ist hier  $w_a = 18,8$  Ohm,  $i$  ist  $= \frac{E}{w_i + w_a} = \frac{1,06}{21,2} = 0,05$  Ampère. Folglich die Klemmenspannung  $= 0,94$  Volt.

Wie groß ist der Widerstand einer Glühlampe, die bei einem Strom von 0,8 Ampère 65 Volt verbraucht? — Aus  $w = \frac{e}{i}$  folgt  $w = \frac{65}{0,8} = 81,25$  Ohm.

Eine Dynamomaschine liefert eine elektromotorische Kraft von 66 Volt und besitzt einen inneren Widerstand von 0,05 Ohm. Von ihr führt eine 40 m lange und 4,5 mm starke Kupferleitung zu einer Glühlampenanlage. In der Leitung ist noch ein Strommesser von 0,047 Ohm Widerstand. Wie groß ist die Klemmenspannung der Maschine und die Spannung an den Lampen, wenn die Stromstärke a) 0 Ampère, b) 10 Ampère, c) 30 Ampère beträgt? — Bezeichnet  $E$  die elektromotorische Kraft,  $e$  die Klemmenspannung,  $w_i$  den inneren Widerstand der Maschine,  $w_a$  den Widerstand der Leitung einschließlich dem des Meßinstruments, so ist wieder die Klemmenspannung der Maschine  $e = E - iw_i$ , die Spannung an den Enden der Lampen  $e_l = E - i(w_i + w_a)$  und  $w_a$  ist gleich dem Widerstand des Drahtes  $\frac{l}{q} \sigma = 0,043$  Ohm plus dem Widerstande des Meßinstruments 0,047, zusammen also  $= 0,09$  Ohm. Also ist:

- a) für  $i = 0$ :  $\left. \begin{matrix} e \\ e_1 \end{matrix} \right\} = E = 66 \text{ Volt}$
- b) für  $i = 10$ :  $e = 66 - 10 \cdot 0,05 = 65,5 \text{ Volt}$   
 $e_1 = 66 - 10(0,05 + 0,09) = 64,6 \text{ Volt}$
- c) für  $i = 30$ :  $e = 66 - 30 \cdot 0,05 = 64,5 \text{ Volt}$   
 $e_1 = 66 - 30(0,05 + 0,09) = 61,8 \text{ Volt}$ .

In der Praxis ist es nun von besonderer Wichtigkeit, zu wissen, wie man eine gerade benötigte Spannung bzw. Stromstärke erhalten kann, auf welche Weise man also eine gegebene Spannung oder Stromstärke erhöht bzw. erniedrigt. Eine Erhöhung der Spannung erhält man durch Erhöhung der elektromotorischen Kraft. Hat man z. B. eine Dynamomaschine zur Verfügung, so läßt man dieselbe schneller arbeiten. Bei Elementen wird die elektromotorische Kraft durch Hintereinanderschaltung erhöht. Besitzt also eine Akkumulatorzelle 2 Volt, und benötigt man im Stromkreis eine Spannung von 32 Volt, so schaltet man 16 Akkumulatorzellen hintereinander (cf. S. 34).

Erniedrigt wird die Spannung auf einer Strecke der Strombahn natürlich einmal dadurch, daß man weniger Elemente nimmt oder die Dynamomaschine langsamer arbeiten läßt usw. Ist aber die elektromotorische Kraft der Stromquelle als unveränderliche Größe gegeben, z. B. beim Anschluß an städtische Lichtleitungen usw., so kann die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten nur dadurch vermindert werden, daß man vor sie einen Widerstand („Vorschaltwiderstand“) einschaltet, der gewissermaßen einen Teil der Spannung (bzw. Volt) verzehrt und daher auch in diesem Falle als „Voltabschalter“ bezeichnet wird. Durch Einschaltung des Widerstandes wird aber auch die Stromstärke im ganzen Stromkreis verringert; in erster Linie muß man daher wissen, welche Stromstärke gewünscht wird, die sich ja nach dem Gesamtwiderstande richtet.

Soll z. B. ein Induktor, dessen Widerstand 6 Ohm beträgt, mit 5 Ampère betrieben werden, so muß an seinen Enden nach der Formel  $e = iw$  die Spannungsdifferenz 30 Volt bestehen. Hat man nun nur eine Lichtleitung von 100 Volt zur Verfügung, so müssen durch einen vor den Induktor geschalteten Widerstand 70 Volt abgeschaltet werden. Dieser Widerstand muß nach derselben Formel  $w = \frac{e}{i} = \frac{70}{5} = 14 \text{ Ohm}$  betragen.

Die Regulierung der Spannung ist auch durch Rheostate im Nebenschluß bzw. durch sogenannte Voltregulatoren möglich. Wir kommen noch darauf zurück.

Wie erhöht man nun die Stromstärke? Zunächst müssen wir uns darüber klar werden, daß die Stromstärke eines Elementes bzw. einer Batterie etwas Variables ist, nämlich abhängig vom äußeren Widerstand ( $J = \frac{E}{W}$ ). Die oft gehörte Frage, welche Stromstärke

liefert ein bestimmtes Element, ist daher in dieser Fassung unrichtig; man kann die Frage eben nur für jeden einzelnen Fall beantworten, wenn man nämlich den jeweiligen Widerstand des Schließungsbogens kennt. Allerdings ist eine obere Grenze der Stromstärke für jedes Element durch dessen beide Konstanten, die elektromotorische Kraft und den inneren Widerstand, gegeben unter der Voraussetzung, daß der äußere Widerstand = 0 ist, wenn also das Element „kurz geschlossen“ ist. Dieser Fall kommt aber in der Praxis nur als unerwünschtes Versehen vor, da dadurch das Element schwer geschädigt wird. Hat also z. B. ein Daniell-Element die elektromotorische Kraft 1,08 Volt, den inneren Widerstand 5 Ohm, so kann durch dasselbe auf keinen Fall eine größere Stromstärke als 0,21 Ampère erzielt werden, und auch diese nur bei Kurzschluß.

Man kann sich jedoch dadurch helfen, daß man mehrere Elemente zu einer Batterie vereinigt, muß aber hier zwei Fälle streng auseinanderhalten. Schalten wir  $n$  gleiche Elemente hintereinander, so wird zwar, wie wir bereits sahen (S. 34), die elektromotorische Kraft  $E$  des einzelnen Elements um das  $n$  fache größer; aber zugleich wird auch der innere Widerstand  $n$  mal größer. Denn der Strom geht ja jetzt  $n$  mal hintereinander durch ein Element hindurch, hat also die  $n$  fache Flüssigkeitsstrecke bei gleichem Querschnitt zu durchlaufen. Die Stromstärke ist also hier

$$J = \frac{n E}{n w_i + w_a}.$$

Aus dieser Formel geht sofort hervor, daß durch Hintereinanderschaltung die Stromstärke nur dann erhöht wird, wenn der äußere Widerstand  $w_a$  so groß ist, daß der innere Widerstand  $w_i$  und somit auch  $n \cdot w_i$  vernachlässigt werden kann. In diesem Falle wird eben

$$i = n \cdot \frac{E}{w_a}.$$

Hintereinanderschaltung zum Zwecke der Erhöhung der Stromstärke wendet man daher an beim Telegraphen- und Telephonbetriebe, bei der Galvanotherapie, Elektrolyse usw.

Wäre dagegen  $w_a$  klein im Vergleich zu  $w_i$ , so daß es vernachlässigt werden kann, so erhalten wir

$$J = \frac{n E}{n w_i} = \frac{E}{w_i}$$

d. h. also, die Stromstärke bleibt annähernd dieselbe. Machen wir uns das noch an ein paar Zahlenbeispielen klar.

Hat ein Element die elektromotorische Kraft 2 Volt und den inneren Widerstand 0,2 Ohm, während im Schließungsbogen ein Widerstand von 100 Ohm besteht, so beträgt die Stromstärke

$$J = \frac{E}{w_i + w_a} = \frac{2}{0,2 + 100} = 0,019 \text{ Ampère.}$$

Schaltet man hier 10 solche Elemente hintereinander, so ist

$$J = \frac{10 E}{10 w_i + w_a} = \frac{20}{2 + 100} = 0,19 \text{ Ampère,}$$

also zehnmal größer als im ersten Falle.

Hat man dagegen unter sonst gleichen Verhältnissen im Schließungsbogen nur einen Widerstand von 0,02 Ohm, so ist bei 1 Element  $J = \frac{2}{0,2 + 0,02} = 9,09$  Ampère, bei 10 Elementen  $J = \frac{10 \cdot 2}{10 \cdot 0,2 + 0,02} = 9,9$  Ampère,

also ungefähr ebenso groß wie im ersten Falle.

Ist also der äußere Widerstand klein im Vergleich zum inneren, wie es z. B. bei der Galvanokaustik der Fall ist, so nützt Hintereinanderschaltung nichts zur Erzielung einer größeren Stromstärke. Wohl aber erzielt man eine solche durch Nebeneinanderschaltung. Durch Parallelschaltung von  $n$  Elementen bleibt zwar die elektromotorische Kraft der Batterie dieselbe wie bei jedem einzelnen Element; aber der innere Widerstand wird jetzt nur  $\frac{1}{n}$  von dem des einzelnen Elementes, da hier die  $n$  nebeneinandergeschalteten Elemente gewissermaßen ein einziges Element mit  $n$  fach breiteren Platten und somit  $n$  fach geringerem Widerstande vorstellen. Es ist somit hier

$$J = \frac{E}{\frac{w_i}{n} + w_a}.$$

Daraus folgt aber, daß hier eine größere Stromstärke erreicht wird, falls  $w_a$  so klein im Verhältnis zu  $w_i$  ist, daß es vernachlässigt werden kann, denn dann ist

$$J = \frac{E}{\frac{w_i}{n}} = n \cdot \frac{E}{w_i}.$$

Ist dagegen  $w_a$  groß, so wird durch Nebeneinanderschaltung an Stromstärke nichts gewonnen; dann ist

$$J = \frac{E}{w_a}.$$

Blieben wir bei dem eben angeführten Beispiel,  $E = 2$  Volt,  $w_i = 0,2$ ,  $w_a = 0,02$ . Bei 1 Element war  $J = \frac{2}{0,2 + 0,02} = 9,09$  Ampère. Bei 10 hintereinandergeschalteten Elementen  $J = 9,9$  Ampère. Bei 10 parallelgeschalteten Elementen ist dagegen

$$J = \frac{2}{\frac{0,2}{10} + 0,02} = \frac{2}{0,02 + 0,02} = 50 \text{ Ampère,}$$

also  $5\frac{1}{2}$  mal größer.

Ist  $E = 2$  Volt,  $w_i = 0,2$ ,  $w_a = 100$  Ohm, so wird  $J = 0,019$  Ampère. Bei 10 parallelgeschalteten Elementen ist

$$J = \frac{2}{\frac{0,2}{10} + 100} = 0,019 \text{ Ampère,}$$

bleibt also unverändert.

Um es also nochmals zu wiederholen: Bei sehr großem äußeren Widerstande schaltet man die Elemente hintereinander, bei sehr kleinem äußeren Widerstande schaltet man sie nebeneinander.

Ist der äußere Widerstand aber im Verhältnis zum inneren weder sehr groß noch sehr klein, so wendet man eine gemischte Schaltung an. Sechs Elemente

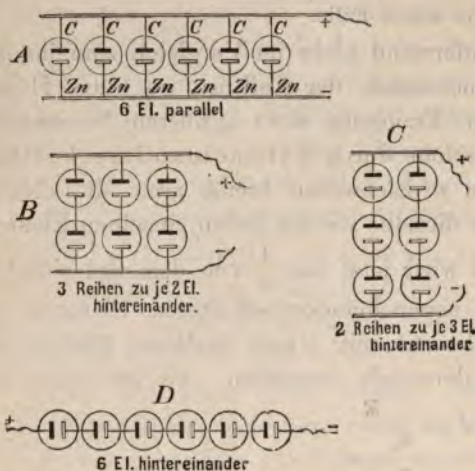


Fig. 44. Schaltungsweisen von Elementen.

$\frac{1}{m}$  von deren innerem Widerstand;  $n$  hintereinandergeschaltete Elemente von der elektromotorischen Kraft  $E$  besitzen dagegen eine elektromotorische Kraft  $nE$ . Die Gesamt-Stromstärke einer solchen Kombination ist daher

$$J = \frac{nE}{w_a + \frac{nw_i}{m}}$$

Durch Rechnung läßt sich nun zeigen, daß bei einer gegebenen Zahl von Elementen diejenige Schaltung die größte Stromstärke liefert, bei welcher der innere Widerstand der Batterie dem Widerstande im Schließungsbogen möglichst gleichkommt.

Wir wollen die mathematische Ableitung nicht geben, aber ein Zahlenbeispiel anführen:

Wir haben z. B. sechs Elemente, deren jedes eine elektromotorische Kraft  $E = 2$  Volt und einen inneren Widerstand  $w_i = 6$  Ohm besitzen, während der Widerstand des Schließungsbogens  $w_a = 15$  Ohm betragen möge. Dann liegen die Verhältnisse bei den in Fig. 44 A–D dargestellten verschiedenen Schaltungsweisen folgendermaßen:



Schaltungsweise	Parallel	Hinter-einander	Elektro-motorische Kraft	Innerer Widerstand	Stromstärke
A	$m=6$	$n=1$	$E=2\text{ V}$	$\frac{1}{6} w_i = 1\ \Omega$	$J = \frac{E}{w_a + \frac{1}{6} w_i} = \frac{2}{16} = 0,125\text{ Am}$
B	3	2	$2E=4\text{ V}$	$\frac{2}{3} w_i = 4\ \Omega$	$\frac{2E}{w_a + \frac{2}{3} w_i} = \frac{4}{19} = 0,21\text{ Am}$
C	2	3	$3E=6\text{ V}$	$\frac{3}{2} w_i = 9\ \Omega$	$\frac{3E}{w_a + \frac{3}{2} w_i} = \frac{6}{24} = 0,25\text{ Am}$
D	1	6	$6E=12\text{ V}$	$6 w_i = 36\ \Omega$	$\frac{6E}{w_a + 6 w_i} = \frac{12}{51} = 0,235\text{ Am}$

Die größte Stromstärke resultiert also bei der Anordnung C, wo der innere Widerstand dem äußeren am nächsten kommt. Um bei einer gegebenen Zahl ( $z$ ) von Elementen sofort zu wissen, welches für den vorliegenden Fall die günstigste, d. h. die größte Stromstärke ergebende, Schaltung ist, kann man sich einer einfachen Formel bedienen. Bedeutet wieder  $m$  die Zahl der parallel zu schaltenden Reihen,  $n$  die Zahl der hintereinandergeschalteten Elemente, so ist zunächst  $z = m \cdot n$ . Der gesamte innere Widerstand der Batterie ist, wenn  $w_i$  der innere Widerstand eines Elementes ist,  $\frac{n}{m} w_i$ . Da nach dem eben Gesagten die maximale Stromstärke vorhanden ist, wenn der innere Widerstand dem äußeren gleich ist (bzw. möglichst gleich kommt), so ist bei der zweckentsprechenden Schaltung

$$\frac{n}{m} w_i = w_a \text{ oder, da } n = \frac{z}{m}$$

$$\frac{z}{m^2} w_i = w_a$$

$$m = \sqrt{z \cdot \frac{w_i}{w_a}}$$

$m$  bzw. der Wurzel Ausdruck gibt also an, wie viel Reihen man parallel zu schalten hat, um die größte Stromstärke zu erhalten. Die Zahl der in jeder Reihe hintereinander zu schaltenden Elemente ergibt sich dann sofort aus  $n = \frac{z}{m}$ . Ist der Wurzel Ausdruck keine ganze Zahl oder eine Zahl, die nicht in der Elementenzahl aufgeht, so wählt man die nächststehende ganze Zahl. Ist der Wurzel Ausdruck 1 oder kleiner als 1, so bedeutet dies, daß alle Elemente hintereinandergeschaltet werden müssen. In obigem Zahlenbeispiele wäre  $m = \sqrt{\frac{6 \cdot 6}{15}} = 1,62$ , d. h. es müßten zwei parallele Reihen aus je drei Elementen gebildet werden, was, wie die Rechnung zeigt, auch stimmt.

Bisher haben wir nur einfache, ungeteilte Stromkreise berücksichtigt. Jetzt wollen wir uns zu den **Stromverzweigungen** wenden, für die das OHM'sche Gesetz ebenfalls gilt. Zunächst eine Bemerkung über die hier gültige Terminologie. Die Ausdrücke Hinter- und Nebeneinanderschaltung werden auch hier angewandt, aber doch



in etwas anderem Sinne als bei Elementen. Fließt ein Strom (Fig. 45) erst durch einen Körper (*A*), dann durch einen anderen (*B*), so sagt man, *A* und *B* sind hintereinandergeschaltet; sie liegen also in demselben Stromkreise. Teilt sich aber der Strom, und liegen zwei Körper

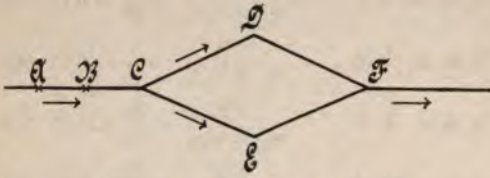


Fig. 45. Stromverzweigung.

(*D* und *E*) in den Zweigbahnen, so sagt man, *D* und *E* sind parallel zueinander geschaltet oder *D* liegt im Nebenschluß (englisch: shunt) zu *E*. Für Stromverzweigungen gelten nun die beiden

**KIRCHHOFF'schen Gesetze**, die eine Erweiterung des OHM'schen Gesetzes bilden:

1. An jedem Verzweigungspunkte ist die Summe der Stromstärken aller ankommenden Ströme gleich der Summe der Stromstärken aller abfließenden, oder, anders ausgedrückt, die algebraische Summe der Stromstärken ist daselbst gleich Null, wenn man nämlich die ankommenden Ströme als positiv, die abfließenden als negativ bezeichnet.

2. In jedem abgeschlossenen Teile eines Stromnetzes ist die Summe aller elektromotorischen Kräfte gleich der Summe aller Spannungsverluste (bzw. gleich der Summe aller Produkte aus Stromstärke und Widerstand für jeden Teil der Leitung). Hierbei sind solche elektromotorische Kräfte, die gleichgerichtete Ströme erzeugen, mit gleichen Vorzeichen zu versehen, andernfalls mit entgegengesetzten.

Wir wollen jetzt diese wichtigen Gesetze an der Hand von Fig. 46 und 47 besprechen, die beide ein Stromnetz vorstellen; und

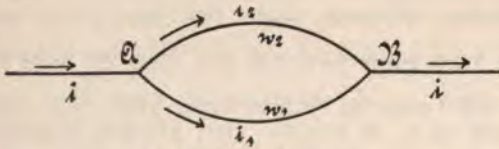


Fig. 46. Stromverzweigung.

zwar ist in dem einen derselben (Fig. 46) keine Stromquelle, in dem anderen (Fig. 47) befinden sich zwei Stromquellen, die einen Strom in der Richtung der Pfeile erzeugen.

Das erste KIRCHHOFF'sche Gesetz ist weiter nichts als ein Ausdruck dafür, daß in einem elektrischen Strome keine „Stauung“ eintritt, daß also in jedem Querschnitt der Leitung so viel Elektrizität fortfließt, wie ankommt. Es ist also in Fig. 46  $i = i_1 + i_2$ , in Fig. 47  $i_3 = i_1 + i_2$ ; oder anders ausgedrückt  $i - i_1 - i_2 = 0$  bzw.  $i_3 - i_1 - i_2 = 0$ .

Beim zweiten KIRCHHOFF'schen Gesetz bedarf zunächst der Ausdruck „geschlossener“ Teil eines Stromkreises einer Erläuterung. Man

versteht darunter z. B. in Fig. 47 den Weg  $BE^2AB$  bzw.  $ABE^1A$ . Das zweite KIRCHHOFF'sche Gesetz ist offenbar nur eine Verallgemeinerung des OHM'schen Gesetzes. Bei diesem haben wir bereits gesehen, daß in einem Stromkreis die elektromotorische Kraft der Stromquelle gleich dem Spannungsverlust (der Potentialdifferenz) im Stromkreise ist,  $E = J \cdot W$ . Für den Stromkreis  $E^1ACBE^1$  (Fig. 47), in dem nur die elektromotorische Kraft  $E^1$  wirksam ist, wäre, falls er für sich allein bestände, die elektromotorische Kraft also gleich dem Produkt aus Stromstärke und Widerstand. Nun ist er aber nur ein Teil eines größeren verzweigten Stromkreises, und es sind in seinen einzelnen Abschnitten die Strom-

stärken und Widerstände verschieden; nämlich in  $BE^1A$  sind sie  $i_1$  bzw.  $w_1$ , in  $ACB$  sind sie  $i_3$  bzw.  $w_3$ . Hier kommt dann eben das KIRCHHOFF'sche Gesetz zur Anwendung, welches besagt  $E^1 = i_1 w_1 + i_3 w_3$ . Ebenso ist  $E^2 = i_2 w_2 + i_3 w_3$ .

In dem geschlossenen Kreise  $AE^2BE^1A$  ist schließlich  $E^1 - E^2 = i_1 w_1 - i_2 w_2$ . Hierbei kommt nämlich in Betracht, daß  $E^2$  und  $i_2 w_2$  das entgegengesetzte Vorzeichen von  $E^1$  und  $i_1 w_1$  erhalten, da sie zu einem Strome von entgegengesetzter Richtung gehören.

Aus den KIRCHHOFF'schen Gesetzen ergeben sich nun unmittelbar folgende praktisch wichtige Beziehungen: Hat sich in einem Stromnetz einmal ein stationärer Zustand entwickelt, so ist die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten stets dieselbe, ganz unabhängig vom Wege (cf. S. 10). Zwischen  $A$  und  $B$  (Fig. 46) herrscht also eine ganz bestimmte Potentialdifferenz  $e$ , ganz gleich, ob der Strom auf dem oberen oder unteren Wege von  $A$  nach  $B$  gelangt. Es ist also

$$e = i_1 w_1 = i_2 w_2.$$

Folglich

$$i_1 w_1 = i_2 w_2$$

und

$$i_1 : i_2 = w_2 : w_1.$$

In Worten: Die Stromstärken der Zweigströme verhalten sich umgekehrt wie die Widerstände der Zweigbahnen. Verzweigt sich ein Strom zwischen zwei Punkten  $A$  und  $B$  (Fig. 46) durch zwei parallelgeschaltete Leiter mit dem Widerstand  $w_1$  bzw.  $w_2$ , so

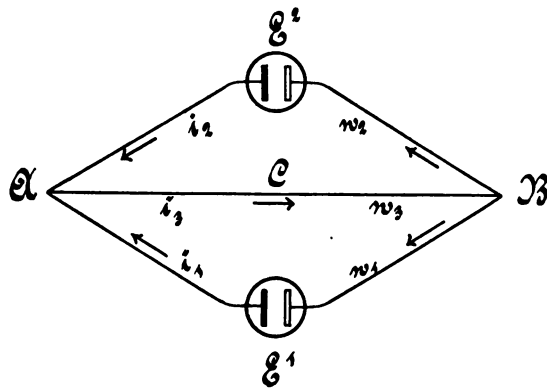


Fig. 47. Stromverzweigung.

bieten offenbar beide Leiter zusammen dem Strome einen geringeren Widerstand als jeder für sich allein, da sie ja zusammen einen größeren Querschnitt besitzen. Bezeichnet man diesen Kombinationswiderstand mit  $W$ , so ist zunächst nach dem ersten KIRCHHOFF'schen Gesetze  $i = i_1 + i_2$ . Besteht zwischen  $A$  und  $B$  wieder die Potentialdifferenz  $e$ , so ist nach dem OHM'schen Gesetze  $i = \frac{e}{W}$ ,  $i_1 = \frac{e}{w_1}$ ,  $i_2 = \frac{e}{w_2}$ . Folglich  $\frac{e}{W} = \frac{e}{w_1} + \frac{e}{w_2}$  oder

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2}.$$

Daraus ergibt sich

$$W = \frac{w_1 \cdot w_2}{w_1 + w_2}.$$

Ist z. B.  $w_1 = 1$  Ohm,  $w_2 = \frac{1}{9}$  Ohm, so ist  $W = \frac{1}{10}$  Ohm, also kleiner als jeder der Zweigwiderstände. Auf diesen Gesetzen beruht u. a. die Anwendung von Rheostaten im Nebenschlusse. Früher

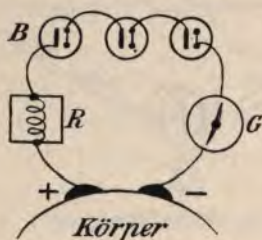


Fig. 48.

Rheostat im Hauptstromkreise.

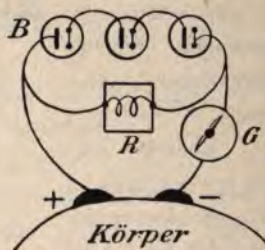


Fig. 49.

Rheostat im Nebenschluss.

$B$  Batterie,  $R$  Rheostat,  $G$  Galvanometer.

(S. 37) hatten wir nur den Fall betrachtet, daß ein Rheostat im Hauptstromkreise angebracht ist (Fig. 48). Dann wird natürlich zunächst die Stromstärke um so kleiner, je mehr Widerstände des Rheostaten eingeschaltet werden; gleichzeitig sinkt aber auch die Spannung in dem hinter dem Rheostaten gelegenen Teil der Strombahn, da eben zur Überwindung der Rheostatenwiderstände mehr oder weniger Spannung verbraucht wird („Voltabschalter“). Beim Rheostaten im Nebenschluß ist es natürlich gerade umgekehrt (Fig. 49). Denn je mehr von den Rheostatenwiderständen ( $R$ ) eingeschaltet sind, desto weniger Strom geht nach dem KIRCHHOFF'schen Gesetz durch ihn; sind dagegen alle Widerstände ausgeschaltet, so geht der ganze Strom durch den Nebenschluß, während der Hauptstromkreis stromlos bleibt. Andererseits dient ein solcher Nebenschlußrheostat auch zur Spannungsregulierung; denn je mehr Widerstände eingeschaltet werden, desto größer wird die Spannungsdifferenz an den Abzweigungspunkten des Nebenschlusses und natürlich auch des dazu parallelgeschalteten Teils des Hauptstromkreises.

Wir wollen dies wichtige Prinzip noch an einem Zahlenbeispiel erläutern. In Fig. 50 stellt  $M$  eine Dynamomaschine mit 220 Volt Klemmenspannung,  $R^1$  einen Rheostaten im Hauptschluß,  $R^2$  einen solchen im Nebenschluß zum Induktor  $J$  vor. Der Widerstand von  $R^1$  betrage 0–30, von  $R^2$  0–6, von  $J$  2 Ohm. Wir betrachten zunächst den Fall, daß  $R^2$  „kurz geschlossen“ ist, d. h. daß alle Widerstände ausgeschaltet sind (Zeiger auf 0), während in  $R^1$  10 Ohm eingeschaltet sind. Dann geht der gesamte Strom der Hauptleitung,

der  $\frac{220}{10} = 22$  Ampère beträgt, direkt von  $C$  nach  $D$ , da ja der Widerstand des

Induktors (2 Ohm) unendlich groß im Vergleich zum Widerstand dieser Strecke ist. Die Potentialdifferenz zwischen  $C$  und  $D$  ist in diesem Falle gleich Null;

das gilt natürlich nicht nur für den direkten Weg von  $C$  nach  $D$ , sondern auch für den Weg  $CJD$ ; denn die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten ist eben stets eine bestimmte Größe, unabhängig vom Wege (S. 51). Der Induktor steht also jetzt unter der Spannung 0 und bekommt überhaupt keinen Strom. Schalte ich nun in  $R^2$  Widerstände ein, etwa 1 Ohm, so wird nach den erwähnten Gesetzen der Kombinationswiderstand zwischen  $C$

und  $D$   $\frac{1 \times 2}{1 + 2} = 0,67$  Ohm, der

Gesamtwiderstand des ganzen Stromkreises  $10 + 0,67 = 10,67$  Ohm. Die Stromstärke des Hauptstromkreises wird also

$\frac{220}{10,67} = 20,6$  Ampère. Davon

gehen  $\frac{2}{3}$ , also 13,72, durch  $R^2$ ,

$\frac{1}{3}$ , also 6,86, durch  $J$ . Die Potentialdifferenz (der Spannungsverlust) zwischen  $C$  und  $D$  ist dann nach der

Formel  $e = iw = 13,72 \times 1$  bzw.  $6,86 \times 2 = 13,72$  Volt.

Schalte ich nun mehr Widerstand in  $R^2$  ein, z. B. 5 Ohm, so wird der

Kombinationswiderstand zwischen  $C$  und  $D$   $\frac{5 \times 2}{5 + 2} = 1,428$  Ohm, der Gesamtwiderstand der ganzen Strombahn  $10 + 1,428 = 11,428$  Ohm. Die Stromstärke des Hauptstromkreises ändert sich hier nur unbedeutend, denn sie wird jetzt

$\frac{220}{11,428} = 19,2$  Ampère; davon gehen  $\frac{2}{7} = 5,5$  Ampère durch  $R^2$ ,  $\frac{5}{7} = 13,7$  Ampère durch  $J$ . Der Spannungsunterschied zwischen  $C$  und  $D$  beträgt aber hier  $5,5 \times 5$

bzw.  $13,7 \times 2 = 27,5$  Volt.

Je mehr Widerstand also in  $R^2$  eingeschaltet wird, desto größer wird der Spannungsverlust zwischen  $C$  und  $D$ , desto größer also auch der Spannungsunterschied an den Enden des Induktors. Ein Rheostat im Nebenschluß dient daher in erster Linie als Spannungsregulator, während ein Rheostat im Hauptstromkreise vor allem die Stromstärke reguliert.

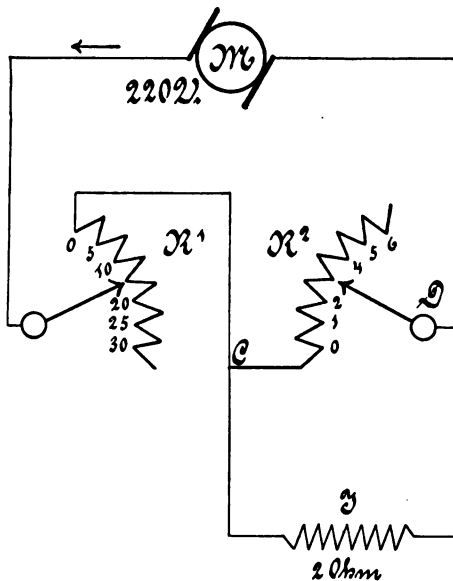


Fig. 50. Kombination zweier Rheostate im Haupt- und Nebenschluß.

Eine sehr zweckmäßige Kombination eines Rheostaten im Haupt- und Nebenschlusse stellen die sogenannten Spannungsregulatoren oder Spannungswähler vor. Fig. 51 zeigt z. B. den Voltregulator der Firma REINIGER GEBBERT & SCHALL, Fig. 52 dessen Schema.

Ein sehr langer, feiner und mit Seide isolierter Widerstandsdraht ist in eng aneinander liegenden Windungen auf einen Isolierkörper gewickelt. Auf den oben von der Isolation befreiten Windungen schleift eine Kontaktfeder.

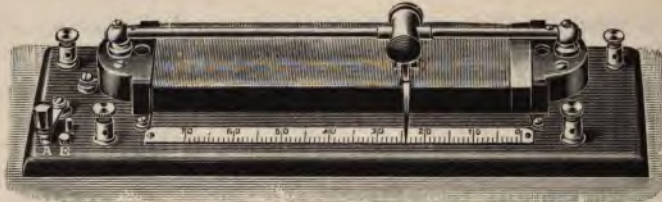


Fig. 51. Voltregulator.

Anfang und Ende des Widerstandsdrahtes werden bei Gebrauch mit der Stromquelle verbunden. Das eine Ende und die Kontaktfeder bilden die Abzweigungsstellen für den Nebenstromkreis, in welchen der Körper des Patienten eingeschaltet wird. Je weiter also die Kontaktfeder vom Ende der Widerstandsspirale weggeführt wird, desto größer muß die Spannungsdifferenz zwischen dem Endpunkt und dem jeweiligen Berührungspunkt des Schiebers werden. Das Anschwellen der Spannung erfolgt dabei in sehr feiner Abstufung, was durch die große Zahl der Drahtwindungen bedingt wird. Enthält z. B. die Spirale 600

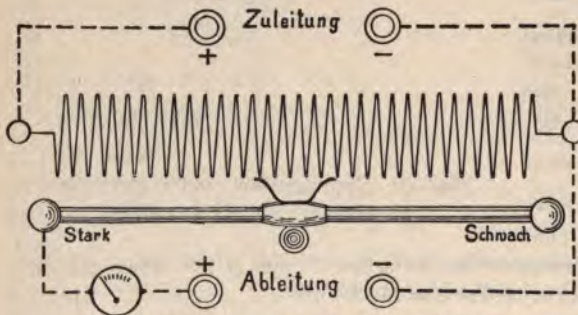


Fig. 52. Schema eines Voltregulators.

Windungen und besitzt die Stromquelle eine Gesamtspannung von 30 Volt, so wird durch Bewegung des Schiebers die feine Abstufung von  $\frac{1}{20}$  zu  $\frac{1}{20}$  Volt erreicht.

Abgesehen von dieser feinen Abstufung der Spannung unterscheiden sich die Spannungsregulatoren dadurch vorteilhaft von den einfachen Neben-

schlußrheostaten, daß bei diesen der Widerstand bis zu dem für die Stromquelle schädlichen Kurzschluß verringert werden muß, wenn man den durch den Patienten gehenden Strom auf Null reduzieren will, während bei ersteren auch in diesem Falle der ganze Widerstand eingeschaltet bleibt. Da infolgedessen ein stärkerer Stromverbrauch gegenüber der Anwendung von Elementenzählern oder Hauptschlußrheostaten bedingt ist, werden solche Spannungsregulatoren gewöhnlich nicht benutzt, wenn die Stromquelle aus einer Batterie besteht, abgesehen von den Fällen, wo man eine möglichst feine Regulierung der Stromstärke, namentlich im Anfang, haben will (wie z. B. bei der Kataphorese zu zahnärztlichen Zwecken). Dagegen werden Spannungsregulatoren mit Vorteil bei Anschlußapparaten an Zentralen verwandt, da hier ein so mäßiger Mehrverbrauch an Strom keine Rolle spielt.

Ein spezieller Fall der Stromverzweigung, der oft in der Praxis vorkommt, ist der, daß die beiden Zweigströme gleiche Widerstände besitzen. Dann ist natürlich

$$W = \frac{w_1 \cdot w_1}{w_1 + w_1} = \frac{w_1}{2},$$

d. h. der Kombinationswiderstand von zwei gleichen parallelgeschalteten Zweigen ist gleich der Hälfte jedes Zweigwiderstandes.

Sind nicht nur zwei, sondern  $n$  parallele Zweige vorhanden, so ist wieder

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3} + \dots + \frac{1}{w_n}.$$

Da nun bekanntlich der reziproke Wert des Widerstandes als Leitungsvermögen bezeichnet wird (cf. S. 36), so kann man diese Formel auch so ausdrücken:

Das Leitungsvermögen einer Kombination parallelgeschalteter Zweige ist gleich der Summe der Leitungsvermögen der einzelnen Zweige.

Sind die  $n$  Widerstände einander gleich, so folgt

$$\frac{1}{W} = \frac{n}{w_1}$$

$$W = \frac{w_1}{n}.$$

D. h.: Der Kombinationswiderstand von  $n$  gleichen parallelgeschalteten Widerständen ist dem  $n$ ten Teil jedes einzelnen Widerstandes.

Eine Anwendung dieses Gesetzes haben wir z. B. bei den elektrischen Glühlampen von Beleuchtungsanlagen, die stets parallelgeschaltet sind. Je mehr Lampen vorhanden sind, desto geringer ist der Kombinationswiderstand, ein desto stärkerer Strom fließt durch das Leitungsnetz.

Einige Zahlenbeispiele hierzu:

Ein Strom von 32 Ampère verzweigt sich zwischen  $A$  und  $B$  in die Widerstände  $w_1 = 2$  Ohm und  $w_2 = 0,5$  Ohm. Wie groß sind die Zweigströme und die Potentialdifferenz zwischen  $A$  und  $B$ ?

$$W = \frac{w_1 \cdot w_2}{w_1 + w_2} = \frac{2 \cdot 0,5}{2 + 0,5} = 0,4 \text{ Ohm,}$$

$$e = J W = 12,8 \text{ Volt,}$$

$$i_1 = \frac{e}{w_1} = \frac{12,8}{2} = 6,4 \text{ Ampère,}$$

$$i_2 = \frac{e}{w_2} = \frac{12,8}{0,5} = 25,6 \text{ Ampère.}$$

Von einer Dynamomaschine<sup>1</sup> mit der Klemmenspannung  $e = 66$  Volt führt eine 40 m lange Kupferleitung von 3,5 mm Durchmesser zu einem Kronleuchter, an dem sich 10 Lampen von je 81,5 Ohm und 10 Lampen von je 52 Ohm Widerstand in Parallelschaltung befinden. Welcher Strom fließt zu den Lampen und mit welcher Stromstärke brennt jede Lampe? — Die 10 Lampen von je 81,5 Ohm haben zusammen den Widerstand von  $\frac{81,5}{10} = 8,15$  Ohm; die 10 Lampen von je 52 Ohm haben zusammen den Widerstand 5,2 Ohm. Der Widerstand des ganzen Kronleuchters ist demnach  $W = \frac{8,15 \cdot 5,2}{8,15 + 5,2} = 3,175$  Ohm. Der Widerstand der Kupferleitung beträgt 0,076 Ohm (cf. S. 37), der gesamte äußere Widerstand folglich  $3,175 + 0,076 = 3,251$  Ohm. Gleicht sich die Klemmenspannung  $e = 66$  Volt durch diesen Widerstand aus, so entsteht ein Strom von  $i = \frac{e}{w} = \frac{66}{3,251} = 20,30$  Ampère. Dieser Strom erfährt in der Kupferleitung einen Spannungsverlust von  $e_1 = i \cdot w_1 = 20,3 \cdot 0,076 = 1,54$  Volt. Am Kronleuchter bleibt somit noch eine Spannungsdifferenz von  $66 - 1,54 = 64,46$  Volt übrig. Jede Lampe der ersten Gruppe erhält einen Strom  $i_1 = \frac{64,46}{81,5} = 0,79$  Ampère; jede Lampe der zweiten Gruppe einen Strom  $i_2 = \frac{64,46}{52} = 1,24$  Ampère. Die Gesamtstärke aller die Lampen passierenden Ströme, nämlich  $10 \cdot 0,79 + 10 \cdot 1,24 = 20,3$  Ampère, ist natürlich gleich  $i$ .

In der Meßtechnik ist nun eine Stromverzweigung von besonderer Wichtigkeit, nämlich die sogenannte WHEATSTONE'sche Brücke. Man erhält dieselbe dadurch, daß man in Fig. 45 die beiden Strom-

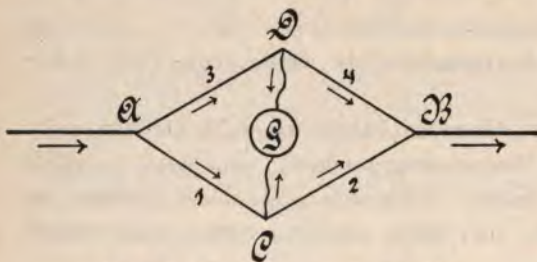


Fig. 53. WHEATSTONE'sche Brücke.

zweige noch durch einen Draht, die „Brücke“, verbindet, so daß eine Anordnung entsteht, wie sie Fig. 53 zeigt, in der also  $CD$  die Brücke vorstellt. Wie aus den Pfeilen sofort hervorgeht, kreuzen sich in der Brücke zwei

Ströme. Durch geeignete Anordnung der Widerstände in den Strecken 1, 2, 3, 4 kann man nun bewirken, daß diese sich kreuzenden Ströme einander aufheben, daß also in der Brücke kein Strom herrscht. Ist dies der Fall, dann muß natürlich in  $C$  und  $D$  dasselbe Potential herrschen; denn bestände eine Potentialdifferenz, so würde auch ein Strom zirkulieren (vgl. S. 11). Herrscht also in  $C$  und  $D$  dasselbe Potential, so ist die Potentialdifferenz zwischen  $A$  und  $D$  dieselbe wie zwischen  $A$  und  $C$ , ebenso die Potentialdifferenz

<sup>1</sup> Entnommen aus HOLZT, Schule des Elektrotechnikers.



zwischen  $D$  und  $B$  gleich derjenigen zwischen  $C$  und  $B$ . Anders ausgedrückt, es ist

$$\begin{aligned}i_1 w_1 &= i_3 w_3 \\i_2 w_2 &= i_4 w_4.\end{aligned}$$

Wenn nun in der Brücke kein Strom herrscht, kann man sich offenbar diesen Draht entfernt denken, ohne daß an dem Gleichgewichtszustand des Systems etwas geändert wird. Dann muß aber  $i_1 = i_2$  und  $i_3 = i_4$  sein, weil ja in derselben Strombahn stets die gleiche Stromstärke herrscht. Berücksichtigt man dies und dividirt die beiden eben angeführten Gleichungen, so erhält man

$$w_1 : w_2 = w_3 : w_4.$$

Besteht diese Beziehung zwischen den einzelnen Widerständen, sind also die Produkte der kreuzweis gegenüberliegenden Widerstände einander gleich, so herrscht in der Brücke kein Strom. Umgekehrt kann man nach dieser Formel, wenn in der Brücke kein Strom herrscht — was sich ja leicht durch ein eingeschaltetes Galvanometer

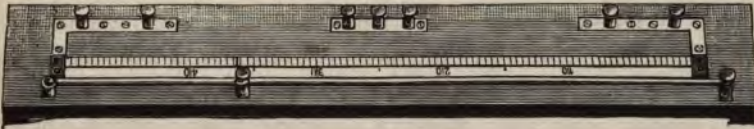


Fig. 54. WHEATSTONE'sche Brücke.

nachweisen läßt —, den Widerstand einer der Zweigbahnen berechnen, wenn die drei anderen bzw. ein Widerstand und das Verhältnis der beiden anderen bekannt sind. Ist z. B.  $w_3$  der unbekannte Widerstand, dann ist  $w_3 = \frac{w_1}{w_2} \cdot w_4$ .

In der Praxis wird nun die Messung so ausgeführt, daß zwischen  $A$  und  $B$  ein Neusilberdraht über einen in Millimeter geteilten Meßstab ausgespannt wird, worauf ein Schleifkontakt verschieblich ist. Ist  $w_3$  der unbekannte Widerstand, dann nimmt man als  $w_4$  einen Rheostaten von bekanntem Widerstande und verschiebt den Schleifkontakt so lange, bis das Galvanometer in der Brücke auf Null zeigt. Für das Verhältnis  $\frac{w_1}{w_2}$  kann man, falls der Neusilberdraht überall gleiche Dicke besitzt, das Verhältnis der auf der Teilung abgelesenen Längen einsetzen. Fig. 54 zeigt z. B. eine WHEATSTONE'sche Brücke, wie sie für Messungen benutzt wird.

Im Anschluß an diese Ausführungen wenden wir uns jetzt zur Besprechung der für die **Stromstärke- und Spannungsmessung** in Betracht kommenden Prinzipien. Die Beschreibung der einzelnen Apparate wollen wir uns für später aufheben. Hier möge es genügen,

anzuführen, daß die gebräuchlichsten Strommesser und Spannungsmesser so konstruiert sind, daß der Ausschlag eines vor einer Skala beweglichen Zeigers ein Maß für die Stromstärke bzw. Stromspannung ist. Gewöhnlich sind die Strommesser so geeicht, daß sie die Stromstärke gleich in Ampère bzw.



Fig. 55. Milliampèremeter.

Milliampère angeben (Ampèremeter bzw. Milliampèremeter), und die Spannungsmesser so, daß sie die Spannung gleich in Volt anzeigen (Voltmeter).

Ein prinzipieller Unterschied in der Konstruktion beider Arten von Instrumenten, auf die wir, wie gesagt, näher erst später eingehen wollen, besteht nicht (vgl. Fig. 55

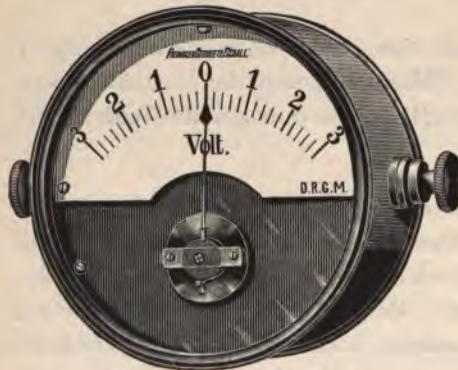


Fig. 56. Voltmeter.

und 56). Man kann ja aus den Angaben eines Strommessers bei bekanntem Widerstand desselben nach dem OHM'schen Gesetze ohne weiteres diejenige Spannungsdifferenz berechnen, welche die abgelesene Stromstärke hervorbringt. Bei den in der Praxis verwandten Spannungsmessern braucht man aber diese Berechnung nicht erst zu machen; denn dieselben sind, wie erwähnt, schon so geeicht, daß der Zeigerausschlag die Spannungsdifferenz direkt in Volt angibt. Ein Unterschied zwischen Strom- und Spannungsmessern besteht nur in der Schaltungsweise, in ihrem Widerstande und in dem verwendeten Material.

Strommesser müssen natürlich so geschaltet werden, daß der ganze zu messende

Strom durch sie hindurchgeht, also in der Hauptleitung liegen. Anders ausgedrückt, sie sind mit den anderen Teilen dieser Leitung hintereinandergeschaltet. Will man einen Strommesser mit einem Normalinstrument vergleichen, so werden auch in diesem Falle beide Instrumente hintereinandergeschaltet, damit derselbe Strom durch sie hindurchgeht. An welcher Stelle der Hauptleitung ein Strommesser (Ampèremeter) angebracht wird, ist ganz gleich, da ja die Stromstärke in der Hauptleitung überall dieselbe Größe besitzt.

Ein Spannungsmesser (Voltmeter) soll dagegen die Spannungsdifferenz bzw. den Spannungsverlust an zwei Punkten der Strombahn angeben, also eine Größe, die je nach den lokalen Widerständen verschieden ist. Er muß daher direkt an die betreffenden Punkte angelegt, also parallel zu dieser Strecke der Hauptleitung geschaltet werden. Fig. 57 zeigt z. B. das Schema einer von einer Dynamomaschine  $M$  versorgten Lichtanlage  $L$ .  $A$  ist das in der Hauptleitung eingeschaltete Ampèremeter; die Voltmeter  $V_1$  und  $V_2$  liegen im Nebenschluß zur Hauptleitung, und zwar mißt  $V_1$  die Klemmenspannung der Maschine,  $V_2$  den Spannungsunterschied an den Enden der Lichtanlage. Diese verschiedene Schaltungsweise macht es notwendig, daß der Widerstand in beiden Instrumenten verschieden ist. Da die Strommesser (Ampèremeter) in die Hauptleitung geschaltet

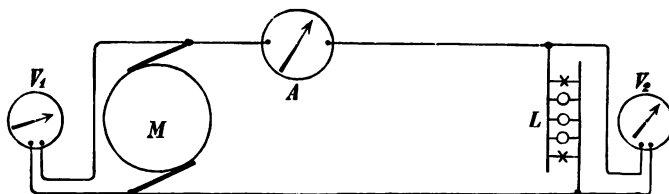


Fig. 57. Schaltungsweise von Strom- und Spannungsmessern.

werden, darf ihr eigener Widerstand nur klein sein, da sie sonst die Stromstärke des gesamten Stromkreises schwächen würden. Die Spannungsmesser (Voltmeter) dagegen, die im Nebenschluß liegen, also dem Stromkreis einen Teil des Stromes entziehen, müssen, damit dieser Verlust möglichst gering ist, einen recht großen Widerstand besitzen. In einem Ampèremeter befinden sich daher nur wenige Windungen eines dicken Drahtes, in einem Voltmeter viele Windungen eines dünnen Drahtes.

Die Spannungsmesser sind also weiter nichts wie Strommesser mit großem Widerstande, die zwischen zwei Punkten, deren Spannungsdifferenz gemessen werden soll, in Nebenschluß angebracht werden. Will man also die Spannungsdifferenz zwischen zwei Punkten  $A$  und  $B$  messen, so schaltet man parallel dazu einen Strommesser mit großem Widerstande. Eventuell hilft man sich dadurch, daß man in den Nebenschluß noch andere bekannte Widerstände ( $W$ ) einschaltet. Es ist dann bekanntlich  $e = JW$ , wobei  $J$  am Galvanometer abgelesen wird. In der Praxis wählt man  $W$  meist zu 10, 100, 1000 usw. Ohm. Kennt man den Ausschlag, den das Galvanometer bei je 1 Ampère macht, und den Widerstand des Nebenschlusses in Ohm, so kennt man nach der Formel 1 Volt = 1 Ampère  $\times$  1 Ohm auch den Spannungsunterschied zwischen  $A$  und  $B$  (der ja natürlich ganz unabhängig vom Wege ist). Ist das Galvanometer z. B. nach Milliampère geeicht und

entspricht der Zeigerausschlag 5 Teilen der Skala, so ist der Spannungsverlust — je nachdem der Widerstand der Zweigleitung 10, 100, 1000 Ohm beträgt — 0,005 · 10 bzw. 0,005 · 100 bzw. 0,005 · 1000,

also 0,05 bzw. 0,5 bzw. 5 Volt. Wie bereits gesagt, eicht man aber ein für Spannungsmessungen benütztes Galvanometer gleich nach Volt und nennt es Voltmeter.

Man kann natürlich ein und dasselbe Galvanometer abwechselnd zur Messung der Stromstärke wie der Spannung benutzen, wenn man es mit einem entsprechenden Vorschaltwiderstand versieht, der zur Spannungsmessung eingeschaltet, zur Intensitätsmessung ausgeschaltet wird. Solche Instrumente, die dann gewöhnlich auch zwei Skalen besitzen und Volt-Milliampèremeter heißen, werden zuweilen zu medizinischen Zwecken benutzt. Fig. 58 gibt die Schaltskizze eines solchen Apparates. In der gezeichneten Stellung des Schalters ist das Galvanometer in den Hauptstromkreis eingeschaltet und funktioniert als Milliampèremeter. Wird der Schalter nach rechts verschoben, so daß er den mittleren und rechten Kontakt berührt, so liegt das Galvanometer mit dem Vorschaltwiderstand  $VW$  im Nebenschluß und funktioniert als Voltmeter.

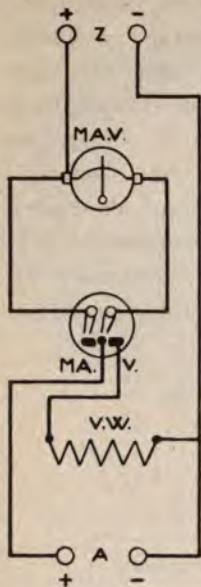


Fig. 58.

Voltmilliampèremeter.  
Z Zuleitung, A Ableitung,  
VW Vorschaltwiderstand,  
MA, V Volt-Milliampèremeter,  
MA und V Stellung des  
Schalters für Strom- bzw.  
Spannungsmessung.

Von der Regel, daß Ampèremeter in den Hauptstromkreis kommen, wird dann eine Ausnahme gemacht, wenn Instrumente, die eigentlich

nur zur Messung schwacher Ströme bestimmt sind (Milliampèremeter) auch für stärkere Ströme benutzt werden sollen. Dann erhalten nämlich diese Strommesser einen sehr geringen Widerstand  $N$  (Fig. 59), der in die zu messende Leitung eingeschaltet wird, während das Galvanometer  $G$  selbst sich im Nebenschluß zu diesem Widerstande befindet. Natürlich kann man die Sachlage auch so auffassen,

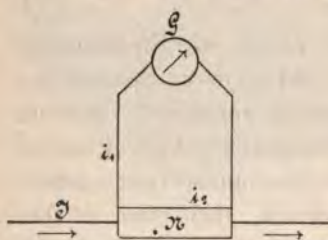


Fig. 59.

Ampèremeter mit Nebenschluß.

daß  $G$  im Hauptstromkreis und  $N$  im Nebenschluß zu  $G$  liegt. Ist  $J$  die Stärke des zu messenden Stromes,  $i_1$  und  $i_2$  die der beiden Zweigströme,  $G$  der Galvanometerwiderstand,  $N$  der in den Hauptstrom eingeschaltete Widerstand, so ist nach den KIRCHHOFF'schen Gesetzen bekanntlich

$$J = i_1 + i_2 \text{ und } i_1 : i_2 = N : G.$$

Hieraus folgt

$$J = i_1 \cdot \frac{N + G}{N}.$$

D. h. die Stärke des Hauptstromes ist gleich der am Galvanometer abgelesenen Stromstärke multipliziert mit dem „Abzweigungsfaktor“  $\frac{N + G}{N}$ . Zur Erleichterung der Rechnung macht man den Abzweigungsfaktor = 10, 100, 1000 usw., indem man den Widerstand  $N$  so konstruiert, daß er  $\frac{1}{9}$ ,  $\frac{1}{99}$ ,  $\frac{1}{999}$  usw. des Galvanometerwiderstandes  $G$  wird. Ist z. B. das Galvanometer, dessen Widerstand 1 Ohm betragen möge, für Milliampère geeicht (Milliampèremeter), zeigt also der einem Teilstrich der Skala entsprechende Ausschlag seiner Nadel einen Strom von 0,001 Ampère im Nebenschluß an, so fließt nach dem KIRCHHOFF'schen Gesetze im Widerstande  $N$  ein 9- bzw. 99- bzw. 999 mal so starker Strom; d. h. die Stromstärke in der Hauptleitung ist dann  $0,001 + 0,009$  bzw.  $0,001 + 0,099$  bzw.  $0,001 + 0,999$ , also 0,01 bzw. 0,1 bzw. 1 Ampère. Je nach Bedarf schaltet man mittels Stöpsel usw. die benötigten Widerstände ( $N$ ) ein, die gewöhnlich aus Manganinstreifen bestehen, weil deren Widerstand sich bei Temperaturerhöhung nicht ändert. Fig. 60 zeigt schematisch die Anordnung eines für medizinische Zwecke benutzten Milliampèremeters mit zwei Nebenschlüssen, die also den Meßbereich um das 10- bzw. 100fache erhöhen, wenn sie durch die entsprechenden Schrauben eingeschaltet werden. Derartige Nebenschlüsse werden häufig auch mit dem englischen Namen „Shunts“ bezeichnet.

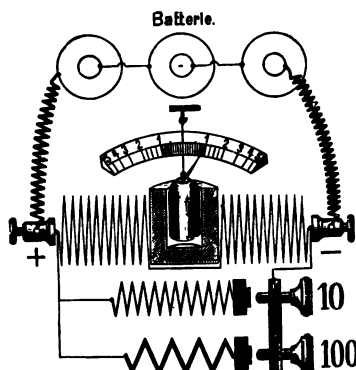


Fig. 60. Milliampèremeter mit zwei Nebenschlüssen.

#### IV. Stromarbeit und Stromeffect. Wärme- und chemische Wirkungen des elektrischen Stromes.

Meine Herren! Wir wenden uns jetzt zu den Wirkungen des elektrischen Stromes, die alle in erster Linie von der Stromstärke abhängen.

Der elektrische Strom kann, wie allgemein bekannt ist, Arbeit leisten; er ist also eine Form der Energie (cf. S. 2). Wie er durch

mechanische Arbeit, chemische Prozesse, Wärme usw. entstehen kann, so läßt er sich umgekehrt auch in die entsprechenden Energieformen überführen. Wie groß ist nun die **Stromenergie**, also die Arbeit, die der elektrische Strom leisten kann? Nach dem Gesetze von der Erhaltung der Energie muß sie theoretisch gleich der Arbeit sein, die zur Stromerzeugung notwendig war. Auch hier soll wieder ein Beispiel aus der Hydrodynamik das Verständnis erleichtern. Wird z. B. ein Kilogramm Wasser 10 Meter gehoben, so ist dazu eine Arbeit von 10 Kilogramm-meter nötig. Andererseits leistet diese Wassermenge, wenn sie dieselbe Strecke herunterfällt, die gleiche Arbeit, wenn sie nur 5 Meter fällt, 5 Kilogramm-meter usw. Die vom strömenden Wasser geleistete Arbeit ist also proportional dem Gewicht bzw. der Menge des Wassers und der Niveaudifferenz. Genau so liegen die Verhältnisse bei der strömenden Elektrizität. Auch hier ist die Energie des elektrischen Stromes, also seine Fähigkeit, Arbeit zu leisten, gleich dem Produkt aus Elektrizitätsmenge und Potentialdifferenz (die ja, wie wir sahen, durchaus das Analogon der Niveaudifferenz ist). Wie wir bereits wissen, mißt man nun in der Praxis Elektrizitätsmengen nach Coulomb, Potentialdifferenzen nach Volt. Daraus folgt, daß die elektrische Energie sich auch durch Volt  $\times$  Coulomb oder kurz Volt-Coulomb ausdrücken läßt. Bewegt sich also z. B. eine Elektrizitätsmenge von 100 Coulomb zwischen zwei Punkten, deren Potentialdifferenz 5 Volt beträgt, so leistet der elektrische Strom hier eine Arbeit von 500 Volt-Coulomb. Wie verhält sich nun dieses elektrische Arbeitsmaß zu dem in der Mechanik gebräuchlichen Arbeitsmaß 1 Meterkilogramm?

Zur Beantwortung dieser Frage sind folgende Erläuterungen notwendig: Als absolute Einheit der Stromarbeit, die also der absoluten Arbeitseinheit 1 Erg entspricht, bezeichnet man diejenige Arbeit, die vom Strom geleistet wird, wenn die absolute Einheit der Elektrizitätsmenge den Potentialverlust 1 erfährt, d. h. also, sich zwischen zwei Punkten bewegt, von denen der zweite ein um die absolute Einheit kleineres Potential besitzt als der erste. Nun sind die praktischen Einheitsmaße Volt bzw. Coulomb so gewählt, daß

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ Volt} = \frac{1}{300} \\ 1 \text{ Coulomb} = 3\,000\,000\,000 \end{array} \right\} \text{ absoluten (elektrostatischen) Einheiten.}$$

1 Volt-Coulomb entspricht somit  $\frac{1}{300} \cdot 3\,000\,000\,000$  absoluten Arbeitseinheiten, also 10 Millionen Erg oder 10 Megaerg. 1 Volt-Coulomb hat somit denselben Wert wie 1 Joule, und dieses entspricht, wie wir bereits (S. 4) sahen,  $\frac{1}{9,81}$  Meterkilogramm.

Das praktische Maß der Stromenergie 1 Volt-Coulomb bzw. 1 Joule entspricht also  $\frac{1}{9,81}$  Meterkilogramm:

$$1 \text{ Volt-Coulomb} = 1 \text{ Joule} = \frac{1}{9,81} \text{ mkg.}$$

Wie es nun in der Mechanik weniger auf die Arbeit an sich als auf die in einer bestimmten Zeit geleistete Arbeit, also den Effekt, ankommt, so ist es natürlich auch beim elektrischen Strome. Unter **Stromeffekt** werden wir daher analog die Stromarbeit pro Sekunde verstehen. Das praktische Maß des Stromeffektes wird also sein  $\frac{1 \text{ Volt} \times 1 \text{ Coulomb}}{1 \text{ Sekunde}}$ . Da nun 1 Coulomb pro Sekunde nichts anderes ist wie 1 Ampère (S. 36), so können wir das praktische Maß für den Stromeffekt auch 1 Volt-Ampère bezeichnen, oder was dasselbe ist 1 Joule pro Sekunde bzw. 1 Watt. Wir wissen nun schon, daß zwischen dem Watt und dem gewöhnlichen mechanischen Effektmäß, der Pferdekraft, die Beziehung besteht  $1 \text{ Watt} = \frac{1}{736} \text{ Pferdekraft (PS)}$ ,  $1 \text{ Kilowatt} = 1,36 \text{ PS}$ . Also:

$$1 \text{ Volt-Ampère} = 1 \text{ Watt} = \frac{1}{736} \text{ PS.}$$

Kennt man in einem Stromkreise die Stromstärke und die elektromotorische Kraft bzw. die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten, die man in der Praxis ja ohne weiteres am Ampèremeter bzw. Voltmeter abliest, so kennt man auch den Stromeffekt.

Ein Elektromotor z. B., der bei 100 Volt Spannung und 3 Ampère Stromverbrauch läuft, verbraucht einen Stromeffekt von  $100 \cdot 3 = 300 \text{ Watt} = \frac{300}{736} = 0,4 \text{ PS}$ .

Eine Glühlampe brennt bei 110 Volt Spannung und 0,5 Ampère Stromverbrauch. In ihr findet also ein Effektverbrauch von  $110 \cdot 0,5 = 55 \text{ Watt}$  statt. Brennt sie 10 Stunden, so ist der Energieverbrauch  $55 \cdot 10 = 550 \text{ Wattstunden}$  (Effekt multipliziert mit Zeit gibt wieder ein Arbeitsmaß; cf. S. 4).

Da nach dem OHM'schen Gesetze  $E = JW$  und  $J = \frac{E}{W}$  ist, bestehen also folgende Beziehungen:

$$\begin{aligned} \text{Stromarbeit} &= E \cdot J \cdot t \text{ Joule (bzw. Wattstunden)} \\ &= J^2 \cdot W \cdot t \quad " \quad " \\ &= \frac{E^2 \cdot t}{W} \quad " \quad " \\ \text{Stromeffekt} &= E \cdot J \text{ Watt} \\ &= J^2 \cdot W \quad " \\ &= \frac{E^2}{W} \quad " \end{aligned}$$

Durch einen Draht von 10 Ohm Widerstand fließt ein Strom von 20 hintereinandergeschalteten Elementen, von denen jedes die elektromotorische Kraft 2 Volt und den inneren Widerstand 0,2 Ohm besitzt. Welcher Effekt wird verbraucht a) im Drahte, b) im Inneren der Elemente, c) im ganzen Stromkreise? —

Da die Stromstärke hier  $J = \frac{E}{w_i + w_a} = \frac{10 \cdot 2}{10 \cdot 0,2 + 10} = 1,6 \text{ Ampère}$  beträgt, ist der Effektverbrauch

- a) im Drahte  $1,6^2 \cdot 10 = 25,6$  Watt;  
 b) im Innern der Elemente  $1,6^2 \cdot 10 \cdot 0,2 = 5,12$  Watt;  
 c) im ganzen Stromkreise  $1,6^2 \cdot 12 = 30,72$  Watt.

Bezeichnet man nun als Güteverhältnis ( $\eta$ ) den Quotienten aus Nutzeffekt und Gesamteffekt, so ist hier

$$\eta = \frac{25,6}{30,72} = 0,83 = 83\%.$$

Die Stromarbeit äußert sich nun stets darin, daß sie den Leiter mehr oder weniger erwärmt. Diese sogenannte **JOULE'sche Wärme**, die von der Stromrichtung ganz unabhängig ist, muß natürlich als eine Form der Stromarbeit einer der obigen Formen entsprechen. Gewöhnlich wählt man zu ihrem Ausdruck die Formel  $J^2 \cdot W \cdot t$  (JOULE'sches Gesetz).

Durch diese Formel ist indes zunächst eine Messung der Wärme nur in mechanischem Arbeitsmaß (Erg bzw. Joule) ermöglicht. In der Regel mißt man aber Wärmemengen nach Kalorien. Es erhebt sich also die Frage, wie groß ist die JOULE'sche Wärme, ausgedrückt in Kalorien? Da wir bereits die Beziehungen zwischen Wärme und mechanischer Arbeit erörtert haben (S. 4), können wir uns hier kurz fassen: Um das Arbeitsmaß Joule in Grammkalorien auszudrücken, hat man mit 0,24 zu multiplizieren. Demnach beträgt die JOULE'sche Wärme  $Q = 0,24 \cdot J^2 \cdot W \cdot t$  Grammkalorien, wofür man nach dem Gesagten auch  $0,24 \cdot E \cdot J \cdot t$  oder  $0,24 \frac{E^2}{W} \cdot t$  setzen kann. Die meßbare Temperaturzunahme eines Leiters hängt aber natürlich nicht nur von der erzeugten Wärme, sondern auch von der Masse des Leiters und seiner Wärmekapazität<sup>1</sup> ab.

Die in einem Leiter durch den elektrischen Strom erzeugte Wärmemenge ist also in erster Linie von der Stromstärke, in zweiter Linie von dem Widerstande der betreffenden Stelle abhängig. Man hat es daher in der Hand, durch passende Widerstände die Umwandlung von Stromenergie zu verringern oder zu erhöhen. Dort, wo die Wärmewirkung eine unerwünschte Beigabe ist, wo also die elektrische Energie zu anderen Arbeitsleistungen dienen soll (z. B. in Telegraphenleitungen, in den städtischen Zentralen usw.), wird man einen möglichst geringen Widerstand wählen, also Leitungen von möglichst großem Querschnitt und gut leitenden Substanzen (Kupfer, Eisen usw.) benutzen. Dort, wo dagegen die Erwärmung Selbstzweck ist (Glühlampen, Galvanokaustik, Heizapparate), wird man einen großen Widerstand in die Strombahn einschalten. Damit nun Leitungsdrähte sich nicht über

<sup>1</sup> Wärmekapazität ist die Wärmemenge, welche nötig ist, um 1 Gramm eines Körpers von 0° auf 1° zu erhöhen. Sie hängt von der stofflichen Beschaffenheit des Körpers ab und ist am größten beim Wasser, dessen Wärmekapazität daher als Einheit betrachtet und Kalorie genannt wird.



eine bestimmte Temperatur erwärmen (was ja zu einer Unterbrechung der Leitung, zu Feuersgefahr usw. führen könnte), sind für bestimmte Stromstärken bestimmte Normalquerschnitte vorgeschrieben. Bezeichnet  $J$  die Stromstärke in Ampère,  $q$  den Normalquerschnitt in

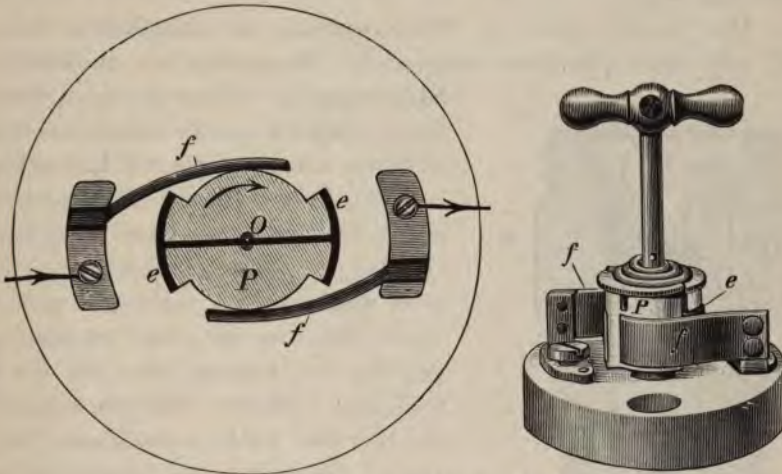


Fig. 61 und 62. Einpoliger Schalter.

Millimetern,  $d$  die Stromdichte (Quotient aus Stromstärke und Querschnitt), so ist z. B. für Kupferleitungen

bei $J = 10$	$q = 2,5$	$d = 4$
30	10	3
100	50	2

Diese Verhältnisse müssen u. a. bei den sogenannten **Schaltern** berücksichtigt werden. Es sind dies Apparate, die zum bequemen Schließen und Öffnen des Stromes dienen. Auch hier muß also die Berührungsfläche der die Stromverbindung herstellenden Teile genügend groß sein (für jedes Ampère 5—10 qmm), um eine Erwärmung zu vermeiden. Man unterscheidet, beiläufig bemerkt, einpolige und zweipolige Schalter, je nachdem sie nur eine Leitung oder gleichzeitig Hin- und Rückleitung unterbrechen.



Fig. 63. Zweipoliger Schalter.

Fig. 61 zeigt z. B. das Schema eines einpoligen Schalters. Die Federn  $ff$  drücken gegen einen um  $O$  drehbaren Porzellankern  $P$ , der bei  $ee$  mit Metall belegte Vorsprünge besitzt. Die Metallbelegungen  $ee$  sind miteinander verbunden. Schleifen die Federn  $ff$  an den Metallbelegungen, so ist der Strom geschlossen, berühren sie den Porzellankern selbst, so ist der Strom unterbrochen. Die Drehung des Porzellankerns erfolgt nur, wenn der zugehörige Griff (Fig. 62) nach rechts

bewegt wird. Damit nämlich die Federn  $ff$  nicht abgebrochen werden, ist die Anordnung getroffen, daß bei Drehung des Griffes nach links der Porzellankern nicht mitgenommen wird. Fig. 63 zeigt einen zweipoligen Ausschalter, wie er z. B. bei Glühlampen benutzt wird; hier ist für die zweite Leitung die Stirnfläche des Porzellankerns in analoger Weise zum Ein- und Ausschalten des Stromes benutzt.

Die Anwendungen der Wärmewirkung des elektrischen Stromes sind nun außerordentlich mannigfaltig. Besprechen wir zunächst die

**Sicherungen.** Wenn in einem Stromkreise plötzlich eine zu hohe Stromstärke auftreten würde, indem z. B. Kurzschluß<sup>1</sup> entsteht, so würden die im Stromkreise eingeschalteten Apparate (Elemente, Glühlampen, Röntgenröhren usw.) zerstört werden. Dies verhindert man dadurch, daß man an allen Verzweigungspunkten der Leitung bzw. vor die betreffenden Apparate Drähte bzw. Streifen aus Blei oder leicht schmelzbaren Legierungen einschaltet, die so gewählt sind, daß sie bei einer bestimmten Stromstärke durchbrennen und somit den Strom selbsttätig unterbrechen, falls die vorgeschriebene Stromstärke überschritten wird.

Eine der gebräuchlichsten Formen solcher Sicherungen zeigt z. B. Fig. 64. Ein Stöpsel aus Gips usw. (a) besitzt am Boden eine Metallplatte, an der Seite eine metallische Schraube, zwischen welchen im Innern die Sicherungsstrecke (c) eingeschaltet ist. Der Stöpsel wird in ein Gewinde (Fig. 65) eingeschraubt, so daß analog wie bei den Glühlampen der Strom durch die Sicherungsstrecke hindurchgeht. — Für Stromstärken über 20 Ampère verwendet man gewöhnlich Sicherungen in Streifenform.

Eine der wichtigsten Anwendungen der Stromwärme ist ihre Benutzung zu Leuchtzwecken. Bei den von EDISON erfundenen **elektrischen Glühlampen** wird ein Leiter bis zur Weißglut erhitzt und hierdurch das bekannte schöne Licht hervorgebracht. In

den gewöhnlichen Glühlampen (Fig. 66) ist der Leiter ein Kohlenfaden, der durch Verkohlungs von Zellulose, Bambusfasern, Papier usw. hergestellt und zur Verhütung der Verbrennung in eine luftleer

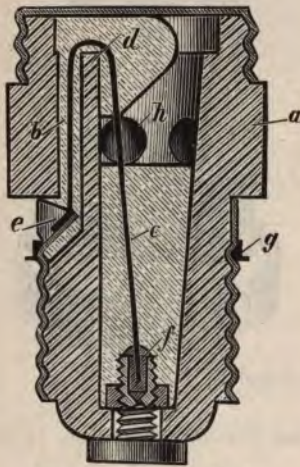


Fig. 64. Durchschnitt durch eine Sicherung.



Fig. 65. Sicherung mit Fassung.

<sup>1</sup> Unter Kurzschluß versteht man die Verbindung des zuleitenden und ableitenden Teiles der Strombahn durch einen Leiter von sehr geringem Widerstande, also z. B. durch direkte Berührung.

gemachte Glasbirne eingeschlossen wird. Die Zuleitung durch das Glas hindurch erfolgt durch zwei kurze Platindrähte (Platin und Glas haben nämlich denselben Ausdehnungskoeffizienten, so daß keine Luft von außen in die Birne eindringen kann). Diese Platindrähte stehen bei dem am meisten gebräuchlichen Edisonkontakte ihrerseits mit einem Schraubengewinde bzw. einem davon isolierten Metallplättchen in Verbindung. Die dazu gehörige Fassung (Edisonfassung) besitzt eine Schraubenmutter, in welche das Schraubengewinde der Lampe paßt, und am Boden eine Metallfeder, welche mit dem Metallplättchen in festen Kontakt kommt. Zur Schraubenmutter und der Metallfeder der Fassung wird der Strom zugeleitet, der also, wenn die Lampe eingeschraubt ist, auch durch diese geht. An jeder Lampenfassung befindet sich ein kleiner Schalter mit Hahn, durch dessen Drehung der Strom ein- und ausgeschaltet werden kann. Man kann natürlich auch sämtliche Lampen eines Stromkreises gleichzeitig zum Brennen bringen, indem man einen Schalter in der Hauptleitung anbringt.

Die Leuchtkraft einer Glühlampe hängt nach dem JOULE'schen Gesetz hauptsächlich von der Stromstärke ab. Denn der Widerstand ist ja eine durch die Konstruktion gegebene Größe; allerdings ist er auch nicht konstant, da u. a. die Kohle in der Wärme viel besser leitend wird. Je stärkere Ströme man also durch eine Glühlampe sendet, um so heller leuchtet sie. Aber für jede Lampe gibt es eine bestimmte Stromstärke, die für sie am zweckmäßigsten ist. Wird sie überschritten, so tritt eine rasche Zerstäubung bzw. ein Durchbrennen des Glühfadens ein. Bei angemessenem Strom beträgt dagegen die Lebensdauer einer Glühlampe 600—800 Brennstunden. Obwohl also die Stromstärke das Maßgebende für die Helligkeit ist, bezeichnet man doch allgemein die Glühlampen nach Volt. Eine Lampe von 110 Volt Spannung bedeutet dann, daß zum Betriebe der Lampe 110 Volt nötig sind, um in dem (durch die Konstruktion gegebenen) Widerstande der Lampe die normale Stromstärke, z. B. 0,5 Ampère, zu erzeugen ( $E = J \cdot W$ ). Die gebräuchlichsten Betriebsspannungen — die in der Regel an den Lampen bezeichnet sind — sind 110 und 220 Volt. Für medizinische Zwecke kommen allerdings viel kleinere Spannungen, etwa 5—12 Volt, in Betracht. Außerdem bezeichnet man die Glühlampen auch nach ihrer Leuchtkraft, indem man dieselbe gewöhnlich in Normalkerzen ausdrückt. Die gewöhnlichen zur Zimmerbeleuchtung verwandten Glüh-

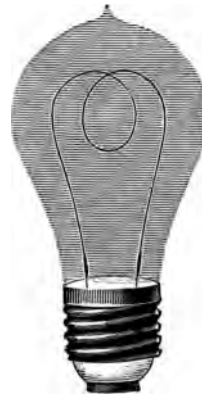


Fig. 66. Glühlampe.

lampen haben meist eine Leuchtkraft von 16 Normalkerzen. In jeder Lampe findet natürlich ein bestimmter Effektverbrauch statt, der gleich dem Produkt aus Betriebsspannung und Stromstärke ist und in Watt ausgedrückt wird (s. o.). Eine Glühlampe von 16 Normalkerzen verbraucht z. B. bei einer Spannung von 110 Volt und einer zum normalen Brennen notwendigen Stromstärke von 0,5 Ampère 55 Watt. Auf jede Normalkerze kommt hier also  $\frac{55}{16} = 3,44$  Watt. 1,5—3,5 Watt pro Normalkerze ist die Regel. Kennt man den Effektverbrauch und die Betriebsspannung, so kann man natürlich umgekehrt auch die Stromstärke in der Lampe berechnen.

Glühlampen werden in der Praxis meist parallelgeschaltet, z. B. in der Art, wie es Fig. 67 zeigt (vgl. auch Fig. 57). Das hat zwei Vorteile: Einmal sind die Lampen voneinander unabhängig; wenn eine durchbrennt, brennen die anderen ruhig weiter. Zweitens erfordern

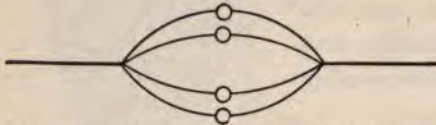


Fig. 67. Parallelschaltung von Glühlampen.

die Lampen in diesem Falle die geringste Betriebsspannung. Ist nämlich  $w$  der Widerstand,  $i$  der Stromverbrauch einer Lampe, so ist der Widerstand von  $n$  parallelgeschalteten Lampen bekanntlich  $\frac{w}{n}$ , der Gesamtstromverbrauch  $ni$ . Zum normalen Betriebe von  $n$  parallelgeschalteten Lampen ist daher nur dieselbe Betriebsspannung nötig, wie zum Betriebe einer einzigen. Denn in letzterem Falle ist  $E = iw$ , in ersterem  $E = ni \cdot \frac{w}{n}$ . Bei Hintereinanderschaltung wäre dagegen eine Spannung von  $E = i \cdot nw$  notwendig.

Hierzu ein Zahlenbeispiel: Ein Strom für 50 parallelgeschaltete Glühlampen, von denen jede einen Widerstand ( $w$ ) von 150 Ohm besitzt und einen Strom ( $i$ ) von 0,5 Ampère verbraucht, fließt durch eine Leitung, deren Widerstand ( $w_1$ ) 0,2 Ohm beträgt. Wie groß ist

- die gesamte Stromstärke? —  $J = 50i = 50 \cdot 0,5 = 25$  Ampère.
- der gesamte Widerstand der Lampen? —  $W = \frac{w}{50} = \frac{150}{50} = 3$  Ohm.
- die Spannungsdifferenz an den Lampen? —  $E = JW = 25 \cdot 3 = 75$  Volt.
- der Spannungsverlust in der Leitung? —  $e = J \cdot w_1 = 25 \cdot 0,2 = 5$  Volt.
- der Effektverbrauch in den Lampen? —  $E \cdot J = 75 \cdot 25 = 1875$  Watt = 2,5 PS.
- der Effektverlust in der Leitung? —  $J^2 w_1 = 625 \cdot 0,2 = 125$  Watt.
- die Wärmeentwicklung pro Minute in den Lampen? —  $Q = 0,24 J^2 W \cdot t = 0,24 \cdot 1875 \cdot 60 = 27000$  Grammkalorien.
- desgleichen in der Leitung? —  $Q = 0,24 \cdot 125 \cdot 60 = 1800$  Grammkalorien.

Auf der JOULE'schen Wärme beruht auch das **elektrische Bogenlicht**. Benutzt man nämlich zwei Kohlen als Elektroden und sendet einen starken Strom von mindestens 40—50 Volt Spannung

hindurch, so geht derselbe kontinuierlich durch die Spitzen, wenn sie einander berühren; entfernt man sie dann aber, so entsteht zwischen ihnen ein außerordentlich heller Lichtbogen, auch DAVY'scher Lichtbogen genannt. Bei dem Übergang durch die Luftschicht entsteht nämlich eine so bedeutende Wärme (ca. 4000° Celsius), daß die Kohlen spitzen und die Luft glühend werden. Hierbei fliegen Stücke von der positiven zur negativen Kohle über, und da erstere überhaupt stärker erhitzt wird, so brennt sie schneller ab; es bildet sich ein Krater in ihr, während die negative Kohle spitz bleibt. Schließlich wird dadurch die Luftschicht zwischen beiden Kohlen und somit der Widerstand zu groß, und der Strom erlischt. Daher ist eine automatische Regulation nötig, auf die wir hier nicht näher eingehen wollen. Da die positive Kohle schneller abbrennt, wird sie stärker genommen als die negative. Gewöhnlich ordnet man die Kohlen vertikal an, und zwar die positive oben, die negative unten.

Bisher haben wir von Wärmeerscheinungen im Stromkreise gesprochen, die man als JOULE'sche Wärme bezeichnet. Unter gewissen Bedingungen entsteht aber noch auf andere Weise Wärme.

Geht nämlich der Strom durch eine Stelle, an der zwei Metalle zusammengelötet sind, so zeigt sich hier außer der JOULE'schen Wärme, je nach der Stromrichtung, noch eine besondere Erwärmung oder Abkühlung. Am stärksten zeigt sich dieses PELTIER'sche Phänomen an Lötstellen von Wismut und Antimon. Geht der Strom vom Antimon zum Wismut, so findet eine Erwärmung statt (die größer ist als die JOULE'sche Wärme), im umgekehrten Falle eine Abkühlung. Dies tritt auch bei anderen Metallen ein, und es läßt sich wieder eine thermo-elektrische Spannungsreihe aufstellen. Fließt der Strom zuerst durch das in der Reihe voranstehende Metall, so findet eine Erwärmung, andernfalls eine Abkühlung statt. Die Endglieder dieser Reihe sind Antimon und Wismut.

Dieser Prozeß ist, wie die meisten elektrischen Prozesse, einer Umkehrung fähig. Wird nämlich die Lötstelle zweier Metalle, z. B. Kupfer und Wismut, erwärmt, so entsteht ein elektrischer Strom, der von der erwärmten Lötstelle des Wismuts zum Kupfer geht, wie man durch eine geeignete Versuchsanordnung (Fig. 68) leicht feststellen kann; wird sie abgekühlt, so entsteht ebenfalls ein Strom, aber in entgegengesetzter Richtung. Diese Ströme, die SEEBECK 1823 entdeckte,

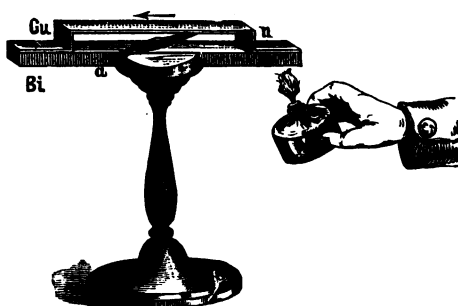


Fig. 68. Versuch über Thermo-Elektrizität.

heißen **thermoelektrische Ströme** oder kurz **Thermoströme**. Die elektromotorische Kraft eines Thermoelements, wie man die Kombination zweier zusammengelöteter Metalle nennt, hängt ab von der Natur der Metalle (am größten ist sie zwischen Antimon und Wismut)

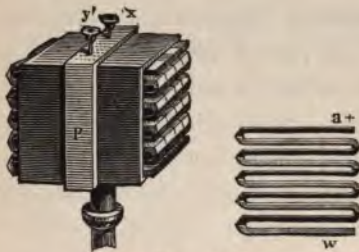


Fig. 69 und 70.  
NOBILI's Thermosäule.

und ist — bei nicht zu hohen Temperaturen — proportional der Temperaturdifferenz der Lötstellen. Aus der elektromotorischen Kraft und dem Widerstande ergibt sich dann wieder nach dem OHM'schen Gesetze die Stromstärke. Da die elektromotorische Kraft eines Thermoelements sehr gering ist — bei einer Kombination von Neusilber und Eisen beträgt sie z. B. für 1° Temperaturdifferenz der Lötstellen 22,95

Milliontel Volt (Mikrovolt) —, so schaltet man mehrere Thermoelemente hintereinander zu einer sogenannten Thermosäule. Fig. 69 zeigt die NOBILI'sche Thermosäule, die aus ca. 30 Stäbchen von Wismut und Antimon zusammengesetzt ist. Diese sind, wie aus Fig. 70 hervorgeht, so zusammengelötet, daß alle paarigen Lötstellen auf der einen,

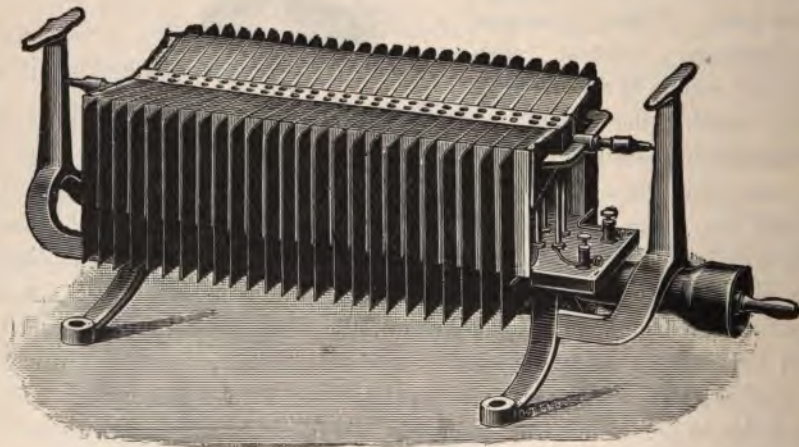


Fig. 71. GÜLCHER's Thermosäule.

alle unpaarigen auf der entgegengesetzten Seite liegen.  $x$  und  $y$  sind die Ableitungsklemmen, und zwar steht  $x$  mit dem Wismutstäbchen des ersten Paares,  $y$  mit dem Antimonstäbchen des letzten Paares in leitender Verbindung. Beim Gebrauch werden alle Lötstellen der einen Seite zusammen erwärmt, während die der anderen Seite auf konstanter Temperatur erhalten werden. Sehr bequem und praktisch ist die GÜLCHER'sche Thermosäule, die mit Gas heizbar ist und

aus vielen hintereinandergeschalteten Elementen aus Nickel (bzw. Argantan) und einer antimonhaltigen Legierung besteht (Fig. 71.) Das Nickel ist in Form von Röhrcchen angewendet, die zugleich als Gaszuleitungsröhren dienen und im Innern des Apparates auf einer Schieferplatte stehen. Mit dem oberen Ende dieser Röhrcchen hängen die Antimonelektroden zusammen, die winkelförmig gebogen sind und zur Abkühlung in breite Kupferstreifen auslaufen. Die Säule wird selbst bei wechselndem Gasdruck stets konstant erwärmt. Am meisten verwandt wird eine derartige Säule von 66 Elementen, die pro Stunde 170 Liter Gas verbraucht. Trotzdem ihre elektromotorische Kraft nur gering ist (4 Volt), kann doch wegen des kleinen inneren Widerstandes (0,65 Ohm) eine relativ beträchtliche Stromstärke damit erzielt werden. Ist z. B. der äußere Widerstand ebenfalls 0,65 Ohm, so ist nach dem OHM'schen Gesetze  $J = \frac{E}{w_i + w_a} = \frac{4}{0,65 + 0,65} = 3,07$  Ampère.

Der Gesamteffekt ist also  $J \cdot E = 12,28$  Watt, der Nutzeffekt  $= \frac{1}{2} \cdot 12,28 = 6,14$  Watt. Derartige Thermosäulen eignen sich zum Laden von kleineren Akkumulatoren, zum Betrieb von Glühlampen von geringer Spannung, zur Galvanoplastik usw. —

Meine Herren! Nachdem wir die Wärmewirkungen des elektrischen Stromes kennen gelernt haben, wenden wir uns zur Betrachtung seiner **chemischen Wirkungen**. Wie wir bereits früher kurz erwähnten, erleiden die sogenannten Leiter zweiter Klasse, das sind Flüssigkeiten (und zwar in erster Linie Säure- und Salzlösungen), beim Durchgang des elektrischen Stromes eine Zersetzung. Dieser durch den elektrischen Strom bewirkte Zersetzungsprozeß wird jetzt nach FABADAY allgemein als **Elektrolyse** bezeichnet, während man die Flüssigkeiten selbst, die den Strom leiten und dabei zersetzt werden, Elektrolyte nennt. Haben wir nun ein mit Flüssigkeit gefülltes Gefäß, in welches zwei Drähte oder Platten tauchen, durch die der Strom ein- bzw. austritt, so erinnern wir uns zunächst daran, daß man diese in Flüssigkeit tauchenden Drähte oder Platten als Elektroden bezeichnet. Von ihnen hat die positive Elektrode, durch die also der Strom in die Flüssigkeit eintritt, wieder den besonderen Namen Anode; die negative, durch die der Strom austritt, heißt dagegen Kathode. Geht nun ein Strom durch die Flüssigkeit hindurch, so treten die Zersetzungsprodukte nur an den Elektroden auf, und zwar werden die Säure- resp. Salzmoleküle der Flüssigkeit, ganz gleich, was es für welche sind, so zerlegt, daß die (elektropositiven) Wasserstoff- bzw. Metallatome zur (negativen) Kathode, die übrigbleibenden (elektronegativen) Atomgruppen der Moleküle zur (positiven) Anode gehen. Um es nochmals zu wiederholen: Die Säure- und Salzmoleküle zerfallen in je eine elektropositive und elektronegative

Atomgruppe. Die positive Gruppe wird gebildet von den Wasserstoffatomen der Säuremoleküle bzw. den Metallatomen der Salzmoleküle; die negative von den übrigbleibenden Atomen der Moleküle. Die bei der Elektrolyse entstehenden Teilmoleküle (oder Atomgruppen) wandern also durch die Flüssigkeit hindurch zur Anode bzw. Kathode. Man nennt sie daher auch Ionen (*ἰόν* wandernd), und zwar die zur Kathode gehenden Kationen, die zur Anode gehenden Anionen. Die Schwefelsäure ( $H_2SO_4$ ) zerfällt z. B. demnach in das elektropositive Kation  $H_2$  und das elektronegative Anion  $SO_4$ ; das salpetersaure Silber ( $AgNO_3$ ) zerfällt in das positive Kation  $Ag$  und das negative Anion  $NO_3$ . Es scheiden sich also die Anionen an der Anode, die Kationen an der Kathode ab. Metalle und Wasserstoff sind

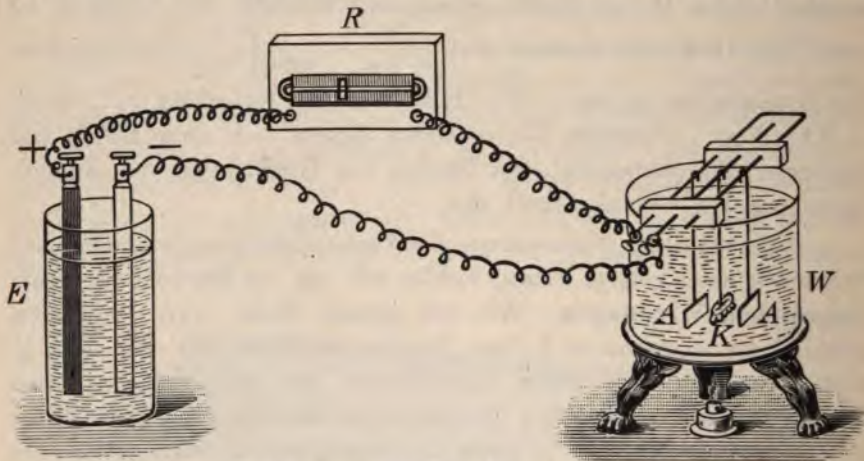


Fig. 72. Schema der galvanischen Versilberung usw.

*E* Element, *R* Rheostat, *A* Anode, *K* Kathode, *W* Wanne.

stets Kationen; man kann das auch so ausdrücken: Metalle und Wasserstoff „schwimmen mit dem Strom“. Will man also Gegenstände auf elektrolytischem Wege versilbern, vergolden, vernickeln usw. oder einen Metallabguß von ihnen herstellen (Galvanoplastik), so bringt man sie, in leitender Verbindung mit der Kathode, in die Lösung eines Salzes des betreffenden Metalls (Fig. 72). Bei der Zersetzung des Wassers würde nach dem Gesagten an der Kathode Wasserstoff, an der Anode Sauerstoff auftreten. Dies ist auch tatsächlich der Fall; indes liegen gerade beim Wasser die Verhältnisse nicht so einfach, wie wir bald sehen werden. Die Ionenwanderung findet nun nicht für alle Ionen mit derselben Geschwindigkeit statt. Bei der Elektrolyse der Salzsäure ( $HCl$ ) wandert z. B. das  $H$ -Ion fünfmal schneller als das  $Cl$ -Ion, oder, wie man auch sagt, die Überführungszahl des ersteren ist fünfmal größer. In sehr verdünnten Lösungen hat jedes Ion eine ganz bestimmte Geschwindigkeit, unab-



hängig davon, mit welchem anderen Ionen es verbunden war, und auch unabhängig von der Anwesenheit anderer Ionen. Von den Kationen hat Wasserstoff, von den Anionen die Hydroxylgruppe die größte Geschwindigkeit.

Oft treten nun bei der Abscheidung der Ionen an den Elektroden noch sekundäre Prozesse ein, wenn nämlich die Ionen auf die Elektroden oder die Flüssigkeit chemisch einwirken. Tauchen z. B. Platinelektroden in eine Lösung von Chlorkalium ( $KCl$ ), so tritt zwar zunächst an der Kathode Kalium, an der Anode Chlor auf. Letzteres verbindet sich aber sofort mit Platin zu Platinchlorid; das frei werdende Kalium zersetzt andererseits das Wasser in  $H$  und  $HO$  und verbindet sich mit  $HO$  zu Kaliumhydroxyd, während an der Kathode also jetzt Wasserstoff — als sekundäres Zersetzungsprodukt — auftritt. Bei der Zersetzung von Glaubersalzlösung ( $Na_2SO_4$ ) scheidet sich an der Kathode ursprünglich  $Na_2$ , an der Anode  $SO_4$  ab. Die  $SO_4$ -Gruppe verbindet sich aber sofort mit dem  $H_2$  des Wassers, so daß  $H_2SO_4$  entsteht und  $O$  frei wird. Ebenso verbindet sich das Natrium sofort mit dem Lösungswasser zu  $2 Na(OH)$ , und der Wasserstoff des Wassers wird sekundär frei. Auf diesem Vorgange beruht übrigens eine Methode, die negative Elektrode zu erkennen. Hält man nämlich beide Elektroden auf Filtrierpapier, das mit  $Na_2SO_4$  und Phenolphthaleinlösung getränkt ist (sogenanntes Polreagenzpapier), so entsteht an der Kathode durch die gebildete Base (Natriumhydrat) Rotfärbung. Bei der Elektrolyse von verdünnter Schwefelsäure ( $H_2SO_4$ ) tritt an der Kathode  $H_2$  auf;  $SO_4$  verbindet sich wieder mit dem Lösungswasser ( $H_2O$ ) zu  $H_2SO_4$ , so daß an der Anode  $O$  frei wird. Die scheinbare Zerlegung von Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff ist stets auf solche sekundären Prozesse (bedingt durch die im Wasser enthaltenen Salze) zurückzuführen; chemisch ganz reines Wasser leitet nämlich den Strom überhaupt nicht und wird also durch ihn auch nicht zersetzt.

Wie kommt es nun, daß die Zersetzungsprodukte bei der Elektrolyse nur an den Elektroden und nicht auch im Innern der Flüssigkeit auftreten? Die Antwort hierauf gibt die CLAUSIUS-ARRHENIUS'sche Theorie der Lösungen, auf die wir hier nur kurz eingehen können. Danach besteht jedes zusammengesetzte Molekül aus zwei Gruppen, die beide mit gleichen, aber entgegengesetzten Elektrizitätsmengen geladen sind. In einem Molekül  $H_2SO_4$  ist z. B. die Gruppe  $H_2$  mit positiver, die Gruppe  $SO_4$  mit gleichviel negativer Elektrizität geladen; sie neutralisieren sich also gegenseitig. Der Zerfall der Moleküle in die mit verschiedener Elektrizität geladenen Atomgruppen (Ionen) findet nun nach CLAUSIUS und ARRHENIUS nicht erst statt, wenn der elektrische Strom durch eine Lösung hindurchgeht, sondern es ist eine charakteristische Eigenschaft aller Lösungen, daß

in ihnen eine Anzahl von Molekülen in einem derartigen Zustand der „Dissoziation“ sind, und zwar um so mehr, je verdünnter die Lösung ist. Man hat sich also vorzustellen, daß in einer Lösung (vielleicht durch den Anprall der Moleküle gegeneinander, denn die Moleküle verdünnter Lösungen verhalten sich wie die Moleküle von Gasen) eine fortwährende Trennung und Wiedervereinigung der ein Molekül bildenden Atomgruppen stattfindet. Geht nun ein elektrischer Strom durch die Lösung, so bewegen sich jetzt die — schon vorher vorhandenen — Ionen in einer ganz bestimmten Richtung, indem die negativen Anionen von der positiven Anode, die positiven Kationen von der negativen Kathode angezogen werden und hier ihre Elektrizität abgeben. Hiernach besteht also der elektrische Strom in einer Flüssigkeit in dem Transport von Elektrizität durch die Ionen. Auch geht aus dem bisher Gesagten hervor, daß durch den elektrischen Strom wirklich ein Transport von materiellen Teilchen (eben den Ionen) im Elektrolyten stattfindet. Man bezeichnet dies mit dem besonderen Namen Kataphorese. Auf die Wirkungen der Kataphorese sowie überhaupt der Elektrolyse im menschlichen Organismus, der ja auch ein Elektrolyt ist, kommen wir später noch zu sprechen. Bei dieser Wanderung der Ionen sind nun im Innern der Flüssigkeit eine gleiche Anzahl positiver und negativer Ionen vorhanden, die sich gegenseitig neutralisieren, so daß also die Flüssigkeit selbst anscheinend unverändert bleibt. An den Elektroden dagegen ist dieser Gleichgewichtszustand gestört; hier werden die Ionen ja durch die entgegengesetzte Elektrizität der Elektroden gebunden und ihrer Elektrizität beraubt. Nach dieser Theorie besteht also die Arbeitsleistung des elektrischen Stromes nur in dem Transport der Ionen zu den Elektroden und in der Neutralisierung ihrer Ladung daselbst.

Die Menge der bei der Elektrolyse auftretenden Zersetzungsprodukte ist nun, wie zuerst FARADAY nachwies, von ganz bestimmten Verhältnissen abhängig. Das erste FARADAY'sche Gesetz besagt nämlich:

Die Menge der Zersetzungsprodukte ist in gleichen Zeiten der Stromstärke proportional. Also, je stärker der Strom, desto mehr Zersetzungsprodukte treten auf. Umgekehrt kann man natürlich durch die Menge der in der Zeiteinheit abgeschiedenen Zersetzungsprodukte die Stromstärke messen, wenn man weiß, wieviel Zersetzungsprodukte (elektrochemische Äquivalente) ein Strom von der Stromstärke 1 Ampère in 1 Sekunde liefert. Es sind dies z. B. 1,118 mgr Silber, 0,328 mgr Kupfer, 0,174 ccm Knallgas usw. Die hierauf beruhenden Apparate zur Messung der Stromstärke heißen Voltmeter (nicht zu verwechseln mit Voltmeter).

Da sie in der medizinischen Praxis nicht verwandt werden, wollen wir nur ganz kurz das Prinzip eines Silbervoltmeters beschreiben. In einem

Platintiegel, der gleichzeitig als Kathode dient, befindet sich eine Silberlösung, z. B.  $AgNO_3$ . Als Anode fungiert ein Stab aus reinem Silber. Dann scheidet sich beim Stromdurchgang am Platintiegel Silber ab, während der Säurerest ( $NO_3$ ) an der Anode Silber wieder auflöst. Durch Wägung des Tiegels vor und nach dem Stromdurchgang findet man die Menge des in einer bekannten Zeit abgeschiedenen Silbers. Da man weiß, wieviel 1 Ampère in 1 Sekunde abscheidet, läßt sich daraus sofort die Ampèrezahl berechnen.

Die durch denselben Strom abgeschiedenen Zersetzungsprodukte verhalten sich nun wie ihre chemischen Äquivalentgewichte (zweites Gesetz von FARADAY). Unter Äquivalentgewicht versteht man das Verhältnis zwischen Atomgewicht und Wertigkeit. Es werden also für 1 Gramm  $H$  35,5 g  $Cl$ ,  $\frac{16}{2}$  g  $O$ ,  $\frac{65}{2}$  g  $Zn$ ,  $\frac{14}{3}$  g  $N$ ,  $\frac{197}{3}$  g  $Au$  abgeschieden usw. Wird z. B. eine Lösung von Zinkchlorid zersetzt, so entsteht für je 35,5 an der Anode abgeschiedene Gramm Chlor an der Kathode  $\frac{65}{2}$  Gramm Zink. Das FARADAY'sche Gesetz gilt nicht nur für ein und dieselbe elektrolytische Flüssigkeit, sondern für alle, vorausgesetzt, daß der Strom die gleiche Stärke besitzt.

Wie groß ist z. B. das elektrochemische Äquivalent des Wasserstoffs? — Da das elektrochemische Äquivalent des Silbers 1,118 mg ist (s. o.), findet man das des Wasserstoffs, indem man durch das Atomgewicht des Silbers dividiert, also  $\frac{1,118}{107,6} = 0,0103$  mg.

Meine Herren! Wir hatten bisher gesehen, daß die elektrolytischen Vorgänge dadurch zustande kommen, daß die betreffende Flüssigkeit mit ihren Elektroden in einen Strom eingeschaltet wird, der von irgend einer äußeren Stromquelle erzeugt wird. Wie wir aber bereits wissen, ist eine Kombination von zwei verschiedenen Metallen in einer Flüssigkeit selbst eine Stromquelle, ein sogenanntes galvanisches Element. Wird dasselbe geschlossen, d. h. werden die beiden Elektroden durch einen Schließungsdraht außen verbunden, so entsteht eben ein elektrischer Strom. Da derselbe nun auch durch die Flüssigkeit des Elements geht, erzeugt er genau solche Zersetzungen, wie wir sie eben kennen gelernt haben. Hierbei muß auf einen Punkt besonders aufmerksam gemacht werden, da sonst leicht Irrtümer entstehen. Tauchen z. B. Zink und Kupfer in Schwefelsäure, so bezeichnet man das Kupfer als Anode, Zink als Kathode. Damit meint man, daß der Strom im äußeren Schließungskreis vom Kupfer zum Zink geht. Im Innern des Elements geht der Strom natürlich vom Zink zum Kupfer; hier ist Zink die Anode, Kupfer die Kathode. Das ist zum Verständnis der elektrolytischen Vorgänge wichtig!

Die ursprünglichen galvanischen Elemente sind nun für die Praxis ungeeignet, weil sie nicht konstant bleiben, d. h. bald einen

immer schwächeren Strom liefern. Die Ursache hiervon ist die sogenannte **galvanische Polarisation**, d. h. das Auftreten der durch die Elektrolyse bedingten Zersetzungsprodukte an den Elektroden. Im Kupfer-Zink-Schwefelsäureelement scheiden sich ja am Zink die



ca. 1/10 NACH GRÖSSE  
Fig. 73. DANIELL-Element.

$SO_4$ -Ionen ab und bilden mit dem Zink Zinksulfat; am Kupfer tritt der elektropositive Wasserstoff auf und umgibt es mit einem feinen Häutchen. Kurz und gut: es tauchen nun nicht mehr die reinen Elektroden in die Flüssigkeit; und da die Größe der in einem Element entstehenden elektromotorischen Kraft nur von der Natur der Elektroden (und der Flüssigkeit) abhängt, so ist ohne weiteres klar, daß durch die Polarisation eine Änderung der elektromotorischen Kraft bewirkt wird. Und zwar wird dieselbe kleiner, da die Ionen zu einem Teil die Elektrizität der Elektroden neutralisieren.

Ja, es tritt sogar ein dem ursprünglichen entgegengesetzt gerichteter Strom, der sogenannte Polarisationsstrom, zwischen den veränderten Elektroden auf, indem z. B. in dem angeführten Falle das untere, in die Flüssigkeit tauchende Ende der Kupferelektrode durch den darauf abgelagerten positiven Wasserstoff zur Anode, das

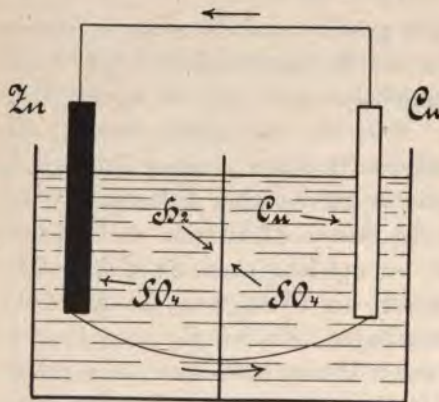


Fig. 74. Chemische Vorgänge in einem DANIELL-Element.

Zinksulfat zur Kathode wird. Eine wichtige Anwendung dieses Polarisationsstromes werden wir bald bei den Akkumulatoren kennen lernen. Unter gewöhnlichen Verhältnissen ist nun dieser Polarisationsstrom etwas sehr Unerwünschtes, da er eben die elektromotorische Kraft eines Elementes schwächt. Um **konstante Elemente**<sup>1</sup> zu erhalten, d. h. solche, deren elektromotorische Kraft annähernd gleich bleibt, muß man also die Wirkung der Polarisation beseitigen. Diese

„Depolarisation“ wird dadurch erreicht, daß man die Kathode in eine Flüssigkeit tauchen läßt, welche den entstehenden Wasserstoff

<sup>1</sup> Konstantes Element = Element, bei dem die Polarisation beseitigt ist. Konstanter Strom = elektrischer Strom, der durch Berührung bzw. chemische Einwirkung von Leitern erster und zweiter Klasse entsteht. Also auch inkonstante Elemente liefern „konstanten Strom“.

sofort oxydiert (Superoxyde, starke Säuren, gewisse Salzlösungen). Meist nimmt man für die Elektroden zwei verschiedene Flüssigkeiten, die entweder durch eine poröse Scheidewand (die der Ionenwanderung kein Hindernis bietet) getrennt oder (bei verschiedenem spezifischen Gewicht) einfach übereinandergeschichtet sind. Betrachten wir nun kurz die in der Praxis am meisten gebräuchlichen konstanten Elemente:

Beim DANIELL-Element (Fig. 73) taucht innerhalb eines Glasgefäßes ein Zinkzylinder<sup>1</sup> in 25 % Schwefelsäure. In dem Zinkzylinder steht wieder ein poröser Tonzylinder, gefüllt mit konzentrierter Kupfervitriollösung, in die ein Kupferblech taucht. Der Vorgang im Element ist folgender (Fig. 74): Das Kupfervitriol und die Schwefelsäure zerfallen in die Ionen  $Cu$  und  $SO_4$  bzw.  $H_2$  und  $SO_4$ . Es wandern nun  $Cu$  und  $H_2$  zur Kathode, also zum Kupfer, die beiden  $SO_4$ -Ionen zum Zink. Am Kupfer schlägt sich also Kupfer nieder. Die  $H_2$ -Ionen der Schwefelsäure treffen unterwegs auf die  $SO_4$ -Ionen des Kupfersulfats und verbinden sich mit diesen wieder zur Schwefelsäure, während die  $SO_4$ -Ionen der Schwefelsäure sich mit dem Zink zu Zinksulfat ( $ZnSO_4$ ) verbinden, das sich in der Schwefelsäure auflöst. Das Resultat ist also, daß sich beständig Zink auflöst und gleichzeitig äquivalente Mengen Kupfer an der Kupferelektrode niederschlagen. Der bei der Elektrolyse auftretende und den Polarisationsstrom hauptsächlich bedingende Wasserstoff wird also hier beseitigt.

Eine Abart des DANIELL-Elements ist das MEIDINGER-Element

<sup>1</sup> Das Zink der galvanischen Elemente wird gewöhnlich amalgamiert. Da nämlich das käufliche Zink nie chemisch rein ist und meist eine raue Oberfläche besitzt, so würde, wenn an einer Stelle ein beigemengtes Metallteilchen hervorrage, zwischen diesem und den benachbarten Zinkteilchen und der Flüssigkeit ein Strom entstehen, wodurch natürlich das Zink schneller abgenutzt würde. Dieser Übelstand wird eben durch die Amalgamierung beseitigt. Man taucht hierzu das Zink, nachdem man es unter Wasser mit einer Bürste gereinigt hat, zuerst in verdünnte Schwefelsäure und verreibt dann etwas Quecksilber auf seiner Oberfläche, worauf es gründlich mit Wasser abgespült wird.

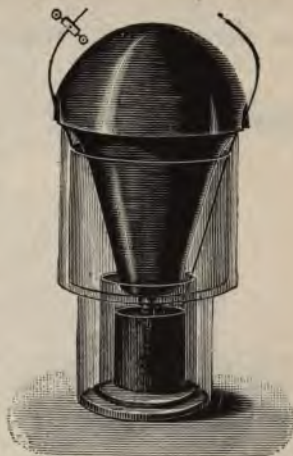


Fig. 75. MEIDINGER-Element.

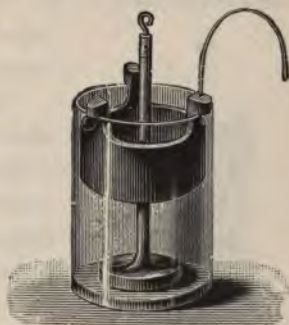


Fig. 76.  
Reichstelegraphen-Element.

(Fig. 75). Die Elektroden sind hier ebenfalls Kupfer und Zink; ersteres taucht in Kupfersulfat, letzteres in eine Bittersalzlösung ( $MgSO_4$ ). Diese Flüssigkeiten brauchen nicht durch eine Scheidewand getrennt zu werden, da die Bittersalzlösung spezifisch leichter ist, daher immer

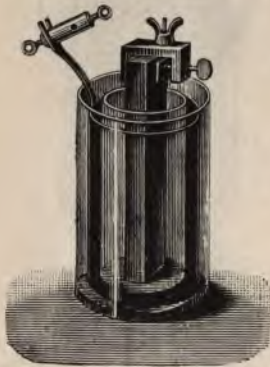


Fig. 77. BUNSEN-Element.

auf der Kupfersulfatlösung schwimmt. Der Zinkzylinder steht im oberen Teil des sich nach unten hin verjüngenden Gefäßes, der Kupferzylinder am Boden. Der von letzterem ausgehende Leitungsdraht muß natürlich sehr gut isoliert sein. Der Ballon des Elements enthält einen Vorrat von Kupfervitriolkristallen, um die Lösung von Kupfervitriol, aus der sich ja beständig Kupfer abscheidet, konzentriert zu erhalten.

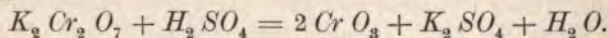
Das Reichstelegraphen-Element (Fig. 76) ist ein vereinfachtes MEIDINGER-Element. Hier hängt der Zinkzylinder mittels dreier nasenförmiger Ansätze am oberen Rande des Gefäßes. Im unteren Teile des Gefäßes befindet sich eine Bleiplatte, die sich bald mit metallischem Kupfer überzieht. Das Zink taucht wieder in Bittersalzlösung, die Bleiplatte in Kupfersulfatlösung, die durch zugefügte Kupfervitriolkristalle konzentriert erhalten wird.



Fig. 78.  
Flaschen-Element.

Das BUNSEN-Element (Fig. 77) und das GROVE-Element sind analog eingerichtet wie das DANIELL-Element. Zink taucht wieder in Schwefelsäure; innerhalb des Tonzylinders befindet sich Salpetersäure, in die beim BUNSEN-Element Kohle, beim GROVE-Element Platin taucht. Die zur Kohle bzw. zum Platin wandernden Wasserstoff-Ionen werden hier durch die Salpetersäure zu Wasser oxydiert. Dabei bilden sich Dämpfe von  $NO_2$ , die gesundheitsschädlich sind und daher die Anwendung dieser Elemente einschränken.

Das Chromsäure-Element oder GRENET-sche Element, wegen seiner gebräuchlichen Form (Fig. 78) auch Flaschen-Element genannt, enthält Zink und Kohle, die in ein Gemisch von Schwefelsäure und doppelchromsaurem Kali tauchen. Die Chromsäure entsteht hier nach der Formel



Als besonders zweckmäßig wird eine Lösung von 50 g kristallisierte Chromsäure und 50 g englischer Schwefelsäure in 1000 Teilen

destilliertem Wasser empfohlen. Da die Chromsäure das Zink nicht angreift, brauchen beide Flüssigkeiten nicht durch Tonzellen getrennt zu werden. Die Oxydation des Wasserstoffes erfolgt hier durch die Chromsäure bzw. das Kaliumbichromat. Da in solchen Elementen der Zinkverbrauch ein großer ist, müssen die Zinkplatten, wenn das Element nicht benutzt wird, herausgehoben werden. Man spricht daher auch von Tauch-Elementen bzw. Tauch-Batterien (Fig. 79).

Beim LECLANCHÉ-Element (Fig. 80) taucht Zink in eine Lösung von Salmiak ( $NH_4Cl$ ), Kohle in die Brauneinfüllung ( $MnO_2$ ) eines porösen Tonzylinders. Beim Stromdurchgang wird der Salmiak in  $NH_4$  und  $Cl$  zerlegt.  $Cl$  verbindet sich mit dem Zink zu Zinkchlorid.  $NH_4$  zerfällt in Ammoniak ( $NH_3$ ), der entweicht, und Wasserstoff, der durch den Braunstein zu Wasser oxydiert wird, während dabei aus dem Mangansuperoxyd  $Mn_2O_3$  entsteht. Eine Modifikation des eben beschriebenen Elementes ist das LECLANCHÉ-BARBIER-Element (Fig. 81). Hier befindet sich der

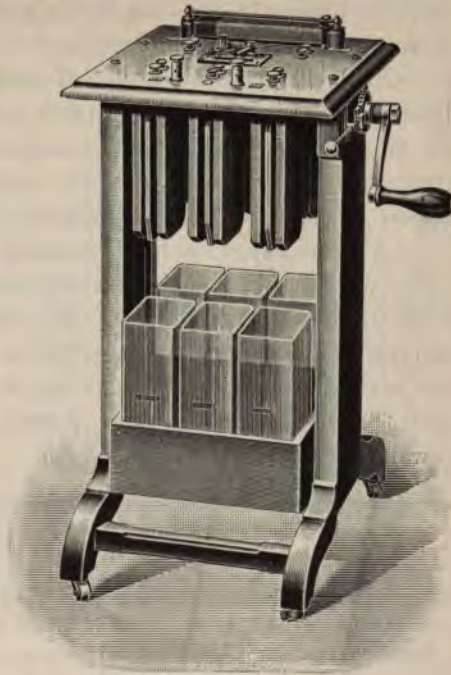
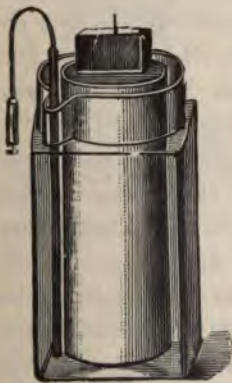


Fig. 79. Tauch-Batterie.

Fig. 80.  
LECLANCHÉ-Element.Fig. 81.  
LECLANCHÉ-BARBIER-Element.Fig. 82.  
Trocken-Element.

Zinkstab innerhalb eines aus Kohle und Braunstein gepreßten Zylinders; beide stehen in Salmiaklösung.

Sehr bequem sind die Trocken-Elemente (Fig. 82), die meistens aus Zink und Kohle (aber auch anderen Elektroden) bestehen. Sie enthalten an Stelle der Flüssigkeit eine mit geeigneten Lösungen getränkte, mehr oder weniger erhärtete Füllmasse (Gips, Kreide Asbest usw.), deren nähere Zusammensetzung Fabrikgeheimnis ist.

Auf die Frage, welche Elemente für den Arzt am zweckmäßigsten sind, werden wir noch zurückkommen und geben vorläufig eine tabellarische Übersicht über die elektromotorische Kraft und den inneren Widerstand der angeführten Elemente, woraus ja auch die maximale Stromstärke bekannt ist (cf. S. 46). Die angeführten Zahlen sind Durchschnittswerte und verstehen sich für die gewöhnlich angewandten Größen der Elektroden.

Art des Elements	Elektromotorische Kraft	Innerer Widerstand	Maximale Stromstärke
	in Volt	in Ohm	in Ampère
DANIELL	1,1	0,5	0,55
MEIDINGER	0,95—1,0	4—5	0,2
GROVE } BUNSEN }	1,9	0,2	9,5
GRENET	1,5—2	0,06—0,3	30
LECLANCHÉ	1,5	0,5—1,5	1—2
Trocken-Element	1,5	0,3—0,5	3
Akkumulatoren	2	0,1—0,001	20—2000

Meine Herren! Sendet man durch ein Gefäß mit Schwefelsäure, in das zwei Platinelektroden tauchen, einen elektrischen Strom, der von irgend einer Stromquelle (*E* Fig. 83) stammt, so wird, wie wir wissen, an der negativen Elektrode positiver Wasserstoff, an der positiven negativer Sauerstoff abgeschieden. Unterbricht man nach einiger Zeit die Verbindung mit der Stromquelle und verbindet die Elektroden außerhalb des Gefäßes, so geht jetzt ein Strom von Wasserstoff zum Sauerstoff, d. h. also in umgekehrter Richtung wie zuerst (Fig. 84). Die Zersetzungszelle wirkt also jetzt wie ein Element und heißt daher auch sekundäres Element oder, weil in ihr elektrische Energie in Form der Zersetzungsprodukte aufgespeichert ist, **Akkumulator**. Der „Entladestrom“ eines solchen Akkumulators fließt also in umgekehrter Richtung wie der „Ladestrom“ und hält so lange an, bis die durch Polarisation entstandenen Produkte an den Elektroden verbraucht sind. Die Bedeutung der Akkumulatoren liegt, abgesehen von ihrer bequemen Handhabung, darin, daß in ihnen elektrische Energie aufgespeichert werden kann, um bei passender Gelegenheit benutzt zu



werden. So kann man z. B. die Energie einer Dynamomaschine, die Strom für Beleuchtungszwecke liefert, am Tage, wo sie ja weniger beansprucht wird als nachts, dazu benutzen, um nebenbei Akkumulatoren zu laden.

In der Technik werden fast ausschließlich Bleiakkumulatoren verwandt, die von PLANTÉ erfunden, von FAURE wesentlich verbessert worden sind. Das Prinzip derselben ist folgendes: Zwei Bleiplatten, deren Oberfläche durch Oxydation an der Luft stets mit Bleioxyd ( $PbO$ ) bedeckt ist, tauchen in verdünnte Schwefelsäure. Beim Laden geht Sauerstoff zur positiven Elektrode und oxydiert sie zu Bleisuperoxyd ( $PbO_2$ ), während die negative Elektrode durch den Wasserstoff zu metallischem Blei in fein verteilter Form (sog. Bleischwamm) reduziert wird. Ist die Reduktion beendet, so entweicht der Wasserstoff in Form von Blasen (der Akkumulator „kocht“).

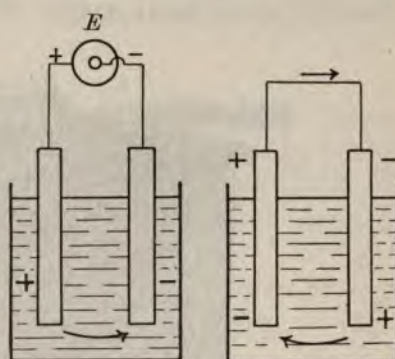


Fig. 83 und 84. Entstehung eines sekundären Elements. Schematisch.



Fig. 85. Akkumulator nach PLANTÉ.

schwamm-Elektrode zur Bleisuperoxyd-Elektrode. Letztere wird durch den jetzt hier auftretenden Wasserstoff wieder zu Bleioxyd reduziert, erstere durch Sauerstoff ebenfalls zu Bleioxyd oxydiert. Die Entladung hört auf, wenn beide Elektroden chemisch gleichartig sind, da nun eben keine elektromotorische Kraft mehr wirksam ist. Man muß dann

also den Akkumulator von neuem laden. Fig. 85 zeigt die ursprüngliche von PLANTÉ angegebene Form der Akkumulatoren. Zwei rechteckige Bleiplatten, an deren einem Ende je ein dünner als Pol dienender Bleistreifen hervorragt, werden durch dazwischengelegte Wollstreifen

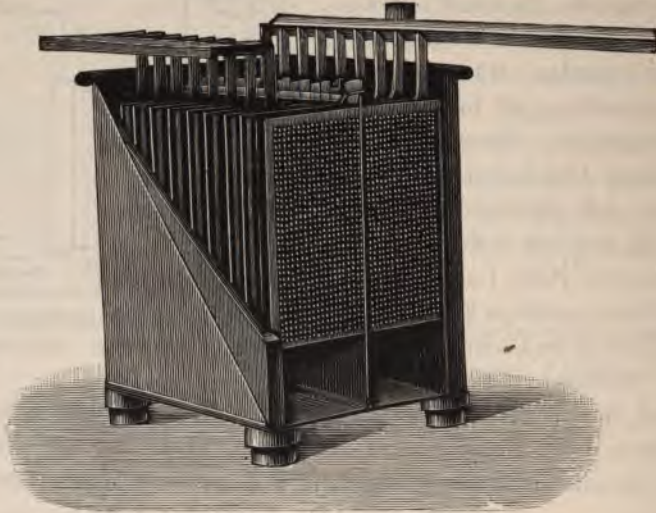


Fig. 86. Akkumulatorzelle.

isoliert, spiralg aufgerollt und in ein mit Schwefelsäure gefülltes Gefäß gesetzt, worauf ihre Pole mit einer Batterie verbunden werden. Da nun die Dauer des Entladestromes von der Dicke der Bleisuperoxyd- bzw. Bleischwamm-Schicht abhängt, verstärkte PLANTÉ dieselben durch monatelanges Laden und Entladen (sogenanntes „Formieren“).

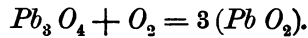


Fig. 87. Platte eines Akkumulators.

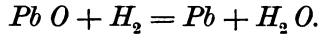
FAURE verbesserte dies Verfahren wesentlich dadurch, daß er als „aktive“ Masse auf die Bleiplatten einen Brei von Mennige ( $Pb_2O_3$ ) auftrug und dadurch die Formierung auf Tage und Stunden abkürzte.

Damit diese Masse fest den Bleiplatten anhaftet, macht man diese gitterförmig (Fig. 86) oder versieht sie mit riefen- bzw. muldenförmigen Vertiefungen (Fig. 87) und bringt die Mennige in die Hohlräume. Bei den neueren Akkumulatoren nimmt man gewöhnlich Mennige nur für die positiven Platten, für die negativen Bleiglätte ( $PbO$ ). Ladet

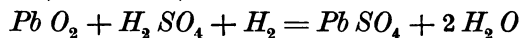
man nun den Akkumulator, so entsteht an der positiven Platte durch den auftretenden Sauerstoff Bleisuperoxyd ( $PbO_2$ ):



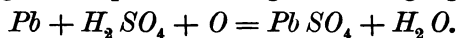
An der negativen Platte wird dagegen die Bleiglätte zu Blei reduziert:



Damit ist die Formierung beendet, und der Akkumulator geladen. Die positive Platte sieht jetzt schokoladenfarben, die negative grau aus. Beim Entladen entsteht an beiden Elektroden Bleisulfat. Der Prozeß an der positiven Platte (die in der Flüssigkeit ja jetzt die Kathode vorstellt) verläuft nämlich nach der Formel:

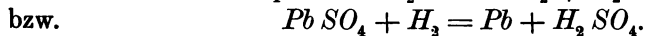
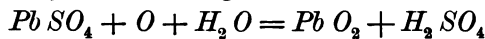


An der negativen spielt sich folgender Vorgang ab:



Die Entladung ist beendet, wenn beide Platten gleichmäßig mit Bleisulfat bedeckt sind.

Wird jetzt wieder geladen, so entsteht an der positiven Platte wieder Bleisuperoxyd, an der negativen Blei.



Diese Prozesse wechseln ständig ab. Beim Laden wird Wasser verbraucht und Schwefelsäure frei, beim Entladen ist es umgekehrt. Die Konzentration der Schwefelsäure steigt daher beim Laden und sinkt beim Entladen. Eine Akkumulator-„Zelle“ (Fig. 86) besteht nun aus einer gewissen Zahl positiver und negativer Platten, die miteinander abwechseln; von letzteren wird gewöhnlich eine mehr genommen, so daß jede positive Platte zwischen zwei negativen steht. Alle positiven Platten enden oben

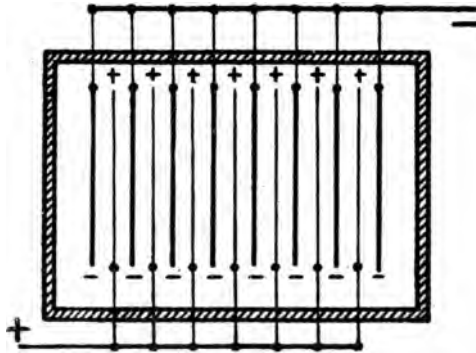


Fig. 88. Akkumulatorzelle. Schematisch.

in einer Bleileiste, ebenso die negativen. In der Zelle sind also die Platten parallelgeschaltet (Fig. 88). Die Zellen selbst werden gewöhnlich hintereinandergeschaltet, und zwar sind dann die Polleisten so lang, daß sie zugleich die ungleichnamigen Platten der nächsten Zelle aufnehmen (Fig. 86). Bei kleinen Akkumulatorbatterien bestehen die Zellen gewöhnlich nur aus wenigen Platten (z. B. einer positiven und zwei negativen oder zwei positiven und drei negativen).

Zur Ableitung des Stromes befinden sich an den Polleisten Klemmschrauben, in welchen je zwei ungleichnamige benachbarte Plattengruppen endigen. Analog den Trockenelementen gibt es auch Akkumulatoren, die nicht mit Flüssigkeit, sondern mit einer gelatineartigen Masse (meist eine Verbindung von Wasserglas und Schwefelsäure) gefüllt sind.

Jede Akkumulatorzelle gebraucht zum Laden ungefähr 2—2,5 Volt. Mit 110 Volt Spannung (z. B. mit einer Lichtleitung) kann man daher ca. 40 hintereinandergeschaltete Zellen laden. Bei der Entladung gibt eine Zelle zuerst ca. 2 Volt; dann fällt die Spannung auf 1,9 Volt, und nach einer geraumen Zeit auf 1,85 Volt. Soll der Akkumulator nicht Schaden nehmen, so darf seine Spannung nie unter diesen Wert sinken. Man hat daher von Zeit zu Zeit zur Prüfung der Spannung ein Voltmeter mit seinen

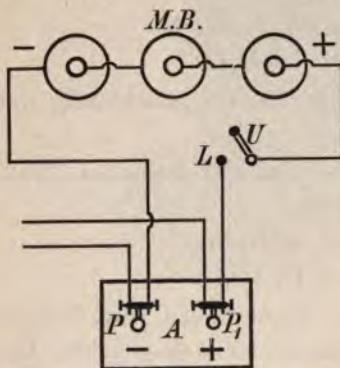


Fig. 89. Schaltung beim Laden eines Akkumulators.

*M.B.* Meidinger-Batterie, *A* Akkumulator, *PP*, dessen Pole mit Doppelklemmen, *U* Unterbrecher, *L* Stellung dess. a. Laden.

beiden Drähten an die Pole der Batterie bzw. der einzelnen Zellen zu legen, am besten während der Stromentnahme. Für jeden Akkumulator ist nun, entsprechend seiner Plattengröße, eine bestimmte maximale Lade- und Entlade-Stromstärke vorgeschrieben. Wird dieselbe überschritten, (z. B. durch Kurzschluß bei der Entladung), so werden die Platten zerstört. Für jede Type wird von der betreffenden Fabrik die Maximalstromstärke, mit der ein Akkumulator beansprucht werden darf, genau vorgeschrieben. Im allgemeinen beträgt sie etwa 1 Ampère für jeden Quadratdezimeter Oberfläche des positiven Plattenkörpers einer Zelle. Bei den kleinsten Akkumulatoren ist z. B. die Maximalstromstärke 6 Ampère, bei den größten über 1200 Ampère. Hat ein kleiner Akkumulator z. B. die Kapazität 18 Ampèrestunden, d. h. kann er 18 Stunden einen Strom von 1 Ampère liefern, so kann er auch 2 Ampère 9 Stunden, 3 Ampère 6 Stunden, 6 Ampère 3 Stunden liefern. Aber er kann nicht z. B. 18 Ampère 1 Stunde liefern, weil er durch diese große Stromstärke zerstört würde. Die Kapazität, das ist also das Produkt aus Entladestromstärke und Zeit, ist bei  $n$  hintereinandergeschalteten Zellen nicht größer als für jede einzelne Zelle, bei  $n$  nebeneinandergeschalteten Zellen dagegen  $n$  mal so groß, da nur in letzterem Falle die Plattengröße vermehrt ist. 10 Akkumulatorzellen von je 16 Ampèrestunden Kapazität geben also hintereinandergeschaltet einen Strom von 20 Volt und 16 Ampèrestunden, nebeneinandergeschaltet von 2 Volt und 160 Ampèrestunden. Die Gesamtleistung bleibt also in beiden Fällen gleich, nämlich 320 Volt-Ampèrestunden.

Wie bereits erwähnt, muß jede Akkumulatorzelle, deren Spannung unter 1,85 Volt gesunken ist, geladen werden. Auch empfiehlt es sich, die Ladung alle vier Wochen vorzunehmen, falls der Akkumulator nicht gebraucht wird; denn durch sekundäre Vorgänge zwischen den Bleiplatten und dem Elektrolyten findet eine, wenn auch geringe, Selbstentladung statt. Wie verhält man sich nun bei der Ladung? Als erste Regel gilt, daß man den positiven Pol des Akkumulators mit dem positiven Pol der Stromquelle, den negativen mit dem negativen der Stromquelle verbindet (vgl. Fig. 83, 84, 89). Die Art der Stromquelle, durch welche die Ladung erfolgt, ist gleichgültig; nur muß sie einen Gleichstrom von bestimmter Stromstärke und Spannung liefern. Die elektromotorische Kraft der Ladestromquelle

muß mindestens so groß sein wie die entgegengesetzt gerichtete elektromotorische Kraft des Akkumulators am Ende der Ladung, die ca. 2,5 Volt pro Zelle beträgt; bei 8 hintereinandergeschalteten Akkumulatorzellen z. B. also mindestens 20 Volt. Ist

z. B. die Stromstärke 15 Ampère vorgeschrieben, und beträgt der gesamte innere Widerstand des Akkumulators 0,2 Ohm, so ergibt sich die zum Laden benötigte elektromotorische Kraft genau aus der Gleichung:

$$\frac{E - 20}{0,2} = 15$$

$$E = 23 \text{ Volt.}$$

Ist die elektromotorische Kraft der Stromquelle eine unveränderliche Größe, z. B. 220 Volt bei Anschluß an eine Lichtleitung, so muß man einen Widerstand vorschalten, der sich aus folgender Gleichung ergibt:

$$\frac{220 - 20}{0,2 + x} = 15$$

$$x = 13,1 \text{ Ohm.}$$

Nimmt man als Widerstand parallelgeschaltete Glühlampen (Fig. 90), so vereinfacht sich die Sache, da man weiß, daß z. B. jede



Fig. 90.

Vorschaltwiderstand zum Laden von Akkumulatoren, bestehend aus zwei parallelgeschalteten Glühlampen.

220 Volt-Lampe von 16 Normalkerzen zum normalen Brennen einen Strom von 0,5 Ampère verbraucht, also auch einen solchen hindurchpassieren läßt. In der Praxis ladet man größere Akkumulatoren meist durch Anschluß an Lichtleitungen oder Nebenschlußdynamos, die den Vorzug haben, stets einen Strom nach derselben Richtung zu liefern. Kleinere Akkumulatoren kann man auch durch galvanische Batterien bzw. Thermosäulen laden. Da z. B. in letzterem Falle der Ladestrom nur eine elektromotorische Kraft von 4 Volt besitzt, muß man jede Zelle für sich laden oder alle Zellen parallelschalten, wodurch ja der Akkumulator die Bedeutung einer einzigen großen Zelle bekommt. Im ersten Falle braucht man aber das  $n$ -fache an Zeit, im zweiten das  $n$ -fache an Stromstärke oder Zeit. Hat man z. B. 6 Volt zur Verfügung, so wird man bei 10 Akkumulatorzellen dieselben beim Laden in fünf parallele Gruppen zu je zwei hintereinandergeschalteten Zellen anordnen usw.

Das Laden, bei dem übrigens die Verschlußpfropfen der Zellkästen entfernt werden sollen, ist beendet, wenn der Akkumulator pro Zelle eine Spannung von ca. 2,5 Volt erreicht hat, was man mittels eines Voltmeters prüft. Man kann aber auch ohne einen solchen die Beendigung des Ladens daran erkennen, daß der Akkumulator „kocht“. Dieses „Kochen“ beruht eben, wie wir sahen, darauf, daß der Wasserstoff an der negativen Platte entweicht, wenn alles Bleisulfat zu Blei reduziert ist. Daß Akkumulatoren, auch wenn sie nicht benutzt werden, ca. alle vier Wochen nachgeladen werden müssen, haben wir bereits erwähnt. Im übrigen bedürfen Akkumulatoren nur geringer Pflege. Man hat sie vor Staub und Feuchtigkeit sowie namentlich vor Kurzschluß zu hüten. Letzterer kann sowohl im äußeren Stromkreis eintreten, wie auch im Innern der Zellen dadurch, daß Fremdkörper bzw. abgebröckelte Teile der aktiven Masse zwischen die Platten geraten. Um letzteres zu verhüten, sind Akkumulatoren auch vor heftigen Stößen und Erschütterungen zu bewahren. Die Säurefüllung muß stets die Platten ca.  $\frac{1}{2}$  cm überragen. Eventuell ist Nachfüllung mit chemisch reiner Säure (wie sie die Fabrik vorschreibt) nötig; dieselbe muß beim geladenen Akkumulator konzentrierter sein als beim entladenen (cf. S. 83). Bei den Akkumulatoren mit Trockenfüllung ist nur ein Nachgießen von Wasser erforderlich. —

M. H.! Wir hatten früher gesehen, daß der elektrische Strom, wie er einerseits beim Hindurchgang durch die Lötstellen zweier Metalle Temperaturdifferenzen erzeugt, andererseits durch Erwärmen bzw. Abkühlen solcher Lötstellen erzeugt werden kann. Es erhebt sich nun die Frage, ob nicht der elektrische Strom, entsprechend seinen chemischen Wirkungen, auch durch chemische Prozesse entstehen kann. Man nimmt nun tatsächlich im Gegensatz zu der

ursprünglichen Kontakttheorie VOLTA's an, daß in den galvanischen Elementen der Strom durch die darin sich abspielenden chemischen Vorgänge überhaupt erst zustande kommt. Wir können hier auf die darüber aufgestellte und namentlich von NERNST ausgebaute Theorie, so interessant sie ist, nicht ausführlich eingehen. Die Hauptgesichtspunkte sollen aber doch kurz berührt werden. Nach der modernen Auffassung von der Natur der Lösungen verhalten sich die Moleküle in solchen analog wie Gasmoleküle; d. h. sie haben u. a. das Bestreben, sich auszubreiten. Dabei üben sie auf die Wand des Gefäßes einen, von ihrer Anzahl abhängigen, Druck aus, den man als osmotischen Druck bezeichnet. Dieser hat also gewissermaßen die Tendenz, die Moleküle des gelösten Stoffes aus der Lösung herauszuschaffen. Andererseits haben die Moleküle eines in ein Lösungsmittel gebrachten festen Körpers die Tendenz, in das Lösungsmittel überzugehen; es wirkt gewissermaßen ein Druck auf sie, der als Lösungsdruck bezeichnet wird. Osmotischer Druck und Lösungsdruck wirken sich offenbar entgegen, und es wird von der Größe jedes dieser beiden Faktoren — die natürlich nach der Natur der betreffenden Substanzen verschieden sind — abhängen, ob sich ein fester Körper in einer Flüssigkeit auflöst, oder ob umgekehrt die Moleküle einer in der Flüssigkeit gelösten Substanz ausfallen, sich also auf dem festen Körper niederschlagen. Taucht nun z. B. ein Zinkstab in reines Wasser, so gehen nach der modernen Anschauung gewisse — allerdings unendlich geringe — Mengen des Zinks in das Wasser über, und zwar als positiv geladene Ionen. Dadurch wird das Wasser positiv elektrisch, das Zink, das positive Ladung verloren hat, negativ elektrisch. Da nun die ins Wasser übergegangenen positiven Zinkionen von dem jetzt negativen Zinkstab angezogen werden, üben sie gewissermaßen einen Druck auf den Zinkstab aus, der den weiteren Übertritt von Ionen in das Wasser verhindert. Wird an Stelle des reinen Wassers z. B. eine Zinksulfatlösung genommen, so wirkt nicht nur der elektrostatische Druck der Ionen, sondern auch der osmotische Druck der Salzmoleküle dem Lösungsdruck des Zinkes entgegen. Da letzterer aber stärker ist, so tritt auch hier zunächst der Übergang der Zinkionen in die Flüssigkeit ein. Taucht dagegen Kupfer in Kupfersulfatlösung, so ist hier der osmotische Druck größer als der Lösungsdruck; d. h. es werden jetzt zunächst positive Kupferionen aus der Flüssigkeit auf den Kupferstab übergehen, ihn mithin positiv machen, während die Lösung negativ wird. Die Vorgänge spielen sich so lange ab, bis Gleichgewicht zwischen osmotischem und elektrostatischem Druck einerseits und Lösungsdruck andererseits eingetreten ist. Es resultiert daraus, daß in einem Zink-Kupfer-Element das Zink negativ, das Kupfer positiv wird. Schließt man nun das Element, so gleichen sich

die entgegengesetzten Ladungen aus, die elektrostatischen Wirkungen zwischen den Metallstäben und ihren in die Flüssigkeit gesandten Ionen hören auf, und das Zink sendet von neuem positive Ionen in die Lösung, während aus der Lösung positive Ionen zum Kupfer gehen. Nach der NERNST'schen Theorie sind also hier die elektromotorischen Kräfte gegeben durch den elektrolytischen Lösungsdruck des Zinkes und durch den osmotischen Druck der Kupfersulfatlösung. Da nun der osmotische Druck, wie gesagt, der Konzentration direkt proportional ist, so muß der Übertritt der Zinkionen in die Flüssigkeit um so leichter erfolgen, je weniger konzentriert die Zinksulfatlösung ist; andererseits müssen die Kupferionen aus der Kupfersulfatlösung um so leichter zum Kupfer gehen, je konzentrierter diese Lösung ist. Und die Erfahrung hat diese theoretische Deduktion bestätigt, daß die in einem solchen Element erzeugte Potentialdifferenz wächst, wenn man die Zinksulfatlösung verdünnt, die Kupfersulfatlösung konzentrierter macht. Obschon nun Lösungsdruck und osmotischer Druck physikalische Größen sind, hängen sie doch, wie erwähnt, von der chemischen Beschaffenheit der betreffenden Stoffe ab; auch treten ja in einem Elemente wirklich chemische Umsetzungen ein, durch welche die Konzentration der Lösung geändert wird, so daß also in der Tat die Entstehung des elektrischen Stromes auf physikalisch-chemische Vorgänge zurückgeführt ist.

## V. Elektromagnetismus und Elektrodynamik. Induktionsströme.

Meine Herren! Wir wenden uns jetzt zu den Wechselwirkungen zwischen elektrischen Strömen und Magneten. Im Jahre 1820 entdeckte OERSTEDT die **Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom**. Ein elektrischer Strom, der eine Magnetnadel umkreist, lenkt nämlich dieselbe aus dem magnetischen Meridian ab, und zwar sucht er sie senkrecht zur Ebene des Stromkreises zu stellen. Die Richtung der Ablenkung ergibt sich aus der AMPÈRE'schen Schwimmregel oder aus der Rechten-Hand-Regel.

Die AMPÈRE'sche Schwimmregel lautet nämlich: Denkt man sich in der Richtung des positiven elektrischen Stromes schwimmend, das Gesicht der Magnetnadel zugekehrt, so wird ihr Nordpol nach links abgelenkt.

Die Rechte-Hand-Regel lautet: Hält man die rechte Hand so über den Stromleiter, daß die Handfläche der



Nadel zugekehrt ist, und daß die Fingerspitzen die Richtung des positiven Stromes zeigen, so wird der Nordpol der Nadel nach der Richtung des abgespreizten Daumens abgelenkt (vgl. Fig. 91). Diese Regel läßt auch folgende Umkehrung zu: Hält man bei gegebenen Nadelausschlag den Daumen nach der Seite des Ausschlages des Nordpols, so zeigen die Fingerspitzen die Stromrichtung an.

Wir sehen also, daß ein stromdurchflossener Leiter magnetische Wirkungen ausübt. Die Größe dieser magnetischen Kraft ist nun proportional der Stromstärke, d. h. je stärker der Strom, desto mehr wird die Nadel abgelenkt. Die Ablenkung der Magnetnadel bietet somit ein bequemes Mittel, die Stromstärke zu messen.

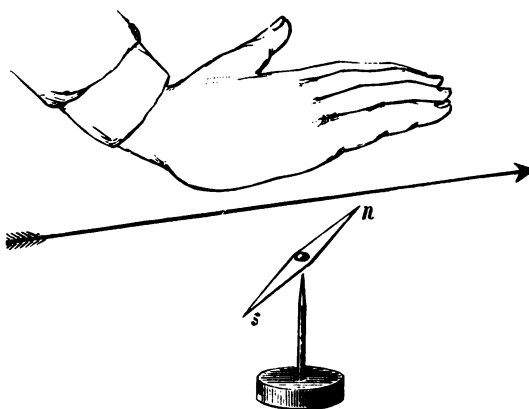


Fig. 91. Rechte-Hand-Regel.

Da die gleiche Ablenkung der Magnetnadel auch durch einen Magnetstab zustande kommen würde, der senkrecht durch die vom Strom umflossene Fläche gesteckt ist — auch der Magnetstab würde die Nadel in seiner eigenen Richtung, d. h. senkrecht zur Ebene des Stromkreises zu stellen suchen —, so kann man sich einen Stromkreis durch einen solchen Magnetstab ersetzt denken. Von dieser Überlegung ausgehend, hat man das sogenannte absolute elektromagnetische Maß der Stromstärke festgesetzt. Man definiert nämlich als elektromagnetische Einheit der Stromstärke diejenige, die ein Strom besitzt, der, die

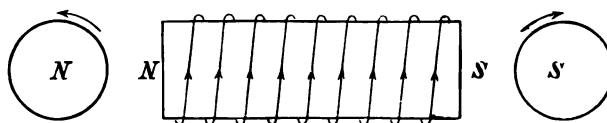


Fig. 92. Verhalten der Pole zur Stromrichtung.

Flächeneinheit (1 qcm) umfließend, ebenso wirkt, wie ein zur Stromebene senkrechter Magnetstab vom magnetischen Moment<sup>1</sup> 1. Da nun das magnetische Moment sich durch Einheiten der Länge, Masse, Zeit ausdrücken läßt, ist dadurch auch die Stromstärke nach absolutem Maß (Z-G-S-System) festgelegt 1 Ampère entspricht 0,1 absoluten Einheiten der Stromstärke.

Die magnetische Wirkung des elektrischen Stromes macht sich noch in anderer Beziehung geltend. Geht nämlich ein elektrischer

<sup>1</sup> Magnetisches Moment heißt das Produkt aus dem Abstand der beiden Pole eines Magneten und der Stärke eines seiner Pole.

Strom spiralg um einen Eisenstab, so wird derselbe magnetisch. Ein solcher **Elektromagnet** besitzt eine sehr kräftige magnetische Wirkung, die allerdings nur so lange anhält, wie der Strom dauert. Bekanntlich nimmt man an, daß die Moleküle jedes Magneten ebenfalls schon kleinste Magneten sind, deren Pole dieselbe Richtung haben wie die entsprechenden Pole des großen Magneten. Diese Molekular-Magnete

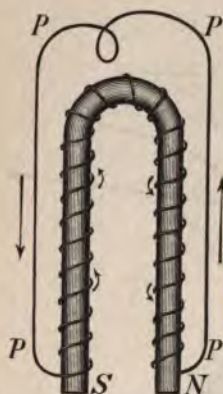


Fig. 93. Elektromagnet.

sind auch bereits im Eisen vorhanden, nur liegen sie hier ungeordnet durcheinander, so daß sie sich gegenseitig neutralisieren. Auf Grund dieser Hypothese kann man sich zur Erklärung des Elektromagnetismus vorstellen, daß der elektrische Strom, der um ein Eisenstück fließt, dessen Molekular-Magnete (ebenso wie die Magnetnadel) alle in eine bestimmte Richtung bringt. Die Lage des Nordpols findet man dann wieder leicht nach der AMPÈRE'schen bzw. Rechten-Hand-Regel. Auch ergibt eine einfache Überlegung, daß, wenn man von oben auf einen Südpol sieht, der Strom hier im Sinne des Uhrzeigers verläuft, beim Nordpol umgekehrt (Fig. 92). Die

Magnetisierung ist, beiläufig bemerkt, auf gewöhnlichem Wege sowohl wie durch den elektrischen Strom um so leichter, je weniger Widerstand die Moleküle der „richtenden“ Einwirkung entgegensetzen. Die Kraft, welche die Moleküle in ihrer Lage zu halten sucht, heißt Koerzitivkraft. Weiches Eisen (z. B. Schmiedeeisen) und Stahlguß lassen sich leicht magnetisieren, weil hier die Koerzitivkraft klein ist; reiner Stahl dagegen schwer. Andererseits bewirkt die Koerzitivkraft,

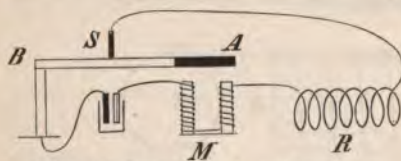


Fig. 94. WAGNER'scher Hammer.

daß nach Aufhörung des elektrischen Stromes das Eisen nicht sofort den Magnetismus verliert (sogenannte Hysterisis); und zwar geschieht dies um so langsamer, je größer die Koerzitivkraft ist. Gewöhnlich stellt man Elektromagnete in Form

von Hufeisenmagneten her, indem man auf die Schenkel eines hufeisenförmigen Eisenstückes mit Draht bewickelte Spulen bringt, die miteinander verbunden sind. Natürlich muß die Wicklung so sein, daß beim Durchfließen des Stromes die eine Endfläche ein Nordpol, die andere ein Südpol wird (Fig. 93). Die Stärke eines Elektromagneten hängt von verschiedenen Faktoren ab, auf die wir bald zu sprechen kommen werden.

Auf dem Elektromagnetismus beruhen unzählige Apparate. Hier wollen wir nur den sogenannten WAGNER'schen Hammer, einen

selbsttätigen Stromunterbrecher, kurz bezprechen. Bei demselben wird ein hufeisenförmiges Eisenstück  $M$  (Fig. 94) durch den herumgesandten Strom magnetisch und zieht den Anker  $A$  an, der durch eine Feder an  $B$  befestigt ist. Hierdurch wird aber die Feder von der Metallspitze  $S$  entfernt, somit die Leitung unterbrochen;  $M$  verliert seinen Magnetismus, und die Feder geht in ihre alte Lage zurück, wodurch der Strom wieder geschlossen wird, usw. Der WAGNER'sche Hammer ist z. B. ein Bestandteil der elektrischen Klingeln (indem hier mit dem Anker ein Klöppel verbunden ist, der an eine Glocke schlägt) sowie verschiedener Induktionsapparate.

Bevor wir die magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes weiter verfolgen, wird es zweckmäßig sein, den Begriff der **magnetischen Kraftlinien** kurz zu erörtern, da derselbe in neuerer Zeit vielfach zur übersichtlichen Erklärung der magnetischen und induktiven Vorgänge herangezogen wird.

Als magnetisches Feld bezeichnet man den Raum, innerhalb dessen ein Magnetpol magnetische Wirkungen ausübt. Je nach der Zahl der wirksamen Pole unterscheidet man ein- und mehrpolige Felder. Da jeder Magnet zwei Pole hat, kann man natürlich von einpoligen Feldern nur sprechen, wenn der andere Pol so weit entfernt ist, daß seine Wirkung unberücksichtigt bleiben kann. Bringt man nun dem Nordpol eines Magneten ein Eisenfeilspänchen nahe, so wird dies durch Influenz selbst magnetisch und bekommt einen Nordpol und einen Südpol. Es wird sich, da es leicht beweglich ist, so stellen, daß die von beiden Polen auf dasselbe wirkenden Kräfte sich das Gleichgewicht halten. Hat man viele Eisenfeilspäne, so ordnen sich dieselben in bestimmten Kurven, die man magnetische Kraftlinien nennt. Man kann dies leicht nachweisen, wenn man auf den Pol eines Magneten ein Kartenblatt oder eine Glasplatte legt und darauf Eisenfeilspäne streut. Die Anordnung der Eisenfeilspäne ergibt dann unmittelbar die Richtung der Kraftlinien in dem magnetischen Felde. Im einpoligen Felde strahlen die Kraftlinien radiär von dem Pole aus, im zweipoligen Felde verlaufen sie in geschlossenen Kurven zwischen den beiden Polen (Fig. 95). Um die Richtung der Kraftlinien eindeutig zu bezeichnen, geht man von der Wirkung des Magneten auf einen isolierten magnetischen Nordpol

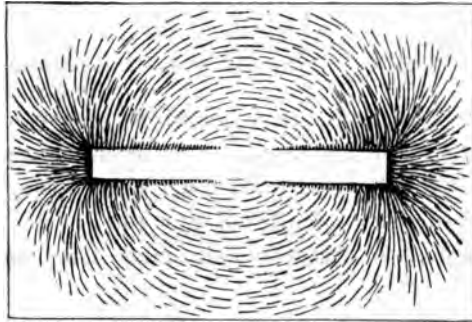


Fig. 95. Kraftlinienverlauf im Felde eines Stabmagneten.

aus — der in Wirklichkeit natürlich nicht existiert, da jeder Magnet zwei Pole hat. Ein solcher freier Nordpol würde sich außerhalb des Magneten längs einer Kraftlinie vom Nordpol zum Südpol bewegen. („Ein Nordpol schwimmt mit der Kraftlinie“.) Man bezeichnet dem-

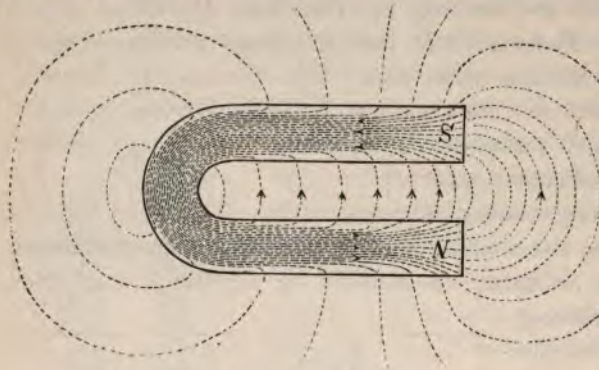


Fig. 96. Kraftlinien eines Hufeisenmagneten.

gemäß die Richtung der Kraftlinien ein für allemal dadurch, daß man annimmt, sie gehen außerhalb des Magneten vom Nordpol zum Südpol. Innerhalb des Magneten verlaufen sie natürlich vom Südpol zum Nordpol; man kann sich ja denken, daß der

(hypothetische) freie Nordpol hier von den Südpolen der Molekularmagneten angezogen, von ihren Nordpolen abgestoßen wird. Fig. 96 zeigt z. B. schematisch die Kraftlinien eines Hufeisenmagneten. Diese Figur zeigt natürlich nur die in der Zeichenebene liegenden Kraftlinien; in Wirklichkeit muß man sich die Kraftlinien nach allen

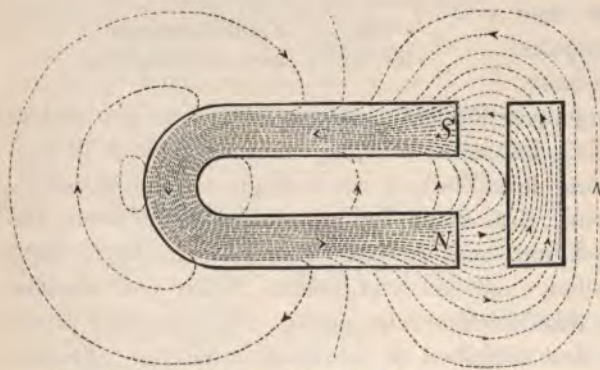


Fig. 97. Kraftlinien eines Hufeisenmagneten bei Annäherung von weichem Eisen.

Richtungen des Raumes verlaufend denken. Die Kraftlinien geben aber nicht nur die Richtung der magnetischen Kräfte in einem magnetischen Felde an, sondern können auch zu einer übersichtlichen Darstellung der Feldstärke selbst benutzt werden. Man macht nämlich die —

an sich willkürliche — Annahme, daß in einem homogenen Felde von einem Pol, der die Einheit der magnetischen Menge besitzt<sup>1</sup>, in einer zur Richtung der Kraftlinien senkrechten Ebene durch jedes Quadrat-

<sup>1</sup> Die absolute Einheit der magnetischen Menge oder Polstärke besitzt derjenige Magnetpol, der auf einen anderen, ihm gleichen, im Abstände 1 cm die Kraft 1 Dyne ausübt.

zentimeter 1 Kraftlinie geht; dann kann man offenbar die Polstärke 2 dadurch definieren, daß hier durch jedes Quadratcentimeter 2 Kraftlinien gehen usw. Kurz, die Anzahl der Kraftlinien, welche durch 1 qcm Fläche (die senkrecht zu ihrer Richtung ist) hindurchtreten, ist ein direktes Maß der Feldstärke an der betreffenden Stelle. Gehen z. B. 2000 Kraftlinien durch die Flächeneinheit, so heißt dies eben nichts anderes, als daß die nordmagnetische Menge 1 in der Richtung der Kraftlinien einen Zug bzw. Stoß von 2000 Dynen erleidet. Je dichter also die Kraftlinien an einer Stelle sind, desto größer ist hier die Feldstärke. Entfernen sie sich voneinander, so ist dies ein Ausdruck dafür, daß die Feldstärke daselbst abnimmt.

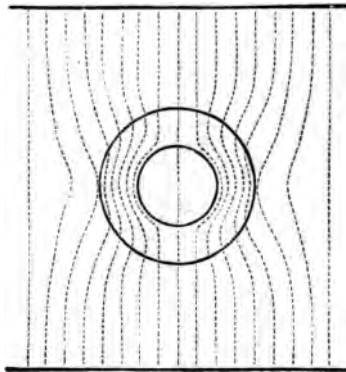


Fig. 98. Magnetische Schirmwirkung des Eisens.

Nähert man nun ein Stück weiches Eisen einem Magneten, so verlaufen die Kraftlinien etwa so, wie es Fig. 97 zeigt. Ein Vergleich mit Fig. 96 ergibt sofort, daß jetzt die Kraftliniendichte größer geworden ist, oder, was dasselbe besagt, daß die Feldstärke hier zugenommen hat. In der Tat

ist ja jetzt das Eisen selbst magnetisch geworden. Bringt man z. B. in ein magnetisches Feld einen Ring aus weichem Eisen, so gehen die meisten Kraftlinien bogenförmig um die Höhlung herum; nur wenige gehen durch sie hindurch (Fig. 98). Das heißt wieder nichts anderes, als daß im Innern eines solchen Eisenrings die Stärke des magnetischen Feldes sehr gering ist.

Man kann auch sagen, das Eisen besitzt eine magnetische Schirmwirkung. Hierauf beruht z. B. eine Methode, Magnetnadeln zu astasieren, d. h. vom Einfluß des Erdmagnetismus unabhängig zu machen (cf. S. 101); man braucht sie ja nur mit einem Ring bzw. einem Hohlzylinder aus weichem Eisen zu umgeben.

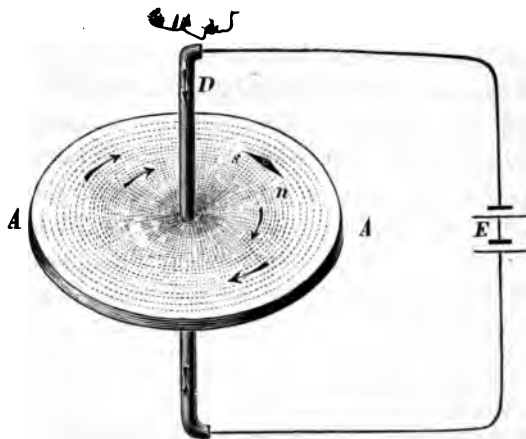


Fig. 99. Kraftlinien eines stromdurchflossenen Leiters.

Die Einführung des Kraftlinienbegriffs ist also in der Tat zur Veranschaulichung magnetischer Vorgänge sehr geeignet. Die Tatsache, daß ein Körper magnetisch wird, kann man z. B. auch dadurch ausdrücken, daß man sagt, er sendet jetzt Kraftlinien aus; den Verlust des Magnetismus dadurch, daß man sagt, er zieht seine Kraftlinien ein. Wird andererseits ein Körper von Kraftlinien geschnitten, so wird

er magnetisch. Entsprechend unserer Definition von der Richtung der Kraftlinien, entsteht an ihrer Eintrittsstelle ein Südpol, an ihrer Austrittsstelle ein Nordpol.

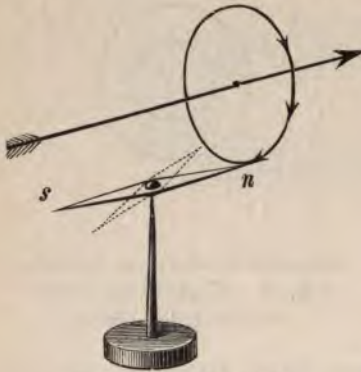


Fig. 100. Kraftlinien eines stromdurchflossenen Leiters.

mittels Eisenfeilspänen nachweisen kann, die man auf eine vom Leiter durchbohrte Pappscheibe bringt. Die Richtung der Kraftlinien ist hier derart, daß sie der Uhrzeigerrichtung entspricht, wenn man in der Richtung des Stromes auf sie sieht (Fig. 99). Es ist dies eine Bestätigung bzw. Verallgemeinerung der AMPÈRE'Schen Schwimmregel, wie aus Fig. 100 ohne weiteres hervorgeht, da ja der Nordpol einer Magnetnadel der Richtung einer Kraftlinie folgt. Ist die Strombahn

ein geschlossener Kreis, so setzen sich die Kraftlinien einzelner Teile der Strombahn zu solchen zusammen, die durch die Ebene des Stromkreises senkrecht oder schief hindurchgehen (Fig. 101). Bei einem Solenoid<sup>1</sup> endlich gehen die kreisförmigen Kraftlinien der einzelnen Teile der Strombahn so ineinander über, daß eine Anzahl Kraftlinien den inneren Hohlraum durchsetzt (Fig. 102).

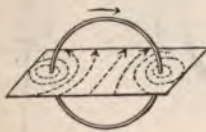


Fig. 101.  
Kraftlinien um einen Kreisstrom.

Es besteht somit eine große Ähnlichkeit zwischen dem magnetischen Felde und den Kraftlinien eines Solenoids und eines Stabmagneten. Und in der Tat verhält sich ein stromdurchflossenes Solenoid vollkommen wie ein Magnet. Es sucht nicht nur einen Magneten senkrecht zu der Richtung seiner einzelnen Stromkreise, mit anderen

<sup>1</sup> Ein Solenoid (*σωλήν* Röhre) ist eine Spirale mit weiten Windungen, eine Spule eine Spirale mit engen Windungen.

Worten also in die Richtung seiner Achse, zu stellen, sondern der Magnet wird auch entweder in die Spirale hineingezogen oder von ihr abgestoßen. Der Nordpol des Solenoid-Magneten ist wieder nach der AMPÈRE'schen Regel zu finden. In Fig. 103 ist er z. B. links; daher wird auf der rechten Seite ein magnetischer Nordpol angezogen, ein Südpol abgestoßen. Ein Stab aus weichem Eisen wird durch das Solenoid zuerst magnetisiert und dann wieder angezogen oder abgestoßen. Ist umgekehrt das Solenoid beweglich, so sucht der Magnet dasselbe in die Richtung seiner Achse zu stellen und übt auf dasselbe anziehende oder abstoßende Wirkung aus. Man kann dies

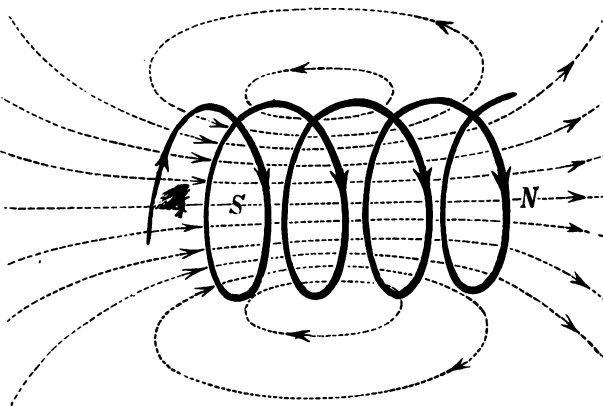


Fig. 102. Kraftlinien eines Solenoids.

mittels des AMPÈRE'schen Gestells (Fig. 104) nachweisen, bei dem das Solenoid frei beweglich in Quecksilbernäpfchen aufgehängt ist. Daher wird auch unter dem Einflusse des Erdmagnetismus die Achse eines solchen frei beweglichen Solenoids sich in die Richtung des magnetischen Meridians stellen. Ferner stoßen sich gleichnamige Pole zweier Solenoide ab, ungleichnamige ziehen sich an.

Die bereits erwähnte Tatsache, daß ein Eisenstab im Innern eines stromdurchflossenen Solenoids (bzw. einer stromdurchflossenen Spule) zum Elektromagneten wird, können wir jetzt auch so ausdrücken, daß der Eisenstab in ein magnetisches Feld kommt, daß Kraftlinien durch ihn hindurchtreten und ihn in derselben Richtung wie das Solenoid magnetisieren.



Fig. 103. Magnetische Wirkungen eines Solenoids.

Die Intensität des magnetischen Feldes im Innern eines Solenoids bzw. einer Spule ist proportional der Zahl der Ampèrewindungen. Darunter versteht man das Produkt aus Stromstärke (in Ampère) und der Anzahl der Windungen des Solenoids, gewöhnlich angegeben pro Zentimeter Länge des Solenoids. Und zwar sind die betreffenden Einheiten so gewählt, daß die Feldstärke (oder was ja dasselbe ist, die Kraftlinienzahl pro qcm) annähernd gleich der Zahl der Ampèrewindungen multipliziert mit  $\frac{5}{4}$  ist. Ein Solenoid z. B., das auf 1 cm

Länge 8 Windungen besitzt und von einem Strom von 5 Ampère durchflossen wird, hat 40 Ampèrewindungen, somit im Innern  $\frac{5}{4} \cdot 40 = 50$  Kraftlinien pro Quadratcentimeter; anders ausgedrückt, es besitzt die Feldstärke 50. Bringt man nun einen Eisenstab in das Innere des Solenoids, so wird die Zahl der Kraftlinien viel größer sein, denn das Eisen wird ja jetzt selbst zum Magnet und sendet ebenfalls Kraftlinien aus. Das Verhältnis der Zahl der jetzt vorhandenen Kraftlinien zur Zahl der Kraftlinien, die in dem leeren Solenoid waren, bezeichnet man gewöhnlich mit dem Namen magnetische Permeabilität oder magnetische Leitungsfähigkeit. Diese Größe — man könnte sie auch Verdichtungsfähigkeit für Kraftlinien nennen — ist also für Luft = 1, während sie für Eisen einen höheren Wert besitzt, der von

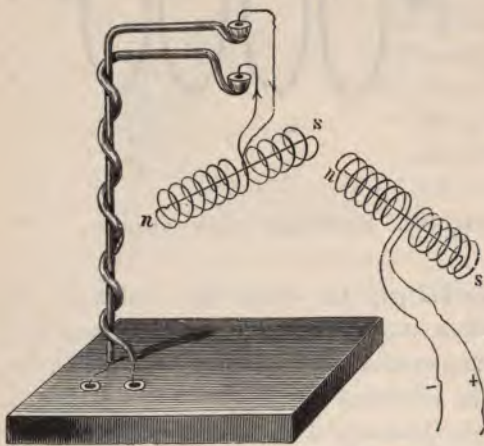


Fig. 104. AMPÈRE'SCHES GESTELL.

der Natur der Eisensorte abhängt; für Schmiedeeisen ist z. B. die Permeabilität größer als für Gußeisen. Der Ausdruck magnetische Permeabilität bedeutet mit anderen Worten die von der stofflichen Beschaffenheit abhängige, mehr oder weniger große Fähigkeit eines Körpers, Kraftlinien zu konzentrieren, d. h. magnetisch erregt zu werden. Es ist somit ein Analogon der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit (cf. S. 36).

FARADAY, BOSANQUET und andere Forscher haben gezeigt, daß sich das OHM'SCHE Gesetz auch für den Elektromagnetismus anwenden läßt, wenn es sich um geschlossene bzw. nahezu geschlossene magnetische Kreise handelt. Der Stromstärke entspricht hier die Stärke des magnetischen Feldes im Innern des Solenoids bzw. die Kraftlinienzahl; der elektromotorischen Kraft entspricht die den Magnetismus erzeugende Kraft, die auch magnetomotorische Kraft genannt wird und sich, wie wir sahen, durch die Gesamtzahl der Ampèrewindungen ausdrücken läßt. Dem elektrischen Widerstand entspricht der magnetische Widerstand. Es ist also

$$\text{Feldstärke} = \frac{\text{magnetomotorische Kraft}}{\text{magnetischer Widerstand}}$$

Der magnetische Widerstand ist wieder  $\frac{l}{q \cdot \mu}$ , wenn  $l$  die Länge,  $q$  der Querschnitt,  $\mu$  die magnetische Leitungsfähigkeit (Permeabilität) bedeutet. Letztere ist für Luft = 1.

Bisher haben wir die Wechselwirkungen zwischen Magneten und elektrischen Strömen, die elektromagnetischen bzw. magnetoelektrischen



Vorgänge, betrachtet. Aber es finden auch zwischen zwei Stromleitern Reaktionen statt, die man mit dem besonderen Namen **elektrodynamische Wirkungen** belegt. Für dieselben gelten folgende von AMPÈRE entdeckten Gesetze:

1. Parallelgerichtete Ströme ziehen sich an, wenn sie gleiche Richtung haben; haben sie entgegengesetzte Richtung, so stoßen sie sich ab.

2. Gekreuzte Ströme ziehen sich an, wenn in beiden der Strom gleichgerichtet ist, d. h. entweder in beiden nach der Kreuzungsstelle hin-, oder von ihr fortgeht; andernfalls stoßen sie sich ab. Wie aus Fig. 105 erhellt, ist das Resultat, daß gekreuzte Ströme sich in jedem Falle so zu stellen suchen, daß sie parallel werden, und daß der Strom in ihnen in gleicher Richtung fließt.

3. Die Kraft, mit der sich zwei elektrische Ströme anziehen oder abstoßen, ist proportional dem Produkte ihrer Stromstärken und dem Produkte der aufeinanderwirkenden Stromlängen, umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung.

Die ähnlichen Wirkungen, welche elektrische Ströme und Magnete entfalten, veranlaßten AMPÈRE, die Theorie aufzustellen, daß jedes Eisenmolekül dauernd von einem elektrischen Strom umflossen wird. Da nun diese Molekularströme verschiedene Richtungen haben, so heben sie sich gegenseitig auf. Werden sie aber durch einen Magneten oder elektrischen Strom parallelgerichtet, so wird das Eisen zum Magneten. Auf Grund dieser Theorie lassen sich die elektromagnetischen Erscheinungen ohne weiteres auf die elektrodynamischen Gesetze zurückführen.

Auf den elektromagnetischen und elektrodynamischen Vorgängen beruhen nun eine außerordentlich große Zahl von **Meßinstrumenten**, von denen wir einige besonders wichtige Typen nunmehr kurz besprechen wollen.

Bei den elektromagnetischen Meßinstrumenten (Galvanometern), die sowohl zur Messung von Stromstärken wie von Spannungen (Potentialdifferenzen) benutzt werden können (Ampèremeter, Voltmeter; cf. S. 58), kann man im wesentlichen drei Typen unterscheiden: Entweder wirkt nämlich der elektrische Strom in einer oder mehreren Windungen auf einen Magneten; oder eine stromdurchflossene Spule bewegt sich in einem magnetischen Felde; oder weiches Eisen wird in einem vom Strom hervorgebrachten Felde magnetisiert und in eine gewisse Richtung gebracht.

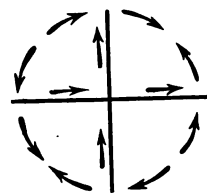


Fig. 105.  
Wirkung gekreuzter  
Ströme aufeinander.

Ein einfacher, auf dem ersten Prinzip beruhender, Apparat ist die Tangentenbussole. Die Magnetnadel befindet sich hier im Innern eines Stromkreises, der z. B. in Fig. 106 aus einem breiten, stromdurchflossenen Kupferbügel besteht und in die Richtung des magnetischen Meridians, entsprechend der Ruhelage der Nadel, eingestellt wird. Ist  $J$  die Stromstärke,  $\alpha$  der an einer Skala unterhalb der Nadel abzulesende Ablenkungswinkel, dann ist hier  $J = K \operatorname{tg} \alpha$ , wo  $K$  eine von der Konstruktion des Instrumentes abhängende Konstante, der sogenannte Reduktionsfaktor ist.



Fig. 106.  
Tangentenbussole.



Fig. 107. Vertikalgalvanometer  
zu Demonstrationszwecken.

Weit empfindlicher als die Tangentenbussolen, die sich nur zum Messen größerer Stromstärken eignen, sind die Multiplikatoren oder Nadelgalvanometer, bei denen die Wirkung des Stromes dadurch verstärkt ist, daß man ihn in vielen Windungen um die Nadel herumführt. Verbindet man mit der Magnetnadel einen Zeiger, der vor einer empirisch geeichten Skala spielt, so geben die Zeigerausschläge direkt die betreffende Stromstärke bzw. Spannung an. Fig. 107 zeigt z. B. ein einfaches Vertikalgalvanometer zu Demonstrationszwecken. Die Länge und Dicke des Multiplikatorrahtes wählt man so, daß sein Widerstand annähernd ebenso groß ist wie im übrigen Stromkreise. Bei kleinem Widerstande im Stromkreise nimmt man also wenige Windungen dicken Drahtes, bei großem viele Windungen dünnen Drahtes. Man benutzt daher gewöhnlich statt einer Spule

zwei miteinander verbundene Spulen, die gegen andere bequem ausgetauscht werden können. Der Magnet kommt dann zwischen die beiden Spulen (vgl. Fig. 108).

Für schwache Ströme, die ja nur kleine Ausschläge bedingen, wendet man mit Vorteil sogenannte Spiegelgalvanometer an. Hier ist mit dem Magneten ein kleiner Spiegel fest verbunden, der einen auf ihn fallenden Lichtstrahl auf eine bestimmte Stelle einer vor dem Galvanometer befindlichen Skala reflektiert. Dreht sich der Magnet, so dreht sich auch der Spiegel, und der Lichtstreifen auf der Skala macht eine entsprechende (größere) Exkursion. Man kann auch das Bild einer Skala auf den Spiegel werfen und direkt auf diesem durch ein Fernrohr beobachten. Fig. 108 zeigt z. B. ein mit Glockenmagnet und Kugeldämpfer (s. u.) versehenes WIEDEMANN'Sches Galvanometer von außen, Fig. 109 im Durchschnitt. Will man starke Ströme mit Spiegelgalvanometern messen, so müssen dieselben natürlich einen Nebenschluß bekommen (cf. S. 60).

Die Form der angewandten Magnete ist sehr verschieden. Dieselben haben nicht nur Nadel-, sondern auch Scheiben-, Ring-, Glockenform usw. Der SIEMENS'sche Glockenmagnet ist z. B. ein fingerhutähnlicher Körper aus Stahl, der an zwei oder mehreren Stellen der Länge nach aufgeschnitten ist (vgl. Fig. 60 und 109) und den Vorteil einer kräftigen Magnetisierung mit dem eines relativ geringen Trägheitsmomentes vereinigt.

Eine Steigerung der Empfindlichkeit eines Galvanometers erreicht man zunächst dadurch, daß man die Multiplikatorwindungen so nahe wie möglich an die Nadel bringt, dann aber dadurch, daß man den



Fig. 108.  
WIEDEMANN'Sches Galvanometer.

Einfluß des Erdmagnetismus beseitigt, der ja die Nadel im magnetischen Meridian festzuhalten sucht, also der richtenden Kraft des elektrischen Stromes direkt entgegenwirkt. Man bringt z. B. oberhalb des Galvano-

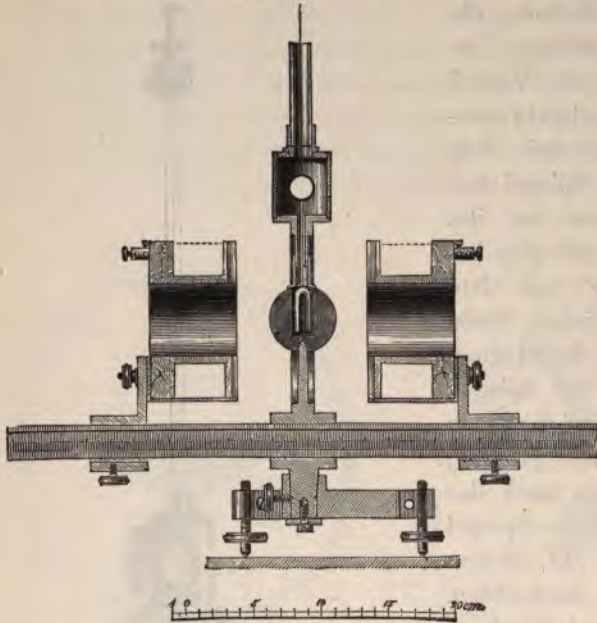


Fig. 109.

Durchschnitt durch das Galvanometer in Fig. 108.



Fig. 110. Spiegelgalvanometer mit Astasierungsmagnet.

meters einen Magnetstab verschieblich an, dessen Nordpol nach Norden zeigt, also dem Einfluß des Erdmagnetismus entgegenwirkt (die Erde hat bekanntlich im Norden ihren Südpol). Einen solchen

Astasierungsmagneten<sup>1</sup>, auch HAUY'scher Stab genannt, sieht man z. B. in Fig. 110. Man kann denselben Zweck auch durch ein astatics Nadelpaar erreichen. Letzteres besteht aus zwei gleichstarken Magnetnadeln (bzw. Systemen

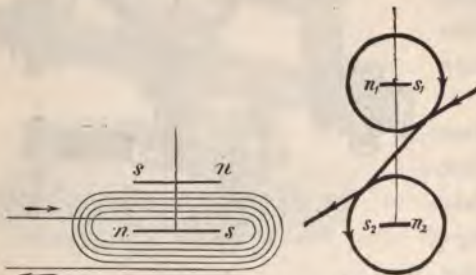


Fig. 111.

Astatics Nadelpaar.

Fig. 112.

kleiner Magnetstäbchen), die fest miteinander verbunden und so angeordnet sind, daß der Nordpol der einen Nadel über dem Südpol der anderen liegt. Natürlich muß, wie ohne weiteres aus der AMPÈRE'schen bzw. Rechten-Hand-Regel folgt, die eine Nadel außerhalb

<sup>1</sup> Von  $\alpha$  privativum und  $\sigma\tau\acute{\alpha}\sigma\iota\varsigma$  das Stillstehen. Die Magnetnadel hat hier keine Ruhelage, da sie eben nicht mehr durch Erdmagnetismus festgehalten wird.

des Stromkreises angebracht sein (Fig. 111), weil ja sonst die Nadeln ein entgegengesetztes Drehungsmoment bekämen, ein Ausschlag also überhaupt nicht erfolgen würde. Dasselbe erreicht man auch noch dadurch, daß man nach THOMSON zwei Nadeln in zwei Rollen übereinander verwendet und den Strom durch letztere in entgegengesetzte Richtung sendet (Fig. 112). Schließlich wird, wie wir schon sahen (S. 93), der Einfluß des Erdmagnetismus auch dadurch wesentlich geringer, daß man die Magnetnadel in ein Metallgehäuse einschließt (vgl. Fig. 108 und 109). Letzteres hat aber auch einen anderen Zweck.

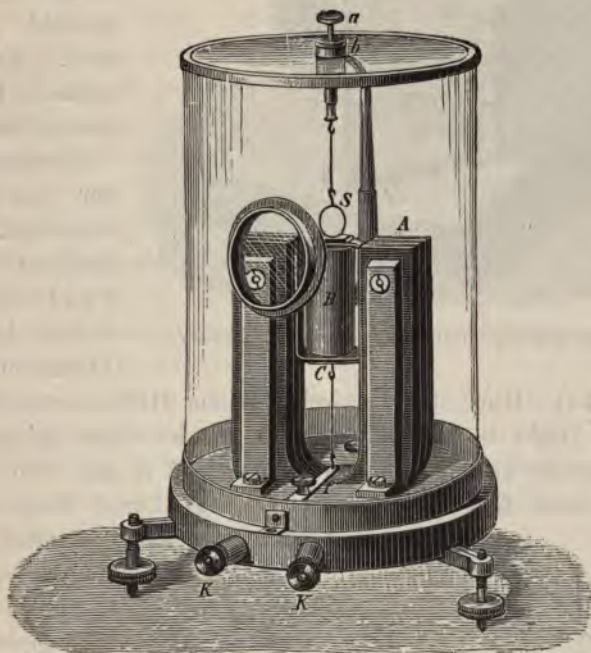


Fig. 113. Spiegelgalvanometer nach DEPREZ-D'ARSONVAL.

Es werden nämlich dadurch, wie wir bald näher besprechen werden, infolge von Induktionsströmen die Bewegungen der Nadel gedämpft, d. h. die Nadel stellt sich in die neue Ruhelage ein, ohne erst lange um sie herumzupendeln. Derartige Galvanometer nennt man dann aperiodische (weil die Nadel eben keine periodischen Schwingungen macht).

Bei den Galvanometern der zweiten Gruppe bewegt sich nicht eine Magnetnadel in einer feststehenden Multiplikatorspule, sondern umgekehrt eine stromdurchflossene Spule im Felde eines künstlichen starken Magneten. Es hat dies den großen Vorteil, daß dadurch die Instrumente unabhängig von äußeren Störungen (elektrischen Strömen in der Nachbarschaft usw.) werden, da deren Einfluß im Vergleich zu

dem des starken Feldmagneten verschwindend klein ist, während die astatischen Galvanometer empfindlich darauf reagieren. Fließt nun ein Strom durch die Spule, so sucht sie sich in die Richtung der

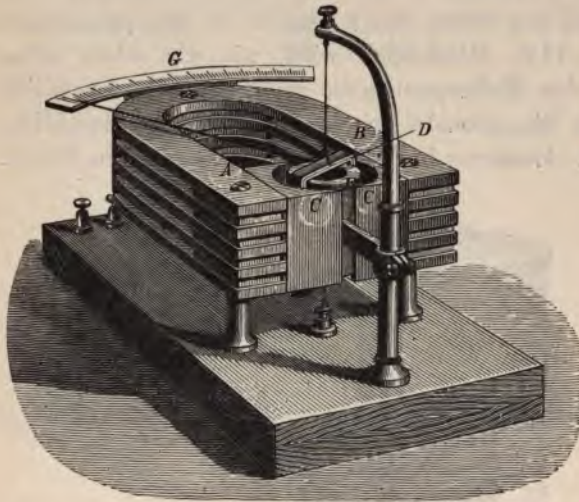


Fig. 114. Zeigergalvanometer nach DEPREZ-D'ARSONVAL.

Kraftlinien des äußeren Feldes zu stellen, bis diesem Bestreben durch die Elastizität eines Aufhängefadens oder einer Feder das Gleichgewicht gehalten wird. Die Stromstärke ist hier wieder proportional dem

Ablenkungswinkel der Spule aus der Ruhelage. Das bekannteste derartige Spulengalvanometer ist das von DEPREZ und D'ARSONVAL

(Fig. 113). Hier hängt zwischen einem Hufeisenmagneten *A* ein mit feinem Draht bewickelter Rahmen *C*, der einen Spiegel *S* trägt. Die Stromzufuhr erfolgt von den Klemmen *KK* aus oben und unten durch je einen feinen Draht.

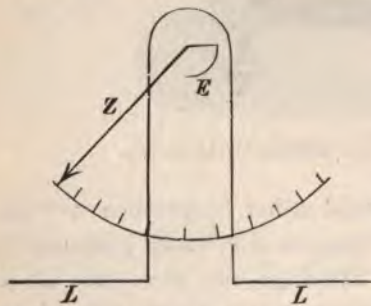


Fig. 115. Technisches Galvanometer nach HUMMEL.

Der obere Draht hängt an einem Stativ *b*, welches gestattet, die Spule zu zentrieren; der untere ist an einer Feder *f* befestigt, durch welche die Spannung der Aufhängedrähte reguliert werden kann. Im Innern der Spule *C* ist ein Hohlzylinder *B* aus weichem Eisen zur Verstärkung des magnetischen Feldes. Geht nun ein Strom durch die Spule *C*, so wird sie und zugleich der Spiegel *S* um einen bestimmten Winkel gedreht, der proportional der Stromstärke ist

und in der oben erwähnten Weise abgelesen wird. Das DEPREZ-D'ARSONVAL'sche Galvanometer wird auch als Zeigergalvanometer konstruiert (Fig. 114) und in dieser Form vielfach bei medizinischen Apparaten angewandt.

Bei den fast ausschließlich nur zu technischen Zwecken benutzten Galvanometern der dritten Gruppe wird ein Stück weiches Eisen unter

dem Einfluß eines Solenoids magnetisch und stellt sich in eine solche Lage, daß es seiner Längsrichtung nach von möglichst vielen Kraftlinien durchströmt wird. Von den zahlreichen Konstruktionen seien hier nur einige wenige angeführt. Bei dem in Fig. 115 schematisch abgebildeten Instrument von HUMMEL befindet sich ein dünnes Eisenblech  $E$  im Innern eines Solenoids (von dem in der Figur nur eine Windung gezeichnet ist). Geht durch letzteres ein Strom, so wird  $E$  an die Wandung angezogen und der damit verbundene Zeiger  $Z$  macht einen entsprechenden Ausschlag. Bei dem Federgalvanometer von KOHLRAUSCH (Fig. 116) wird ein an einer Spiralfeder aufgehängter Eisenkern ( $E$ ), an dem ein Zeiger ( $i$ ) befestigt ist, in das Innere eines Solenoids ( $S$ ) hineingezogen. Dasselbe Prinzip kommt bei dem sehr gebräuchlichen Strommesser zur Anwendung, der in Fig. 117 abgebildet ist; hier hängt ein sehr dünner, leichter Eisenkern im Innern einer Spule. Wird er in diese bei Stromdurchgang hineingezogen, so findet durch einen Winkelhebel eine Übertragung dieser Bewegung auf einen Zeiger statt, der somit einen entsprechenden Ausschlag vor der Skala macht.

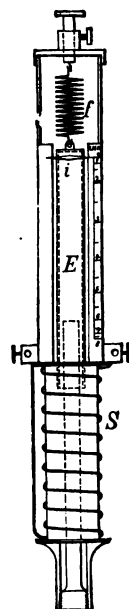


Fig. 116.  
Feder-galvanometer nach KOHLRAUSCH.

Schließlich gibt es noch Meßinstrumente, die auf der Wirkung einer festen, stromdurchflossenen Spule auf eine bewegliche beruhen. Da hier derselbe Strom durch beide Rollen geht, ist nach dem dritten AMPÈRE'schen Gesetze (S. 97) die Ablenkung dem Quadrate der Stromstärke proportional. Derartige Elektrodynamometer sind auch für Wechselströme verwendbar, da hier ja derselbe Strom durch beide Spulen geht und die elektrodynamische Wirkung nur davon abhängt, ob in beiden Stromkreisen dieselbe oder entgegengesetzte Stromrichtung herrscht. Fig. 118 zeigt ein solches Instrument, dessen Schema aus Fig. 119 hervorgeht. Der zu messende Strom fließt zuerst durch die Windungen des festen Rahmens ( $AA$ ), dann durch die (gewöhnlich nur einfache) Windung des beweglichen Rahmens ( $WW$ ), deren Enden mit dem einen Ende der festen Spule bzw. der einen Klemmschraube durch Quecksilbernäpfe ( $Q_1 Q_2$ ) verbunden sind. Geht ein Strom durch das Elektrodynamometer, so wird der ursprünglich rechtwinklig zur festen Rolle eingestellte bewegliche Rahmen abgelenkt, da er jetzt seine Ebene parallel zur Ebene des ersteren zu stellen

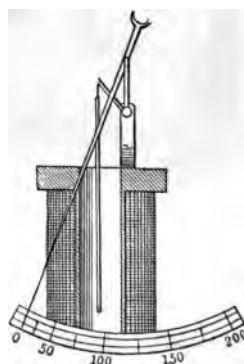


Fig. 117. Technisches Ampèremeter.

sucht (cf. S. 97). Der Ablenkungswinkel wird durch den über einer Skala beweglichen Zeiger  $Z^1$  gemessen, der mit dem beweglichen Rahmen durch eine Feder verbunden ist. Nach der Messung dreht man den Knopf  $R$  so lange, bis der Zeiger  $Z$  und die damit verbundene Windung  $W$  wieder in die Ruhelage zurückgekehrt sind.

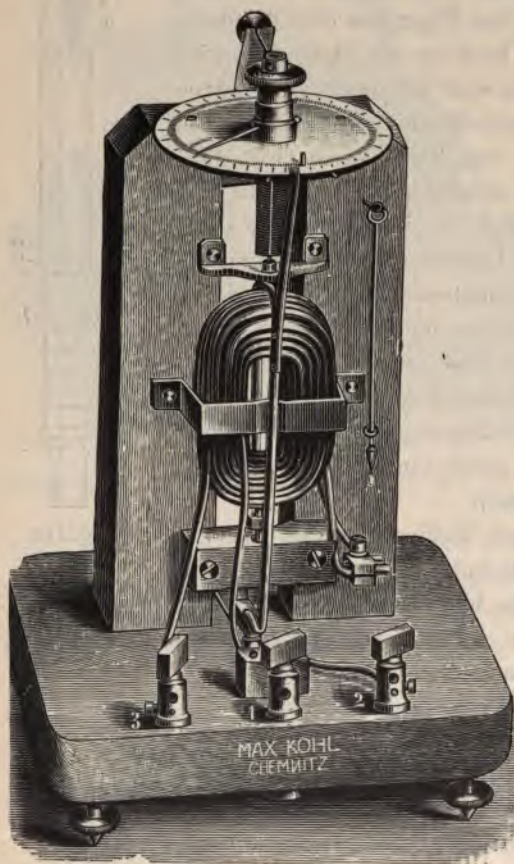


Fig. 118.

Elektrodynamometer nach SIEMENS und HALSKE.

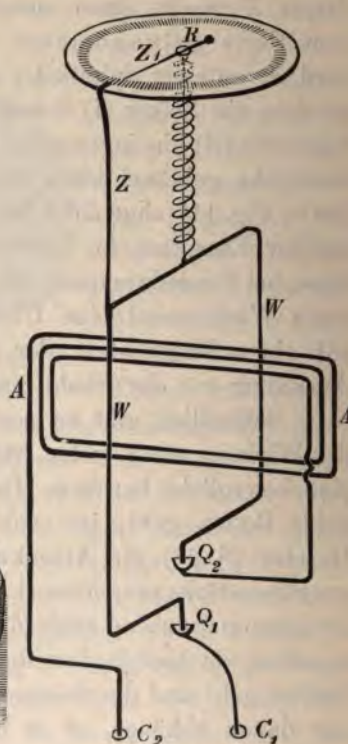


Fig. 119.

Im Anschluß hieran seien noch kurz die **Elektrizitätszähler** erwähnt, das sind Apparate, welche zur Messung der innerhalb einer bestimmten Zeit verbrauchten elektrischen Energie dienen. Der Stromeffekt entspricht bekanntlich dem Produkt aus Stromstärke und Spannung (den Volt-Ampère); die Stromarbeit dem Produkt aus Elektrizitätsmenge und Spannung (den Volt-Coulomb) oder, was dasselbe ist, dem Produkt aus Volt mal Ampère mal Zeit (cf. S. 63). Elektrizitätszähler, die zur Messung der Volt-Ampère (oder Watt) und der Zeit eingerichtet sind, heißen Wattstundenzähler oder kurz Wattzähler. Ist die



Spannung konstant, dann genügt die Messung der Ampèrestunden; denn durch Multiplikation mit der bekannten Spannung (z. B. 110 Volt) erhält man ja ohne weiteres die verbrauchte Stromenergie. Derartige Instrumente heißen Ampèrestunden- oder Coulombzähler. Wir wollen hier nur die in Deutschland verbreitetsten ARON'schen Elektrizitätszähler besprechen. Der Coulombzähler nach ARON besteht aus zwei Pendeln (Fig. 120), welche gleich lang und gleich schwer sind, also unter gewöhnlichen Verhältnissen auch gleiche Schwingungsdauer besitzen. Nun befindet sich aber am unteren Ende der einen Pendelstange (in der Figur ist es die rechte) ein Stahlmagnet, der über



Fig. 120. Coulombzähler nach ARON.



Fig. 121. Wattzähler nach ARON.

einer in den Stromkreis eingeschalteten Drahtrolle schwingt. Geht durch letztere ein Strom hindurch, so wirkt auf den rechten Pendel jetzt nicht nur die Erdanziehung ein, sondern auch die magnetische Anziehung des elektrischen Stromes; das rechte Pendel wird also jetzt anders schwingen als das linke, und zwar ist die Einrichtung so getroffen, daß es proportional der Stromstärke schneller schwingt. Beide Pendel stehen nun mit je einem Uhrwerk in Verbindung, das auf ein gemeinschaftliches Zählwerk in der Weise wirkt, daß letzteres nur durch eine Differenz der beiden Pendelschwingungen in Bewegung gerät. Solange also kein Strom durch die Spule geht, schwingen beide Pendel gleichmäßig, und das Zählwerk bewegt sich nicht; ist aber Strom eingeschaltet, so schwingt das rechte Pendel schneller als das linke und das Zählwerk gibt die Schwingungsdifferenz,

also auch das dieser entsprechende Produkt aus Stromstärke und Zeit (Ampèrestunden) an.

Diesen Coulombzähler ganz analog sind die Wattzähler; nur trägt hier die rechte Pendelstange keinen Stahlmagneten, sondern eine Drahtspule, die zwischen die beiden Hauptleitungen angebracht ist und innerhalb der Hauptstromspule schwingt (Fig. 121). Ist Strom eingeschaltet, so wirkt auf das rechte Pendel eine elektrodynamische beschleunigende Kraft ein, die abhängig ist von der Stromstärke in der Hauptleitung und der Stromstärke in der Nebenleitung. Letztere ist aber, da der Widerstand im Nebenschluß unverändert bleibt, nur abhängig von der Spannungsdifferenz zwischen den Enden des Nebenschlusses bzw. zwischen den beiden Hauptleitungen. Die beschleunigende Kraft ist also proportional dem Volt-Ampère bzw. Watt, und das Zählwerk zeigt daher Wattstunden an.

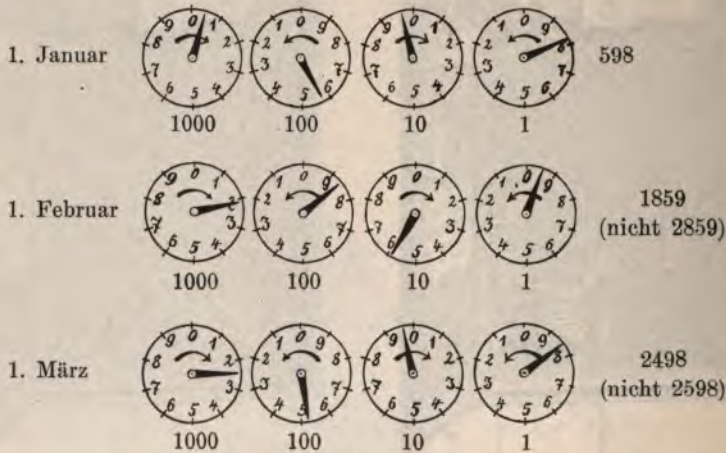


Fig. 122. Ablesung bei Elektrizitätszählern.

Das Zählwerk ist so eingerichtet, daß das erste Zifferblatt die Einer, das folgende die Zehner usw. anzeigt. Die abgelesene Zahl muß mit einer bestimmten Zahl, die bei jedem Apparat durch Eichung festgestellt wird, multipliziert werden, um die verbrauchte Elektrizitätsmenge direkt in Ampèrestunden bzw. die Stromenergie in Wattstunden zu erhalten. Beim Ablesen des Zählwerks ist zu beachten, nach welcher Seite zu zählen ist. Steht ein Zeiger dicht hinter einer Ziffer oder gerade auf ihr, so gibt die Zeigerstellung bei der nächstkleineren Einheit Aufschluß, welche Zahl zu nehmen ist. Fig. 122 zeigt z. B. drei verschiedene Zeigerstellungen. Der Stand des Zählwerks am 1. Januar ist leicht zu beurteilen. Am 1. Februar darf man nicht 2859 ablesen, da der Zeiger des Zifferblattes 100 noch nicht in der Nähe von 0, sondern erst zwischen 8 und 9 steht; um 2859 abzulesen, müßte der Zeiger des Zifferblattes 1000 in der Nähe von 3 stehen. Ähnlich ist es beim 1. März; der Unterschied der Zeigerstellung bei 498 und 598 geht deutlich durch Vergleich mit der Stellung am 1. Januar hervor.

Stellen wir die Resultate der Ablesung in einer kleinen Tabelle<sup>1</sup> zusammen, so erhalten wir:

Coulombzähler No. 105. Konstante = 1,14.

Datum der Ablesung	Ablesung	Differenz	Stromverbrauch in Ampèrestunden
1. Januar	598		
1. Februar	1859	1261	1437,5
1. März	2498	639	728,5

In der Zeit zwischen 1. Januar und 1. Februar ergibt das Zählwerk also eine Differenz von 1261. Um die in dieser Zeit verbrauchten Ampèrestunden (bzw. Wattstunden) zu erhalten, muß man 1261 mit der Konstante des Apparates 1,14 multiplizieren.

Meine Herren! Wir wenden uns nunmehr zu dem überaus wichtigen Kapitel der **Induktion**. Unter Induktionswirkung versteht man die von FARADAY entdeckte Erscheinung, daß in einem Stromkreise (der an und für sich stromlos sein kann) elektrische Ströme auftreten, wenn seine Lage in einem magnetischen Felde verändert wird, bzw. wenn die Stärke des magnetischen Feldes eine Änderung erfährt. Verbindet man z. B. die Enden einer (stromlosen) Spule mit einem Galvanometer und schiebt in die Höhlung derselben einen Stahlmagneten ein, so entsteht in der Spule, wie das Galvanometer zeigt, ein kurzdauernder Strom (Stromstoß); desgleichen, wenn man den Magneten wieder aus der Spule herauszieht. Die in der Spule entstehenden Ströme heißen Induktionsströme, der Vorgang selbst heißt Magnetinduktion. Da, wie wir sahen, ein Magnet stets durch ein stromdurchflossenes Solenoid ersetzt werden kann, so erhalten wir auch Induktionsströme, wenn wir ein solches (*A* Fig. 123) in die Spule (*B*) hineinschieben oder aus ihr herausziehen. Man spricht dann im Gegensatz zur Magnetinduktion von dynamo-elektrischer oder Voltainduktion (obwohl ja beide Vorgänge dem Wesen nach gleich sind) und nennt den Strom, durch dessen Annäherung oder Entfernung in der (ursprünglich stromlosen) Spule ein Strom entsteht oder induziert wird, primären oder induzierenden Strom, die Stromstöße in der Spule sekundäre oder Induktionsströme. Solche Induktionsströme entstehen nun nicht nur, wenn man den primären Stromkreis dem sekundären nähert bzw. von ihm entfernt, sondern

<sup>1</sup> Die Tabelle und die Fig. 122. sind entnommen aus v. GAISBERG, Taschenbuch für Monteure elektrischer Beleuchtungsanlagen. 9. Auflage. München und Leipzig 1895.

auch, wenn der sekundäre Stromkreis gegen den primären verschoben wird. Sie entstehen aber auch beim Stärker- und Schwächerwerden, sowie beim Schließen und Öffnen des primären Stromes. Gerade das letztere Prinzip kommt bei den medizinisch gebrauchten Induktions-

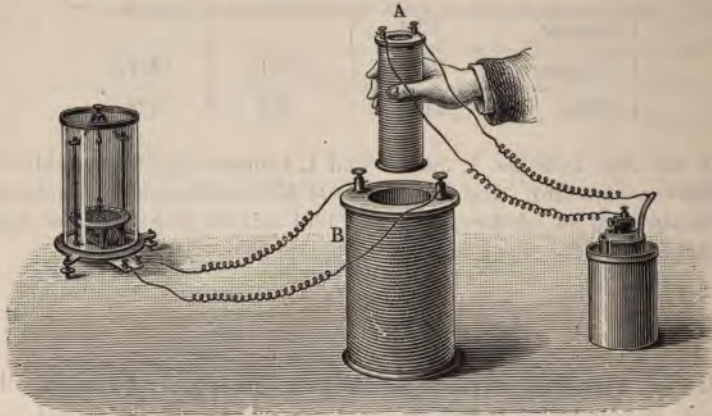


Fig. 123. Nachweis der Induktion.

apparaten fast ausschließlich zur Anwendung. Fig. 124 zeigt z. B. schematisch eine derartige Anordnung. Wird im primären Stromkreise ( $P$ ), der eine eigene Stromquelle ( $E$ ) besitzt, bei ( $U$ ) der Strom geschlossen bzw. geöffnet, so entsteht im benachbarten sekundären

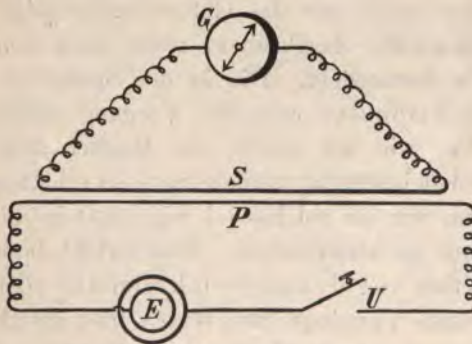


Fig. 124. Schema der Induktion.

Stromkreise ( $S$ ) ein Stromstoß, wie das Galvanometer ( $G$ ) anzeigt. In der Praxis wird die Stromschließung und -öffnung durch besonders konstruierte automatische „Unterbrecher“ bewirkt, auf die wir bald zu sprechen kommen werden. Bei der Entstehung von Induktionsströmen ist es nun ganz gleichgültig, ob die sekundäre

Spule von vornherein stromlos oder von einem Strom durchflossen ist. Im letzteren Falle verstärken oder schwächen die Induktionsströme den bereits vorhandenen Strom je nach ihrer Richtung. Die erwähnten verschiedenen Möglichkeiten kann man kurz folgendermaßen zusammenfassen: In einer sekundären Spule entsteht ein Induktionsstrom, wenn sie die Kraftlinien eines magnetischen Feldes schneidet, bzw. wenn sich die Zahl der von ihr eingeschlossenen Kraftlinien

ändert. Ist z. B. in dem beschriebenen Versuch der Magnet noch weit von der Spule entfernt, so sind in ihr keine Kraftlinien vorhanden; nähert man den Magneten, so entstehen in ihr immer mehr Kraftlinien, bis das Maximum erreicht wird, wenn der Magnet in ihrer Mitte ist. Beim Herausziehen des Magneten ist es umgekehrt, also auch hier ändert sich die Zahl der Kraftlinien in der Spule.

Es erheben sich nun zwei wichtige Fragen: Welches ist die Richtung der Induktionsströme, und wie groß ist ihre elektromotorische Kraft? Was zunächst die **Richtung der Induktionsströme** betrifft, so entsteht beim Schließen, Stärkerwerden und Nähern des primären Stromes ein ihm entgegengesetzter, beim Öffnen, Schwächerwerden und Entfernen ein ihm gleichgerichteter Induktionsstrom im sekundären

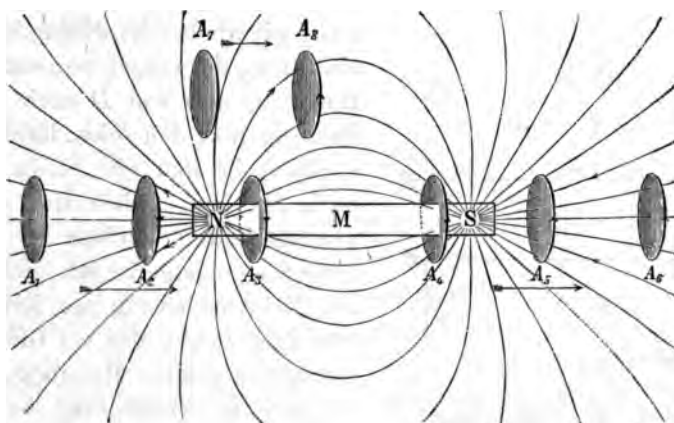


Fig. 125.

Richtung der Induktionsströme bei Bewegung im magnetischen Felde.

Stromkreise. Die Verstärkung des primären Stromes ist ja offenbar ein Analogon zur Annäherung desselben; das Schließen des Stromes kann ebenso als plötzliche Annäherung aus unendlicher Ferne betrachtet werden. Natürlich entstehen auch Induktionsströme von entsprechender Richtung, wenn an Stelle des primären Stromkreises ein Magnet (Feldmagnet) vorhanden ist, der sich dem sekundären Stromkreis nähert oder entfernt bzw. umgekehrt. Durch rasches Schließen und Öffnen des primären Stromes bzw. durch Rotation eines Magneten vor einem Stromkreise (oder umgekehrt) erhält man also Ströme von ständig wechselnder Richtung, sogenannte Wechselströme, deren Frequenz beliebig modifiziert werden kann. Über die Richtung der Induktionsströme in besonderen Fällen gibt es mehrere Regeln, von denen wir hier nur eine anführen wollen: Blickt man auf einen im Felde eines Magneten bewegten Drahtring in der Richtung der (ja stets vom Nordpol zum Südpol verlaufenden) Kraftlinien, so fließt

der im Ringe entstehende Induktionsstrom in der Richtung des Uhrzeigers, falls bei der Bewegung die Zahl der Kraftlinien abnimmt, und in umgekehrter Richtung, falls sie zunimmt (cf. Fig. 125 und 133).

Ein alle Spezialfälle umfassendes Gesetz hat LENZ aufgestellt. Das LENZ'sche Gesetz lautet folgendermaßen: Die Richtung der Induktionsströme ist immer derartig, daß sie durch elektromagnetische bzw. elektrodynamische Rückwirkung die Bewegung zu hemmen suchen, durch welche sie entstanden. Hierbei sind wieder Schließung und Stärkerwerden des Stromes (bzw. Magnetismus) gleichbedeutend mit Annäherung, Öffnung und Schwächerwerden mit Entfernung. Machen wir uns das an einem konkreten Beispiel klar: Im primären Leiter *I* (Fig. 126) fließt der Strom von *A* nach *B*. Nähert man demselben den sekundären Leiter *II*, so ent-

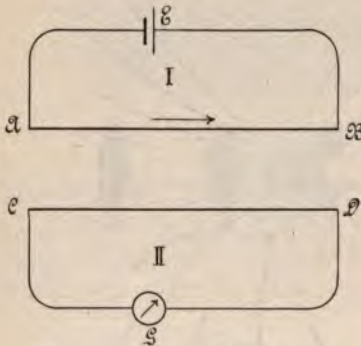


Fig. 126. Zur Erläuterung des LENZ'schen Gesetzes.

steht, wie wir bereits wissen, in diesem ein Strom, der entgegengesetzte Richtung hat, also von *D* nach *C* fließt. Entfernt man den sekundären Leiter, so fließt in ihm ein Strom von *C* nach *D*. Nun ziehen sich parallele gleichgerichtete Ströme an (S. 97), entgegengesetztgerichtete stoßen sich ab. Bei Annäherung bzw. Entfernung von *II* entsteht also ein Induktionsstrom von solcher Richtung, daß er die weitere Annäherung bzw. Entfernung zu hemmen sucht. Was für diesen Fall gilt, trifft auch für alle

anderen Fälle zu. Das LENZ'sche Gesetz ist offenbar nur ein Spezialfall des Gesetzes von der Erhaltung der Energie und ein Ausdruck dafür, daß die Induktionsströme nicht aus nichts entstehen, sondern ein Äquivalent der mechanischen Arbeit sind, die bei der Bewegung eines Leiters in einem magnetischen Felde erforderlich ist.

Auf dem LENZ'schen Gesetze beruht es z. B., daß eine Magnetenadel, die über einer Kupferplatte oder im Innern einer Kupferkugel schwingt, durch die im Kupfer induzierten Ströme bald zur Ruhe kommt. Wir haben bereits gesehen, daß auf diese Weise bei den „aperiodischen“ Galvanometern die „Dämpfung“ der Nadelschwingungen erzielt wird (vgl. S. 101).

Zuweilen sind jedoch die in größeren Metallmassen induzierten Ströme — man nennt sie Wirbelströme, auch wohl FOUCAULT'sche Ströme — unerwünscht, z. B. bei den Dynamomaschinen, wo sie die Bewegung des Ankers hemmen würden. Man beseitigt sie dann dadurch, daß man den Eisenkern des Ankers nicht massiv macht, sondern

aus einzelnen Eisendrähten bzw. Eisenplatten herstellt und damit die Bahn der Wirbelströme gewissermaßen zerschneidet.

Wir kommen nun zur zweiten oben aufgestellten Frage: Wovon hängt die **Größe der induzierten elektromotorischen Kraft** ab? Auch hierauf hat FARADAY die Antwort gegeben. Die induzierte elektromotorische Kraft ist nämlich proportional der Feldstärke ( $H$ ) des induzierenden Stromes oder Magneten, ferner der Länge des sekundären Stromkreises ( $l$ ) und drittens der Geschwindigkeit, mit der sich die Lage oder Stärke des induzierenden Stromes bzw. Magneten ändert ( $v$ )

$$E = H \cdot l \cdot v.$$

Diese Formel entspricht indes den Verhältnissen nur dann genau, wenn der sekundäre Leiter senkrecht zu den Kraftlinien des primären steht bzw. verschoben wird. Bildet er mit ihnen den Winkel  $\omega$ , so gilt die allgemeine Formel

$$E = H \cdot l \cdot v \sin \omega.$$

Steht der sekundäre Leiter senkrecht zu den Kraftlinien, wird also  $\sin \omega = 1$ , so ist die elektromotorische Kraft ein Maximum. Ist dagegen  $\sin \omega = 0$ , d. h. steht oder bewegt sich der sekundäre Leiter parallel den Kraftlinien, so ist die induzierte elektromotorische Kraft ebenfalls = 0.

Man kann nun diese Beziehungen durch folgendes sehr einfaches Gesetz ausdrücken: Die induzierte elektromotorische Kraft in einem geschlossenen kreisförmigen Leiter ist proportional der Kraftlinienzahl, die pro Sekunde in die von ihm begrenzte Fläche eintreten bzw. austreten. Aus diesem Gesetze und den obigen Ausführungen folgt ohne weiteres, daß man zur Erzielung einer großen elektromotorischen Kraft der Induktionsströme folgende Mittel zur Verfügung hat: 1. Große Feldstärke des primären Stromes oder Magneten. Hat man z. B. ein Solenoid, so verstärkt man dessen Feld durch einen Eisenkern (vgl. S. 96). 2. Man nimmt als sekundären Stromkreis eine Spule mit zahlreichen Windungen. 3. Rasche Änderung in der Stärke oder Lage des primären Stromkreises bzw. Magneten; also z. B. rasche Rotation im magnetischen Felde bzw. schnelle Unterbrechung.

Aus der obigen Formel  $E = H \cdot l \cdot v$  kann man übrigens die absolute (elektromagnetische) Einheit der elektromotorischen Kraft ableiten.  $E$  ist nämlich = 1, wenn  $H$ ,  $l$  und  $v$  ebenfalls = 1 sind. In Worten: Die Einheit der elektromotorischen Kraft ist vorhanden, wenn ein Leiter von 1 cm Länge senkrecht zu den Kraftlinien so bewegt wird, daß er in 1 Sekunde 1 Kraftlinie schneidet. ( $H = 1$  bedeutet ja, daß die Feldintensität bzw. Kraftlinienzahl pro qcm = 1 ist.) Die eben definierte Einheit ist aber so klein, daß man für praktische Zwecke das  $10^8$  fache davon als Einheit benutzt. Diese praktische Einheit ist eben das Volt. Es ist daher

$$E = \frac{H \cdot l \cdot v}{10^8} \text{ Volt.}$$

Induktion findet nun nicht nur vom primären Stromkreis auf den sekundären, sondern auch im primären Stromkreis selbst statt. Besteht dieser nämlich aus einer stromdurchflossenen Spule, so entstehen beim Schließen und Öffnen des Stromes zwischen je zwei benachbarten Windungen ebenfalls Induktionswirkungen, die man als **Selbstinduktion** bezeichnet. Die durch Selbstinduktion hervorgerufenen Ströme heißen **Extraströme**, und zwar unterscheidet man einen Schließungs-Extrastrom und einen Öffnungs-Extrastrom. Selbstinduktion tritt natürlich nicht nur beim Schließen und Öffnen des Hauptstromes, sondern auch bei Schwankungen seiner Intensität auf. Das Entstehen der Extraströme kann man sich auch durch

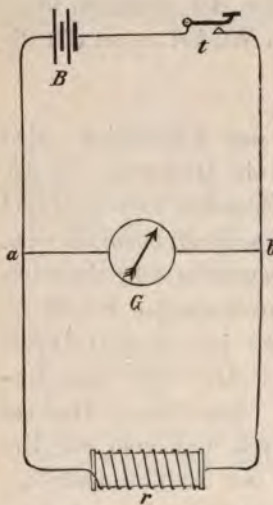


Fig. 127. Nachweis des Öffnungs-Extrastroms.

folgende Überlegung klar machen. Fließt ein Strom durch eine Spule oder einen Leiter, so wird derselbe von Kraftlinien umkreist (cf. S. 94). Ändert sich nun die Stromstärke, so nimmt die Zahl der Kraftlinien zu oder ab. Wie wir sahen, wird aber durch das Ein- bzw. Aus-treten von Kraftlinien in die von einem Leiter umgebene Fläche eine elektromotorische Kraft induziert, die eben hier Ursache der Extraströme ist.

Die Extraströme müssen nun wie alle Induktionsströme nach dem LENZ'schen Gesetze eine derartige Richtung besitzen, daß sie den Intensitätsschwankungen des Hauptstromes, durch die sie ja entstehen, entgegenwirken. Hierbei ist wieder das Schließen des Stromes als plötzliches Ansteigen der Stromstärke von 0 auf einen bestimmten

Wert, das Öffnen als plötzliches Absinken auf 0 zu betrachten. Ein Schließungsextrastrom hat also entgegengesetzte Richtung wie der Hauptstrom. In Wirklichkeit kommt er nicht zustande, da ja der Hauptstrom prävaliert; aber er schwächt den Hauptstrom und bewirkt, daß dieser nur allmählich seine volle Stärke erlangt. Der Öffnungsextrastrom dagegen hat dieselbe Richtung wie der Hauptstrom; wird letzterer durch die Öffnung unterbrochen, so bleibt in der Strombahn noch die gleichgerichtete elektromotorische Kraft des Öffnungsstromes wirksam, die, wie wir bald sehen werden, sehr groß ist und z. B. die Unterbrechungsstelle in Form des sogenannten Öffnungsfunken überbrückt. So lange dieser Öffnungsfunke dauert, besteht also trotz der Unterbrechung des Hauptstromes in der Strombahn noch ein Strom, eben der Extrastrom.



Man kann diesen Extrastrom z. B. dadurch nachweisen, daß man parallel zum Hauptstromkreise, in dem sich eine Spule mit Selbstinduktion ( $r$  Fig. 127) befindet, ein Galvanometer ( $G$ ) bzw. eine Glühlampe einschaltet. Unterbricht man den Strom bei  $t$ , so zeigt bei der Stromöffnung das Galvanometer einen Ausschlag, bzw. die Lampe leuchtet auf. Auch bei jeder elektrischen Klingel kann man den Extrastrom verspüren, wenn man mit beiden Händen die Leitung zu beiden Seiten der Unterbrechungsstelle des WAGNER'schen Hammers anfaßt.

Die Wirkung der Selbstinduktion auf den Hauptstrom ist also eine verzögernde, hemmende: Beim Stromschluß verlangsamt sich das Ansteigen des Hauptstromes zur vollen Stärke, bei der Stromöffnung wirkt sie dem plötzlichen Aufhören des Stromes durch die Öffnungsspannung bzw. den Öffnungsfunken entgegen.

Die Selbstinduktion kann also quasi als eine Art „elektrischer Trägheit“ betrachtet werden, zu der das Beharrungsvermögen ponderabler Massen ein gewisses (kein vollständiges) Analogon bildet. Stehendes Wasser z. B. in einer Röhre kann ja auch nicht plötzlich, sondern nur allmählich aus dem Zustand der Ruhe in den der Bewegung übergeführt und andererseits, wenn es einmal in Bewegung begriffen ist, nicht ohne Aufwendung sehr erheblicher Kraft momentan zum Stillstand gebracht werden. Aber auch in letzterem Falle bewahrt es die Tendenz zur Fortbewegung, die sich als Druck auf die Röhrenwandungen (der Öffnungsspannung vergleichbar) äußert; eventuell kann es sogar zur Sprengung der Röhre bzw. des Hindernisses kommen, was wieder dem Durchschlagen des Induktors bzw. dem Öffnungsfunken entspricht.

Die Größe der elektromotorischen Kraft der Selbstinduktion ist wieder abhängig von der Zahl der Kraftlinien, die den Leiter in der Zeiteinheit durchschneiden (cf. S. 111). Sie wird also in erster Linie um so größer sein, je rascher sich die Stromstärke des Hauptstromes ändert. Da nun in einer Spule der Hauptstrom, wie wir sahen, bei der Schließung nur langsam bis zu seiner vollen Höhe anwächst, während er bei der Öffnung fast momentan auf Null sinkt, so folgt ohne weiteres, daß der Öffnungsextrastrom eine wesentlich stärkere elektromotorische Kraft besitzt als der Schließungsextrastrom. Deshalb kann er auch den Öffnungsfunken erzeugen (s. o.). Die Selbstinduktion einer Spule wird ferner dadurch verstärkt, daß man einen Eisenkern in ihr Inneres bringt, weil dieser ja beim Stromschluß magnetisch wird, wodurch sich die Zahl der entstehenden Kraftlinien wesentlich erhöht (cf. S. 111). Die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion hängt aber noch von einem anderen Faktor ab, nämlich von der Form des betreffenden Stromleiters. Haben wir nämlich einen Strom, dessen Intensitätsschwankungen eine bestimmte Anzahl von Ampère pro Sekunde betragen, so ist die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion in seinem Stromkreise doch ganz verschieden, je nach der Form desselben. Mit anderen Worten, um den wahren Wert der elektromotorischen Kraft der Selbstinduktion zu erhalten, muß man die Anzahl der Kraftlinien, die durch die Intensitätsschwankungen

des Hauptstromes entstehen, noch mit einem von der Form des Leiters abhängigen Faktor multiplizieren, den man den Selbstinduktionskoeffizienten oder das Selbstpotential des Leiters nennt und gewöhnlich mit  $L$  bezeichnet.  $L$  ist direkt proportional dem Querschnitt des Leiters und dem Quadrate seiner Windungszahl, umgekehrt proportional seiner Länge. Ist die Intensitätsschwankung des Hauptstromes pro Sekunde eine gegebene Größe, so ist also die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion proportional dem Selbstinduktionskoeffizienten. Die Einheit desselben, die man nach dem gleichnamigen Physiker 1 Henry nennt, besitzt eine Spule, in der (durch Selbstinduktion) die elektromotorische Kraft 1 Volt entsteht, wenn sich die Stromstärke des Hauptstromes in 1 Sekunde um 1 Ampère ändert. Es ist also

$$1 \text{ Henry} = \frac{1 \text{ Volt} \times 1 \text{ Sekunde}}{1 \text{ Ampère}} = 1 \text{ Ohm} \times 1 \text{ Sekunde.}$$

Der Selbstinduktionskoeffizient ist im allgemeinen von der Natur des Leiters unabhängig. Nur wenn er aus Eisen besteht, kommt noch

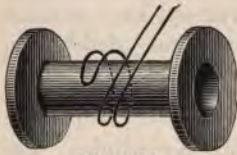


Fig. 128.

Bifilare Wicklung.

dessen magnetische Wirkung in Betracht. Am größten ist die Selbstinduktion in Spulen, namentlich, wenn in ihrem Innern ein Eisenkern ist; am kleinsten in geraden Drähten. Man kann aber auch induktionsfreie Spulen herstellen, indem man nämlich den Draht auf sie bifilar wickelt, wie es Fig. 128 zeigt. Da hier nämlich der Strom in zwei benachbarten Windungen entgegengesetzte Richtung hat, so heben sich die Extrastrome gegenseitig auf.

Die Selbstinduktion ist natürlich auch von Einfluß auf die Induktionsströme, die in einer sekundären Spirale entstehen. Auch hier wird natürlich der Öffnungsstrom wieder stärker sein als der Schließungsstrom. Die Verhältnisse werden hier dadurch sehr kompliziert, daß auch in der sekundären Spirale Selbstinduktion auftritt, und daß durch das Entstehen und Vergehen der Induktionsströme in der sekundären Spirale rückwärts wieder der Verlauf des primären Stromes beeinflußt wird.

## VI. Elektrische Maschinen und Transformatoren. Wechselströme und Drehströme.

Meine Herren! Nachdem wir einen Überblick über die wichtigsten Gesetze der Induktion gewonnen haben, wenden wir uns zu ihrer Anwendung in der Praxis und wollen zunächst kurz die Haupt-

prinzipien der elektrischen Maschinen und Transformatoren besprechen und dabei zugleich etwas näher auf das Wesen der Wechselströme eingehen.

Die elektrischen Maschinen, die alle auf Induktionswirkungen beruhen, dienen dazu, mechanische Energie in elektrische zu verwandeln und umgekehrt. Und zwar geschieht dies dadurch, daß sich ein Stromleiter in einem magnetischen Felde so bewegt, daß er eine variable Zahl von Kraftlinien schneidet, oder daß andererseits ein elektrischer Strom einem im magnetischen Felde befindlichen Leiter zugeführt wird. Dementsprechend unterscheidet man stromerzeugende Maschinen (Generatoren) und Kraftmaschinen (Elektromotoren). Die elektrischen Maschinen bestehen im wesentlichen

1. aus dem induzierenden System, welches das magnetische Feld liefert. Der „Feldmagnet“ ist entweder ein permanenter Stahlmagnet oder (jetzt fast ausschließlich) ein Elektromagnet. Im ersteren Falle spricht man von magnetelektrischen, im letzteren Falle von elektromagnetischen Maschinen;

2. aus dem induzierten System, auch Induktor, Anker oder Armatur genannt. Dasselbe besteht aus Leitern, die sich durch Zuführung mechanischer oder elektrischer Energie im magnetischen Felde des induzierenden Systems (gewöhnlich rotierend) bewegen, und dadurch eine induzierte elektromotorische Kraft bzw. kinetische Energie erhalten.

Je nachdem der gelieferte Strom ständig dieselbe oder wechselnde Richtung hat, unterscheidet man Gleichstrommaschinen und Wechselstrommaschinen.

Bei den **Gleichstrommaschinen** sind wieder solche zu unterscheiden, die von vornherein Gleichstrom liefern, und solche, bei denen ursprünglich Wechselströme entstehen, die erst durch einen sogenannten Kommutator gleichgerichtet werden. Für die Praxis kommen gegenwärtig nur letztere in Betracht.

Die ersten, von PIRRI erfundenen magnetelektrischen Maschinen bestanden aus einem hufeisenförmigen Stahlmagneten, der um eine Mittelachse gedreht wurde und sich dabei einem Spulenpaar abwechselnd näherte und entfernte; dadurch wurden in letzterem Ströme induziert. Später ließ man den Magneten feststehen und das Spulenpaar vor dem Magneten rotieren. Nach diesem Prinzip war z. B. die Maschine von STÖHRER konstruiert (Fig. 129), die früher öfter zu medizinischen Zwecken verwandt wurde. In der Mitte des aus mehreren Lamellen bestehenden Hufeisenmagneten *NS* befindet sich die Rotationsachse, um die sich die — auf einem hufeisenförmigen Eisenstück befindlichen — Spulen  $R_1$  und  $R_2$  drehen. Bewegt sich bei der Drehung eine Spule am Nordpol vorbei, so entsteht in ihr

ein Induktionsstrom von bestimmter Richtung, die man nach den früher erwähnten Regeln (S. 109) finden kann. Bewegt sie sich am Südpol vorbei, so entsteht ein Induktionsstrom von entgegengesetzter Richtung. In beiden Spulen entstehen somit gleichzeitig verschieden gerichtete Ströme (denn während z. B.  $R_1$  den Nordpol passiert, bewegt sich ja  $R_2$  am Südpol vorbei); durch geeignete Wicklung (Fig. 130) kann man jedoch aus den beiden entgegengesetzten Impulsen einen Strom von bestimmter Richtung erhalten, die sich natürlich in die entgegengesetzte verwandelt, wenn der Anker bei der Drehung die Indifferenz-

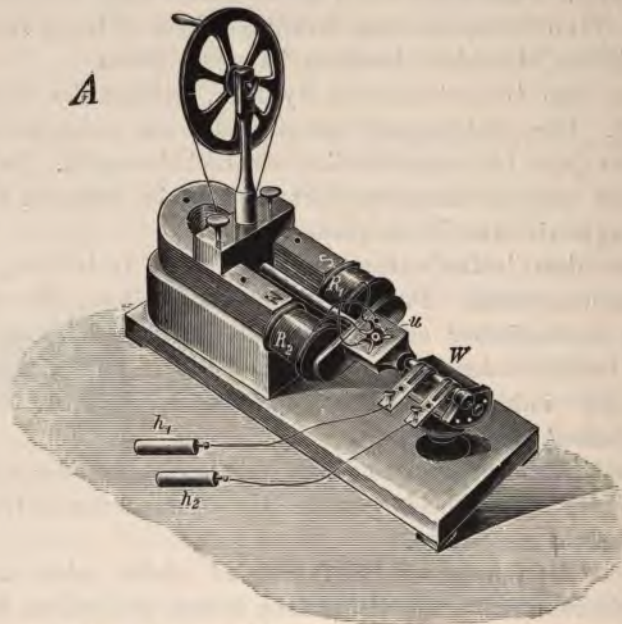


Fig. 129. Magnetoelektrische Maschine nach STÖHRER.

zone passiert, das ist die Ebene senkrecht zur Verbindungslinie der Pole des Feldmagneten. (Vgl. hierzu Fig. 133.) Bei jeder Drehung erhält man daher zunächst zwei Ströme von entgegengesetzter Richtung, also Wechselströme, die erst durch eine geeignete Vorrichtung, den sogenannten Stromwender oder Kommutator, gleichgerichtet werden. Der STÖHRER'sche Kommutator, der sich in Fig. 129 am vorderen Ende der Rotationsachse befindet ( $W$ ) und gleichsinnig mit den Spulen um sie rotiert, ist in Fig. 131 gesondert dargestellt (und zwar entspricht hier das obere Ende dem vorderen Teil der Fig. 130). Auf der Rotationsachse, von der hier nur ein kleines Stück gezeichnet ist, befinden sich übereinandergeschoben zwei voneinander gut isolierte Messinghülsen  $m$  und  $n$ , die beide an ihren Enden zwei halbringförmige Stahlkämme tragen. Die Stahlkämme  $1$  und  $2$  gehören zu  $m$ ,

3 und 4 zu  $n$ . Die Spule  $R_1$  (Fig. 129) steht durch den Draht  $p$  mit  $m$  in Verbindung, die Spule  $R_2$  durch  $o$  mit  $n$ . Zwei flache Stahlfedern  $Y$  und  $Z$  sind so angebracht, daß ihre vorderen geschlitzten Enden auf den Stahlkämmen schleifen, während die hinteren Enden zu den Elektroden ( $h_1$  und  $h_2$ , Fig. 129) führen. In der Stellung, die Fig. 131 zeigt, geht der Strom von  $R_2$  durch  $o$  über den Stahlkamm 3 nach  $Z$  und von da zur einen Elektrode. Nach einer halben Umdrehung steht aber  $p$  durch den Stahlkamm 2 mit  $Z$  und derselben Elektrode in Verbindung. Geht in der ersten Stellung durch  $o$  der positive, durch  $p$  der negative Strom, so ist in der zweiten Stellung das Verhältnis umgekehrt: jetzt geht der positive Strom durch  $p$ , der negative durch  $o$ . Wir sehen also, daß  $Z$  und somit die eine Elektrode andauernd vom positiven Strom durchflossen wird. In analoger Weise wird  $Y$  und die zweite Elektrode stets vom negativen Strom durch-

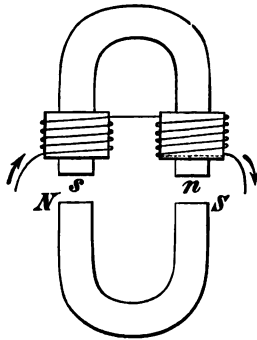


Fig. 130. Ankerwicklung einer magnetoelektrischen Maschine.

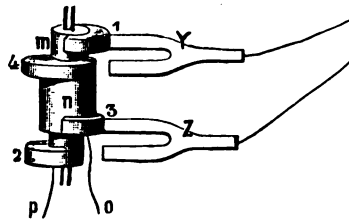


Fig. 131. Kommutator nach STÖHRER.

flossen. Dadurch, daß die Kämmen etwas übereinandergreifen, wird bewirkt, daß bei jeder halben Umdrehung die Spulen einmal kurze Zeit durch die Federn allein geschlossen sind, da ja während dieses Moments alle vier Kämmen an den Federn schleifen. In diesem Augenblick geht kein Strom durch den Schließungsbogen. Wird nun im nächsten Augenblick der direkte Strom zwischen den Spulen dadurch unterbrochen, daß zwei Kämmen ihre Federn verlassen, so entsteht ein starker Extrastrom im äußeren Schließungskreise. Der in diesem eingeschaltete menschliche Körper erhält also bei jeder ganzen Umdrehung der Rotationsachse zwei solche Schläge.

Diese primitiven Maschinen erfuhren bald außerordentliche Verbesserungen. Wie wir sahen, ist ja die durch Induktion hervorgerufene elektromotorische Kraft proportional der Feldstärke, der Länge des induzierten Leiters und der Geschwindigkeit, mit der er sich im magnetischen Felde bewegt (cf. S. 111). Diese Bedingungen werden jetzt dadurch erfüllt, daß man nicht mehr Stahlmagnete, sondern sehr

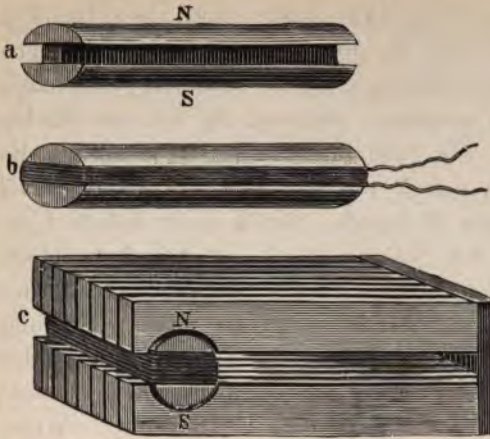


Fig. 132. SIEMENS' Doppel-T-Anker oder Zylinderinduktor.

a zeigt den Eisenkern des Ankers mit seinem doppel-T-förmigen Querschnitt, b die Bewicklung desselben, c seine Lage zum Feldmagneten.

starke Elektromagnete nimmt. Ferner bringt man den Anker, der aus einem Eisenkern mit vielen Windungen besteht, zur besseren Ausnutzung des magnetischen Feldes zwischen die Pole des Feldmagneten (vgl. Fig. 132, die einen sogenannten Doppel-T-Anker nach SIEMENS darstellt) und versetzt ihn in sehr schnelle Rotation. Derartige Maschinen liefern also zunächst einen Wechselstrom, der mittels eines Kommutators in Gleich-

strom verwandelt wird. Aber es handelt sich hierbei um einen sogenannten pulsierenden Gleichstrom, das ist ein Strom, der zwar gleichgerichtet ist, dessen Intensität aber periodisch zu- und abnimmt (vgl. Fig. 137). Es bedeutete daher einen wichtigen Fortschritt, als es gelang, durch Verbesserung der Ankerkonstruktion Maschinen zu bauen, die einen nahezu konstanten Gleichstrom liefern. Wir wollen hier nur das Prinzip des Ringankers und des Trommelankers skizzieren.

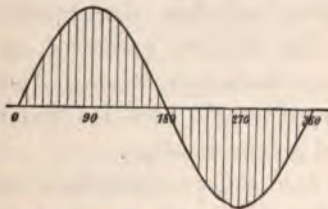
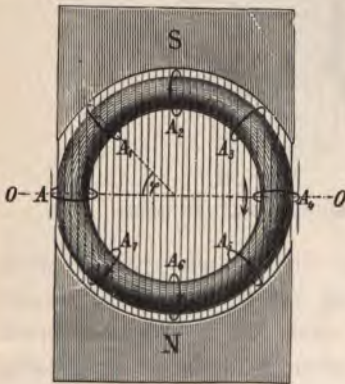


Fig. 133. Zur Erläuterung des GRAMME'schen Ringes.

gestellt durch die vertikalen Striche) ab. Der Ring wird also, wenn wir ihn in der positiven Richtung der Kraftlinien (die ja vom

Der von PACINOTTI (1860) und GRAMME (1871) erfundene **Ringanker** besteht aus einem mit vielen Drahtspulen bewickelten Eisenring, der zwischen den Polen eines Elektromagneten rotiert. Zum besseren Verständnis wollen wir zunächst den Fall betrachten, daß der Eisenring still steht und daß auf ihm ein Drahtring verschoben wird. Rückt der Ring *A* (Fig. 133) aus seiner Anfangslage über *A*<sub>1</sub> nach *A*<sub>2</sub>, so nimmt auf diesem Wege die Zahl der durch ihn hindurchtretenden Kraftlinien (in der Figur dargestellt durch die vertikalen Striche) ab. Der Ring wird also, wenn wir ihn in der positiven Richtung der Kraftlinien (die ja vom

Nordpol zum Südpol verlaufen) betrachten, von einem Induktionsstrome im Sinne des Uhrzeigers durchflossen werden (vgl. S. 109). Bewegt sich der Ring von  $A_2$  nach  $A_3$ , so nimmt die Zahl der Kraftlinien wieder zu. Blicken wir wieder in der positiven Richtung der Kraftlinien auf ihn, so fließt der Induktionsstrom jetzt umgekehrt wie die Uhrzeigerbewegung, d. h. er behält seine frühere Lage bei, wie unmittelbar aus der Figur hervorgeht. Aus denselben Gründen ist die Richtung der Induktionsströme bei der Bewegung des Ringes in den beiden unteren Quadranten umgekehrt wie in den beiden oberen. Bei der Bewegung des Ringes längs des Eisenringes ändert also der Strom zweimal seine Richtung, nämlich in der Horizontal-

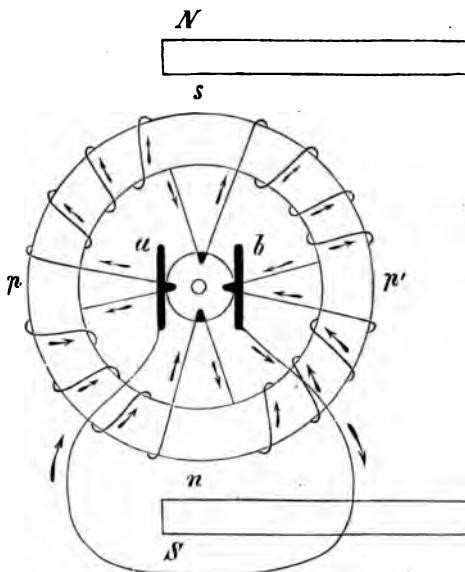


Fig. 134. GRAMME'scher Ring, schematisch.

ebene  $OO$ . Da hier der Strom seine Richtung ändert, also einen Augenblick die Stromstärke 0 besitzt, heißt diese Ebene auch neutrale Zone. Ist der Drahring mit dem Eisenring fest verbunden und dreht sich letzterer, so wird offenbar die Richtung der Induktionsströme dieselbe bleiben wie in dem eben beschriebenen Falle. Auch wenn mehrere Drahringe auf dem Ringe vorhanden sind, wird ebenso in der unteren Hälfte in ihnen ein entgegengesetzter Strom entstehen wie in der oberen. Bei der praktischen Ausführung des Ringankers bewickelt man nun den Eisenring mit vielen Drahtspulen

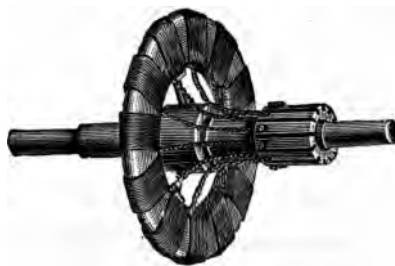


Fig. 135. GRAMME'scher Ringanker.

(vgl. Fig. 134 und 135; erstere ist schematisch und zeigt nur 4 Spulen). Das Ende einer jeden Drahtspule ist mit dem Anfang der nächsten auf der Achse des Ringes durch Kupferstreifen leitend verbunden. Die Zahl dieser voneinander isolierten Kupferstreifen auf der Achse entspricht also genau der Spulenzahl des Ringes. Den Teil der Achse, welcher die Kupferstreifen trägt, nennt man Kollektor; derselbe dreht sich natürlich gleichsinnig mit dem Eisenring. Würde

sich nun der Ring, so wie er ist, drehen, dann würden die Spulen stromlos bleiben; denn in der Neutralzone stoßen ja auf beiden Seiten entgegengesetzt gerichtete Ströme zusammen (vgl. Fig. 134). Läßt man aber zu beiden Seiten des Kollektors zwei feststehende Metallstücke, die sogenannten Bürsten schleifen, so fließt jetzt der Strom

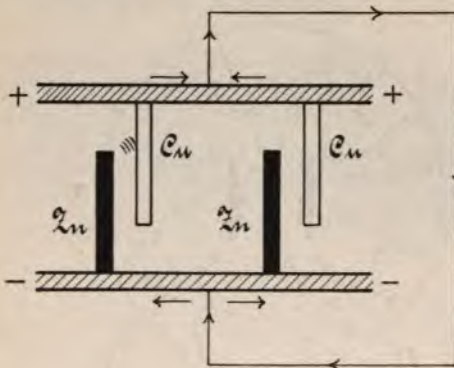


Fig. 136.

Analogon zum GRAMME'schen Ringe.

immer in derselben Richtung durch den äußeren Schließungskreis, wie aus den Pfeilen der Fig. 134 ohne weiteres hervorgeht. Es entspricht dann gewissermaßen die Bürste *b* dem positiven, *a* dem negativen Pol zweier parallelgeschalteter galvanischer Elemente (vgl. Fig. 136).

Beim GRAMME'schen Ring erhält man also ohne eigentlichen Kommutator Gleichstrom, und zwar einen kontinuierlichen Gleichstrom.

Würden nämlich nur wenige Spulen auf dem Eisenring sein, etwa zwei, so würde auch der Kollektor nur zwei Kupferplatten besitzen, die Stromabnahme durch die Bürsten würde also in großen Zwischenräumen erfolgen. Kurz, man erhielte ebenso wie bei den älteren magnetelektrischen Maschinen einen sogenannten pulsierenden Gleichstrom

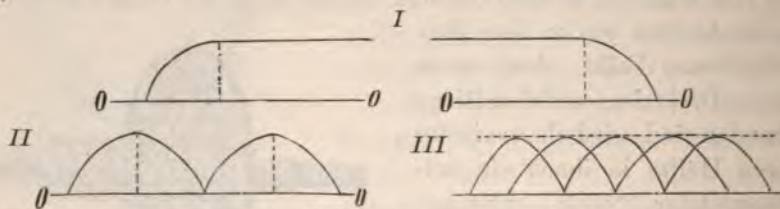


Fig. 137. Verschiedene Formen von Gleichstrom.

I Konstanter Gleichstrom von Elementen,  
II Pulsierender Maschinen-Gleichstrom, III Annähernd konstanter Maschinen-Gleichstrom.

(s. o.). Je größer aber die Spulenzahl und je schneller die Umdrehungsgeschwindigkeit des Ringes ist, um so mehr verliert der Strom diesen intermittierenden Charakter (vgl. Fig. 137).

Auf ähnlichen Prinzipien wie der GRAMME'sche Ring beruht der **Trommelanker** von v. HEFNER-ALTENECK (Fig. 138), bei dem der Wicklungsdraht auf einen ebenfalls zwischen den Polen eines Elektromagneten rotierenden Eisenzylinder („Trommel“) parallel zur Längsachse gewickelt ist. Zur Vermeidung der Wirbelströme wird übrigens



der Eisenkern der Trommel nie massiv, sondern aus einzelnen Eisenplatten hergestellt (vgl. S. 110). Auch hier werden die Enden der Wicklungsdrähte, wie beim Ringanker, mit den Metallstreifen eines vierteiligen Kollektors verbunden, so daß alle Windungen wieder miteinander zusammenhängen und durch die Bürsten wieder in zwei parallelgeschaltete Gruppen geteilt sind. Auch hier erfolgt bei einer ganzen Umdrehung ein zweimaliger Wechsel in der Stromrichtung, der wie beim GRAMME'schen Ring durch den Kollektor mit den Bürsten ausgeglichen wird, so daß ebenfalls ein konstanter Gleichstrom resultiert.



Fig. 138. Trommelanker.

Fig. 139 zeigt schematisch die Bewicklung eines Trommelankers für acht Windungen (bzw. Spulen). In derselben stellen die ausgezogenen Linien den Verlauf der Windungen auf der Vorderfläche, die gestrichelten den auf der hinteren Fläche der Trommel vor. Dort, wo in der Figur — die ja nur die Vorderfläche vorstellt — eine ausgezogene und eine punktierte Linie zusammenstoßen, befindet sich in Wirklichkeit natürlich immer noch der Teil der Windung, der auf der Oberfläche der Trommel parallel ihrer Achse von vorn nach hinten verläuft. Zwischen Ende und Anfang zweier aufeinanderfolgender Windungen ist, wie aus der Figur sofort hervorgeht, je ein Segment des Kollektors eingeschaltet. Der Draht geht also von Punkt 8' der Vorderfläche die Trommel entlang zu Punkt 8 der Hinterfläche, biegt dort rechtwinklig um, geht zu Punkt 8 der Hinterfläche, dann wieder längs der Trommel zu Punkt 8 der Vorderfläche, dann zu Punkt 7' der Vorderfläche usw. Punkt 1 der Vorderfläche ist wieder mit Punkt 8' der Vorderfläche verbunden, so daß eben der Stromkreis geschlossen ist. Zugleich stehen die Verbindungsdrähte zwischen den Punkten der Vorderfläche 8 und 7', 1 und 8' usw. mit dem Kollektor in Zusammenhang.

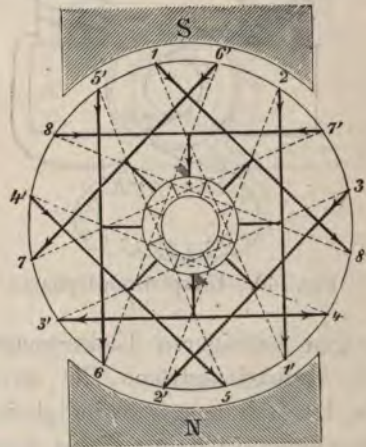


Fig. 139.

Wicklung eines Trommelankers.

Neben der Verbesserung der Ankerkonstruktionen trug vor allem die von WERNER SIEMENS 1867 gemachte Entdeckung des **dynamoelektrischen Prinzips** zu der großartigen Entwicklung der elektrischen Maschinen in der Neuzeit bei. Bisher hatten wir als Feldmagnete entweder permanente Stahlmagnete oder aber Elektromagnete

mit Fremderregung (wo also der Elektromagnetismus durch eine von der Maschine unabhängige Stromquelle erzeugt wurde) kennen gelernt. SIEMENS zeigte nun, daß bei den Elektromagneten eine solche äußere Stromquelle entbehrlich ist. Läßt man nämlich zwischen den Polen eines hufeisenförmigen Stückes Eisen — das stets eine Spur von natürlichem Magnetismus besitzt — einen Anker rotieren, so entstehen in dessen Bewicklung Induktionsströme. Leitet man diese durch Drahtwindungen, welche das Eisenstück umgeben, so wird dessen (ursprünglich äußerst geringer) Magnetismus verstärkt. Das stärker magnetische Eisen erzeugt nun seinerseits wieder ein stärkeres magnetisches Feld; dadurch werden wieder die Induktionsströme im Anker stärker, er-

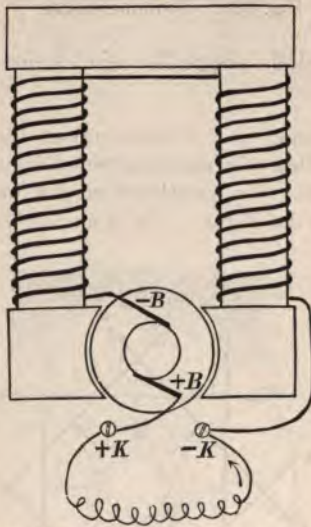


Fig. 140. Hauptstrom-Dynamo.

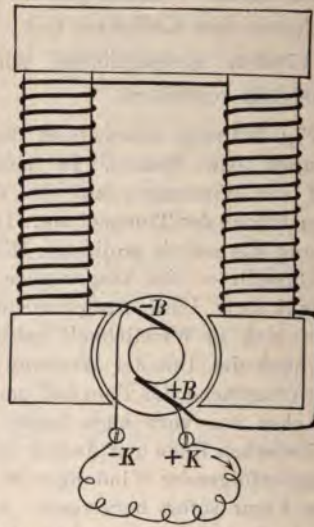


Fig. 141. Nebenschluß-Dynamo.

zeugen kräftigeren Elektromagnetismus und so fort, bis schließlich die Induktionsströme ihr durch die Größe der Eisenmassen und die Umdrehungsgeschwindigkeit begrenztes Stärkemaximum erreichen. Maschinen, in denen dieses dynamoelektrische Prinzip zur Anwendung kommt, heißen dynamoelektrische Maschinen oder kurz **Dynamomaschinen**. Als Anker einer solchen Dynamomaschine kann jeder Anker, der Gleichstrom liefert, fungieren, also der GRAMME'sche Ring, der Trommelanker usw. Bei den Dynamomaschinen sind drei Typen zu unterscheiden:

1. Hauptstrommaschinen (auch Reihen- oder Serienmaschinen genannt). Hier durchfließt der Strom hintereinander den Feldmagneten und den äußeren Stromkreis (Fig. 140).

2. Nebenschlußmaschinen. Hier liegt der Feldmagnet im Nebenschluß; d. h. es geht nur ein Teil des Stromes durch ihn hindurch (Fig. 141).

3. Compound- oder Verbundmaschinen. Dieselben stellen eine Kombination der beiden ersten Typen vor. Der Feldmagnet hat nämlich eine doppelte Bewicklung: Die eine wird vom Hauptstrom, die andere vom Nebenstrom durchflossen, der entweder von den Bürsten (Fig. 142) oder von den Klemmen der äußeren Strombahn abgenommen wird.

Bei Hauptstrommaschinen nimmt die Stromstärke bei Vergrößerung des äußeren Widerstandes stärker ab, als es nach dem Ohm'schen Gesetze zu erwarten ist, weil ja zugleich auch der Feldmagnet schwächer wird und dadurch wieder die elektromotorische Kraft der Induktionsströme abnimmt. Ebenso nimmt die Klemmenspannung ab, d. h. der Teil der elektromotorischen Kraft, welcher die Elektrizität durch den äußeren Schließungskreis treibt ( $e = iw$ ; cf. S. 43), und wird bei ungeschlossener Maschine gleich Null. Fließt ein Strom in umgekehrter Richtung durch eine Hauptstrommaschine, so wird der Feldmagnet umpolarisiert; daher eignen sich solche Maschinen nicht dort, wo elektromotorische Gegenkräfte wirksam sind, also z. B. zum Laden von Akkumulatoren. Angewendet werden sie mit Vorteil nur dann, wenn der äußere Widerstand konstant bleibt, also hauptsächlich zum Betrieb von hintereinandergeschalteten Bogenlampen und zur Kraftübertragung. Bei den Nebenschlußmaschinen geht dagegen ein um so stärkerer Strom durch den Feldmagnet, je größer der äußere Widerstand wird, da ja in Stromverzweigungen die Stromstärken sich umgekehrt wie die Widerstände verhalten (cf. S. 51). Bei wachsendem äußeren Widerstand wird also bis zu einer bestimmten Grenze die Erregung des Feldmagneten und damit auch die elektromotorische Kraft der Induktion und die Klemmenspannung der Maschine größer. Durch Erhöhung der elektromotorischen Kraft wächst aber zunächst auch wieder die Stromstärke im äußeren Schließungskreise, allerdings nur bis zu einem bestimmten Grade. Überschreitet der äußere Widerstand eine gewisse Grenze, so nimmt die Stromstärke wieder ab. Durch Anbringung eines regulierbaren Widerstandes im Nebenschluß (also im Stromkreise des Magneten) kann die Klemmenspannung auf einer beliebigen Höhe erhalten werden. Nebenschlußmaschinen werden besonders zum Betrieb parallelgeschal-

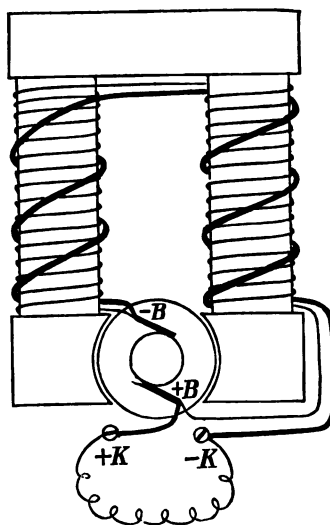


Fig. 142. Compound-Maschine.

ten geht dagegen ein um so stärkerer Strom durch den Feldmagnet, je größer der äußere Widerstand wird, da ja in Stromverzweigungen die Stromstärken sich umgekehrt wie die Widerstände verhalten (cf. S. 51). Bei wachsendem äußeren Widerstand wird also bis zu einer bestimmten Grenze die Erregung des Feldmagneten und damit auch die elektromotorische Kraft der Induktion und die Klemmenspannung der Maschine größer. Durch Erhöhung der elektromotorischen Kraft wächst aber zunächst auch wieder die Stromstärke im äußeren Schließungskreise, allerdings nur bis zu einem bestimmten Grade. Überschreitet der äußere Widerstand eine gewisse Grenze, so nimmt die Stromstärke wieder ab. Durch Anbringung eines regulierbaren Widerstandes im Nebenschluß (also im Stromkreise des Magneten) kann die Klemmenspannung auf einer beliebigen Höhe erhalten werden. Nebenschlußmaschinen werden besonders zum Betrieb parallelgeschal-

teter Bogen- und Glühlampen sowie zur Elektrolyse und zum Laden von Akkumulatoren benutzt. Im Gegensatz zu den Hauptstrommaschinen hat nämlich hier der den Feldmagnet umkreisende Strom stets dieselbe Richtung, auch wenn die gegenwirkende elektromotorische Kraft, z. B. eines Akkumulators, größer ist als die der Maschine, so daß eine Umpolarisierung nie eintreten kann. Dies erhellt ohne

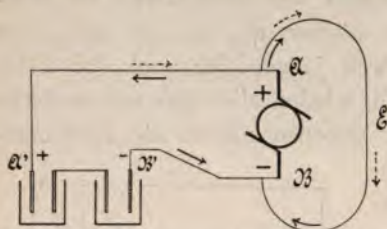


Fig. 143. Ladung von Akkumulatoren durch eine Nebenschlußmaschine.

wird einerseits die Stromstärke und dadurch auch die magnetisierende Kraft der Hauptstrombewicklung des Magneten geringer, andererseits wird letztere durch den jetzt stärker werdenden Strom im Nebenschluß wieder erhöht, so daß sie eben konstant bleibt.

In der Neuzeit haben die Dynamomaschinen zahlreiche Verbesserungen ihrer Konstruktion erfahren, auf die wir natürlich nicht näher eingehen können. Man nimmt z. B. zur Verstärkung und mög-



Fig. 144. Außenpolmaschine mit Ringmagnet.



Fig. 145. Vierpolige Innenpolmaschine.

lichsten Ausnutzung des magnetischen Feldes sogenannte Ringmagnete (Fig. 144) oder verwendet mehrere Magnetpole, die man außen, innen oder zu beiden Seiten des rotierenden Ankers anbringt, und unterscheidet danach Außenpol-, Innenpol- und Seitenpolmaschinen. Fig. 145 zeigt z. B. den Durchschnitt einer Innenpolmaschine mit vier Polen. Auf diese Weise hat man erreicht, daß das absolute Güteverhältnis der modernen Dynamos, d. h. das Verhältnis des im äußeren Stromkreise erzielten elektrischen Effektes zu dem (für die Drehung des Ankers) aufgewandten mechanischen Effekt bis zu 90% beträgt.

Meine Herren! Die von uns bisher betrachteten elektrischen Maschinen liefern zunächst, wie wir sahen, Ströme von wechselnder Richtung, die erst durch einen Kommutator bzw. Kollektor gleich-

weiteres aus Fig. 143, in der  $A$  und  $B$  die Klemmen der Maschine,  $A'B'$  die Klemmen einer Akkulatorbatterie,  $E$  den im Nebenschluß liegenden Stromkreis des Feldmagneten bedeuten. Bei den Compoundmaschinen endlich bleibt die Klemmenspannung durch Selbstregulation konstant. Erhöht sich nämlich der äußere Widerstand, so

erhöht sich die Stromstärke und dadurch auch die magnetisierende Kraft der Hauptstrombewicklung des Magneten geringer, andererseits wird letztere durch den jetzt stärker werdenden Strom im Nebenschluß wieder erhöht, so daß sie eben konstant bleibt.

gerichtet werden. Während man hier also die Beseitigung des Wechselstroms erstrebt, gibt es andererseits Maschinen, bei denen die Erzeugung von Wechselströmen Selbstzweck ist. Gerade in der modernen Elektrotechnik hat man nämlich immer mehr die große Wichtigkeit der **Wechselströme** erkannt und eingesehen, daß Wechselstrommaschinen für bestimmte Zwecke, z. B. zur Erreichung höherer Spannungen, wie sie zur Arbeitsübertragung auf größere Entfernungen nötig sind, den Gleichstrommaschinen vorzuziehen sind. Da nun auch die medizinisch angewandten Induktionsströme und die für die Röntgentechnik in Betracht kommenden Entladungen der Funkeninduktoren solche Wechselströme sind, müssen wir — wenn auch kurz — auf das Wesen derselben eingehen.

Wir sahen, daß bei Rotation zweier in geeigneter Weise gewickelter Drahtspulen in einem magnetischen Felde bei jeder ganzen Umdrehung zwei Wechselströme entstehen. Die elektromotorische Kraft der Induktion, die ja von der Zahl der geschnittenen Kraftlinien abhängt (cf. S. 111), wächst von 0 (in der der neutralen Zone entsprechenden Anfangsstellung) kontinuierlich an, ist nach einer viertel Drehung also bei  $90^\circ$  am größten, nimmt dann wieder gleichmäßig ab, bis sie nach einer halben Umdrehung ( $180^\circ$ ) wieder = 0 wird; bei der nun folgenden halben Umdrehung entsteht eine elektromotorische Kraft von entgegengesetzter Richtung, die ebenfalls bis zu einem Höchstwerte zu- und dann wieder bis 0 abnimmt. Diesen Verlauf der Richtung und Größe der induzierten elektromotorischen Kraft kann man durch eine sogenannte Sinuskurve<sup>1</sup> darstellen, in welcher die Abszissen die Phasen der Bewegung (d. h. die Drehungswinkel von der Anfangslage aus gerechnet), die Ordinaten die Größe der elektromotorischen Kraft in der betreffenden Phase der Bewegung bedeuten (vgl. Fig. 133). Also bei  $0^\circ$ ,  $180^\circ$  und  $360^\circ$ , wenn nämlich der Anker die neutrale Zone passiert, ist die elektromotorische Kraft = 0; bei  $90^\circ$  und  $270^\circ$  ist sie ein Maximum. Ihre Richtung ist zwischen  $180^\circ$  und  $360^\circ$  entgegengesetzt wie zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$ . Verbindet man die Spulen mit zwei auf der Rotationsachse sitzenden, voneinander isolierten Ringen, so kann man durch die Vermitt-

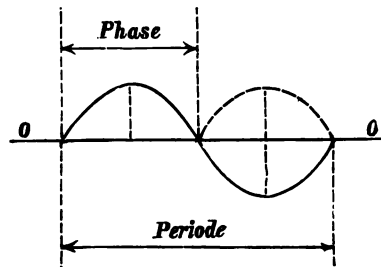


Fig. 146.

Schema des Wechselstroms.

<sup>1</sup> Die elektromotorische Kraft ändert sich von Stelle zu Stelle, wie der Sinus des Winkels, den jede Spule mit ihrer Anfangslage bildet.

lung von Bürsten in der äußeren Leitung einen Wechselstrom erhalten. Die Zeit, welche nötig ist, damit die elektromotorische Kraft eines Wechselstroms wieder dieselbe Größe und Richtung erlangt, heißt Periode des Wechselstroms (vgl. Fig. 146); die Zahl der Perioden in einer Sekunde heißt Frequenz oder Wechselgeschwindigkeit des Wechselstromes. Bei zweipoligen Maschinen entspricht jeder ganzen Umdrehung nur eine Periode (vgl. Fig. 133). Bei mehrpoligen Maschinen, die in der Praxis fast ausschließlich benutzt werden, kommt auf jede ganze Umdrehung zwischen  $0^{\circ}$  und  $360^{\circ}$  eine größere Zahl von Perioden, nämlich soviel, wie Polpaare vorhanden sind; in einem achtpoligen Felde z. B. vier Perioden. Macht also eine solche acht-polige Maschine 15 Umdrehungen in der Sekunde, so erhält man 60 Perioden pro Sekunde oder, anders ausgedrückt, eine Wechselgeschwindigkeit von 60.

Entstehen die Induktionsströme nicht durch gleichmäßige Rotation in einem homogenen magnetischen Felde, sondern durch rasche

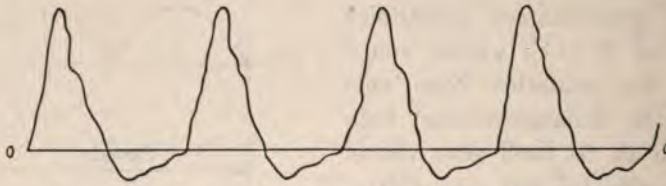


Fig. 147. Induktionsströme eines Funkeninduktors.

(etwa durch einen WAGNER'schen Hammer bewirkte) Schließungen und Öffnungen, in einem benachbarten primären Stromkreise, so läßt sich das Anwachsen und Sinken der elektromotorischen Kraft nicht mehr durch eine reine Sinuskurve darstellen. Denn, wie wir sahen, entstehen ja Induktionsströme nur im Augenblick des Öffnens und Schließens, aber nicht solange der Strom geschlossen bzw. geöffnet ist; außerdem ist ja infolge der Selbstinduktion im primären Stromkreise die Spannung der Öffnungsinduktionsströme viel höher als die der Schließungsinduktionsströme. Man erhält daher etwa eine Kurve, wie sie Fig. 147 zeigt, wo die Kurven oberhalb der Linie 00 die elektromotorische Kraft der Öffnungsinduktionsströme, die Kurven unterhalb der Linie 00 die (schwächeren und weniger steil ansteigenden) Öffnungsinduktionsströme vorstellen.<sup>1</sup> Auch hier haben wir periodische Wechselströme, jedoch etwas komplizierterer Natur. Für die meisten Betrachtungen genügt indes die Annahme, daß die Wechselströme der in Fig. 146 dargestellten einfachen Kurve entsprechen.

<sup>1</sup> Die in Wirklichkeit vorhandene Pause zwischen Schließungs- und Öffnungsinduktionsströmen ist in der Figur nicht dargestellt.

Haben wir nun nicht bloß einen Wechselstrom, sondern deren zwei, so können dieselben sich in drei Beziehungen unterscheiden: Sie können eine verschiedene (mittlere) elektromotorische Kraft bzw. Stromstärke besitzen; sie können zweitens eine verschiedene Periode haben, und sie können drittens eine Phasendifferenz zeigen, d. h., auch wenn sie gleiche Perioden und elektromotorische Kraft (bzw. Stromstärke) haben, zu verschiedenen Zeitpunkten ihre Richtung ändern. Sendet man nun zwei, sonst gleiche Wechselströme, die aber eine solche Phasendifferenz aufweisen (z. B. *I* und *II* in Fig. 148), durch ein und denselben Draht, so entsteht eine Resultante (*III*) der elektromotorischen Kraft (bzw. Stromstärke), die ihrerseits gegen die betreffende Größe jedes der beiden ursprünglichen Wechselströme eine Phasendifferenz besitzt.

Die Stromstärke in Wechselstromkreisen bedarf einer besonderen Besprechung. Zunächst ist klar, daß sie (ebenso wie die

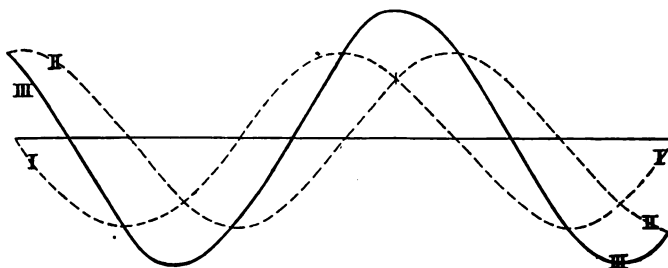


Fig. 148. Phasendifferenz von Wechselströmen.

elektromotorische Kraft) beständig ihre Größe wechseln muß. Zur Vereinfachung betrachtet man daher nur die mittlere Stromstärke (bzw. elektromotorische Kraft) während einer Periode. Die gewöhnlichen Meßinstrumente für Wechselströme, die Elektrodynamometer (vgl. S. 103) geben nun nicht den einfachen arithmetischen Mittelwert des Stromes an, sondern den Mittelwert aus den Quadraten der momentanen Stromstärken (bzw. Spannungen) während einer halben Periode, den man als effektive Stromstärke (bzw. effektive elektromotorische Kraft) besonders bezeichnet. Diese effektive Stärke ist bei gleichmäßig periodischen Strömen 0,707 des Maximalwertes. Wenn also ein Wechselstrommesser 100 Ampère (effektive Stromstärke) anzeigt, so bedeutet dies, daß der Strom in Wirklichkeit auf  $\frac{100}{0,707} = 141,4$  Ampère ansteigt.

In einem Wechselstromkreise gilt ferner das OHM'sche Gesetz  $I = \frac{E}{W}$  nur dann, wenn keine Selbstinduktion stattfindet. Ist aber Selbstinduktion vorhanden (z. B. in einer Spule), so ist die Strom-

stärke kleiner als sie in demselben Stromkreise bei Anwendung von Gleichstrom sein würde. Es wirkt ja jetzt der ursprünglichen elektromotorischen Kraft die des Extrastromes entgegen, schwächt sie also. Es macht daher den Eindruck, als besäße eine solche Spule einen größeren Widerstand gegen Wechselstrom. Diese scheinbare Vergrößerung des Widerstandes bezeichnet man auch als Impedanz. Das OHM'sche Gesetz lautet daher hier für die effektiven Werte: die Stromstärke ist der elektromotorischen Kraft (bzw. Klemmenspannung) direkt, dem scheinbaren Widerstande indirekt proportional. Die Selbstinduktion hat aber noch eine andere Wirkung in einem Wechselstromkreis: sie verzögert den Ablauf des Wechselstromes, so daß derselbe hinter der Spannung zurückbleibt. Es tritt hier mit anderen Worten eine Phasenverschiebung zwischen elektromotorischer Kraft und Stromstärke bei ein und demselben Strom ein, und das kann sogar dazu führen, daß der Effekt eines Wechselstromes (also das Produkt aus

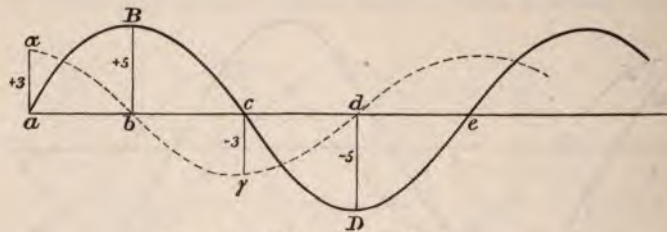


Fig. 149. Wattloser Wechselstrom.

Stromstärke und elektromotorischer Kraft) = 0 wird. In Fig. 149 bezeichnet z. B. die ausgezogene Linie den Verlauf der elektromotorischen Kraft, die gestrichelte Linie den Verlauf der Stromstärke, deren Phase  $90^\circ$  gegen die der ersteren zurück ist; die Ordinaten bedeuten die Werte beider Größen an den betreffenden Stellen. Dann ist der Effekt in  $a + 3 \times 0 = 0$ , in  $b 0 \times +5 = 0$ , in  $c -3 \times 0 = 0$ , in  $d 0 \times -5 = 0$ . Da nun auch die Produkte aus Spannung und Stromstärke zwischen  $ab$  und  $bc$  sich aufheben — sie sind gleich groß aber entgegengesetzt — so resultiert eben daraus, daß ein solcher Strom den Effekt 0 besitzt oder, wie man auch sagt, wattlos ist. Der wahre Effekt eines Wechselstroms ist stets  $E \cdot J \cdot \cos \varphi$ , worin  $E$  und  $J$  die effektive elektromotorische Kraft bzw. Stromstärke,  $\varphi$  der (durch Selbstinduktion bedingte) Verzögerungswinkel ist. Der Effekt ist also ein Maximum, wenn keine Phasendifferenz zwischen Stromstärke und Spannung besteht, also in Leitern ohne Selbstinduktion (für  $\varphi = 0$  wird ja  $\cos \varphi = 1$ ); dagegen ein Minimum, nämlich 0, wenn die Phasendifferenz  $90^\circ$  beträgt (für  $\varphi = 90^\circ$  wird eben  $\cos \varphi = 0$ ).

Nach diesen Bemerkungen über die Natur der Wechselströme wollen wir kurz auf die **Wechselstrommaschinen** eingehen. Auch



die Wechselstrommaschinen bestehen aus einem Anker (von Ring-, Trommel-, Scheibenform usw.) und Feldmagneten; und zwar nimmt man zur Erzielung höherer Periodenzahl mehrere Elektromagnete, die jedoch — im Gegensatz zu den Gleichstromdynamos — meist durch eine fremde Stromquelle (Gleichstromdynamo) erregt werden (vgl. Fig. 151). Fig. 150 stellt z. B. eine zehnpolige Wechselstrommaschine

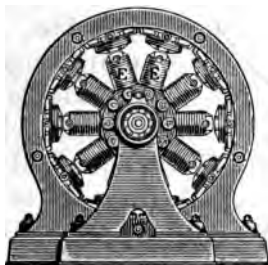


Fig. 150. Zehnpolige Wechselstrommaschine.

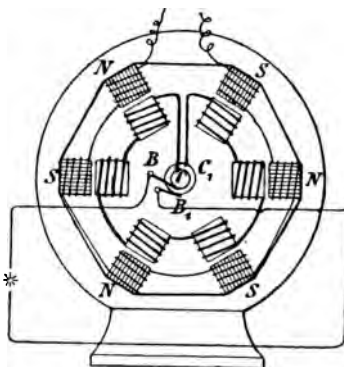


Fig. 151. Schema einer Wechselstrommaschine.

vor, bei der die Feldmagnete ( $E$ ) vor dem feststehenden Anker rotieren. Fig. 151 zeigt schematisch eine Wechselstromdynamo, bei der ein Ringanker in einem sechspoligen Felde rotiert. Auf dem Anker befinden sich sechs miteinander verbundene Spulen, von denen immer zwei benachbarte (die an entgegengesetzten Polen vorbeigehen) ungleichsinnig gewickelt sind, damit die induzierten elektromotorischen Kräfte sich nicht gegenseitig aufheben, sondern addieren (vgl. Fig. 130). Hier ist also die erzielte elektromotorische Kraft das sechsfache derjenigen einer Spule. Anfang und Ende der Spulenbewicklung ist zu zwei Schleifenringen geführt, die — voneinander isoliert — auf der Rotationsachse nebeneinander angebracht sind; in der Figur sind sie der Übersichtlichkeit halber ineinander gezeichnet. Von diesen Schleifringen wird der Wechselstrom durch zwei Bürsten abgenommen. Ein Kollektor bzw. Kommutator fehlt also bei den Wechselstrommaschinen. Die elektromotorische Kraft ist am größten, wenn die Spulen an den Polen vorbeigehen, weil dann die meisten Kraftlinien von ihnen geschnitten werden (vgl. Fig. 133); sie wird Null, wenn die Spulen die Mitte

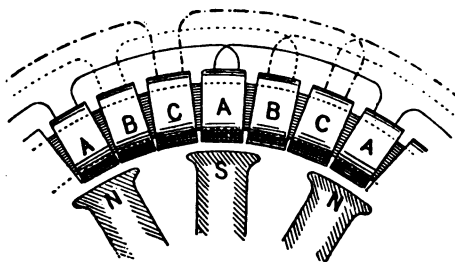


Fig. 152. Dreiphasenstrommaschine.

zwischen zwei Polen passieren, und dann negativ (d. h. der Strom kehrt seine Richtung um), wenn sich die Spulen den entgegengesetzten benachbarten Polen nähern. Bei der in Fig. 151 dargestellten sechs-

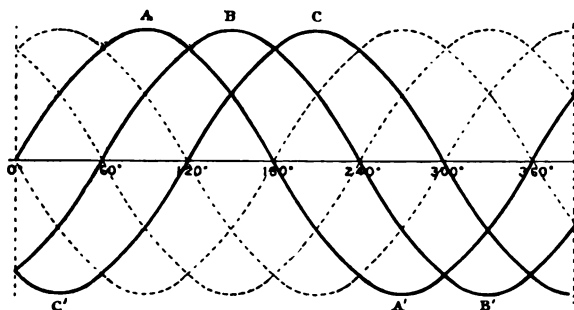


Fig. 153. Dreiphasiger Wechselstrom.

poligen Maschine haben wir drei Perioden bei jeder Umdrehung (s. o.)

Eine derartige Maschine, wie wir sie eben kennen gelernt haben, liefert einphasigen Wechselstrom, da ja von sämtlich miteinander verbundenen

Spulen der Strom eben gleichzeitig entnommen wird. Man kann nun aber auch sehr leicht **mehrphasige Ströme** von Wechselstrommaschinen erhalten. Bringt man nämlich auf dem Anker (Fig. 151) zwischen die bereits vorhandenen sechs Spulen weitere sechs Spulen

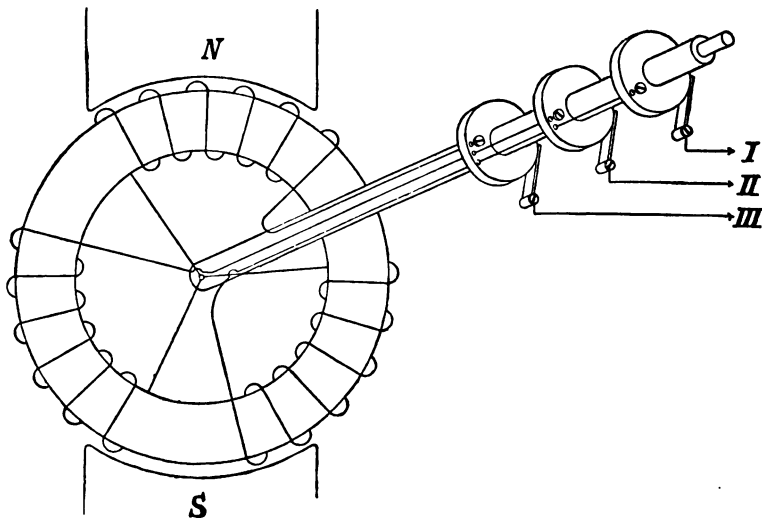


Fig. 154. Dreiphasenstrommaschine.

an, die ihrerseits analog miteinander verbunden sind, so erhält man offenbar zwei verschiedene Wechselströme, deren Phase um  $90^\circ$  differiert. Denn wenn im ersten Spulensystem die elektromotorische Kraft ein Maximum ist (vor den Polen), steht ja das zweite Spulensystem zwischen den Polen, seine elektromotorische Kraft ist also gleich Null. Ebenso erhält man Dreiphasenstrommaschinen, wenn man

zwischen das erste Spulensystem zwei weitere Spulensysteme in analoger Weise einschaltet (Fig. 152); die drei von einer solchen Maschine gelieferten Ströme unterscheiden sich um  $60^\circ$  in der Phase (Fig. 153). Bei den Mehrphasenstrommaschinen kann man nun den Anfang und das Ende jedes Spulensystems zu zwei besonderen Schleifringen führen, so daß z. B. bei einer Dreiphasenstrommaschine sechs Leitungen und sechs Schleifringe, somit drei völlig unabhängige Stromkreise vorhanden sind. Man kann aber auch den Anfang der Spulen auf dem Anker selbst miteinander verketteten, so daß z. B. bei einer Dreiphasenstrommaschine nur drei Leitungen zu drei Schleifringen auf der Achse geführt werden, von denen durch Bürsten drei in der Phase ver-

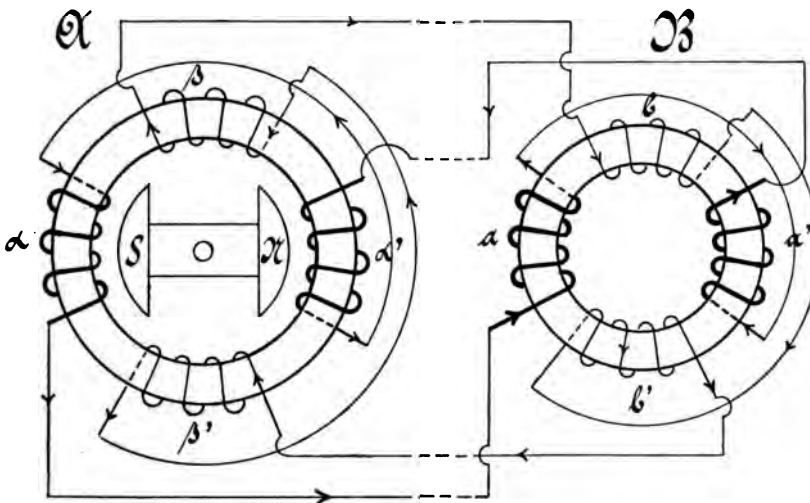


Fig. 155. Erzeugung eines Drehfeldes.

schiedene Wechselströme abgenommen werden (vgl. Fig. 154, wo die Phasendifferenz je  $120^\circ$  beträgt).

Diese Mehrphasenströme haben nun in der Technik eine eminente Bedeutung dadurch gewonnen, daß man erst durch sie die in Wechselstrommaschinen erzielten hohen Spannungen auch wirklich mit Nutzen für die Übertragung von Energie auf größere Entfernungen hin verwerten kann. Die Übertragung von Energie mittels einphasigen Wechselstroms ist nämlich nur dann möglich, wenn der vom Wechselstrom gespeiste Motor ganz genau auf dieselbe Umdrehungszahl gebracht ist, wie die den Wechselstrom erzeugende Maschine. Ist dies nicht der Fall, dann wechselt der Strom in den Spulen des Motors die Richtung, bevor oder nachdem sie die entsprechenden Pole der Elektromagnete passieren, und der Motor bewegt sich nicht vorwärts, sondern bleibt stehen. Dieser Synchronismus zwischen Generator und Motormaschine ist aber nur schwierig zu

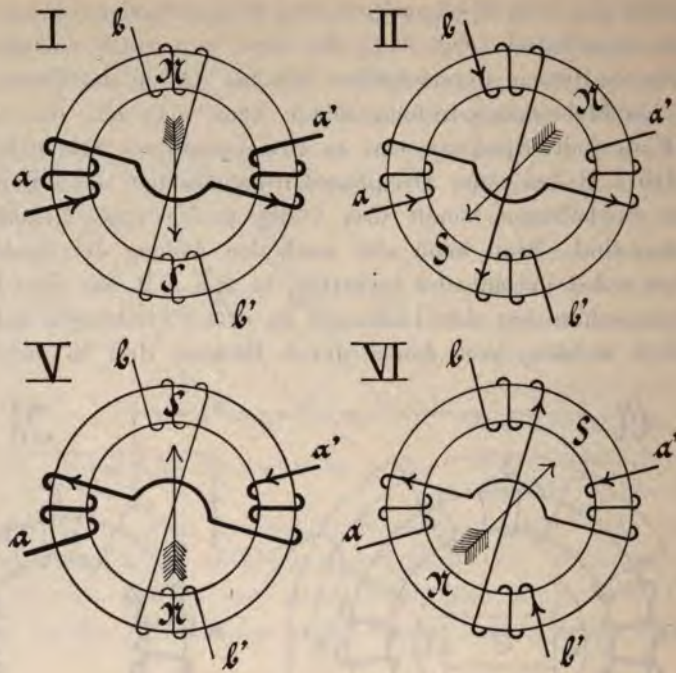
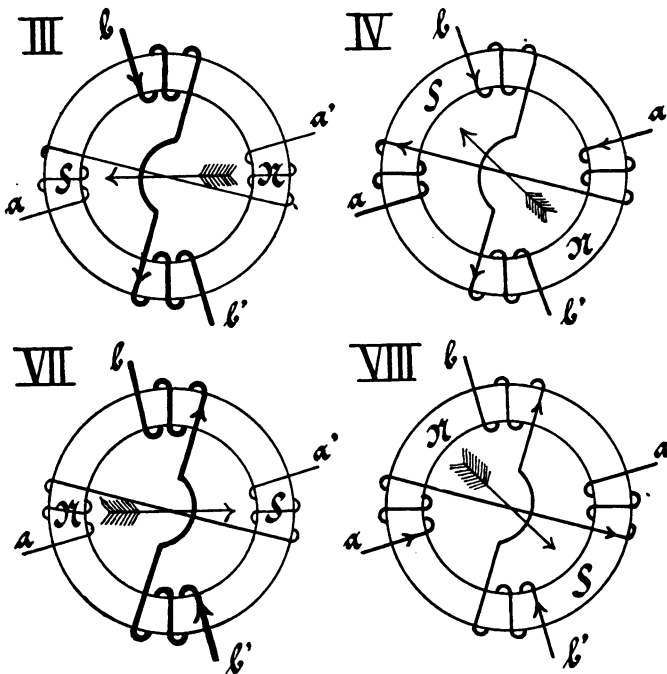


Fig. 156. Schema

erreichen. Hier half die wichtige Entdeckung FERRARI's, daß man durch die Wirkung von Mehrphasenströmen ein rotierendes magnetisches Feld, sogenanntes Drehfeld, erzeugen kann. Diese Entdeckung hat namentlich DOLIVO-DOBROWOLSKY für die Praxis nutzbar gemacht, und jetzt spielen in der Technik die **Drehstrommotoren** eine außerordentlich wichtige Rolle. Zur Erklärung des zugrundeliegenden Prinzips denken wir uns den feststehenden Eisenring („Ständer“)  $B$  eines solchen Motors mit zwei rechtwinklig zueinander stehenden Spulenpaaren  $aa'$  und  $bb'$  (Fig. 155) bewickelt. Jedes dieser Spulenpaare wird von einer Zweiphasenstrommaschine mit je einem Wechselstrom gespeist, deren Phasendifferenz  $\frac{1}{4}$  Periode beträgt, so daß also die Stromstärke des durch  $aa'$  gehenden Stromes ein Maximum beträgt, wenn die Stromstärke des durch  $bb'$  gehenden Stromes Null ist, und umgekehrt. Der  $B$  speisende Strom sei z. B. in einer zweiphasigen Wechselstrommaschine  $A$  (Fig. 155) mit feststehendem GRAMME'schen Ring erzeugt, in dem ein kräftiger Magnet  $NS$  um eine Achse rotiert (also eine sogenannte Innenpolmaschine); je zwei gegenüberliegende Spulen ( $\alpha\alpha'$  und  $\beta\beta'$ ) sind hintereinandergeschaltet und mit je einem Spulenpaar  $aa'$  und  $bb'$  des Motors  $B$  verbunden. In  $B$  spielen sich dann während einer Rotation des Magneten von  $A$  folgende Vorgänge ab (Fig. 156): In dem Zeitpunkt, den  $I$  darstellt, ist die Stromstärke in



der Drehstromwirkung.

$aa'$  ein Maximum in  $bb'$  Null; der Strom erzeugt hier auf dem Ringe den Nord- und Südpol  $N$  und  $S$  an der bezeichneten Stelle. Eine Magnetnadel im Innern wird also die dem Pfeil entsprechende Stellung einnehmen. Ist die Periode der vom Generator kommenden Ströme um  $\frac{1}{8}$  vorgeschritten (*II*), so sind die beiden Wechselströme gleich stark (vgl. auch das Diagramm Fig. 157, bei dem die arabischen Ziffern dieselben Zeitpunkte bezeichnen, wie die römischen Ziffern in Fig. 156); die Pole des Ringes und die Magnetnadel nehmen die in *II* bezeichnete Lage ein. Nach einer weiteren achteil Periode (*III*) ist der Strom in  $aa'$  Null, in  $bb'$  ein Maximum; nach  $\frac{3}{8}$  Perioden sind beide Ströme wieder gleich usw. Die Lage der Pole und der Magnetnadel in den folgenden Zeitpunkten ist aus der Figur zu ersehen. Kurz, während einer ganzen Periode vollführt das magnetische Feld im Innern des Ringes eine ganze Drehung, wie die Drehung der Magnetnadel zeigt. Aber auch ein um eine horizontale Achse drehbarer Eisenzylinder im Innern des Ringes wird durch das sich drehende

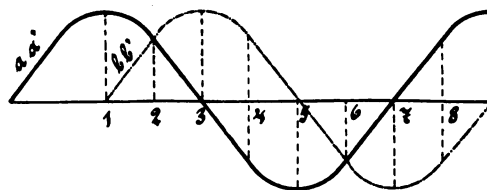


Fig. 157. Zweiphasenstrom.

im Innern des Ringes eine ganze Drehung, wie die Drehung der Magnetnadel zeigt. Aber auch ein um eine horizontale Achse drehbarer Eisenzylinder im Innern des Ringes wird durch das sich drehende

Magnetfeld mitgenommen. Ein solcher Drehstromanker („Läufer“) wird gewöhnlich noch mit Draht bewickelt oder trägt an der Mantel-Peripherie eine Reihe von Kupferstäben, deren Enden an den Stirnflächen des Eisenzylinders durch Kupferreifen zusammengehalten werden



a



b

Fig. 158. Dreiphasenmotor.

« Festsiehendes Gehäuse, in das der Drehstrom hineingeleitet wird. b Kurzschlußanker.

(„Kurzschlußanker“; vgl. Fig. 158). Statt einen Magneten (bzw. Eisenzylinder) in einem Ringe laufen zu lassen, kann man übrigens auch den Magneten (der wieder innen oder außen angebracht sein kann) feststellen und den Eisenring laufen lassen. In der Praxis wendet man meist Dreiphasenströme an, um Ungleichheiten in der Stärke des magnetischen Feldes („Pulsieren“ desselben) möglichst zu verringern. Das Prinzip ist natürlich dasselbe wie beim Zweiphasenstrom. Die Achse des Ankers kann ihrerseits mit einer Arbeitsmaschine in gewöhnlicher Weise verbunden werden; rotiert der Anker, so wird auch die Arbeitsmaschine in Gang gesetzt. Die Drehstrommotoren werden auch als Induktionsmotoren bezeichnet, weil ja die Ströme im Anker, der mit dem Ringe gar nicht zusammenhängt, nur durch Induktion entstehen. Bei solchen

Motoren braucht zwischen Generator und Motor kein Synchronismus bestehen; es sind „asynchrone“ Motoren. —

Meine Herren! Wir haben jetzt Gleichstrom, Wechselstrom und Drehstrom kennen gelernt. In der Praxis stellt sich nun zuweilen das Bedürfnis heraus, eine dieser Stromarten, die ja alle ihre besonderen Vorzüge und Nachteile haben, in eine andere Stromart, bzw. Ströme

von hoher Spannung in solche von niedrigerer Spannung zu verwandeln. Die Apparate, welche diese „Umformung“ bewirken, heißen **Transformatoren** oder Umformer.

Die Gleichstromtransformatoren haben den Zweck, die Spannung eines gegebenen Gleichstromes zu erhöhen oder zu erniedrigen. Man erreicht dies z. B. dadurch, daß man zwei Dynamos miteinander koppelt; die eine wird als Motor durch den zu transformierenden Strom in Rotation versetzt und liefert ihrerseits den Antrieb für die zweite Dynamo, die — je nach den Ansprüchen — für eine höhere oder niedere Spannung gewickelt ist als der Motor. Oder man benutzt eine Dynamo, deren Anker zwei voneinander unabhängige Wicklungssysteme besitzt, die zu zwei getrennten Bürstenpaaren führen. Leitet man nun den zu transformierenden Strom zu der einen Bewicklung,

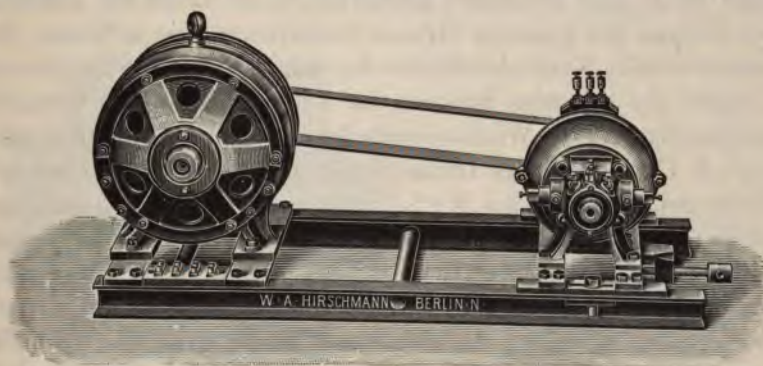


Fig. 159. Wechselstrom-Gleichstromtransformator.

Links ist der Wechselstrommotor, rechts die Gleichstromdynamo.

so setzt er den Anker in Bewegung. Gleichzeitig aber werden in der zweiten Bewicklung durch die Bewegung elektromotorische Kräfte induziert, die um so höher sind, je mehr Windungen dieselbe im Vergleich zur ersten Bewicklung hat. Der dadurch erzeugte Gleichstrom wird von den zugehörigen Bürsten abgenommen. Dieselbe Maschine wirkt also hier sowohl als Motor wie als Generator.

Die Wechselstrom-Gleichstrom- und Drehstrom-Gleichstromtransformatoren haben den Zweck, Wechselstrom (bzw. Drehstrom) in Gleichstrom zu verwandeln oder umgekehrt. Man erreicht dies einfach dadurch, daß man eine Wechselstrom- oder Drehstrommaschine mit einer Gleichstrommaschine koppelt — entweder durch Riemenübertragung (Fig. 159) oder durch Aufbau auf derselben Rotationsachse — und je nach Bedarf die Wechselstrom- (bzw. Drehstrom-)maschine als Motor, die Gleichstrommaschine als Generator benutzt oder umgekehrt. Man kann die Transformation auch in einer einzigen Maschine bewerkstelligen. Da nämlich ein

rotierender GRAMME'scher Ring, je nachdem man den Strom mittels Kollektors oder mittels Schleifringen abnimmt, Gleichstrom oder Wechselstrom liefert, so braucht man ihn nur auf der einen Seite mit einem Kollektor, auf der anderen mit zwei Schleifringen zu versehen. Führt man dann den Gleichstrom auf der Kollektorseite zu, so kann man an den Schleifringen Wechselstrom abnehmen; führt man den Schleifringen Wechselstrom zu, so erhält man am Kollektor Gleichstrom. Man kann übrigens noch auf eine andere Weise Wechselstrom in Gleichstrom verwandeln, nämlich mittels sogenannter Drosselzellen (vgl. S. 156).

Die Wechselstromtransformatoren haben den Zweck, die Spannung von Wechselströmen zu erhöhen oder zu erniedrigen. Wir haben bereits die Tatsache kennen gelernt, daß, wenn über eine primäre Spule eine sekundäre gewickelt ist, in dieser bei Intensitätsschwankungen des primären Stromes Induktionsströme auftreten, deren elektromotorische Kraft der Stärke des magnetischen Feldes, also auch der Stärke des primären Stromes, der Schnelligkeit seiner Intensitätsschwankungen und der Windungszahl der sekundären Spule proportional ist (vgl. S. 111). Derartige Intensitätsschwankungen treten aber in der primären Spule auf, wenn Wechselströme durch sie hindurchgesandt werden (natürlich auch bei schneller Öffnung und Schließung eines durchgesandten Gleichstroms). Ist der die primäre Spule durchfließende Strom seiner Intensität und Wechselzahl (bzw. Unterbrechungszeit) nach gegeben, so hängt die elektromotorische Kraft des sekundären Stromes nur von der Windungszahl auf der sekundären Spule ab. Aber auch in der primären Spule findet (Selbst)-Induktion statt (vgl. S. 112), und die Größe der elektromotorischen Kraft derselben ist von denselben Faktoren abhängig, wie in der sekundären Spule. Da nun für beide Spulen die anderen Faktoren (magnetisches Feld und Wechselzahl) gleich sind, folgt daraus, daß die elektromotorischen Kräfte in der primären und sekundären Spule sich wie ihre Windungszahlen verhalten. Das Verhältnis zwischen der Zahl der primären und sekundären Windungen heißt auch Transformationskoeffizient. Ist derselbe  $= 1$ , haben also beide Spulen gleichviel Windungen, so besitzen die in ihnen zirkulierenden Ströme auch gleiche elektromotorische Kräfte. Ist der Transformationskoeffizient größer als 1, hat also die primäre Spule mehr Windungen als die sekundäre, so ist die Spannung des sekundären Stromes geringer als die des primären. Ist der Transformationskoeffizient kleiner als 1, so ist die Spannung des sekundären Stromes größer als die des primären. Man hat also dadurch ein sehr einfaches Mittel in der Hand, um die Spannung eines Wechselstromes zu transformieren. Man braucht in den primären Stromkreis ja nur eine Spule ein-



zuschalten, die man mit einer sekundären Spule von größerer oder kleinerer Windungszahl umgibt. Da es auf den Unterschied der Windungszahl ankommt, bewickelt man die eine Rolle mit wenigen Windungen eines dicken Drahtes, die andere mit vielen Windungen eines dünnen Drahtes. Derartige Wechselstromtransformatoren haben vor den Gleichstromtransformatoren den Vorzug, daß sie keine beweglichen Teile besitzen und keiner besonderen Beaufsichtigung bedürfen.

Da nun der Effekt im sekundären Stromkreise gleich dem Effekt im primären Stromkreise sein muß (wenn man die durch Hysterisis und JOULE'sche Wärme bedingten Verluste unberücksichtigt läßt), so folgt daraus, daß der sekundäre Strom, wenn seine Spannung durch die Transformation erhöht wird, eine geringere Stromstärke haben muß als der primäre Strom und umgekehrt. Der Stromeffekt wird ja bekanntlich gemessen durch das Produkt der Volt-Ampère oder Watt

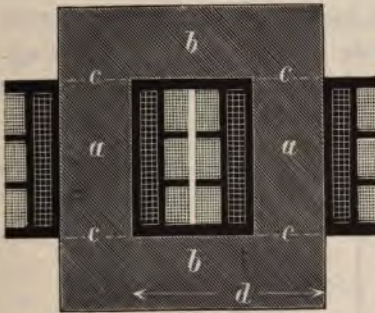


Fig. 160. Kerntransformator.

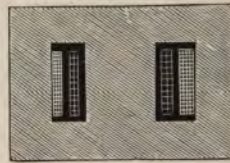


Fig. 161. Manteltransformator.

(vgl. S. 63). Da dies Produkt aber in beiden Stromkreisen (annähernd) gleich bleiben muß, so heißt das ja nichts anderes, als daß bei einem Wachsen der Voltzahl die Zahl der Ampère abnehmen muß und umgekehrt. Durch die Wechselstromtransformatoren kann man also Ströme von niedriger Spannung und großer Stromstärke in solche von hoher Spannung und geringer Stromstärke verwandeln und umgekehrt. Dies ist von größter Bedeutung. Um ein Beispiel anzuführen, so wird man bei der Übertragung elektrischer Energie auf weite Strecken niemals Ströme von großer Stromstärke anwenden, weil dadurch ja eine große (unproduktive) JOULE'sche Wärme in den Leitungen auftreten würde (falls man die Leitungen nicht sehr dick macht, was jedoch sehr teuer ist). Vielmehr wird man an dem Erzeugungsort der Elektrizität den Strom in einen hochgespannten Wechselstrom von geringer Stromstärke verwandeln und ihn erst auf der Verbrauchsstation in einen Strom von großer Stromstärke und geringer Spannung transformieren. Was nun die Konstruktion der Wechselstromformotoren betrifft (die Induktions-

apparate besprechen wir an besonderer Stelle), so wickelt man, um die Stärke des magnetischen Feldes zu erhöhen (vgl. S. 111) die primäre und sekundäre Spule auf einen Eisenkern, der zur Vermeidung von Wirbelströmen aus einzelnen Drähten oder Lamellen besteht. Ferner macht man den Eisenkern gewöhnlich ringförmig, damit alle Kraft-

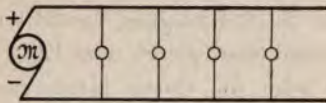


Fig. 162. Zweileitersystem.

linien im Eisen selbst verlaufen und nicht zum Teil in die Luft austreten, also wirkungslos bleiben. Derartige Transformatoren heißen Kerntransformatoren (Fig. 160). Daneben gibt es auch sogenannte Manteltransformatoren, bei denen die Spulen von Eisen umgeben sind (Fig. 161). — Auf die Hochspannungstransformatoren von TESLA und D'ARSONVAL wollen wir erst später eingehen.

Nun noch einige Worte über die Art der **Zuleitung des Stromes** von den Zentralen zu den Verbrauchsstellen. Der Gleichstrom wird in den Zentralen gewöhnlich mittels Dynamomaschinen erzeugt. An diese sind in der Regel Akkumulatorenbattereien angeschlossen, welche

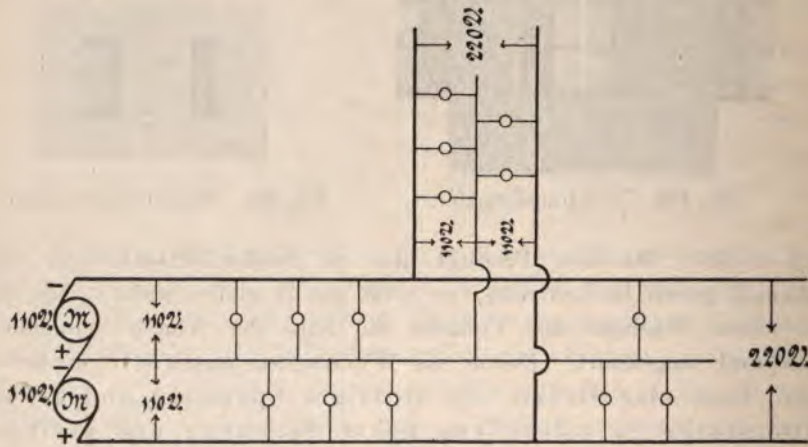


Fig. 163. Dreileitersystem.

von den Dynamos geladen werden, wenn deren Energie nicht oder nur in geringem Maße anderweitig beansprucht wird, wie es ja z. B. tagsüber bei den zu Beleuchtungszwecken dienenden Maschinen der Fall ist. Die so in den Akkumulatoren aufgespeicherte Energie dient dann zur Aushilfe der Dynamos bzw. zu anderen Zwecken. Die von den Gleichstromdynamos gelieferte Spannung beträgt meist 110 oder 220 Volt. Wir sahen bereits, daß man damit auch eine größere Zahl von Glühlampen, Motoren usw. betreiben kann, vorausgesetzt, daß man dieselben parallel zu den beiden von der Maschine ausgehenden

Hauptleitungen schaltet (vgl. Fig. 162 und 163). Es handelt sich hier um das sogenannte Zweileitersystem. Hierbei müssen die Hauptleitungen dem Strom sehr kleinen Widerstand bieten, damit der Spannungsverlust sowie die Entwicklung JOULE'scher Wärme in ihnen nur gering ist. Je größer die Entfernung von der Zentrale ist, desto dicker müssen die Leitungen sein; daher ist diese Art der Stromzuführung bei größeren Entfernungen als 800 m unvorteilhaft. In diesen Fällen wendet man das sogenannte Dreileitersystem an. Hier werden zwei Dynamos, deren jede 110 (bzw. 220) Volt liefert, hintereinandergeschaltet, so daß zwischen ihren freien Polen eine Spannungsdifferenz von 220 (bzw. 440) Volt besteht; von jedem dieser freien Pole sowohl wie von der Verbindungsstelle der anderen Pole geht je eine Leitung aus (Fig. 163). Ein solches Dreileitersystem gestattet sowohl einen Strom von 220 (bzw. 440) wie von 110 (bzw. 220) Volt zu entnehmen; im ersteren Falle schaltet man die Lampen usw. parallel zwischen die beiden äußeren Leitungen, im letzteren zwischen die Mittelleitung und eine der äußeren Leitungen. Da hier die Spannungen doppelt so groß sind wie bei dem Zweileitersystem, brauchen die Kabel bei gleichem Effektverbrauch nur halb so dick zu sein (cf. S. 137). Ein solches Dreileitersystem wird mit Vorteil für Entfernungen von 1200—1700 m verwandt. Man kann hierbei übrigens auch mit einer einzigen Dynamomaschine von 220 Volt auskommen, indem man z. B. mit ihr eine Akkumulatorenbatterie von 220 Volt ladet, und von dieser aus drei Leitungen ausgehen läßt, je eine von den beiden Endzellen und der mittelsten Zelle. Handelt es sich um größere Entfernungen, so braucht man mehrere Zentralen oder man stellt an Unterstationen Akkumulatorbatterien auf, die von der Zentrale aus geladen werden und nun ihrerseits den zugehörigen Bezirk mit Strom versorgen.

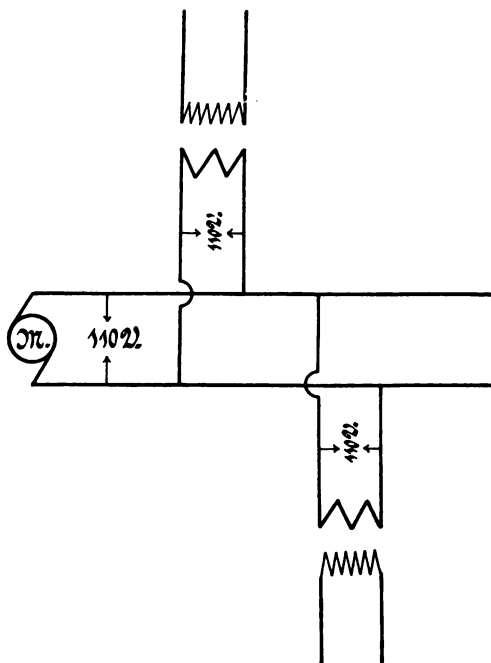


Fig. 164. Wechselstromverteilung.

Rationeller ist jedoch für solche größeren Entfernungen die Anwendung von Wechselstrom bzw. Drehstrom, der ja ebenfalls zum Betrieb von Bogen- und Glühlampen, Motoren usw. dient. Durch Wechselstrommaschinen erhält man ja bequem Ströme von sehr hoher Spannung, die zu ihrer Fortleitung bei gleichem Nutzeffekt viel dünnere Leitungen erfordern als solche von niedriger Spannung und an der Verbrauchsstelle leicht je nach Bedarf transformiert werden können. Die primären Wicklungen der Transformatoren werden natürlich wieder parallel zwischen die Hauptleitungen geschaltet (Fig. 164), in denen Ströme von 1000—10000 Volt zirkulieren. Bei einphasigem Wechselstrom sind zwei, bei Drehstrom drei Leitungen erforderlich.

Die außerordentliche Verwertbarkeit des Wechselstroms für Energieübertragung wurde zum ersten Male 1891 von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft gezeigt. Sie übertrug nämlich in drei über Telegraphenstangen geführten und 4 mm dicken Kupferleitungen die durch eine Turbine nutzbar gemachte Energie des Neckarfalles bei Laufen 175 km weit nach Frankfurt a. M., wo damit ein Pumpwerk für einen 10 m hohen Wasserfall und daneben 1000 Glühlampen betrieben wurden. Die Stromspannung in der Leitung betrug 14000 Volt, die Stromstärke 4,3 Ampère. In Frankfurt wurden die Ströme auf 100 Volt und ca. 600 Ampère transformiert.

---

## VII. Induktionsapparate.

Meine Herren! Wir hatten zuletzt die Wechselstromtransformatoren betrachtet und wenden uns nun zu den **Induktionsapparaten**, die auf analogen Prinzipien beruhen wie erstere, sich aber von ihnen doch in einigen Punkten unterscheiden. Auch hier haben wir wieder eine in den primären Stromkreis eingeschaltete primäre Spule, die aus relativ wenigen Windungen eines dicken Drahtes besteht. Dieselbe wird, ohne daß eine direkte Verbindung existiert, umgeben von der sekundären Spule, die mit sehr vielen Windungen eines dünnen Drahtes bewickelt ist. Auch hier befindet sich zur Verstärkung des magnetischen Feldes im Innern der primären Spule ein Eisenkern, der aber nicht ringförmig geschlossen (wie bei den technischen Wechselstromtransformatoren), sondern stabförmig ist. Da in einem massiven Kern sogenannte Wirbelströme (S. 110) entstehen würden, die die Wirkung des primären Stromes hemmen, also das Entstehen und Verschwinden des magnetischen Feldes verzögern würden, nimmt man als Kern ein Bündel von Eisenstäben, die (durch Firnis, Papier usw.) voneinander isoliert sind, so daß die Wirbelströme mangels einer zusammenhängenden Leitung nicht zustande kommen. Man kann zwar

einen solchen Induktionsapparat auch dadurch betreiben, daß man durch die Primärspule Wechselströme sendet. Gewöhnlich werden aber die zur induktiven Erregung der Sekundärspule notwendigen Schwankungen der Stärke des magnetischen Feldes (bzw. in der Kraftlinienzahl) dadurch erzielt, daß der primäre Strom durch eine automatische Vorrichtung im raschen Wechsel geschlossen und geöffnet wird. Ein solcher automatischer Unterbrecher ist z. B. der bereits erwähnte WAGNER'sche Hammer. Andere Typen von Unterbrechern werden wir bald kennen lernen.

Die Vorgänge in einem Induktionsapparat sind bereits bei der Induktion und bei den Wechselstromtransformatoren beschrieben. Es sei daher hier nur kurz noch einmal hervorgehoben, daß der rascher verlaufende sekundäre Öffnungsinduktionsstrom eine viel höhere Spannung und größere physiologische Wirksamkeit besitzt, als der langsamer verlaufende Schließungsinduktionsstrom (vgl. S. 126),

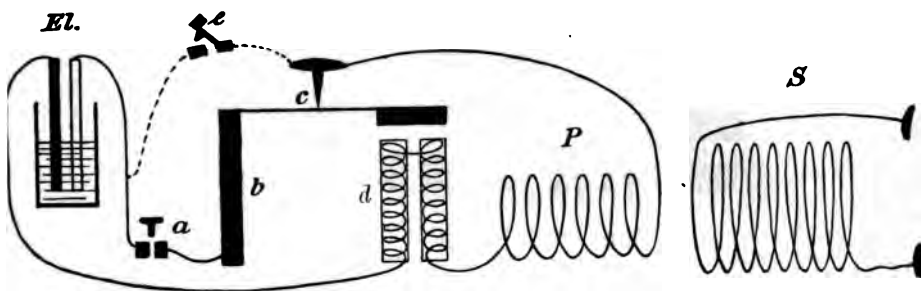


Fig. 165. Schema eines medizinischen Induktionsapparates.

und daß auch hier die Spannungen im sekundären und primären Stromkreise sich nahezu direkt, die Stromstärken dagegen umgekehrt wie die Windungszahlen verhalten.

Betrachten wir zunächst die kleineren **für medizinische Zwecke verwandten Induktionsapparate**. Die primäre Spule derselben besteht<sup>1</sup> meist aus zwei Lagen oder 100–800 Windungen eines 0,6–1 mm dicken, mit Baumwolle besponnenen Kupferdrahtes und besitzt einen Widerstand von 1–5 Ohm. Die sekundäre Spule hat 3000–10000 Windungen eines 0,1–0,2 mm dicken, mit Seide besponnenen Kupferdrahtes mit einem Widerstand von 100–1000 Ohm. Der primäre Strom wird von 1–2 Chromsäure-, Leclanché- oder Trockenelementen geliefert. Auch kann man den Apparat an eine Gleichstromzentrale, z. B. an eine Lichtleitung, anschließen; hier muß man natürlich einen

<sup>1</sup> Vergleiche hierzu das instruktive Buch von E. RUMMER, Konstruktion, Bau und Betrieb von Funkeninduktoren usw. Leipzig 1904.

geeigneten Widerstand, z. B. eine Glühlampe vorschalten, um die zu hohe Spannung herabzusetzen. Ein solcher Induktionsapparat liefert im sekundären Stromkreis Spannungen von 10—500 Volt.

Die Unterbrechung des primären Stromes erfolgt in den kleinen Induktionsapparaten meist mittels des WAGNER'schen Hammers (vgl. S. 90) in verschiedenen Modifikationen. Um einzelne Induktionsschläge zu erhalten, bedient man sich eines Stromschlüssels ( $e$  in Fig. 165). Ist die Leitung zwischen Stromquelle und WAGNER'schem Hammer bei  $a$  unterbrochen, und wird  $e$  mit der Hand heruntergedrückt bzw. emporgehoben, so entsteht bzw. verschwindet ein Strom in der Primärspule  $P$ ; folglich entsteht in der Sekundärspule  $S$  jedesmal ein einziger Induktionsschlag.

Die Stärke der Induktionswirkung kann auf verschiedene Weise reguliert werden. Einmal nämlich dadurch, daß man mehr Elemente in den primären Stromkreis einschaltet bzw. vorhandene Widerstände

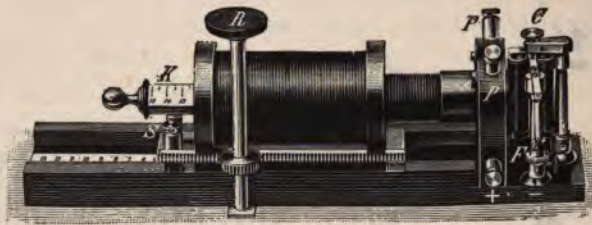


Fig. 166. Schlitteninduktorium.

(z. B. mittels eines Kurbelrheostaten) ausschaltet. Ferner dadurch, daß man den Eisenkern mehr oder weniger tief in die primäre Spule einschiebt; je weiter er in der Spule ist, desto kräftiger wird der Induktionsstrom. Auch kann man bei manchen Apparaten, den sogenannten **Schlittenapparaten** (DU BOIS-REYMOND) die sekundäre Spule über die primäre verschieben. Bei dem in Fig. 166 abgebildeten Apparat der Firma HIRSCHMANN geschieht dies z. B. durch Drehen des Knopfes  $R$ . Je kleiner der Rollenabstand (gewöhnlich  $RA$  abgekürzt), desto kräftiger ist der Induktionsstrom; doch besteht keine direkte Proportionalität zwischen beiden Größen, denn die Stärke der Induktionswirkung wächst viel rascher als die Annäherung der Spulen. Schließlich kann eine Regulation auch durch einen sogenannten Dämpfer erfolgen, d. i. ein Metallrohr, das über den Eisenkern bzw. über die primäre Spule geschoben wird und die Induktionsströme um so mehr schwächt, je weiter es eingeschoben wird (vgl. S. 93).

Das Problem, die Stärke der Induktionsströme in bequemer und einwandfreier Weise zu messen, ist noch nicht gelöst. Da es sich um Wechselströme handelt, ist natürlich ein gewöhnliches Galvanometer hierfür unbrauchbar; vielmehr könnten nur sogenannte Elektrodynamometer (S. 103) in Betracht kommen,

deren Handhabung jedoch zu umständlich ist. Hierzu kommt noch, daß bekanntlich die Öffnungsinduktionsströme stärker sind als die Schließungsinduktionsströme. In der Praxis bestimmt man daher die Stärke der Induktionsströme nach dem Abstände der sekundären und primären Spule. Um vergleichbare Werte zu erhalten, muß man dazu aber natürlich stets die gleiche Stromstärke im primären Stromkreise haben, ferner muß der Apparat der gleiche sein und der Eisenkern dieselbe Lage einnehmen. Nur unter diesen Bedingungen kann man eine Voltkala für den sekundären Strom, entsprechend dem verschiedenen Rollenabstand, konstruieren. Indes haben sich diese sogenannten Faradimeter in der Praxis nicht eingebürgert, zumal ja auch beim faradischen Strom der Effekt in erster Linie durch die Stromstärke bedingt ist, die ja nicht nur von der Spannung, sondern auch von dem sehr variablen Widerstand des menschlichen Körpers abhängt.

Zuweilen will man nur die Öffnungsextraströme des primären Stromes benutzen. Man braucht dann nur die beiden Enden der Primärspule bzw. zwei auf verschiedenen Seiten der Unterbrechungsstelle liegende Punkte mit zwei (an den medizinischen Apparaten gewöhnlich mit *P* bezeichneten) Klemmen leitend zu verbinden, an welche die Elektroden angeschlossen werden können (cf. S. 113 und Fig. 166). Diese „primären“ Induktionsströme bestehen natürlich aus gleichgerichteten Stromstößen; es handelt sich also um einen intermittierenden Gleichstrom.

Versagt ein Induktionsapparat, so liegt der Fehler meist in der Stromquelle. Man untersuche daher zunächst, ob das Element usw. noch funktioniert, z. B. mittels einer elektrischen Klingel oder eines Galvanometers. Dann prüfe man den Unterbrecher. Da derselbe sehr empfindlich ist, hüte man sich, die Kontaktschraube an der Unterbrechungsstelle ohne Grund zu verstellen. Zuweilen ist es erforderlich, das Spiel der Unterbrecherfeder zu Beginn durch leichtes Berühren in Gang zu bringen. Die Spitze der Kontaktschraube muß das Platinstück der Feder gerade noch berühren. Wird das Platin nach längerem Gebrauch infolge der Öffnungsfunken schwarz, so reinigt man es mit Schmirgelpapier usw., aber nie mit Öl. Sind Stromquelle und Unterbrecher in Ordnung, dann prüfe man die Leitungsschnüre. Der Apparat selbst ist nur selten beschädigt, da die Wicklungen gut geschützt sind. Nur Verschütten von Säure kann die Verbindungen oxydieren bzw. die Drähte beschädigen.

Von diesen kleinen, zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken benutzten Induktionsapparaten unterscheiden sich die großen **Funkeninduktoren**, die zum Betrieb von Röntgenröhren, zur Erzeugung von d'Arsonvalströmen usw. dienen, prinzipiell nicht. Nur wird in ihnen durch verschiedene Faktoren eine derartig hohe Spannung (10000 bis 1 Million Volt) erreicht, daß zwischen den Polen der sekundären Spule Funken von oft außerordentlicher Länge und Intensität übergehen können. Derartige Apparate heißen übrigens nach ihrem ersten Konstrukteur auch RÜHMKORFF'sche Induktoren (oft auch kurz Rühmkorffs). Die große Leistungsfähigkeit dieser Apparate — die gewöhnlich nach der maximalen Funkenlänge angegeben wird — wird

vor allem dadurch erreicht, daß die Windungszahl der sekundären Spule außerordentlich groß ist. Bei einem 6 cm-Induktor (der also 6 cm lange Funken liefern kann) sind z. B. auf der sekundären Spule ca. 7000 m Draht aufgewickelt, bei einem 20 cm-Induktor ca. 15 km, bei einem 100 cm-Induktor gar 160 km (in ca. 100 000 Windungen). Die Herstellung der sekundären Spule ist sehr kompliziert, da die Isolierung wegen der enormen Spannungen außerordentlich gut sein muß; sonst würde der Induktor „durchschlagen“, d. h. der Wicklungsdraht durch Funkenbildung zerstört werden. Wir können hier nicht näher auf diese technischen Dinge eingehen und wollen nur erwähnen, daß bei den großen Induktoren die sekundäre Spule gewöhnlich aus vielen hintereinandergeschalteten Abteilungen (Sektionen) besteht,

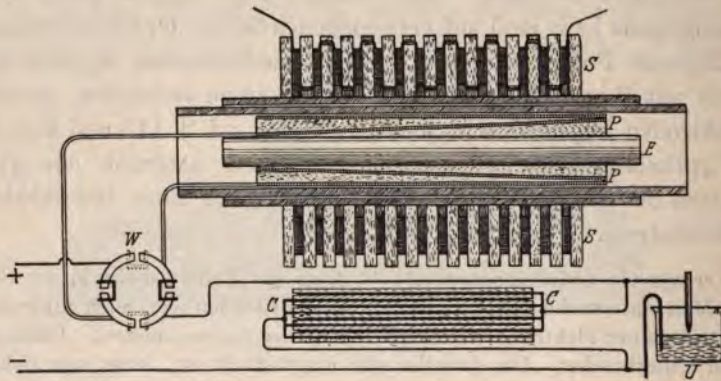


Fig. 167. Durchschnitt durch einen Funkeninduktor.

*PP* Primärspule, *SS* Sekundärspule, *E* Eisenkern, *U* Unterbrecher, *C* Kondensator, *W* Stromwender.

welche die Form dünner Scheiben besitzen. Es hat dies den Vorteil, daß, wenn der Draht an einer Stelle beschädigt wird, nicht die ganze Spule neu bewickelt zu werden braucht. Fig. 167 zeigt z. B. den Durchschnitt eines solchen Funkeninduktors mit vierteiliger Sekundärspule.

Eine wesentliche Erhöhung der Wirksamkeit der Induktoren bedeutete die Einführung des sogenannten **Kondensators** von FIZEAU. Derselbe hat den Zweck, die Öffnungsfunken an der Unterbrechungsstelle zu beseitigen oder doch abzuschwächen. Diese durch die hohe Spannung des Öffnungsextrastroms in der primären Spule entstehenden Funken (vgl. S. 112) haben ja insofern einen schädlichen Einfluß, weil sie verhindern, daß die Öffnung des primären Stromes momentan erfolgt, indem eben, solange der Funke die Unterbrechungsstelle überbrückt, noch ein Strom im primären Stromkreise zirkuliert. Die Stärke des sekundären Öffnungsstromes hängt aber, wie wir sahen, gerade



von der Schnelligkeit der Unterbrechung des primären Stromes ab; insofern verringern die Öffnungsfunken die Spannung der sekundären Öffnungsströme, ganz abgesehen davon, daß sie das Platin an der Kontaktstelle der Unterbrecher angreifen. Um die Wirkung der Induktoren zu verstärken, ist es daher notwendig, diese Öffnungsfunken zu beseitigen oder doch abzuschwächen. Das geschieht dadurch, daß man parallel zur Unterbrechungsstelle eben den Kondensator schaltet, der eine große elektrische Kapazität besitzt, d. h. eine große Elektrizitätsmenge aufnehmen kann, und dadurch die Spannung an der Unterbrechungsstelle verringert (vgl. S. 12). Ein solcher Kondensator, der gewöhnlich in einem Kasten unterhalb des eigentlichen Induktors untergebracht wird, besteht nun aus einer Anzahl paraffin-getränkter Papierblätter, die mit Stanniolstreifen belegt sind. Der erste, dritte, fünfte usw. Stanniolstreifen ragt nach der einen Seite

über die Papierblätter heraus, der zweite, vierte, sechste usw. nach der anderen Seite. Fig. 168 zeigt die Beschaffenheit eines solchen Kondensators und die Art der Verbindung mit dem zuleitenden und ableitenden Drahte. Die Schaltung ist aus Fig. 167 zu ersehen. Auf diese Weise und durch Verbesserung der Unterbrecher hat man die Wirkung der Funkeninduktoren enorm gesteigert. Man bezeichnet, wie gesagt, die Induktoren nach der maximalen Funkenlänge, die sie liefern können. Einen Überblick über das Verhältnis zwischen Funkenlänge und der dazu nötigen Spannung des Sekundärstromes ergibt folgende Tabelle:

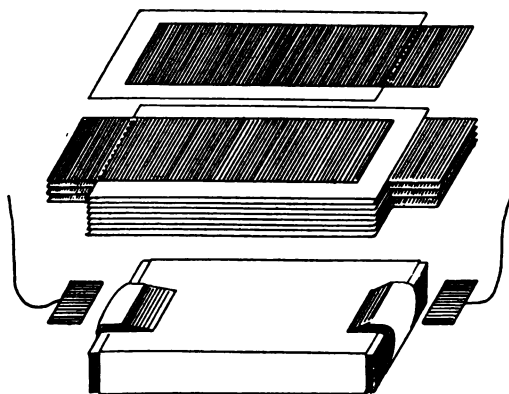


Fig. 168. Kondensator nach FIZEAU.

Die Schaltung ist aus Fig. 167 zu ersehen. Auf diese Weise und durch Verbesserung der Unterbrecher hat man die Wirkung der Funkeninduktoren enorm gesteigert. Man bezeichnet, wie gesagt, die Induktoren nach der maximalen Funkenlänge, die sie liefern können. Einen Überblick über das Verhältnis zwischen Funkenlänge und der dazu nötigen Spannung des Sekundärstromes ergibt folgende Tabelle:

Funkenlänge	10	20	30	40	50	60	70	80	90	Zentimeter
Spannung	107	156	183	220	267	323	387	473	618	Tausend Volt

Es sei hier gleich eine Tabelle (nach RUMER l. c.) hinzugefügt, welche Daten über die zur Erreichung maximaler Funken notwendige Mindestspannung im primären Stromkreise gibt, wenn derselbe achtzehnmal in der Sekunde so unterbricht, daß die Dauer der Öffnung und Schließung gleich ist. Die mittlere Stromstärke im Primärkreise beträgt dabei ca. 3 Ampère. Bei schnellerer Unterbrechung muß man, wie wir noch sehen werden, eine (mindestens 20 Prozent) höhere Betriebsspannung anwenden.

Induktortype	Mindestspannung	Für Röntgenzwecke geeignete Mindestspannung
15 cm	12 Volt	16 Volt
20 "	14 "	16 "
25 "	16 "	20 "
30 "	20 "	24 "
40 "	24 "	28 "
50 "	28 "	32 "
60 "	32 "	40 "
70 "	40 "	48 "

Man darf indes die Leistung eines Induktors nicht allein nach seiner (von der Spannung abhängigen) Funkenlänge beurteilen, sondern muß auch die (von der Stromstärke abhängige) Natur der Funken (ob dünn oder dick) berücksichtigen. Mit anderen Worten, es kommt auf den erzeugten Effekt (die Zahl der Volt-Ampère) an.

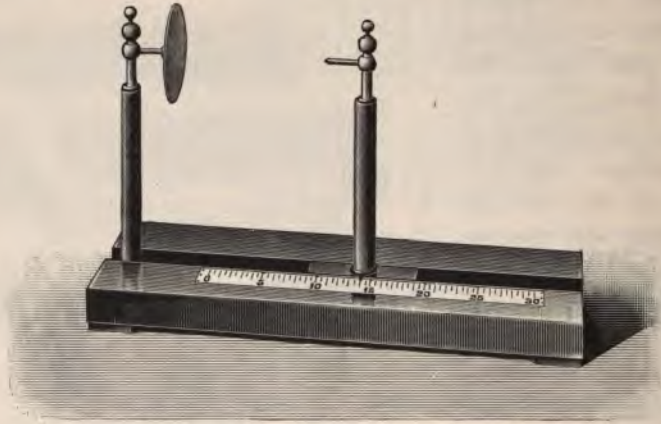


Fig. 169. Verstellbare Funkenstrecke.

Der entweder direkt oder durch Kabel mit den Polen der Sekundärspule verbundene Entlader (auch Funkenstrecke genannt) besteht bei größeren Induktoren gewöhnlich aus zwei Metallstäben, von denen der eine (verstellbare) in eine Spitze, der andere (feststehende) in eine Messingplatte ausläuft (Fig. 169). Um möglichst große Funken zu erhalten, muß man die Spitze zur Anode, die Platte zur Kathode machen. Man kann diese Stellung schon daran erkennen, daß dann die Funken von der Spitze zur Mitte der Platte gehen, während sie bei umgekehrter Schaltung vom Rande der Platte zur Spitze verlaufen. Es könnte hier — und auch bei Anwendung der Röntgenröhren — jemand fragen, warum man eine Anode und Kathode unterscheidet, wo es sich doch um Wechselströme handelt, die jeden Augenblick ihre Richtung wechseln. Darauf ist zu erwidern, daß bei Einschaltung eines großen Widerstandes — wie ihn ja die Luft der

Funkenstrecke und das Vakuum der Röntgenröhren repräsentiert — in Wirklichkeit nur die hochgespannten Öffnungsströme in Betracht kommen, da die Schließungsinduktionsströme den Widerstand eben nicht überwinden können. Wir haben es dann also nur mit gleich-

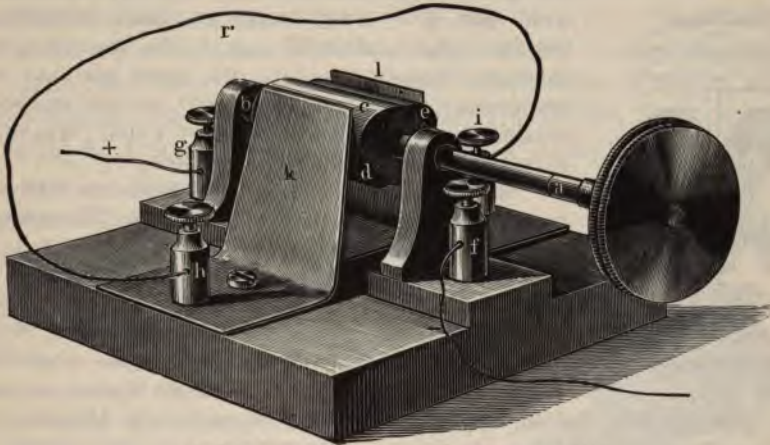


Fig. 170. RÜHMKORFF'scher Stromwender.

gerichteten intermittierenden Stromstößen zu tun, so daß man mit Recht von einer Stromrichtung sprechen kann.

Es ist hier der Ort, kurz auf die sogenannten **Stromwender** oder Kommutatoren einzugehen, das sind Apparate, welche in bequemer Weise gestatten, die Stromrichtung umzukehren. Von den außerordentlich zahlreichen Konstruktionen seien nur drei angeführt.

Beim RÜHMKORFF'schen Stromwender (Fig. 170) werden zwei Messingwülste *d* und *e*, die auf einem Ebonitzylinder *c* angebracht sind, bei Drehung des Zylinders entweder gegen die Metallfedern *k* und *l* angedrückt (und zwar *e* gegen *l*, *d* gegen *k* oder umgekehrt); dann ist der Stromkreis geschlossen. Oder aber sie berühren die Metallfedern nicht,

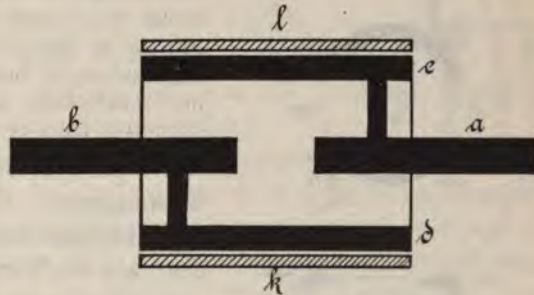


Fig. 171. Durchschnitt durch einen RÜHMKORFF'schen Stromwender.

sondern den Ebonitzylinder; dann ist der Stromkreis geöffnet. Die Achse des Zylinders besteht nun aus zwei voneinander isolierten Stücken aus leitender Substanz, von denen das rechte sowohl mit *e* wie mit der Klemmschraube *f*, das linke mit *d* und der Klemmschraube *g* verbunden ist (vgl. auch Fig. 171). Die Metallfedern *k* und *l* stehen ihrerseits mit den Klemmen *h* und *i* in leitender Verbindung. Die Poldräfte der Stromquelle werden bei *f* und *g* eingeklemmt.

Berührt  $d$  die Feder  $k$ ,  $e$  die Feder  $l$ , dann geht der Strom von  $g$  nach  $b$  durch den angrenzenden Teil der Achse nach dem Wulste  $d$ , weiter zu  $k$  und  $h$ , fließt also im Drahte  $r$  von links nach rechts zu  $i$ , um dann über  $l$ ,  $e$  und den damit verbundenen Teil der Achse nach  $f$  zu gelangen. Berührt dagegen  $d$  die Feder  $l$ ,  $e$  die Feder  $k$ , dann geht der Strom von  $g$  nach  $b$  zum Wulste  $d$ , dann über  $l$ ,  $i$  zum Drahte  $r$ , der jetzt von rechts nach links durchflossen wird, nach  $h$ ,  $k$ ,  $e$  und durch den damit verbundenen Teil der Achse schließlich nach  $f$ . Um den Strom umzukehren, braucht man also die Achse nur um  $180^\circ$  umzudrehen; dreht man sie um  $90^\circ$ , so wird der Strom unterbrochen, da ja jetzt die Federn  $k$  und  $l$  den nichtleitenden Teil des Zylinders  $c$  berühren.

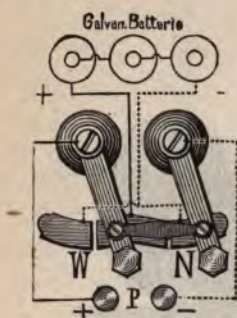


Fig. 172.  
Stromwender.

Zu medizinischen Zwecken (besonders Galvanotherapie) viel angewandt wird der in Fig. 172 skizzierte einfache Apparat. Der negative Pol der Batterie ist hier mit der Metallplatte  $W$  und  $N$  verbunden, der positive mit der mittleren Lamelle. Solange die Kurbeln auf  $N$  (normal) und der mittleren Lamelle ruhen, ist die Klemme  $+$  mit dem positiven, die Klemme  $-$  mit dem negativen Pol verbunden; werden die Kurbeln so weit nach links gedreht, daß sie auf  $W$  und  $N$  ruhen, so sind beide Klemmen mit dem negativen Pol verbunden, der Strom ist also unterbrochen; ruhen sie auf  $W$  und der mittleren Lamelle (Wendung), so ist Klemme  $+$  mit dem negativen, Klemme  $-$  mit dem positiven Pol verbunden.

Eine gebräuchliche Form der Stromwender zeigt auch Fig. 173. Hier schleifen vier Metallfedern an einem durch eine Kurbel drehbaren Hartgummi-zylinder, auf dessen Peripherie zwei voneinander isolierte Messingscheiben angebracht sind. Die Federn  $1$  und  $2$  sind mit der Stromquelle,  $3$  und  $4$  mit dem Stromkreis, in dem der Wechsel usw. stattfinden soll, verbunden. Bei der in Fig. 173 dargestellten Stellung fließt der Strom von  $3$  nach  $4$ ; ist der Zylinder um  $90^\circ$  gedreht, so daß die Messingscheiben rechts bzw. links stehen, so fließt er von  $4$  nach  $3$ ; schleifen die Metallfedern auf dem Hartgummitteil des Zylinders, dann ist der Strom unterbrochen.

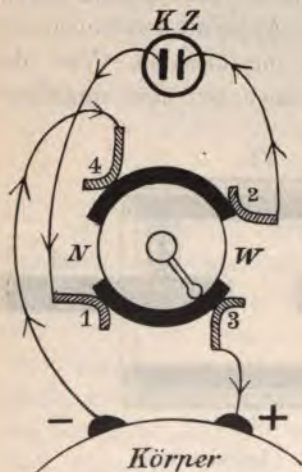


Fig. 173. Stromwender.

Von besonderer Wichtigkeit für den Wirkungsgrad der Induktoren sind nun die **Unterbrecher**, die gerade in neuester Zeit, seit der Entdeckung RÖNTGEN's, außerordentlich vervollkommen worden sind. Ein guter Unterbrecher muß Ströme hoher und niedriger Spannung und Intensität gleichmäßig, schnell und exakt unterbrechen und möglichst geräuschlos arbeiten. Von der Schnelligkeit und Exaktheit der Unterbrechung hängt ja, wie wir sahen, die Größe der elektromotorischen Kraft im sekundären Stromkreise in erster Linie ab. Allerdings bedarf es hier einer Einschränkung. Nach Untersuchungen von

WALTER (Hamburg) ist nämlich die in einem Induktionsapparate bei der Unterbrechung des primären Stromes erzeugte Spannung im sekundären Stromkreise direkt proportional der primären Öffnungsstromstärke, d. h. der Intensität, die der primäre Strom im Augenblick der Öffnung besitzt. Nun wissen wir aber, daß der primäre Strom infolge der Selbstinduktion eine gewisse Zeit braucht, um seine maximale Intensität zu erreichen. Wird er unterbrochen, bevor dies der Fall ist, dann wird eben die induzierte elektromotorische Kraft im sekundären Stromkreise geringer sein. Unter Umständen kann also eine zu schnelle Unterbrechung den sekundären Strom schwächen oder, mit anderen Worten, bei einer gegebenen Primärspannung darf eine bestimmte Unterbrechungszahl nicht überschritten werden. Will man andererseits bei gegebener Unterbrechungszahl größere „Öffnungsstromstärken“ (s. o.) haben, so muß man höhere Betriebsspannungen anwenden. Aus diesen Erörterungen folgt ferner auch die wichtige Regel, niemals den primären Strom, namentlich bei hohen Betriebsspannungen, in den Induktor direkt eintreten zu lassen, bevor nicht der (gewissermaßen als Widerstand wirkende) Unterbrecher ordentlich in Gang ist. Sonst kann es vorkommen, daß die Isolation des Induktors gefährdet wird. Es kann nicht unsere Aufgabe sein, die unendlich vielen Unterbrecherkonstruktionen hier alle zu besprechen. Wir wollen uns vielmehr auf einige wichtige Typen beschränken, indem wir zunächst von der Annahme ausgehen, daß ein Gleichstrom zur Verfügung steht.

Die erste Gruppe der Unterbrecher sind die Platinunterbrecher, deren Urtypus der bereits besprochene WAGNER'sche Hammer ist; derselbe gibt nur 15—20 Unterbrechungen pro Sekunde und ist nur für kleinere Induktoren (bis 15 cm Funkenlänge) verwendbar. Wesentlich raschere (15—40 pro Sekunde) und gleichmäßigere Unterbrechungen erzielt man mit dem DEPREZ-Unterbrecher. Hier wird das eine Ende ( $E$ ) eines länglichen Eisenstückes ( $EE'$ , Fig. 174), das um die Achse  $A$  drehbar ist, durch den Eisenkern des Induktors angezogen. Dadurch wird der durch die Schraube  $S$  zugeleitete Strom bei  $C$  unterbrochen,  $E$  wird nicht mehr vom Induktor angezogen und durch eine kleine Feder bei  $F$ , die nach Bedarf gespannt werden kann, gegen die Spitze von  $S$  bei  $C$  angepreßt, so daß der Strom wieder

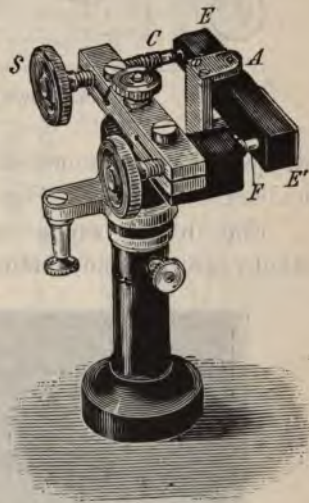


Fig. 174. DEPREZ-Unterbrecher.

geschlossen ist u. s. f. Die Platinunterbrecher sind zwar bequem und sauber, haben aber den Nachteil, daß die Platinkontakte sich schnell abnutzen und daß sie nur für mittelgroße Induktoren anwendbar sind.

Die zweite Gruppe von Unterbrechern sind die Quecksilberwippen. Hier tauchen in ein Gefäß (*G*, Fig. 175), das Quecksilber

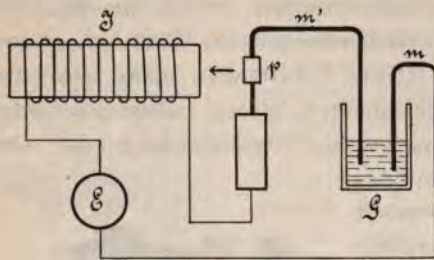


Fig. 175. Quecksilberwippe.

und darüber zur Verhinderung der Funkenbildung eine Schicht Petroleum oder Alkohol enthält, zwei Metallstäbe und zwar der eine (*m*) bis in die Nähe des Bodens, der andere (*m'*) nur oberflächlich. Dadurch ist der Strom geschlossen, der Eisenkern des Induktors zieht *m'* an, so daß es aus der Flüssigkeit herausgehoben wird. Dadurch

wird aber der Strom unterbrochen, *m'* nimmt wieder die alte Stellung ein u. s. f. (Vgl. auch Fig. 167.)

Eine dritte Gruppe von Unterbrechern, die sogenannten Motorunterbrecher, sind dadurch charakterisiert, daß ihr Betrieb durch

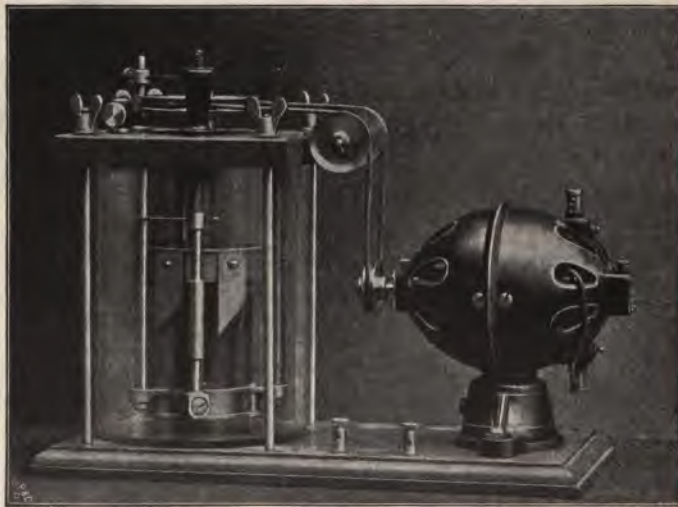


Fig. 176. Quecksilberstrahlunterbrecher von MAX LEVY.

einen Elektromotor erfolgt, der meist von einer besonderen Stromquelle gespeist wird. Die Motorquecksilberunterbrecher sind ähnlich den oben beschriebenen; nur wird eben hier der Kontaktstift durch einen kleinen Elektromotor in vertikaler Richtung abwechselnd ins Quecksilber eingetaucht und herausgezogen.



Im Anschluß hieran sei noch kurz der HIRSCHMANN'sche Unterbrecher mit Gleitkontakten erwähnt, bei dem das Quecksilber nicht den periodischen Stromschluß besorgt, sondern nur zur Stromzuleitung und hauptsächlich zur Amalgamierung der zum Stromschluß dienenden Kupferflächen dient.

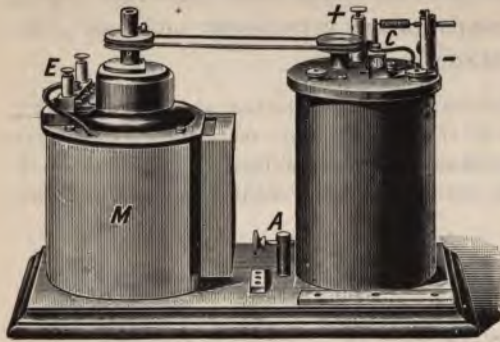


Fig. 178.

Unterbrecher von HIRSCHMANN mit Motor.

Diese Kupferflächen schleifen bei der Rotation an einer feststehenden Kupferplatte *B*, die mittels der Regulierfeder *E* mehr oder weniger stark an sie gepreßt werden kann und durch die mit + bezeichnete Anschlußklemme mit dem einen Pol der Stromquelle verbunden ist. Die rotierenden Kupferflächen an der vertikalen Achse stehen mit dem anderen Pol durch eine zweite (an der Außenwand des Gefäßes angebrachte, in der Figur nicht sichtbare) Klemme in Verbindung, die zunächst zu einem Quantum Quecksilber führt, das sich in einem Raume unterhalb der rotierenden Achse befindet und infolge der Rotation in zwei schrägen Rinnen (von denen nur die vordere bei *C* sichtbar ist) zu den rotierenden Kupferflächen emporgehoben wird. Diese werden dabei dauernd und gleichmäßig amalgamiert, wodurch ein sicherer Kontakt erzielt wird. Auf diese Weise wird bei jeder vollen Umdrehung der Achse der Strom zweimal geschlossen und zweimal geöffnet



Fig. 179. Unterbrecher von HIRSCHMANN aus seinem Gefäß herausgenommen.

Stromstärken im Primärkreise. Demgegenüber haben sie den Nachteil, daß ihr Preis nicht billig ist, und daß sie wegen Verschlammung des Quecksilbers ab und zu einer Reinigung bedürfen.

Durch einen Elektromotor (*M* Fig. 178) wird hier mittels Schnurlaufs eine vertikale Achse *D* (Fig. 179) in Rotation versetzt, die an ihrem unteren Ende zwei voneinander isolierte Kupferflächen besitzt. (In Fig. 179 ist nur die mit *A* bezeichnete sichtbar.)

Diese Kupferflächen schleifen bei der Rotation an einer feststehenden Kupferplatte *B*, die mittels der Regulierfeder *E* mehr oder weniger stark an sie gepreßt werden kann und durch die mit + bezeichnete Anschlußklemme mit dem einen Pol der Stromquelle verbunden ist. Die rotierenden Kupferflächen an der vertikalen Achse stehen mit dem anderen Pol durch eine zweite (an der Außenwand des Gefäßes angebrachte, in der Figur nicht sichtbare) Klemme in Verbindung, die zunächst zu einem Quantum Quecksilber führt, das sich in einem Raume unterhalb der rotierenden Achse befindet und infolge der Rotation in zwei schrägen Rinnen (von denen nur die vordere bei *C* sichtbar ist) zu den rotierenden Kupferflächen emporgehoben wird. Diese werden dabei dauernd und gleichmäßig amalgamiert, wodurch ein sicherer Kontakt erzielt wird. Auf diese Weise wird bei jeder vollen Umdrehung der Achse der Strom zweimal geschlossen und zweimal geöffnet

Alle diese Motorunterbrecher gestatten sehr frequente Unterbrechungen (mehrere Hundert pro Sekunde) und die Anwendung beliebig hoher Spannungen und



Auf ganz anderen Prinzipien beruhen die Flüssigkeitsunterbrecher (fälschlich elektrolytische Unterbrecher genannt), deren Prototyp, den WEHNELT-Unterbrecher, wir nunmehr besprechen wollen. In seiner einfachsten Form (Fig. 180) besteht er aus einem mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Glasgefäß, in das als Kathode eine breite Bleiplatte, als Anode ein dünner Platinstift taucht, welcher letzterer nach Bedarf mehr oder weniger weit in die Flüssigkeit vorgeschoben werden kann. Schickt man nun durch dieses Gefäß einen Strom von mindestens 60 Volt Spannung und schaltet zugleich in den Stromkreis eine Spule von beträchtlicher Selbstinduktion, so tritt neben den eigentlichen elektrolytischen Erscheinungen (Bildung von Wasserstoff an der Kathode, von Sauerstoff an der Anode), an der Anode noch folgendes Phänomen auf: Infolge des durch den kleinen Querschnitt bedingten großen Widerstandes der Platinspitze tritt hier eine sehr starke Erhitzung (Joule'sche Wärme) ein, wodurch die benachbarten Flüssigkeitsteilchen in Dampf verwandelt werden. Hierdurch wird der Strombewegung aber ein Widerstand gesetzt, und infolgedessen nimmt die Stromstärke plötzlich ab. Würde nun keine Rolle mit Selbstinduktion im Stromkreise vorhanden sein, so würde die Stromstärke, nachdem sie diese Dampfzelle erzeugt hat, ohne weitere Nebenerscheinungen so weit sinken, bis sich ein stationärer Zustand ausgebildet. Ist aber im Stromkreise eine Rolle mit erheblicher Selbstinduktion vorhanden, so wird infolge der plötzlichen Abnahme der Stromstärke ein kräftiger Öffnungsextrastrom erzeugt, der unter Funkenbildung die erhitzte Dampfzelle durchschlägt, in Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt, und die Gasteilchen (Knallgas) explosionsartig auseinandertreibt. Unmittelbar darauf kommt die Flüssigkeit mit der Spitze wieder in Berührung und der beschriebene Vorgang wiederholt sich.<sup>1</sup> Auf

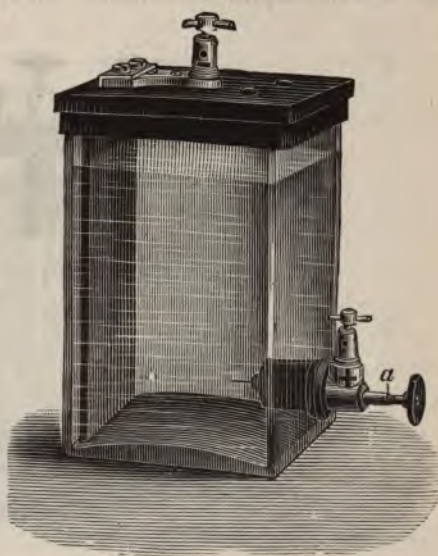


Fig. 180. WEHNELT-Unterbrecher.  
Ursprüngliche Form.

<sup>1</sup> Diese Theorie des WEHNELT-Unterbrechers ist gegenwärtig ziemlich allgemein angenommen. Indes erklärt sie nicht die Polarität des Unterbrechers, der eben nur dann funktioniert, wenn die Platinspitze Anode ist. Neuerdings hat daher KLUPATHY (Annalen der Physik, 1902, Bd. 9) den Nachweis zu erbringen

diese Weise erhält man außerordentlich rasche (bis 3000 in der Sekunde) und regelmäßige Unterbrechungen, die von starken Wärme- und Leuchterscheinungen an der Anode begleitet sind. Die Unterbrechungszahl wächst mit der Spannung, kann also durch Ausschalten von Widerstand erhöht werden; hierdurch wächst zugleich die Stromstärke. Die Unterbrechungszahl wächst ferner um so mehr, je kürzer der Platinstift des Unterbrechers, also je größer die Stromdichte an der Anode ist, während die Stromstärke hier im entsprechenden Verhältnisse abnimmt. Die Unterbrechungszahl ist aber auch von der Selbstinduktion in der Primärspule des Induktors abhängig, und da diese wieder durch die Sekundärspule beeinflusst wird, auch von der Sekundärspule.

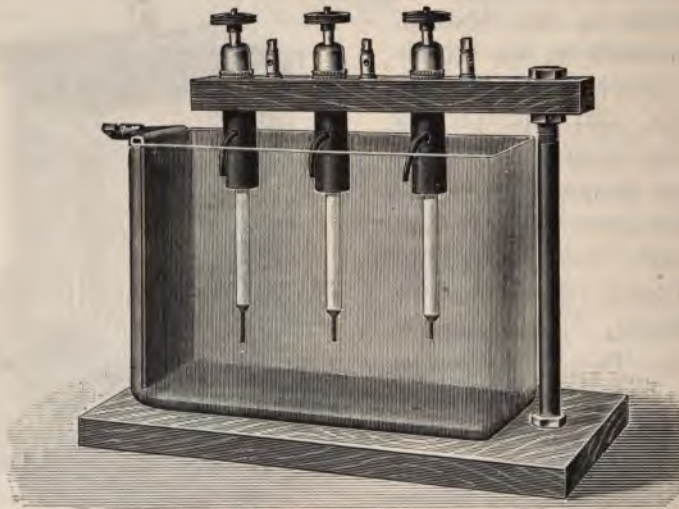


Fig. 181. Dreiteiliger WEHNELT-Unterbrecher.

Wächst nämlich die Selbstinduktion, so werden die Unterbrechungen langsamer, die Stromstärke wird kleiner. Nimmt die Selbstinduktion ab, so werden die Unterbrechungen schneller, die Stromstärke wird größer. Ist allerdings die Selbstinduktion zu gering, so setzen die Unterbrechungen ganz aus (s. o.), dann ist ein besonderer induktiver Vorschaltwiderstand nötig. Man kann somit durch Veränderung der Stiftlänge und der Selbstinduktion beliebig die Unterbrechungszahl bzw. Stromstärke variieren. Diesen Anforderungen wird durch die

---

versucht, daß die zur Verdampfung der Flüssigkeit erforderliche Wärme nicht nur aus der JOULE'schen Wärme besteht, sondern auch auf die PELTIER-Wirkung zwischen Metall und Elektrolyt zurückzuführen ist. Ist die Drahtelektrode eine Anode, so addieren sich JOULE'sche und PELTIER'sche Wärme, ist sie eine Kathode, so wird die JOULE'sche Wärme um die PELTIER-Abkühlung vermindert, ist daher zur Verdampfung nicht mehr ausreichend.

neueren Konstruktionen Rechnung getragen. Man verwendet nämlich, um die Regulierung der Stiftlänge zu ersparen, WEHNELT-Unterbrecher mit mehreren verschieden langen Stiften, die beliebig von einem Schaltbrett usw. aus eingeschaltet werden können (vgl. Fig. 181). Es ist dies schon deshalb vorteilhaft, weil man den WEHNELT-Unterbrecher wegen seines lauten Geräusches und wegen der sich entwickelnden Schwefelsäuredämpfe nicht gern in das Röntgenzimmer selbst stellt. Ferner hat es sich bewährt, Induktoren mit variabler Selbstinduktion (sog. WALTER-Schaltung) herzustellen, indem man nämlich hier die Wicklung der Primärspule nicht mehr aus einer Lage, sondern aus mehreren, gewöhnlich vier, herstellt. Man kann dann (durch eine einfache Schaltungsvorrichtung) entweder alle vier Windungen hintereinanderschalten (große Selbstinduktion, folglich kleine Stromstärke, geringe Unterbrechungszahl) oder alle parallel (kleine Selbstinduktion, große Stromstärke, hohe Unterbrechungszahl), oder man schaltet sie in zwei Serien parallel und erhält dann mittlere Wirkungen. Der WEHNELT-Unterbrecher ist wegen seiner Exaktheit und Leistungsfähigkeit sowie auch wegen der geringen Wartung, die er braucht, ein sehr zweckmäßiger Unterbrecher. Da ferner bei seiner Anwendung ein gewisser Grad von Selbstinduktion nicht nur nicht hinderlich, sondern sogar notwendig ist (s. o.), fällt hier der FIZEAU'sche Kondensator fort, wodurch das Instrumentarium wesentlich billiger wird. Gegen diese Vorzüge kommen die bereits erwähnten Nachteile nur wenig in Betracht. Allerdings gehört zum Arbeiten mit diesem Unterbrecher eine gewisse Übung, damit die Röntgenröhren nicht durch Anwendung zu großer Stromstärken Schaden erleiden.

Bisher haben wir Unterbrecher kennen gelernt, die bei Anwendung von Gleichstrom in Betracht kommen. Steht nur ein Wechselstrom zur Verfügung — der ja an sich auch zum Betrieb eines Induktors dienen kann, aber ungeeignet ist, wenn der Induktor zu Röntgenzwecken benutzt werden soll, weil man die Unterbrechungsfrequenz nicht beliebig steigern kann, sondern an die Periodenzahl der Stromquelle gebunden ist —, so muß man ihn entweder durch einen der erwähnten Transformatoren in Gleichstrom umwandeln, oder man muß besondere Unterbrecher anwenden, bei denen entweder nur die positiven oder nur die negativen Phasen des Wechselstroms benutzt werden. Der WEHNELT-Unterbrecher ist (für kleinere Induktoren) ohne weiteres auch bei Wechselstrom anwendbar, da er gleichzeitig als Stromrichter wirkt. Geht nämlich Wechselstrom durch ihn hindurch, so wird die Platinspitze abwechselnd Anode und Kathode. Nur im ersteren Falle treten die beschriebenen Erscheinungen auf, so daß also nur gleichnamige Phasen des Wechselstroms (z. B. die positiven) wirksam durch den Unterbrecher hindurchgehen. Zweck-

mäßig ist die gleichzeitige Anwendung von sogenannten Drosselzellen (GRAETZ). Besteht nämlich in einer gewöhnlichen Zersetzungs- zelle die eine Elektrode aus Aluminium, die andere aus einem beliebigen anderen Stoff (Kohle usw.), so gehen Ströme unter 22 Volt Spannung nur in der Richtung von der Kohle zum Aluminium durch, da im anderen Falle der am Aluminium sich abscheidende Sauerstoff eine nichtleitende Schicht bildet. Eine Phase des Wechselstroms wird hier also unterdrückt, „abgedrosselt“. Durch Hintereinanderschaltung von  $n$  solcher Drosselzellen kann auch ein Wechselstrom von  $n$  mal 22 Volt in intermittierenden Gleichstrom verwandelt werden. Durch

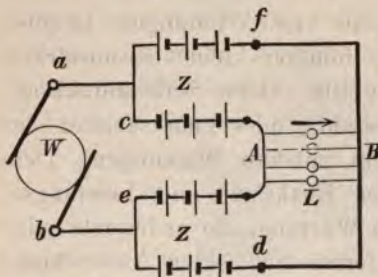


Fig. 182. GRAETZ'sche Schaltung von Drosselzellen.

eine bestimmte, von GRAETZ angegebene Schaltung solcher Drosselzellen kann man nun auch erreichen, daß alle Phasen eines Wechselstromes (nicht nur die gleichnamigen) in Gleichstrom nutzbar umgewandelt werden, wie aus Fig. 182 hervorgeht. In derselben stellt  $W$  die Wechselstrommaschine,  $ZZ$  die Aluminiumkohlezellen (und zwar bedeuten die langen Striche die Aluminiumplatten, die kurzen die Kohleplatten),

$L$  eine Lampenanlage vor. Dann fließt während einer halben Periode, in der  $a$  die positive Klemme ist, der Strom über  $e$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $d$  nach  $b$ ; in der nächsten halben Periode, in der  $b$  positiv ist, fließt er über  $e$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $f$  nach  $a$ . Die Lampen werden also bei dieser Anordnung dauernd vom (pulsierenden) Gleichstrom durchflossen. Hierauf beruht z. B. der GRISSON'sche Gleichrichter.

## VIII. Röntgen- und Becquerelstrahlen. Teslaströme.

Meine Herren! Wir haben jetzt die Hauptprinzipien der modernen Induktoren kennen gelernt und wollen nun einige auf der Wirkung hochgespannter Elektrizität beruhende Phänomene besprechen, die man mittels solcher Apparate hervorbringen kann. Natürlich kann man hochgespannte Elektrizität auch durch Influenzmaschinen erzeugen; aber die Wirkung der Induktoren ist doch wesentlich stärker und ihre Handhabung bequemer.

Zunächst sei erwähnt, daß die Funkenentladungen eine starke Ozonisierung der Luft bewirken und reich an chemisch wirksamen

Strahlen sind. Zuweilen werden sie daher als Ersatz des Bogenlichts therapeutisch verwandt, indem man sie innerhalb einer mit Quarzfenster versehenen Kapsel überspringen läßt, die auf den zu behandelnden Körperteil gedrückt wird (vgl. Abschnitt IX). Von besonderem Interesse sind die **Entladungserscheinungen in verdünnten Gasen**. Um dieselben zu studieren, schließt man die Gase in sogenannte **GEISSLER'sche Röhren** ein, das sind Glasgefäße von mannigfaltiger Form, in die an zwei Stellen Aluminiumelektroden eingeschmolzen sind (Fig. 183). Diese Röhren werden also mit Luft bzw. einem anderen Gase gefüllt und durch eine Luftpumpe bis zu dem gewünschten Grade ausgepumpt, worauf sie zugeschmolzen werden. Will man den Wechsel der Erscheinungen bei den verschiedenen Evakuierungsgraden an ein und derselben Röhre studieren, so läßt man sie natürlich mit der Luftpumpe in Verbindung. Ist nun eine solche Röhre in den sekundären Stromkreis eines Induktors eingeschaltet und der Druck in ihr durch Auspumpen auf 6 bis 8 mm Quecksilber<sup>1</sup> erniedrigt, so sieht

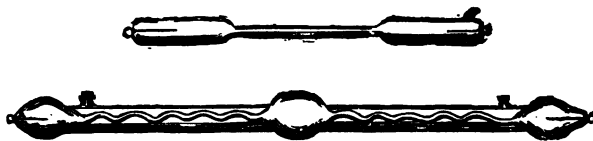


Fig. 183. GEISSLER'sche Röhren.

man zwischen beiden Elektroden ein helles violettes Lichtband verlaufen, das sich bei 1—3 mm Druck verbreitert und eine Schichtung aufweist. Bei näherer Betrachtung sieht man, daß das von der (gewöhnlich scheibenförmigen) Anode ausgehende Licht mehr rötlich aussieht und bis in die Nähe der Kathode reicht, von der es durch einen dunklen Zwischenraum getrennt ist. Die Oberfläche der (drahtförmigen) Kathode ist von einem dünnen Häutchen rötlichgelben Lichtes, der leuchtenden Kathodenschicht, bedeckt; darum, durch den sogenannten Kathodendunkelraum getrennt, ist eine Schicht von bläulichem Glimmlicht. Diese Erscheinungen werden noch deutlicher, wenn man die Evakuierung steigert. Dabei dehnt sich das Glimmlicht immer mehr nach der Anode zu aus, während das Anodenlicht immer kleiner wird, seine Schichtung verliert und schließlich bis auf einen kleinen Rest ganz verschwindet. Der dunkle Zwischenraum zwischen Anoden- und Kathodenlicht bleibt bestehen und wird bei zunehmender Verdünnung immer größer. Bemerkenswert ist die Tatsache, daß der Spannungsabfall im Innern einer GEISSLER'schen Röhre am größten im Kathodendunkelraum ist. Wird die Evakuierung so weit getrieben, daß der Gasdruck im Innern der Röhre nur 0,01—0,001 mm Queck-

<sup>1</sup> Der atmosphärische Luftdruck beträgt bekanntlich im Mittel 760 mm Quecksilber.

silber betrügt, so tritt eine neue Erscheinung auf. Die Röhre nämlich, die jetzt fast gar kein positives Licht und nur ein schwaches, diffuses Glimmlicht noch aufweist, zeigt an der Stelle, die der — gewöhnlich in einem Winkel zur Anode angebrachten — Kathode gegenüberliegt, einen grün oder blau fluoreszierenden<sup>1</sup> Flecken. Derselbe wird bedingt durch unsichtbare, von der Kathode ausgehende Strahlen, die von HITTORF und CROOKES entdeckten **Kathodenstrahlen**. Den Entdeckern zu Ehren nennt man solche Röhren, die sich also von den GEISSLER'schen durch die höhere Evakuierung unterscheiden, auch gewöhnlich HITTORF'sche oder CROOKES'sche Röhren.

Die Haupteigenschaften der merkwürdigen Kathodenstrahlen sind folgende: 1. Sie erzeugen in jedem (nichtmetallischen) Körper, auf den sie treffen, Fluoreszenz, wie wir dies ja für die Wand der Glasröhre bereits erwähnt haben. 2. Sie breiten sich in einer zur Oberfläche der



Fig. 184. Geradlinige Ausbreitung der Kathodenstrahlen.



Fig. 185. Wirkung der Kathodenstrahlen auf ein Glimmerrädchen.

Kathode senkrechten Richtung geradlinig aus, ganz unabhängig davon, wo die Anode liegt und welche Form sie besitzt (dieselbe kann z. B. ringförmig sein). Ist die Kathode hohlspiegelartig, so vereinigen sie sich in einem Brennpunkt. Die geradlinige Ausbreitung der Kathodenstrahlen wird dadurch bewiesen, daß, wenn man ihnen einen festen Körper in den Weg stellt, ein ähnliches Schattenbild desselben auf der fluoreszierenden Stelle der gegenüberliegenden Glaswand entsteht (Fig. 184). 3. Sie besitzen starke Wärmewirkungen. So wird die fluoreszierende Stelle der Glaswand der Röhre erhitzt, und ein in den Brennpunkt der Kathodenstrahlen angebrachtes Aluminiumblättchen gerät ins Glühen. 4. Sie können in labilem Gleichgewicht befindliche, leichte Körper in Bewegung setzen, z. B. ein auf zwei parallelen Glasstäben befindliches Glimmerrädchen (Fig. 185) oder ein Radiometer (Fig. 186). Hierbei sind aber elektrostatische und Wärmeeinwirkungen

<sup>1</sup> Fluoreszenz heißt die Erscheinung, daß ein Körper während einer Bestrahlung selbstleuchtend wird und dabei ein Licht aussendet, welches von seiner Eigenfarbe und der Farbe der Lichtquelle verschieden ist. Phosphoreszenz bedeutet Nachleuchten. Beide Erscheinungen sind häufig miteinander verbunden.

zum mindesten beteiligt. 5. Sie gehen durch dünne Metallschichten (aber nicht durch Glimmer- oder Glasplatten) hindurch. LENARD konnte z. B. dadurch, daß er ein Aluminium-„Fenster“ gegenüber der Kathode anbrachte, d. h. ein dünnes Aluminiumplättchen auf der betreffenden (durchlocherten) Stelle der Wand aufkittete (vgl. Fig. 187), die Kathodenstrahlen auch aus der Röhre in die freie Luft herausbringen, wo sie jedoch bald diffus zerstreut werden. 6. Sie sind sowohl innerhalb wie außerhalb der Röhre photographisch wirksam. 7. Sie machen die Luft leitend. So verliert ein geladener Konduktor, der vor dem Aluminiumfenster aufgestellt wird, durch die Wirkung der Strahlen seine Elektrizität. 8. Sie werden durch magnetische und elektrostatische Einwirkungen (z. B. schon durch Reiben der Glaswand mit dem Finger) aus ihrer Richtung abgelenkt. 9. Sie erzeugen dort, wo sie auf feste Körper aufprallen, eine neue Art von Strahlen, die Röntgenstrahlen.

Bevor wir auf diese und das Wesen der Kathodenstrahlen eingehen, wollen wir kurz die von GOLDSTEIN entdeckte Tatsache erwähnen, daß auch von der Anode Strahlen ausgehen. Durchbohrt man nämlich die Kathode, so treten aus der Öffnung nach der der Anode abgewandten Seite hin bläuliche Strahlen aus, die man mit Rücksicht auf die Art ihrer Erzeugung **Kanalstrahlen** nennt. Dieselben erzeugen wieder neue diffuse Strahlen von gelber Farbe, so daß es den Anschein hat, als senden die Kanalstrahlen selbst gelbes Licht aus. Auch die Kanalstrahlen können Fluoreszenz erzeugen und sind magnetisch ablenkbar, beides jedoch in geringerem Maße als die Kathodenstrahlen. Genauere Untersuchungen ergaben, daß sie wieder aus Strahlen von verschiedener Ablenkbarkeit zusammengesetzt sind.

Mit den Kathodenstrahlen hängen nun eng zusammen die von RÖNTGEN 1895 entdeckten **X-Strahlen**. Sie entstehen überall dort, wo Kathodenstrahlen auf feste Körper auftreffen, u. a. auch an dem fluoreszierenden Teil der Röhrenwand. Besonders wirksame Röntgenstrahlen erhält man, wenn Kathodenstrahlen auf einen Platinspiegel fallen. Man konstruiert daher die zur Erzeugung von X-Strahlen dienenden Röhren, die sogenannten Röntgenröhren, so, daß man in den Brennpunkt einer hohlspiegelförmigen Kathode (*a* Fig 188) einen Platinspiegel (gewöhnlich auf Aluminiumunterlage) als sogenannte



Fig. 186. Wirkung der Kathodenstrahlen auf ein Radiometer.

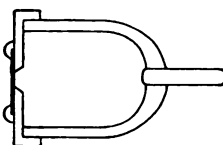


Fig. 187.  
LENARD'scher Versuch.

Antikathode (*b*) bringt, von der die wirksamen Röntgenstrahlen ausgehen. Durch diese Anordnung erreicht man zugleich, daß die X-Strahlen möglichst nur von einem Punkte der Antikathode ausgehen, der eben im Brennpunkt der Kathodenstrahlen liegt (daher der Name Fokusröhren); hierdurch erhält man wesentlich schärfere Bilder, als wenn die X-Strahlen von einer größeren Fläche ausgehen. Wir können hier nicht näher auf die verschiedenen Konstruktionen und Eigenschaften der Röntgenröhren eingehen; nur das sei erwähnt, daß man Röhren, bei denen die Luft maximal verdünnt ist, hart,

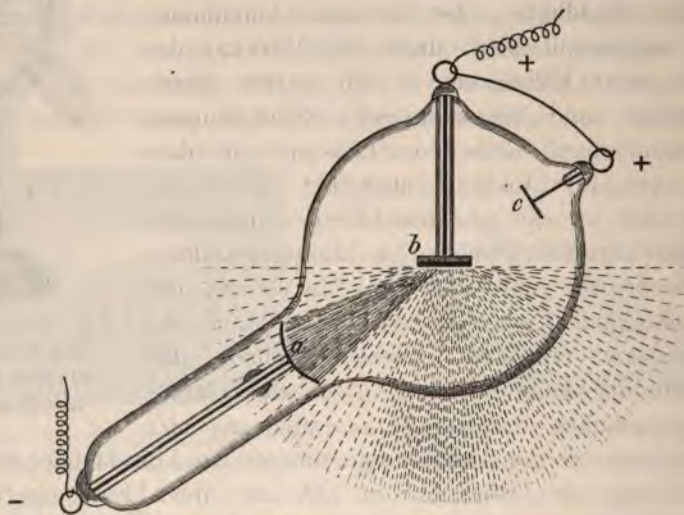


Fig. 188. Röntgenröhre.

solche, die weniger stark evakuiert sind, weich nennt. Die von letzteren gelieferten Strahlen sind therapeutisch und photographisch wirksamer als die der harten Röhren.

Die Röntgenstrahlen haben mit den Kathodenstrahlen folgende Eigenschaften gemeinsam: Sie erregen Fluoreszenz, sind photographisch wirksam, machen die Luft leitend und haben Wärmewirkungen. Sie unterscheiden sich von den Kathodenstrahlen dadurch wesentlich, daß sie weder durch elektrische noch magnetische Kräfte ablenkbar und auch nicht brechbar oder reflektierbar sind, daß sie ferner auch außerhalb der Röhre ihre Wirkungen entfalten. Sie besitzen nämlich die Eigenschaft, feste Körper zu durchdringen; und zwar gehen sie im allgemeinen um so besser durch sie hindurch, je kleiner ihre Dichte bzw. ihr Atomgewicht ist. Leicht durchlässig für X-Strahlen sind z. B. Glas, Holz, Pappe, Kautschuk, Kohle, Aluminium, die Weichteile des menschlichen Körpers usw. Dagegen lassen Schwermetalle, Knochen, Fremdkörper, Jodoform und Wismutemulsionen usw. die X-Strahlen



nur wenig oder gar nicht hindurch. Auf diesem Verhalten der Röntgenstrahlen beruht bekanntlich ihre so außerordentlich wichtige Anwendung zu diagnostischen Zwecken. Hält man einen Pappschirm, der mit Baryumplatincyanoür usw. bestrichen ist, vor eine im Betrieb befindliche Röntgenröhre, so leuchtet er fluoreszierend auf. Bringt man nun einen Körperteil zwischen Röntgenröhre und Schirm, so entsteht auf letzterem ein Schattenbild, indem dann hinter den für X-Strahlen undurchlässigen Gebilden (Knochen usw.) die Fluoreszenz ausbleibt. In analoger Weise wird eine photographische Platte, die man in einer Kassette den X-Strahlen aussetzt, beeinflusst; auch hier bleiben die hinter den Knochen usw. liegenden Stellen unbeeinflusst, so daß sie nach der Entwicklung hell aussehen, während die Stellen, auf welche die Strahlen eingewirkt haben, dunkel erscheinen; kurz, man erhält ein Negativ. Die Röntgenuntersuchung kann also mittels des Leuchtschirms und mittels der photographischen Platte erfolgen. Die erste Methode nennt man Diaskopie, Radioskopie, Aktinoskopie usw., die zweite Diagraphie, Radiographie, Aktinographie usw.; das erhaltene Bild Diagramm, Radiogramm, Aktinogramm usw.

Über das **Wesen der Kathoden- und Röntgenstrahlen** sind mannigfache Hypothesen aufgestellt worden. Von den Kathodenstrahlen nimmt man jetzt ziemlich übereinstimmend an, daß sie nicht wie das Licht auf einer Wellenbewegung des Äthers beruhen, sondern daß man es hier mit einer Emission allerfeinster materieller Teilchen zu tun hat, die, mit negativer Elektrizität geladen, mit enormer Geschwindigkeit von der Kathode fortgeschleudert werden. Man nennt solche „Elementarquanta“ der Masse, von denen jedes mit dem „Elementarquantum“ Elektrizität geladen ist, nach STONEY **Elektronen**. Die Kathodenstrahlen stellen also negative Elektronen vor, die sich mit äußerster Geschwindigkeit bewegen. Diese Hypothese erklärt aufs beste die elektrische und magnetische Ablenkbarkeit der Kathodenstrahlen, ihre mechanischen und Wärmewirkungen usw. Die Geschwindigkeit der Elektronen ist je nach dem Entladungspotential verschieden; sie kann bis zum dritten Teil der Lichtgeschwindigkeit und noch höher wachsen. Die Masse eines negativen Elektrons beträgt etwa  $\frac{1}{2000}$  der Masse eines Wasserstoffatoms. Im Gegensatz zu den Kathodenstrahlen stellen die Kanalstrahlen wahrscheinlich die Bahnen positiver Elektronenkomplexe vor, die eine bedeutend größere Masse und kleinere Geschwindigkeit besitzen als die negativen Elektronen. Die erst in allernüchster Zeit aufgestellte und ausgebaute, aber noch sehr im Fluß begriffene Elektronenhypothese, auf die wir hier nicht näher eingehen können, eröffnet Perspektiven von vorläufig gar nicht zu übersehender Bedeutung und Ausdehnung. Und es ist leicht möglich, daß auf ihrer

Grundlage eine vollständige Umwälzung im Gebiete der Physik und Chemie eintreten wird. So ist von manchen Forschern schon die Hypothese aufgestellt worden, daß die Elektronen gewissermaßen die Atome der Urmaterie vorstellen, und man hat bereits die Frage diskutiert, ob nicht auch die Mechanik der Elektrizitätslehre unterzuordnen sei, wie dies beim Lichte ja schon mit Erfolg versucht worden ist. Man hat nämlich auf Grund mathematischer Berechnungen gefolgert, daß die Kathodenstrahlenteilchen keine Massenteilchen im mechanischen Sinne vorstellen, sondern nur eine „scheinbare elektromagnetische“ Masse besitzen. Da sie aber trotzdem sich wie materielle Körper verhalten, so hat man weiter geschlossen, daß jede Masse nur eine scheinbare, elektromagnetische ist. Natürlich handelt es sich hier nur um eine kühne Hypothese, deren Bestätigung bzw. Verwertbarkeit abzuwarten ist. Jedenfalls ist es aber eine Pflicht der Gerechtigkeit, zu erwähnen, daß bereits in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts CROOKES, dem ja neben HITTORF die meisten Entdeckungen auf dem Gebiete der Entladungserscheinungen in verdünnten Gasen zu verdanken sind, klar ausgesprochen hatte, daß die Kathodenstrahlen die Bahnen kleinster, schnell bewegter materieller Teilchen sind. „Diese Erscheinungen“, sagt er<sup>1</sup>, „sind so verschieden von allem, was sich bei gewöhnlichem Drucke in Luft oder Gas — — ereignet, daß wir zur Annahme geführt werden, wir stehen hier der Materie in einem vierten Aggregatzustande gegenüber, der ebenso weit vom gasförmigen entfernt ist wie dieser vom flüssigen. — — Hier scheinen wir endlich unter unseren Händen und im Bereiche unserer Prüfung die kleinen unteilbaren Teilchen zu haben, von denen man voraussetzt, daß sie die physikalische Grundlage des Weltalls bilden. — — Wir haben tatsächlich das Grenzgebiet berührt, wo Materie und Kraft ineinander überzugehen scheinen, das Schattenreich zwischen Bekanntem und Unbekanntem. — — Hier, so scheint mir's, liegen letzte Realitäten.“

Weniger Übereinstimmung wie über das Wesen der Kathodenstrahlen herrscht über die Natur der Röntgenstrahlen. Manche Forscher halten sie für die Bahnen von Elektronen, die an der Antikathode oder Glaswand ihre elektrische Ladung abgegeben haben. Damit würde ja die Tatsache gut harmonieren, daß die X-Strahlen weder elektrisch noch magnetisch ablenkbar sind. Andere halten sie für longitudinale Ätherwellen, während man neuerdings wieder mehr der Ansicht zuneigt, daß sie sehr kurze, aber verhältnismäßig intensive impulsartige Störungen des Äthers (elektromagnetische Ätherimpulse)

<sup>1</sup> „Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand.“ Leipzig 1879. Zitiert nach DONATH, Die Einrichtungen zur Erzeugung von Röntgenstrahlen. 2. Auflage.

darstellen, die sich in ihm ebenso ausbreiten wie Lichtwellen, also durch transversale Schwingungen. Hier sei noch bemerkt, daß überall dort, wo Röntgenstrahlen auf feste Körper auftreffen, wieder neue Strahlen, die sogenannten Sekundärstrahlen oder s-Strahlen entstehen (SAGNAC), die sich in ihren Eigenschaften wieder den Kathodenstrahlen nähern. Sie sollen eine negative elektrische Ladung besitzen und magnetisch und elektrisch ablenkbar sein. Nach manchen Forschern sind es indes keine einheitlichen Strahlen, sondern ein Gemisch aus Röntgen-, Kathoden- und ultravioletten Lichtstrahlen. Jedenfalls entstehen sie auch, wenn Röntgenstrahlen den menschlichen Körper durchdringen, und da sie sich diffus nach allen Seiten hin ausbreiten, bewirken sie Verschleierung der Bilder, namentlich wenn es sich um dicke Körperteile handelt.

Im Anschluß an diese Ausführungen wollen wir jetzt kurz die wichtigsten Forschungsergebnisse über die **radioaktiven Substanzen**<sup>1</sup> erwähnen. Man versteht darunter Substanzen, welche den Kathoden- bzw. Röntgenstrahlen ähnliche unsichtbare Strahlen aussenden, die dem ersten Entdecker zu Ehren gewöhnlich **Becquerelstrahlen** genannt werden. BECQUEREL fand nämlich 1896, wenige Monate nach der Entdeckung RÖNTGEN'S, daß metallisches Uran und seine Verbindungen Strahlen aussenden, die ebenfalls photographisch wirksam sind, feste Substanzen durchdringen, Fluoreszenz erregen und die Luft leitend machen, also in die Nähe gebrachte elektrisch geladene Körper entladen. Zum Unterschied von den Röntgen- und Kathodenstrahlen verdanken sie aber diese Wirkungen nicht einer fremden Quelle, sondern schöpfen sie dauernd gewissermaßen aus sich selbst. Auf die Erklärungsversuche dieser wunderbaren Tatsache werden wir bald zu sprechen kommen. Da die Pechblende (ein uranoxydhaltiges Mineral) etwa  $3\frac{1}{2}$  mal stärker „radioaktiv“ ist als metallisches Uran, lag der Gedanke nahe, daß die Strahlen von gewissen Beimengungen des Urans herkommen. Durch viele mühsame Versuche (wiederholte Lösungen und Ausfällungen) gelang es nun Frau SKLODOWSKA CURIE in Paris, zwei Stoffe (Elemente?) aus der Pechblende zu isolieren, die sie Polonium (ihrem Vaterlande zu Ehren) und Radium nannte; ersteres ist an die Wismutsalze, letzteres an die Baryumsalze der Pechblende gebunden. Bald fand man noch weitere radioaktive Substanzen, so z. B. in der Pechblende das Aktinium (DEBIERNE), im Blei usw. Am wirksamsten von diesen radioaktiven Substanzen (etwa zweimillionenmal so stark wie die Pechblende) ist das Radium, das auch bis jetzt

<sup>1</sup> Eine übersichtliche Darstellung der bisherigen Forschungsergebnisse findet sich in: Mme CURIE, Untersuchungen über die radioaktiven Substanzen; übersetzt von W. KAUFMANN. Heft 1 der „Wissenschaft“. Braunschweig, VIEWEG & Sohn. 1904.

allein in Form seines Chlor- und Bromsalzes rein dargestellt werden kann. Allerdings ist die Darstellung außerordentlich mühsam. Um 1 Gramm reines Radium zu gewinnen, muß man 10 000 Kilogramm der Pechblende verarbeiten. Dementsprechend ist auch der Preis des Radiums sehr hoch; 1 Gramm kostet jetzt ca. 35 000 Mk.

Das Radium, dessen Elementnatur auch durch die Spektralanalyse bestätigt wird, gleicht außerordentlich dem Baryum, hat aber ungefähr das doppelte Atomgewicht (ca. 225). Die vom Radium abgegebene Energie besteht einmal in Licht; Radium leuchtet intensiv im Dunkeln ohne jede vorangegangene Bestrahlung. Ferner in Wärme; 1 Gramm reines Radium strahlt in einer Stunde 100 Grammkalorien aus. Außerdem geht, wie bereits erwähnt, vom Radium eine unsichtbare Strahlung aus, die photographisch wirksam ist, die Luft leitend macht und Fluoreszenz erregt. Diese Strahlen durchdringen feste Körper in viel höherem Maße als die Röntgenstrahlen. Sie eignen sich aber nicht zu diagnostischen Zwecken, weil eben auch die stärksten Knochen und Metallteile ohne weiteres von ihnen durchdrungen werden. Wie RUTHERFORD zeigte, besteht nun die Becquerelstrahlung aus drei verschiedenen Bestandteilen: Die  $\alpha$ -Strahlen verhalten sich analog wie die Kanalstrahlen. Sie sind elektrisch und magnetisch schwach ablenkbar und haben eine positive elektrische Ladung. Die  $\beta$ -Strahlen sind wahrscheinlich identisch mit den Kathodenstrahlen. Sie sind negativ geladene Elektronen und magnetisch und elektrisch leicht ablenkbar. Ihre Geschwindigkeit ist allerdings größer als die der Kathodenstrahlen. Die  $\beta$ -Strahlen bestehen wieder aus einer kontinuierlichen Folge von Strahlen, die sich durch ihre verschieden große Ablenkbarkeit unterscheiden. Im allgemeinen ist ihr Penetrationsvermögen um so größer, je geringer ihre Ablenkbarkeit ist. Die  $\gamma$ -Strahlen endlich sind weder magnetisch noch elektrisch ablenkbar; sie gleichen den Röntgenstrahlen, besitzen aber ein viel stärkeres Durchdringungsvermögen als diese.

Als besonders merkwürdig ist noch die **induzierte Radioaktivität** (CURIE) zu erwähnen. Man bezeichnet damit das Phänomen, daß eine Substanz in der Nähe eines Radiumsalzes oder eines aktiven Thoriumpräparates ebenfalls — allerdings nicht dauernd — die Fähigkeit erlangt, Becquerelstrahlen auszusenden. Diese induzierte Radioaktivität hat mit der Strahlung nichts zu tun, wie u. a. daraus hervorgeht, daß sie auch eintritt, wenn man den zu aktivierenden Körper durch eine dicke Bleiplatte vor der direkten Strahlung schützt. Zur Erklärung nimmt man mit RUTHERFORD an, daß von Radium- und Thoriumsalzen eine gasförmige „Emanation“ ausgeht, die sich festen, flüssigen und gasartigen Körpern mitteilt. Gase z. B., die mit Radium in Berührung waren, also die Emanation aufgenommen haben, leuchten im Dunkeln.

Im Gegensatz zu den Becquerelstrahlen besitzt die Emanation kein Penetrationsvermögen; so kann sie z. B. aus einem geschlossenen Gefäß, das Radium enthält, nicht heraustreten. Dagegen läßt sie sich durch kapillare Röhren hindurch in andere Gefäße gewissermaßen übergießen und durch starke Kälte (flüssige Luft) bei minus 120—150° kondensieren. Diese Emanation kommt nur den primär radioaktiven Substanzen zu; den induziert aktiven Körpern fehlt sie. Vielleicht gehört sie zur Gruppe des Argon. Sie ist ihrerseits selbst radioaktiv, aber nicht dauernd. Demnach handelt es sich höchstwahrscheinlich um einen Körper, der noch nicht stabil geworden ist, sondern noch irgendwelche Veränderungen erleidet. Im höchsten Grade interessant ist die Angabe von RAMSAY, daß sich schließlich aus der Emanation nach einiger Zeit Helium bilden soll. Es wäre dann zum ersten Male der Nachweis gelungen, daß sich ein Element in ein anderes verwandelt. Die Emanation führt positiv elektrische Ladung und kann dadurch nachgewiesen werden, daß man negativ elektrische Drähte oder Gitter in ihre Nähe bringt; dann bekommen diese induzierte Radioaktivität; sie können z. B. ein geladenes Elektroskop entladen und photographische Platten beeinflussen. Auf diese Weise gelang es nachzuweisen, daß die Emanation fast überall vorkommt, in der atmosphärischen Luft (ELSTER und GEITTEL), in tiefen Schächten, im Quellwasser (HIMSTEDT) usw. Besonders stark wirken Thermalquellen (in jüngster Zeit z. B. für die Nauheimer und Karlsbader Quellen nachgewiesen), und die Frage ist nicht von der Hand zu weisen, ob nicht überhaupt die Heilkraft der Quellen vom Radium herrührt, das dann somit der so lange gesuchte „Brunnengeist“ wäre. Wahrscheinlich stammt die Emanation, auch die der Luft, von gewissen Bestandteilen des Erdbodens her, indem namentlich die tonhaltigen Gesteine, der Fangoschlamm usw. primäre Radioaktivität besitzen; von diesen würde dann die Emanation auf die mit ihnen in Berührung kommende Luft und Flüssigkeit übergehen.

Woher kommt nun die außerordentlich beträchtliche Energie, die vom Radium ausgeht, ohne daß es sich scheinbar verändert? Wie ist dieser anscheinende Widerspruch mit dem Gesetze von der Erhaltung der Energie zu erklären? Hierüber existieren vorläufig nur Hypothesen, von denen die beiden wichtigsten folgende sind: Die einen nehmen an, daß es sich um chemische Umsetzungen unbekannter Natur, vielleicht um Umwandlung des Radiumatoms in ein anderes Element handelt (s. o.). Jedenfalls ist der Umstand bemerkenswert, daß das Vorkommen von Radium an das des Urans gebunden zu sein scheint, daß andererseits die Uranminerale Argon und Helium enthalten. Das gleichzeitige Vorkommen dieser verschiedenen Körper führt zu der Annahme, daß die Gegenwart der einen für die Bildung der anderen notwendig ist. Eine andere Vermutung ist die, daß das Radium gewissermaßen als

Transformator wirkt, indem es von der Sonne oder aus dem Weltenraume stammende, noch unbekannt und vielleicht für menschliche Sinnesorgane auch gar nicht direkt wahrzunehmende Energieformen, die durch dasselbe beständig hindurchgehen, so umformt, daß sie die oben beschriebenen, für uns wahrnehmbaren, Wirkungen ausüben. Damit wäre jedenfalls das Rätsel gelöst, daß das Radium, ohne an Gewicht zu verlieren oder andere Veränderungen zu erleiden, dauernd seine Wirkungen ausübt.<sup>1</sup>

Bevor wir diese Betrachtungen schließen, wollen wir noch kurz das Phänomen besprechen, daß Luft unter dem Einfluß von Röntgen- oder Becquerelstrahlen leitend wird, daß also mit anderen Worten ein geladener elektrischer Körper, z. B. ein Elektroskop, in ihr dann seine Ladung verliert. Man erklärt diesen Vorgang jetzt dadurch, daß man eine **Ionisation der Luft** annimmt. Nach dieser Hypothese bestehen die Moleküle bzw. Atome der Gase aus positiv und negativ elektrischen Teilchen (Elektronen), die sich für gewöhnlich neutralisieren. Unter gewissen Umständen aber (s. u.) findet eine Trennung dieser positiven und negativen Teilchen statt, bzw. es werden einzelne Elektronen abgespalten, so daß der zurückbleibende Rest nicht mehr neutral ist, sondern entgegengesetzte elektrische Ladung zeigt wie die abgespaltenen Elektronen. Derartige elektrisch geladene kleinste Massenteilchen, die nach dem Gesagten sowohl freie Elektronen wie Komplexe von Elektronen sein können, werden Ionen genannt (obwohl sie nicht mit den Ionen der Elektrolyse identisch sind). Und zwar unterscheidet man Elektronionen, die stets negativ, und Atomionen (Elektronenkomplexe), die stets positiv elektrisch sind. Die Kathodenstrahlen sind also negative Ionen (Elektronionen), die Kanalstrahlen positive (Atom- bzw. Molionen). Wird nun ein elektrischer Körper, z. B. ein geladenes Elektroskop, in die Nähe solcher Ionen gebracht, so findet

<sup>1</sup> So eigenartig diese Anschauung zunächst erscheinen mag, sie ist nicht unwahrscheinlich und vielleicht der Ausgangspunkt zur Erklärung und Erforschung mancher Erscheinungen, die vorläufig noch in tiefes Dunkel gehüllt sind. Es dürfte daher interessieren, daß O. ROSENBACH in Berlin bereits vor längerer Zeit diese Auffassung von der Transformierung feinsten kosmischer Energieströme durch irdische Körper in aller Schärfe ausgesprochen und namentlich zur Erklärung der Entstehung und Erhaltung des tierischen Lebens zu verwerthen gesucht hat. Nach ihm ist also u. a. die tierische Organisation ein solcher Transformator für feinste aus dem Kosmos stammende Energieströme, die im Körper erst zu den für uns wahrnehmbaren gröberen Energieformen (Wärme, Nervenkraft usw.) hochgespannt werden und somit als Betriebsenergie fungieren, wahrscheinlich aber auch noch die wichtigere Aufgabe haben, als erste Auslösung für die Entstehung protoplasmatischer Erregbarkeit, also für die Inangangsetzung der organischen Maschine zu dienen. (Vgl. hierzu O. ROSENBACH, Die Krankheiten des Herzens und ihre Behandlung, 1897. Energetik und Medizin, 2. Auflage, 1904.)

zwischen ihm und den ungleichnamigen Ionen Anziehung statt, so daß die Elektrizität des Körpers (Elektroskopes) neutralisiert wird. Der Körper wird also unelektrisch; seine Ladung ist scheinbar durch die Luft fortgeleitet worden. Die Trennung der positiven und negativen Ionen, der Vorgang der Ionisation, kann nun durch verschiedene Einwirkungen erfolgen. Die Ionisierung durch Röntgenstrahlen kann man sich durch die Erschütterung der Moleküle entstanden denken, welche die impulsartigen Ätherwellen ausüben. Die Ionisierung durch Becquerelstrahlen wäre eine Folge des Zusammenpralls der Elektronen mit den Gasmolekülen. Bei der Ionisierung der Luft durch Berührung mit heißen Drähten und durch Flammen wird die Dissoziation der Gasteilchen unmittelbar durch die Temperaturerhöhung bedingt. Schließlich kann eine Zerlegung neutraler Gasmoleküle in Ionen auch dadurch entstehen, daß bereits vorhandene Ionen mit hinreichender kinetischer Energie an dieselben anprallen. Auf diesem „Ionenstoß“ (STARK) beruht wahrscheinlich die Ionisierung der Luft bei Ausstrahlung der Elektrizität aus Spitzen und somit die entladende Wirkung der letzteren. —

Meine Herren! Wir haben in dieser Vorlesung die Wirkungen der elektrischen Entladung in verdünnten Gasen besprochen. Man kann nun analoge Erscheinungen in GEISSLERschen Röhren auch erhalten, ohne daß man die Funkenentladung einer Influenzmaschine oder eines Induktors direkt durch sie hindurchgehen läßt. Es geschieht dies mittels einer besonderen, von dem kroatischen Ingenieur TESLA erfundenen Versuchsanordnung, bei welcher Wechselströme von enorm rascher Wechselzahl und außerordentlich hoher Spannung („Millionen-Volt-Ströme“) erzeugt werden. Diese **Teslaströme** entstehen dadurch, daß man den (bereits hochgespannten) Strom eines Transformators oder der Sekundärspule eines Funkeninduktors durch eine Funkenstrecke hindurchleitet. Da nun der elektrische Funke, wie wir sahen (vgl. S. 26), aus Hunderttausenden von Oszillationen besteht, so erhält man eben dadurch Wechselströme von entsprechender Frequenz, die man durch ein aus wenigen Windungen eines dicken Drahtes bestehendes Solenoid leitet. Infolge der außerordentlich hohen Wechselzahl entsteht in diesem (durch Selbstinduktion) auch eine sehr große elektromotorische Kraft, die sich noch dadurch steigern läßt, daß man in die Nähe des Solenoids eine aus vielen Drahtwindungen bestehende Spule bringt. Fig. 189 zeigt eine solche

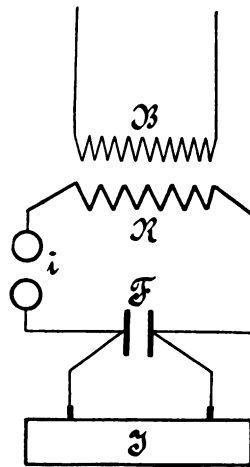


Fig. 189. TESLA-Anordnung, schematisch.

TESLA-Anordnung schematisch, Fig. 190 einen von ERNECKE-Berlin ausgeführten Hochspannungstransformator nach ELSTER und GEITEL, der den Vorzug besitzt, auch ohne Ölisolation — wie sie ursprünglich wegen der hohen Spannungen angewandt wurde — gut zu funktionieren.

Auf dem massiven Grundbrett des Apparates befindet sich eine Leydener Flasche *F*, zu deren innerer und äußerer Belegung Drähte von den Polklemmen eines Induktoriums (in der Figur nicht sichtbar) führen. Von der inneren

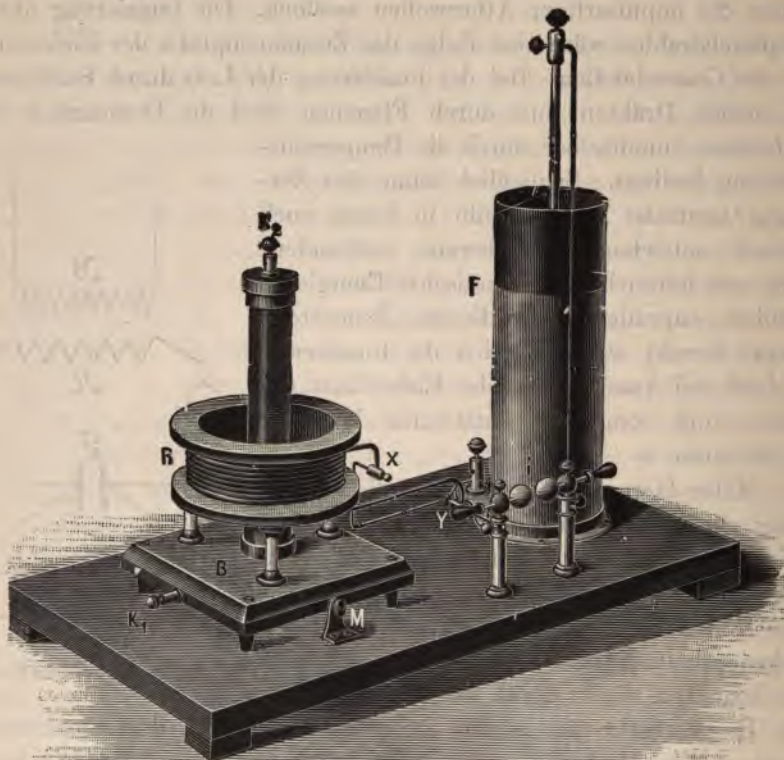


Fig. 190. Hochspannungstransformator nach TESLA.

Belegung zweigt sich eine Leitung ab, die über die regulierbare Funkenstrecke *i* und die primären Windungen *R* des abnehmbaren Transformators zur äußeren Belegung der Leydener Flasche führt. Die primäre Rolle *R* besteht aus wenigen Windungen sorgfältig durch Kautschuk isolierten dicken Kupferdrahtes, der auf einer flachen Holzspule aufgewickelt ist. Die herausstehenden Enden dieser Spule stehen einerseits bei *X* mit der äußeren Flaschenbelegung, andererseits bei *Y* mit der Funkenstrecke *i* in lösbarer metallischer Verbindung. In der Mitte des Brettchens *B*, das durch Glassäulen die Rolle *R* trägt, befindet sich eine konische Metallhülse, die mit der Drahtklemme *K*<sub>1</sub> in Verbindung steht. In diese Metallhülse läßt sich entweder die sekundäre Spule *A* (mit sehr vielen Windungen feinen Drahtes) oder die sekundäre Spule *B* (mit weniger Windungen etwas gröberem Drahtes) stecken. Das obere Ende einer jeden Spule bildet die



Drahtklemme  $K_2$ . —  $K_1$  und  $K_2$  stellen somit die Pole der sekundären Transformatorspule dar. Die Funkenstrecke  $i$  wird, um ein gleichmäßiges Übergehen der Erregerfunken zu erzielen, durch zwei Zinkkugeln gebildet. Übrigens wird die Wirkung noch gesteigert, wenn die Entladungsfunken durch ein Luft- oder magnetisches Gebläse abgeblasen werden, um die Entstehung eines dauernden Flammenbogens zu verhüten.

Die in derartigen Apparaten erzeugten Teslaströme haben nun eine Reihe höchst merkwürdiger Eigenschaften, von denen wir einige anführen wollen. Schaltet man z. B. ohne Anwendung der Sekundärspirale in den Stromkreis (bei  $X$  und  $Y$ , Fig. 190) einen Kupferbügel, zwischen dessen Schenkeln eine kleine Glühlampe an einem dünnen Drahte befestigt ist (Fig. 191), so würde bekanntlich ein Gleichstrom fast ausschließlich durch den Kupferbügel gehen, dessen Widerstand gegenüber dem der Lampenstrecke ja erheblich kleiner ist; die Lampe würde also nicht aufleuchten. Ganz anders bei den Teslaströmen; hier leuchtet die Lampe auf. Das beruht darauf, daß Wechselströme in das Innere eines Leiters um so weniger eindringen, je größer ihre Wechselzahl ist. Als Analogon sei an die Tatsache erinnert, daß die täglichen Temperaturschwankungen ja auch nur an der Oberfläche der Erdrinde nachweisbar sind, während die durch die Jahreszeiten bedingten tiefer eindringen. Die Teslaströme mit ihrer enormen Wechselzahl bleiben nun überhaupt nur an der Oberfläche der Leiter (also auch des menschlichen Körpers). Für sie kommt also das Material derselben gar nicht in Betracht, sondern nur ihr, von der Länge abhängiger Oberflächenwiderstand. Sie wählen also den kürzeren Weg über die Glühlampe und bringen sie zum Leuchten. Die Ursache dieser Erscheinung ist die starke Selbstinduktion im Innern eines Leiters und die dadurch bedingte Vermehrung des scheinbaren Widerstandes, der Impedanz (S. 128).

Denkt man sich nämlich einen Strom, der in einem Leiter verläuft, in lauter Stromfäden zerlegt, so hat ein Gleichstrom in allen diesen Fäden dieselbe Dichtigkeit. Schwankt aber die Stromstärke, so finden (Selbst-)Induktionswirkungen statt, um so mehr, je schneller die Schwankungen sind. Diese Induktionswirkungen müssen bei den zentralen Stromfäden, die ja von allen Seiten von anderen umgeben sind, größer sein als bei den peripheren, die ja nur auf ihren Innenseiten induzierend beeinflusst werden. Durch die Wirkung der Selbstinduktion werden also die inneren Fäden der Veränderung der Stromstärke mehr „nachhinken“ als die peripheren, um so mehr, je schneller die Veränderungen sind. Bei sehr großer Wechselzahl wird dies Nachhinken in den inneren Stromfäden so beträchtlich, daß der Strom seine Richtung schon umgekehrt hat, bevor sie anfangen, Strom in der ersten Richtung durchzulassen.

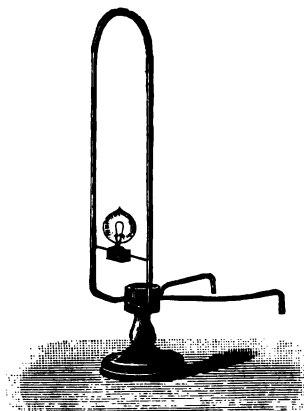


Fig. 191.  
Nachweis der Impedanz.

Kurz, je schneller der Strom seine Richtung wechselt, desto größer wird der stromlose Kern des Leiters, so daß schließlich nur eine unendlich dünne Oberflächenschicht den Strom leitet. — Es mag noch hervorgehoben werden, daß es sich hier um elektrische Wellen handelt, die sich längs der Drähte mit der Geschwindigkeit des Lichtes fortpflanzen.

Schaltet man in den Apparat (Fig. 190) die Sekundärspirale ein, so erhält man außerordentlich hohe Spannungen. Leitet man z. B. einen Pol derselben zur Erde ab, so strahlt aus dem anderen Pol äußerst intensives Büschellicht aus. Verbindet man beide Pole mit den Konduktoren eines Ausladers oder nähert man die Hand einem Pole, so erhält man große Funken, die aber merkwürdigerweise so gut wie keine Schmerzempfindung verursachen. Wahrscheinlich hat das seinen Grund darin, daß die Hautnerven eben nur auf eine bestimmte Schwingungszahl „eingestellt“ sind, daß sie also so rasche Schwingungen überhaupt nicht perzipieren. Ebenso werden ja Luftschwingungen oberhalb einer bestimmten Grenze nicht mehr als Töne wahrgenommen. Hält man die Hand dicht an einen Pol der sekundären Spirale, so daß nur ganz kleine Funken übergehen, so verspürt man ein Wärmegefühl, das sich zu lebhaftem Schmerz steigern kann.



Fig. 192. Metallschirme zur Erzeugung eines Hochspannungsfeldes.

Von den elektrischen Wellen, die auf dem Draht der Sekundärspule verlaufen, gehen nun in die Umgebung elektrische Schwingungen aus, die GEISSLER'sche Röhren zum Aufleuchten bringen. Dieselben brauchen keine Elektroden zu haben und mit dem Transformator nicht direkt verbunden zu sein. Es genügt, wenn man sie in seine Nähe, in das „Hochspannungsfeld“, bringt. Man kann den Versuch

auch so anstellen, daß mehrere Personen, von denen die erste den einen Pol, die letzte den anderen Pol der Sekundärspirale berührt, eine Kette bilden, in welche eine GEISSLER'sche Röhre eingeschaltet ist. Dann leuchtet diese auch dann auf, wenn sie sonst (wegen zu großer Entfernung vom Transformator) an dieser Stelle nicht aufgeleuchtet hätte. Hier gehen also die Teslaströme (bzw. Teslawellen) durch die betreffenden Personen hindurch, ohne daß dieselben aber etwas davon merken. Erhöht wird die Wirkung auf GEISSLER'sche Röhren dadurch, daß man sie zwischen zwei mit den Polen der Sekundärspirale verbundene Metallschirme hält (Fig. 192). Hierauf basiert TESLA's „Licht der Zukunft“. TESLA hält es nämlich für möglich, Wohnräume usw. dadurch zu erhellen, daß man an die Decke und an dem Fußboden solche

mit den Polen eines Hochspannungstransformators verbundene Metallschirme anbringt, zwischen denen sich elektrodenlose GEISSLER'sche Röhren von genügender Zahl und Größe befinden. Indes ist diese Idee noch nicht in die Praxis umgesetzt worden. Auch in der Medizin haben die Teslaströme Anwendung gefunden; wir werden darauf noch näher eingehen.

---

## IX. Die Anwendung der Elektrizität in der Medizin.

Meine Herren! Nachdem wir uns mit den wichtigsten Eigenschaften und Gesetzen der Elektrizität vertraut gemacht haben, wollen wir jetzt ihre spezielle Verwertung für medizinische Zwecke und die Haupttypen der elektrodiagnostischen und -therapeutischen Apparate kennen lernen, wobei manche der früheren Ausführungen noch eine Ergänzung finden sollen.

Ohne auf physiologische Details einzugehen, sei hier nur kurz bemerkt, daß die Wirkung der Elektrizität auf den lebenden Organismus in erster Linie als Nervenreiz zu charakterisieren ist, d. h. die Elektrizität bildet ein Mittel, um nervöse Apparate in Erregung zu versetzen und damit die spezifische Funktion der davon abhängigen Organe auszulösen. Bei Reizung motorischer Nerven entstehen also Muskelkontraktionen, bei Reizung sensibler Nerven Empfindungen, bei Reizung sekretorischer Nerven Absonderungen usw. Daneben vermag wahrscheinlich die Elektrizität auch unabhängig vom Nervensystem einen unmittelbaren Einfluß auf das Protoplasma auszuüben, wie schon daraus hervorgeht, daß auch direkte Muskelreizung Kontraktionen hervorruft. Namentlich die d'Arsonval- und sinusoidalen Ströme sollen die Zellenergie direkt anregen und den Stoffwechsel erhöhen; auch sollen pathogene Mikroorganismen schädlich dadurch beeinflußt werden. Die meisten hierher gehörigen Fragen sind noch *sub judice*. Während es nach den Berichten mancher Autoren kaum eine Krankheit gibt, die nicht günstig durch Elektrizität, namentlich in ihren modernen Anwendungsformen, beeinflußt wird, handelt es sich hier nach Ansicht anderer, skeptischer, Beobachter, vorausgesetzt, daß die gemeldeten Heilerfolge überhaupt auf Wahrheit beruhen, hauptsächlich um suggestive Einflüsse. Wie dem auch sei, wir wollen hier, entsprechend unserm Programm, nur die physikalischen und technischen Grundlagen der Elektrodiagnostik und Elektrotherapie besprechen.

Wir beginnen wieder mit der **statischen Elektrizität**, deren Anwendung in der Medizin gewöhnlich **Franklinisation** genannt wird. Es handelt sich hier um Elektrizität von hoher Spannung, aber ge-

ringer Intensität. Als Elektrizitätsquelle kommt ausschließlich die Influenzmaschine in Betracht.

Fig. 193 zeigt z. B. eine zu medizinischen Zwecken viel gebrauchte HOLTZ-TOEPLER'sche Influenzmaschine, die nach EULENBURG's Angaben von HIRSCHMANN-Berlin konstruiert ist. Dieselbe steht in einem Glaskasten, um sie vor Staub zu schützen, und kann durch Drehung der Scheibe *Z* mittels der Hand oder eines Motors in Bewegung versetzt werden. In den Glaskasten bringt man zweckmäßig eine hygroskopische Substanz, um die Luftfeuchtigkeit zu beseitigen. Auch muß man die Maschine vor Sonnenlicht schützen, das namentlich bei Hartgummischeiden nachteilig wirkt, und stellt sie daher zweckmäßig im

Dunkeln auf oder bedeckt sie mit Tüchern.

Die beiden (in der Figur mit + und - bezeichneten) Konduktoren der Maschine, deren an einer Zentimeterskala ablesbarer Abstand durch die Kurbel *F* reguliert werden kann, stehen durch die Metalleitungen 5 und 6 mit zwei Ableitungen *P* und *N* außerhalb des Glaskastens in Verbindung, an welche Leitungskabel mit Elektroden befestigt werden können. Die Figur zeigt ferner oberhalb des Gehäuses zwei FRANKLIN'sche Tafeln; dieselben lehnen sich mit der einen Belegung an die Ableitung *P* bzw. *N*, mit der anderen an die beweg-

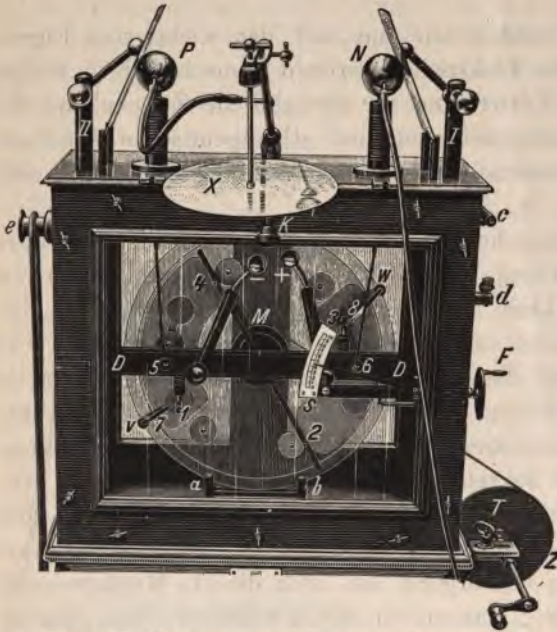


Fig. 193. Influenzmaschine nach EULENBURG.

lichen Arme der Säulen *I* und *II* an und können auch herausgenommen werden. Bei *X* befindet sich eine verstellbare Kopfplatte für die sogenannte franklinische Kopfdusche.

Da die Maschinen, wenn sie längere Zeit nicht gearbeitet haben, sich nicht stets in derselben Richtung laden, so ist es nötig, vor der Benutzung die Pole, welche von *P* und *N* abgeleitet werden, zu bestimmen. Die zuverlässigste Methode ist die von Dr. MUND angegebene, nach der die Konduktorkugeln 1,5–2 cm voneinander entfernt werden. Der Funke, welcher dann entsteht, zeigt am positiven Pol eine hellglänzende, leuchtende Strecke, während am negativen Pol nur ein kleiner leuchtender Punkt (Glimmlicht) sichtbar ist. Die Lichterscheinungen an den zugehörigen Spitzenkämme verhalten sich natürlich gerade umgekehrt. Diese Probe ist in einem verdunkelten Zimmer anzustellen. Man kann aber auch bei Tageslicht die Polarität dadurch erkennen, daß man eine brennende Kerze zwischen die Konduktoren der in Gang befindlichen Maschine bringt; dieselbe wird nämlich nach dem negativen Konduktor hin abgelenkt.

Man kann nun die Elektrizität direkt unter Fortlassung der FRANKLIN'schen Tafeln von den Ableitungen *P* und *N* abnehmen. Zu diesem Zwecke muß man die Konduktorenkugeln + und — so weit voneinander entfernen, daß keine Funken zwischen ihnen übergehen. Der eine Pol wird dann zum Körper des Patienten, der andere zu einer unter seinen Füßen befindlichen isolierenden Hartgummischeibe geführt oder geerdet. Man kann aber auch, zur Erzielung höherer Spannungen, die FRANKLIN'schen Tafeln benutzen, die dann in der Weise wie Fig. 193 zeigt, eingeschaltet werden. Die Ableitungskabel mit den Elektroden werden in diesem Falle nicht an *N* und *P*, sondern an *I* und *II* befestigt und mit dem Körper des Patienten verbunden; eventuell wird auch ein Kabel wieder geerdet oder zu der isolierenden Fußplatte geführt. Es laden sich dann die inneren Belegungen der FRANKLIN'schen Tafeln mit derselben Elektrizität, wie die zugehörigen Konduktoren die äußeren mit entgegengesetzter (vgl. S. 19). Die Elektroden haben jetzt also entgegengesetzte Pole wie ohne Benutzung der FRANKLIN'schen Tafeln. Die verschiedenen Elektrizitäten der beiden inneren Belegungen gleichen sich durch Entladungen zwischen den Konduktoren + und — aus, die der äußeren Belegungen durch den (zwischen sie geschalteten) Körper des Patienten. Je weiter die Konduktoren hierbei auseinanderstehen (gewöhnlich geht man nicht über 4 cm hinaus), desto kräftiger sind die Entladungen zwischen ihnen und auch zwischen den äußeren Belegungen. Die gebräuchlichsten Applikationsmethoden sind nun folgende:

1. **Die allgemeine Franklinisation** oder das elektrostatische Luftbad. Der Patient steht oder sitzt hierbei auf einem Isolierschemel mit Glasfüßen oder auf einer isolierenden Platte (am zweckmäßigsten aus Gummi, die auf der oberen Fläche einen Metallbelag hat). Diese ist mit dem einen Pol der Maschine (gewöhnlich dem positiven) verbunden, während der andere Pol zu Erde abgeleitet wird. Unter dem Einfluß der zugeführten Elektrizität sträuben sich die Haare des Patienten, und er empfindet eine eigenartige Spannung der Haut. Angewandt wird das franklinische Bad als Beruhigungsmittel, z. B. bei allgemeinen funktionellen Neurosen. Auch soll es nach mancher Ansicht den Schlaf verbessern und hysterische Hemianästhesien und Anfälle günstig beeinflussen.

2. **Die franklinische Kopfdusche.** Ist der Patient eine Zeit lang in der eben beschriebenen Weise mit positiver Elektrizität geladen, so wird der negative Pol der Maschine mit einer Platte (*X* Fig. 193) verbunden, die über den Kopf des Patienten eingestellt wird, und zwar so weit, daß keine Funken überspringen. Hierbei sträuben sich wieder die Haare des Patienten, und er hat das Gefühl, als wenn eine laue Brause auf ihn niederströmt. Dies Verfahren hat ebenfalls eine be-

ruhigende Wirkung und wird in erster Linie bei neurasthenischem Kopfschmerz und Migräne, doch auch bei Haarausfall usw. empfohlen.

3. **Spitzenausstrahlung.** Hier wird gewöhnlich der negative Pol zur Erde (bzw. zur isolierenden Fußplatte) abgeleitet, der positive Pol zu einer Elektrode, die aus einem Handgriff aus Hartgummi usw. besteht (Fig. 194), an dem eine oder mehrere Spitzen (Fig. 195) an-

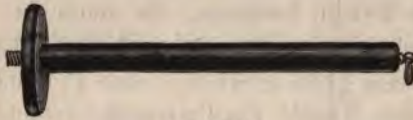


Fig. 194.  
Elektrodenhalter.



Fig. 195.  
Franklinische Brause.

gebracht sind; in letzterem Falle spricht man auch von franklinischer Brause. Hierbei strahlen aus den Spitzen Lichtbüschel aus (die bei positiver Ladung größer sind als bei negativer), und es entsteht Ozonbildung. Nähert man die Elektrodenspitze dem Körper, der übrigens hier nicht isoliert zu sein braucht, so hat der Patient das angenehme Gefühl eines schwachen kühlen Windes (elektrischer Wind; vgl. S. 16). Je weiter die Elektrode genähert wird, desto

kräftiger ist die Wirkung; der Minimalabstand beträgt im allgemeinen 2 cm. Angewandt werden die Büschelentladungen gegen Parästhesien, namentlich Pruritus, und gegen Neuralgien aller Art. Auch gegen Ohrensausen auf nervöser Grundlage sind sie versucht worden; hier wendet man besondere Ohrelektroden an (Fig. 196).



Fig. 196. Franklinische Ohrelektrode.



Fig. 197. Elektrode  
mit verstellbarer Funkenstrecke.

4. **Funkenentladungen.** Der eine Pol der Maschine, gewöhnlich der positive, wird mit der isolierenden Fußplatte, der entgegengesetzte

Pol mit einer knopfförmigen Elektrode verbunden. Wird letztere dem Körper genähert, so erfolgen durch die Kleider hindurch Funkenentladungen. Dies Verfahren wirkt stark hautreizend; bei längerer Einwirkung kann es sogar zu Verbrennungen kommen. Zur bequemen Abstufung der Wirkung ist eine Elektrode mit verstellbarer Funkenstrecke vorteilhaft (Fig. 197); je größer die Funkenstrecke, desto stärker die Wirkung. Diese Methode wird zur Behandlung von Anästhesien, Neuralgien, Myalgieen, Lähmungen usw. benutzt.

5. **Morton'sche Ströme.** Bei dieser Methode schaltet man die FRANKLIN'schen Tafeln ein (s. o.), verbindet die äußere Belegung der einen mit der Erde, die der anderen mit einer trockenen oder feuchten Knopfelektrode. Letztere wird auf die zu behandelnde Körperstelle gesetzt, worauf die — zunächst sich berührenden — Konduktoren der Maschine langsam voneinander entfernt werden. Dabei treten zwischen ihnen Funkenentladungen auf, denen gleichstarke Entladungen im Körper entsprechen. Angewandt werden diese MORTON'schen Ströme, die ähnlich wirken wie Induktionsströme, zur isolierten Reizung von Muskeln und zur Behandlung von Lähmungen und Inaktivitätsatrophien. Natürlich kann man auch bei Einschaltung FRANKLIN'scher Tafeln Funkenentladungen bekommen, wenn man die Elektrode nicht auf den Körper aufsetzt, sondern ihm nur nähert.

Auf die Verwendung der franklinischen Elektrizität zur Funkenlicht- und Ozonbehandlung kommen wir noch zu sprechen.

---

Weit häufiger als die franklinische Elektrizität wird in der Medizin der **konstante** oder **galvanische Strom** angewandt, zu dem wir uns jetzt wenden. Auch hier gilt natürlich wieder das OHM'sche Gesetz  $J = \frac{E}{W}$ . Es ist daher zweckmäßig, einige Worte über den **Widerstand des menschlichen Körpers** gegenüber dem elektrischen Strom zu sprechen. Dieser Widerstand ist sehr erheblich, durchschnittlich ca. 1000—5000 Ohm; seine Größe schwankt aber, je nach den Umständen, innerhalb weiter Grenzen zwischen 100 und 100000 Ohm. Zunächst ist klar, daß die verschiedenen Körpergebilde einen verschiedenen spezifischen Widerstand (vgl. S. 36) besitzen; die Muskeln z. B. einen geringeren als die Nerven. Die Muskeln sind also (im physikalischen Sinne) bessere Leiter als die Nerven; letztere besitzen aber — was man nicht damit verwechseln darf — eine größere (physiologische) Reizbarkeit. Im allgemeinen ist die Leitungsfähigkeit (also der reziproke Wert des spezifischen Widerstandes) um so besser, je reichlicher durchfeuchtet die betreffenden Teile sind. Die Blutgefäße z. B. gehören zu den besten, die Knochen zu den schlechtesten Leitern. Der bei weitem größte Widerstand des Körpers ist durch die Epidermis gegeben; er ist so groß, daß er praktisch überhaupt allein in Betracht kommt (falls man nicht eine Elektrode auf eine Schleimhaut, z. B. des Rektums oder Uterus appliziert bzw. in Nadelform durch die Haut sticht; in diesen Fällen kann der Widerstand bis auf 100 Ohm sinken). Der Hautwiderstand hängt nun wieder von verschiedenen Faktoren ab. Trockene Haut besitzt den größten Widerstand; hier leiten nur die Ausführungsgänge der Talg- und Schweißdrüsen (vgl.

Tafel II). Je feuchter und zarter die Epidermis ist, desto besser leitet die Haut. Will man also den Widerstand verringern, um den Strom in die Tiefe wirken zu lassen, so muß man entweder die Haut oder die darauf gesetzten Elektroden befeuchten. Besonders zweckmäßig ist es, wenn man lauwarmes Wasser, eventuell mit Salzzusatz, verwendet.

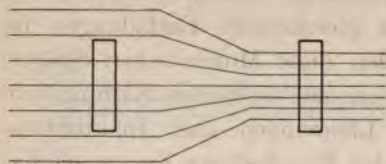


Fig. 198.

Zur Erläuterung der Stromdichte.

Wichtig ist auch, daß zuweilen der Hautwiderstand während der Durchleitung des elektrischen Stromes bis zu einer bestimmten Grenze abnimmt, z. B. dadurch, daß die Durchfeuchtung der Haut mit der Zeit zunimmt, zum Teil durch kataphorische Vorgänge, zum Teil auch dadurch, daß durch die physiologische Wirkung des Stromes der Blutgehalt der Haut, ihre Sekretion usw. zunimmt. Auch alle Stromschwankungen setzen den Widerstand herab; richtiger, sie steigern die Erregbarkeit. Ferner ist bei manchen pathologischen Zuständen der Widerstand herabgesetzt (z. B. beim Morbus Basedowii, bei hysterischer Anästhesie), bei anderen dagegen erhöht (z. B. bei Sklerodermie,



Fig. 199. Verschiedene Elektroden.

Myxödem usw.). Aus diesem wechselnden Verhalten des Widerstandes folgt natürlich die Regel, die Stromstärke stets durch ein Galvanometer zu kontrollieren.

Die Wirkung des elektrischen Stromes auf den Organismus hängt nun vor allem von der Stromstärke ab — nach einigen Autoren (DUBOIS u. a.) soll auch die Spannung

von Einfluß sein, doch werden diese Angaben bestritten. Für diagnostische und therapeutische Zwecke kommt es nun aber weniger darauf an, wie stark der elektrische Strom ist, der den ganzen Körper passiert. Vielmehr handelt es sich hier um die Frage, wie stark der Strom an einer bestimmten Stelle ist, kurz, um die **elektrische Dichtigkeit**. Man versteht darunter eben das Verhältnis der Stromstärke zum Querschnitt des Leiters  $D = \frac{J}{Q}$ .



Denkt man sich nun den elektrischen Strom aus lauter einzelnen Stromfäden bestehend, von denen wir einmal annehmen wollen, daß jeder Stromfaden 1 Milliampère repräsentieren möge — wir erinnern uns hierbei an die magnetischen Kraftlinien (S. 92) —, so müssen natürlich in einem engeren Teil der Strombahn die Stromfäden dichter verlaufen als in einem weiteren, da ja ihre (die Stromstärke repräsentierende) Summe überall gleich bleiben muß. Ein Blick auf Fig. 198 zeigt dann sofort, daß derselbe Gegenstand bei größerer Stromdichte von mehr Stromfäden durchflossen, mithin auch vom Strome mehr beeinflusst wird als bei geringerer Stromdichte. Daraus folgt, daß man



Fig. 200.  
Elektroden-  
halter.

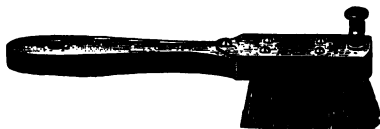


Fig. 201.  
Bürsten- und Pinselelektrode.

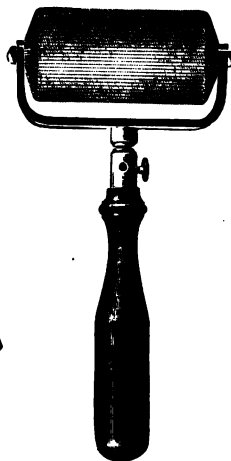


Fig. 202.  
Walzenelektrode.

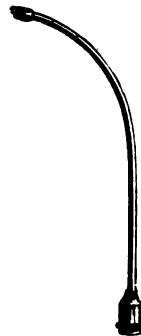


Fig. 203.  
Elektrode mit  
langem Stiel.

zur Erzielung größerer physiologischer, elektrolytischer, thermischer usw. Wirkungen die Stromdichte erhöhen muß. Dies geschieht nun durch Anwendung geeigneter Elektroden.

Unter **Elektroden** (auch wohl Rheophore genannt) versteht man in der Elektrodiagnostik und -therapie die Vorrichtungen, die auf den Körper gesetzt werden, um den Strom zu- bzw. abzuleiten. Man verwendet dazu Knöpfe und Platten von verschiedener Form und Größe (Fig. 199), die aus Metall oder Kohle bestehen und an besonderen Haltern (Fig. 200), die zugleich zur Verbindung mit der Stromquelle dienen, befestigt werden. Gewöhnlich werden die Elektroden feucht appliziert und sind zu diesem Zwecke mit einem Feuchtigkeit haltenden Stoff (Baumwolle, Schwamm, Torfmoos usw.) überzogen. Seltener verwendet man trockene Elektroden (gewöhnlich in Pinsel- oder Bürstenform (Fig. 201); sie dienen zur Hautreizung und kommen fast nur bei der Faradisation zur Anwendung. Für spezielle Zwecke sind zahlreiche besondere Elektroden konstruiert worden, z. B. Walzen-

elektroden (Fig. 202), um die Applikationsstelle bequem zu verändern und Massage mit elektrischer Behandlung zu kombinieren, Elektroden mit langem Stiel (Fig. 203) zur Behandlung innerer Organe, Nadeln zur Elektrolyse (s. u.) usw. Hier sei nur noch eine sogenannte Unterbrecherelektrode (Fig. 204) beschrieben. Der Halter derselben besteht an einer Stelle (*a*) aus nichtleitender Substanz, so daß der zur Klemme *k* geleitete elektrische Strom seinen Weg durch die Unterbrechungsvorrichtung nehmen muß, um zur eigentlichen Elektrode zu gelangen. Wird durch Druck auf den Knopf *d* der rechte Arm des kleinen Hebels heruntergedrückt, so geht *c* in die Höhe und der Strom wird unterbrochen; wird der Knopf losgelassen, so drückt ihn die kleine Feder *f* wieder in die Höhe, so daß *c* nach unten geht und Stromschluß erfolgt.

Von der Größe der Elektroden hängt nun die Dichtigkeit des Stromes an der darunter liegenden Stelle ab. Je kleiner die Elektrode, desto größer ist die Dichtigkeit, von desto mehr Stromfäden wird dasselbe Objekt getroffen. Aus Bequemlichkeitsgründen wendet man daher sogenannte Normalelektroden von bestimmter Größe an, besonders die STINTZING'sche (3 qcm) und die ERB'sche (10 qcm). Jedenfalls

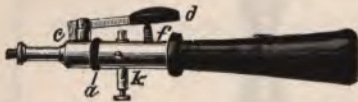


Fig. 204. Unterbrecherelektrode.

muß man bei wissenschaftlichen Untersuchungen außer der verwandten Stromstärke stets auch die Größe der benutzten Elektroden angeben.

Der Strom verzweigt sich nun beim Eintritt in den Körper in unendlich viele Stromschleifen, die sich an der anderen Elektrode wieder vereinigen. Der Verlauf dieser Stromschleifen ist sehr kompliziert, da er von vielen Faktoren, z. B. von der spezifischen Leitfähigkeit der Gewebe abhängt. Unmittelbar dort, wo die Elektroden dem Körper anliegen, ist jedenfalls die Stromdichte am größten. Je weiter Körperteile von den Elektroden und ihrer Verbindungslinie entfernt sind, um so weniger Strom erhalten sie (vgl. Tafel I). Theoretisch gehen also Stromfäden zu allen Teilen des Körpers, ganz gleich, wo die Elektroden aufgesetzt sind; wirksam sind indes nur die Stromfäden, die zwischen den Elektroden verlaufen, weil die Dichtigkeit der anderen zu gering ist.

Der Strom verzweigt sich nun beim Eintritt in den Körper in unendlich viele Stromschleifen, die sich an der anderen Elektrode wieder vereinigen. Der Verlauf dieser Stromschleifen ist sehr kompliziert, da er von vielen Faktoren, z. B. von der spezifischen Leitfähigkeit der Gewebe abhängt. Unmittelbar dort, wo die Elektroden dem Körper anliegen, ist jedenfalls die Stromdichte am größten. Je weiter Körperteile von den Elektroden und ihrer Verbindungslinie entfernt sind, um so weniger Strom erhalten sie (vgl. Tafel I). Theoretisch gehen also Stromfäden zu allen Teilen des Körpers, ganz gleich, wo die Elektroden aufgesetzt sind; wirksam sind indes nur die Stromfäden, die zwischen den Elektroden verlaufen, weil die Dichtigkeit der anderen zu gering ist.

Will man nun die Reizwirkung des elektrischen Stromes auf eine in der Nähe der Haut befindliche Stelle konzentrieren, z. B. zur Reizung eines bestimmten Muskels oder Nervs, so wird man an dieser Stelle eine kleine Elektrode wählen, während man die zweite Elektrode möglichst groß macht. An der ersteren, der Reizelektrode, ist ja dann eben die Stromdichte und somit auch die Stromwirkung groß, an der

letzteren, der sogenannten indifferenten oder neutralen Elektrode, klein<sup>1</sup> (Fig. 205).

Will man dagegen auf Organe in der Tiefe einwirken, so muß man die Elektroden so aufsetzen, daß der zu behandelnde Körperteil in die gerade Verbindungslinie derselben fällt, und wird beide Elektroden groß wählen, damit möglichst viele Stromfäden von ihnen aus-

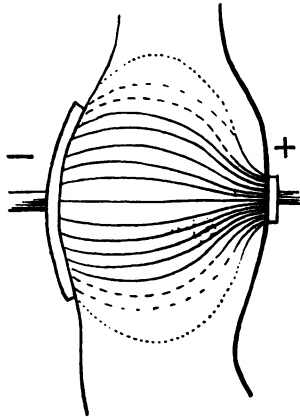


Fig. 205.

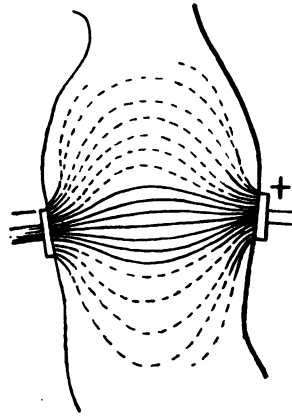


Fig. 206.

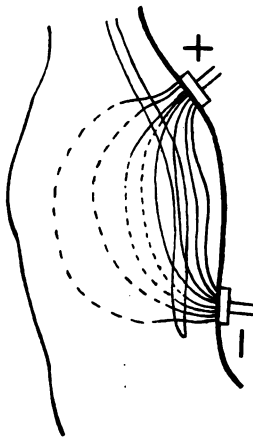


Fig. 207.

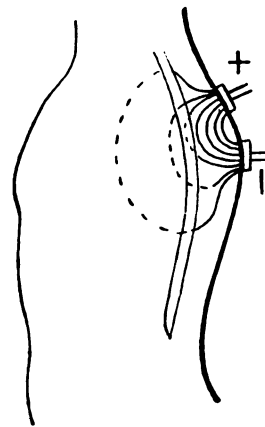


Fig. 208.

Stromverlauf im Körper (nach ERB).

gehen können (Fig. 206). Da nämlich der Verlauf der Stromschleifen im Innern des Körpers sich, wie gesagt, der genauen Berechnung entzieht, ist bei Anwendung kleiner Elektroden die Wahrscheinlichkeit

<sup>1</sup> Beiläufig bemerkt, meint man stets die Reizelektrode, wenn man von Kathoden- bzw. Anodenzuckung spricht. Kathodenschließungszuckung ist also die Muskelzuckung, die bei Stromschluß eintritt, wenn die Reizelektrode die Kathode ist.

gering, daß gerade das gewünschte Organ getroffen wird. Die Anwendung großer Elektroden hat übrigens auch den Vorteil, daß die Hautnerven hierbei infolge der geringen Stromdichtigkeit weniger gereizt werden. Will man ein tiefliegendes Organ, z. B. das Rückenmark, in der Längsrichtung durchströmen lassen, so wird man aus demselben Grunde große Elektroden wählen und sie möglichst weit voneinander aufsetzen, da dann die tiefen Stromschleifen einen nicht viel größeren Weg bilden als die oberflächlichen (Fig. 207). Unzweckmäßig wäre es dagegen, hier kleine, nahe nebeneinander aufgesetzte Elektroden zu verwenden (Fig. 208). Hier sei auch noch erwähnt, daß durch trockene Elektroden die Hautnerven stärker gereizt werden als durch gut durchfeuchtete, weil im ersten Falle der Strom nur durch die (feuchten) Ausführungsgänge der Hautdrüsen eindringt, also hier von großer Dichtigkeit ist, während sich im letzteren Falle die Stromfäden gleichmäßig verteilen, so daß die Dichtigkeit geringer wird (vgl. Tafel II). Auf demselben Grunde beruht die hautreizende Wirkung pinsel- und bürstenförmiger Elektroden. —

Nach diesen allgemeinen Bemerkungen wenden wir uns zu dem Instrumentarium für die Galvanisation. Was zunächst die **Stromquelle** betrifft, so kommen für die Praxis in erster Linie galvanische Battereien von 5—50 hintereinandergeschalteten Elementen in Betracht; wo Anschluß an eine Zentrale möglich ist, ist dies natürlich vorzuziehen. Eine Batterie muß folgenden Bedingungen genügen: Sie muß stets gebrauchsbereit, leicht und kompensiös, kurz bequem transportabel sein; sie muß selbst bei täglicher Beanspruchung nur geringer Wartung bzw. seltener Nachfüllung bedürfen, andererseits auch längere Zeit unbenutzt dastehen können, ohne Schaden zu nehmen. Im allgemeinen wird man solche Elemente wählen, die eine hohe elektromotorische Kraft und geringen inneren Widerstand besitzen. Diesen Forderungen genügen besonders die Chromsäure-, LECLANCHÉ- und Trockenbattereien. Namentlich die beiden letzteren sind sehr handlich und billig. Akkumulatoren sind weniger für Galvanisation zu empfehlen, falls sie nicht noch anderen Zwecken dienen sollen, da sie auch bei geringem Gebrauch regelmäßig geladen werden müssen (cf. S. 85) und dadurch im Betrieb kostspielig sind.

Die LECLANCHÉ-Elemente sind sehr zuverlässig und bequem zu handhaben; sie eignen sich daher vortrefflich für Galvanisation und Elektrolyse. Ihre elektromotorische Kraft beträgt ca. 1,48 Volt, ihr innerer Widerstand je nach der Größe der Platten 0,5—1 Ohm. Um sie zu reinigen, schabt man die an den Elektroden anhaftenden Kristalle mit einem Messer ab, wäscht die Kohlen und Gläser, amalgamiert eventuell das Zink (S. 77) und füllt die Elemente mit ca. 10 % Salmiaklösung.

Auch die Trockenelemente, die eine elektromotorische Kraft von ca. 1,5 Volt und einen inneren Widerstand von 0,3—0,5 Ohm besitzen, sind sehr

handlich. Der Betrieb ist bei ihrer Anwendung etwas teurer, da einmal erschöpfte Elemente nicht mehr nachgefüllt werden können, sondern durch neue ersetzt werden müssen. Sie finden vor allem Anwendung für den Betrieb von Induktionsapparaten, wozu 1—2 große Elemente erforderlich sind.

Die Säureelemente, die aus Kohle, Zink und einer Chromsäurelösung bestehen (S. 78), zeichnen sich durch hohe elektromotorische Kraft (1,8 Volt) und sehr geringen inneren Widerstand aus. Sie sind daher, trotzdem sie den LECLANCHE-Elementen in Bezug auf Sauberkeit und Bequemlichkeit der Handhabung nachstehen, als kräftige Stromquelle sehr zu empfehlen. Allmählich wird die rote Farbe der Füllung dunkel und schließlich tintig; dann ist eine Neufüllung nötig, die bei täglichem Gebrauch etwa alle drei Monate erforderlich wird. Vorher reinigt man die Elemente, indem man die Gefäße mit Wasser füllt und die Elektroden einige Stunden darin stehen läßt, worauf man sie noch abwäscht.



Fig. 209. Kurbelkollektor.

Die Zahl der Elemente richtet sich natürlich nach der Art der Anwendungsweise und der Beanspruchung. Für gynäkologische Galvanisation und Elektrolyse sind 50—60 Elemente nötig, um die erforderliche hohe Stromstärke zu erzielen (s. u.).

Die **Regulierung der elektromotorischen Kraft** bzw. **Stromstärke** kann auf zweierlei Art erfolgen: Einmal durch sogenannte Stromwähler oder Kollektoren, die das bequeme Einschalten einer beliebigen Zahl der vorhandenen Elemente gestatten. Dieselben werden gewöhnlich als Kurbelkollektoren konstruiert.

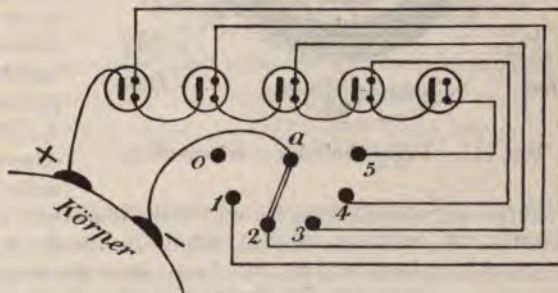


Fig. 210. Schema eines Kurbelkollektors.

Auf einer runden Hartgummiplatte sind

Metallkontakte (deren Zahl der Elementenzahl der Batterie entspricht) in kreisförmiger Anordnung angebracht (Fig. 209). Um den Mittelpunkt der Platte dreht sich eine Metallkurbel so, daß sie mit jedem der Kontakte in Berührung gebracht werden kann. Wie aus der schematischen Zeichnung (Fig. 210) hervorgeht, steht das Kupfer des ersten Elements mit der positiven Polklemme des Apparates in Verbindung. Das Zink jedes Elements ist einerseits mit dem Kupfer des nächsten Elements, andererseits der Reihe nach mit je einem Kontaktknopf (mit Ausnahme des Knopfes 0) verbunden. Von der Kurbel führt ein Draht zum negativen Pol des Apparates. So können also durch Drehen der

Kurbel beliebig viel Elemente eingeschaltet werden. Es ist hierbei darauf zu achten, daß die Kurbel nicht zwei benachbarte Kontakte zu gleicher Zeit berührt, da sonst das betreffende Element kurzgeschlossen wird und Schaden nimmt.

Da bei diesem einfachen Stromwähler die ersten Elemente einer Batterie mehr beansprucht und daher rascher aufgebraucht werden als die anderen, haben REINIGER, GEBBERT und SCHALL einen Doppelkollektor konstruiert, bei dem man eine beliebige Anzahl der Batterieelemente, von irgend einem Element der Reihe angefangen, in den Stromkreis bringen kann.

Der Apparat (Fig. 211) besitzt zwei voneinander isolierte Kurbeln, welche beide um eine gemeinsame Achse drehbar sind und auf den mit den Elementen

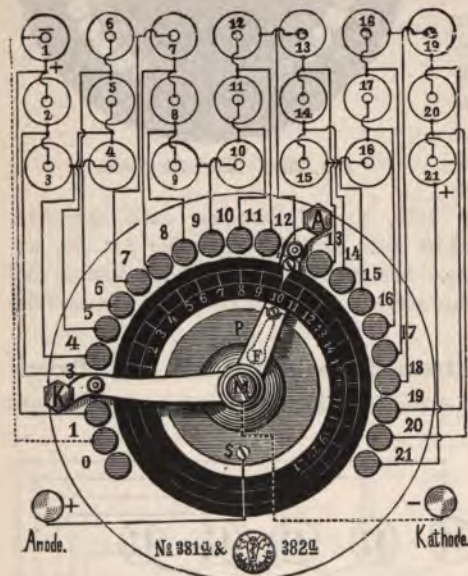


Fig. 211. Doppelkollektor, schematisch.

in Verbindung zu bringenden Kontaktknöpfen schleifen. Eine Kurbel ist mit dem positiven, die andere mit dem negativen Pol des Apparates verbunden. Der erste Kontaktknopf (0) ist mit dem Zink des ersten Elements, der letzte mit dem Kupfer des letzten Elements, die dazwischenliegenden der Reihe nach mit dem Verbindungsdraht je zweier Elemente verbunden. Mit der einen Kurbel ist ferner ein der Zahl der Elemente entsprechend graduierter Teilkreis fest verbunden (dreht sich also mit, wenn letztere bewegt wird), während an der anderen Kurbel ein über jenen Teilkreis ragender Zeiger angebracht ist. Will man beispielsweise bei einer Batterie von 40 Elementen die ersten zehn Elemente der Reihe benutzen, so stellt man die Kurbel mit dem Teilkreis auf Kontaktknopf 0 und dreht die zweite nach rechts, bis der Zeiger derselben am Teilkreis auf 10 zeigt. In diesem Falle steht also die zweite Kurbel auf Kontakt No. 10. Will man aber die nächstfolgenden zehn Elemente benutzen, so stellt man die Kurbel mit dem Teilkreis auf Kontakt No. 10 und geht mit der zweiten Kurbel so weit, bis der Zeiger derselben am Teilkreis über die Zahl 10 zu stehen kommt. Die zweite Kurbel ruht jetzt auf dem Kontakt No. 20 usf. Es gibt also die Numerierung der Kontakte an, „welche“, und der obere Teilkreis, „wie viel“ Elemente im Stromkreis eingeschaltet sind. Bringt man die Kurbeln zusammen und führt sie im Kreise herum, so wird nacheinander jedes Element eingeschaltet und kann einzeln durch das Galvanometer geprüft werden.

Die zweite Art der Regulierung erfolgt durch Rheostate bzw. Spannungswähler, von denen wir ja die wichtigsten Typen bereits kennen gelernt haben (vgl. S. 38 ff.). Apparate, die mit einem guten

Elementenwähler versehen sind, können einen Rheostaten entbehren. Doch werden letztere gewöhnlich noch angebracht, weil durch sie eine viel feinere Regulierung der Stromstärke möglich ist. Namentlich beim Elektrisieren des Kopfes ist ein Rheostat unbedingt nötig, um zu starke Stromschwankungen, die schon durch Zuschaltung eines neuen Elementes entstehen würden, zu vermeiden. Ist bei einem Apparat ein Elementenwähler und ein Rheostat vorhanden, so schaltet man zunächst sämtlichen Widerstand des letzteren ein und von den Elementen so viele, daß man sicher damit auskommt. Dann reguliert man die Stromstärke nur noch mittels des Rheostaten.

Zur Messung der Stromstärke ist natürlich ein Galvanometer unbedingt erforderlich, das für medizinische Zwecke nach Milliampère (*MA*) geeicht ist. Über die gebräuchlichsten Formen der Galvanometer und die Erweiterung ihres Meßbereichs durch Nebenschlüsse haben wir bereits gesprochen (vgl. S. 57 ff. und 98 ff.).

Da das kontinuierliche Fließen des galvanischen Stroms einen geringeren Reiz für den Organismus repräsentiert als plötzliche Stromschwankungen, besonders Öffnen und Schließen des Stromes oder Stromwendungen (sogenannte VOLTA-

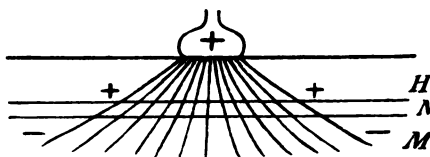


Fig. 212. Virtuelle Kathoden.

sche Alternativen), so sind Einrichtungen notwendig, welche diese Manipulationen bequem auszuführen gestatten. Die einfachen Stromunterbrechungen kann man ja, wie wir sahen, mit einer sogenannten Unterbrecherelektrode ausführen (S. 178). Die Umschaltungen des Stroms erzielt man durch geeignete Stromwender (Kommutatoren), die zugleich so konstruiert sind, daß durch sie der Strom geschlossen bzw. geöffnet werden kann (cf. S. 147).

Aus physiologischen Untersuchungen an isolierten Nerven bzw. Muskeln geht hervor, daß die Kathodenschließung (also der Stromschluß, wenn die Kathode Reizelektrode ist) der stärkste Reiz ist. Im großen ganzen trifft dies auch beim lebenden Organismus zu, wenn gleich hier, wie aus Fig. 212 ohne weiteres hervorgeht, ein und dasselbe Gebilde, z. B. ein Nerv, stets unter der Einwirkung ein- und austretender Stromschleifen steht, so daß auch im Bereich der Anode Kathodenwirkungen stattfinden (man spricht hier von virtuellen Kathoden) und umgekehrt im Bereich der Kathode Anodenwirkungen.

Im Anschluß hieran sei kurz auf einige Fehlerquellen beim Gebrauch galvanischer Apparate hingewiesen. Will man sein Instrumentarium mit Nutzen gebrauchen und etwa eintretende Störungen selbst reparieren, so ist die erste Bedingung, daß man die Konstruktion desselben und den Verlauf der

einzelnen Leitungen genau kennt. Versagt ein Apparat aus irgend einem Grunde, so kann der Fehler in der Batterie, in den Leitungen, Haltern und Elektroden liegen. Die Batterie kann man dadurch prüfen, daß man befeuchtete Finger auf die Pole bzw. die Enden der Leitungsschnüre legt. Am besten ist aber die Prüfung mittels gehörig durchfeuchteter Elektroden, die so angewandt werden, wie es beim richtigen Gebrauch geschehen muß. Ströme von wenigen Milliampère sind gewöhnlich nur bei plötzlicher Schließung oder Öffnung fühlbar. Hat man ein Galvanometer zur Hand, so bringt man die an demselben befestigten Leitungsschnüre der Reihe nach auf je zwei benachbarte Kontaktköpfe des Elementenwählers. Mittels des Doppelkollektors kann man ebenfalls leicht das mangelhaft funktionierende Element herausbekommen (s. o.). Schließlich kann auch die Zunge als Galvanoskop dienen; setzt man zwei mit einem Element verbundene Drähte auf sie, so verspürt man einen laugenhaften Geschmack. Hierbei darf man aber nie eine größere Zahl von Elementen zugleich einschalten. Die Elemente können z. B. versagen, wenn die Zinkstäbe infolge von Kurzschluß durchgefressen sind, wenn die Flüssigkeit ausgelaufen ist, oder wenn die Verbindung zwischen zwei Elementen durch Lockerung der Schrauben usw. gelöst ist. Überhaupt ist darauf zu sehen, daß alle Schraubenverbindungen fest angezogen, und daß alle Kontaktflächen metallisch rein sind. Die Kurbeln müssen gut auf den Kontakten aufliegen. Bei den Unterbrechungselektroden kann eine Störung durch Oxydation im Scharnier des Hebels, durch Verschmutzung der Kontakte oder Verbiegung der Feder bedingt sein.

Die **Anwendung des galvanischen Stromes** in der Medizin ist eine außerordentlich mannigfache. In diagnostischer Hinsicht dient er namentlich zur Prüfung der Erregbarkeit von Muskeln und Nerven, in therapeutischer zur Behandlung von Lähmungen aller Art, sowie zur Stillung von Schmerzen und Krämpfen. Hierbei muß die Tatsache berücksichtigt werden, daß an der Anode die Erregbarkeit vermindert ist (Anelektrotonus) an der Kathode dagegen erhöht (Katelektrotonus). Namentlich wird auch der elektrische Strom bei den sogenannten funktionellen Nervenleiden, wie z. B. Hysterie, Neurasthenie, Angstzustände, Schlaflosigkeit, Migräne, nervöse Impotenz, Blasenbeschwerden usw., doch auch bei gewissen organischen Erkrankungen mit Erfolg angewandt. Hierauf näher einzugehen, ist nicht unsere Aufgabe, zumal das Instrumentarium für alle diese Zwecke im wesentlichen bereits beschrieben ist. Es sei nur kurz erwähnt, daß man die Reizelektrode entweder dauernd auf einer bestimmten Stelle wirken läßt (stabile Galvanisation) oder die Applikationsstelle ständig wechselt (labile Galvanisation).

Wir wenden uns vielmehr jetzt zu derjenigen Anwendung des galvanischen Stromes, die ausschließlich auf seinen physikalisch-chemischen Wirkungen beruht, nämlich zur Elektrolyse, Kataphorese und Galvanokaustik.

Unter **Elektrolyse** versteht man bekanntlich die Einwirkung des elektrischen Stromes auf sogenannte Leiter zweiter Klasse (S. 71 ff.), zu denen ja auch der menschliche Körper gehört. Bei der Elektrolyse



treten, wie wir sahen (S. 71), an den Elektroden verschiedenartige Ionen auf. An der Anode findet Säurebildung, an der Kathode Bildung von Basen statt. Die Anode wird daher in der Medizin dort angewandt, wo man eine Koagulation des Gewebes erzielen will, also zur Blutstillung, zur Heilung von Aneurysmen, Hämorrhoidalknoten, Muttermälern, Varicen usw. An der Kathode findet dagegen eine Zerstörung bzw. Verflüssigung der Gewebe statt; sie dient zur Beseitigung von Neubildungen aller Art (Warzen, Kondylomen, Myomen), Schleimhauthypertrophieen, Infiltraten, Strikturen usw., sowie zur Epilation. Als Elektroden benutzt man Silber- oder Platinplatten, die auf die (gehörig durchfeuchtete) Haut oder Schleimhaut

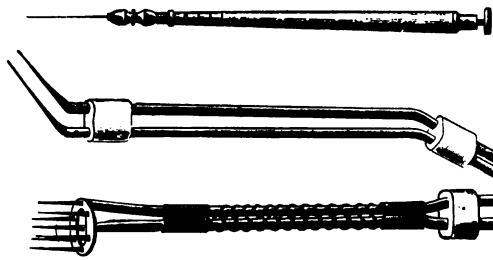


Fig. 213. Elektropunktornadeln.

appliziert werden. Stärker ist die Wirkung (wegen der größeren Stromdichte), wenn man nadelförmige Elektroden (meist aus Platin-Iridium, das steifer ist als reines Platin) nimmt und sie in die Tiefe des Gewebes einsticht (daher auch der Name Galvano- oder Elektropunktur). Entweder bedient man sich, besonders für kleinere Operationen, einer Doppelnadel, die beide Pole enthält (Fig. 213); dann fällt natürlich die Auswahl der Pole (s. o.) fort. Oder man wendet die monopolare Methode an, wobei die nadelförmige Anode bzw. Kathode in die zu behandelnde

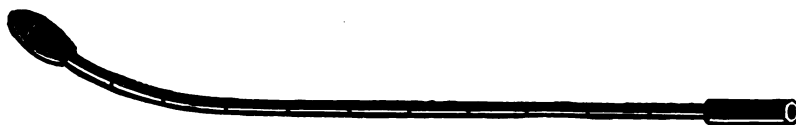


Fig. 214. Uterus-Elektrode zur elektrolytischen Behandlung.

Stelle eingestochen wird, während die Verbindung zwischen dem zweiten Pol der Stromquelle und dem Körper mittels einer größeren Platten- elektrode bzw. eines Fuß- oder Handbades erfolgt. Zur Verstärkung der Wirkung kann die wirksame Elektrode auch mit mehreren Nadeln armiert sein. Für die Behandlung von Strikturen der Harn- und Speiseröhre, sowie für gynäkologische Zwecke nimmt man mit Isoliermaterial überzogene Metallsonden, die in Nadeln bzw. Metall- oder Kohlenoliven endigen (Fig. 214). Je größer die anzuwendende Stromstärke ist, desto größer muß auch die Berührungsfläche der indifferenten Elektrode sein, damit keine übermäßige, schmerzhaft empfundene Stromdichte zustande kommt. Sehr wichtig ist dabei, daß die Elektrode auch gut am Körper anliegt; daher bringt man bei sehr hohen Strom-

stärken zwischen Elektrode und Körper zur Erzielung inniger Berührung oft eine Schicht von angefeuchtetem Ton.

Als Stromquellen — es kommt natürlich nur Gleichstrom in Betracht — können dieselben Batterien bzw. Anschlußapparate wie bei der gewöhnlichen Galvanisation benutzt werden. Je nach dem verlangten Zwecke müssen dieselben allerdings einen verschieden starken Strom liefern. Für gynäkologische Zwecke (Behandlung von Endometritis usw.) sowie zur Zerstörung von Neubildungen sind große Stromstärken (bis 300 MA) erforderlich. Im übrigen kommt man mit kleineren Batterien von 5—6 Elementen aus; so wendet man z. B. zur Epilation einen Strom von 0,5—1 MA, zur Aneurysmen- und

Varicenbehandlung 5—30 MA an. In allen Fällen sind natürlich Regulierungsvorrichtungen unbedingt notwendig. —

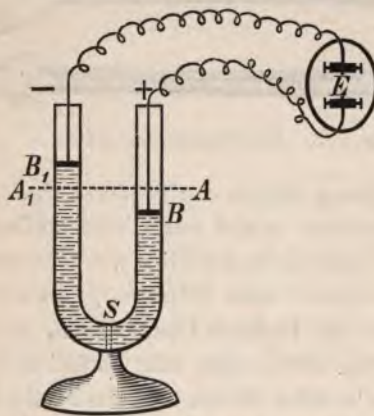


Fig. 215. Kataphoretische Wirkung des elektrischen Stromes.

Unter **Kataphorese** versteht man den durch den elektrischen Strom bewirkten Transport von Flüssigkeitsteilchen und darin gelösten Substanzen in einem feuchten Leiter, der (eventuell auch durch poröse Scheidewände hindurch) vom positiven zum negativen Pol hin erfolgt (cf. S. 74). Leitet man z. B. den elektrischen Strom durch eine U-förmige mit Weingeist gefüllte Röhre, die bei *S* (Fig. 215)

eine Scheidewand von porösem Ton besitzt, so findet ein Sinken des Weingeists im positiven, ein entsprechendes Steigen im negativen Rohr statt. Die Tonscheidewand ist hierbei deshalb nötig, weil ohne sie die kataphoretische Wirkung auf hydrostatischem Wege ausgeglichen würde. Die kataphoretische Wirkung ist nun um so ausgesprochener, je stärker der Strom ist und je schlechter die Flüssigkeit leitet. Führt man also in den menschlichen Körper eine besser leitende Flüssigkeit ein, so entsteht an der positiven Elektrode eine Austrocknung, weil die Moleküle des ersteren diese Zone bereits infolge der Kataphorese verlassen haben, während die Moleküle der letzteren noch nicht so weit vorgedrungen sind. Da aber durch die Austrocknung die Leitungsfähigkeit und somit auch die Stromstärke herabgesetzt wird, ist es nötig, von Zeit zu Zeit den Strom zu wenden. Für die Kataphorese kommt, ebenso wie für die Elektrolyse, nur Gleichstrom in Betracht. Als Stromquelle eignen sich größere Tauch- und Leclanché-Batterien (von ca. 20 Elementen) sowie Anschlußapparate. Die Kataphorese

wird in der Medizin dazu benutzt, Lösungen von Medikamenten durch die Haut hindurch in den menschlichen Körper einzuführen. Daß dies in der Tat möglich ist, wird dadurch bewiesen, daß z. B. Jodkali und Chinin nach einer derartigen Applikation im Harn nachweisbar sind. Als (positive) Elektrode nimmt man entweder Plattenelektroden, die mit flüssigkeitsaufsaugenden Stoffen (Watte, Schwamm, Fließpapier usw.) überzogen sind, befeuchtet sie mit der betreffenden (zweckmäßig etwas angesäuerten) Lösung und setzt sie auf die Haut direkt auf. Oder man nimmt besondere Elektroden, welche die Flüssigkeit aufnehmen können und durch ein poröses Diaphragma (aus Ton, Retortenkohle, Schweinsblase usw.) abgeschlossen sind (Fig. 216). Auch kann man das Zwei- bzw. Vierzellenbad (s. u.) zur Kataphorese verwenden, z. B. zur Einführung von Sublimat in den Körper. Auf diese Weise kann man z. B. mittels Kokainlösungen Hautanästhesie erzielen. Doch ist die therapeutische Wirksamkeit dieser Behandlungsmethode nur gering, da die betreffenden Stoffe hierbei in zu geringer Menge und nicht tief genug in den Körper gebracht werden können bzw. gleich durch die Blut- und Säfteströmung fortgeschwemmt werden. Auf diese kataphorische Wirkung des galvanischen Stromes wird auch seine heilende Wirkung bei Exsudaten aller Art, Narben, Tumoren usw. zurückgeführt. Indes steht es noch nicht fest, ob es sich bei dieser zerteilenden und resorbierenden



Fig. 216.  
Katakaphoresen-  
Elektrode.



Fig. 217. Handgriff für Galvanokaustik.

Wirkung des elektrischen Stromes (die REMAK als katalytische bezeichnete) wirklich um kataphorische, oder um elektrolytische bzw. vasomotorische und trophische Wirkungen handelt. Wahrscheinlich sind alle diese Faktoren daran beteiligt. —

Wir wenden uns nun zur medizinischen Verwertung der Wärme- und Lichtwirkungen des elektrischen Stromes (cf. S. 64 ff.). Eine wichtige Anwendung findet die durch den elektrischen Strom erzeugte Glühhitze in der **Galvanokaustik**. Hierbei werden Metallteile (meist aus Platin-Iridium) von kleinem Querschnitt, also großem Widerstand, zum Glühen

gebracht, um Blutungen zu stillen bzw. Operationen mit möglichst geringem Blutverlust auszuführen. Hauptsächlich handelt es sich hierbei um Eröffnung von Abszessen, Fistelgängen usw., um Zerstörung von Neubildungen und geschwellten Schleimhautpartieen, Abtragung von



Fig. 218. Galvanokaustische Brenner.

Geschwülsten, um Erzeugung einer entzündlichen Reizung, um eine nachfolgende Vernarbung und Verödung zu erzielen usw. Ein weiterer Vorteil der galvanokaustischen Methode besteht darin, daß das betreffende Instrument im kalten Zustande an Ort und Stelle, z. B. in Körperhöhlen, eingeführt wird, und erst dann durch Stromschluß glühend gemacht wird. Auch ist das Schmerzgefühl nur gering, wenn der Brenner weißglühend ist. Zur Blutstillung bzw. zur Erzielung eines Brennschorfes oder zur Setzung eines entzündlichen Reizes wendet man Rotglut, zur direkten Verkohlung oder Abtragung von Geweben Weißglut an, was natürlich eine größere Stromstärke erfordert. Es empfiehlt sich, stets zunächst eine Glühprobe in freier Luft zu machen und den Brenner immer nur für einen Augenblick an die Operationsstelle anzulegen, dann zurückzu-

ziehen, bis er wieder volle Glühhitze erlangt. Dabei wird eine zu starke Abkühlung des Brenners im Gewebe, Ankleben des letzteren und Losreißen des Schorfes vermieden. Brenner mit Porzellankegel können länger appliziert werden, da sie eine größere Wärmekapazität besitzen; freilich dauert es bei ihnen auch länger, bis sie nach der

Abkühlung wieder ihre volle Glühhitze erreichen. Was die Stromquellen für Galvanokaustik betrifft, so ist zu berücksichtigen, daß hier große Stromstärken notwendig sind. Die gewöhnlich benutzten



Fig. 219. Prostatainzisor nach BOTTINI-FREUDENBERG.

Brenner erfordern einen Strom von 10—15 Ampère. Am vorteilhaftesten ist der Anschluß an Zentralen (s. u.). Ist ein solcher nicht möglich, so sind Akkumulatoren oder Tauchbatterien zu benutzen.

Da hier der äußere Widerstand, der ja durch die GlühSchlinge usw. repräsentiert wird, klein ist (ca. 0,06 Ohm), sind Elemente von geringem inneren Widerstand zu wählen (S. 48).

Das sind eben Akkumulatoren und Chromsäure-Elemente mit großen Platten. Dann kommt man mit wenigen Elementen aus. Während z. B. 100 LECLANCHÉ-Elemente (mit einer elektromotorischen Kraft von 1,5 Volt und innerem Widerstand von je 0,6 Ohm) nur eine Stromstärke von  $\frac{150 \text{ Volt}}{60 + 0,06 \text{ Ohm}} = 2,5$

Ampère liefern, erzielt man durch zwei große Chromsäureelemente (von 1,8 Volt elektromotorischer Kraft und 0,06 Ohm innerem Widerstand) eine Stromstärke von  $\frac{3,6}{0,12 + 0,06} = 20$  Ampère. An Stelle von großen Elementen kann man natürlich auch kleinere in Parallelschaltung nehmen.

Auf die unendlich vielen zur Galvanokaustik benutzten Instrumente können wir hier natürlich nicht näher eingehen. Sie bestehen alle im wesentlichen aus einem passenden Handgriff (Fig. 217), der einerseits mit den Zuleitungsdrähten

der Stromquelle, andererseits mit einem für den gewünschten Zweck geeigneten Ansatzstück verbunden wird. Fig. 218 zeigt eine Anzahl verschiedenartiger Ansatzstücke; man sieht daselbst Spitz-, Rund-, Flach-, Schlingen- und Nadelbrenner sowie einige Brenner mit Porzellankegel.



Fig. 220.



Fig. 221.

Elektrische Thermophore.

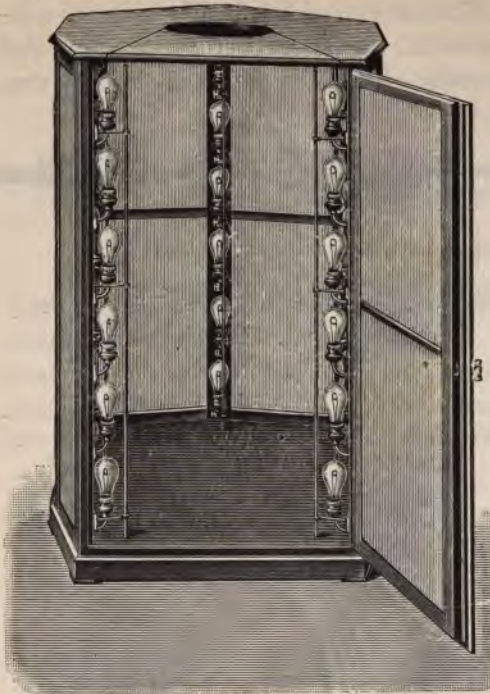


Fig. 222. Allgemeines Glühlicht-Schwitzbad.

(Fig. 220). Derartige Thermophorkompressen werden je nach Bedarf in den verschiedensten Formen hergestellt (Fig. 221). In ähnlicher Weise werden auch elektrische Bett- und Fußwärmer verfertigt.

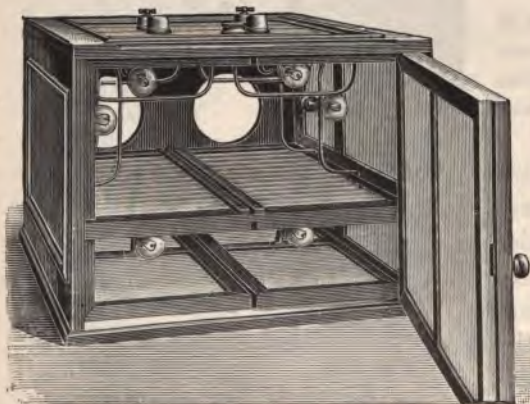


Fig. 223. Glühlicht-Schwitzbad für die Arme.

stets außerhalb des Kastens befindet, oder von einzelnen Körperteilen, z. B. der Arme (Fig. 223). Für derartige Apparate ist natürlich Anschluß an eine Zentrale bzw. an eine größere Dynamomaschine erforderlich.

In Fig. 219 ist ein Prostata-inzisor nach **BOTTINI-FREUDENBERG** abgebildet, bei dem sich nahe dem Schnabelende eine durch eine Schraube verschiebbare Platinschneide befindet, die nach Einführung des Instruments in die Harnröhre durch Stromschluß glühend wird und zur Abtragung hypertrophischer Prostatateile dient.

Die Wärmewirkung des elektrischen Stromes wird ferner u. a. bei den **elektrischen Thermophoren** verwertet. Dieselben bestehen aus mehreren Lagen eines Asbestgewebes, zwischen denen dünne Drähte verlaufen, die sich beim Stromdurchgang erwärmen

In neuerer Zeit werden vielfach **Glühlampen zu elektrischen Schwitzbädern** benutzt. Man nimmt hierzu Kästen von geeigneter Form und Größe, in deren Innerem Glühlampen angebracht sind. Dieselben dienen entweder zur Aufnahme des ganzen Körpers (Fig. 222), wobei sich der Kopf der Patienten

Außerdem wird das Glühlicht zu den verschiedensten **Beleuchtungszwecken** verwandt, z. B. als Stirnlampe (Fig. 224) oder Handlampe (Fig. 225), ev. mit Sammellinse, um die Lichtstrahlen parallel zu machen. Ferner wird es bei Apparaten verwandt, die zur Beleuchtung von Körperhöhlen (Speiseröhre, Ohr, Harnröhre usw.) dienen, also zur sogenannten Endoskopie und Diaphanoskopie. Hierbei wird die Lampe entweder seitlich angebracht, und ihre Strahlen werden durch einen Spiegel oder ein Prisma in die betreffende Körperhöhle geworfen, wie es z. B. bei dem Ohrbeleuchtungsinstrument in Fig. 226 und dem Urethroskop in Fig. 227 der Fall ist, oder sie befindet sich an dem in die Körperhöhle eingeführten Ende, wie z. B. bei dem Kystoskop nach NITZE (Fig. 228), wo sie in dem schnabelförmigen Endteil liegt, während ein vor ihr befindliches Prisma das zu beobachtende seitliche Bild dem Auge des Beobachters zuführt.

Für Beleuchtungszwecke kommen naturgemäß nur kleine Lämpchen von 6—12 Volt Spannung in Betracht, die am besten durch Akkumulatoren oder Tauchbatterien gespeist werden. Die Stromstärke muß so weit gesteigert werden, daß der Kohlenfaden gerade beginnt von der Rotglut zur Weißglut überzugehen. Zur richtigen

Verwendung ist daher ein Regulier-Rheostat unbedingt notwendig.

Im Anschluß hieran sei gleich die medizinische Verwendung des **Bogenlichtes** besprochen. Auch das Bogenlicht wird zu **Schwitzbädern** angewandt, die ganz ähnlich konstruiert sind wie die Glühlichtschwitzbäder, und ferner zu therapeutischen örtlichen Bestrahlungen bei Hautkrankheiten (Lupus usw.). Auf letzterem Gebiete hat sich



Fig. 224.  
Stirnlampe.



Fig. 225.  
Handlampe.

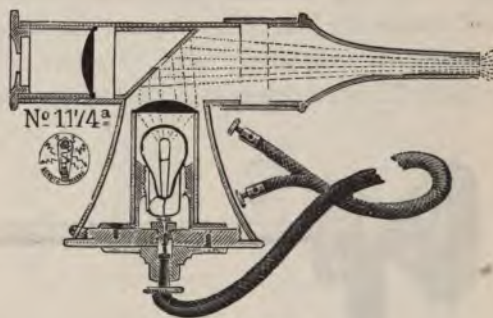


Fig. 226.  
Ohrbeleuchtungsinstrument nach BRUNTON.



REINIGER, GEBBERT & SCHALL, ERLANGEN.

Fig. 227. Urethroskop nach GÖRL  
(zerlegt).

*F* Handgriff. *A* kreuzförmiges Röhrenstück mit Sammellinse zur Aufnahme des Lampenträgers *B*. Darüber wird das den verstellbaren Reflektor tragende Rohr *C* geschoben. *D* Tubenträger. *E* Ansatzrohr zum Einführen in die Harnröhre.

einer Fassung zusammengehaltenen Platten von Bergkristall besteht und neben der Wärmebeseitigung noch den Zweck hat, die Hautstelle, auf die es aufgepreßt wird, blutleer zu machen und dadurch eine größere Tiefenwirkung des Lichtes zu ermöglichen.



Fig. 228. Kystoskop nach NITZE.

In neuerer Zeit hat man zu therapeutischen Zwecken an Stelle der Kohlenelektroden Elektroden aus Eisen (KJELSDEN) gewählt, da der zwischen ihnen entstehende Lichtbogen reicher an chemisch wirksamen Strahlen ist. Dieses **Eisenbogenlicht** wird ebenfalls haupt-

namentlich FINSSEN große Verdienste erworben und die Technik außerordentlich ausgebildet. Der **Finsen-Apparat** (Fig. 229) besteht im wesentlichen aus einer Bogenlampe von der ein fernrohrartiger Zylinder (bzw. mehrere, zur gleichzeitigen Bestrahlung verschiedener Patienten) ausgeht. Letzterer enthält vier Linsen aus Bergkristall, der im Gegensatz zum Glas die therapeutisch wirksamen violetten und ultravioletten Strahlen gut durchläßt. Die beiden ersten Linsen machen die divergierenden Lichtstrahlen der Bogenlampe parallel, während die beiden anderen sie ca. 10 cm vor dem Fernrohr wieder in einem Brennpunkt vereinigen. Zwischen den Linsen befindet sich eine Wasserkammer mit Kühlvorrichtung. Außerdem zirkuliert kaltes Wasser noch in dem sogenannten Druckglase, welches aus zwei in



sächlich zu Bestrahlungen bei Hautkrankheiten verwandt. Eine derartige Eisenbogenlichtlampe ist z. B. die Dermolampe der Elektrizitätsgesellschaft Sanitas in Berlin.

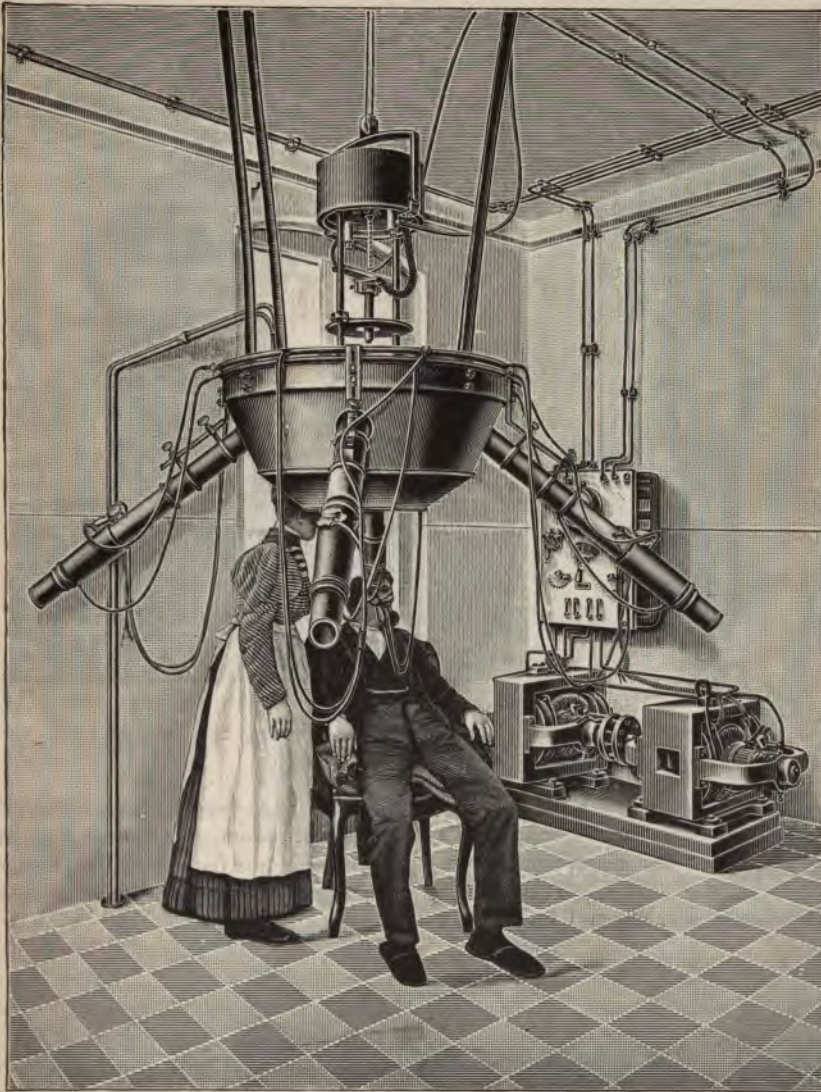


Fig. 229. Apparat nach FINSSEN zur Bogenlichtbehandlung.

Dieselbe besteht aus einem gefensternten Metall-Hohlzylinder *c* (Fig. 230), in dessen Innerem die auswechselbaren Eisenelektroden mit Wasserkühlung angebracht sind. Getragen wird diese Hülse von einem Handgriff *e*, durch den die Leitungen für den elektrischen Strom wie für die Wasserzufuhr laufen. Von dem Griff *e* kann der Hohlzylinder *c* durch Abnehmen leicht entfernt

werden. Durch einen einfachen Druck auf einen an der Seite angebrachten Hebel *b* wird der Lichtbogen gebildet und die Lampe in Betrieb gesetzt. Die Schraube *a* reguliert die Weite des Lichtbogens. Die Lichtstrahlen treten durch die seitliche Öffnung *g*, auf die beim Gebrauch verschiedene Linsen auf-

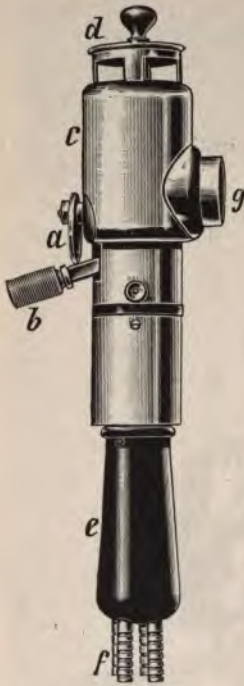


Fig. 230. Dermolampe.



Fig. 231. Anwendung der Dermolampe.

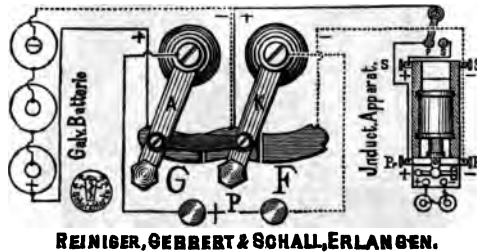
gesetzt und dort mittels Bayonettverschlusses befestigt werden. Ein Druckglas kommt ebenfalls zur Anwendung. Diese Lampe, deren Anwendung Fig. 231 zeigt, braucht nur einen Strom von 5—10 Ampère und ist wesentlich billiger und handlicher als die Finsenlampe. Nach Angaben verschiedener Autoren soll sie sehr wirkungsvoll sein.

Meine Herren! Wir wenden uns nunmehr zum **Induktions-** oder **faradischen Strom**, der in ähnlicher Weise wie der galvanische Strom zu diagnostischen Zwecken, sowie zu erregenden und schmerzstillenden therapeutischen Einwirkungen benutzt wird. Auch gelten für ihn im wesentlichen dieselben Gesetze der Stromverteilung im Körper (cf. S. 178). Man wendet hier ebenfalls feuchte oder trockene Elektroden von der beschriebenen Form an; mit Vorliebe wird der

faradische Pinsel benutzt, eine Elektrode, die aus pinsel- oder bürstenförmigen Metalldrähten besteht und trocken appliziert wird (vgl. Fig. 200). Die Faradisation kann lokal oder allgemein angewandt werden. Im letzteren Falle wird eine große feuchte Elektrode auf das Gesäß, Brustbein usw. aufgesetzt, die andere, ebenfalls befeuchtete, über den ganzen Körper hinweggeführt.

Die zu medizinischen Zwecken benutzten **Induktionsapparate** haben wir bereits besprochen (cf. S. 141) und wollen nur noch nachholen, daß die geeignetsten Batterien hierfür Chromsäure-, Leclanché- oder Trockenelemente sind. Bei Anschluß an Gleichstromzentralen, der natürlich wieder am vorteilhaftesten ist, muß ein geeigneter Widerstand, am besten eine Glühlampe, vorgeschaltet werden.

In der Praxis werden nun häufig **Universalapparate** angewandt, die sowohl für Galvanisation (bzw. Elektrolyse, Kataphorese) wie für



REINIGER, GEBBERT & SCHALL, ERLANGEN.

Fig. 232. Stromwechsler nach DE WATTEVILLE.

Faradisation usw. dienen (vgl. auch S. 216). In diesem Falle ist eine Vorrichtung nötig, die in bequemer Weise die gewünschte Stromart einzuschalten gestattet. Das Schema eines solchen Stromwechslers nach DE WATTEVILLE zeigt Fig. 232.

Von jeder Kurbel führt ein Draht zur Ableitungsklemme. Wenn die Kurbeln nach *G* zeigen, ist der galvanische Strom mit den Klemmen in Verbindung, wenn sie nach *F* zeigen, ist der faradische Strom mit den Klemmen in Verbindung, und wenn sie in der Mitte stehen, sind der galvanische und der faradische Strom auf Spannung miteinander verbunden, d. h. der galvanische Strom muß durch die Spule des Induktionsapparates und den Patienten, und der faradische Strom muß durch den Patienten und die Elemente der konstanten Batterie laufen. Auf diese Weise passieren beide Stromarten den Körper gleichzeitig (Galvanofaradisation).

In Fig. 233 ist z. B. ein stationärer kombinierter Apparat für Galvanisation und Faradisation abgebildet. Es dürfte von Interesse sein, einmal den Stromverlauf in einem solchen Apparate zu verfolgen. Zu diesem Zwecke ist in Fig. 234 nochmals die Tischplatte dieses Apparates, in Fig. 235 die Schaltungsskizze abgebildet.

Auch größere Induktionsapparate, sogenannte **Funkeninduktoren** (S. 143), werden therapeutisch verwandt. Wir haben bereits früher erwähnt, daß bei den Entladungen von Funkeninduktoren Ozon ent-



Fig. 233. Stationärer Apparat für Galvanisation und Faradisation.

steht, dem ja bekanntlich vielfach heilsame Wirkungen (bei Keuchhusten, Lungenkrankheiten usw.) zugeschrieben werden. LABBÉ und OUDIN konstruierten nun einen **Ozonapparat**, der gestattet, das Ozon

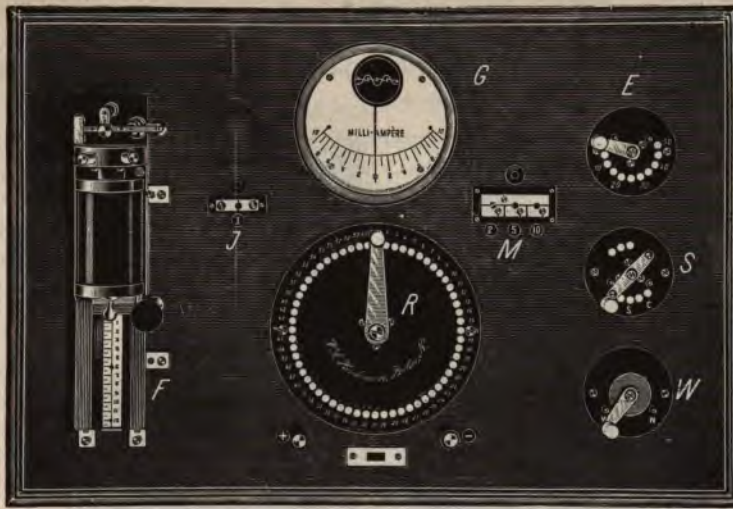


Fig. 234.

Tischplatte des Apparates in Fig. 233.

*E* Elementenwähler, *S* Stromwechsler, *W* Stromwender, *R* Rheostat, *F* Schlitteninduktorium, *J* Stöpselkontakt für das Induktorium, *G* Milliampèremeter, *M* Einschaltvorrichtung für dessen Nebenschlüsse.

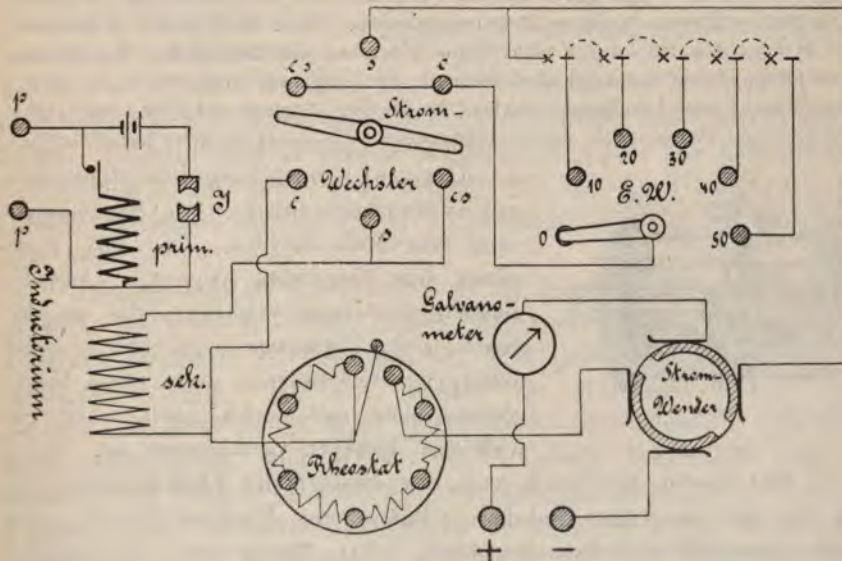


Fig. 235.

Schaltungsskizze zum Apparat in Fig. 233.

*E. W.* Elementenwähler, *cc*, *ss*, *cs* Stellung des Stromwechslers für den konstanten bzw. faradischen bzw. galvano-faradischen Strom, *J* Stöpselkontakt zum Schließen des primären Stromkreises des Induktoriums, *pp* Ableitungen des „primären“ Induktionsstromes.

rein darzustellen und auch so minimal zu dosieren, wie es für die Heilwirkung notwendig ist.

Der Apparat (Fig. 236) besteht aus einem mattierten Eichenkasten, in dem sich eine galvanische Batterie und ein Funkeninduktor befindet. Der eigent-



Fig. 236. Ozonapparat nach LABBÉ und OUDIN.

liche Ozonerzeuger wird mit den beiden oben auf dem RÜHMKORFF'schen Induktor befindlichen Klemmschrauben (Polen) verbunden. Wenn der Apparat in Tätigkeit ist, so wird das Ozon durch elektrische Zersetzung der Luft in dem Einatmungsrohre erzeugt und am Ausflußrohre durch die Nase oder auch durch den Mund eingeatmet. Die Ausatmung darf nicht in dem Apparat erfolgen, weil sonst sich im Glase Feuchtigkeit niederschlägt, welche die Ozonerzeugung beeinträchtigt.

Übrigens können auch die Entladungen von Influenzmaschinen zur Ozonbehandlung verwandt werden. Fig. 237 zeigt einen dazu dienenden Apparat. Derselbe besteht aus einem Glasrohr, das an der einen, dem Patienten zugekehrten, Seite offen, an der anderen durch eine Hartgummiplatte mit vielen nach innen gerichteten Drähten verschlossen ist.

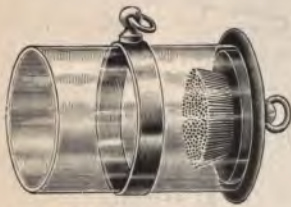


Fig. 237. Ozoninhalator.

In neuerer Zeit wird auch das **elektrische Funkenlicht**, wie es ein mit Leydener Flaschen ausgerüsteter Funkeninduktor (oder auch eine größere Influenzmaschine) liefert, therapeutisch in analoger Weise verwertet wie das Bogenlicht. Das Licht des elektrischen Funkens ist ja ebenfalls reich an chemisch wirksamen Strahlen und dabei fast vollkommen frei von störenden Wärmestrahlen. Aus letzterem Grunde kann man es auch ohne Zwischenschaltung von

Nebenapparaten, wie sie bei der FINSSEN'schen Methode notwendig sind, dicht an die zu behandelnde Stelle bringen und so die gesamte Lichtmenge, die an sich ja geringer ist als beim Bogenlicht, vollkommen ausnutzen.

Fig. 238 zeigt z. B. einen von REINIGER, GEBBERT und SCHALL fabrizierten Apparat zur therapeutischen Verwendung von Funkenlicht. Derselbe besteht aus einer Metallkapsel, welche die multiple lichtgebende Funkenstrecke enthält, und deren Deckel von einer Bergkristalllinse gebildet wird. Letztere dient einmal als Fenster, welches den wirksamen Lichtstrahlen den Durchgang gestattet, zweitens schützt sie die Haut gegen das Überspringen elektrischer Funken, und endlich wirkt sie in gleicher Weise wie das FINSSEN'sche Druckglas auf die bestrahlte Hautpartie. Mit Steckkontakten versehene Kabelschnüre vermitteln die Verbindung der Funkenstrecke mit dem Funkeninduktor bzw. der Influenzmaschine.

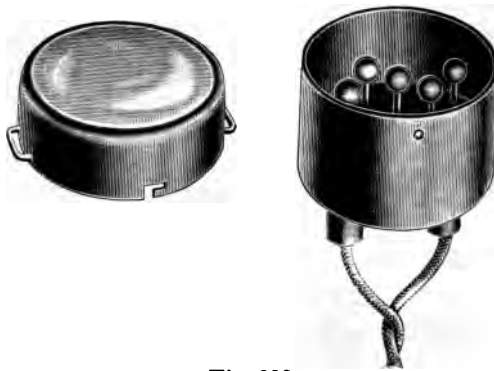


Fig. 238.  
Apparat zur Behandlung mit Funkenlicht.

Es sei noch kurz erwähnt, daß man einen Rührkorff auch *monopolar* zu therapeutischen Zwecken benutzen kann. Man nennt dies dann (nicht sehr zweckmäßig) **monodischen Voltastrom** oder (nach dem Entdecker NARKIEWICZ-JODKO<sup>1</sup>) **Jodkostrom**.

Ein Pol wird hierbei zu einer in eine Flüssigkeit tauchenden Kupferplatte geführt, der andere (gewöhnlich die Kathode) endet frei in einer Spitze. Letztere wird zu lokaler Muskelreizung oder zur Applikation elektrischen Windes (cf. S. 174) benutzt. Mit der die Flüssigkeit enthaltende Glasröhre werden die zu behandelnden Körperteile gestrichen bzw. massiert.

Anhangsweise sei hier auch noch der **Kondensatorentladungen** gedacht, die nach einer von DUBOIS, ZANLETOWSKI u. A. ausgebildeten Methodik ebenfalls zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken verwandt werden. Es wird hierbei ein Kondensator von bekannter Kapazität bis zu einer genau gemessenen Spannung geladen, dann umgeschaltet und durch das in Frage kommende Objekt (menschlicher Körper, Muskel- oder Nervenpräparat) entladen. Dieser Vorgang kann entweder automatisch in schneller Folge vermittelt eines Relais, oder in willkürlicher Wiederholung von der Hand des Untersuchenden reproduziert werden.

<sup>1</sup> Di una nuova forma di electrotherapia, Bulletino della R. Academia di Roma 1899.

Der Kondensator besteht, analog dem bereits erwähnten FIZEAU'schen, aus vielen Stannioblättern, die, durch Glimmer oder paraffiniertes Papier voneinander getrennt, so zusammengelegt werden, daß sie zwei möglichst eng aneinanderliegende, jedoch gut voneinander isolierte Metallflächen bilden. Für die Kapazität sind bestimmend die Größe und der Abstand der Metallflächen sowie die Isolierfähigkeit (Dielektrizitäts-Konstante) des trennenden Materials. Man verwendet entweder eine einzige bestimmte Kapazität (in der Regel 1 Mikrofarad) oder mehrere von verschiedener Größe (z. B.  $\frac{1}{2}$ , 1 und  $1\frac{1}{2}$  Mikrofarad), welche durch einen Kurbelschalter bequem gewechselt werden können.

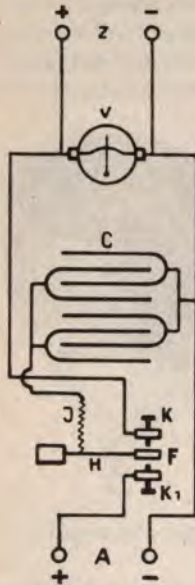


Fig. 239.  
Kondensatorapparat  
(schematisch).

Fig. 239 zeigt die Schaltskizze eines von der Firma REINIGER, GEBBERT und SCHALL hergestellten Kondensatorapparates. *C* ist der Kondensator, *H* ein Hebel, der in eine Metallfeder *F* endigt. Der Hebel *H* ist an einem WAGNER'schen Hammer angebracht, der in der Figur nicht gezeichnet ist und von 1—2 Elementen betrieben wird. Unter dem Einfluß des WAGNER'schen Hammers und der Feder *J* bewegt sich die Feder *F* automatisch auf- und abwärts, wobei sie abwechselnd die Kontakte *K* und *K*<sub>1</sub> berührt. Die Bewegung des Hebels und seiner Feder kann aber auch durch einen Handumschalter erfolgen, wenn man einzelne Schläge haben will. *H* steht durch die Feder *J* mit der einen Belegung des Kondensators in Verbindung, während die andere mit der negativen Leitung verbunden ist. Bei *Z* steht der Apparat mit der Ladestromquelle (Gleichstromzentrale oder Batterie von 40—70 Volt Spannung) in Verbindung, deren Spannung durch das Voltmeter *V* gemessen wird. Bei *A* erfolgt die Entladung des Kondensators durch den menschlichen Körper. Berührt nun die Feder *F* den Kontakt *K*, so wird der Kondensator geladen; berührt sie *K*<sub>1</sub>, so ist die Leitung von der Stromquelle zum Kondensator unterbrochen, und die Ladung des letzteren strömt durch den bei *A* zwischen + und - eingeschalteten Körper.

Eine einzelne Kondensatorentladung, durch den menschlichen Körper geleitet, hat eine Zuckung zur Folge, ähnlich derjenigen welche durch eine Stromschließung bewirkt wird. Derselbe Vorgang, in schneller Reihenfolge wiederholt, verursacht dauernde Muskelkontraktion und jene eigentümliche Empfindung, welche als die Wirkung faradischer Ströme bekannt ist. Von letzteren sind jedoch die Kondensatorentladungen prinzipiell dadurch unterschieden, daß sie Impulse von stets gleicher Richtung darstellen. Der Vorzug der Kondensatorentladungen soll darin bestehen, daß sie nicht nur eine reine Zuckung ohne Schmerz und ohne Elektrolyse hervorrufen, sondern auch wegen der kurzen Entladungsdauer den Widerstand des Körpers nicht verändern und dadurch eine sichere Diagnose und konstante Therapie ermöglichen.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Vgl. u. a. ZANIETOWSKI, Neue Gesichtspunkte zur Zukunft der Kondensatorfrage usw. Zeitschrift für Elektrotherapie und physikalische Heilmethoden. 1903, V. Jahrgang, Heft 12.



Meine Herren! Der von Induktionsapparaten gelieferte Strom ist bekanntlich ein Wechselstrom, bei dem aber die Schwankungen der elektromotorischen Kraft ungleichartig sind. Der Öffnungsstrom ist anders als der Schließungsstrom (vgl. Fig. 240 I). Dem gegenüber zeichnet sich der von Wechselstrommaschinen gelieferte Strom dadurch aus, daß seine beiden Phasen gleich sind (Fig. 240 II). Da die graphische Darstellung des Stromverlaufs einer sogenannten Sinuskurve entspricht (cf. S. 125), nennt man einen solchen Wechselstrom auch **sinusoidalen Strom**. Wie wir bereits erwähnten, kann ein solcher wieder einphasig oder mehrphasig sein (vgl. S. 130). Von den Mehrphasenströmen wird in der Medizin ausschließlich der Dreiphasenstrom (oder Drehstrom  $\kappa\alpha\tau'$   $\xi\xi\omicron\chi\eta\nu$ ) angewandt (Fig. 240 III). Durch geeignete automatische Stromwender kann man den sinusoidalen Strom

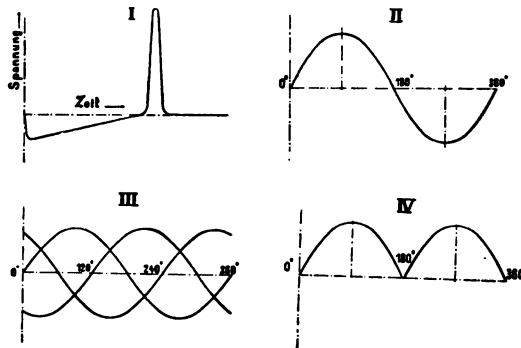


Fig. 240.

I Induktionsstrom, II Sinusoidaler Strom, III Drehstrom, IV Undulierender Strom.

gleichrichten und erhält dann den **undulierenden Strom**, bei dem die Sinuskurve immer dieselbe Richtung hat (Fig. 240 IV). Im letzteren Falle spricht man auch von sinusoidaler Voltatisation, im ersteren von sinusoidaler Faradisation. Den sinusoidalen Strom erhält man entweder durch direkten Anschluß an Wechselstrom- bzw. Drehstromzentralen, wobei man durch geeignete Apparate die Spannung und Wechselzahl regulieren muß, oder in Ermangelung solchen Anschlusses durch einen Gleichstrom-Wechselstromtransformator (cf. S. 135). Zur Gleichrichtung sinusoidaler Ströme bedarf es natürlich einer besonderen Vorrichtung (Kommutator). Fig. 241 zeigt z. B. einen Apparat zur Behandlung mit ein- und mehrphasigem Wechselstrom. Man sieht hier auf dem Schaltbrett die drei Transformerspulen, durch welche die elektromotorische Kraft der einzelnen Wechselströme (analog wie beim Schlitteninduktorium) durch Verschieben der sekundären Spulen reguliert werden kann. Hinter dem Schaltbrett ist, in der Figur nur zum Teil sichtbar, der Gleichstrom-Wechselstrom-

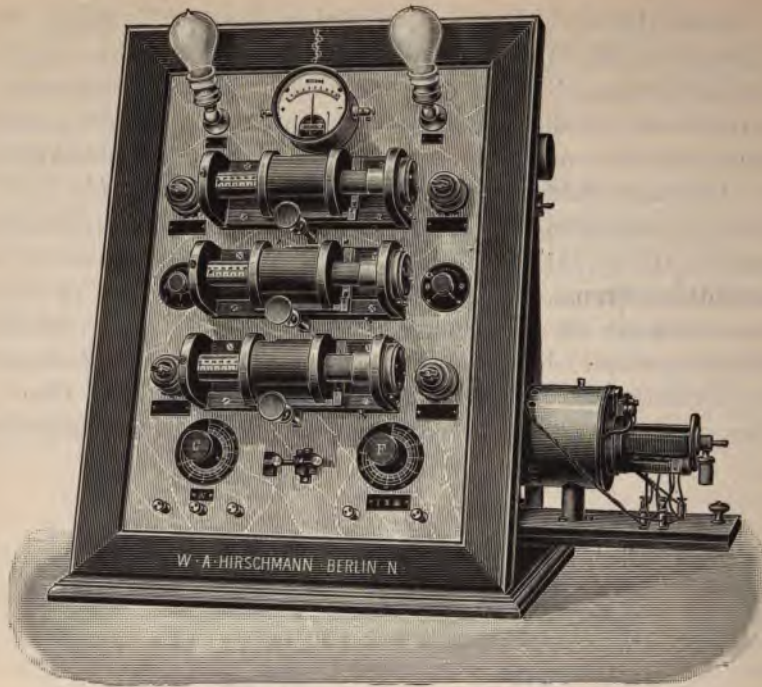


Fig. 241. Apparat für ein- und dreiphasigen Wechselstrom.

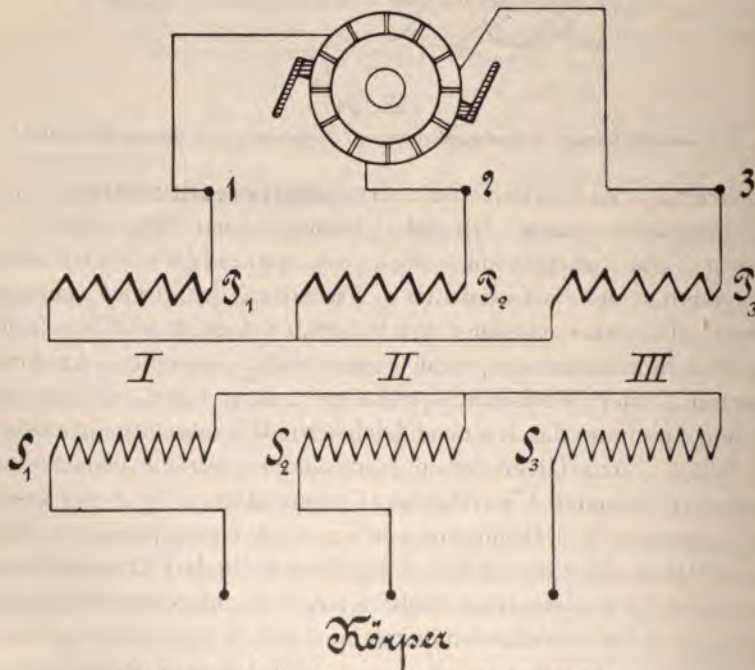


Fig. 242. Schaltskizze zum Apparat in Fig. 241.

$P_1 P_2 P_3$  Primärspulen,  $S_1 S_2 S_3$  Sekundärspulen.

transformator angebracht. Eine Schaltskizze zu diesem Apparat zeigt Fig. 242.

Die Vorzüge der sinusoidalen Ströme beruhen auf ihrem allmählichen An- und Abschwellen und auf dem gleichmäßigen Verlauf der einzelnen Stromimpulse, wodurch selbst relativ starke Ströme nur wenig schmerzhaft wirken. Anwendung finden sie bei Lähmungen, Atrophieen, Atonieen aller Art, zur Behandlung von Metrorrhagieen usw. Speziell ist in letzter Zeit über günstige Resultate bei der Behandlung der Herzmuskelsuffizienz mittels Drehstroms berichtet worden.<sup>1</sup>

Meine Herren! Alle bisher erwähnten elektrischen Ströme kommen nun besonders wirksam bei den **hydroelektrischen Bädern** zur Geltung, die vorzugsweise zur Allgemeinbehandlung benutzt werden. Der Patient kommt hierbei in ein Bad von Wasser (eventuell mit verschiedenen Zusätzen), in das der elektrische Strom geleitet wird. Der Vorteil



Fig. 243. Plattenelektrode für elektrische Bäder.



Fig. 244. Metallstange zur Stromzuführung bei elektrischen Bädern.

dieser Methode liegt auf der Hand. Die Haut, die ja sonst einen erheblichen Widerstand bietet, wird durch die im Bade eintretende vollkommene Durchfeuchtung sehr leitungsfähig. Es können daher große Stromstärken (100 *MA* und mehr) angewandt werden, ohne Schmerzen zu verursachen, da sich eben der Strom auf große Flächen verteilt. Ätzwirkungen, wie sie sonst zuweilen durch die Metalloxyde der direkt dem Körper anliegenden Elektroden, hervorgerufen werden, sind hier nicht zu befürchten. Schließlich kann man die Wirkungen des elektrischen Stromes auch mit thermischen und mechanischen Einwirkungen des Wassers kombinieren und das Bad auch vorteilhaft zur Kataphorese benutzen.

Man unterscheidet monopolare und bipolare elektrische Bäder. Bei ersteren taucht nur eine große Plattenelektrode (Fig. 243) in die

<sup>1</sup> Vgl. z. B. O. HORNING, Zeitschrift für Krankenpflege, 1902, No. 3.

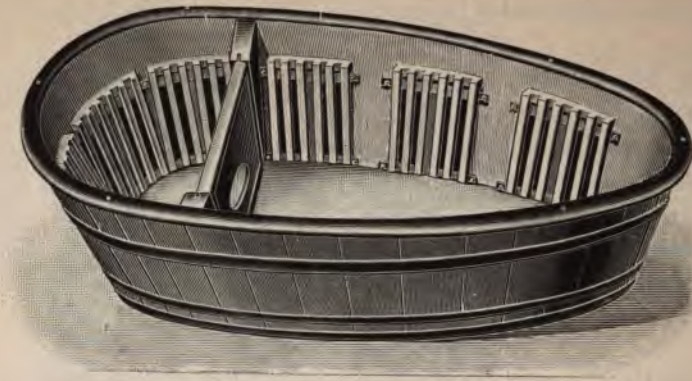


Fig. 245. Zweizellenbad nach GÄRTNER.

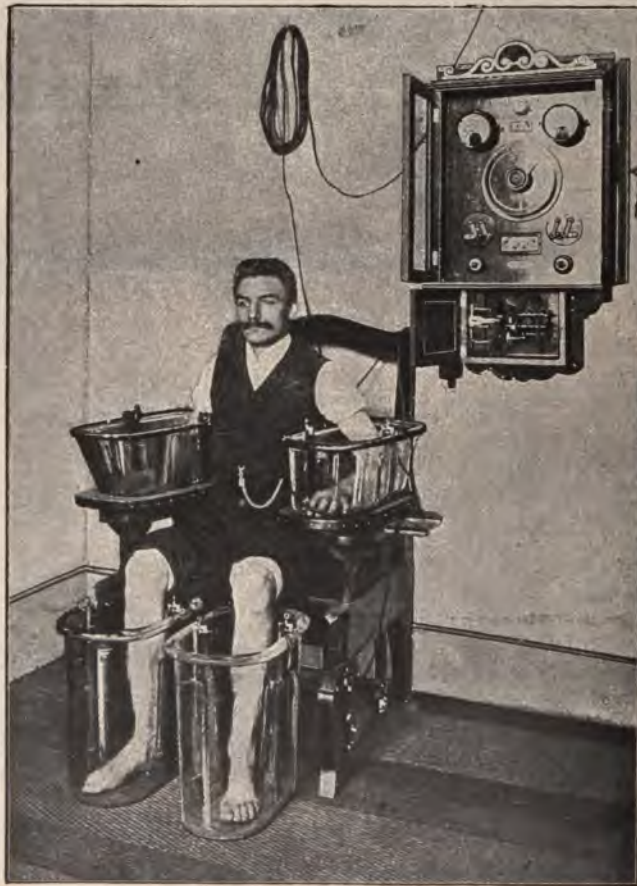


Fig. 246. Vierzellenbad nach SCHÜTZ.

Flüssigkeit (je nachdem es die Anode oder Kathode ist, spricht man von Anoden- bzw. Kathodenbädern), während der andere Pol der Stromquelle zu einer oberhalb der Wanne befestigten Metallstange (Fig. 244) geleitet wird, die der Patient mit beiden Händen umfaßt, oder zu einer großen Metallplatte, an die er sich anlehnt. Beim Bipolarbade werden beide Pole (eventuell durch mehrere Elektroden) zur Flüssigkeit geführt. Das Bipolarbad ist dem monopolaren deshalb vorzuziehen, weil bei diesem die Stromdichte an der Berührungsstelle zwischen Patienten und Metallstange relativ groß ist und unangenehm vertragen wird. Da nun beim bipolaren Bade ein beträchtlicher Teil des Stromes nutzlos durch das Wasser geht, wendet man häufig sogenannte Zellenbäder an. Beim Zweizellenbad wird



Fig. 247. Elektrisches Kopfbad.

z. B. die Wanne durch ein in einem Holzrahmen aufgespanntes Gummidiaphragma in zwei Hälften geteilt, das in der Mitte ein ovales Loch besitzt (Fig. 245). Der Patient schlüpft, mit den Füßen voran, durch dieses Loch und verschließt dann dasselbe mit seinem Körper, so daß jetzt der ganze Strom durch ihn hindurchgehen muß. Bei dem sehr zweckmäßigen, leider aber nicht billigen, Vierzellenbad nach Dr. SCHNÉE braucht man für jeden Arm und jedes Bein des Patienten eine besondere kleine Wanne

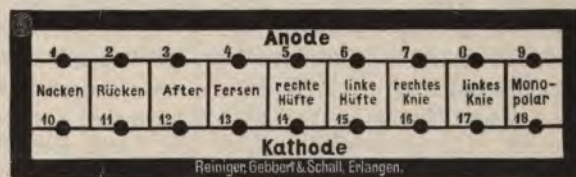


Fig. 248. Badeumschalter für das Zweizellenbad.

(Fig. 246). Durch geeignete Schaltvorrichtungen kann man hier auch den Strom, wenn man will, nur auf bestimmte Körperteile einwirken lassen (s. u.). Auch gibt es besondere Vorrichtungen, um einzelne Körperstellen hydroelektrisch zu behandeln. Fig. 247 zeigt z. B. eine Vorrichtung für ein Kopfbad.

Für alle hydroelektrischen Bäder sind Battereien mit zahlreichen und großen Elementen erforderlich, da ziemlich starke Ströme zur Anwendung kommen. Vorzuziehen ist natürlich wieder der Anschluß an

eine Gleichstrom- oder Wechselstromzentrale. Reguliervorrichtungen und Galvanometer sind unerlässlich, desgleichen — bei Anwendung mehrerer Elektroden bzw. bei Zellenbädern — sogenannte Badeumschalter, die den Strom in jeder Richtung durch die Wanne bzw. den Körper zu senden gestatten.

Der Badeumschalter von REINIGER, GEBBERT und SCHALL für das Zweizellenbad (Fig. 248) besteht z. B. aus zwei Längslamellen, zwischen denen, entsprechend der Elektrodenzahl der Wanne, eine Anzahl Segmente derart angeordnet sind, daß dieselben nach Belieben mit der einen oder anderen Längslamelle durch Stöpselung in Kontakt gebracht werden können. Die Längslamellen werden mit den Polen der Stromquelle, die Segmente mit den Elektroden der Badewanne durch Leitungen verbunden. Mittels dieser Einrichtung kann also der Strom in jeder Richtung durch die Wanne geschickt werden. Man ist z. B. in der Lage, den Strom mit dem Pluspol am Rücken oder am After eintreten und an den Fersen austreten zu lassen. Ebenso kann man ihn in der

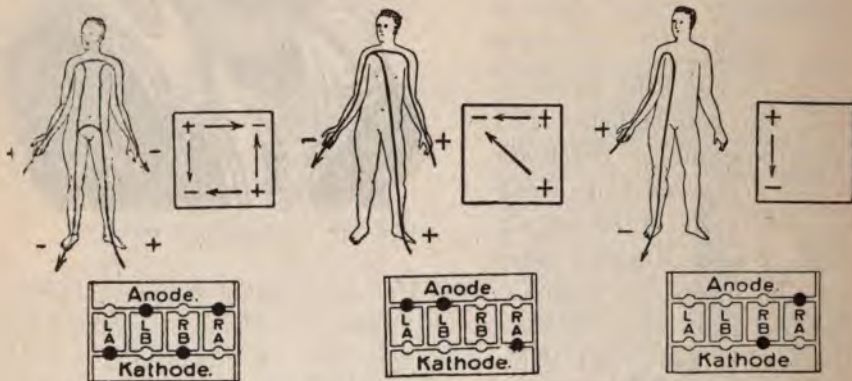


Fig. 249. Stromverlauf beim Vierzellenbad.

Richtung rechte Hüfte — linke Hüfte durch das Bad senden usw. Beim monopolaren Bad verbindet man je nach dem vorliegenden Fall entweder alle oder einzelne Elektroden mit dem einen Pol und die Monopolarstange mit dem anderen.

Beim Vierzellenbad nach SCHNÉE sind noch weit mehr Kombinationen möglich. Die Stromzufuhr erfolgt hier durch vier Kohlen-Elektrodenpaare (je eins für jede Wanne), die mit einem Badeumschalter (Fig. 249) in Verbindung stehen. Durch entsprechendes Einstecken von vier, drei oder zwei Stöpseln in die konischen Vertiefungen der mit „Anode“ und „Kathode“ bezeichneten Teile dieses Umschalters erhält der elektrische Strom die gewünschte Richtung zum Eintritt und Durchzug durch den Körper. Je nachdem also die vier mit Wasser gefüllten Einzelzellen durch die seitlich eingetauchten Elektrodenpaare mit Strom beschickt werden, tritt derselbe durch drei, zwei oder eine der Extremitäten ein, durchzieht diese und den als gezwungenen Leiter eingeschalteten Rumpf in jeweils genau zu bestimmender Richtung und tritt durch eine, zwei oder drei der Extremitäten wieder aus. Auf diese Weise kann man für jede Stromart 50 verschiedene Applikationsarten erhalten, von denen in Fig. 249 drei abgebildet sind.

Meine Herren! Wir wenden uns nunmehr zur Anwendung der sogenannten **Teslaströme** in der Medizin. Dieselben werden oft auch als **d'Arsonvalströme** bezeichnet (die Methode als d'Arsonvalisation), da d'ARSONVAL sie wenige Zeit nach TESLA unabhängig von diesem entdeckt und namentlich ihre Einwirkungen auf den tierischen Organismus studiert hat. Die Wechselströme von hoher Frequenz und Spannung sollen einen günstigen Einfluß auf den gesamten Stoffwechsel ausüben; sie werden daher zur Behandlung von Konstitutionskrankheiten (Gicht, Diabetes, Rheumatismus usw.) angewandt. Besonders bemerkenswert ist die Tatsache, daß diese Ströme trotz ihrer hohen Spannung ganz ungefährlich sind und keine nennenswerte Schmerzempfindung verursachen (vgl. S. 170). Im Gegenteil, sie besitzen sogar eine schmerzstillende Wirkung

und werden daher bei den verschiedensten Neuralgien und juckenden Hautkrankheiten (Pruritus, Ekzem usw.) empfohlen. Wollte man allen Berichten Glauben schenken, so gibt es überhaupt kaum eine Krankheit, die nicht günstig durch d'Arsonvalisation beeinflußt würde. Indes beruht ein großer Teil der Heilerfolge auf Suggestion, falls es sich überhaupt um genaue bzw. wahrheitsgetreue Beobachtungen handelt. Hier, wie auch bei dem Permea-

Verfahren (s. u.), ja wie überhaupt bei der ganzen Elektrotherapie bedarf es noch mühsamer und eingehendster klinischer Beobachtungen, um die objektiven Wirkungen von den subjektiven zu sondern. Das Instrumentarium entspricht im wesentlichen dem bereits beschriebenen Tesla-Apparat (S. 167). Statt einer Leydener Flasche wendet man indes gewöhnlich mehrere an ( $C_1$  und  $C_2$ ; Fig. 250), deren innere Belegungen unter sich und mit dem Induktor ( $R$ ) verbunden sind, während die äußeren mit dem primären Solenoid ( $S$ ) in Verbindung stehen (vgl. auch Fig. 251). Zur Hochspannung der so entstehenden Hochfrequenzströme dienen zwei Methoden. Entweder bringt man das sekundäre Solenoid, falls es überhaupt angewandt wird, in das primäre, das dann gewöhnlich so konstruiert ist, daß es über das sekundäre verschoben werden kann (Fig. 252). Oder man schließt das sekundäre Solenoid an einen Pol des primären an, so daß es gewissermaßen dessen Fortsetzung bildet (Fig. 253). Durch Steck-

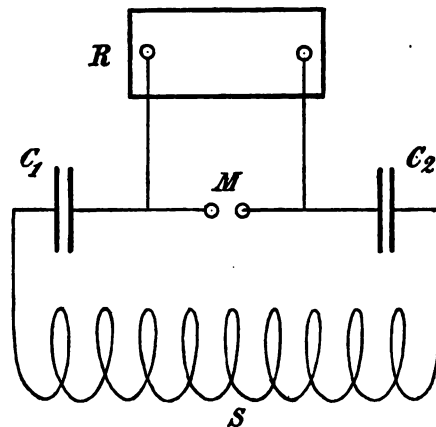


Fig. 250. Apparat zur d'Arsonvalisation (schematisch).

oder Schieberkontakte läßt sich eine verschiedene Anzahl von Windungen des primären Solenoids in den Schwingungskreis der Leydener Flaschen einschalten. Die Büschelentladungen am freien

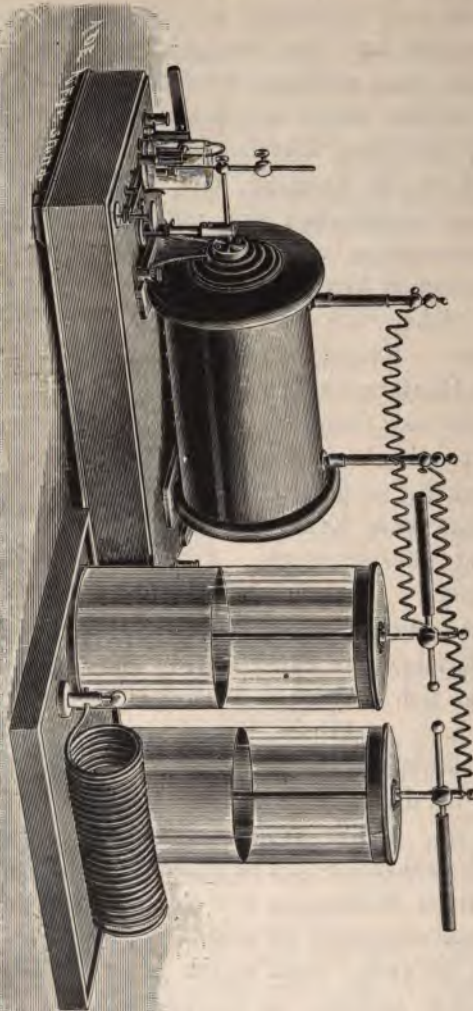


Fig. 251. Apparat zur d'Arsonvalisation.

Pol des sekundären Solenoids sind nun am stärksten, wenn das sekundäre Solenoid, das deshalb auch Resonator (OUDIN) heißt, richtig auf das primäre „abgestimmt“ ist, d. h. wenn die beiden Solenoide in einem bestimmten optimalen Verhältnis zueinander stehen.



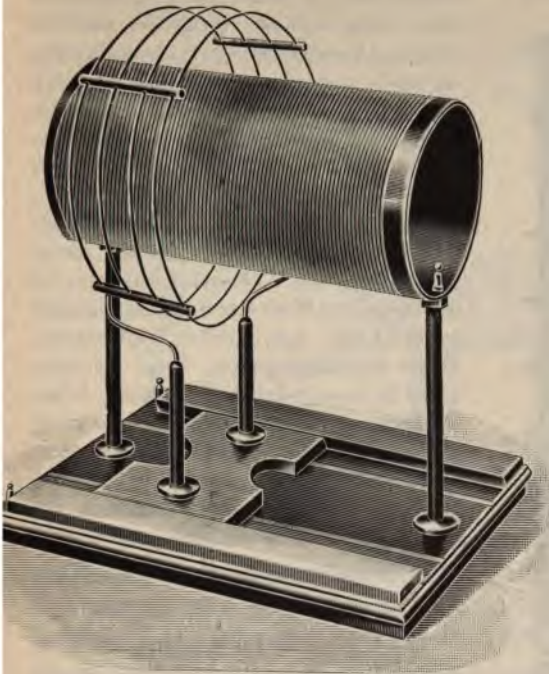


Fig. 252.

Hochspannungstransformator nach D'ARSONVAL.

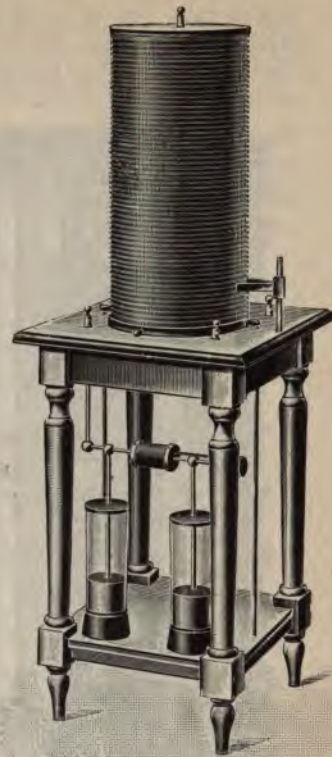


Fig. 253.

Resonator nach OUDIN.

Zum Verständnis dieser Resonanzerscheinungen, die auch bei der Telegraphie ohne Draht eine wichtige Rolle spielen, sei kurz Folgendes bemerkt: Zunächst sei an ein akustisches Phänomen erinnert. Bringt man einen tönenden Körper, z. B. eine Stimmgabel, vor ein Rohr, so gerät die Luftsäule desselben in stehende Schwingungen und tönt mit. Und zwar wird das Mittönen am stärksten, wenn die stehenden Luftwellen am freien Ende des Rohres gerade einen Schwingungsbauch bilden, d. h. wenn die Länge des Rohres so beschaffen ist, daß sie gerade einer viertel Wellenlänge des betreffenden Tones oder überhaupt einer ungeraden Zahl von Viertelwellenlängen entspricht (in Fig. 254 also z. B. entsprechend den Punkten *a*, *b*, *c*, *d*).

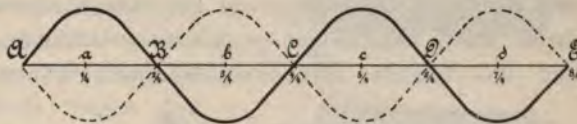


Fig. 254. Stehende Wellen.

Ganz analoge Verhältnisse haben wir bei dem OUDIN'schen Resonator. Läßt man nämlich die Oszillationen des elektrischen Funkens durch Drähte gehen, so entstehen an deren Oberfläche ebenfalls stehende Wellen elektrischer Kraft. Die Entladungen am freien Pol des Resonators werden auch hier wieder am größten sein, wenn der Resonator richtig „abgestimmt“ ist, d. h. wenn sich

hier gerade ein Schwingungsbauch befindet. Dies kann man aber dadurch erreichen, daß man die Wellenlänge variiert, indem man eine beliebige Zahl von Windungen des primären Solenoids einschaltet und dadurch die Selbst-

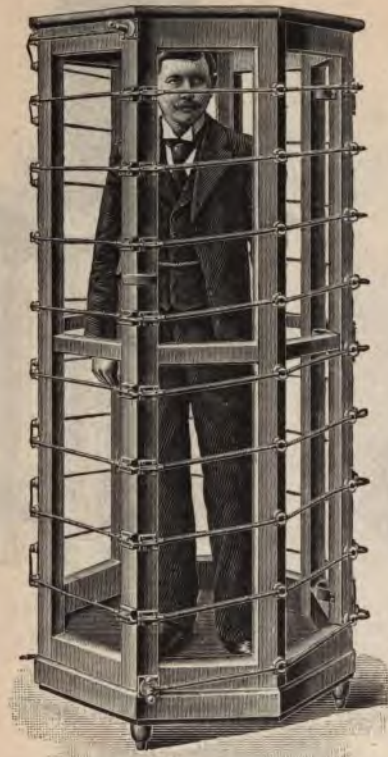


Fig. 255. Großes Solenoid zur allgemeinen d'Arsonvalisation.

induktion im primären Schwingungskreis nach Bedarf ändert. Je größer nämlich in einem Stromkreise die Selbstinduktion ist, die ja stets eine verzögernde Wirkung ausübt (S. 113), desto geringer muß die Zahl der Oszillationen in einer eingeschalteten Funkenstrecke und somit auch die Schwingungszahl der dadurch entstehenden elektrischen Schwingungen sein. Von der Schwingungszahl hängt aber wieder die Wellenlänge ab; sie ist der reziproke Wert der Schwingungszahl (rotes Licht hat große Wellenlänge, kleine Schwingungszahl; beim violetten Licht ist es umgekehrt usw.). Kurz, durch Variation der Selbstinduktion wird auch die Länge der elektrischen Wellen variiert und kann so groß gemacht werden, daß eben am freien Pol des Resonators ein Schwingungsbauch entsteht.

Die Anwendung der d'ARSONVAL-Ströme geschieht nun in mannigfacher Weise. Bei der allgemeinen d'Arsonvalisation wird an Stelle des kleinen primären Solenoids ein großes (Fig. 255) zwischen die Leydener Flaschen geschaltet, in dem der Patient bequem stehen oder sitzen kann (sogenannte Autokonduktion). Trotzdem der

Patient hierbei gar nichts verspürt, kann man doch leicht nachweisen, daß innerhalb des Käfigs ein Hochspannungsfeld besteht; denn eine durch einen Drahtbügel geschlossene Glühlampe leuchtet darin auf. Für die lokale d'Arsonvalisation können kleinere derartige



Fig. 256. Kondensatorelektrode.

Solenoiden verwandt werden. Auch kann man von einem Punkt des primären Solenoids (dessen einer Pol dabei geerdet werden kann) bzw. vom freien Pol des Resonators Strom entnehmen und mittels geeigneter Elektroden zu der betreffenden Körperstelle hinleiten. Außer den gewöhnlichen Formen der Elektroden wird hier öfters eine

sogenannte Kondensatorelektrode benutzt, die aus einem von einer Glasröhre umgebenen Kupferstab besteht (Fig. 256). Der menschliche Körper bildet hier die influenzierte äußere Belegung eines Kondensators. Letztere Methode wird übrigens auch durch das sogenannte Kondensatorbett (APOSTOLI) ins Große übertragen und zur Allgemeinbehandlung benutzt (Fig. 257). Der Patient wird hierbei auf ein



Fig. 257. Kondensatorbett nach APOSTOLI.

Ruhebett von isolierendem Material gelegt, an dessen unterer Seite eine große Metallplatte angebracht ist. Dieselbe wird mit dem einen Pol des Transformators verbunden, während der andere Pol vom Patienten berührt wird. Metallplatte und Patient stellen dann die Belegungen eines Kondensators vor, dessen Dielektrikum von der Polsterung des Bettes gebildet wird.

Von sonstigen Anwendungsformen der Elektrizität ist noch die Benutzung von **Elektromagneten** zur Entfernung von Eisensplittern aus Körpergeweben, namentlich aus dem Auge, zu erwähnen. Kleine Handmagnete, die an einem Ende die Zuleitungsklemmen, am anderen ein zur Aufnahme von Ansätzen verschiedener Form dienendes Gewinde tragen und zugleich einen Stromunterbrecher enthalten (Fig. 258), kommen nur da in Betracht, wo sie dem Splitter ganz nahe gebracht werden können. In neuerer Zeit wendet man öfters außerordentlich starke Magnete mit kegelförmigen Enden und zugehörigen Rheostaten an, weil solche die Extraktion in größerer Distanz erlauben und daher mit gleichmäßiger Kraft auf den Splitter längs des ganzen

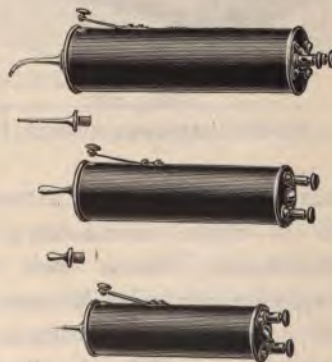


Fig. 258. Kleine Augenmagnete.

von diesem zurückgelegten Weges einwirken. Hierdurch wird aber die Sicherheit der Operation in vielen Fällen wesentlich erhöht. Fig. 259 zeigt z. B. einen großen Augenmagnet nach Professor HAAE.

In jüngster Zeit hat der Elektromagnetismus noch eine andere eigenartige Verwertung gefunden. Der Schweizer Ingenieur EUGEN KONRAD MÜLLER fand nämlich, daß ein Elektromagnet, der zum Unterschied von den gewöhnlichen mit Wechselstrom gespeist wird, eigen-

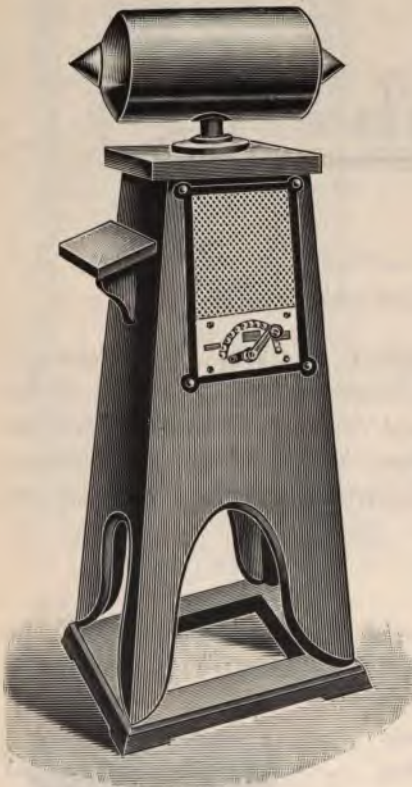


Fig. 259.

Großer Augenmagnet nach HAAE.

artige Wirkungen auf den menschlichen Organismus ausübt. So wird z. B. bei seitlicher Annäherung des Auges an einen solchen Elektromagneten von den meisten Menschen eine eigenartige, bisher noch unerklärte Flimmerbewegung wahrgenommen, die bei Augenschluß gewöhnlich verschwindet. Der KONRAD MÜLLERsche Apparat besteht aus einem aus zahlreichen Eisenplättchen zusammengesetzten Kern mit einer darungewickelten Drahtspule, durch die ein Wechselstrom von 30—40 Ampère und einer Periodenzahl von etwa 50—100 pro Sekunde durchgesandt wird. Der hierdurch entstandene Elektromagnet ist so kräftig, daß er auch durch eine Scheidewand hindurch (z. B. den menschlichen Körper) wirksam ist, also paramagnetische Körper (Eisen usw.) anzieht, diamagnetische (z. B. Wismut) abstößt.

Wegen dieses Verhaltens sprach man ursprünglich von „Permea-Elektrizität“. Der Elektromagnet ist in einem horizontalen, beweglich aufgehängten, Zylinder eingeschlossen, dessen dem Patienten zugekehrte Grundfläche aus Serpentinsteine oder Marmor besteht, um die Ausstrahlung der durch den starken Wechselstrom entstehenden Wärme zu verhindern. Außerdem enthält der Radiator (B Fig. 260), wie der Elektromagnet mit seiner Hülle heißt, auch eine Wasserkühlvorrichtung. Um die magnetischen Kraftlinien besser auszunutzen, verwendet man neuerdings geteilte Elektromagneten, zwischen die der Körper des

Patienten kommt. Es stehen sich hierbei stets Flächen entgegengesetzter Polarität gegenüber.

Ähnlich wie dieser MÜLLER'sche Apparat wirkt der von TRÜB konstruierte, bei dem ein rotierender Magnet mit Gleichstrom gespeist wird. Auch hier entsteht also ein magnetisches Feld von beständig wechselnder Polarität. Die Vorzüge des TRÜB'schen Apparates, bei dem der Radiator noch einen Motor umfaßt, sollen darin bestehen, daß Gleichstrom im allgemeinen leichter zur Verfügung steht als Wechsel-

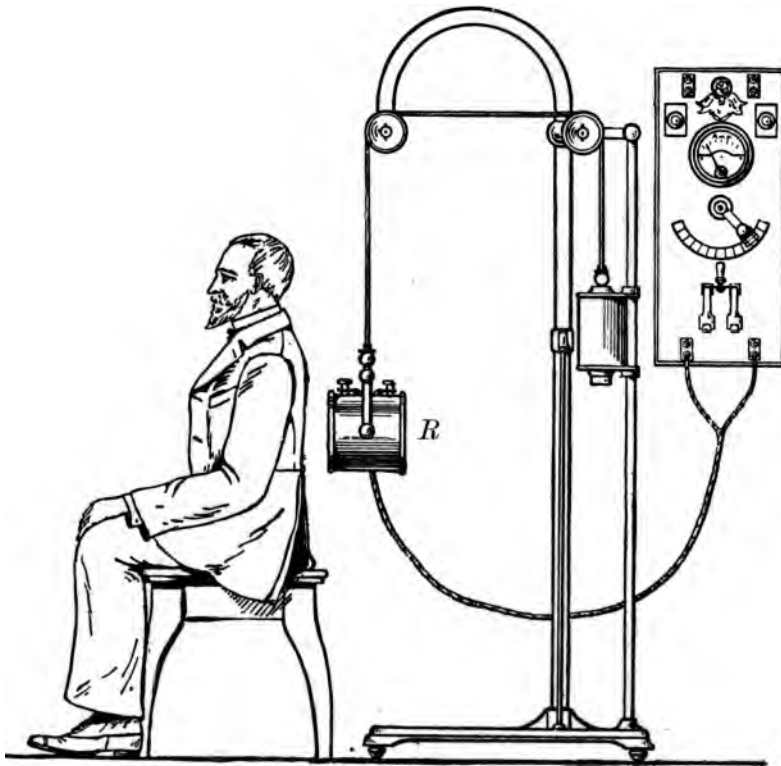


Fig. 260. Apparat zur Behandlung mittels wechselndem magnetischem Felde.

strom, daß er die Bewicklung des Elektromagneten nicht so stark erhitzt, so daß die Kühlvorrichtung fortfällt und die Marmorplatte durch Glas ersetzt werden kann, und daß die Polwechselzahl des magnetischen Feldes sich beliebig durch Regulierung der Motorgeschwindigkeit variieren läßt. Die Wirkung beider Apparate scheint jedenfalls gleich zu sein. Therapeutisch sollen eine große Zahl von Krankheiten günstig durch dieses Verfahren beeinflußt werden. Doch ist hierbei ebenso wie bei den angeblichen Heilerfolgen der d'Arsonvalströme große Skepsis am Platze. So hat erst vor kurzem ein zuverlässiger Beobachter, Herr TOBY COHN, auf Grund zahlreicher Beobachtungen

seinen Standpunkt dahin präzisiert, daß die elektromagnetischen Heilerfolge vorläufig nur als suggestive anzusehen sind. —

Ferner sei noch kurz der Anwendung der **Elektromotoren** gedacht, die wie überall, so auch in der Medizin immer mehr dazu berufen scheinen, mechanische Leistungen auszuführen, die bisher mit Händen oder Füßen bzw. anderen Motoren ausgeführt wurden. Das Prinzip der



Fig. 261.

Elektromotor zur Erschütterungsmassage.

Elektromotoren haben wir ja bereits kennen gelernt (vgl. S. 115 ff.); es kommen sowohl Gleichstrom- wie Wechselstrommotoren zur Anwendung. Ihre Vorzüge sind: Ruhiges, sicheres und gleichmäßiges Arbeiten, leichtes Anlassen und Abstellen des Motors resp. rotierenden Instrumentes (durch Schalter), bequeme Regulierung der Tourenzahl (durch Rheostate), Erzielung sehr schneller Bewegung und dadurch ganz erhebliche Abkürzung mancher Arbeiten, kräftige Wirkung bei verhältnismäßig kleinen Dimensionen der Motoren, Anwendbarkeit direkter Kuppelung der Motorachse mit der Arbeitswelle und dem Instrument unter Wegfall von umständlichen, mit Kraftverlust einhergehenden Transmissionen. Für den Betrieb von Elektromotoren kommt in erster Linie Anschluß an Zentralen in Betracht. Sonst eignen sich auch Akkumulatoren dazu.

In der ärztlichen Praxis finden Elektromotoren vorteilhafte Anwendung bei chirurgischen Operationen (z. B. zum Bohren, Sägen, Meißeln, Trepanieren usw.), zur Transformierung von Gleichstrom hoher Spannung in solchen von niederer Spannung (z. B. für Galvanokaustik), zur Erschütterungsmassage (durch Konkussoren, Rotationswalzenklopfer, Sonden usw., vgl. Fig. 261), zur Zentrifugierung von Flüssigkeiten, zur Transformierung von Wechselstrom (resp. Drehstrom) in Gleich-

strom und umgekehrt, zum Betrieb von Influenzmaschinen und Stromunterbrechern, zum Betrieb von Ventilatoren und von medico-mechanischen Apparaten.

---

Zum Schlusse, meine Herren, wollen wir noch mit einigen Worten auf die **Anschlußapparate** für medizinische Zwecke eingehen. Wir haben ja bereits bei verschiedenen Gelegenheiten gesehen, daß der Betrieb vieler medizinischer Apparate am bequemsten und rationellsten durch Anschluß an Zentralen erfolgt. Hat man die Wahl zwischen einer Gleichstrom- und einer Wechselstromzentrale, so ist unbedingt der Anschluß an die erstere vorzuziehen, da Wechselstrom für Galvanisation und Elektrolyse ja erst in Gleichstrom transformiert werden muß.

Die Hauptaufgabe der medizinischen Anschlußapparate — die beim Dreileitersystem (S. 139) natürlich zwischen Mittelleitung und einer der Außenleitungen angebracht und in Form von Wandtableaus, Schränken oder Tischen hergestellt werden — ist, die hohe Spannung des von der Zentrale gelieferten Stromes (110 bzw. 220 Volt) herabzusetzen. Dies geschieht durch Vorschalt- und Abzweigwiderstände bzw. Spannungsregulatoren, durch die natürlich auch die Stromstärke herabgesetzt wird (cf. S. 52 ff.). Dient der Anschlußapparat nur für Galvanisation, Elektrolyse, Faradisation und Endoskopie — wobei ja nur Stromstärken bis ca. 1,5 Ampère benötigt werden —, so kann man ihn unter Berücksichtigung des eben Gesagten direkt an jede Lichtleitung anschließen. Anders liegt die Sache aber bei der Galvanokaustik, bei der Stromstärken von 10—50 Ampère erforderlich sind. Will man galvanokaustische Apparate direkt (unter Benutzung eines Vorschaltwiderstands und Nebenschlusses) an die Zentrale anschließen, so bedarf es wegen der hohen Stromstärken besonders starker Zuleitungen; derartige Apparate sind daher nicht transportabel. Will oder muß man sich ohne besondere Leitungsanlagen behelfen, so kann man entweder Akkumulatoren benutzen, die mit Vorschaltwiderstand an die Lichtleitung direkt angeschlossen werden und bei Bedarf den verlangten starken Strom abgeben, oder man verwendet Transformatoren, die den Gleichstrom in Wechselstrom von geringer Spannung aber hoher Stromstärke verwandeln, und zwar entweder Gleichstrom-Motortransformer oder, häufiger, Spulentransformer. Der Gleichstrom geht bei letzteren wie bei den Induktionsapparaten durch einen Unterbrecher (entweder WEHNELT-Unterbrecher oder ein besonders präzise konstruierter Platinunterbrecher) und die primäre Spule, über welche eine sekundäre Spule gewickelt ist. Zum Unterschied von den gewöhnlichen Induktionsapparaten besteht hier aber die primäre Spule aus vielen Windungen dünnen Drahtes, die sekundäre aus wenigen

Windungen dicken Drahtes (cf. S. 136). Von der sekundären Spule wird der für die Kaustik benötigte Strom von geringer Spannung aber großer Stromstärke entnommen. Da der Stromverbrauch in der primären Spule 2 Ampère nicht übersteigt, ist hier der direkte Anschluß an eine Lichtleitung möglich. Diese Gleichstromtransformer gestatten eine rationellere Ausnutzung des Stromes, da hier nicht, wie bei dem direkten Anschluß mit Vorschaltwiderstand und Nebenschluß,



Fig. 262. Universal-Anschlußapparat.

*L* Lichtleitung, *C* konstanter Strom, *J* Induktionsstrom, *G* Galvanokaustik.  
Unten sind die Anschlußklemmen, darüber die Spannungsregulatoren, darüber die Einschalter für den betreffenden Stromkreis. Ferner ist auf dem Tableau ein Schlittenapparat, Stromwender, Stromwechsler, Galvanometer.  
Vgl. auch die Schaltskizze in Fig. 263.

ein Teil des Stromes nutzlos verbraucht wird. Fig. 262 zeigt z. B. einen in Form eines Wandtableaus montierten Universalanschlußapparat für Galvanisation, Elektrolyse, Faradisation, Beleuchtung, Kaustik. In Fig. 263 ist eine (etwas modifizierte) Schaltskizze dazu abgebildet.

Der Anschluß an Wechselstromzentralen ist für medizinische Zwecke weniger geeignet, falls es sich nicht um Anwendung der sinusoidalen Ströme handelt, die ja weiter nichts sind als Wechselströme. Für Beleuchtungszwecke und Kaustik eignet sich allerdings



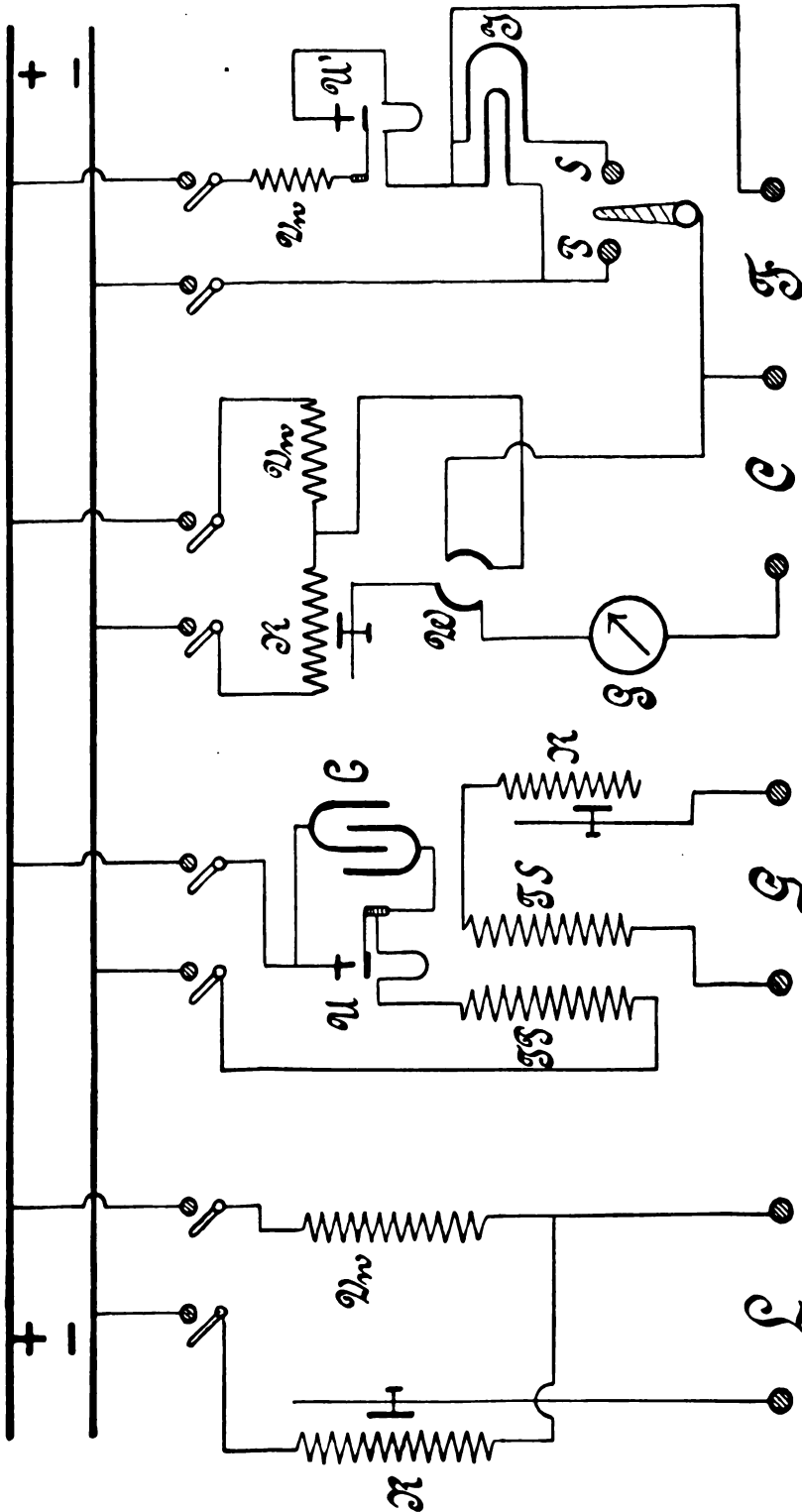


Fig. 263. Schaltungskizze zum Universalapparat in Fig. 262.

L Stromkreis für Beleuchtungszwecke (Endoskopie usw.).  $V_0$  Vorschaltwiderstand,  $R$  Spannungsregulator.  
 G Stromkreis für Galvanokausik.  $U$  Unterbrecher,  $C$  dann parallelschaltbarer Kondensator,  $Z$  73 Primär- bzw. Sekundärspule des Transformators,  $Z$  Spannungsregulator.  
 C Stromkreis für Galvanisation (Elektrolyse usw.).  $V_0$  Vorschaltwiderstand,  $R$  Spannungsregulator,  $W$  Stromwender,  $G$  Galvanometer.  
 F Stromkreis für Faradisation.  $V_0$  Vorschaltwiderstand,  $U$  Unterbrecher,  $J$  Induktor,  $I$ ,  $S$  Ableitung für den „primären“ bzw. sekundären Induktionsstrom.

Wechselstrom ebensogut wie Gleichstrom, für Röntgenzwecke ist er aber viel weniger geeignet (cf. S. 155) und für Galvanisation, Elektrolyse und Faradisation (im engeren Sinne) ist er direkt unbrauchbar. Für Röntgenapparate muß man daher den Wechselstrom durch Transformation in Gleichstrom verwandeln bzw. geeignete Unterbrechungsvorrichtungen anwenden (cf. S. 155); für die anderen Fälle ist es im allgemeinen vorzuziehen, sich besondere galvanische Batterien anzuschaffen. Dort nun, wo Wechselstrom direkt verwandt werden kann, muß man wieder die Spannung der Zentralen herabsetzen, was in bequemster Weise durch Spulentransformer (s. o.) erreicht wird. Liefert die Zentrale einphasigen Wechselstrom, so wird die Primärspule des Transformators einfach zwischen die beiden von der Zentrale kommenden Leitungen angeschlossen; liefert sie Drehstrom, für dessen Fortleitung ja drei Leitungen erforderlich sind, so schaltet man die Primärspule zwischen zwei derselben. Für dreiphasige sinusoidale Faradisation benutzt man alle drei Leitungen und braucht dann drei Spulentransformer (vgl. Fig. 242). Will man einen Universalapparat auch da verwenden, wo nur Anschluß an eine Wechselstromzentrale möglich ist, so schließt man die Apparate für Beleuchtung, Kaustik und sinusoidale Behandlung direkt an, während man als Elektrizitätsquelle für den galvanischen und faradischen Strom einen rotierenden Umformer bzw. eine galvanische Batterie benutzt.

# Index.

- A**bsolute Maßsystem 3.  
Abstimmung von Solenoiden 208. 209.  
Abstoßung, elektrische 6.  
Äquipotentialflächen 10.  
Äquivalentgewichte 7<sup>5</sup>.  
Außerer Widerstand 41.  
Akkumulatoren 80 ff.  
— Laden 85.  
Aktinium 163.  
Aktinoskopie 161.  
Aktuelle Energie 2.  
Aluminiumzellen 156.  
Amalgamierung des Zinks 77.  
Ampère 36. 41. 89.  
Ampèremeter 58. 97.  
AMPÈRE'sche Gesetze 97.  
AMPÈRE'sche Schwimmregel 88.  
AMPÈRE'sches Gestell 95.  
Ampèrestunden 84.  
Ampèrewindungen 95.  
Anelektrotonus 184.  
Anionen 72.  
Anker 115.  
Anode 32. 71.  
— virtuelle 183.  
Anodenbäder 205.  
Anreger 24.  
Ansamlungsapparate 17.  
Anschlußapparate 215.  
Antikathode 160.  
Anziehung, elektrische 6.  
Aperiodische Galvanometer 101.  
APOSTOLI 211.  
Arbeit 2.  
— Maße 2. 4.  
Armatur 115.  
ARON 105.  
ARRHENIUS 73.  
d'ARSONVAL 102. 207.  
Arsonvalisation 171. 207 ff.  
Astasierungsmagnet 100.  
Astatische Nadeln 100.  
Asynchrone Motoren 134.  
Atomionen 166.  
Augenmagnete 211.  
Ausgleicher 24.  
Ausschalter 65.  
Außenpolmaschinen 124.  
Außerwesentlicher Widerstand 41.  
Autokonduktion 210.  
**B**adeumschalter 206.  
Bäder, elektrische 203 ff.  
Ballonelement 77.  
Batterien, galvanische 32. 180.  
— Leydener 19.  
Becquerelstrahlen 163 ff.  
Belegungen von Leydener Flaschen usw. 19.  
Beleuchtung, elektrische 191.  
Beschleunigung 1.  
Bifilare Wicklung 114.  
Bipolares Bad 203.  
Blattelektroskope 6.  
Blitzableiter 16.  
BOAS 151.  
Bogenlicht 68. 191.  
BOSANQUET 96.  
BOTTINI 190.  
Brenner, galvanokaustische 189.  
Brückenverzweigung 56.  
Brunnengeist 165.  
BRUNTON 191.  
Bürsten 120.  
Büschellicht 27. 170. 208.  
Bunsenelement 78. 80.  
**C**hemische Theorie des elektrischen Stromes 86.  
Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes 71 ff.  
C-G-S-System 3.  
Chromsäureelement 78. 181.  
CLAUSIUS 73.  
COHN 213.  
Compoundmaschinen 123.  
Coulomb 7. 36.  
COULOMB'sches Gesetz 7.  
Coulombzähler 105.  
CROOKES 158. 162.  
CROOKES'sche Röhren 158.  
CURIE 163. 164.  
CUNEUS 19.  
**D**ämpfung 101. 110.  
DANIELL-Element 77. 80.  
d'ARSONVAL vd. ARSONVAL.  
DAVY 69.  
DEBIERNE 163.  
Depolarisation 76.  
DEPREZ-Galvanometer 102.  
DEPREZ-Unterbrecher 149.  
Dermolampe 193.  
Diaphanoskopie 191.  
Diaskopie 161.  
Dichtigkeit, elektrische 9.  
Vgl. Stromdichte.  
Dielektricum 17. 18. 20.  
Dielektrische Polarisation 20.

- Dielektrizitätskonstante 18.  
 Disruptive Entladung 26.  
 DOLIVO-DOBROWOLSKI 132.  
 Doppelkollektor 182.  
 Doppel-T-Anker 118.  
 Drehstrom 132. 140.  
 Drehstrommotoren 132.  
 Drehstromtransformatoren 135.  
 Drehwage 7.  
 Dreileitersystem 139.  
 Dreiphasenströme 131.  
 Drosselzellen 156.  
 Druckglas 192.  
 DUBOIS 176. 199.  
 DU BOIS-REYMOND 142.  
 Dynamische Elektrizität 5.  
 Dynamomaschinen 122.  
 Dynamoprinzip 121.  
 Dyne 3.
- EDISON** 66.  
 Edisonfassung 67.  
 Effekt 2.  
 — Maße 2. 4.  
 Effektive Spannung und Stromstärke 127.  
 Einphasiger Strom 130.  
 Eisenbogenlicht 192.  
 Elektrifiziermaschinen 17 ff.  
 Elektrizitätsmenge 7.  
 Elektrizitätszähler 104.  
 Elektrochemie 71 ff.  
 Elektrochemische Äquivalente 75.  
 Elektroden 31. 71. 177.  
 Elektrodynamik 5. 97 ff.  
 Elektrodynamische Gesetze 97.  
 Elektrodynamometer 103.  
 Elektrokinetik 5.  
 Elektrolyse 71 ff. 184.  
 Elektrolyte 30. 71.  
 Elektrolytische Unterbrecher 153.  
 Elektromagnete 90. 211 ff.  
 Elektromagnetische Einheit der Stromstärke 89.  
 Elektromagnetische Maschinen 115.
- Elektromagnetismus 88 ff.  
 Elektrometer 6. 13.  
 Elektromotoren 115. 214.  
 Elektromotorische Kraft 29. 33. 111.  
 Elektronen 161.  
 Elektronionen 166.  
 Elektropunktur 185.  
 Elektroskope 5. 15.  
 Elektrostatik 5 ff. 171 ff.  
 Elektrostatische Induktion 14.  
 — Voltmeter 13.  
 Elektrostatisches Luftbad 173.  
 Elemente, galvanische 31. 75.  
 — konstante 32. 76.  
 ELSTER 165. 168.  
 Emanation 164.  
 Endoskopie 191.  
 Energie 2.  
 Entlader 146.  
 Entladung 7. 25.  
 Entladungserscheinungen in verdünnten Gasen 157.  
 ERB 178. 179.  
 Erden 8.  
 Erg 4.  
 EULENBURG 172.  
 Extraströme 112.
- FARAD** 12.  
 FARADAY 9. 17. 20. 74. 96. 107. 111.  
 FARADAY'SCHE Gesetze 74. 75.  
 Faradimeter 143.  
 Faradisation 194.  
 Faradischer Pinsel 195.  
 Faradischer Strom 194.  
 Fassungen 66. 67.  
 FAURE 81.  
 FEDDERSEN 26.  
 Federgalvanometer 103.  
 Feld, magnetisches 91.  
 Feldmagnete 115.  
 Feldstärke 92. 96.  
 FERRARI 132.  
 FINSSEN-Apparat 192.  
 FIZEAU 144.
- Flaschenelement 78.  
 Flüssigkeitsunterbrecher 153.  
 Flugrad, elektrisches 16.  
 Fluoreszenz 158.  
 Fluoreszenzschirm 161.  
 Fokusröhren 160.  
 FOUCAULT'SCHE Ströme 110.  
 FRANKLIN 16.  
 Franklinisation 171. 173.  
 Franklinische Brause 174.  
 Franklinische Kopfdusche 173.  
 FRANKLIN'SCHE Tafel 18. 172 ff.  
 Freie Elektrizität 14. 18.  
 Frequenz von Wechselströmen 126.  
 FREUDENBERG 190.  
 Funke, elektrischer 26.  
 Funkenentladungen 26. 156. 174.  
 Funkeninduktoren 143. 196.  
 Funkenlänge u. Potentialdifferenz 26. 145.  
 Funkenlicht 198.  
 Funkenstrecke 146.
- GÄRTNER** 205.  
 GALVANI 28.  
 Galvanisation 175 ff. 184.  
 Galvanische Apparate, Fehlerquellen 183.  
 Galvanische Polarisation 32. 76.  
 Galvanische Versilberung 72.  
 Galvanischer Strom 31. 175.  
 Galvanisches Element 31. 75.  
 Galvanofaradisation 195.  
 Galvanofaradischer Apparat 195.  
 Galvanokaustik 187. 215.  
 Galvanometer 97 ff. 183.  
 Galvanoplastik 72.  
 Galvanopunktur 185.  
 GAUSS 3.  
 Gebundene Elektrizität 14. 18.

- GEISSLER'sche Röhren** 157. 170.  
**GRITEL** 165. 168.  
 Generatoren 115.  
 Geschwindigkeit 1. 3.  
 Glaselektrizität 5.  
 Gleichrichter 156.  
 Gleichstrommaschinen 115 ff.  
 Gleichstromtransformatoren 135.  
 Glimmlicht 27. 157.  
 Glockenmagnet 99.  
 Glühlampen 66. 190.  
 Glühlampenrheostat 85.  
 Glühlampenschwitzbäder 190.  
**GÖRL** 192.  
**GOLDSTEIN** 159.  
**GRAETZ'sche Schaltung** 156.  
 Gramm 3.  
**GRAMME'scher Ring** 118.  
 Grammgewicht 3.  
**GRENET-Element** 78. 80.  
**GRISSON** 156.  
**GROVE-Element** 78. 80.  
**GÜLCHER** 70.  
**GUERICKE** 17.  
 Güteverhältnis 64. 124.  
  
**HAAB** 212.  
 Halbleiter 8.  
 Harzelektrizität 5.  
 Hauptstrommaschinen 123.  
**HAUY'scher Stab** 100.  
**v. HEFNER-ALTENECK** 120.  
 Helium 165.  
**HENRY** 114.  
**HIMSTEDT** 165.  
 Hintereinanderschaltung 32. 34. 46. 49.  
**HIRSCHMANN** 142. 152. 172.  
**HITTOFF** 158. 162.  
**HITTOFF'sche Röhren** 158.  
 Hochfrequenzströme 167. 207.  
 Hochspannungsfeld 170.  
 Hochspannungstransformator 168.  
**HOLTZ** 20. 24.  
  
**HOLTZ'sche Maschine** 20. 172.  
**HORNUNG** 203.  
**HUMMEL** 103.  
 Hydroelektrische Bäder 203.  
 Hysteresis 90.  
  
**Impedanz.** 128. 169.  
 Indifferente Elektrode 179.  
 Induktion 107 ff.  
 — elektrostatische 14.  
 Induktionsapparate 140 ff. 195.  
 Induktionsfreie Spulen 114.  
 Induktionsmotoren 134.  
 Induktionsströme 107. 195.  
 — Richtung 109.  
 — Stärke 111.  
 Induktoren 23. 115. 143.  
 Induzierte Radioaktivität 164.  
 Influenz 14 ff. 19.  
 Influenzmaschinen 20 ff. 172. 198.  
 Innenpolmaschinen 124.  
 Innerer Widerstand 41.  
 Intensität des Stromes 35.  
**JODKO-Strom** 199.  
 Ionen 72. 166.  
 Ionenstoß 167.  
 Ionisation der Luft 166.  
 Joule 4. 62.  
**JOULE'sches Gesetz** 64.  
**JOULE'sche Wärme** 64.  
 Isolatoren 8.  
 Isolierschemel 173.  
  
**Kalorie** 4. 64.  
 Kanalstrahlen 159. 161.  
 Kapazität 12.  
 — eines Akkumulators 84.  
 — eines Kondensators 18.  
**KAPP** 28.  
 Kataphorese 74. 186.  
 Katelektrotonus 184.  
 Kathode 32. 71.  
 — virtuelle 183.  
 Kathodenbäder 205.  
  
 Kathodendunkelraum 157.  
 Kathodenschließungszuckung 179.  
 Kathodenstrahlen 158 ff. 161.  
 Kationen 72.  
**KELVIN** 13.  
 Kerntransformatoren 138.  
 Kette, galvanische 31.  
**KJELSDEN** 192.  
 Kinetische Energie 2.  
**KIRCHHOFF'sche Gesetze** 50.  
 Kilowatt 4.  
**KLEIST** 19.  
 Klemmenspannung 43.  
**KLUPATHY** 153.  
 Kochen der Akkumulatoren 81.  
 Koerzitivkraft 90.  
**KOHLRAUSCH** 103.  
 Kollektor 18. 119. 181.  
 Kombinationswiderstand 52. 55.  
 Kommutatoren 116. 147.  
 Kondensator 17.  
 — von **FIZEAU** 144.  
 Kondensatorbett 211.  
 Kondensatorelektrode 211.  
 Kondensatorentladungen 199.  
 Kondensatorplatte 18.  
 Konduktoren 8.  
 Konstante Elemente 32. 76.  
 Konstanter Strom 31. 76. 175.  
 Kontaktelektrizität 29.  
 Kontakttheorie 29.  
 Konvektive Entladung 16.  
 Kopfbad 205.  
 Kraft 1.  
 — lebendige 2.  
 — Maße 1. 3.  
 Kraftlinien 10. 91 ff.  
 Kraftübertragung 131. 137. 140.  
 Kuchen 21.  
 Kurbelkollektoren 181.  
 Kurbelrheostate 39.  
 Kurzschluß 46. 66.  
 Kurzschlußanker 134.  
 Kystoskop 191.

- LABBÉ** 198.  
 Labile Galvanisation 184.  
 Ladung 7.  
 Läufer 134.  
 Lampenrheostat 85.  
 Lebendige Kraft 2.  
**LECLANCHÉ**-Element 79. 80.  
 180.  
 Leistung 2.  
 Leiter 7.  
 — erster Klasse 29.  
 — zweiter Klasse 30. 71.  
 Leitfähigkeit 36.  
 — magnetische 96.  
**LENZ**'sches Gesetz 110.  
**LEVY** 151.  
 Leydener Batterie 19.  
 Leydener Flasche 18. 19.  
 Licht der Zukunft 170.  
 Lösungsdruck 87.  
  
**Magnetelektrische** Maschinen 115.  
 Magnetische Leitfähigkeit 96.  
 Magnetische Menge, Einheit 92.  
 Magnetischer Widerstand 96.  
 Magnetisches Feld 91.  
 — wechselndes 212.  
 Magnetisches Moment 89.  
 Magnetonadel, Ablenkung 88.  
 Magnetoinduktion 107.  
 Magnetomotorische Kraft 96.  
 Manteltransformatoren 138.  
 Maschinen, elektrische 114 ff.  
 Massengramm 3.  
 Maßsystem, absolutes 3.  
**MAXWELL** 20. 25.  
 Megaerg 4.  
 Mehrphasenströme 131.  
**MEIDINGER**-Element 77. 80.  
 Meßinstrumente 97 ff.  
 Meterkilogramm 2.  
 Mikrofarad 12.  
 Mikrovolt 70.  
  
 Milliampère 41.  
 Milliampèremeter 58. 60.  
 Millionenvoltströme 167.  
 Molekularströme 97.  
 Molionen 166.  
 Moment, magnetisches 89.  
 Monodischer Voltastrom 199.  
 Monopolares Bad 203.  
**MORTON**'sche Ströme 175.  
 Motorunterbrecher 150.  
**MÜLLER** 212.  
 Multiplikatoren 98.  
  
**Nadelgalvanometer** 98.  
 Nebeneinanderschaltung 32. 47. 49.  
 Nebenkonduktor 22.  
 Nebenschluß 50.  
 Nebenschlußmaschinen 122.  
 Nebenschlußrheostate 52.  
**NEEF**'scher Hammer vgl. **WAGNER**'scher Hammer.  
 Negative Elektrizität 5.  
**NERNST**'sche Theorie 87.  
 Netzspannung 43.  
 Neutrale Elektrode 179.  
 Neutrale Zone 119.  
 Nichtleiter 7.  
**NITZE** 191.  
**NOBILI** 70.  
 Normalelektroden 178.  
 Normalquerschnitte 65.  
 Nutzeffekt 2.  
  
**Oberflächenwiderstand** 169.  
 Öffnungsextrastrom 112. 143.  
 Öffnungsfunke 112. 144.  
 Öffnungsinduktionsströme 126.  
 Öffnungsstromstärke 149.  
**OERSTEDT** 88.  
 Ohm 36. 41.  
**OHM**'sches Gesetz 40 ff. 127.  
 — für den Elektromagnetismus 96.  
 Ohrbeleuchtungsinstrument 191.  
  
 Ohrelektrode 174.  
 Osmotischer Druck 87.  
 Oszillationen, elektrische 26.  
**OUDIN** 198. 208.  
 Ozonapparate 196.  
 Ozonentwicklung 27. 156. 196.  
  
**PACINOTTI** 118.  
 Parallelschaltung 32. 35. 47. 49.  
**PELTIER**'sches Phänomen 69.  
 Pendel, elektrisches 6.  
 Permeabilität, magnetische 96.  
 Permea-Verfahren 212.  
 Pferdekraft 2. 4. 63.  
 Periode 126.  
 Phase 125.  
 Phasendifferenz 127.  
 Phosphoreszenz 158.  
 Pinselektrode 177. 195.  
**PIXII** 115.  
**PLANTÉ** 81.  
 Platinunterbrecher 149.  
 Polarisation, dielektrische 20.  
 — galvanische 32. 76.  
 Polarisationsstrom 32. 76.  
 Pole 31.  
 Polonium 163.  
 Polreagenzpapier 73.  
 Polspannung 43.  
 Polstärke 92.  
 Positive Elektrizität 5.  
 Potential, elektrisches 9.  
 Potentialdifferenz 11. 33. 41.  
 Potentielle Energie 2.  
 Primärer Induktionsstrom 143.  
 — Strom 107.  
 Pulsierender Gleichstrom 120.  
  
**Quadrantelektrometer** 13.  
 Quecksilberstrahlunterbrecher 151.

- Quecksilberunterbrecher 150 f.  
 Quecksilberwippe 150.  
**R**adiator 212.  
 Radioaktivität 163 ff.  
 — induzierte 164.  
 Radioskopie 161.  
 Radium 163.  
 RAMSAY 165.  
 Rechte-Hand-Regel 88.  
 Reduktionsfaktor 98.  
 Regulierung der Spannung und Stromstärke 45. 181. 182.  
 Reibungselektroskopische Maschine 17.  
 Reibungselektrizität 5 ff.  
 Reichstelegraphenelement 78.  
 Reihenmaschinen 122.  
 Reizelektrode 178.  
 Resonanz 209.  
 Resonator 208.  
 Rheophore 177.  
 Rheostate 38 ff. 52. 182.  
 RIESS'scher Verteilungsapparat 14.  
 Ringanker 118.  
 Ringmagnete 124.  
 Röntgenröhren 159.  
 Röntgenstrahlen 159 ff.  
 ROSENBACH 166.  
 RÜHMKORFF 143. 147.  
 Rühmkorffs 143.  
 RUTHERFORD 164.  
**S**äureelemente 78. 181.  
 Schalter 65.  
 Schaltung von Elementen 32. 46.  
 Scheidekraft, elektrische 29.  
 Schirmwirkung des Eisens 93.  
 Schlagweite 26. 145.  
 Schließungsextrastrome 112.  
 Schließungsinduktionsströme 126.  
 Schlitteninduktorium 142.  
 SCHNÉE 205.  
 Schwimmregel 88.  
 Schwingungen, elektrische 26.  
 Schwitzbäder, elektrische 190. 191.  
 SEEBECK 69.  
 Seitenpolmaschinen 124.  
 Sekundäre Elemente 80.  
 — Prozesse 73.  
 Sekundärer Strom 107.  
 Sekundenerg 4.  
 Selbsterregende Influenzmaschinen 23. 24.  
 Selbstinduktion 112.  
 — Koeffizient der 114.  
 — variable 155.  
 Selbstpotential 114.  
 Serienmaschinen 122.  
 Serienschaltung 32. 46.  
 Shunts 50. 61.  
 Sicherungen 66.  
 SIEMENS 99. 104. 118. 121.  
 Silbervoltmeter 74.  
 Sinuskurve 125.  
 Sinusoidale Ströme 171. 201.  
 Solenoide 94.  
 Spannkraft 2.  
 Spannung, elektrische 9. 127.  
 Spannungsmesser 58.  
 Spannungsmessung 57.  
 Spannungsregulatoren 54. 182.  
 Spannungsregulierung 45. 181. 182.  
 Spannungsreihe, thermoelektrische 69.  
 — VOLTA'sche 29.  
 Spannungsunterschied 11.  
 Spannungsverlust 34. 41. 44.  
 Spezifischer Widerstand 36.  
 Spiegelgalvanometer 99.  
 Spitzenausstrahlungen 174.  
 Spitzenwirkung 16. 167.  
 Spulen 94.  
 Spulengalvanometer 102.  
 Stabile Galvanisation 184.  
 STARK 167.  
 Statische Elektrizität 5. 171.  
 Stehende Wellen 209.  
 Stille Entladung 27.  
 STINZING 178.  
 STÖHRER 116.  
 Stöpselrheostate 38.  
 STONEY 161.  
 Strom, elektrischer 25. 27 ff. 31 ff.  
 Stromdichtigkeit 35. 176.  
 Stromeffekt 63.  
 Stromenergie 62 ff.  
 Stromfäden 169. 177.  
 Stromkreis, einfacher 40 ff.  
 — verzweigter 49 ff.  
 Strommesser 58.  
 Stromschlüssel 142.  
 Stromschwankungen 183.  
 Stromstärke 35. 127.  
 — Maße 36. 89.  
 — Messung 57.  
 — Regulierung 45. 181. 182.  
 Stromverzweigungen 49 ff.  
 Stromwähler 181.  
 Stromwechsler 195.  
 Stromwender 147. 183.  
 Stromzuleitung 138.  
 Synchronismus 131.  
**T**angentenbusssole 98.  
 Tauchelemente 79.  
 Telegraphenelement 78.  
 TESLA 167. 170. 207.  
 Teslaströme 167. 207.  
 Teslatransformator 168.  
 Thermoelektrische Spannungsreihe 69.  
 — Ströme 70.  
 Thermolemente 70.  
 Thermophore, elektrische 190.  
 Thermosäulen 70.  
 Thermostrome 70.  
 THOMSON 13. 101.  
 Thorium 164.  
 TÖPLER'sche Maschine 23. 172.  
 Transformationskoeffizient 136.

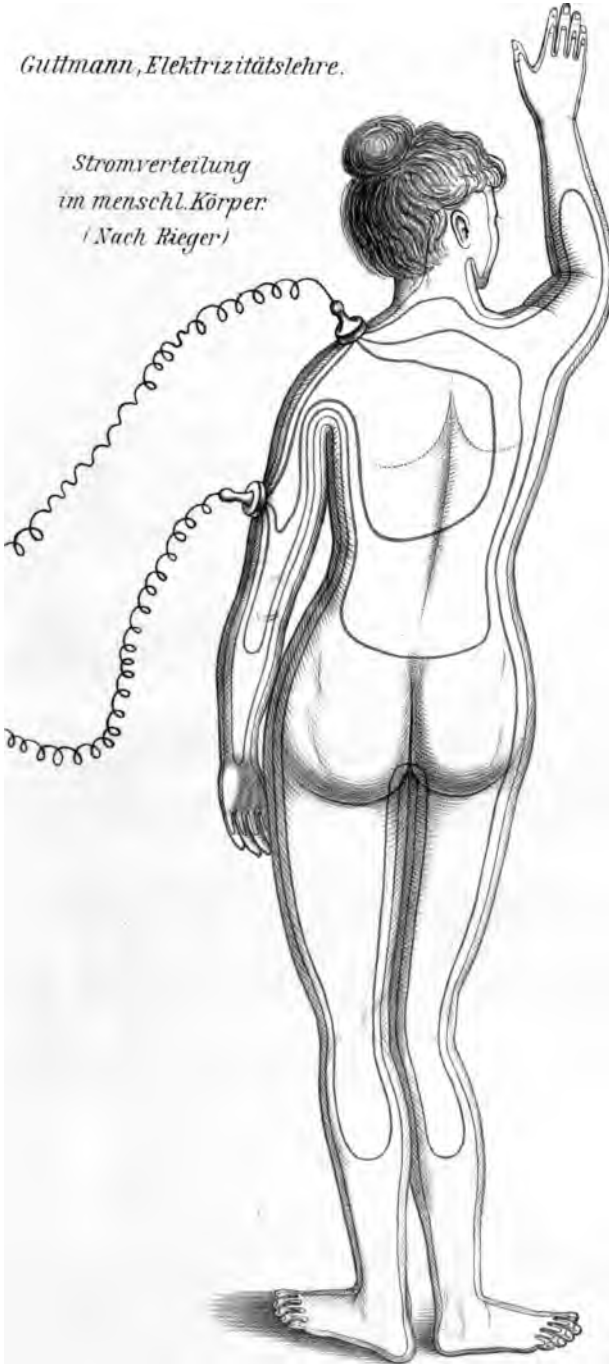
- Transformatoren 135 ff.  
 Trockenelemente 80. 180.  
 Trommelanker 120.  
 TRÜB 213.  
 Turbinenunterbrecher 151.
- Überführungszahl** 72.  
 Umformer 135.  
 Undulierender Strom 201.  
 Universalapparate 195. 216.  
 Unpolarisierbare Elektroden 33.  
 Unterbrecher 148 ff.  
 Unterbrecherelektrode 178. 183.  
 Uranstrahlen 163.  
 Urethroskop 191.
- Verbundmaschinen** 123.  
 Verkettete Drehströme 131.  
 Vielpolige Maschinen 124.  
 Vierter Aggregatzustand 162.  
 Vierzellenbad 205. 206.  
 Virtuelle Anoden und Kathoden 183.  
 Volt 12. 34. 41. 111.  
 VOLTA 28.  
 Voltabschalter 45.  
 Voltainduktion 107.  
 Voltameter 74.  
 VOLTA'sche Alternativen 183.
- VOLTA'sche Gesetze** 29.  
 — Säule 32.  
 — Spannungsreihe 29.  
 Voltastrom, monodischer 199.  
 Volt-Ampère 63.  
 Volt-Coulomb 62.  
 Voltmeter 58. 97.  
 — elektrostatische 13.  
 Volt-Milliamperemeter 60.  
 Voltregulator 54.  
 Vorschaltwiderstand 45.
- Wärmekapazität** 64.  
 Wärmewirkungen des elektrischen Stromes 64 ff. 187.  
 WAGNER'scher Hammer 90. 149.  
 WALTER-Schaltung 155.  
 Wanderung der Ionen 72.  
 Watt 4. 63.  
 DE WATTEVILLE 195.  
 Wattlose Ströme 128.  
 Wattstunden 4. 63.  
 Wattstundenzähler 104.  
 WEBER 3.  
 Wechselgeschwindigkeit 126.  
 Wechselströme 109. 116. 125. 140. 216.  
 Wechselstrommaschinen 128 ff.
- Wechselstromtransformatoren 136.  
 WEHNELT-Unterbrecher 153.  
 Wesentlicher Widerstand 41.  
 WHEATSTONE'sche Brücke 56.  
 Widerstand 36.  
 — äußerer 41.  
 — äußerwesentlicher 41.  
 — des menschlichen Körpers 175.  
 — innerer 41.  
 — spezifischer 36.  
 — wesentlicher 41.  
 Widerstandskästen 38.  
 WIEDEMANN'sches Galvanometer 99.  
 Wimshurstmaschine 24.  
 Wind, elektrischer 16. 174.  
 Wirbelströme 110.  
 Wodalunterbrecher 151.
- X-Strahlen** 159 ff.
- ZANIETOWSKI** 199.  
 Zellenbäder 205.  
 Zentralen, Anschluß 215.  
 Z-G-S-System 3.  
 Zweileitersystem 139.  
 Zweiphasenströme 132.  
 Zweizellenbad 205.



*Guttman, Elektrizitätslehre.*

*Taf. I.*

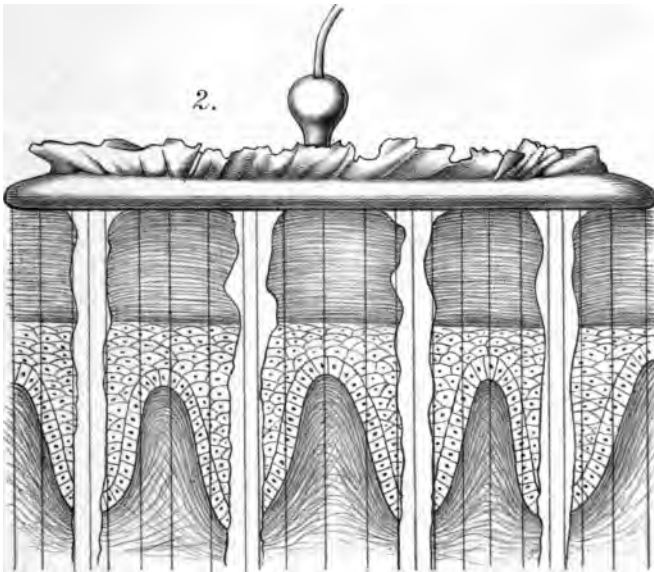
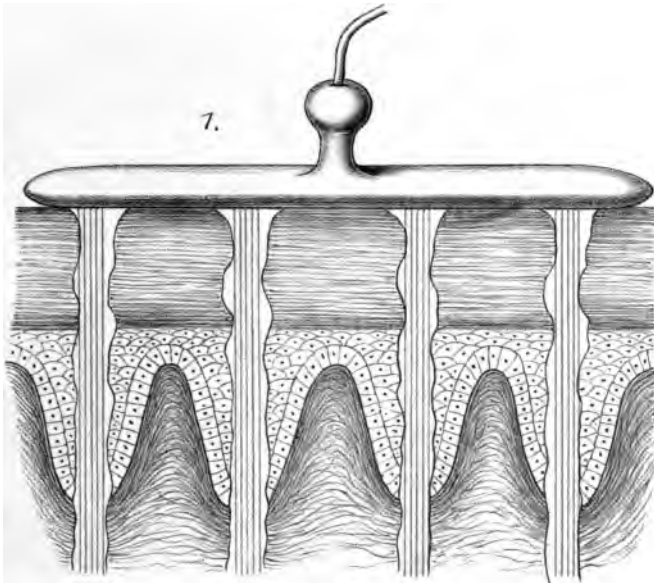
*Stromverteilung  
in menschl. Körper:  
(Nach Rieger)*



Verlag v Georg Thieme in Leipzig

Verlag v Georg Thieme in Leipzig





*Stromverteilung in der Haut bei Anwendung einer trockenen (1) und einer gut durchfeuchteten (2) Elektrode. (Nach Rieger)*



## Die vegetarische Diät.

Kritik ihrer Anwendung für Gesunde und Kranke

von

Dr. med. **Alb. Albu**,  
Privatdozent an der Universität Berlin.

**M. 4.—.**

Wir haben selten in einem gedrängten Raum eine derartige Fülle geistvoller origineller Gedanken und eine so große Kenntnis nicht nur der wissenschaftlichen, sondern auch der Weltliteratur vereinigt gefunden. Diese Eigentümlichkeiten, verbunden mit einem liebevollen und gründlichen Eingehen auf das Thema, gestatten die Lektüre dieses Buches zu einer genußreichen und belehrenden und stellen es wohl als eines der maßgebendsten Werke dieser Gattung hin.

(Prager med. Wochenschrift.)

---

## Einführung in die Psychiatrie.

Mit besonderer Berücksichtigung der  
Differentialdiagnose der einzelnen Geisteskrankheiten

von

Dr. **Th. Becker**.

Dritte, neu bearbeitete Auflage.

**M. 3.—.**

Das *treffliche* Büchlein, auf das wir bei seinem ersten Erscheinen empfehlend hinweisen konnten, hat sich das Bürgerrecht in der didaktischen Literatur erworben. Für den Anfänger gibt es kaum *etwas Besseres*, es ist *kurz* und *doch gehaltvoll*, es bereitet auf das wissenschaftliche Erfassen der Psychiatrie vor und macht mit der praktischen Handhabung derselben vertraut . . .

(Deutsche Medizinal-Zeitung.)

---

## Diagnostik und Therapie der Magenkrankheiten

von

Dr. **I. Boas**,

Spezialarzt für Magen- und Darmkrankheiten in Berlin.

**Allgemeiner Teil.** Mit 54 Abbildungen.

**Fünfte**, veränderte und neu bearbeitete Auflage.

**M. 10.50, geb. M. 11.50.**

**Spezieller Teil.** Mit 7 Abbildungen.

**Vierte**, gänzlich neu bearbeitete Auflage.

**M. 8.—, geb. M. 9.—.**

Da die erste Auflage 1893 herauskam, so kann man wohl von einem immensen Erfolge des Buches sprechen . . . Die übrigen Vorzüge des Werkes sind so bekannt, daß es Eulen nach Athen tragen hieß, wollte man noch viel Worte darüber äußern.

(Excerpta medica.)

---

## Diagnostik und Therapie der Darmkrankheiten

von

Dr. **I. Boas**,

Spezialarzt für Magen- und Darmkrankheiten in Berlin.

**Zweite, unveränderte Auflage.**

Mit 46 Abbildungen.

**M. 18.—, geb. M. 19.—.**

Wenn ein Lehrbuch bereits im zweiten Jahre nach seinem ersten Erscheinen in zweiter Auflage vorliegt, so spricht das allein so beredt für seine Vortrefflichkeit, daß es unnötig erscheint, dieselbe noch besonders hervorzuheben. Das *Boassche* Werk verdankt seine Beliebtheit vor allem der klaren Disposition und der gut gelungenen Sichtung des praktisch Brauchbaren von der Spreu des Nebensächlichen, entsprechend seinem Leitworte: „nec ultra, nec infra scire“. Das Buch ist für die Bedürfnisse des Praktikers geschrieben und wird denselben in voller Weise gerecht.

(Deutsche medizinische Wochenschrift.)

Verlag von **Georg Thieme** in **Leipzig**.

---

## Lehrbuch der Hydrotherapie

von

**Dr. B. Buxbaum,**

Polikl. Assistent d. Hofr. Prof. Dr. W. Winternitz u. ord. Arzt d. Fango- u. Wasserheilanstalt Wien.

Mit einem Vorwort des Hofr. Prof. Dr. *W. Winternitz*.

Mit 34 Abbildungen und 24 Tabellen.

**Zweite, vermehrte Auflage.**

**M. 8.—, geb. M. 9.—.**

Innerhalb zweier Jahre ist eine Neuauflage dieses ausgezeichneten Werkes notwendig geworden. Es ist dies Beweis genug, wie sehr dasselbe ein Bedürfnis war, außerdem aber erfreulicherweise ein Beweis dafür, daß in der Ärztenwelt immer mehr und mehr die einzige richtige Auffassung sich Bahn bricht, daß die Hydrotherapie einen der wichtigsten Zweige unseres ärztlichen Könnens darstellt. Diese zweite Auflage ist wesentlich vermehrt und ergänzt worden. Vor allem ist die eingehende Würdigung der thermotherapeutischen Methoden mit Freuden zu begrüßen. Zahlreiche neue Abbildungen bringen die Methoden zur klarsten Entscheidung.

(**Medizinische Woche.**)

---

## Die Impfstoffe und Sera.

Grundriß der ätiolog. Prophylaxe und Therapie der Infektionskrankheiten für Ärzte etc.

von

**Dr. L. Deutsch,**

und

**Dr. C. Feistmantel,**

Privat-Dozent u. Leiter des „ Jenner-Pasteur-Institutes“ zu Budapest.

Regierungs-Assessor u. Leiter der bakteriolog. Untersuchungsstation zu Budapest.

**M. 6.—, geb. M. 7.—.**

Die Verfasser haben es in vortrefflicher Weise verstanden, den schwierigen Stoff in klarer auch für Nichtspezialfachleute in leicht verständlicher Ausführung darzulegen. Dem Tierarzt ist durch das Werk Gelegenheit gegeben, sich über die neue, schnell herangewachsene Lehre von der Immunität und diese für die Praxis der Seuchenbekämpfung unentbehrlich gewordenen Immunisierungs (Schutz und Heilimpfungs)-Verfahren in leichter und angenehmer Weise zu orientieren. Das interessant und fesselnd geschriebene Werk kann jedem Praktiker als auch Studierenden bestens empfohlen werden.

(**Zeitschrift für Tiermedizin.**)

---

## Leitfaden für den geburtshilflichen Operationskurs

von

**Prof. Dr. A. Döderlein**

(Tübingen).

**Sechste Auflage.**

Mit 150 zum Teil farbigen Abbildungen.

**Geb. M. 4.—.**

. . . So ist in der Tat dieses Buch ein unentbehrliches Hilfsmittel des Unterrichts und ein trefflicher Ratgeber für den praktischen Arzt geworden . . . (**Zentralblatt f. Gynäkologie.**)

---

## Lehrbuch der gerichtlichen Medizin.

Mit Berücksichtigung

der Deutschen, Österreichischen und Bernischen Gesetzgebung

von

**Prof. Dr. Carl Emmert.**

**M. 14.—, geb. M. 15.20.**

Das vorliegende Lehrbuch zeichnet sich durch allseitige, gründliche Durchdringung des vielseitigen Stoffes und eine sehr klare und fließende Diktion aus, die es für zusammenhängende Lektüre geeignet macht. Überall tritt dabei zutage, daß der hochverdiente Verfasser aus vielfachster, eigener Erfahrung spricht, und möchten wir deswegen auch die reiche originelle Kasuistik für besonders wertvoll halten . . .

(**Korrespondenzblatt für Schweizer Ärzte.**)

Verlag von **Georg Thieme** in **Leipzig**.

---

## **Die Darwinsche Theorie.**

Gemeinverständliche Vorlesungen  
über die Naturphilosophie der Gegenwart  
gehalten vor Studierenden aller Fakultäten

von

**Prof. Dr. A. Fleischmann**  
(Erlangen).

~~~~~ Mit 26 Textabbildungen. ~~~~~

**M. 7.50, geb. M. 8.50.**

Seine Vorträge streben — soweit das möglich ist, — eine unparteiische Darstellung der Darwinschen Theorie an und sollen den Leser zur wissenschaftlichen Ergänzung der Gründe und Gegengründe anleiten. Er trägt zunächst die Ansichten Darwins und seiner Schule vor, indem er vor allen Dingen Darwin selbst sehr viel sprechen läßt, führt danach die Einwände an und erörtert dieselben kritisch . . . Das hochinteressante Werk sei allen, die sich mit dieser Frage beschäftigen wollen, warm empfohlen.

(Monatsschrift für Stadt und Land.)

---

## **Die Deszendenztheorie.**

Gemeinverständliche Vorlesungen über den Auf- und Niedergang  
einer naturwissenschaftlichen Hypothese  
gehalten an Studierende von

**Prof. Dr. A. Fleischmann**  
(Erlangen).

~~~~~ Mit 124 Abbildungen. ~~~~~

**M. 6.—, geb. M. 7.—.**

Das ist ein Buch, welches wie ein Blitz in die allgemeine Sicherheit unserer Deszendenztheoretiker fahren wird. — Dies Buch muß jeder lesen, der sich für die Frage interessiert, besonders aber die, welche an ihr ein apologetisches Interesse nehmen.

(Theol. Litteraturblatt.)

---

## **Anleitung zur Übungsbehandlung der Ataxie**

von

**Prof. Dr. A. Goldscheider,**  
Geh. Medizinalrat in Berlin.

~~~~~ Mit 122 Abbildungen. ~~~~~

**Zweite, erweiterte Auflage.**

**M. 4.—.**

. . . Die Übungstherapie erfordert keine specialistische Ausbildung, sondern kann von jedem Arzte angewandt werden, sie konnte aber erst Allgemeingut der Ärzte werden, wenn eine Anleitung existierte, wie die vorliegende, welche in systematischer und detaillierter Weise den ganzen Gang der Behandlungsmethode in Wort und Bild den Augen des Lesers vorführt. Sehr instruktiv wirken die zahlreichen Abbildungen (113 Fig.). Die Ausstattung des Büchleins ist eine vorzügliche.

(Zeitschrift für prakt. Ärzte.)

---

## **Grundriss der gerichtlichen Medizin**

(inkl. Unfallfürsorge).

Mit besonderer Berücksichtigung der einschlägigen Entscheidungen  
des Reichsgerichts und des Reichsversicherungsamtes

von

**Med.-Rat Dr. R. Gottschalk,**  
Kreisarzt in Rathenow.

**Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage.**

**Gebunden M. 5.50.**

Wie der Verfasser im Vorwort selbst sagt, soll sein Handbuch nicht die großen Lehrbücher ersetzen, sondern in Kürze das Wissenswerte der gerichtlichen Medizin dem Leser vor Augen führen; diesen Zweck erfüllt das Buch in ganz vorzüglicher Weise . . .

(Der Kinder-Arzt.)

Verlag von **Georg Thieme** in **Leipzig.**

## Einführung in das Studium der Bakteriologie.

Mit besonderer Berücksichtigung der mikroskopischen Technik

von

Prof. Dr. **Carl Günther,**

Geh. Medizinalrat in Berlin.

~~~~~ Mit 90 Photogrammen. ~~~~~

**Sechste Auflage.**

**M. 12.—, geb. M. 13.50.**

Seit dem ersten Erscheinen des Güntherschen Lehrbuches sind nur acht Jahre verfloßen, und schon erscheint es in sechster Auflage, ein redender Beweis dafür, daß es in vollem Maße den Ansprüchen gerecht geworden ist, die an ein Lehrbuch der Bakteriologie und der bakteriologischen Technik für Ärzte und Studierende zu stellen sind . . .

(**Deutsche medizinische Wochenschrift.**)

## Grundriss der Physik für Mediziner

VON

Dr. med. **Walter Guttmann,**

Stabsarzt in Berlin.

~~~~~ Mit 125 Abbildungen. ~~~~~

**Dritte Auflage.**

**M. 3.—, geb. M. 3.80.**

Dies kleine Physikbuch gibt in knappster Form alles, was der Mediziner aus der Physik wissen muß. Es eignet sich besonders zur Vorbereitung für das *Physikum* und kann für diesen Zweck den geplagten Kandidaten viel Zeit ersparen. Es ist außerdem mit Takt und Verständnis für die schwebenden wissenschaftlichen Fragen geschrieben. Die Definitionen sind in ihrem Wortlaut sorgfältig erwogen und klar ausgedrückt. Die Grenzen physikalischer Erkenntnis sind stets angedeutet. Es hält mehr, als es verspricht und ist inhaltreicher, als nach seinem Umfange zu urteilen . . .

(**Ärztlicher Praktiker.**)

## Einführung in die Augenheilkunde

VON

Prof. Dr. **J. Hirschberg,**

Geh. Medizinalrat in Berlin.

**Erste Hälfte.**

Mit 112 Abbildungen.

**M. 8.—.**

**Zweite Hälfte.**

1. Abteilung.

Mit 113 Abbildungen und 1 Tafel.

**M. 9.—.**

Pflegt der Titel medizinischer Lehrbücher gewöhnlich den Zusatz zu tragen „für Ärzte und Studierende“, so könnte hier dem Titel mit vollem Rechte „für Studierende und Dozierende“ beigefügt werden. Wer so die Ophthalmoskopie lehrt, wer danach lernt, muß zum Ziele kommen. Auch jeder mit der Anwendung des Augenspiegels vertraute Arzt wird mit Freude und Nutzen dieses durchaus eigenartige, von großem Wissen und großer Erfahrung zeugende Werk durchlesen, dessen scharfe, klare, theoretische Erörterungen mit vielen wertvollen praktischen Beispielen und auch noch mit manchen guten Ratschlägen für sprachliche Darstellung und den richtigen Gebrauch der Termini technici verbunden sind . . .

(**Schmidt's Jahrbücher der Medizin.**)

## Die Zuckerkrankheit

VON

Dr. **Felix Hirschfeld,**

Privat-Dozent an der Universität Berlin.

**M. 7.—, geb. M. 8.—.**

. . . Der Praktiker wird nicht nur in dem Buche sich über die Zuckerkrankheit genügend unterrichten können, sondern auch in ihm einen zuverlässigen Führer in der Ausübung der praktischen Tätigkeit finden. Indes, das Buch ist nicht etwa eine Kompilation. Der Verfasser hat seine Beobachtungen benutzt, um sein wissenschaftliches Urteil immer mehr zu erweitern und das Studium des Diabetes mellitus zu vertiefen. Das Buch wird seinen Weg machen und Nutzen stiften.

(**Deutsche medizinische Wochenschrift.**)



Verlag von **Georg Thieme** in **Leipzig**.

---

## Entstehung und Bekämpfung der Lungentuberkulose

von

Prof. Dr. **P. Jacob**,      und      Prof. Dr. **G. Pannwitz**,  
Oberarzt an der I. medicin. Klinik der      Generalsekr. d. Deutschen Zentralkomitees  
Königl. Charité in Berlin.      für Lungenheilstätten.

**Band I (Entstehung) M. 10.—**

**Band II (Bekämpfung und Abwehrmaßregeln) M. 12.50.**

... So bringt das von autoritativer Seite verfaßte Werk — denn beide Autoren gehören seit Jahren zu den wissenschaftlichen Verkämpfern der Tuberkulosebewegung — dem Arzte wie dem Hygieniker, ja selbst auch dem Verwaltungsbeamten, Politiker etc. ein *unschätzbare Material, dessen vorzügliche Sichtung und Bearbeitung* das Studium dieser Frage zu einem ebenso anregenden wie nutzbringenden macht. **(Zeitschrift f. diätet. und physik. Therapie.)**

---

## Lehrbuch der Ohrenheilkunde

von

Prof. Dr. **L. Jacobson** und Dr. **L. Blau**.

~~~~~ Mit 345 Abbildungen auf 19 Tafeln. ~~~~~

**Dritte, neu bearbeitete Auflage.**

**Geb. M. 18.—**

... Wir glauben mit gutem Gewissen *Jacobsons* Lehrbuch zum *besten* zählen zu dürfen, was auf dem Gebiete der Ohrenheilkunde in den letzten Jahren erschienen ist, und empfehlen den Kollegen die Lektüre desselben aufs angelegentlichste.<sup>4</sup>

**(Petersburger medizinische Wochenschrift.)**

---

## Lehrbuch der Haut- und Geschlechtskrankheiten

für Ärzte und Studierende.

Von

Dr. **Max Joseph** in Berlin.

- I. Teil: **Hautkrankheiten**. 51 Abbildungen und 2 Tafeln. 4. vermehrte und verbesserte Auflage. **M. 7.—, geb. M. 8.—**
- II. Teil: **Geschlechtskrankheiten**. 38 Abbildungen und 1 farbige Tafel. 3. vermehrte und verbesserte Auflage. **M. 7.—, geb. M. 8.—**

... Das *Josephsche* Lehrbuch stellt alles in allem ein Werk dar, welches dem praktischen Arzte und speziell dem Studierenden eine *knappgefaßte, doch außerordentlich klar geschriebene und alle neueren Errungenschaften der Gebiete kritisch beleuchtende Darstellung* gibt. Trotz der zahlreichen Neuerscheinungen von Lehrbüchern der Dermato-Syphilologie darf dem Werke, das speziell die Interessen des Praktikers und Studenten berücksichtigt, eine günstige Prognose bezüglich weiterer Auflagen gestellt werden. Es verdient unsere vollste Empfehlung.<sup>4</sup>

**(Reichs-Mediz.-Anzeiger.)**

---

## Der Militärarzt.

Ein Ratgeber bei der Berufswahl

von

Stabsarzt Dr. **Lobedank**.

**M. 1.50.**

Es handelt sich nicht mehr um einen einzelnen militärischen Dienstzweig, sondern um die *ganze Tätigkeit* des Sanitätsoffiziers, wobei mit Recht auf den Wert beider Teile dieses Titels *hingewiesen wird*. ... Das Buch liest sich gut, und wird sich gewiß viele Freunde erwerben, hoffentlich auch durch Belehrung und Aufklärung manchen Nutzen stiften.

**(Deutsche Medizinische Wochenschrift.)**

Verlag von **Georg Thieme** in **Leipzig**.

## Die mikroskopische Technik der ärztlichen Sprechstunde

von

Dr. **Paul Meißner** (Berlin).

**Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage.**

32 teils farbige Abbildungen.

**Geb. M. 2.20.**

Diese *höchst praktische kleine Anleitung* für mikroskopische Technik, wie sie der Arzt braucht, erscheint nach fünf Jahren zum zweiten Male in wesentlich erweiterter und verbesserter Form . . . Soweit Ref. es beurteilen kann, entspricht diese Anleitung nach allen Richtungen hin dem Zwecke, dem sie dienen will, sie kann gerade dem *vielbeschäftigten Praktiker, der in wissenschaftlicher Weise Diagnose und Prognose feststellen will, dringend empfohlen werden.*

(**Deutsche medizinische Wochenschrift.**)

## Kompendium der Entwicklungsgeschichte des Menschen.

Mit Berücksichtigung der Wirbeltiere

von

Priv.-Doz. Dr. **L. Michaelis.**

**Zweite Auflage.**

Mit 50 Abbildungen und 2 Tafeln.

**Geb. M. 4.—.**

Der Verfasser hat sich bemüht, überall eine *knappe, aber doch hinreichend erschöpfende Darstellung* der Entwicklungsgeschichte zu geben, unter genügender Berücksichtigung der vergleichenden Embryologie der Wirbeltiere, welche erst so recht der Schlüssel zum Verständnis der anatomischen Tatsachen ist. Durch eine Anzahl vortrefflicher Abbildungen wird das Verständnis des Textes wesentlich erleichtert.

## Grundriss der Chemie

von

Dr. phil. et med. **Carl Oppenheimer.**

**Anorganische Chemie.**

**Dritte Auflage.**

**Geb. M. 3.50.**

**Organische Chemie.**

**Dritte Auflage.**

**Geb. M. 2.40.**

In *äußerst übersichtlicher, klarer und, trotz der Kürze, fast erschöpfender Weise* hat Verf. das große Gebiet der anorganischen Chemie dem Studierenden mündgerecht zu machen gewußt. — Mit besonderer Anerkennung muß der theoretischen Einleitung gedacht werden, welche die wichtigsten hierher gehörigen Gesetze in *geradezu mustergültiger* Weise entwickelt. — Es ist ferner besonders hervorzuheben und anzuerkennen, daß auch die Verwendung der verschiedenen Körper Erwähnung gefunden hat. Zweifellos wird das Interesse der Studierenden dadurch erheblich vergrößert, daß er sich über den Zweck und die Bedeutung der von ihm erlernten Körper klar wird . . .

(**Medizinische Woche.**)

## Leitfaden für den gynäkologischen Operationskurs.

Mit Berücksichtigung

der Operationen an der Lebenden für Ärzte und Studierende

von

Dr. **E. G. Orthmann** (Berlin).

Mit einem Vorwort von Prof. Dr. A. Martin.

86 zum Teil farbige Abbildungen.

**Geb. M. 4.50.**

. . . Es ist gewiß nicht leicht, den Gang einer Operation klar und kurz darzustellen. Die sehr geschickte Schreibweise des Verfassers, verbunden mit einfachen, aber auf den ersten Blick verständlichen und dabei nicht zu schematischen Zeichnungen wird auch dem Anfänger sehr schnell das Verstehen selbst komplizierter Operationen ermöglichen . . . *Das kleine Werk wird sicherlich seitens der Ärzte und Studierenden die Beachtung finden, die es im vollen Maße verdient!*

(**Zentralblatt für Gynäkologie.**)

Verlag von **Georg Thieme** in **Leipzig**.

---

## Lehrbuch der Anatomie des Menschen.

Von

Prof. Dr. **A. Rauber** (Dorpat).

Sechste Auflage.

I. Band: **Allgemeiner Teil, Lehre von den Knochen, Bändern, Muskeln und Eingeweidern.** Mit 1143 zum Teil farbigen Textabbildungen.

M. 17.—, geb. M. 19.—.

II. Band: **Gefäße, Nerven, Sinnesorgane und Leitungsbahnen.** Mit 900 zum Teil farbigen Textabbildungen. M. 18.—, geb. M. 20.—.

Indem wir uns vorbehalten, auf das Werk nach dessen Vollendung nochmals eingehend zurückzukommen, können wir schon heute unser Urteil dahin zusammenfassen, daß das *vorliegende Lehrbuch zu den vollständigsten und trefflichsten seiner Art gehört*: wir müssen die klare und lichtvolle Darstellung hervorheben, deren Wärme sich auch dem Leser mitteilt und ihn mit Interesse und Liebe für die Anatomie erfüllt, und müssen ganz besonders rühmend die *ungewöhnlich reiche Ausstattung mit vorzüglichen Abbildungen* betonen, wodurch das Werk jeden anatomischen Atlas entbehrlich macht und jeder ärztlichen Bibliothek zur Zierde gereichen wird.

(Med. chirurg. Zentralblatt.)

---

## Lehrbuch der allgemeinen Physiologie.

Eine Einführung in das Studium der Naturwissenschaft und der Medizin

von

Prof. Dr. **J. Rosenthal** (Erlangen).

Mit 137 Abbildungen.

M. 14.50, geb. M. 16.50.

Wenn ein Forscher wie *Rosenthal*, der nicht nur ein großer Physiologe, sondern auch ein feinsinniger Gelehrter von tiefer, umfassender Bildung ist, als einer der letzten Mitstreiter aus der großen Zeit der deutschen Physiologie sich entschließt, der lernenden Jugend die Schätze eines reichen Wissens und die Klarheit seines langen Lebens in einer „Allgemeinen Physiologie“ zu schenken, so muß etwas Außerordentliches herauskommen. *Und es ist ein monumentales Buch!* Der Titel sagt viel zu wenig; es ist eine Einführung in die gesamte Naturwissenschaft auf breitesten Fundamenten aufgebaut und geeignet, den Leser mit sicherer Hand zum Ziele, zur Analyse der Lebenserscheinungen zu führen. Ein erstaunlich reiches Material ist hier verwertet, ohne je durch zu spezielles Daraufeingehen vordringlich zu werden.

(Medizinische Woche.)

---

## Der physiologische Unterricht und seine Bedeutung für die Ausbildung der Ärzte

von

Prof. Dr. **J. Rosenthal** (Erlangen).

M. 2.—.

Es handelt sich da um eine ernste gehaltvolle Publikation, deren eifriges Studium allen denen, die berufen sind an der Organisation des medizinischen Unterrichts mitzuwirken, wärmstens empfohlen werden kann.

---

## Roths klinische Terminologie.

Zusammenstellung der zur Zeit in der klinischen Medizin gebräuchlichen technischen Ausdrücke, mit Erklärung ihrer Bedeutung und Ableitung

von

weil. Dr. **Otto Roth**.

Sechste, vielfach verbesserte und stark vermehrte Auflage.

Geb. M. 9.—.

Von diesem Werke kann man mit vollem Recht behaupten, daß es einem tiefgefühlten Bedürfnisse entspricht und daß wir *guten Grund haben, dem Verfasser für seine Gabe dankbar zu sein*. Wie oft kommt es bei der so ungewöhnlichen Reichhaltigkeit der medizinischen Nomenklatur vor, daß selbst der wirklich gebildete und nach allen Richtungen hin bewanderte Arzt sich in Verlegenheit befindet, wenn er sich oder anderen über Bedeutung oder Ableitung gewisser Namen seiner Wissenschaft Auskunft erteilen soll, und welch' beschämendes Gefühl ist es dann, sich in seinem eigenen Reiche als Fremdling zu dokumentieren. *Ein vortrefflicherer Führer durch dasselbe, als Roth's klinische Terminologie, dürfte wohl schwer gefunden werden können, und stehen wir nicht an, das inhaltsreiche Buch jedem Arzte aufs angelegentlichste zu empfehlen.*

(Excerpta medica.)

Verlag von **Georg Thieme** in **Leipzig**.

## Masern, Keuchhusten, Scharlach, Diphtherie.

Bild und Behandlung.

Merkworte für Studierende und Praktiker

von

Prof. Dr. **O. Soltmann** (Leipzig).

M. —.75.

## Anatomische Tabellen für Präparierübungen und Repetitionen

von

Dr. med. **G. Walther**.

Heft I. (Bänder, Muskeln, Schleimbeutel und Schleimscheiden, Kanäle und Öffnungen etc.) **Geb. M. 3.—.**

Heft II. (Arterien und Nerven.) **Geb. M. 3.40.**

Diese anatomischen Tabellen sollen in erster Linie den Studierenden der Medizin beim Arbeiten auf dem Präpariersaale zur bequemen und raschen Orientierung dienen. Außerdem dürfen sie sich auch, wie das Vorwort richtig bemerkt, für häusliche Repetitionen — und Ref. möchte hinzusetzen, auch für Ärzte, die dies oder jenes auffrischen wollen — nützlich erweisen. Außer den von der anatomischen Gesellschaft angenommenen „Baseler“ Namen sind auch die gebräuchlichsten früheren Bezeichnungen aufgenommen, was in Hinsicht auf die klinischen Semester und die Ärzte sehr zweckmäßig erscheint. . . . *Das Studium der Anatomie sowie schnelle Orientierung für den Arzt wird durch solche Zusammenstellungen natürlich sehr erleichtert.*

(**Deutsche medizin. Wochenschrift.**)

## Leitfaden für die Schwangeren-Untersuchung

von

Prof. Dr. **E. Winternitz** (Stuttgart).

Mit 39 Textabbildungen und 4 farbigen Tafeln.

**Geb. M. 3.—.**

*E. Winternitz's* bekannte dialektische Begabung und langjährige Erfahrung im Lehrfache ließ von vornherein erwarten, daß sein Leitfaden für Studierende den beabsichtigten Zweck, diesen das Erlernen der Schwangeren-Untersuchung leicht faßlich zu erläutern, voll und ganz erfüllen würde. Dem Büchlein, welches sich bereits einen festen Freundeskreis erworben hat, steht vermöge seines gediegenen Wertes der Weg, sich nach Verdienst zu verbreiten, offen.

(**Monatsschrift f. Geburtsh. u. Gynäkol.**)

## v. Ziemssens klinisches Rezepttaschenbuch.

Eine Anleitung zur Ordination der wichtigsten Arzneimittel.

**Siebente, gänzlich neu bearbeitete Auflage**

von

Prof. Dr. **H. Rieder** (München).

Taschenformat. — **Geb. M. 3.50.**

Das Büchlein will den oft mangelhaften Kenntnissen der jungen Ärzte in der Arzneiverordnungslehre, Drogenlehre und Arzneimittellehre zu Hilfe kommen und ihnen eine Anleitung zur Ordination geben. Durch Angabe der Preise bei den Drogen und eine Pharmacopoea oeconomica ist den Sparsamkeitsrücksichten Rechnung getragen, dabei aber die Pharmacopoea elegans nicht vergessen. . . . Papier, Druck und Einband sind vorzüglich. Die 7. Auflage beweist, daß das Büchlein ein Bedürfnis in vortrefflicher Weise erfüllt.

(**Sächs. Korrespondenzblatt.**)

Druck von Hesse & Becker, Leipzig.

