

## **Die Physik in der Elektro-Therapie / von P. Zech.**

### **Contributors**

Zech, Paul Heinrich, 1828-1893.  
Francis A. Countway Library of Medicine

### **Publication/Creation**

Tübingen : Laupp, 1875.

### **Persistent URL**

<https://wellcomecollection.org/works/uvmmsvp9>

### **License and attribution**

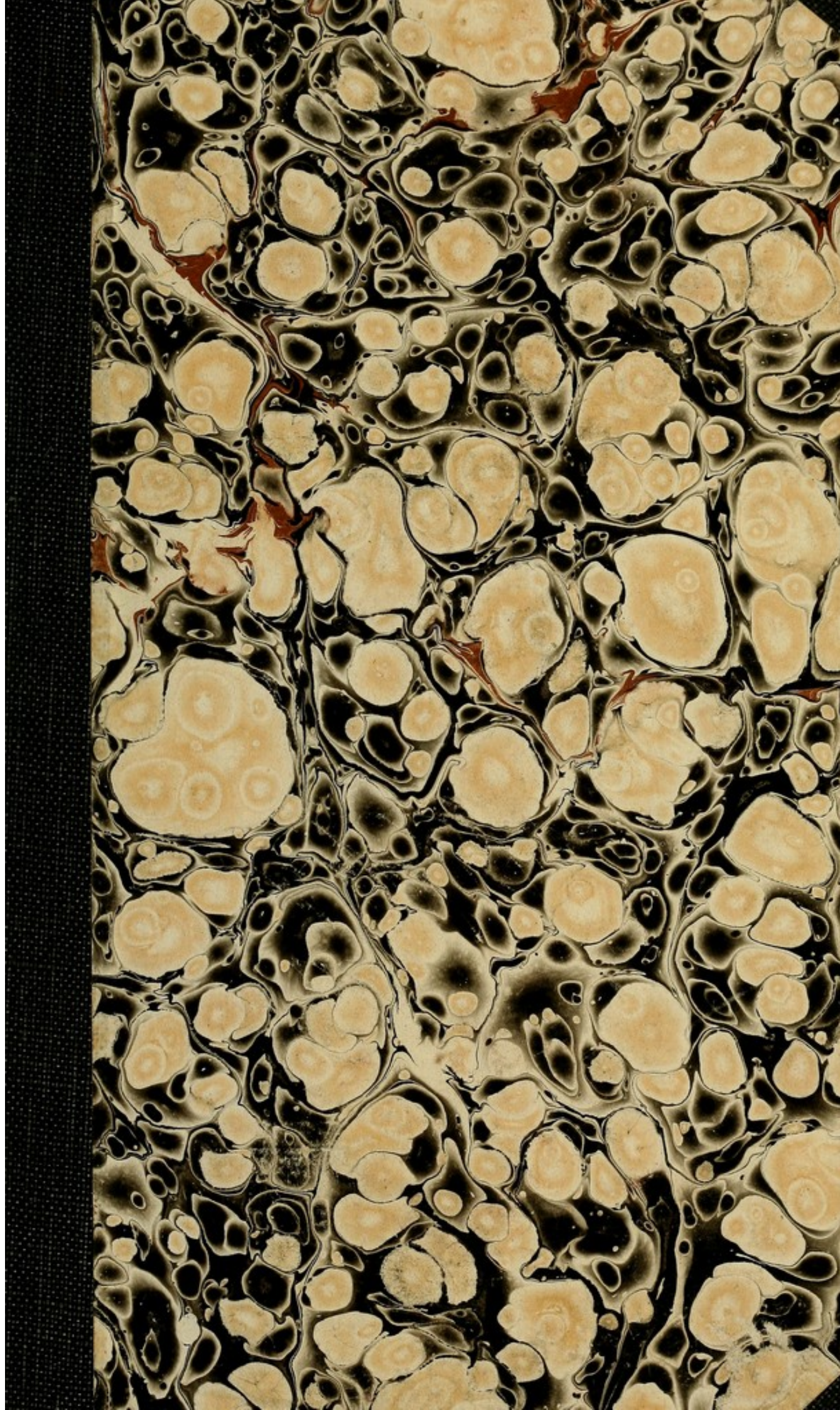
This material has been provided by This material has been provided by the Francis A. Countway Library of Medicine, through the Medical Heritage Library. The original may be consulted at the Francis A. Countway Library of Medicine, Harvard Medical School. where the originals may be consulted. This work has been identified as being free of known restrictions under copyright law, including all related and neighbouring rights and is being made available under the Creative Commons, Public Domain Mark.

You can copy, modify, distribute and perform the work, even for commercial purposes, without asking permission.



Wellcome Collection  
183 Euston Road  
London NW1 2BE UK  
T +44 (0)20 7611 8722  
E [library@wellcomecollection.org](mailto:library@wellcomecollection.org)  
<https://wellcomecollection.org>







HARVARD MEDICAL  
LIBRARY



RÖNTGEN

THE LLOYD E. HAWES  
COLLECTION IN THE  
HISTORY OF RADIOLOGY


Harvard Medical Library  
in the Francis A. Countway  
Library of Medicine ~ *Boston*

VERITATEM PER MEDICINAM QUÆRAMUS



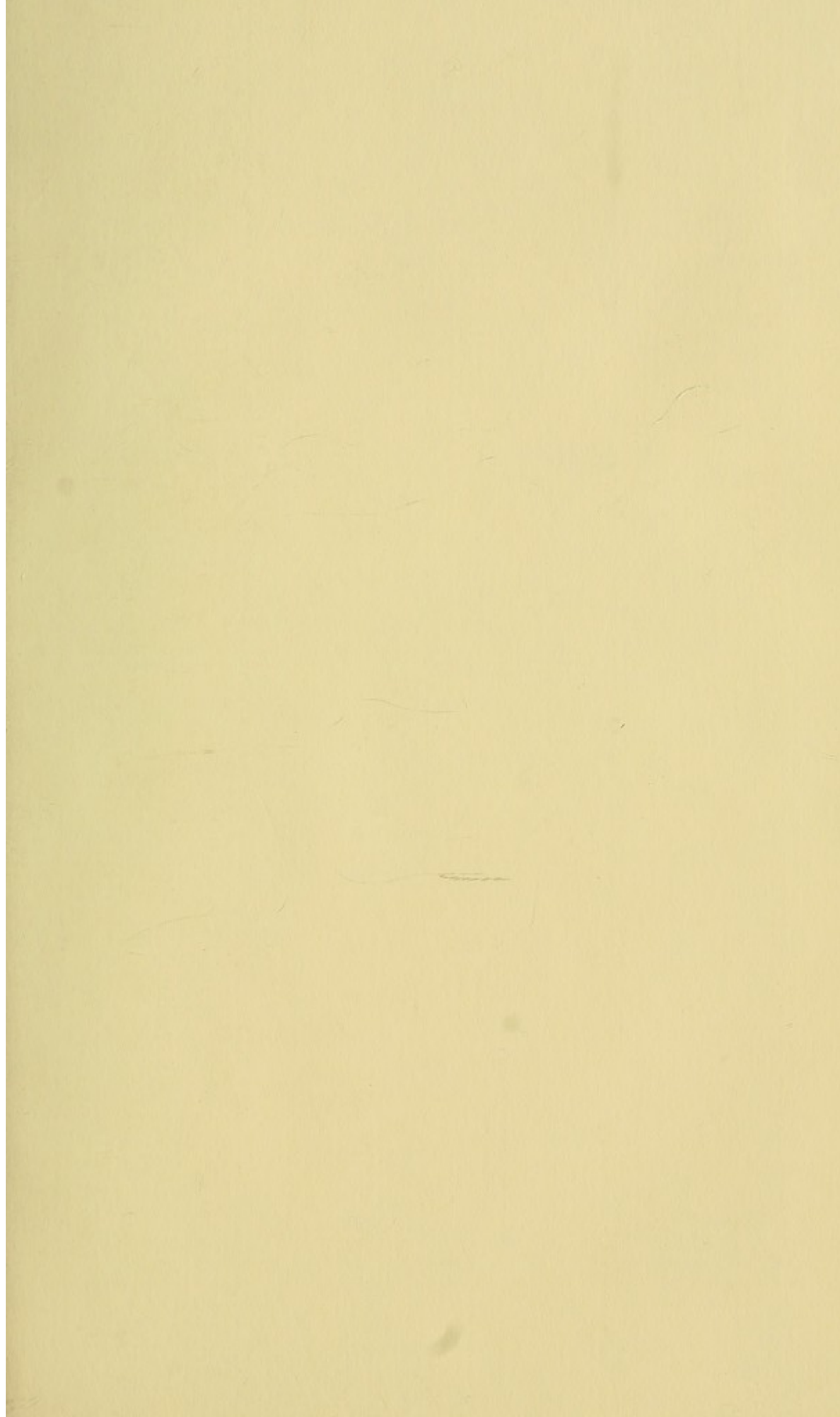






Digitized by the Internet Archive  
in 2010 with funding from  
Open Knowledge Commons and Harvard Medical School











# Die Physik

in der

# Elektro-Therapie

von

**Dr. P. Zech,**

Professor der Physik am Polytechnikum Stuttgart.

---

Mit 50 Holzschnitten.

---

**Tübingen, 1875.**

Verlag der H. Laupp'schen Buchhandlung.





# **Die Physik in der Elektro-Therapie.**

---



Die Physik in der Elektro-Therapie

# Die Physik

in der

# E l e k t r o - T h e r a p i e

von

**Dr. P. Zech,**

Professor der Physik am Polytechnikum Stuttgart.

---

Mit 50 Holzschnitten.

---

**Tübingen, 1875.**

Verlag der H. Laupp'schen Buchhandlung.

Die Physik

in der

Elektro-Therapie

von

4088

Alle Rechte vorbehalten.

Dr. F. Noth.

Dr. F. Noth.

Tübingen, 1876.

Druck von H. Laupp in Tübingen.



## AMERICAN OPHTHALMOLOGICAL SOCIETY.

*New York, September 25th, 1880.*

*12 West 35th Street.*

DEAR SIR:

I desire to call your attention to two amendments to the Constitution and By-laws which were adopted by the Society at its Sixteenth Annual meeting.

Section 3 of the Constitution now reads :

### 3.—MEMBERS.

The members shall be graduates in medicine, in good professional standing, who have an interest in Ophthalmic Science and Art. No member shall attach *or suffer to be attached* to his name, in any public manner, the title of "oculist," or any similar title, or shall announce in print that he gives special or exclusive attention to special practice.

Section 3 of the By-laws now reads :

### 3.—MEETINGS.

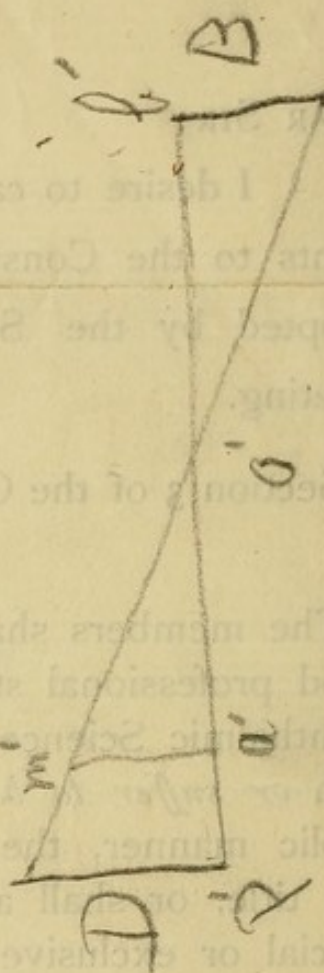
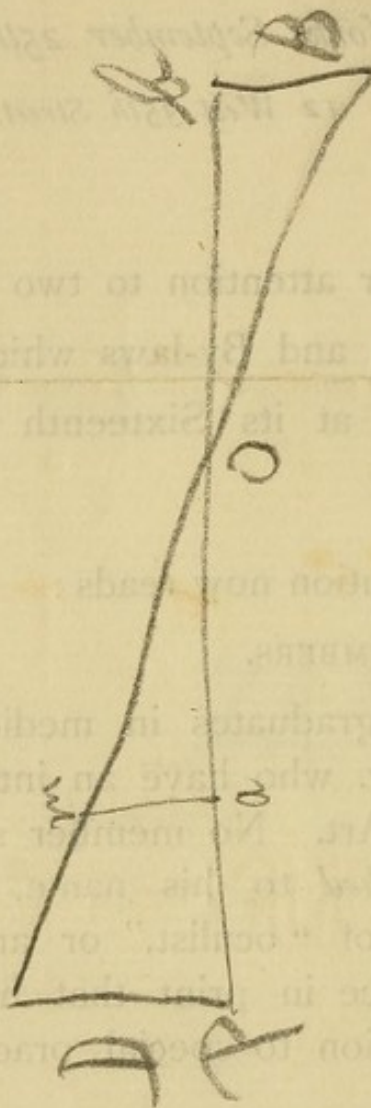
The Society shall hold its meetings annually, on the fourth *Wednesday* of July, at such place as may be determined. The time and place of meetings to be advertised by the Secretary, and notice to be sent to members. Eight members shall constitute a quorum.

Very truly,

RICHARD H. DERBY

*Secretary.*

New York, September 25th, 1880.



suppose  $am = a'm'$

The Society shall hold its meetings annually, on the fourth Wednesday of July, at such place as may be determined. The time and place of meetings to be advertised by the Secretary, and notice to be sent to members. Eight members shall constitute a quorum.

Very truly,

RICHARD H. DERBY



Im Frühjahr 1873 wurde der Unterzeichnete von einer Anzahl Aerzte Stuttgart's zu Vorträgen über Elektrizität aufgefordert. Diese Vorträge, überarbeitet mit Rücksicht auf die einschlägige Literatur und auf Anregungen, die ihm von Praktikern nach Abhaltung der Vorträge zukamen, bilden den Inhalt vorliegenden kleinen Werks. Es soll, soweit das möglich ist, dem Elektrotherapeuten die nöthige Einsicht in das Wesen und die Behandlung seiner Apparate geben. Die grosse Schwierigkeit dabei war, dass der Verfasser selbstverständlich kein praktischer Elektrotherapeut ist; es mag diese Schwierigkeit eine Entschuldigung für die Mängel des Werkchens sein.

Die citirten Werke sind im Texte nur kurz angeführt, der vollständige Titel ist am Schlusse unter »Literatur« zu finden. Citate sind immer den Werken selbst entnommen, wo sie stehen.

Die Preisverzeichnisse am Schlusse sind natürlich lückenhaft, nach Apparaten und Mechanikern, sie sollen nur eine Uebersicht über die Preise geben. Bei Anschaffungen wird man doch die Original-Preiscourante beziehen.

Für Mittheilung von Literatur und Andeutungen dessen, was dem Praktiker noth thut, habe ich meinen besten Dank dem Geh. Hofrath Dr. v. Renz in Wildbad abzustatten.

Stuttgart. Juni 1875.

**P. Zech.**



Im Jahre 1877 wurde der Unterricht von einer  
Person für die Schüler zu versetzen, was ebenfalls auf  
Grund der neuen Verfassung, über welche die Verfassung  
die Unabhängigkeit der Richter und die Verfassung, die die von  
Verfassung nach Abnahme der Verfassung zusammen bilden  
der Verfassung der Verfassung der Verfassung. Es soll, wenn das  
nichts ist, was die Verfassung der Verfassung der Verfassung in  
der Verfassung der Verfassung der Verfassung geben. Die  
Verfassung der Verfassung der Verfassung der Verfassung selbst  
verfassung der Verfassung der Verfassung der Verfassung ist es, was  
dieses Verfassung der Verfassung der Verfassung der Verfassung der  
Verfassung der Verfassung der Verfassung der Verfassung der

Die Verfassung der Verfassung der Verfassung der Verfassung  
der Verfassung der Verfassung der Verfassung der Verfassung zu  
den Verfassung der Verfassung der Verfassung der Verfassung  
den Verfassung der Verfassung der Verfassung der Verfassung  
den Verfassung der Verfassung der Verfassung der Verfassung

Die Verfassung der Verfassung der Verfassung der Verfassung  
den Verfassung der Verfassung der Verfassung der Verfassung  
den Verfassung der Verfassung der Verfassung der Verfassung  
den Verfassung der Verfassung der Verfassung der Verfassung

den Verfassung der Verfassung der Verfassung der Verfassung  
den Verfassung der Verfassung der Verfassung der Verfassung  
den Verfassung der Verfassung der Verfassung der Verfassung  
den Verfassung der Verfassung der Verfassung der Verfassung

## Inhalt.

	Seite
Einleitung . . . . .	1
1. Kapitel. Widerstand	
1) Widerstand im Allgemeinen . . . . .	6
2) Künstlicher Widerstand, Rheostaten . . . . .	25
2. Kapitel. Elektrizitätsmenge . . . . .	36
3. Kapitel. Apparate zur Erzeugung der Elektrizität	
1) Reibungselektrizität . . . . .	46
2) Berührungselektrizität	
a) Allgemeines . . . . .	56
b) Polarisation . . . . .	69
c) Die galvanischen Elemente im Einzelnen	75
4. Kapitel. Hilfsapparate zu galvanischen Batterien	
1) Elementenzähler . . . . .	91
2) Stromwender . . . . .	100
3) Hilfsmittel zur Messung des Stroms	
a) Tangentenbussole . . . . .	102
b) Multiplicator . . . . .	107
c) Spiegelgalvanometer . . . . .	111
5. Kapitel. Ausbreitung des Stromes . . . . .	115
6. Kapitel. Induction . . . . .	121
7. Kapitel. Erwärmung der Leiter . . . . .	141
8. Kapitel. Gesamtapparat von Brenner . . . . .	145
Anmerkungen . . . . .	157
Tangententafel . . . . .	168

# Inhalt

Einleitung	1
I. Kapitel: Widerstand	1
1) Widerstand im Allgemeinen	1
2) Elektrischer Widerstand	2
II. Kapitel: Elektrische Arbeit	3
1) Elektrische Arbeit	3
2) Elektrische Leistung	4
III. Kapitel: Elektrische Energie	5
1) Elektrische Energie	5
2) Elektrische Leistung	6
IV. Kapitel: Elektrische Potentiale	7
1) Elektrische Potentiale	7
2) Elektrische Potentiale	8
V. Kapitel: Elektrische Felder	9
1) Elektrische Felder	9
2) Elektrische Felder	10
VI. Kapitel: Elektrische Strömungen	11
1) Elektrische Strömungen	11
2) Elektrische Strömungen	12
VII. Kapitel: Elektrische Schwingungen	13
1) Elektrische Schwingungen	13
2) Elektrische Schwingungen	14
VIII. Kapitel: Elektrische Wellen	15
1) Elektrische Wellen	15
2) Elektrische Wellen	16
IX. Kapitel: Elektrische Apparate	17
1) Elektrische Apparate	17
2) Elektrische Apparate	18
X. Kapitel: Elektrische Messungen	19
1) Elektrische Messungen	19
2) Elektrische Messungen	20



## Einleitung.

Wenn man, wie das nach dem heutigen Stande unserer Kenntnisse für nahezu alle elektrischen Wirkungen gestattet ist, die Electricität ein Fluidum nennen, sie also einer Flüssigkeit vergleichen darf, welche je nach Umständen in bestimmten Körpern sich anhäuft oder strömend sich fortpflanzt, so wird überall, wo es sich um Erklärung einer elektrischen Erscheinung handelt, die Frage auftauchen nach der Menge der angehäuften oder strömenden Electricität und nach dem Widerstand, welcher die angehäuften an der Fortbewegung nach aussen hindert, die strömende in ihrem Laufe verzögert. Es liegt nahe, wie zuerst Ohm für den galvanischen Strom gethan hat, anzunehmen, dass eine elektrische Wirkung desto stärker ist, je grösser die dabei auftretende Electricitätsmenge, desto schwächer, je grösser der Widerstand ist, welcher dem Durchgang durch den Körper, auf den die Wirkung stattfindet, sich entgegenstellt. Es entspricht dies unsern Erfahrungen an Wasserläufen, welche desto mehr Arbeit leisten, je mehr sie Wasser führen, und je grösser ihre Geschwindigkeit, also je kleiner der Widerstand gegen ihre Vorwärtsbewegung ist.

Die  
Electri-  
cität  
einer  
Flüssig-  
keit ver-  
gleich-  
bar.

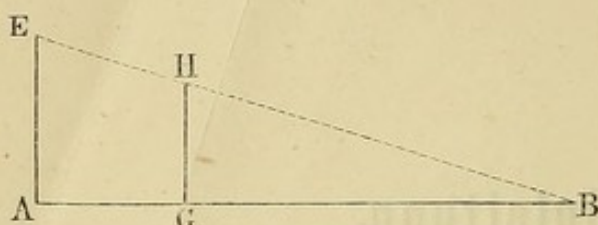
Denken wir uns irgendwo eine bestimmte Electricitätsmenge angehäuften. Sie wird eine Wirkung ausüben, wenn sie in Bewegung kommt, wenn sie abströmen kann; diesem Abströmen wirkt ein bestimmter Widerstand entgegen. Man

Gra-  
phische  
Darstel-  
lung el.  
Ströme.



ziehe eine horizontale Linie  $AB$  (Fig. 1.), welche durch ihre Länge die Grösse des Widerstands bezeichnen soll, und er-

Fig. 1.

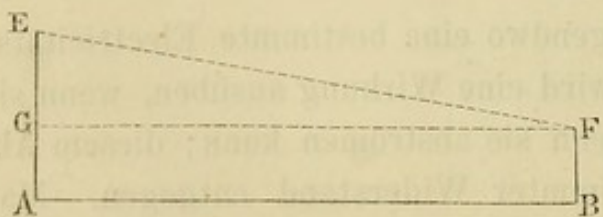


richte am Anfang  $A$  derselben eine Senkrechte  $AE$ , welche die Menge der in  $A$  angehäuften Electricität vorstellen soll.

Wird nun auf irgend welche Weise das Abströmen von  $A$  nach  $B$ , wo keine Electricität sein soll, ermöglicht, z. B. durch Verbindung der Punkte  $A$  und  $B$  durch einen Leiter, so ist die entstehende Wirkung vorgestellt durch die Steilheit der Geraden, welche  $E$  mit  $B$  verbindet. Je grösser die Electricitätsmenge und je kleiner der Widerstand, desto steiler ist die Gerade  $EB$ ; die Steilheit ist durch das Verhältniss  $\frac{AE}{AB}$  gegeben, ein Verhältniss, das die Mathematiker die Tangente des Winkels bei  $B$  nennen.

Wenn das Strömen fort dauert, wenn also die in  $A$  abfliessende Electricität beständig ersetzt wird und die nach  $B$  kommende immer wieder abgeleitet wird, so entsteht auf dem Wege des Stroms eine bestimmte Vertheilung der Electricität in der Art, dass die in irgend einem Punkte  $G$  auf  $AB$  errichtete Senkrechte, welche  $EB$  in  $H$  trifft, durch ihre Länge  $GH$  ein Maas für die in  $G$  angehäuften Electricität gibt. Der Mathematiker nennt  $GH$  die Ordinate in  $G$ , und somit ist die Ordinate in jedem Punkt ein Maas für die dort angehäuften Electricität.

Fig. 2.



Wäre bei  $B$  auch eine bestimmte Menge Electricität z. B.  $BF$  (Fig. 2.), so wäre die Wirkung vorgestellt



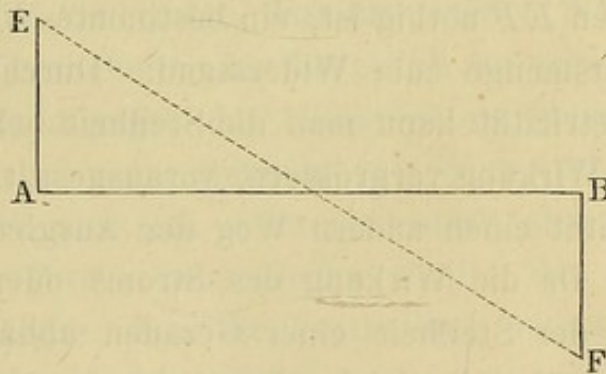
durch die Steilheit der Geraden  $EF$ ; denn die gleichen Mengen  $BF$  und  $AG$  können keine Wirkung hervorbringen, es ist also gerade so, als ob die Menge  $GE$  abströmen würde nach  $F$ , wo keine Electricität wäre.

Da jede Electricitätsmenge, die an einem bestimmten Punkte angesammelt ist, das Bestreben hat, nach aussen zu gehen, und da dieses Bestreben proportional der Menge angehäufter Electricität ist, so spricht man von der Spannung der Electricität. Diese Spannung wächst und nimmt ab mit der Electricitätsmenge, auch sie ist daher in unsern Figuren für jeden Punkt durch die zugehörige Ordinate vorgestellt.

Bei einem galvanischen Elemente wird die eine Metallplatte positiv, die andere negativ angeregt, die Electricitätsmenge auf beiden ist gleich. Es entsteht also das Bild der Fig. 3., wo  $AE$

Fig. 3.

$= BF$  ist, die positive Electricitätsmenge  $AE$  nach oben, die negative  $BF$  nach unten aufgetragen ist. Die Steilheit von  $EF$  ist Maas der Wir-



kung. So oft von  $A$  aus etwas abfließt, so oft bildet sich durch die Wirkung im Element wieder voller Ersatz. Auf der andern Seite  $B$  wird durch die zuströmende positive Electricität die Menge der negativen stets kleiner, da immer ein Theil derselben neutralisirt wird: auch hier besteht die Wirkung des Elements in beständigem Ersatz der neutralisirten negativen Electricität.

Bei der Reibungs-Electricität findet nur ein ganz kurz dauernder Strom statt, wenn ein Funke überspringt, aber auch er lässt sich unter dem bisher gebrauchten Bilde be-



trachten. Sind z. B. zwei Kugeln von Metall gegenübergestellt, die eine mit einer bestimmten Menge positiver Electricität  $AE$  (Fig. 3.), die andere mit ebenso viel negativer  $BF$  geladen, so wird eine Ausgleichung erfolgen, wenn die Linie  $EF$  eine bestimmte Steilheit erreicht hat: dann kann die Electricität eine bestimmte Wirkung ausüben, nemlich die Luftschicht zwischen den Kugeln durchbrechen. Mit der Ausgleichung hört die Bewegung auf, es ist nur ein augenblicklicher Strom, der aber gleichen Gesetzen unterliegt, wie der fortdauernde des galvanischen Elements. Die Erfahrung zeigt nemlich, dass die Schlagweite des elektrischen Funkens der Ladung oder der Electricitätsmenge in  $A$  und  $B$  proportional ist. Da aber die Schlagweite ein Maas für den Widerstand — die Länge der dem Uebergang der Electricität widerstehenden Luftschicht — ist, so ergibt sich, dass zum Ueberspringen des Funkens eine bestimmte Steilheit der Geraden  $EF$  nöthig ist, ein bestimmtes Verhältniss der Electricitätsmenge zum Widerstand. Durch Zuführen von mehr Electricität kann man die Steilheit beliebig vermehren, also die Wirkung vergrössern, vorausgesetzt, dass nicht die Electricität einen andern Weg der Ausgleichung finde.

Da die Wirkung des Stroms oder der Entladung blos von der Steilheit einer Geraden abhängt, so ist die Wirkung überall gleich, längs des ganzen Wegs. Es stimmt dies mit der Erfahrung, dass es gleichgiltig ist, wo man auf einem Stromweg eine Tangentenboussole oder ein Voltameter einschaltet: der Ausschlag der Magnetnadel, die Menge zersezten Wassers ist überall gleich. Der elektrische Strom wäre sonach einem Wasserlauf in einem Canal mit durchweg gleichem Gefäll zu vergleichen; auch bei ihm ist es gleichgiltig, wo ein Wasserrad eingesetzt wird, seine Arbeit ist überall gleich.

Théi-  
lung  
eines  
Stroms.

Anders verhält sich die Sache, wenn der Bewegung der Electricität zwei oder mehrere Wege geboten sind. Was dann



geschieht, ergibt sich wieder am einfachsten aus der Analogie mit einem Wasserlauf. Wenn sich ein solcher theilt, so ist die gesammte Menge Wasser, die durch die Zweigleitungen abfließt, so gross als die auf dem ersten Wege ankommende; es würde ja sonst immer mehr das Wasser an der Theilungsstelle sich anhäufen, oder immer mehr abnehmen, während ein gleichmässig fortdauernder Strom vorausgesetzt ist. Ebenso muss sich die gesammte Electricitätsmenge auf Zweigleitungen so vertheilen, dass die Summe der in den Zweigen gleich der in dem Hauptstrom fließenden ist. Und da die Stromstärke, d. h. die Wirkungsfähigkeit des Stroms, durch die Electricitätsmenge bestimmt ist, welche in einer bestimmten Zeit durch den Querschnitt des Leiters strömt, so folgt unmittelbar, dass die Stromstärke im Hauptstrom gleich der Summe der Stromstärken in den Zweigleitungen ist.

Wie ferner die Vertheilung des Wassers aus einem Lauf in mehrere in der Art erfolgt, dass am meisten Wasser dahin fließt, wo der Querschnitt oder das Gefäll am grössten, d. h. wo der Widerstand gegen das Abfließen am kleinsten ist, so wird es natürlich sein anzunehmen, dass auch ein elektrischer Strom, wenn er sich verzweigen muss, sich nach dem Widerstand der Zweige verschieden theilt. Am einfachsten ist die Annahme, dass die Vertheilung umgekehrt proportional den Widerständen erfolge.

Die Erfahrung hat diese einfachen Sätze durchaus bestätigt. Wir setzen sie als richtig voraus und betrachten sie als Grundlage der Lehre vom galvanischen Strom.

---



## Erstes Kapitel.

### Widerstand.

#### 1. Widerstand im Allgemeinen.

Lineare  
Leiter.

Ohm hat zuerst den Begriff des Widerstands für den einfachsten Fall festgestellt, nemlich für einen linearen Leiter, d. h. für einen Leiter mit überall gleichem Querschnitt, wie das z. B. bei den Drähten stattfindet. Der Widerstand ist hier der Länge proportional, dem Querschnitt umgekehrt proportional und hängt noch von dem Stoffe ab, aus dem der Leiter besteht. Weiss man, wie gross der Widerstand eines Leiters ist, der ein Meter lang ist und ein Quadratmillimeter zum Querschnitt hat, so ergibt sich der Widerstand eines beliebigen Stücks, wenn man jene Zahl mit der Anzahl Meter, die es lang ist, multiplicirt, und mit der Anzahl Quadratmillimeter, die es zum Querschnitt hat, dividirt. Der Widerstand eines Leiters von ein Meter Länge und ein Quadratmillimeter Querschnitt heisst specifischer Widerstand.

Wenn z. B. 0,018 der specifische Widerstand des Kupfers ist, so leistet ein Kupferdraht von 8 Meter Länge und 0,3 Quadratmillimeter Querschnitt den Widerstand

$$\frac{8 \cdot 0,018}{0,3} = 0,48$$

oder ein Telegraphendraht von Eisen, dessen specifischer Widerstand 0,1 ist, auf eine Meile = 7400<sup>m</sup> bei einem Querschnitt von 12 Quadratmillimeter den Widerstand

$$\frac{7400 \cdot 0,1}{12} = 62.$$



Wie man beim specifischen Gewicht und bei der specifischen Wärme einen bestimmten Körper zu Grunde legt, mit welchem die andern verglichen werden, so auch beim specifischen Widerstand: das reine Wasser wird jedoch nicht gewählt, weil sein Widerstand so ungemein gross ist, dass dann der Widerstand der Metalle in ganz kleinen Brüchen auszudrücken wäre; ein gewöhnliches Metall nicht, weil dieses schwierig rein herzustellen ist und kleine Beimischungen fremder Substanzen in der Regel den Widerstand beträchtlich ändern. Siemens hat das Quecksilber vorgeschlagen und darnach heisst der Widerstand einer ein Meter langen Quecksilbersäule mit ein Quadratmillimeter Querschnitt eine Siemens'sche Einheit. (Kurz bezeichnet durch S. E.) Anders ausgedrückt heisst dies: der specifische Widerstand des Quecksilbers ist Eins.

Wider-  
stands-  
einheit.

Von den verschiedenen Methoden zur Bestimmung des specifischen Widerstands sollen hier mit einer einzigen Ausnahme nur die gebräuchlichsten angeführt werden. Beginnen wir mit der erstern, weil sie ein gewichtiges Zeugniß für die Gleichheit der Reibungs- und der galvanischen Electricität abgibt. Es ist dies die Methode, welche Ries (Lehre von der Reibungs-Electricität Berlin 1853. I. pag. 425) angewandt hat, um den Widerstand von Metalldrähten zu bestimmen. Sie besteht darin, dass eine Leydner Flasche, die stets gleiche Ladung erhält, entladen und Drähte verschiedener Art in den Entladungsbogen eingeschaltet wurden. Die Erwärmung der Drähte gab ein Maass für den Widerstand. Ries fand so den Satz bestätigt, dass der Widerstand proportional der Länge und umgekehrt proportional dem Querschnitt ist. Für die specifischen Widerstände fand er — den des Platins gleich Eins genommen — folgende Zahlen:

Metho-  
den der  
Bestim-  
mung.

Silber	Kupfer	Gold	Cadmium	Messing	Palladium
0,104	0,155	0,175	0,405	0,560	0,854
(0,105)	(0,113)	(0,144)	(0,476)		(0,833)



Eisen	Platin	Zinn	Nickel	Blei	Neusilber
0,879	1	1,053	1,180	1,503	1,752
(0,745)	1	(0,920)	(0,803)	(1,355)	

Die unten stehenden eingeklammerten Zahlen sind von Matthiesen aus Versuchen abgeleitet, die mit dem galvanischen Strom an möglichst reinen Metallen gemacht wurden. Wenn man bedenkt, dass kleine Beimengungen schon den Widerstand sehr beträchtlich ändern können, so ist die Uebereinstimmung vollkommen genügend.

Der Widerstand beim galvanischen Strom wird in der Regel mit der Wheatstone'schen Brücke und einem empfindlichen Galvanoskop bestimmt.

Die Wheatstone'sche Brücke besteht im Wesentlichen in einem zwischen zwei Messingklemmen ausgespannten Platindraht (Platin, weil unter gewöhnlichen Umständen nicht oxydirbar) von ein Meter Länge, neben welchem eine Eintheilung in Millimetern angebracht ist. (Fig. 4 gibt eine perspectivische Ansicht des Instruments, Fig. 5 eine schematische Darstellung der Operation, die Buchstaben

Wider-  
stand  
beim  
galvani-  
schen  
Strom.

Fig. 4.

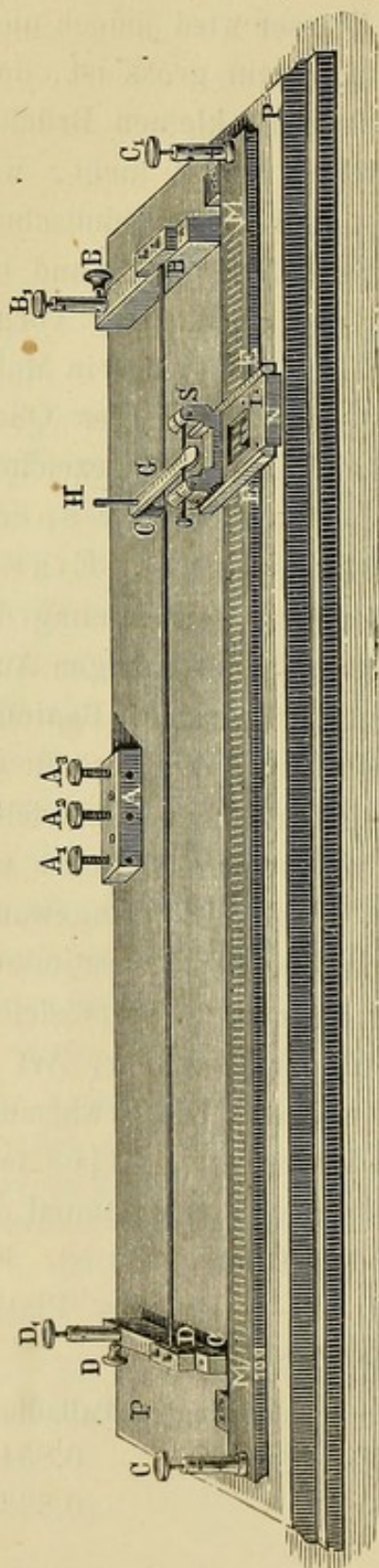
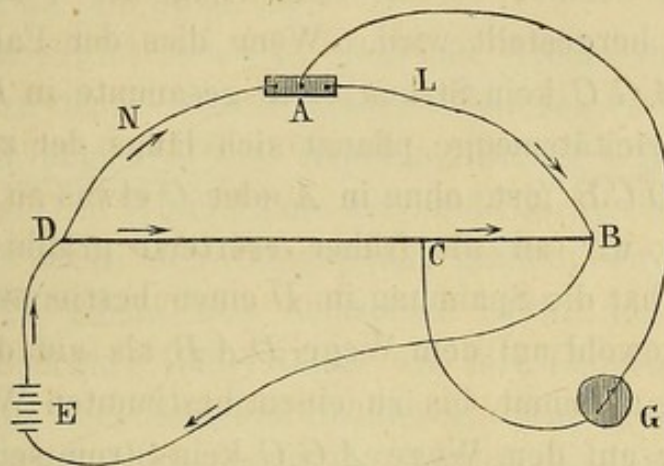




Fig. 5.



bei beiden sind dieselben.) In die Klemmen *B* und *D*, zwischen welchen der Platindraht ausgespannt ist, werden die Leitungsdrähte eines galvanischen Elements *E* (unter Umständen — nemlich bei sehr grossen zu untersuchenden Widerständen — die einer Batterie) eingeschraubt. Von dem Messingstück *A* gehen 3 Drähte aus, einer zum Galvanometer *G*, dann ein Normaldraht *N*, dessen Widerstand bekannt ist, am bequemsten 1 oder 10 oder 100 u. s. w. Einheiten, und drittens der zu untersuchende Draht *L*. Das andere Ende des Normaldrahts wird in die Messingsäule *D*, das des zu untersuchenden Drahts in die Säule *B* eingeschraubt. Der zweite vom Galvanometer ausgehende Draht führt zu der Metallscale und durch Vermittlung eines Schiebers, der sich längs der Scale bewegen lässt und eines vorn mit einer Platinschneide versehenen Hebels zu dem ausgespannten Platindraht. Der Berührungspunkt der Schneide mit dem Draht ist mit *C* bezeichnet.

Halten wir uns jetzt an die schematische Darstellung der Fig. 5. und nehmen wir an, der Strom von der Batterie *E* gehe gegen *D* (die Richtung des Stroms ist gleichgiltig). In *D* theilt sich der Strom nach den zwei Wegen *DAB* und *DCB*. Es ist nun immer möglich, den Punkt *C* (durch Bewegen des Schiebers längs der Scale) so zu wählen, dass



das Galvanometer keinen Ausschlag zeigt, also die Nadel gleiche Lage behält, ob die Berührung bei  $C$  aufgehoben oder wieder hergestellt wird. Wenn dies der Fall ist, so geht längs  $A G C$  kein Strom. Die gesammte in  $D$  ankommende Electricitätsmenge pflanzt sich längs der zwei Wege  $D A B$  und  $D C B$  fort, ohne in  $A$  oder  $C$  etwas zu verlieren.

Denken wir an die früher erörterte graphische Darstellung, so hat die Spannung in  $D$  einen bestimmten Werth  $D$ , welche sowohl auf dem Wege  $D A B$  als auf dem Wege  $D C B$  stetig abnimmt, bis zu einem bestimmten Werth  $B$  in  $B$ . Da aber auf dem Wege  $A G C$  kein Strom sein soll, so muss die in  $A$  und  $C$  stattfindende Spannung gleich gross sein, sonst würde vom Punkte der grössern Spannung zu dem der kleinern Electricität fliessen. Also haben wir als Resultat: auf dem Weg  $D A B$  so gut wie auf dem Weg  $D C B$  nimmt die Spannung der Electricität vom Werthe  $D$  zum Werthe  $B$  gleichmässig ab, und in  $A$  und  $C$  sollen die Spannungen gleich sein. Das ist offenbar nur möglich, wenn die Punkte  $A$  und  $C$  die Gesamtwiderstände längs  $D A B$  und  $D C B$  gleich theilen. (Anmerkung 1.)

Fig. 6.

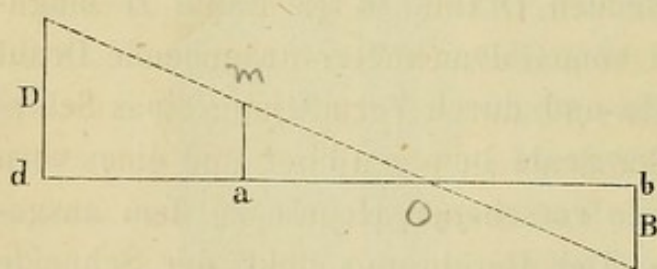


Fig. 7.

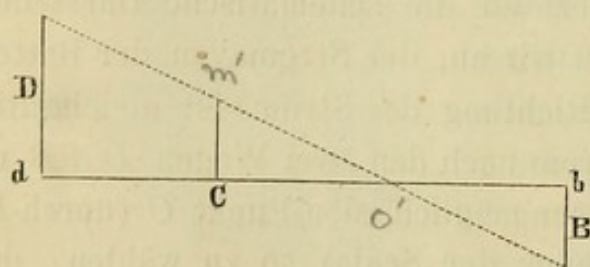


Fig. 6 und 7. sollen dieses Resultat veranschaulichen. Die Geraden  $dab$  und  $dCb$  sollen die Widerstände auf den zwei Wegen vorstellen,  $D$  die Spannung in  $d$ ,  $B$  die in  $b$ ; durch Verbindung der Endpunkte erhält man die Geraden, deren Steilheit die Stromstärken angeben. Soll in  $a$  und  $C$  die Spannung gleich sein, so müssen die zugehörigen



Ordinaten gleich sein und das ist, da  $D$  und  $B$  in beiden Zeichnungen gleich sind, offenbar dann der Fall, wenn die Verhältnisse  $da : ab$  und  $dC : Cb$  gleich sind.

Daraus ergibt sich also, dass der Widerstand des Normaldrahts zu dem des zu untersuchenden sich verhält wie der Widerstand längs  $CB$  zum Widerstand längs  $CD$ , (s. Fig. 5.) oder also wie die Widerstände der zwei Stücke, in welche der Platindraht durch den Anlegepunkt getheilt wird. Da aber diese Stücke einem und demselben Draht angehören, so verhalten sich ihre Widerstände wie ihre Längen. Man hat also nur auf dem Schieber abzulesen, wie gross das eine und andere Stück ist, und hat damit das Verhältniss der Widerstände des Normaldrahts und des zu untersuchenden Drahts und daher auch den wirklichen Widerstand des letztern.

Beispiel: an der Stelle von  $N$  war die Siemens'sche Einheit eingeschaltet, an der Stelle von  $L$  ein Neusilberdraht. Die Längen  $DC$  und  $CB$  waren  $36^{\text{cm}}$  und  $64^{\text{cm}}$  also der Widerstand des Neusilberdrahts  $\frac{36}{64} = \frac{9}{16} = 0,562$  S. E.

Ist so der Widerstand eines beliebigen Drahts bestimmt, so kann man aus ihm den specifischen Widerstand des Stoffs, aus dem er besteht, finden, indem man mit der in Meter ausgedrückten Länge dividirt und mit dem in Quadratmillimetern ausgedrückten Querschnitt multiplicirt. Schwierig ist dabei meist die Bestimmung des Querschnitts; am sichersten ergibt sich derselbe aus dem Gewichtsverlust in Wasser und aus der Länge. Hat man den Draht in Luft und Wasser gewogen, so erhält man den Querschnitt in Quadratmillimetern, wenn man den Gewichtsverlust in Wasser (in Grammen ausgedrückt) mit der Länge (in Metern ausgedrückt) dividirt. (Siehe Anmerkung 2.)

Im obigen Beispiel war der Neusilberdraht  $1^{\text{m}},34$  lang, wog in Luft  $6^{\text{gr}},78$ , in Wasser  $5^{\text{gr}},99$ ; also war der Gewichtsverlust in Wasser  $0^{\text{gr}},79$  und der Querschnitt:

$$\frac{0,79}{1,34} = 0,59$$



und der specifische Widerstand:

$$0,562 \cdot \frac{0,59}{1,34} = 0,248.$$

Speci-  
fische  
Wider-  
stände.

Auf solche Weise hat man unter anderen folgende Zahlen für den specifischen Widerstand von Stoffen, welche in der praktischen Anwendung des galvanischen Stroms von besonderer Bedeutung sind, gefunden:

Quecksilber	1	Gaskohle	43
Silber	0,017	Schwefelsäure, spec. Gew. 1,27	7320
Kupfer	0,018	1,84	47000
Zink	0,057	käufliche Salpetersäure	18000
Platin	0,092	Zinkvitriollösung	288000
Eisen	0,099	Kupfervitriollösung	306000
Neusilber	0,248	Reines Wasser	120000000

Die Zahlen sind nur genäherte, eine kleine Beimischung fremder Substanzen kann sie wesentlich ändern. Ausserdem sind sie mit der Temperatur veränderlich, bei Metallen in der Art, dass für jeden Grad über Null der Widerstand um  $\frac{1}{273}$  zunimmt.

Die obige Tabelle kann zu einer Reihe von Betrachtungen Anlass geben; einige den Mediciner besonders interessirende mögen hier sofort angereiht werden.

Als Leitungsdrähte wendet man für gewöhnlich fast ausnahmslos Kupferdrähte oder Gespinnste aus Kupferdraht an; sie sind wohlfeiler als silberne, leiten nahe ebenso gut wie Silber und besser als alle andern Metalldrähte. Bei langen Leitungen allerdings — z. B. bei Telegraphenleitungen — wird, da das Eisen beträchtlich billiger ist, vorzuziehen sein, einen dickern Eisendraht zu nehmen, der dann trotz seines grössern Querschnitts doch noch wohlfeiler als Kupferdraht von gleicher Länge ist und wegen seines grössern Querschnitts nahe so gut wie Kupferdraht leitet. Sein Querschnitt muss dann 5 bis 6mal so gross



sein, als der des Kupfers wäre, da in diesem Verhältniss sein specifischer Widerstand grösser ist.

Handelt es sich dagegen um Einschaltung künstlicher Widerstände, so wird man, um den Apparat weniger voluminös zu machen, den schlechtest leitenden Draht wählen, also Neusilberdraht von recht kleinem Querschnitt.

Im Allgemeinen leiten Säuren besser, als die Salze, welche im Verlauf des Gebrauches der galvanischen Elemente sich aus ihnen bilden. Daher rührt es unter anderem, dass alle galvanischen Elemente mit der Zeit an Stärke verlieren. Die bei allen gebräuchlichen galvanischen Elementen verwendete Schwefelsäure hat die Eigenschaft, beim specifischen Gewicht 1,27 am besten zu leiten (etwa 1 Volum concentrirte Schwefelsäure auf zwei Wasser). Diese Mischung wird daher als Füllung für Wasserzerse-  
zungsapparate gebraucht (die beigemischte Schwefelsäure dient nur zur Erhöhung der Leitungsfähigkeit des Wassers, wird vom Strom nicht zerlegt). Je mehr man von diesem Punkt aus Wasser beimischt, desto mehr wächst der Widerstand. Handelt es sich um Füllung galvanischer Elemente mit grossem Widerstand (Daniell, Meidinger, Siemens, Beetz), so genügt 1 Theil Schwefelsäure auf 20 Wasser, bei Elementen mit kleinerem Widerstand, besonders Grove und Bunsen, nimmt man meist 1 Theil Schwefelsäure auf 10 Wasser; wenn der Widerstand noch kleiner werden soll, auch 1 Theil Schwefelsäure auf 5 Wasser.

Dem im Allgemeinen grossen Widerstand der Flüssigkeiten hilft man bei galvanischen Elementen dadurch ab, dass man ihre Dimensionen vergrössert und die zu erregenden Metallplatten möglichst nahe an einander rückt. Nimmt man z. B. ein Bunsen'sches Element von gewöhnlichen Dimensionen, so kann man die Oberfläche der Kohle zu  $100^{\text{cm}} = 10000^{\text{mm}}$  rechnen <sup>1)</sup>, den Abstand der Kohle von

1) Der Verfasser hält es für überflüssig, Quadratcentimeter oder



Zink zu  $4^{\text{cm}} = 0^{\text{m}},04$ . Rechnet man für die verdünnte Schwefelsäure und für die Salpetersäure den gleichen specifischen Widerstand, nemlich 18000, so erhalte man für den Widerstand im Element

$$0,04 \frac{18000}{10000} = 0,072$$

da es sich um eine Säule von  $10000^{\text{mm}}$  Querschnitt und  $0^{\text{m}},04$  Länge handelt. Die direkte Messung gibt jedenfalls das Zehnfache, wohl hauptsächlich wegen der zwischen Kohle und Zink befindlichen Thonzelle, welche den Querschnitt für die durchgehende Electricität beträchtlich verkleinert, da bei dem ungeheuer grossen Widerstand der Thonmasse die Leitung nur durch die Poren möglich ist.

Isola-  
toren.

Isolatoren nennt man Substanzen, welche sehr schlechte Leiter sind, d. h. einen sehr grossen Widerstand leisten. In erster Linie sind hier zu nennen eine Reihe harziger Substanzen, Schellak, Siegellak, Kautschuk, Gutta-percha u. s. w. und als thierisches Produkt Wolle und Seide. Messungen ihrer specifischen Widerstände in S. E. gibt es nur wenige. Für natürliche Seide, von einem in warmem Wasser erweichten Cocon abgesponnen und nachher getrocknet fand ich nach mehreren Bestimmungen etwa 74000000 S. E., also weniger als reines Wasser. An unterseeischen Kabeln hat Siemens Versuche mit Kautschuk und Gutta-percha gemacht; je nach der Zubereitung war das Resultat  $\frac{1}{2}$  Trillion bis 30 Trillionen S. E., die grössten Zahlen,

---

Cubikmillimeter u. s. w. eigens zu bezeichnen. Bekanntlich besteht noch ein grosser Streit, wie diese Bezeichnung zu wählen sei. Es wird aber nur selten vorkommen, dass ein Zweifel besteht, ob Millimeter oder Quadratmillimeter u. s. w. gemeint seien, und dann kann man ja den ganzen Namen ausschreiben. Wenn man von einer Fläche oder einem Körper spricht, so weiss Jedermann, ob Quadrat- oder Cubik- vorzusetzen ist. Man sagt ja auch ein Meter Holz, eine Ruthe Erde u. s. w.



die bis jezt bestimmt worden sind, so dass die beiden Substanzen mit Recht Isolatoren genannt werden können.

Glas an und für sich ist ein Isolator, allein die meisten Glassorten haben die Eigenschaft, hygroskopisch zu sein: sie ziehen den Wasserdampf der Atmosphäre an, dieser schlägt sich an der Oberfläche nieder und nun findet Leitung längs der Wasserschicht statt. Jedes Glasstück, das als Isolator dienen soll, muss daher mit Firniss überzogen werden, am besten mit dem schlecht leitenden Schellakfirniss (Lösung von käuflichem Schellak in Alkohol).

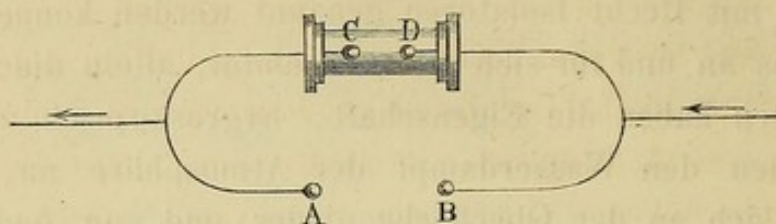
Auch Hartkautschuk, der neuerdings vielfach als Isolator statt Glas verwendet wird, wird nicht selten mit der Zeit an der Oberfläche mehr oder weniger leitend, wenn er häufig gerieben wird, und muss dann abgeschabt werden. Es zeigt sich dies besonders bei der Influenzmaschine.

Trockenes Holz wird vielfach als Isolator verwendet. Sein specifischer Widerstand ist ungefähr gleich dem der Seide, er wird bedeutend vermehrt durch Poliren, weil die dazu verwendeten Substanzen — Schellak und Alkohol — gute Isolatoren sind. Wenn daher elektrische Apparate auf einem polirten Tisch aufgestellt sind, so ist ein Verlust an Electricität kaum zu befürchten.

Sehr gute Isolatoren sind trockene Gase, doch gibt es darüber keine absolute Messungen. Faraday hat gefunden, dass Kohlensäure, Luft und Stickstoff ungefähr gleichen Widerstand leisten; Chlorwasserstoff beinahe den doppelten, Wasserstoff den halben. Er machte den Versuch mit Reibungs-*Electricität*, indem er die Schlagweite zwischen zwei Kugeln in Luft und in dem betreffenden Gase verglich. Der elektrische Funke hatte zwei Wege durch Verzweigung, der eine (Fig. 8.) von *A* nach *B* durch die Luft, der andere von *C* nach *D* in einer verschlossenen mit dem betreffenden Gase gefüllten Röhre. Der Abstand der Kugeln in der Luft wurde solange vergrößert, bis der Funke nicht mehr durch die



Fig. 8.



Luft, sondern durch das Gas überschlug: dann war hier der Widerstand etwas kleiner, und der wechselnde Abstand der Kugeln in der Luft bei Untersuchung verschiedener Gase gab ungefähr ein Maas für deren Widerstand.

Vollkommene Isolatoren sind ätherische Oele und der leere Raum. Selbst der stärkste galvanische Strom wird durch eine Schicht Erdöl, Terpentinöl u. s. w. vollständig unterbrochen. Es ist daher auch unmöglich, solche Substanzen durch den galvanischen Strom zu zersezzen. Dass der leere Raum vollkommen isolirt, zeigt, dass Geissler'sche Röhren durch den Inductionsstrom nicht mehr zum Leuchten zu bringen sind, wenn die Verdünnung der Gase in ihnen gar zu gross geworden ist. Hittorf hat leere Glasröhren dargestellt mit eingeschmolzenen Platindrähten, deren innere Enden etwa ein Millimeter von einander abstehen, zwischen denen aber kein elektrischer Funke, selbst bei Benüzung grosser Leydner Flaschen, überspringt: dagegen sieht man eine Ausgleichung längs der Glasoberfläche erfolgen.

Ableitungen.

Es ergibt sich hieraus, dass immer in den zur Uebertragung der Electricität auf den menschlichen Körper verwendeten Leitungen etwas verloren geht, desto weniger, je besser Apparate, Leitungen und Object des Experiments isolirt sind. Allein in den wenigsten Fällen wird ein solcher Verlust von einiger Erheblichkeit sein. Um dies nachzuweisen und um in jedem Fall beurtheilen zu können, wieviel verloren geht, soll hier noch näher auf Ableitungen eingegangen werden.

Zunächst tritt uns in den alltäglichen Erfahrungen ein scheinbarer Widerspruch entgegen: wir hüten uns wohl,



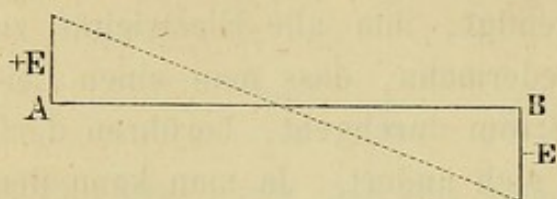
einen elektrischen isolirten Leiter mit dem Finger zu berühren, wenn er seine Electricität behalten soll, denn schon die kürzeste Berührung genügt, ihm alle Electricität zu nehmen. Dagegen weiss Jedermann, dass man einen Leitungsdraht, während der Strom durchgeht, berühren darf, ohne dass die Stromstärke sich ändert. Ja man kann den Draht in metallische Verbindung mit der Gasleitung bringen, also mit einem weitverzweigten Metallkörper, der an vielen Stellen mit dem feuchten Erdboden in Verbindung steht, und doch zeigt die abgelenkte Magnetnadel keinen Verlust an Stromstärke.

Woher dieser Unterschied? Beidemal, bei der Reibungs-Electricität und bei der galvanischen Electricität, wird die an der Berührungsstelle befindliche Electricität weggenommen, ersetzt sich von dem Leiter her durch neue, diese geht wieder fort u. s. w. Darüber kann kein Zweifel sein, höchstens wird die Ableitung etwas länger dauern, wenn der berührende Körper ein schlechter Leiter ist. Geht ja selbst in der Umgebung von Luft in einer Minute  $\frac{1}{10}$  bis  $\frac{1}{8}$  der Ladung eines isolirten Leiters verloren. Aber der wesentliche Unterschied ist der, dass bei Reibungs-Electricität, welche auf einem Leiter angesammelt ist, eine Erschöpfung eintritt, weil keine neue nachgeliefert wird; es wird mit der Zeit — und diese Zeit ist eine sehr kurze — alle abströmen. Beim galvanischen Strom dagegen wird stets neue producirt und es stellt sich ein Zustand her, welcher sich vom ursprünglichen nur dadurch unterscheidet, dass die Spannung an einer andern Stelle, an der Berührungsstelle, Null ist, ohne dass deswegen die Stromstärke, die Menge und Geschwindigkeit der Electricität, sich ändern.

Beim galvanischen Strom hat man zwei Metalle, deren elektrische Differenz stets gleich bleibt. Oben bei der graphischen Darstellung des Stroms (pag. 3) haben wir beiden Metallen gleiche Electricitätsmengen gegeben und die Fig. 9 (folg. Seite) erhalten. In der Mitte der Leitung ist die Spannung Null. Berührt man dagegen

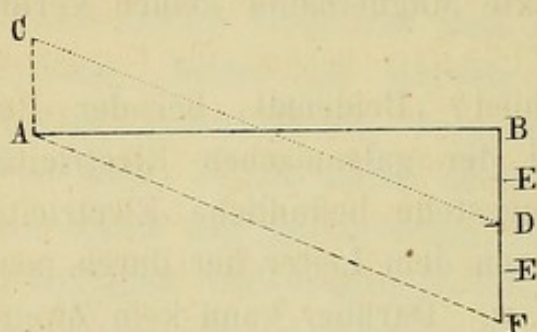


Fig. 9.



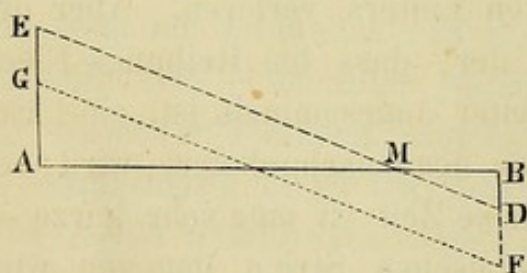
andere  $-E$ , stets  $2E$  weniger, als die positive; und da in unserm Fall die positive abgeleitet ist oder Null hat, so hat die negative

Fig. 10.



kann keine mehr entzogen werden, weil in  $A$  die Spannung Null ist. Berührt man an einem beliebigen Punkt  $M$  zwischen  $A$  und  $B$ ,

Fig. 11.



nungen allein sind anders vertheilt, in  $M$  ist die Spannung Null. Es wird also im Allgemeinen auch dem galvanischen Leitungsdraht Electricität entzogen, an der Berührungsstelle wird die Spannung Null, aber da die elektrische Differenz der zwei Metalle stets gleich bleibt, so ändert diese Entziehung nichts in der Stromstärke.

Abzwei-  
gungen.

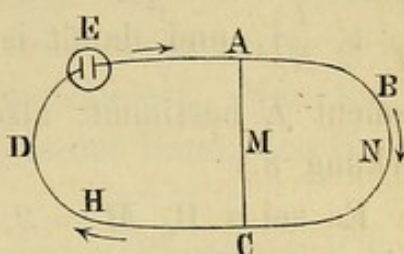
Nach dem Vorhergehenden ändert sich die Stromstärke nicht, wenn die Leitung an einem Punkt ableitend berührt wird. Sowie dagegen die Ableitung wieder zum Leitungsdraht zurückkehrt, so werden die Stromverhältnisse geändert, sowohl in der einfachen, als in der getheilten Strombahn.

die eine Metallplatte z. B. die positive ableitend, so ist ihre Electricitätsmenge Null, die andere Metallplatte hat erfahrungsgemäss immer gleich viel weniger, also, da die eine vorher (Fig. 9)  $+E$  hatte, die andere  $-E$ , stets  $2E$  weniger, als die positive; und da in unserm Fall die positive abgeleitet ist oder Null hat, so hat die negative  $-2E$ . Man erhält jetzt die Fig. 10. Die Stromstärke ist die gleiche, denn die Linie  $AF$  hat dieselbe Steilheit, wie die Linie  $CD$ ; aber die Vertheilung der Spannungen ist eine andere. Es ist eine Electricitätsmenge entzogen, welche durch das Viereck  $ACDF$  vorgestellt ist; nachher aber so gibt die Fig. 11 die jetzt stattfindenden Verhältnisse: es ist positive Electricität gewonnen, welche durch das Viereck  $EDFG$  vorgestellt ist, oder eine gleiche Menge negativer Electricität entzogen worden. Die Stromstärke ist wieder dieselbe, die Span-



Wenn z. B. das galvanische Element  $E$  (Fig. 12.) einen Strom im Sinne des Pfeils längs  $A B C D$  gibt — ein Strom, dessen Stärke durch den Quo-

Fig. 12.



tienten der Spannung  $E$  im Element und des Gesamtwiderstands (der Leitung und des Elements) gemessen wird — und wenn jetzt eine Zweigverbindung  $A C$  angebracht wird, so ist zunächst klar, dass der Gesamtwiderstand kleiner ist als vorher, weil von  $A$  nach  $C$  zwei Wege offen stehen, also die Electricität von  $A$  nach  $C$  leichter gelangen kann, als auf dem vorher allein freien Weg. Es wird daher die Stromstärke von  $E$  nach  $A$  und daher auch von  $C$  über  $D$  nach  $E$ , weil diese der vorhergehenden gleich sein muss, da auf diesem Theil des Wegs keine Verzweigung stattfindet, grösser sein als vorher. Dieser grössere Strom theilt sich in  $A$  im umgekehrten Verhältniss der Widerstände längs  $A C$  und  $A B C$  in diese Zweige. Hauptaufgabe wird also nur sein, die vergrösserte Stromstärke zu finden.

Wir setzen die Widerstände längs  $A C$  und längs  $A B C$ , sowie den Gesamtwiderstand längs  $C D A$  als bekannt voraus und bezeichnen sie der Kürze wegen der Reihe nach mit  $M$ ,  $N$  und  $H$  (s. Fig. 12). Vor Eintritt der Zweigleitung wäre somit die Stromstärke gleich der Spannung  $E$  dividirt durch den Widerstand  $(N + H)$ . Wird nun die Zweigleitung eingeschaltet, so kann man sich den Widerstand  $M$  längs  $A C$  ersetzt denken durch eine Quecksilbersäule von einem Meter Länge und dem Querschnitt  $\frac{1}{M}$ , und den Widerstand  $N$  längs  $A B C$  ebenso durch eine Quecksilbersäule von einem Meter Länge und dem Querschnitt  $\frac{1}{N}$ . Dann hätte man von  $A$  nach  $C$  zwei gleich lange Queck-



silbersäulen von bekannten Querschnitten, die man sich auch zu einer einzigen vereinigt denken kann, deren Querschnitt gleich der Summe der beiden andern ist, also  $\left(\frac{1}{M} + \frac{1}{N}\right)$ ; und damit ist der Gesamtwiderstand für das Element  $E$  bestimmt, also die Aufgabe gelöst. (siehe Anmerkung 3.)

Es sei z. B.  $M = 2$ , und  $N = 3$ , der Widerstand  $A E$  lässt sich dann ersetzen durch eine Quecksilbersäule von der Länge  $1^m$  und dem Querschnitt  $\frac{1}{2}$  Quadratmillimeter, der Widerstand  $A B C$  durch eine Quecksilbersäule von der Länge  $1^m$  und dem Querschnitt  $\frac{1}{3}^{mm}$ , also beide durch eine einzige Quecksilbersäule von  $1^m$  Länge und  $\frac{1}{2} + \frac{1}{3} = \frac{5}{6}^{mm}$  Querschnitt, und damit ist der Gesamtwiderstand beider Verzweigungen bestimmt, da er gleich dem Widerstand einer Quecksilbersäule von  $1^m$  Länge und  $\frac{5}{6}^{mm}$  Querschnitt gefunden ist, er ist  $\frac{6}{5}$  S. E. Dieser Gesamtwiderstand ist kleiner als der Widerstand längs jeder der Zweigleitungen, eben deswegen, weil zwei Wege offen stehen.

Führen wir das Beispiel noch weiter aus, und nehmen an, dass der Widerstand längs  $C D A$ , der oben mit  $H$  bezeichnet wurde, 4 sei und die Electromotorische Kraft des Elements 20, so hätte man für die Stromstärke

$$\text{ohne Zweigleitung: } \frac{20}{4 + 3} = \frac{20}{7} = 2,86$$

$$\text{mit Zweigleitung: } \frac{20}{4 + \frac{6}{5}} = \frac{20}{5,2} = 3,85$$

Die letzte theilt sich nach  $A C$  und  $A B C$  im umgekehrten Verhältniss der Widerstände, also kommt auf:

$$A C \text{ die Stromstärke } 3,85 \frac{3}{2 + 3} = 2,31$$

$$A B C \text{ . . . . . } 3,85 \frac{2}{2 + 3} = 1,54$$

Die Summe der Stromstärken in den Zweigleitungen ist natürlich gleich der Stromstärke in der einfachen Leitung.



Selbstverständlich gibt es bei einer solchen Zweigleitung die verschiedensten Verhältnisse: ist der Widerstand  $M$  sehr klein gegen  $N$ , so wird der Strom in  $ABC$  nahe Null werden, beinahe alle Electricität längs  $AC$  strömen; ist dagegen der Widerstand  $M$  sehr gross gegen  $N$ , so bleibt der Strom in  $ABC$  nahe ungeändert. Man hat es also mit einer solchen Zweigleitung in der Hand, den Hauptstrom beliebig abzuschwächen.

Sehen wir von den Zwischenapparaten (Rheostaten u. s. w.) ab, die zwischen der Electricitätsquelle (den galvanischen Elementen) und den Leitungsschnüren, mit denen die Electricität dem menschlichen Körper zugeführt wird, eingeschaltet sind, so handelt es sich in der Therapie nur um zwei Fälle, um einen sehr grossen Widerstand, (die thierischen Gewebe, speciell die Haut), der nach Tausenden von Einheiten gemessen wird <sup>2)</sup>, oder — bei der Galvanokaustik — um einen Widerstand von wenig Einheiten. Im letzten Fall ist es, wenn man den Widerstand des Körpers des Experimen-

---

2) Nach Weber leitet der menschliche Körper 50 Millionen mal so schlecht, als Kupfer, das gäbe den specifischen Widerstand 900000. (Althaus pag. 18.) Lenz und Ptschellnikoff geben den Leitungswiderstand des menschlichen Körpers als solchen zu 2045, Pouillet, wenn die Hände gut befeuchtet sind, zu 1094 an. Die trockene Epidermis für sich soll 50 mal grössern Widerstand leisten als der ganze menschliche Körper (Meyer, pag. 19. 20). Nach Matteucci leiten die Muskeln viermal so gut als die Nerven, nach Schlesinger verhalten sich die Widerstände von Nerven und Muskeln wie 8:3. Eckhard setzt den Widerstand der Muskeln gleich Eins, dann ist der der Knorpeln 2, der Sehnen 2,1, der Nerven 2,1 und der Knochen 19. (Althaus 21 ff.) Alle diese Resultate sind wohl ziemlich unsicher; es ist schwierig, mit solchen organischen Substanzen zu operiren und gewiss ist auch ihr Widerstand veränderlich, nach Eckhard veränderlich je nach ihrem Wassergehalt (Beiträge zur Anatomie und Physiologie. Giessen 1858. Bd. I. p. 57.). Runge (Deutsches Archiv VII. 604) findet zwischen knopfförmigen Electroden von 2—3<sup>cm</sup> Durchmesser bei unverletzter Haut den Widerstand des eingeschalteten Rumpfes zu 2000 bis 5000 Einheiten.



tators von Hand zu Hand zu 4000 Einheiten nimmt, gleichgiltig, ob derselbe die Zuleitung berührt oder nicht, es wird nur ein Minimum des Stromes verloren gehen; weil der glühende Platindraht mit der übrigen Leitung nur wenige Einheiten Widerstand leistet, nicht einmal ein Tausendtheil.

Im ersten Fall dagegen ist der Widerstand der beiden Zweigleitungen sehr gross gegenüber dem andern Widerstand in den Elementen. Vernachlässigt man diesen ganz, so gibt die obige Methode zu rechnen das Resultat, dass jede Zweigleitung einen Strom erhält, als ob die andere Zweigleitung nicht vorhanden wäre.

Hat man z. B. 30 Daniell ungleichnamig <sup>3)</sup> verbunden, jedes mit der elektrischen Spannung 12, also alle mit einander 360; ferner jedes mit dem Widerstand 1,5 also alle mit einander 45, so kann man diesen Widerstand geradezu weglassen gegenüber dem Widerstande im thierischen Körper. Thut man dies und ist der Widerstand ohne Zweigleitung 3000, der in der Zweigleitung 4000, so lässt sich der erste durch eine Quecksilbersäule von 1<sup>m</sup> Länge und  $\frac{1}{3000}$  mm Querschnitt, der zweite durch eine eben solche Quecksilbersäule von  $\frac{1}{4000}$  mm Querschnitt ersetzen, also beide durch eine Quecksilbersäule von 1<sup>m</sup> Länge und dem Querschnitt

$$\frac{1}{3000} + \frac{1}{4000} = \frac{7}{12000} = \frac{1}{1714}$$

der Gesamtwiderstand betrüge also 1714 S. E. Somit wäre die Stromstärke

$$\text{ohne Zweigleitung: } \frac{360}{3000} = 0,12$$

$$\text{mit Zweigleitung: } \frac{360}{1714} = 0,21$$

---

3) oder, wie man gewöhnlich sagt, hinter einander, d. h. jedes Zink mit dem Kupfer des folgenden Elements.



Von der letzten trifft

$$\text{den Experimentator } 0,21 \frac{3000}{7000} = 0,09$$

$$\text{das Object } 0,21 \frac{4000}{7000} = 0,12$$

also beide gerade soviel, wie wenn jedes für sich eingeschaltet und das andere gar nicht da wäre. Denn es ist ja

$$\frac{360}{4000} = 0,09 \text{ und } \frac{360}{3000} = 0,12.$$

Es ist sonach für die Wirkung auf das Object ganz gleichgiltig, ob der Experimentator sich einschaltet oder nicht (für den Experimentator nur insofern nicht, als ihm die Einschaltung unangenehm und störend sein kann. Auch ist der Zinkverbrauch ein grösserer). Durch die Einschaltung wird der Gesamtwiderstand verkleinert und der Strom in gleichem Maass verstärkt, in welchem er für jede Zweigleitung bei der Theilung abnimmt.

Es wird also auch gleichgiltig sein, ob die Messingssäulen, in welche die Electroden eingeschraubt werden, ganz isolirt sind oder nicht, wenn nur der Widerstand beim Uebergang zwischen ihnen gross ist gegenüber von dem in der Batterie. Wenn sie z. B. in dasselbe Stück Holz eingeschraubt werden, so ist dessen Widerstand jedenfalls gross genug gegenüber dem in der Batterie, dass die oben gemachten Voraussetzungen zutreffen.

Das Ueberziehen der Zuleitungsschnüre mit Kautschuk und das Halten der Electroden mittelst trockenen Holzes hat also nur den Zweck, die Berührung der Schnüre unter sich zu verhüten, wodurch eine Zweigleitung von sehr kleinem Widerstand entstände, welche nahe den ganzen Strom vom Object ableiten würde; und dem Experimentator den unnöthigen Durchgang des Stroms durch seinen Körper zu ersparen.

Ferner folgt aus obigem Satz, dass mit derselben Bat-



terie eine beliebige Zahl von Patienten zu gleicher Zeit behandelt werden können; die Stromstärke, die jeder erhält, ist wie wenn die andern nicht da wären, immer unter der Voraussetzung, dass der Widerstand der Batterie gegen den in jedem Patienten vernachlässigt werden kann. Natürlich aber würde sich die Batterie rascher abnützen. Von praktischem Nutzen wird dieser Satz wohl selten sein.

Verbin-  
dung  
von  
Leitern.

Die Oxyde sind noch schlechtere Leiter als reines Wasser, ihr Widerstand wird in die Millionen gehen. Jede Verbindung von Leitern muss daher vor Oxydation behütet oder von einer stattgefundenen jedesmal gereinigt werden. Ein blosses Umeinanderwickeln von Drähten zur Verbindung ist zu verwerfen, wenn damit eine Verbindung auf längere Zeit beabsichtigt ist, weil allmählig die Berührungsfläche sich oxydirt. Eine Löthung ist für den dauernden Gebrauch allein zulässig. Wenn man, um biegsamere Leiter von kleinem Widerstande zu erhalten, viele dünne Drähte statt eines dicken benützt, wie das jetzt allgemein geschieht, so darf keine Verbindungsstelle bloß geknüpft oder umwunden werden; insbesondere sollten die Enden an die Stücke angelöthet sein, welche zur Weiterleitung des Stroms dienen. Freilich brechen wegen der vielen vorkommenden Biegungen leicht die Drähte und deswegen ist bei den käuflichen Leitschnüren gewöhnlich das Drahtbündel um ein Ohr der Endstifte gewunden und geknüpft. Zulässig ist das, weil die Schlinge bei der beständigen Bewegung der Leitschnüre das Ohr abschleift, also etwa entstehendes Oxyd entfernt. Die Löthung ist unbedingt sicherer, aber leichter dem Zerbrechen unterworfen.

Handelt es sich um wechselnde Verbindungen, so verwendet man Federn oder Stöpsel, wenn während der Operation der Wechsel vorgenommen werden soll, dagegen Schrauben, wenn eine Verbindung nur selten geändert werden soll, wie die Verbindungen einer galvanischen Batterie. Die



Verbindung ist um so besser, je mehr durch den Act der Verbindung selbst dafür gesorgt ist, dass die sich immer neu bildenden Oxydschichten entfernt werden, oder dass sich solche nicht bilden können.

Das letzte wird bei den Schraubenverbindungen bezweckt. Vor der Verbindung muss die Oxydschicht an der Verbindungsstelle mit der Feile oder mit Smirgelpapier weggenommen werden, so dass bei dem Festschrauben zwei von Oxyd freie Oberflächen zusammentreffen, eine an dem anzuschraubenden Stück, eine an dem Stück, an welches geschraubt wird. Der Druck der Schraube sorgt dafür, dass zwischen die reinen Oberflächen keine Gase eindringen, welche Oxydation herbeiführen.

Federn und Stöpsel können die Oxydation nicht hindern, weil ihre Verbindungen zu rasch wechseln, also die Berührungsstellen immer wieder mit der freien Luft in unmittelbarer Verbindung stehen; aber sie entfernen etwa gebildete Oxydschichten unmittelbar durch den Act der Verbindung, Federn wohl noch vollständiger, als Stöpsel, weil das Abgeriebene leichter zur Seite abfällt. Auf der andern Seite kann der Stöpsel stärker eingepresst werden, als dies bei der Feder durch ihre eigene Elasticität geschieht. Die Feder hat den Vortheil, raschere Verbindungen zu gestatten, der Stöpsel, viel grössere berührende Flächen herzustellen, also den Widerstand der Verbindung zu vermindern. Im Allgemeinen werden daher Stöpselapparate bei genauen Messungen den Vorzug verdienen; Federapparate dagegen gestatten raschere und bequemere Handhabung, und werden deswegen zu therapeutischen Operationen vorzuziehen sein.

## 2. Künstlicher Widerstand.

### Rhéostaten.

Apparate, welche dazu dienen, durch Einschaltung von Widerständen, sei es unmittelbar auf dem Wege des Stromes,

Zweck  
der  
Rheo-  
staten.

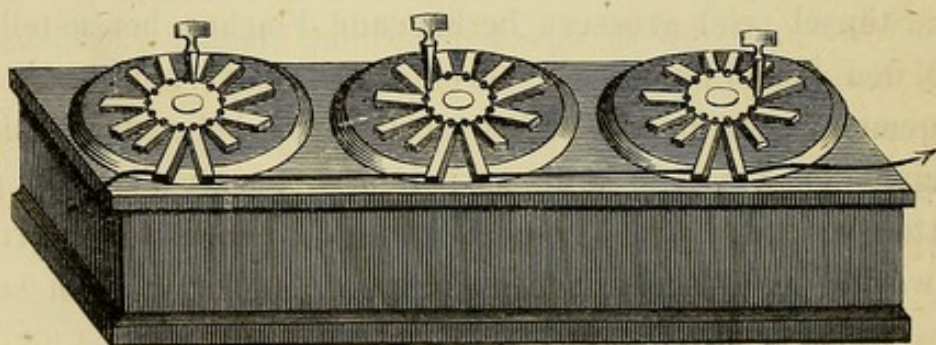


sei es in einer Nebenschliessung die Stärke des Stromes zu modificiren, heissen Rheostaten. Das einfachste wäre zunächst, von einem beliebigen Draht grössere oder kleinere Längen einzuschalten, und man hätte damit das Mittel in der Hand, jeden beliebigen Widerstand darzustellen. Es wäre jedoch sehr unbequem, Längen von mehreren oder gar von vielen Metern so einzuschalten, dass der Draht isolirt bleibt, und diese Längen nach Bedürfniss zu wechseln. In den Rheostaten sind deswegen bestimmte Drahtlängen von gegebenem Widerstand ein für allemal abgemessen und so zusammengestellt, dass man sie in beliebiger Weise combiniren kann. Man verwendet dabei als Material den Neusilberdraht, weil dieser einen grossen Widerstand darbietet, also kleinere Massen genügen, um selbst grosse Widerstände darzustellen. Eine andere Methode, beliebige Widerstände einzuschalten, besteht darin, dass man den Strom durch eine Flüssigkeitssäule von veränderlicher Länge gehen lässt. Beide Arten von Rheostaten werden benützt, ihre Einrichtung und ihre Vortheile sollen im Folgenden erörtert werden.

Siemens  
Rheostat.

Die Einführung des Rheostaten in die Electrotherapie ist das Verdienst Brenner's. Der von ihm benützte ist

Fig. 13.

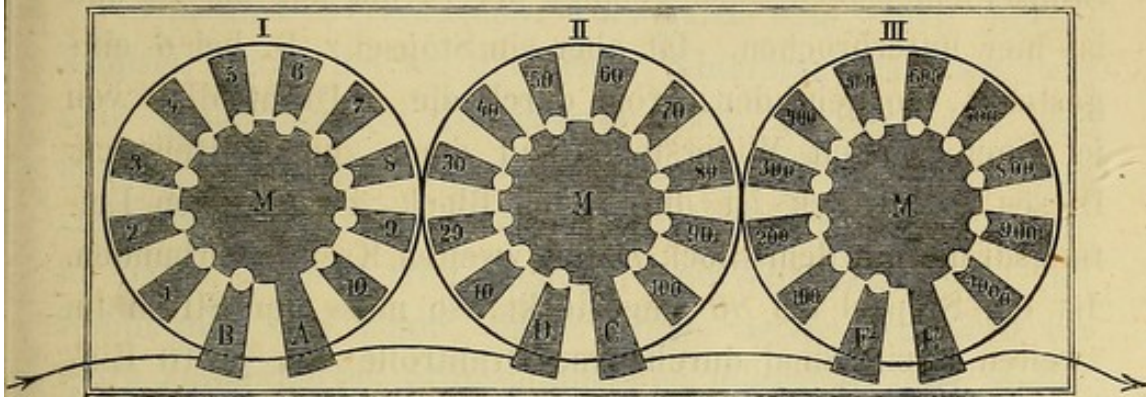


der Siemens'sche Stöpselrheostat. (Fig. 13.) Oben auf einem Holzkasten befinden sich in drei Kreisen angeordnet



eine Anzahl radial gestellter Metallblöcke um ein Mittelstück so gruppiert, dass durch Einstecken eines Stöpsels (siehe die schematische Oberansicht Fig. 14.) jeder Block

Fig. 14.

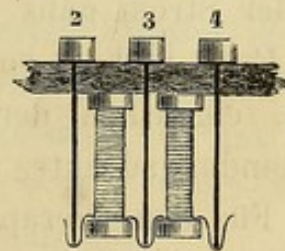


mit *M* in Verbindung gesetzt werden kann. Solcher Blöcke sind es in jedem der drei Kreise *II*, einer mit einem Buchstaben (*B*, *D*, *F*), die übrigen 10 mit den auf einander folgenden Einern 1 bis 10, Zehnern 10 bis 100, und Hunderten 100 bis 1000 bezeichnet. Ein zwölfter Block (*A*, *E*, *C*) ist mit dem Mittelstück *M* ein für allemal verbunden.

Zwischen je zwei auf einander folgenden der bezeichneten Blöcke ist ein Neusilberdraht eingeschaltet, welcher im Innern des Kastens geborgen ist.

Fig. 15.

Wie die Figur 15 zeigt, geht von jedem Block durch den Deckel des Kastens hindurch ein dicker Draht; und zwischen je zwei solchen Drähten ist an dem Deckel eine Drahtrolle befestigt, deren Anfang mit dem



Draht links, das Ende mit dem Draht rechts in Verbindung steht. Im ersten Kreise ist auf jede Drahtrolle eine Einheit, im zweiten 10 Einheiten, im dritten je 100 Einheiten Widerstand aufgewickelt.

Wenn nun der Strom bei *B* eintritt, so geht er von



*B* unter dem Deckel des Kastens durch die Drahtrolle zu 1, von 1 ebenso zu 2, von 2 zu 3, u. s. w., wobei der Widerstand der Blöcke und der dicken durch den Deckel gehenden Drähte ganz vernachlässigt werden kann. Ist nirgends ein Stöpsel eingesteckt, so gelangt der Strom nur bis 10 und ist hier unterbrochen. Ist aber ein Stöpsel z. B. bei 6 eingesteckt, so geht der Strom durch die 6 Drahtrollen von je einer Einheit Widerstand und dann zum Mittelstück. Dieses Mittelstück ist durch den Block *A* und einen Leitungsdraht mit dem Block *D* des zweiten Kreises verbunden. Ist ein Stöpsel bei 80 eingesteckt, so muss der Strom im zweiten Kreis 8mal durch eine Drahtrolle von je 10 Einheiten Widerstand und gelangt dann zum Mittelstück und von da aus zum Block *F* des dritten Kreises. Er geht nun wieder, wenn etwa bei 500 ein Stöpsel steckt, durch 5 Drahtrollen von je 100 Einheiten Widerstand, dann zum Mittelstück und von diesem weiter.

Man sieht also, dass soviel Widerstandseinheiten eingeschaltet sind, als die Summe der Zahlen beträgt, bei welchen die 3 Stöpsel eingesteckt sind, im obigen Beispiel 586, und man kann somit alle Widerstände von 1 bis 1110 einschalten.

Hat irgend einer der drei Kreise keinen Stöpsel, so ist der Strom ganz unterbrochen. Stecken die 3 Stöpsel bei *B*, *D* und *F*, so ist gar kein Widerstand eingeschaltet, d. h. eigentlich der Widerstand der 3 Mittelstücke und Verbindungsdrähte, der aber vernachlässigt werden kann.

Für den Therapeuten ist es von Wichtigkeit, den Strom möglichst continuirlich abschwächen oder verstärken zu können, da plötzliche grössere Schwankungen in der Stromstärke schmerzerregend, beziehungsweise erschütternd wirken. Bei dem geschilderten Rheostaten ist nur eine Vermehrung des Widerstands in nicht continuirlicher Weise möglich, da jedesmal bei Vermehrung oder Verminderung des Wider-



stands ein Stöpsel ausgezogen und irgendwo anders eingesteckt werden muss. Dabei wird der Strom unterbrochen, eigentlich ein ungemein grosser Widerstand, der der Luftschicht zwischen zwei Blöcken, eingeschaltet.

Um dies zu vermeiden, verwendet man einen vierten Stöpsel, steckt ihn bei der neuen Widerstandszahl ein, was eine Aenderung der Stromstärke nicht bewirkt <sup>4)</sup> — man hat nur eine Doppelverbindung mit dem Mittelstück — und zieht dann den Stöpsel bei der alten Widerstandszahl aus; in diesem Moment tritt dann der neue Widerstand ein. Gewöhnt man sich somit, immer einen vierten irgendwo zur Seite aufbewahrten Stöpsel auf den folgenden oder vorangehenden Block einzusetzen, je nachdem der Widerstand vermehrt oder vermindert werden soll, so kann man das gänzliche Aufhören des Stroms bei Vermehrung oder Verminderung des Widerstands vermeiden.

Nun bleibt aber noch ein Uebelstand: will man z. B. von 29 auf 30 übergehen und dann auf 31, so setzt man den 4ten Stöpsel bei 10 ein, während der erste auf *F*, der zweite auf 20, der dritte auf 9 steht; jetzt wird der letztere ausgezogen und man hat 30 Einheiten. Um auf 31 überzugehen, muss der zweite Stöpsel von 20 auf 30, der dritte von 10 auf 1 gebracht werden, ohne dass der Strom unterbrochen wird. Wie man aber den vierten Stöpsel setzen mag, man wird immer einen Sprung erhalten. Setzt man ihn auf 1, so hat man 21 statt 30, setzt man ihn auf 30, so hat man zunächst 30, nemlich  $20 + 10$ , wenn man aber den bei 20 auszieht, hat man plötzlich 40.

Bei der Hunderterreihe ist es ebenso, beim Uebergang in ein neues Hundert ist ein Sprung von hundert unvermeidlich.

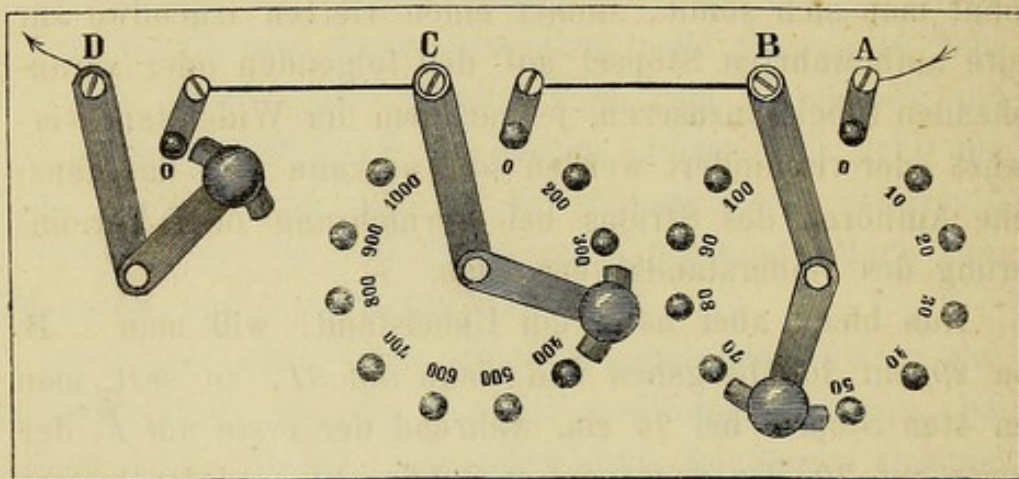
4) Im strengsten Sinn des Worts ändert sich der Strom, wie wir von früher her wissen, weil ihm ein neuer Weg geboten wird, er wird etwas zunehmen, allein der neue Weg hat einen ungemein grossen Widerstand gegenüber dem von Block zu Mittelstück und deswegen ist jene Aenderung ganz zu vernachlässigen.



Renz's  
Rheo-  
stat.

Die Verwendung eines vierten Stöpsels hat zum wenigsten das Unangenehme, dass die Operationen länger dauern. Das Stöpseln an und für sich schon erfordert ziemlich Zeit und Aufmerksamkeit, um nicht an falscher Stelle einzusezen. Es hat deswegen Renz die Kurbel statt der Stöpsel beim Rheostaten eingeführt, und der Mechaniker Fein hat diese Einrichtung ausgeführt. Es ändert sich dabei selbstverständlich an dem ganzen Apparat nur das auf dem Deckel des Kastens befindliche. Die Fig. 16 gibt

Fig. 16.



die Einrichtung bis zu 2110 Einheiten, doch nur die Zehner und Hunderter, die Einrichtung der Einer gibt sich von selbst. Statt der Blöcke hat der Apparat Metallknöpfe, über welche in jedem Kreise eine Kurbel schleift. Tritt der Strom bei *A* ein, so geht er von Metallknopf zu Metallknopf, bis er die Kurbel trifft; dann durch diese nach *B* und zum Metallknopf 0 des nächsten Kreises. Hier geht der Strom weiter von Metallknopf zu Metallknopf wieder zur Kurbel nach *C* und von hier zu einem Metallknopf 0 und durch eine Drahtrolle von 1000 Einheiten zu der dritten Kurbel und von ihr nach *D* und weiter. Es ist also eingeschaltet  $60 + 300 + 1000 = 1360$  Einheiten.

Damit beim Uebergang von 60 zu 70, oder von 300 zu 400 keine Stromöffnung stattfindet, schleift auf den Metallknöpfen ein Metallbogen, der lang genug ist, um den folgenden



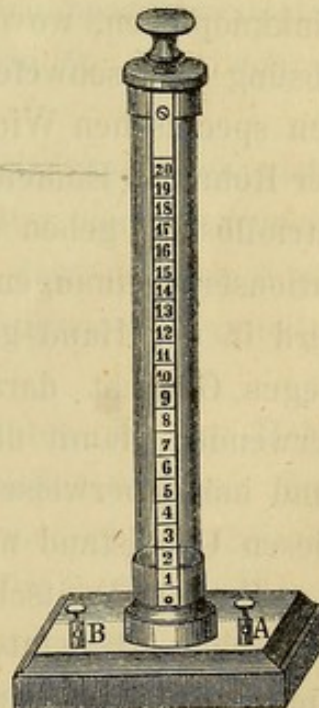
Metallknopf zu berühren, ehe er den vorhergehenden verlässt. Die dritte Kurbel wird auf 0 gestellt, wenn man einen Widerstand kleiner als 1000 haben will. Stehen alle Kurbeln auf Null, so ist ein verschwindend kleiner Widerstand eingeschaltet. Die Operation mit den Kurbeln ist viel bequemer, da die Hand durch die Kurbel selbst auf bestimmtem Wege geführt wird; der Uebelstand bleibt aber auch hier, dass beim Uebergang zu einem neuen Zehner oder Hunderter oder Tausender ein Sprung stattfindet.

Die zweite Art von Rheostaten beruht darauf, dass eine Flüssigkeitssäule von veränderlicher Länge auf dem Stromweg eingeschaltet wird. Fig. 17 zeigt einen solchen Rheostaten, eine aufrecht gestellte Glasröhre unten und oben mit Messingfassung. Durch die obere Fassung geht ein dicker Zinkdraht, der sich an dem Knopfe auf- und abwärts schieben lässt. Die Röhre ist mit Zinkvitriollösung gefüllt und unten durch ein amalgamirtes Zinkplättchen geschlossen.

Flüssig-  
ketts-  
rheo-  
staten.

Das lezte steht mit der Messingsäule *A*, der Knopf mit der Messingsäule *B* in leitender Verbindung. Tritt also der Strom bei *A* ein, so muss er von der Bodenplatte durch die Flüssigkeit zum Zinkdraht gehen, um nach *B* zu gelangen. Die Skala gibt den Abstand der Bodenplatte von dem untern Ende des Zinkdrahts an, also die Länge der Flüssigkeitsschicht, welche der Strom durchsetzen muss. Amalgamirtes Zink und Zinkvitriol wird angewendet, weil dann die Polarisation wegfällt, welche den Strom schwächt (siehe später die Polarisation).

Fig. 17.



Da der specifische Widerstand der Zinkvitriollösung zu 300000 an-



genommen werden kann, so wird bei einem Querschnitt von  $\frac{1}{2}$  Quadrat-Centimeter der Widerstand einer Säule von 1<sup>m</sup> Länge 6000 Einheiten betragen, also der Widerstand einer Säule von 1<sup>mm</sup> Länge 6 Einheiten. Wählt man also eine Glasröhre von  $\frac{1}{2}$ <sup>cm</sup> Querschnitt im Lichten, so ändert jede Hebung oder Senkung des Drahts um ein Millimeter den Widerstand um 6 Einheiten, und eine 20 Centimeter lange Flüssigkeitssäule würde im Ganzen 1200 Einheiten einzuschalten gestatten, bei Verdünnung der Flüssigkeit noch mehr.

Schiel (Deutsches Archiv VII. 298) wendet eine offene thönerne Rinne an und zwei Kupferplatten in Kupfervitriol. Eine Verschiebung von 1<sup>mm</sup> gibt 10 Einheiten, was bei einer Breite der Rinne von 22<sup>mm</sup>, einer Tiefe von 50<sup>mm</sup>, also bei einem Querschnitt von 11<sup>cm</sup> durch passende Verdünnung der Lösung erreicht wird. Die ganze Länge beträgt 600<sup>mm</sup>, so dass im Ganzen 6000 Einheiten eingeschaltet werden können.

Runge (Deutsches Archiv VII. 603) nimmt ein Glasrohr von 5<sup>mm</sup> Querschnitt und 20<sup>cm</sup> Länge, und amalgamirte Zinkknöpfchen, wovon das eine beweglich, in 40 % haltender Lösung von schwefelsaurem Zinkoxyd. Diese Lösung hat den specifischen Widerstand 250000, so dass auf 1<sup>mm</sup> Länge der Röhre 50 Einheiten kommen. Kupferdrähte und Kupfervitriollösung geben nach Runge bei starken Strömen Polarisationserscheinungen. Die Glasröhre hat kein Statif, sie wird in der Hand gehalten oder gelegt. Runge legt deswegen Gewicht darauf einen möglichst dünnen Draht zu verwenden, damit nicht zu viel Flüssigkeit verdrängt wird (und möglicherweise ausfließt). Eine stehende Röhre hätte diesen Uebelstand nicht.

Holst (Deutsches Archiv. XII. 202) wirft dem Brenner'schen Rheostaten vor, dass der Uebergang von den Einern zu den Zehnern und von diesen zu den Hunderten sprungweise geschehe (wir haben oben gesehen, dass dies



beim Uebergang von jedem Zehner zum folgenden und von jedem Hunderter zum folgenden der Fall ist), dass die Handhabung der Stöpsel zu Fehlern Anlass gebe und dass die Umstöpselung viel Zeit erfordere — beides ist durch den Renz-Feinschen Apparat vermieden. Dem Runge'schen Rheostaten wirft er vor, dass der Draht zu leicht verbogen oder zerbrochen werde, da er nur 1<sup>mm</sup> dick sein soll, um nicht soviel Flüssigkeit zu verdrängen. Gegen die Flüssigkeitsrheostaten überhaupt macht er den Einwand geltend, dass durch Verdunstung sich Krystalle am Draht absetzen, welche seine leichte Verschiebung verhindern, dass zugleich die Widerstandsgrösse sich ändere und dass beim Uebergang von der Metallberührung zur Einschaltung der ersten Flüssigkeitsschicht eine zu rasche Aenderung stattfinde, was namentlich die Benützung des Rheostaten in der Nebenschliessung unmöglich mache. Holst construirte daher einen Rheostaten, welcher durch Drehung einer Kurbel von 20 zu 20 Einheiten fortschreitend Widerstände bis 2000 Einheiten einschalten lässt, im Anfang aber einen Fortschritt von 5 zu 5 durch einen besondern Nebenapparat gestattet. Also auch hier Sprünge zuerst von 5 zu 5, dann von 20 zu 20.

Auf diese beim Stöpsel- oder Kurbelrheostaten nicht zu vermeidenden Sprünge werden wir später beim Elementenzähler zurückkommen und dort sehen, dass der mit ihnen verbundene Uebelstand durch Nebenschliessung vermieden werden kann.

Bei den Flüssigkeitsrheostaten könnten die von Holst angeführten Uebelstände dadurch vermieden werden, dass man die Flüssigkeit in der Glasröhre hermetisch verschliesst. Ferner würde es von Vortheil sein, den Draht durch Schraubenbewegung (mit grosser Ganghöhe und zwei- oder dreifachem Gewinde) zu heben und zu senken. Und am besten wohl würde es sein, zwei Säulen zu combiniren, eine mit



sehr verdünnter Lösung, welche zunächst dazu dient, genähert den gewünschten Widerstand einzuschalten, eine zweite mit weniger verdünnter Lösung und mit Schraubebewegung des Drahts, welche kleinere Aenderungen des eingeschalteten Widerstands gestattet.

Anwendung der Rheostaten zur Modification der Stromstärke.

Die Modification der Stromstärke vermittelt des Rheostaten kann auf zweierlei Arten geschehen. Entweder wird der Rheostat direct in die Leitung eingeschaltet, dann wird der Strom vermindert, weil der Gesamtwiderstand vermehrt wird, oder wird der Rheostat als Zweigleitung eingeschaltet. Die erste Methode kann im Allgemeinen dem Therapeuten nicht genügen, weil er einen Rheostaten mit ungemein grossem Widerstand — bis zu 100000 und mehr Einheiten — anwenden müsste. Er hat es ja ohnehin mit grossen Widerständen zu thun: rechnet man etwa 4000 Einheiten und wollte man den durch ein Object von diesem Widerstand gehenden Strom auf ein Zehntel seiner Stärke reduciren, so müsste man den Widerstand auf das Zehnfache bringen, also neben dem schon vorhandenen von 4000 Einheiten noch 36000 weitere einschalten. Man hätte sonach Rheostaten von gar zu grossen Dimensionen nöthig.

Viel vortheilhafter ist es, den Rheostaten als Zweigleitung anzubringen, so dass sich der Strom zwischen Rheostat und Patient theilt. Steht der Rheostat auf Null, so geht nahe der ganze Strom durch ihn, ist die Leitung unterbrochen, so geht der ganze Strom durch den Patienten. Zwischen hinein sind eine Reihe von Modificationen möglich, die sich nach den frühern Sätzen über Zweigleitung berechnen lassen.

Man nehme beispielsweise 30 Siemens'sche Elemente ungleichnamig verbunden und lasse den Strom durch ein Object von 4000 Einheiten Widerstand gehen. Somit wäre die Stromstärke



$$\frac{30 \cdot 12}{30 \cdot 5 + 4000} = 0,087$$

da die elektromotorische Kraft eines Elements (siehe später) 12, der Widerstand 5 beträgt. Wird als Zweigleitung ein Rheostat eingeschaltet, welcher Einer, Zehner und Hunderter gibt, so hat man nach der früher angegebenen Rechnungsweise:

Rheostat:	0	Stromstärke:	0,0000	in Procenten der	0
	10		0,0056	grösstmöglichen:	6
	50		0,0223		26
	100		0,0355		41
	500		0,0673		78
	1000		0,0758		87
	1500		0,0791		91
	2000		0,0809		93
ohne Zweigleitung			0,0868		100

Dieses Beispiel zeigt deutlich, dass ein Rheostat mit Einern, Zehnern und Hunderten vollständig genügt, um als Zweigleitung den durch ein Object mit grossem Widerstand gehenden Strom ganz allmählig von Null auf die Höhe zu bringen, die überhaupt mit der gegebenen Batterie möglich ist zu erreichen. Bei den Einern steigt der Strom vom einen Einer zum folgenden um etwas mehr als  $\frac{1}{2}$  Procent der grössten mit der Batterie erreichbaren Stromstärke, bei den Zehnern vom einen zum folgenden um etwa 4 Procent, bei den Hunderten ebenso um 4 Procent, von 1000 auf 2000 um 6 Procent und dann noch beim Ausschalten des Rheostaten um 7 Procent.

Es scheint sonach, dass unter gewöhnlichen Umständen ein Kurbelrheostat mit Einern, Zehnern und Hunderten vollkommen genügt, wenn er als Zweigleitung eingeschaltet ist. Will man allmählig den richtigen Strom finden, so benütze man eine für sich allein zu grosse Zahl von Elementen, und schalte den



Rheostaten in der Zweigleitung mit einer zu kleinen Zahl ein, dann wird man durch weitere Einschaltung mit dem Rheostaten stets das Richtige erhalten. Sollte man über die Grösse des Stroms gar keinen Anhaltspunkt haben, so benütze man alle Elemente und schalte zunächst als Zweigleitung gar keinen Widerstand ein. (Siehe auch Anmerkung 4.)

Eine vollständige Erschöpfung dieses Gegenstands wird erst später bei Gelegenheit des Elementenzählers möglich sein. Vorerst scheint aber das Bisherige klar zu machen, dass die Sprünge der Zehner und Hunderter praktisch nicht den Nachtheil bringen, der theoretisch zu erwarten wäre, wenigstens unter unserer Voraussetzung nicht, dass der Widerstand im durchströmten Object mehrere tausend Einheiten beträgt.

---

## Zweites Kapitel.

### Electricitätsmenge.

Def-  
nition.

Die Electricitätsmenge, die zu einer bestimmten Wirkung dienen soll, wird bei der Reibungs-Electricität durch mechanische Arbeit hervorgebracht, bei der Berührungs-Electricität ist es nach der einen Ansicht der unmittelbare Contact verschiedener Körper, insbesondere verschiedener Metalle, nach der andern die chemische Wirkung von Flüssigkeiten auf Metalle, welche dieselbe producirt. Im ersten Fall hängt die Menge ab von der Grösse der aufgewendeten Arbeit, bei der gewöhnlichen Electrisirmaschine von der Zahl der Umdrehungen der Scheibe und von der Grösse des Drucks des Reibzeugs auf die Scheibe, bei der Influenzmaschine von dem Kraftaufwand, der nöthig ist, um die bewegliche Scheibe zu drehen, trotzdem dass sie von der



festen mit entgegengesetzter Electricität geladenen angezogen wird. Im zweiten Fall erzeugt sich immer eine bestimmte Menge Electricität, die auch beim Ableiten gleich bleibt, da die abgehende sogleich wieder ersetzt wird. Diese Menge Electricität oder die Spannung des galvanischen Elements ist bloß abhängig von dem Stoff der verwendeten Materialien, nicht von der Grösse und Form.

Die Bestimmung der durch Reiben erzeugten Electricitätsmenge geschieht, wenn sie klein ist, mit dem Elektroskop oder der elektrischen Drehwage, wenn gross, mit der Maasflasche. Die Art und Weise dieser Bestimmung ist in jedem Lehrbuch der Physik zu finden und kann hier um so mehr übergangen werden, da sie für den Therapeuten von keinem besondern Werth zu sein scheint.

Dagegen ist uns hier von grösstem Interesse, die Electricitätsmenge kennen zu lernen, welche beim galvanischen und Inductionsstrom Arbeit leistet. Es wird sich darum handeln, einmal im Allgemeinen eine genauere Vorstellung zu erhalten von dem Zusammenhang zwischen Stromstärke, Electricitätsmenge und Widerstand, und dann die Methoden kennen zu lernen, welche die Electricitätsmenge zu messen erlauben.

Die Menge Electricität, welche in der Sekunde durch den Querschnitt der Leitung geht, ist ein Maas für die Stromstärke. Dass auf dem ganzen Weg, den die Electricität zurücklegt, durch jeden Querschnitt in gleichen Zeiten gleich viel Electricität geht, ergibt sich aus der Erfahrungsthatsache, dass bei fortdauerndem Strom die Stärke längs der ganzen Leitung gleich ist. Es ist ganz gleichgiltig, wo man auf dem Stromweg eine Tangentenboussole, ein Galvanometer, einen Wasserzerseungsapparat anbringt, die Ablenkung der Magnetnadel, die Menge zersezten Wassers ist überall dieselbe. Und es ist auch klar, dass nur ein gleichmässig fortdauernder Strom möglich ist, wenn durch



jeden Querschnitt der Leitung in gleicher Zeit gleichviel Electricität geht, es fände ja sonst Stauung oder Abnahme der Electricität statt, also verändertes Abströmen.

Kehren wir wieder zu unserm Vergleich mit einem Wasserkanal zurück, der überall gleichen Querschnitt und gleiches Gefäll hat: die Wassermenge, welche in einer Sekunde durch irgend einen Querschnitt fließt, ist ein Maas für die Arbeit, welche das Wasser leisten kann. Das in der Sekunde durch einen bestimmten Querschnitt gelaufene Wasser reicht in dem Canal, wenn es durch jenen Querschnitt ganz durchgelaufen ist, also die letzten Theile noch an diesen anstossen, bis zu einem andern Querschnitt im Canal, bis zu welchem die zuerst durch den ersten Querschnitt gegangenen Wassertheilchen gekommen sind. Die Länge des Canals zwischen beiden Querschnitten ist die Geschwindigkeit des Wassers, denn es ist ja der Weg, den die Wassertheilchen in einer Sekunde zurücklegen.

Messen wir ab, wieviel Wasser auf die Länge eines Meters des Canals kommt, so haben wir ein Maass für die Wasserfülle desselben, aber nicht für seine Arbeit, denn es kommt darauf an, mit welcher Geschwindigkeit sich jene Wassermenge bewegt. Multipliciren wir aber jene Wasserfülle mit der Geschwindigkeit, so haben wir die Wassermenge, die in jeder Sekunde zu Gebot steht, d. h. die Arbeitsfähigkeit des im Canal fließenden Wassers.

Führen wir den Vergleich mit dem galvanischen Strom durch: was wir Wasserfülle genannt haben, ist die electromotorische Kraft, die besser den Namen Electricitätsmenge führen würde. Elektromotorische Kraft ist die unbekannte Ursache, welche an der Berührungsstelle zweier Metalle oder eines Metalls und einer Flüssigkeit die abströmende Electricität augenblicklich wieder ersetzt, und somit längs der Leitung eine bestimmte Electricitätsmenge, z. B. für jedes Meter der Länge der Leitung, liefert. Was



die Electricität liefert, kann uns gleichgiltig sein: Hauptsache ist, wieviel geliefert wird. Also bleiben wir bei der concreten Bezeichnung Electricitätsmenge statt des Abstractums electromotorische Kraft.

Die Stromstärke ist die Arbeitsfähigkeit des Stroms, sie ist also gleich der Electricitätsmenge multiplicirt mit einer Geschwindigkeit, und somit wäre, weil nach dem Ohm'schen Geseze die Stromstärke gleich der electromotorischen Kraft dividirt durch den Widerstand ist, der umgekehrte Werth des Widerstands nichts anders, als eine Geschwindigkeit. Alles das stimmt mit unsern bisherigen Anschauungen, insbesondere mit der schon auf der ersten Seite gemachten Bemerkung, dass das Wasser eine desto grössere Geschwindigkeit hat, je kleiner der Widerstand ist.

Den umgekehrten Werth des Widerstandes nennt man auch Leitungsfähigkeit, besser würde man also sagen: Geschwindigkeit der Electricität in dem betreffenden Stoff, und somit würde das Ohm'sche Gesez lauten: die Arbeit, welche der Strom leisten kann, ist gleich der Electricitätsmenge multiplicirt mit ihrer Geschwindigkeit. Sicher würde durch eine derartige Bezeichnung mehr Klarheit in die Anschauung der verschiedenen Wirkungen des galvanischen Stroms kommen; denn sie würde an Begriffe anknüpfen, welche sich bei Betrachtung jedes Bachs aufdrängen und darum Jedermann geläufig sind. (siehe Anm. 5.)

Um aber keinen Zweifel übrig zu lassen, müssen wir noch auf unsere graphische Darstellung des Stroms zurückkommen. Die Ordinate in irgend einem Punkte, hat es dort geheissen, stelle die in dem betreffenden Punkte angesammelte Electricitätsmenge vor oder die Spannung der Electricität an dieser Stelle. Vermöge dieser Spannung strömt die Electricität ab nach der Seite, wo die Spannung kleiner ist, wird aber vermöge der electromotorischen Kraft sogleich wieder ersetzt. Das, was auf die Längeneinheit ab-



strömt, ist nach der obigen Erklärung die Electricitätsmenge, die mit der Geschwindigkeit multiplicirt die Stromstärke gibt. Diese Electricitätsmenge kann die graphische Darstellung nicht geben, da sie in Bewegung begriffen ist, sondern nur die Spannung, die stationär bleibt; aber insofern liegt sie auch in der Zeichnung, als sie proportional dem Unterschied der grössten und kleinsten Spannung ist.

Dass die Begriffe der Stromstärke und des Widerstands nicht immer scharf aufgefasst werden, dafür zeugen verschiedene Stellen medicinischer Schriftsteller, von denen einige wenigstens angeführt werden sollen.

In dem sonst mit grosser Sachkenntniss geschriebenen Werke von Rosenthal (Electricitätslehre für Mediciner, 2. Auflage) findet sich doch der Satz: »Schliessen wir die Kette, so werden die beiden Electricitäten sich durch den Schliessungsbogen mit um so grösserer Geschwindigkeit bewegen, je grösser die electromotorische Kraft ist.« Die electromotorische Kraft ist blos abhängig von dem Material der Batterie, die Geschwindigkeit mit der sich die in der Batterie bildende Electricität abfließt, nur von der Art des Wegs der Leitung, Stoff, Querschnitt und Länge desselben.

Wenn Benedikt (pag. 11) die electromotorische Kraft eine lebendige Kraft nennt, so ist das unrichtig. Die Stromstärke ist äquivalent mit einer Arbeit oder einer lebendigen Kraft, also das Verhältniss der electromotorischen Kraft zum Widerstand. Ganz unverständlich für den Physiker ist aber die Theilung der Arbeit, welche die electromotorische Kraft leisten könne, in eine mechanische und eine dynamische, in Spannung und Quantität. Jene soll den Leitungswiderstand überwinden, diese lenke die Magnetnadel ab, mache Eisen magnetisch und erzeuge Wärme. Die unrichtige, unklare Deutung des Ohm'schen Gesezes führt folgerichtig zu ganz zu verwerfenden Behauptungen, wie die, dass dieselbe Metallfläche einmal in einem Elemente, ein anderesmal in zwanzig Elementen von  $\frac{1}{20}$  Oberfläche gleiche electromotorische Kraft gebe (pag. 16), und dass 20 Elemente nur den 400sten Theil der Electrolyse jenes einen geben. Ein solch haltloses Raisonement muss verwirren, es können dann Sätze vorkommen, wie: »ein Wasserrheostat kann eine Batterie von 40 Elementen nicht auf die Stärke von 20 herabbringen« (pag. 14); oder: »die Nebenschliessung hat für den Praktiker keine Bedeutung« (pag. 16), und: »die Stromstärke ist proportional der Grösse der electromotorischen Flächen.«

Wenn Dr. Althaus sagt: (pag. 15) »die Menge der Electricität, welche entsteht, hängt von der Spannung der electromotorischen



Kraft und der Oberfläche der Batterie ab; aber es ist ein Unterschied zwischen der Menge der Electricität, die entsteht, und der Menge Electricität, welche in einem gewissen Zeitraum durch den Schliessungsbogen strömt. Die Menge der strömenden Electricität hängt auch vom Leitungswiderstand ab und von der Spannung, mit welcher sie durch den Schliessungsbogen getrieben wird«, so ist abermals Electricitätsmenge und Widerstand nicht klar geschieden. Jedenfalls ist die Menge der entstehenden Electricität unabhängig von der Oberfläche; der zweite Satz ist richtig, wenn unter »Menge strömender Electricität« die in der Sekunde durch einen Querschnitt strömende Electricität oder die Stromstärke verstanden ist. Auch die folgenden Sätze: »Man kann eine beträchtliche Menge Electricität von einem einzigen Plattenpaare ansammeln, wenn der Schliessungsbogen wenig Widerstand darbietet; sowie aber der Widerstand im Schliessungsbogen sich vermehrt, so kann man viel weniger Electricität sammeln, wenn man nicht im Verhältniss auch den Widerstand des electromotorischen Apparates selbst erhöht. Dies geschieht, wenn man die Zahl der Elemente vermehrt. Je grösser die Zahl der Elemente, desto leichter wird der Strom einen gegebenen Widerstand überwinden können.« können nicht als Ausdruck richtiger physikalischer Anschauung gelten. Auf den letzten Satz ist zu entgegnen, dass jeder Strom jeden Widerstand überwinden kann, oder besser gesagt: jedes Element, jede Batterie kann jeden Widerstand überwinden, aber es kann nicht jede Arbeit leisten. Die Electricität, welche ein Element gibt, kann selbst in einem meilenlangen Kabel strömen, allerdings aber sehr langsam, so dass in der Zeiteinheit sehr wenig ankommt, also auch nur kleine Arbeit geleistet, höchstens eine leicht drehbare Nadel abgelenkt werden kann; aber ein Strom ist immer da, selbst wenn seitlich wegen nicht vollkommener Isolirung Electricität verloren geht. Nimmt man mehr Elemente, so erhält man eine grössere Electricitätsmenge und deswegen steigt die Stromstärke, selbst wenn die Geschwindigkeit in der Leitung gleich bleibt. Der obige Satz sollte also lauten: desto leichter wird der Strom bei gegebenem Widerstand eine bestimmte Arbeit leisten können. Aber auch hier gibt es eine Grenze: mit der Vermehrung der Elemente steigt auch der Widerstand, schliesslich wird also die Vermehrung der strömenden Electricität nicht mehr helfen, weil zugleich in Folge des grössern Widerstands ihre Geschwindigkeit abnimmt, und weil, wie wir wissen, die Stromstärke oder die Arbeitsfähigkeit des Stroms gleich dem Produkt aus Electricitätsmenge und deren Geschwindigkeit ist. Näheres hierüber siehe bei der Combination der Elemente.

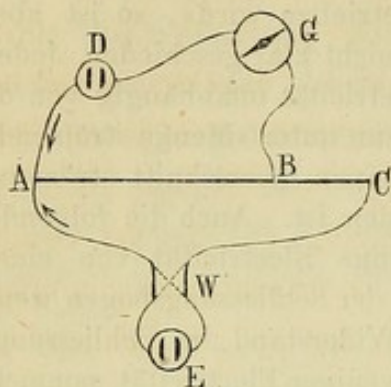
Zur Messung der Electricitätsmenge, welche ein galvanisches Element gibt, kann man die Wheatstone'sche

Messung  
der Elec-  
tricitäts-  
menge.



Brücke anwenden (siehe pag. 8.), oder einen compendiöseren Apparat von du Bois-Reymond, der den Platindraht nicht

Fig. 18.



ausspannt, sondern in einen Kreisring biegt. Die Methode ergibt sich zunächst am einfachsten aus einem Schema der Drahtverbindung (Fig. 18.). Zwischen *A* und *C* ist der Platindraht ausgespannt. Von *A* und *C* gehen Leitungsdrähte zu einem Stromwechsler *W* und von da zu einem galvanischen

Element *E* von möglichst constanter Wirkung, dessen electromotorische Kraft als Einheit für die Messung dient. Von *A* aus geht noch ein Draht zu dem Elemente *D*, dessen electromotorische Kraft zu untersuchen ist, dann zu einem empfindlichen Galvanoskop *G* und endlich zurück zu einem Punkte *B*.

Es ist nun unter zwei Voraussetzungen immer möglich, den Punkt *B* so zu wählen, dass das Galvanoskop keinen Ausschlag gibt: die erste Voraussetzung ist, dass die electromotorische Kraft von *D* kleiner sei, als die von *E*; die zweite, die jederzeit mittelst des Stromwechslers *W* erreicht werden kann, ist die, dass der Strom von *E* und der von *D* beide gegen *A* oder beide von *A* weg gerichtet seien. Dann ist es möglich, dass ein Theil des stärkern Stroms von *E* aus den von *D* ausgehenden entgegengesetzten Strom gerade aufhebt, also das Galvanoskop keinen Ausschlag gibt; und dann ist die Länge *AB* ein Maas für die electromotorische Kraft von *D*.

Ist der vom Galvanoskop ausgehende Draht richtig angelegt, so dass jenes keinen Ausschlag gibt, so ist der Vorgang derselbe, wie wenn der Weg *ADGB* nicht vorhanden wäre, also die Stromstärke auf dem übrigen Weg *AECBA*



gleich der electromotorischen Kraft  $E$  dividirt durch den Gesamtwiderstand  $W$  auf diesem Weg.

Denkt man sich aber den Weg  $ADGB$  wieder angesetzt, so kann man die Sache auch so betrachten: der von  $E$  kommende Strom würde nun steigen, weil ihm von  $A$  nach  $B$  zwei Wege möglich sind, also der Widerstand kleiner ist, er würde abnehmen, weil der Strom von  $D$  aus ihm entgegenkommt. Die Zunahme muss gleich der Abnahme sein, weil wir wissen, dass der Strom zu Stande kommt, wie wenn  $ADGB$  nicht da wäre, d. h. das neu angefügte Stromstück  $ADGB$  ändert nichts an dem Strom im andern Stück, der Strom dort verläuft also, wie wenn das letzte Stück nicht da wäre. Und nun ergibt sich einfach eine Beziehung zwischen  $D$  und  $E$ .

Der auf dem Weg  $EABCE$  wirkende Strom  $S$  ist derselbe, wie wenn sonst nichts da wäre; er theilt sich aber, wenn  $ADGB$  angesetzt wird, im umgekehrten Verhältniss der Widerstände längs  $AB$  und längs  $ADGB$ . Der Zweigstrom gegen  $D$  ergibt sich also aus  $S$ , wenn man mit dem Widerstand  $V$  längs  $AB$  multiplicirt und mit dem Gesamtwiderstand  $U$  längs  $ABGDA$  dividirt. Dieser Zweigstrom ist aber gleich dem von  $D$  entgegenkommenden Strom, welcher nach dem obigen sich entwickelt, als ob  $AECB$  nicht da wäre, welcher also gleich  $D$  dividirt durch  $U$  ist. Somit hat man das Resultat: wenn man  $S$  mit  $V$  multiplicirt und mit  $U$  dividirt, erhält man dasselbe wie wenn man  $D$  mit  $U$  dividirt. Lassen wir die Division mit  $U$  beiderseits weg, so heisst dies:  $S$  mit  $V$  multiplicirt gibt  $D$ .

Sorgt man dafür, dass auf der Strecke  $AECBA$  der Widerstand gleich und dass das galvanische Element  $E$  sehr constant bleibt, so hat bei allen Versuchen  $S$  denselben Werth, also ist  $V$  ein Maas von  $D$ , und, da  $AB$  ein überall gleich dicker Draht ist, auch die Länge  $AB$

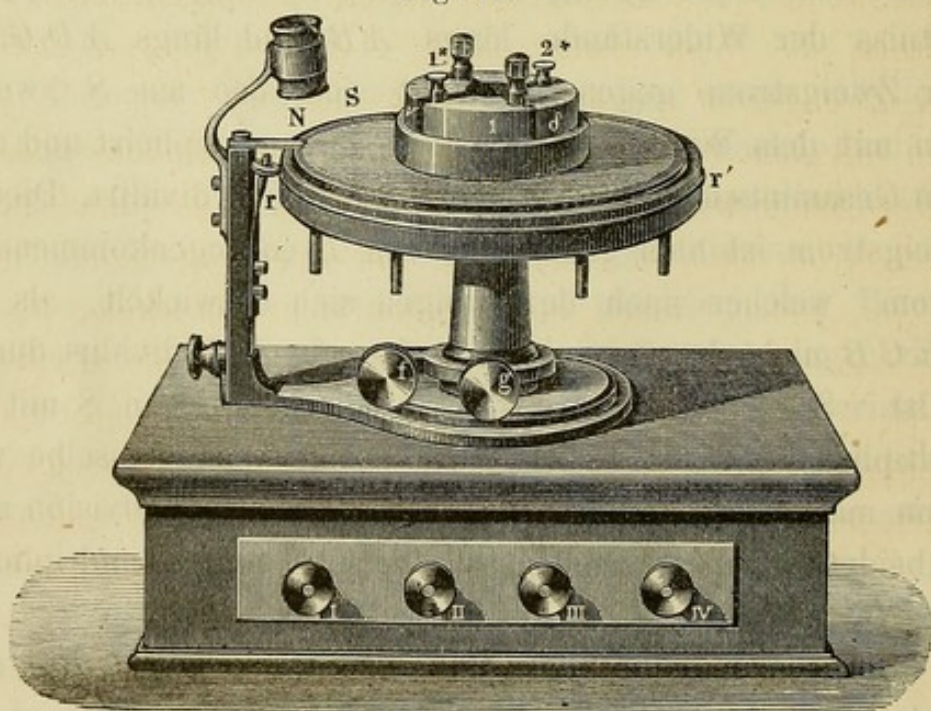


ein Maas von  $D$ . Bringt man also längs des ausgespannten Drahts eine Theilung an, so kann man den Werth der electromotorischen Kraft unmittelbar ablesen, sowie man durch richtige Wahl von  $B$  das Galvanoskop zur Ruhe gebracht hat. (siehe Anm. '6.)

Bezeichnet man den Gesamtwiderstand längs des Wegs  $ABCEA$  mit  $W$ , so ist die Stromstärke  $S = \frac{E}{W}$ , und es wäre somit  $\frac{E}{W} = \frac{D}{V}$ , oder die zwei electromotorischen Kräfte verhalten sich wie der Widerstand längs  $AB$  zum Widerstand längs des Wegs  $ABCEA$  (also den Widerstand des Elements  $E$  eingeschlossen). Daraus folgt, dass man  $E$  immer grösser als  $D$  wählen muss, weil nothwendig  $W$  grösser ist als  $V$ . Das schwächere Element muss also in  $D$  angebracht werden. Hat man kein starkes Element (Grove oder Bunsen), so kann man bei  $E$  mehrere Elemente ungleichnamig verbunden anwenden.

Du Bois-Reymond hat das zur Messung nöthige Instrument in die Form der Fig. 19 gebracht. Der Platindraht

Fig. 19.



ist in Kreisform gewunden am Rand der Scheibe  $S$ , bei  $r'$  ist der Anfangspunkt. Der Index  $N$  mit der kleinen Platinrolle  $r$  ist im Kreise drehbar, so dass  $r$  beständig auf dem



Platindrahte rollt. Mit dem Mikroskop über *N* wird die Stellung des Index abgelesen. Die Schrauben *g* und *f* dienen zur Feststellung des Index und zu mikrometrischer Bewegung desselben. Die Schrauben *I* und *II* nehmen die Leitungen vom stärkern, *III* und *IV* vom schwächern electromotorischen Apparat auf. Oben auf der Kreisscheibe sitzt ein Stöpselstromwechsler.

Wer viel mit Bestimmung von Widerständen zu thun hat, wird für *AC* in Fig. 18 einfach die Wheatstone'sche Brücke verwenden. Aber auch wenn der Apparat Fig. 4 nicht zur Disposition steht, kann man mit hinlänglicher Genauigkeit die Versuche ausführen, wenn man einen Metermaasstab auf den Tisch oder an die Wand schraubt und darüber einen Platindraht zwischen zwei am Anfang und Ende des Meters angebrachten Messingsäulen ausspannt. Den vom Galvanometer herkommenden Draht führt man mit der Hand längs des Platindrahts, bis der Ausschlag des Galvanometers Null ist, und liest dann die Lage des Berührungspunkts auf dem Maasstab ab.

Zahlen, die man auf diese Weise für die electromotorische Kraft von galvanischen Elementen findet, können nur Durchschnittszahlen sein, weil die electromotorische Kraft wesentlich von der Beschaffenheit der Oberfläche der Platten und von der Stärke der Säuren abhängt. Streng genommen müsste man jedes galvanische Element nach seiner Individualität untersuchen. Handelt es sich jedoch um nicht grosse Genauigkeit, so darf man folgende Zahlen anwenden:

Grove	Bunsen	Betz	Leclanché	Daniell	Siemens	Meidinger
21	21	17	16	12	12	11

wobei die Einheit so gewählt ist, dass die Zahlen die Anzahl Cubikcentimeter zeretzten Wassers in der Minute geben, wenn der Gesamtwiderstand der Stromleitung eine Siemens'sche Einheit beträgt, in gleichem Verhältniss mehr oder weniger, wenn der Widerstand kleiner ist oder grösser.



## Drittes Kapitel.

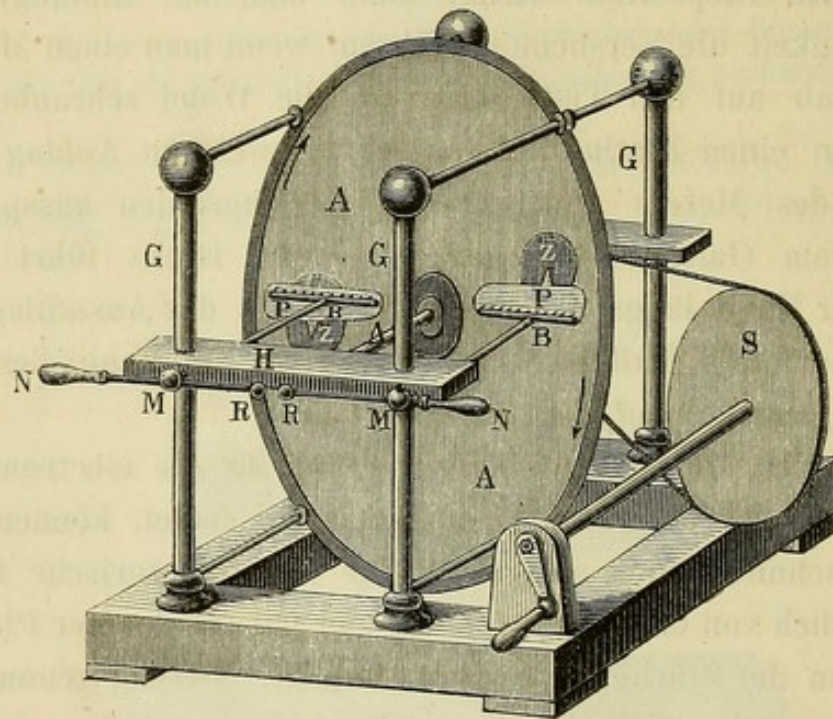
## Apparate zur Erzeugung der Electricität.

## 1. Reibungselectricität.

Art der  
Erzeu-  
gung.

Die gewöhnliche Electrisirmaschine erzeugt Electricität durch Arbeit. In Folge der Reibung der Glasscheibe an dem Reibzeug wird ausser der Electricität auch Wärme

Fig. 20.



erzeugt, welche unbenützt bleibt. Die Influenzmaschine dient dazu, eine kleine Menge durch Reibung erzeugter Electricität in beliebigem Maasse zu vermehren. Die Arbeit besteht hier darin, zwei entgegengesetzt geladene Platten, die sich deswegen anziehen, gegen einander zu verschieben. Weil die Platten sich nicht berühren, so wird keine Wärme erzeugt, es geht keine Arbeit verloren, welche darauf verwendet würde. Das ist der grosse Vorzug der Influenzmaschine.



Eine Anschauung der Influenzmaschine in ihrer einfachsten Form, wie sie Holtz zuerst ausgeführt hat, soll die Figur 20 geben. Eine um die Axe *A* drehbare Glasscheibe mit Schellakfirniss überzogen wird durch eine Kurbel vermittelt eines über die Scheibe *S* gehenden Schnurlaufs in rasche Rotation versetzt. Hinter ihr befindet sich eine feste Glasscheibe, ebenfalls mit Schellakfirniss überzogen, etwas grösser, mit zwei diametral gegenüberliegenden kreisförmigen Ausschnitten *Z*. An der Rückseite der festen Scheibe befinden sich ebenfalls diametral gegenüber zwei Papierbelegungen *P*, welche mit einer Spitze in die Kreisausschnitte hereinragen, und so die vordere bewegliche Scheibe von hinten nahezu berühren. Die Spitzen stehen entgegen der Drehungsrichtung der beweglichen Scheibe, die durch Pfeile angedeutet ist. Vor der beweglichen Scheibe, den Papierbelegungen gegenüber, befinden sich zwei Spizenkämme *B*, welche nach vorn durch ein Stück Hartkautschuk *H* hindurchgehen zu den Messingkugeln *M*, durch welche die Stäbe mit den isolirenden Handhaben *N* und den Entladungskugeln *R* hindurchgehen. Die Glassäulen *G* und ihre horizontalen Verbindungsstäbe dienen zum Festhalten der festen Scheibe.

Wenn auch eine vollständige Theorie der Influenzmaschine noch nicht möglich ist, so sind doch alle Thatsachen bekannt, welche ihre Wirksamkeit begleiten. Theilt man einer Papierbelegung *P* etwas Electricität mit, indem man ein geriebenes Stück Kautschuk ihm nähert oder es damit berührt, so wird der gegenüberliegende Spizenkamm *B* entgegengesetzt elektrisch, und gleichnamige Electricität fliesst gegen die Kugeln *M* und *R* ab. Nehmen wir an, die Papierbelegung rechts werde positiv elektrisch gemacht, so wird nach *R* positive Electricität strömen. Die bewegliche Scheibe selbst wird negativ elektrisch und nimmt diese Electricität bei der Drehung mit, so dass, da jede folgende



an der Papierbelegung vorbeigehende Stelle wieder negativ wird, die ganze untere Hälfte der beweglichen Scheibe negativ ist. Diese negative Electricität ist gebunden durch die entgegengesetzte der festen Scheibe, welche durch Vertheilung sich bildet. Kommt aber ein Theil der beweglichen Scheibe vor den Kreisausschnitt links, so ist ihre negative Electricität nicht mehr gebunden, sie geht durch die Spitze zur Papierbelegung *P* links und macht diese negativ. Zugleich geht die negative Electricität des Spizenkamms links zur Kugel *R* links, und die bewegliche Scheibe wird jetzt durch Influenz positiv. Ebenso werden alle folgenden Theile derselben Scheibe positiv, so dass die obere Hälfte der Scheibe positiv ist.

Die bei der Papierbelegung *P* rechts ankommenden Theile der beweglichen Scheibe geben nun bei dem Ausschnitt wieder ihre positive Electricität an *P* ab und vermehren deren positive Electricität u. s. w. Es wird also beständig durch die bewegliche Scheibe durch Influenz erzeugte negative Electricität nach links von einer Papierbelegung zur andern geführt, und positive nach rechts. Eine äquivalente Menge negativer und positiver Electricität aber wird beständig den Kugeln *R* zugeführt, so dass auf dem Wege von einer Kugel *R* zur andern, sei es durch die Luft, sei es durch eine sonstige Leitung, beständig ein Austausch von Electricität stattfindet, desto mehr, je rascher die Scheibe gedreht wird, da dann die abgehende Electricität um so rascher ersetzt wird.

Im Allgemeinen wird bei jeder Umdrehung sowohl der gewöhnlichen Electrisirmaschine, als der Influenzmaschine eine bestimmte Menge Electricität erzeugt werden, welche bei jener dem Conductor, bei dieser den zwei Entladungskugeln zuströmt. Bei der Reibungsmaschine wird in der Regel die negative Electricität des Reibzeugs zum Boden abgeleitet, also einfach verloren. Entladungen können in



zweierlei Weise stattfinden, durch direkte Berührung oder durch Funkenentziehen.

Bei direkter Berührung, wenn auch mit einem verhältnissmässig schlechten Leiter, wie dem menschlichen Körper, geht in unmessbar kurzer Zeit alle angehäuften Electricität verloren. Dreht man die Maschine fortwährend, so wird immer wieder neue Electricität zugeführt und abgeleitet, es entsteht ein Strom. Es wird z. B. das zu durchströmende Objekt einerseits mit dem Conduktor, andererseits mit dem Reibzeug oder auch mit dem Boden in Verbindung gesetzt, wenn es sich um die Reibungsmaschine handelt; oder auf der einen Seite mit der einen, auf der andern mit der zweiten Entladungskugel der Influenzmaschine. Eine merkliche Wirkung in physiologischer Beziehung kann dieser Strom kaum ausüben, er ist so schwach, dass schon empfindliche Apparate nöthig sind, um ihn überhaupt sichtbar zu machen.

Entladung  
bei  
direkter  
Berührung.

Die leicht bewegliche astatiche Nadel eines Galvanometers gab für den Strom einer Influenzmaschine bei etwa einer Umdrehung in 2 Sekunden  $65^{\circ}$  Ablenkung. Die Zahl der Windungen betrug 3000, ihr Gesamtwiderstand nahe 1000 S. E. Dieselbe Ablenkung gab ein Meidinger Element, wenn der Widerstand 21000 eingeschaltet war. Die von der Influenzmaschine hervorgebrachte Stromstärke war sonach

$$\frac{11}{21000} = 0,0005$$

etwa 200mal so schwach, als der durch den menschlichen Körper gehende von 30 Meidinger Elementen.

Nach Buff würde der Strom, welcher in einer Minute  $1^{\text{mgr}}$  Wasser zersetzt, (zwei Leclanché zersetzen in einer Minute etwa  $\frac{1}{3}^{\text{mgr}}$ ) genügen, um eine Leydner Flasche von 1 Quadratmeter Belegung 190mal so zu laden, dass ihre Schlagweite  $100^{\text{mm}}$  beträgt. Selbst bei den grössten Electrisirmaschinen wären also Tausende von Umdrehungen nöthig,



um eine ähnliche Electricitätsmenge zu liefern. Darum ist klar, dass man die Electrisirmaschine nicht zu einem continuirlichen Strome benützen wird: das galvanische Element wird in dieser Richtung stets den Vorzug verdienen, um so mehr, als es ohne mechanische Arbeit seine Dienste thut.

Entla-  
dung  
durch  
Funken.

Anders gestaltet sich die Sache bei der Entladung durch Funkenentziehen, also auf bestimmte Entfernung. Wird dem Conduktor der Reibungsmaschine ein Leiter gegenüber gestellt, so wird in diesem, wenn er abgeleitet ist, die entgegengesetzte Electricität gebunden, die gleiche abgestossen. Die Menge der gebundenen wächst mit der der zugeleiteten, bis schliesslich die Spannung so gross wird, dass der Funke überspringt. Bei der Influenzmaschine wird der Leiter, der den Funken aufnehmen soll, mit der einen Entladungskugel in direkte Berührung gebracht und ladet sich mit ihrer Electricität, ein anderer Theil des Leiters wird in die Nähe der zweiten Entladungskugel gebracht, und wieder Electricität zugeleitet, bis die Spannung gross genug ist, um den Widerstand der Luftschicht zwischen Leiter und Entladungskugel zu überwinden. In beiden Fällen häuft sich die Electricität auf der Oberfläche an und gleicht sich dann aus, die Wirkung wird also auch ganz auf die Oberfläche beschränkt sein. Das Zuführen der Electricität, bis die Spannung gross genug ist, wird nach dem Vorhergehenden von keinem Einfluss sein.

Nach Versuchen von R i e s ist die Wärmemenge, welche die Entladung der Electricität gibt, proportional dem Quadrat der Electricitätsmenge und umgekehrt proportional der Entladungszeit. Die Electricitätsmenge dividirt durch die Zeitdauer gibt aber die in der Sekunde durchgehende Electricität oder nach galvanischem Maasse die Stromstärke. Also ist jene Wärmemenge auch proportional dem Quadrat der Stromstärke und proportional der Zeit, wie L e n z und J o u l e das Gesez für den galvanischen Strom gefunden



haben. Auch hier zeigt sich die Uebereinstimmung der beiden Arten von Electricität: die Wärmeeffekte folgen genau demselben Geseze.

Nun ist die Einwirkung der Electricität auf den thierischen Körper, als mechanische Arbeit, vom rein physikalischen Standpunkt aus, der unter andern Umständen entwickelten Wärmemenge äquivalent zu betrachten, folglich auch dem Quadrat der Electricitätsmenge direkt, der Zeit der Entladung umgekehrt proportional zu betrachten. Daraus folgt, dass, da mit der Schlagweite die Electricitätsmenge wächst, die Wirkung des Funkens auf den thierischen Körper dem Quadrat der Schlagweite proportional ist, wenn die Entladungszeit dieselbe bleibt. Nun hat aber Feddersen gefunden, dass die Entladungszeit mit der Schlagweite zunimmt, doch nicht gleich rasch. Also ergäbe sich schliesslich, dass die Wirkung schneller zunimmt als die Schlagweite, aber nicht ihrem Quadrat proportional.

Nach Feddersen ist die Schlagweite

1,25	3,75	6,75	10,0
Millimeter mit der Zeitdauer			

40	75	100	143
Milliontel Sekunden verknüpft. Die Wirkung wäre also proportional dem Quadrat der obern Zahl, dividirt durch die untere, folglich durch die Zahlen			

39	188	456	699
vorgestellt, oder in abgerundeten übersichtlichen Zahlen ausgedrückt, wenn die Schlagweite auf das 3, 5 und 8fache steigt, wird die Wirkung 5, 12 und 18mal so gross.			

Das gilt vom physikalischen Standpunkt aus, wird wohl auch von chemischen Aenderungen gelten, von Verbrennungen u. s. w.; schwerlich aber von den Einwirkungen auf Nerven und Muskeln. Denn hier ist, wie der Inductionsstrom zeigt, das rasche Ausgleichen der Electricität das vor Allem Wirksame, also kleine Zeitdauer bei grosser durchgehender Elec-



tricitätsmenge. Es scheint sonach, dass die Wirkung auf die Nerven nicht so rasch zunehmen werde, als die obigen Zahlen sagen, doch existiren darüber bisher keine Versuche. Aber um so wahrscheinlicher wird es sein, dass die Funkenentladung sich in ihrer Wirkung wesentlich auf die Oberfläche beschränkt und hier mit der Schlagweite rasch zunehmende mechanische und chemische Wirkungen ausübt.

Die Reibungs-  
Electricität in  
der Therapie.

Damit stimmen im Allgemeinen die Urtheile über Anwendung der Reibungs-Electricität in der Therapie.

Vor der Mitte des vorigen Jahrhunderts wurden die ersten Versuche gemacht, die Reibungs-Electricität als Heilmittel anzuwenden. Es wären hier verschiedene Namen zu nennen, Quellmalz und Krazenstein, Jallabert und Sauvage, Verratti und Teske, insbesondere aber Schäffer in Regensburg, welcher eine Theorie der Wirkung der Electricität aufstellte, indem er als Grundlage die Beobachtungen von Krazenstein, Sauvage und Jallabert nahm, dass der Puls durch Electrification frequenter und die Absonderungen häufiger werden. Lähmungen waren es vorzugsweise, die man durch die Leydner Flasche zu heilen suchte. Auch Franklin machte Versuche dieser Art.

In der neuern Zeit, mit Entdeckung der galvanischen und Inductions-Electricität, scheint die Anwendung der Reibungs-Electricität mehr und mehr in Abgang gekommen zu sein, und die meisten Schriftsteller sprechen sich dagegen aus, allerdings mit Ausnahmen.

Dr. Zimpel hat ein Werk geschrieben, welches die Reibungs-Electricität zum einzigen Gegenstand hat <sup>5)</sup> und welches die speciellsten Vorschriften über die Art der Anordnung der Experimente gibt. Aber wenn eine Animalisation der Electricität dadurch hervorgebracht werden soll, dass der Arzt einen Finger mit dem metallenen Leiter in Berührung bringt, oder wenn zum Drehen der Electrisirmaschine eine Gebirgs- oder ländliche jungfräuliche Magd empfohlen wird; wenn endlich der Diamant seine Hauptwirkungssphäre beim schwarzen Staar haben soll, für welches Leiden er keinen Nebenbuhler habe — so ergibt sich wohl, dass die ganze Anlage des Werkes mit der neuern exakten Forschung in keine Uebereinstimmung zu bringen ist.

Dr. Clemens in Frankfurt hat in der deutschen Klinik (Jahrgänge 1859, 60 und 61) eine Reihe von Aufsätzen veröffentlicht; in

5) Die Reibungs-Electricität von Dr. Zimpel. Stuttgart, Schweizerbarth 1859.



welchen vielfach die Nützlichkeit der Reibungs-Electricität betont und an vielen Beispielen ihre Wirkung nachgewiesen wird. Die Frage, wie weit diese Erfahrungen sich bethätigen werden, gehört nicht hieher. Der Verfasser verlangt im Allgemeinen grosse Quantität der Electricität bei möglichst geringer Spannung, und glaubt dies bei einer Batterie Leydner Flaschen zu erreichen dadurch, dass er sie nicht vollständig ladet. Nach der sonst mit Spannung verbundenen Bedeutung sollte man eher glauben, das werde die Quantität verringern. Allein auch hier zeigt sich eben wieder die gänzliche Unhaltbarkeit der Begriffe Spannung und Quantität, und es ist um so mehr hier darauf aufmerksam zu machen, als der Verfasser seinen Collegen den Vorwurf nicht erspart, dass sie sich zu wenig mit der Physik vertraut machen. Auch Clemens sieht nicht ein, warum »der Strom von 4 sechs Zoll hohen Daniell'schen Elementen stärker sein soll, als der von 2 einen Fuss hohen. Freilich sei die Spannung stärker, aber die Quantität gleich.« Die Stromstärke würde sonach von der Oberfläche allein abhängen, oder wie Clemens sagt: »die Menge der erzeugten Electricität ist der Quantität der verbundenen Metalle nach der Grösse der in Conflict kommenden Oberflächen, die Stärke der elektrischen Spannung der Menge der zu einer Säule vereinigten Elemente proportional.« Wie dies damit vereinbar ist, dass eine nur theilweise geladene Leydner Flasche mehr Quantität und weniger Spannung gebe, ist nicht einzusehen. Dagegen wird die physikalische Anschauung damit einverstanden sein können, dass hohe Spannungen zu Flächenentladungen geneigt sind, ob aber bei schwächern Spannungen die Electricität tiefer eindringt, muss sie der therapeutischen Erfahrung überlassen. Eigenthümlich ist das Verfahren des Verfassers, durch starke elektrische Entladungen die Bahn für den constanten Strom zu ebnen. Ein physikalischer Erklärungsgrund dafür wird wohl kaum zu finden sein.

Auf der andern Seite lauten eine Reihe von Urtheilen anderer Schriftsteller ganz ungünstig für die Reibungs-Electricität.

Ziemssen sagt: »Manche Aerzte, besonders englische, lassen zwar bei manchen Nervenkrankheiten noch immer die Funken der Electrisirmaschine oder selbst der Leydner Flasche, wenn es gilt, Böses mit Bösem zu vertreiben, auf gelähmte Glieder oder auf ein krankes Rückenmark überschlagen, allein diese Heilbestrebungen sind denn doch ziemlich roh und haben sich nicht in die Therapie eingebürgert.«

Meyer sagt (pag. 10.): »Wo eine tiefere Einwirkung nöthig ist, musste man wegen der unangenehmen und gefährlichen Complicationen, die leicht mit dem Gebrauch der Leydner Flasche verbunden sind, von ihrer Anwendung abstehen. Da sich aber auch die Einwirkung auf oberflächlich gelegene Theile viel vollkommener durch



die galvanische und Inductions-Electricität erreichen lässt, so hat man von der Leydner Flasche für therapeutische Zwecke Abstand genommen.«

Dr. Richter (in Schmidts Jahrbüchern der Medicin 1853. pag. 260) meint, das elektrische Bad sei so gut wie unwirksam. Die Reibungs-Electricität sei für den ärztlichen Zweck meist unbrauchbar, sie gleiche sich auf der Haut aus, bewirke zu heftige erschütternde Empfindungen und dringe nicht tief genug ein.

Beard und Rockwell (pag. 200) geben der Anwendung der Reibungs-Electricität den Namen »Franklinisation«, entsprechend der Faradisation. Für Anwendung des constanten Stroms könnte man dann »Remakisation« sagen.

Althaus sagt (pag. 161), dass nach seiner Ansicht die Reibungs-Electricität ganz wohl in der medicinischen Praxis entbehrt werden könne; die dynamische Electricität erscheine vielmehr als die wahre medicinische Electricität.

Aehnlich drückt sich Erdmann, in der Uebersetzung des Werks von Duchesne aus (pag. 9): die Muskelreizung durch die statische Electricität kann um so mehr von der Praxis ausgeschlossen bleiben, als wir in andern Electricitätsarten Mittel haben, die Muskelcontractilität weit energischer anzuregen, ohne die Nachtheile jener herbeizuführen.

Erb endlich (pag. 253) ist der Ansicht, der Versuch, die statische Electricität, welche seit der Erfindung der Holtz'schen Maschine viel leichter und in beliebiger Menge zu erzeugen sei, wieder in die ärztliche Praxis einzuführen, könne vorläufig als misslungen betrachtet werden; doch seien weitere Erfahrungen nicht unerwünscht.

Die Influenzmaschine in der Therapie.

Die Anwendung der Influenzmaschine hat in der neuern Zeit zwei Vertreter gefunden, Schwanda und Clemens. Die Entladung dieser Maschine ist immer eine unterbrochene, selbst wenn man die Electroden direkt in Berührung bringt, so dass kein sichtbarer Funke überspringt. Das Zuströmen der Electricität findet immer nur von Zeit zu Zeit statt, wenn die Dichtigkeit auf der gedrehten Scheibe so gross geworden ist, dass die entgegengesetzte in den Spizen durch Vertheilung gebildete den Widerstand der Luft überwinden kann, um sich mit jener zu vereinigen. Die leuchtenden Büschel am einen, die leuchtenden Punkte am andern Spizenkamm zeigen unmittelbar, dass nur von einzelnen Entladungen, nicht von einem continuirlichen Strom die Rede sein kann.



Schwanda (Pogg. Ann. 133. pag. 622) nennt im Gegensatz zum continuirlichen Strom und Inductionsstrom den Strom einer Influenzmaschine Spannungsstrom. Er stellt bei Paralysen den Spannungsstrom dem faradischen gleich, bei Empfindungslähmungen der Haut wirke er bei einer Luftstrecke von 3<sup>mm</sup>, die er zu durchschlagen hat, stärker, so dass die Spannungsströme eine wesentliche Ergänzung des elektrischen Heilapparats bilden.

Clemens (deutsche Klinik 1867. pag. 446) empfiehlt die Influenzmaschine zu Erschütterungen, Ladungen auf dem Isolirschmel, Entbindung von Ozon u. s. w., da diese mit keinem andern Instrument in so kurzer Zeit und in so ausgiebiger Weise geleistet werden. Mit Recht empfiehlt er jedermann, der die Maschine näher kennen lernen will, die Beobachtung bei Nacht, wo die Lichterscheinungen an den Spizenkämmen die Anwesenheit von positiver und negativer Electricität unmittelbar zeigen und die Ausdehnung der Lichtbüschel ein Maass für die entwickelte Electricitätsmenge geben.

Von physikalischem Standpunkt betrachtet zeichnet sich die Influenzmaschine dadurch aus, dass ihre Entladungen in vielfacher Weise variirt werden können. Die Raschheit der Umdrehung der beweglichen Scheibe ist innerhalb ziemlich weiter Grenzen veränderlich und mit ihr die Zahl der Entladungen in bestimmter Zeit; der Abstand der Electroden, und damit Zahl und Stärke der Entladungen, lässt sich beliebig ändern; die Condensation lässt sich sehr einfach anbringen und abändern und damit die bei jeder Entladung übergehende Electricitätsmenge modificiren.

Um die Zahl der Entladungen zu bestimmen, dient am einfachsten eine rotirende Geissler'sche Röhre <sup>6)</sup>. Eine solche Röhre, welche nahe zwei Umdrehungen in der Sekunde machte, erscheint so vielfach, als Entladungen in einer halben Sekunde erfolgen. Es zeigt sich ein leuchtender Stern, die doppelte Zahl der Bilder gibt die Entladungen in einer Sekunde. Ohne Condensator gab die In-

6) In Paris werden neuerdings eine Menge wohlfeiler, allerdings schlecht gearbeiteter Apparate angefertigt, welche zur Unterhaltung des Publikums dienen sollen. Darunter ist ein Apparat, welcher mit Hilfe eines Electromagnets ein kleines Schwungrad dreht. Mit der Axe lässt sich eine Geissler'sche Röhre fest verbinden.



fluenzmaschine mehr als 100 Entladungen, wenn die Electroden 1<sup>cm</sup> aus einander waren. Bei einem Abstand von 1 bis 2<sup>mm</sup> liess sich die Zahl der Bilder nicht mehr schätzen. Mit Anwendung eines schwachen Condensators (Glasröhre von 2<sup>cm</sup> Weite) ergaben sich auf ein Centimeter Distanz bei langsamem Drehen 4, bei schnellem bis zu 24 Entladungen. Bei einem Schlittenapparat, der in gleicher Weise untersucht wurde, erhielt man bei weitem keine so grosse Verschiedenheit. Die Zahl der Unterbrechungen schwankte hier nur zwischen 4 und 20 in der Sekunde, auch bei beträchtlicher Vermehrung der Stromstärke gelang es nicht, über diese Zahl hinauszukommen. Freilich wird es dabei wesentlich auf die Umwicklung der primären Spirale ankommen, da davon die Stärke des Magnetismus abhängt, oder von der des besondern Electromagnets, welcher die Feder in Bewegung setzt.

## 2. Berührungs-Electricität.

### a) Allgemeines.

Arbeit  
der gal-  
vani-  
schen  
Ele-  
mente.

„Eine jede Batterie ist brauchbar, sobald sie sich in regelrechtem Zustande befindet. Sehr verbreitet ist noch immer der Glaube, dass die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Batterien eine sehr verschiedene sei, und die Wärme, mit welcher einzelne Autoren die von ihnen gewählten Batterien empfehlen, hat nicht Wenig dazu beigetragen, diesen Glauben zu nähren.“

Diese Worte Brenners (II. pag. 3) sind dem Physiker aus voller Seele geschrieben, der um Auskunft gefragt wird, welche Batterie die beste, ob diese oder jene zu empfehlen sei. Ein Urtheil über ein galvanisches Element für sich allein oder über passende Zusammenstellung mehrerer Elemente ohne Kenntniss der zu leistenden Arbeit ist einfach unmöglich. Es fällt Niemand ein, der Windmühle über-



haupt einen Vorzug vor dem Wasserrad oder diesem einen Vorzug vor der Dampfmaschine zu geben, die erste Frage ist immer: was soll die Arbeit sein? Erst dann lässt sich über den Vorzug des einen oder andern Motors urtheilen, und zwar, indem man drei Gesichtspunkte beachtet: einmal soll die verlangte Arbeit wirklich geleistet werden, zweitens sollen die Anschaffungskosten des die Arbeit leistenden Apparats und drittens die Betriebskosten möglichst klein sein. Genau dieselben Gesichtspunkte gelten auch bei den galvanischen Elementen, welche am thierischen Körper oder an Zwischenapparaten bestimmte Arbeit leisten sollen.

Theoretisch genommen kann man mit jedem galvanischen Elemente jede beliebige Arbeit leisten, man darf nur eine recht grosse Zahl richtig verbunden anwenden, wie Davy und Gassiot Tausende von Elementen verwendet haben, um das elektrische Licht zu erhalten, was man jetzt mit 50 erreicht. Dieselbe Arbeit kann auch mit andern Elementen vielleicht in geringerer Zahl und wohlfeiler erreicht werden, und für den mit dem galvanischen Strom Arbeitenden ist die Hauptsache zu wissen, wie man bei gegebener Arbeit die beste Combination der passendsten Elemente erhält, um mit den geringsten Kosten auszureichen.

Die Bestimmung des Widerstands ausserhalb des Elements haben wir früher kennen gelernt. Dazu kommt zweitens die electromotorische Kraft, deren Bestimmung uns ebenfalls bekannt ist, und schliesslich der Widerstand im Element. Leider ist es geradezu Regel, von einem galvanischen Element und seinen Vorzügen zu sprechen, ohne electromotorische Kraft und Widerstand anzugeben, so dass es äusserst schwierig ist, Durchschnittszahlen für die verschiedenen Elemente aufzustellen. Solange aber nicht beides bei einem Versuche angegeben wird, solange kann von exakten Bestimmungen nicht die Rede sein.



Wider-  
stand im  
Ele-  
ment.

Die Bestimmung des Widerstands im Element lässt sich nach der allgemeinen Methode, die oben angegeben worden ist, nicht ausführen, denn dort ist vorausgesetzt, dass auf dem den unbekannten Widerstand enthaltenden Wege keine electromotorische Kraft wirke; und dies ist der Fall, wenn man auf diesem Wege ein galvanisches Element einschalten würde. Die einfachste, wenn auch nicht genaueste, Methode der Bestimmung ist die, den Ausschlag der Magnetnadel einer Tangentenboussole zu beobachten, dann künstliche Widerstände einzuschalten, bis der Winkel etwa auf die Hälfte, genauer so weit abgenommen hat, dass die Tangente des neuen Ausschlags die Hälfte der Tangente des ersten ist. Dann ist die Stromstärke halb so gross, und da die electromotorische Kraft gleich geblieben ist, der Gesamtwiderstand doppelt so gross, als Anfangs. Was also an künstlichem Widerstand eingeschaltet worden ist, ist gleich dem Anfangs vorhandenen Widerstand, d. h. dem des Elements nebst dem der Tangentenboussole, und da der letzte nach der frühern Methode bestimmt werden kann, so kennt man somit den Widerstand des Elements.

Z. B. ein Leclanché gab bei einer Tangentenboussole mit dem Widerstand 0,8 den Ausschlag  $39^\circ$ . Die Tangente dieses Winkels — siehe die Tafel am Schluss des Buchs — ist 0,810, die Hälfte dieser Zahl 0,405 und dies ist die Tangente von  $22^\circ$ . Um diese Ablenkung zu erhalten, mussten 3,6 Einheiten eines Rheostaten eingeschaltet werden, also hat man für den gesuchten Widerstand  $x$  die Gleichung:

$$3,6 = x + 0,8$$

woraus  $x = 2,8$  sich ergibt. Um gute Resultate zu erhalten, sollen die Ausschläge weder zu gross noch zu klein sein, sondern etwa zwischen 20 und 50 Graden liegen. Wie man sich, wenn das nicht der Fall ist, helfen kann, davon siehe später bei der Tangentenboussole.

Wie bei der electromotorischen Kraft, so sind auch bei dem Widerstand im Element solche Bestimmungen nur für den Augenblick der Bestimmung geltende, da die Flüssigkeiten mit der Zeit sich ändern. Durchschnittszahlen für



gebräuchliche Grössen der Elemente enthält die folgende Tabelle, der auch die früher angegebenen electromotorischen Kräfte zugefügt sind.

	Grove	Bunsen	Beetz	Leclanché	Daniell	Siemens	Meidinger
El. Kraft	21	21	17	16	12	12	11
Widerstand	0,7	0,8	45	3,0	1,5	5,0	5,0

Wäre gar kein Widerstand eingeschaltet, so wäre die Stromstärke einfach der Quotient der angegebenen Zahlen, also der Reihe nach:

30,0    26,3    0,4    5,3    8,0    2,4    2,2

somit das Grove'sche Element das beste, das von Beetz das schlechteste. Denken wir aber an den Anschaffungspreis, der für ein Grove mittlerer Grösse etwa 3 Thaler, für ein Bunsen 2, ein Beetz  $1\frac{1}{2}$  und die übrigen je 1 Thaler beträgt, so erhielte man für 1 Thaler Anschaffungskosten die Stromstärken:

10,0    13,2    0,3    5,3    8,0    2,4    2,2

Berücksichtigt man aber endlich, dass die Zeit gleich bleibender Wirkung bei Grove und Bunsen nur nach Stunden, bei Daniell nach Wochen, bei Beetz, Leclanché, Siemens und Meidinger nach Monaten sich berechnet, dass also im umgekehrten Verhältniss die Betriebskosten zu rechnen sind, so sieht man sogleich, dass zu lang dauernder Wirkung die vier letzten vorzuziehen sind.

Ist ferner der Widerstand in der Leitung sehr gross, z. B. 1000 Einheiten (wie bei 16 Meilen Telegraphendraht), so verschwindet dagegen der Widerstand im Element. Die Stromstärke ist also jetzt nahe der 1000ste Theil der electromotorischen Kraft, schwankt also bei den verschiedenen Elementen zwischen  $\frac{1}{30}$  und  $\frac{1}{1000}$ . In diesem Fall wird man sich keinen Augenblick besinnen, die wohlfeilsten Elemente und die, deren Wirkung am längsten dauert, zu verwenden, also abermals Beetz, Leclanché, Siemens und Meidinger.

Aber soviel ist auch klar, dass zu starken Wirkungen



die obigen Stromstärken nicht genügen. Namentlich wenn es sich um grössern Widerstand handelt, würde die Auswahl unter den gebräuchlichen Elementen einen zu kleinen Spielraum lassen. Also muss man sich nach einem andern Mittel umsehen, und das ist die passende Zusammenstellung einer grössern Zahl von Elementen. Und hier kommt nun die Hauptfrage, die bei rationeller Benutzung einer Batterie auftaucht, die Frage nach der Art der Zusammenstellung der einzelnen Elemente zu einer Batterie, um bei den kleinsten Kosten jedesmal die grösste Arbeitsfähigkeit zu erhalten.

Positiver  
und negativer  
Pol.

Bei allen gebräuchlichen Elementen ist Zink das eine Metall. Es wird in Berührung mit allen gewöhnlich verwendeten Metallen positiv elektrisch, und doch nennt man allgemein Zink den negativen Pol und sagt, dass in der Leitung der Strom von Kupfer zum Zink gehe. Dies rührt daher, dass man sich nach der Contacttheorie den Sitz der electromotorischen Kraft da zu denken hat, wo verschiedene Metalle zusammenstossen, also im Schliessungsbogen, ausserhalb der Flüssigkeit des Elements. Die positive Electricität des Zinks geht dann durch die Flüssigkeit zum andern Metall, also im Schliessungsbogen von diesem zum Zink. Das Zink ist also das positive, das Kupfer das negative Metall, und vom Standpunkt der Contacttheorie wäre es somit nicht gestattet, das Kupfer den positiven, das Zink den negativen Pol zu nennen.

Diese Benennung entspricht vielmehr der chemischen Theorie, nach welcher das Zink in Berührung mit Säure negativer wird, als die andern Metalle. Jetzt ist der Sitz der electromotorischen Kraft in den Flüssigkeiten des Elements, das Zink ist negativer, also strömt ihm die positive Electricität durch den Schliessungsbogen zu. Der Strom geht also nach dieser Theorie in derselben Richtung, wie nach der Contacttheorie, aber Zink ist das negative Metall.



Jetzt ist man berechtigt, das Zink den positiven Pol zu nennen.

Dass diese Bezeichnung die gebräuchliche ist, hängt damit zusammen, dass thatsächlich in der Leitung der positive Strom vom Kupfer zum Zink geht, und dass dieser Stromesrichtung eine Ansammlung positiver Electricität auf Kupfer, negativer auf Zink entsprechen würde. Da beide Theorien in Beziehung auf Stromesrichtung übereinstimmen, wäre es besser, überhaupt nur von dieser zu sprechen, und in diesem Sinn sind die Bezeichnungen von Faraday zu empfehlen. Der Zinkpol heisst bei ihm *Kathode*, der Kupferpol die *Anode*. Freilich passen diese Bezeichnungen nur auf eine bestimmte Anordnung des Experiments: bei einem gewöhnlichen galvanischen Element tritt der Strom beim Kupfer aus dem Gefäss, geht also nach oben, beim Zink in das Gefäss mit Flüssigkeit, geht also nach unten; bei Wasserzersezungssapparaten ist es dagegen meist umgekehrt. Benennungen sollte man nie nach zufälliger Anordnung wählen, allein sie sind einmal eingebürgert und werden sich nicht mehr, jedenfalls nicht aus der Therapie verdrängen lassen. Wir werden künftighin also stets das aus dem Gefäss hervorragende Zinkende die *Kathode*, das Ende des andern Metalls *Anode* nennen und im Auge behalten, dass der Strom von der *Anode* zur *Kathode* geht. In Zweifelfällen, z. B. bei langen Drahtleitungen, die schwer rückwärts zu verfolgen sind, wird die *Anode* am einfachsten dadurch bestimmt, dass beim Eintauchen in Stärkekleister, dem etwas Jodkaliumlösung beigemischt ist, die *Anode* dunkel gefärbt wird.

Verbindet man zwei Elemente ungleichnamig (hinter einander), d. h. das Zink des einen mit dem Kupfer oder der Kohle, dem Platin u. s. w. des andern, so hat man (Fig. 21) auf dem Wege des Stromes, der in der Leitung vom Kupfer zum Zink in der Richtung des Pfeils geht, zweimal

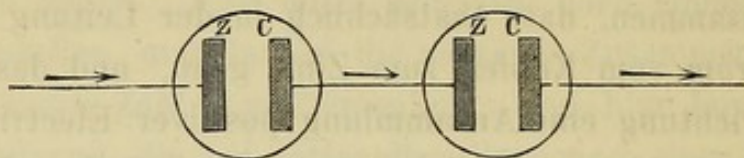
*Kathode  
und  
Anode.*

*Combination  
von Elementen.*



den Uebergang vom Zink durch die Flüssigkeit zum Kupfer, also die doppelte electromotorische Kraft, aber auch den

Fig. 21.



doppelten Widerstand. Während bei einem Element die Stromstärke gleich der electromotorischen Kraft dividirt durch die Summe der Widerstände des Elements und der Leitung ist, hat man sonach bei zwei ungleichnamig verbundenen Elementen die doppelte electromotorische Kraft durch die Summe des doppelten Widerstands im Element und des einfachen in der Leitung zu dividiren, um die Stromstärke zu erhalten. Oder einfacher, wenn wir alles halbiren, die electromotorische Kraft durch die Summe des Widerstands im Element und des halben Widerstands der Leitung. Das heisst also: zwei ungleichnamig verbundene Elemente wirken gerade so, wie ein einziges bei halbem Widerstand der Leitung. Dehnt man diesen Schluss auf eine grössere Zahl von Elementen aus, so kommt man zu dem Resultat: eine beliebige Zahl von Elementen, die ungleichnamig verbunden werden, geben denselben Strom, wie ein einziges, wenn man sich den Leitungswiderstand im Verhältniss der Zahl der Elemente verkleinert denkt. Die ungleichnamige Verbindung ist somit von Vorthail, so oft der Widerstand in der Leitung gross ist.

Ist z. B. ein Widerstand von 4000 Einheiten beim Durchgang durch den thierischen Körper zu überwinden, so erhält man für die Stromstärke bei wachsender Zahl der früher genannten Elemente:

	Grove	Bunsen	Beetz	Leclanché	Daniell	Siemens	Meidinger
1 El.	0,005	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003
10 El.	0,052	0,052	0,038	0,040	0,030	0,029	0,027
30 El.	0,157	0,157	0,096	0,118	0,089	0,087	0,080
50 El.	0,260	0,259	0,136	0,193	0,147	0,141	0,129
100 El.	0,516	0,515	0,200	0,372	0,289	0,267	0,244



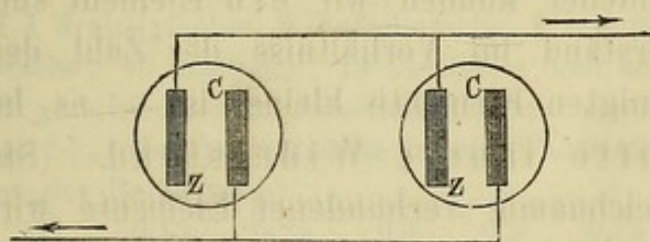
Die Stromstärke steigt nahe im Verhältniss der Zahl der Elemente, bei solchen mit grossem Widerstand, wie Beetz, ziemlich langsamer. Bei gleicher Zahl wären also immer die Elemente mit grosser electromotorischer Kraft vorzuziehen. Wenn wir aber auf die Preise der Elemente Rücksicht nehmen, so erhält man für denselben Anschaffungspreis z. B. bei 30 Elementen die Stromstärken:

0.052, 0.079, 0.064, 0.118, 0.089, 0.080, 0.087.

Da ausserdem die letzten 5 viel kleinere Betriebskosten beanspruchen, so sind sie in diesem Fall unbedingt den zwei ersten vorzuziehen, noch ganz abgesehen davon, dass Grove und Bunsen jedesmal frisch zu füllen sind, also viel Zeit zur Unterhaltung verlangen.

Verbindet man dagegen zwei Elemente gleichnamig (neben einander), (Fig. 22) Zink mit Zink und Kupfer mit

Fig. 22.



Kupfer, so ist das Resultat dasselbe, als hätte man ein Element mit doppelt so grossen Platten. Die Electricität geht auf ihrem Weg nur einmal vom Zink zum Kupfer, man hat also die einfache electromotorische Kraft, aber da die Platten doppelt so gross sind, so ist der Widerstand im Element halb so gross. Die gleichnamige Verbindung zweier Elemente hat also dieselbe Wirkung, wie ein Element mit der Hälfte seines innern Widerstands, und beliebig viele gleichnamig verbundene Elemente wirken wie eines, dessen innerer Widerstand im Verhältniss der Anzahl reducirt wäre.

Man wird also die gleichnamige Verbindung zur Anwendung bringen, wenn der Widerstand im Element be-



trächtlich grösser ist als in der Leitung. Dieser Fall tritt selten sein, in der Therapie höchstens beim Ingangsetzen eines Inductionsapparats oder beim Glühendmachen eines sehr kurzen Drahts. Es handelt sich in diesem Fall um Widerstände von 1 bis zu etwa 5 Einheiten.

Um in jedem Fall den sichern Weg zu gehen, müssen wir noch die Combination von gleichnamigen und ungleichnamigen Verbindungen untersuchen, und damit die allgemeine Frage beantworten: Wenn man eine bestimmte Anzahl von Elementen hat und einen bekannten Leitungswiderstand überwinden soll, wie sind die Elemente zu einer Batterie zusammenzusetzen?

Wir haben zu diesem Zweck nur die vorher gefundenen Sätze über gleichnamige und ungleichnamige Verbindung der Elemente zusammenzustellen. Statt jeder Gruppe gleichnamig verbundener können wir ein Element substituieren, dessen Widerstand im Verhältniss der Zahl der in der Gruppe vereinigten Elemente kleiner ist — es heisse dies der *reducirte innere Widerstand*. Statt jeder Gruppe ungleichnamig verbundener Elemente wird wieder ein einziges substituirt, das einen im Verhältniss der Anzahl der Elemente verringerten äusseren Widerstand zu überwinden hat — dies heisse der *reducirte äussere Widerstand*.

Wir machen nun eine Voraussetzung, welche in der Praxis stets zutrifft, dass nemlich alle Elemente der Combination gleichartig und dass die einzelnen Gruppen gleich seien. Es wird wohl Niemand einfallen, etwa Grove mit Siemens zu combinieren, oder die Anzahl Elemente, die ihm zu Gebot stehen, in verschieden grosse Gruppen zu theilen, um diese gleichnamig zu verbinden; es würde ja schon die Uebersicht gestört. Die gleichnamige Verbindung ist gleich zu stellen einer Vergrösserung der Elemente, man wird also



diese Verbindung am einfachsten ausdrücken, indem man von vierfachen, zehnfachen u. s. w. Elementen spricht statt von Gruppen von Elementen, welche zu vier, zu zehn u. s. w. gleichnamig verbunden sind. Theilen wir nun z. B. 30 Elemente in 10 Gruppen von je 3 unter sich gleichnamig verbundener Elemente, während die 10 Gruppen ungleichnamig verbunden sind, so nennen wir dies einfach 10 dreifache Elemente. Es ist gerade so, als ob wir 10 Elemente von dreifacher Grösse ungleichnamig zusammenstellten. Diese 10 dreifachen Elemente leisten das Gleiche, wie ein einziges Element mit dem dritten Theil des innern und dem 10ten Theil des äussern Widerstands; die Stromstärke ist gleich der electromotorischen Kraft eines Elements dividirt durch die Summe der zwei reducirten Widerstände (des innern und äussern).

Man habe 30 Daniell und soll mit ihnen Wasser zersezzen; der äussere Widerstand betrage 6 Einheiten. Die möglichen Combinationen sind 1 dreissigfache, 2 fünfzehnfache, 3 zehnfache, 5 sechsfache, 6 fünffache, 10 dreifache, 15 zweifache und endlich 30 einfache, also 8 verschiedene Combinationen. Der innere Widerstand des Daniell ist 1,5, also der reducirte innere Widerstand für jene 8 Combinationen der Reihe nach:

0,05    0,1    0,15    0,25    0,3    0,5    0,75    1,5

Der reducirte äussere Widerstand ist für die 8 Combinationen der Reihe nach:

6    3    2    1,2    1    0,6    0,4    0,2

Die Summe der reducirten Widerstände ist sonach:

6,05    3,1    2,15    1,45    1,3    1,1    1,15    1,7

Je kleiner diese Summe ist, desto grösser die Stromstärke, man sieht demnach dass »10 dreifache« die beste Combination sind. Die Stromstärke ist wieder für die 8 Combinationen (12 dividirt durch jene Summen, also abgerundet):

2    4    6    8    9    11    11    7

Diese Zahlen geben zugleich nahe die Anzahl Cubikcentimeter Gas, welche in einer Minute durch Zersezung des Wassers gebildet werden.

Nach dem Vorangegangenen hat es keine Schwierigkeit, sobald die Zusammensetzung einer Batterie gegeben ist, die Summe der reducirten Widerstände und durch Division mit

Allgemeine  
Regel  
der  
besten  
Combinationen.



dieser in die electromotorische Kraft des verwendeten Elements die Stromstärke zu berechnen. Um aber nicht jedesmal probiren zu müssen, welche Combination den kleinsten Widerstand gibt, kann man sich an die Regel halten, dass die Stromstärke am grössten ist, wenn der reducirte innere Widerstand gleich dem reducirten äusseren ist, oder wenigstens ihm am nächsten kommt. (Anm. 7.)

An dem vorigen Beispiel sieht man dies unmittelbar: bei einem dreissigfachen Element ist der reducirte äussere Widerstand 120mal so gross als der innere, bei 30 einfachen Elementen nur der 7te bis 8te Theil; bei 10 dreifachen Elementen unterscheiden sich beide nur um  $\frac{1}{5}$ .

Aus jener Regel kann man die weitere ableiten: man multiplicire das Verhältniss der gegebenen (wirklichen, nicht reducirten) Widerstände, des äusseren und inneren, mit der Zahl der Elemente und ziehe aus dem Produkt die Quadratwurzel: dies ist dann die Zahl der Gruppen gleichnamig zu verbindender Elemente. Ist es keine ganze Zahl, so nimmt man die nächst liegende ganze Zahl, und lässt sich mit ihr nicht in die Zahl der Elemente dividiren, so nimmt man den nächstliegenden Faktor jener Anzahl.

Für das obige Beispiel ergibt sich  $\sqrt{30 \cdot \frac{6}{1,5}} = \sqrt{120} = 11$ . Dieser Zahl liegt von derjenigen, durch welche 30 sich theilen lässt, 10 am nächsten. Also sind 10 dreifache Elemente am vortheilhaftesten.

Soll mit 6 Grove ein Platindraht glühend gemacht werden, dessen Widerstand eine halbe Einheit beträgt, so hat man:

$$\sqrt{6 \cdot \frac{0,5}{0,7}} = \sqrt{4,3} = 2,1$$

also 2 dreifache. Man wird aber beim Probiren finden, dass 3 zweifache den Dienst besser thun; dies rührt daher, dass der Widerstand der Metalle mit der Temperatur wächst, um  $\frac{1}{273}$  für jeden Grad von Null aus, er steigt also schon beim Anfang des Glühens (500–600°) auf das dreifache oder 1,5 und man hat jetzt:

$$\sqrt{6 \cdot \frac{1,5}{0,7}} = \sqrt{12,9} = 3,6$$

also 3 zweifache Elemente.



Ist der Widerstand der Leitung sehr gross, Tausend oder mehrere Tausende von Einheiten, so wird die Quadratwurzel der obigen Regel immer grösser sein, als die Zahl der Elemente, d. h. man erhält soviel Gruppen als Elemente da sind, mit andern Worten, alle werden ungleichnamig verbunden.

Folgen  
der  
obigen  
Regel.

Fig. 23.

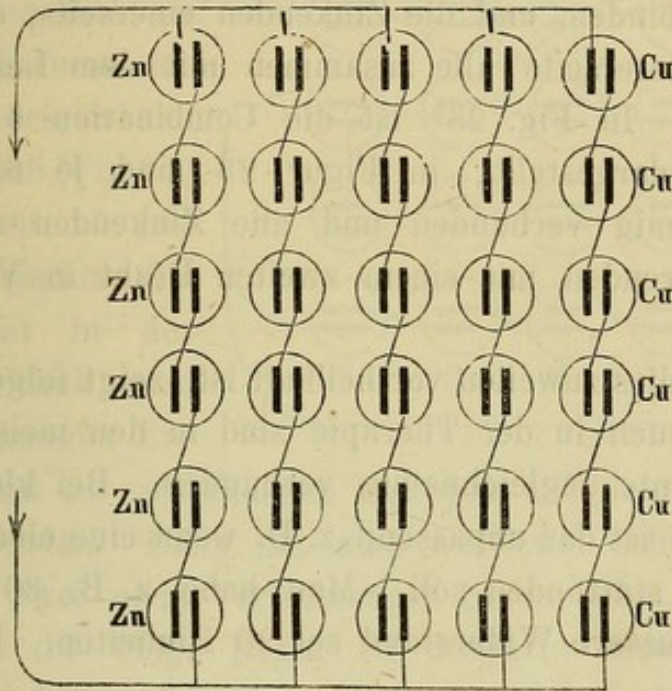
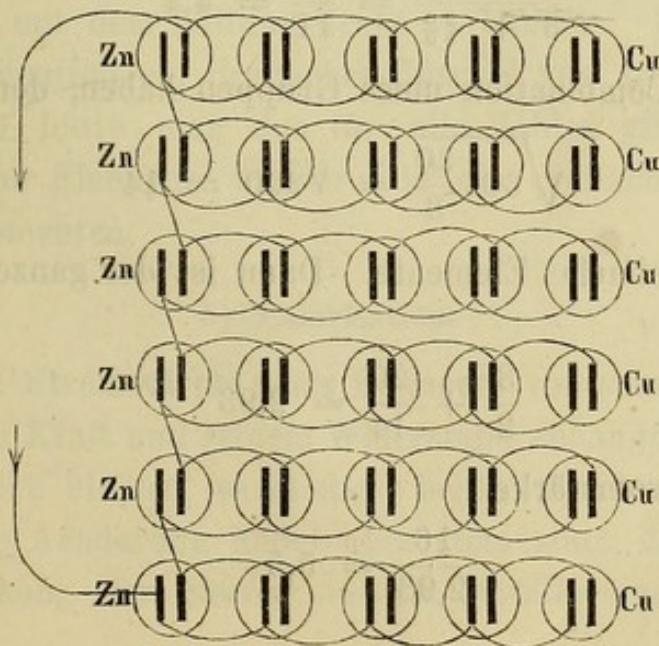


Fig. 23b.





Diese Verbindung ist die beim Durchgang des Stroms durch den Körper stets anzuwendende. Sollte man die Batterie auch zu andern Zwecken, zur Electrolyse etwa, verwenden wollen, so müsste man sie anders zusammenstellen. Dabei lässt sich eine Bemerkung machen, welche unter Umständen von Wichtigkeit ist. Man kann jederzeit, statt 6 fünffache Elemente zu bilden, auch je 6 Elemente ungleichnamig verbinden, und die Zinkenden einerseits, die Kupferenden andererseits alle zusammen mit dem Leitungsdraht verbinden. In Fig. 23<sup>b</sup> ist die Combination 6 fünffacher Elemente dargestellt, in Figur 23 sind je 6 Elemente ungleichnamig verbunden und alle Zinkenden mit einem, alle Kupferenden mit einem zweiten Draht in Verbindung. (Anm. 8.)

Dass dies zuweilen vortheilhaft ist, zeigt folgender Fall: zum Gebrauch in der Therapie sind in den meisten Fällen alle Elemente ungleichnamig verbunden. Bei kleinern Widerständen ist das unpassend z. B. wenn eine electrolytische Zersezung stattfinden soll. Man habe z. B. 30 Leclanché und der äussere Widerstand sei 20 Einheiten. Die Stromstärke wäre:

$$\frac{16}{3 + \frac{20}{3}} = \frac{48}{11} = 4,4$$

Die beste Combination muss Gruppen haben, deren Zahl:

$$\sqrt{30 \cdot \frac{20}{3}} = \sqrt{200} = 14$$

also 15 zweifache Elemente. Dann ist der ganze reducirte Widerstand

$$\frac{3}{2} + \frac{20}{14} = 2,93$$

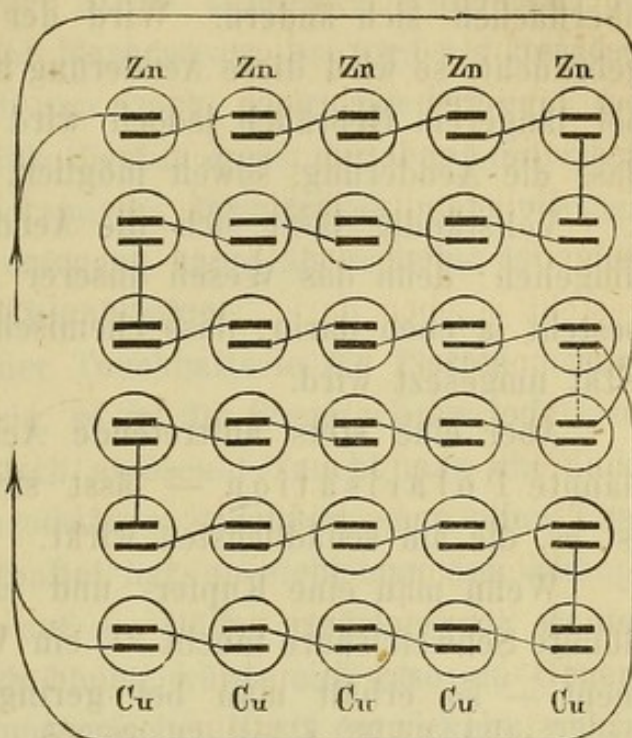
und die Stromstärke

$$\frac{16}{2,93} = 5,5$$



Fig. 24.

also um ein Viertel grösser als vorher. Wollte man diese Combination ausführen, während vorher alle ungleichnamig verbunden waren, so müsste man die meisten Verbindungsdrähte ausschrauben und neue einfügen. Statt dessen kann man aber auch (Fig. 24) nur zwischen 15 und 16 die Verbindung lösen (sie ist in der Figur gestrichelt) und die gleichnamigen En-



den der zwei so entstandenen Gruppen mit dem Leitungsdraht verbinden. Dann hat man nur zwei Schrauben zu lösen und zwei neue Verbindungen herzustellen.

Würde die obige Regel 10 dreifache Elemente verlangen, so würde zwischen 10 und 11 und zwischen 20 und 21 die Verbindung gelöst und die gleichnamigen Enden der 3 Gruppen mit dem Leitungsdraht verbunden. Würde man diese Combination ein dreifaches Bündel von 10 Elementen nennen, so hätte man den für alle Zahlen giltigen Satz: 10 dreifache Elemente wirken wie ein dreifaches Bündel von 10 Elementen.

#### b) Polarisation.

Da die Stromstärke eines Elements von seiner electromotorischen Kraft und seinem Widerstand abhängt, so könnte sie nur gleich bleiben, wenn diese beiden sich nicht ändern. Eine solche Aenderung findet aber stets statt, da in Folge der Einwirkung der Säuren auf die Metalle einestheils die

Defi-  
nition.



Beschaffenheit der Flüssigkeiten, andernteils die der Metalloberflächen sich ändern. Wird der Strom nur kurze Zeit gebraucht, so wird diese Aenderung nahezu gleichgiltig sein, bei längerem Gebrauch jedoch wird man zusehen müssen, dass die Aenderung, soweit möglich, vermieden wird.

Vollständig lässt sich die Aenderung natürlich nicht umgehen, denn das Wesen unserer galvanischen Elemente besteht ja eben darin, dass chemische Wirkung in Electricität umgesetzt wird.

Aber eine stets auftretende Aenderung — die sogenannte Polarisation — lässt sich aufheben und diese ist es, die am schädlichsten wirkt.

Wenn man eine Kupfer- und eine Zinkplatte in verdünnte Schwefelsäure taucht — ein Wollaston'sches Element — so erhält man bei geringem äussern Leitungswiderstand einen kräftigen Strom. Schaltet man in die Leitung eine Tangentenboussole, so nimmt der Ausschlag bei längerem Durchgehen des Stroms rasch ab und hört nach einiger Zeit beinahe ganz auf. Alle Elemente, welche zwei Metalle und eine Flüssigkeit enthalten, zeigen diese Erscheinung mehr oder weniger, so die Zink-Kohlen-Elemente, die in verdünnte Schwefelsäure oder in Salzlösungen oder in Chromsäure eingetaucht werden.

Die Erscheinung rührt bekanntlich daher, dass bei geschlossenem Strome in den Elementen eine Wasserzersehung vor sich geht: der Wasserstoff geht zum Kupfer, zur Kohle, zum Platin u. s. w., der Sauerstoff zum Zink. Wenn nun auch ein Theil des Wasserstoffs in Bläschen fortgeht, ein Theil des Sauerstoffs mit dem Zink zu Zinkoxyd sich vereinigt, das sich dann in der Flüssigkeit löst, so bleibt doch noch genug übrig, um einen Gegenstrom herbeizuführen. Wenn nemlich die Kupferplatte mit Wasserstoff, die Zinkplatte mit Sauerstoff überzogen ist, entsteht ein Strom vom Wasserstoff zum Sauerstoff, also entgegengesetzt



dem Hauptstrom, dessen electromotorische Kraft bis 16 steigen kann. Da dieser Strom denselben Widerstand zu überwinden hat, wie der Hauptstrom, so wird als Resultat ein Strom entstehen, dessen Stärke gleich der Differenz der electromotorischen Kräfte dividirt durch den Gesamtwiderstand ist. Umgekehrt kann der Hauptstrom nicht werden, da er keinen stärkern erzeugen kann, als er selbst ist, aber er kann ganz auf Null herabsinken.

Hebt man bei einer Tauchbatterie die Platten heraus und senkt sie wieder ein, so ist der Strom wieder kräftiger, weil die Gasbläschen sich ablösen. Taucht man ein Zink-Kohlen-Element in Chromsäure, nachdem man eine Tangentenboussole eingeschaltet hat, so sieht man den anfänglichen Ausschlag nahe auf die Hälfte zurückgehen: da der Widerstand nahe gleich bleibt, würde sich also ein Gegenstrom von einer electromotorischen Kraft entwickeln, welche nahe gleich der Hälfte von der des Elements ist.

Man hat dieser Erscheinung den Namen Polarisation gegeben und sie erklärt eine Anzahl von Erscheinungen, die sonst ganz räthselhaft erscheinen. Während ein galvanisches Element zu einer electrolytischen Zersezung meist zu schwach ist, bringen dagegen zwei ungleichnamig verbundene eine sehr lebhaftere Zersezung hervor. Ist nemlich das Element selbst frei von Polarisation, so kommt der Gegenstrom nur in der Zersezungszelle zum Vorschein. Hat dieser ungefähr die electromotorische Kraft des Elements, so wird er die Wirkung eines Elementes aufheben, aber nicht die des zweiten oder dritten u. s. w. Nimmt man z. B. den Widerstand in der Zersezungszelle zu 20 Einheiten an, so gäbe ein Daniell ohne Polarisation die Stromstärke  $\frac{12}{1,5 + 20} = 0,55$ . Bei längerer Wirkung wird der Gegenstrom der electromotorischen Kraft des Daniell nahe gleich kommen, die Wirkung wäre Null. Nimmt man aber



2 Daniell, ungleichnamig verbunden, so ist die Stromstärke:

$$\frac{2 \cdot 12 - 12}{2 \cdot 1,5 + 20} = 0,52$$

3 Daniell würden geben:

$$\frac{3 \cdot 12 - 12}{3 \cdot 1,5 + 20} = 0,98 \text{ u. s. w.}$$

und 30 Daniell gäben:

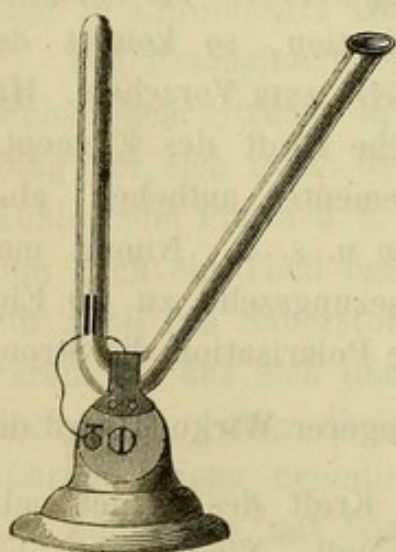
$$\frac{30 \cdot 12 - 12}{30 \cdot 1,5 + 20} = 5,37$$

also nur das Zehnfache von zwei.

Volta-  
meter.

Die Zahlen, die früher für die electromotorische Kraft der Elemente gegeben wurden, sind so gewählt, dass sie dividirt durch den Gesamtwiderstand die Cubikcentimeter Gas geben, welche in einer Minute bei Wasserzersezung sich bilden. Aber es ist dabei die Polarisation nicht eingerechnet. Die wirkliche Gasmenge wäre sonach stets erst durch eine kleine Rechnung zu finden. Allein für gewöhnlich wird das Voltameter nur angewendet, um zu beurtheilen, ob eine Batterie an Stärke abgenommen hat. Das Voltameter ist eine gebogene Glasröhre mit einem verticalen Theil, der von oben nach unten in Cubikcentimeter getheilt

Fig. 25.



ist, und in dessen untern Theil zwei Platindrähte eingeschmolzen sind, welche in Platinplättchen endigen. Der übrige Theil steht schief und trägt keine Theilung. Das Ganze steht auf einem Statif mit Messingsäulen, welche die Platindrähte und die Leitungsdrähte aufnehmen.

Gefüllt wird die Röhre mit angesäuertem Wasser, weil solches besser leitet als reines.



Am besten ist 1 Theil Schwefelsäure auf 2 Theile Wasser. Hat sich die verticale Röhre mit Gas gefüllt, so kann man mittelst Neigen des Apparats durch den offenen Schenkel das Gas entweichen lassen.

Ein solches Voltameter ist das einfachste Mittel, um das Gleichbleiben des Stroms zu untersuchen, sowie um Ungleichheiten in der Wirkung der Elemente nachzuweisen. Ist die Batterie neu zusammengesetzt, so bestimmt man die Gasmenge, die man in einer Minute erhält von je 2 oder 3 oder mehr Elementen, und wird dann, wenn man die Zahlen notirt, später sogleich bei ähnlicher wiederholter Untersuchung angeben können, in welchem Masse die Wirkung abgenommen hat. Es ist zu diesem Zweck das Voltameter jedenfalls viel besser zu gebrauchen, als das auf dem Experimentirtisch der Therapeuten befindliche Galvanoskop, das nur anzeigt, ob überhaupt ein Strom vorhanden ist. Unbequem ist nur, dass die Gasmenge wegen der Polarisirung nicht im Verhältniss der Elementenzahl zunimmt.

In dem Aufsatz: »zur Lehre von der Tetanie nebst Bemerkungen über die Prüfung der electricen Erregbarkeit motorischer Nerven« hat Erb <sup>7)</sup> Untersuchungen über den Widerstand publicirt, welchen ein Strom im menschlichen Körper erleidet. Er sagt: (pag. 272): »Jeder, der mit solchen Versuchen (Einwirkung des galvanischen Stroms auf den Körper) vertraut ist, weiss, wie bedeutend der Ausschlag eines in den Gesamt-Stromkreis eingeschalteten Galvanometers wächst, wenn man bei der gleichen Elementenzahl mehrere Unterbrechungen oder gar Wendungen des Stroms (Volta'sche Alternative) macht. Es wird in solchen Fällen die Gesamtstromstärke erheblich gesteigert, offenbar weil der ausserwesentliche Widerstand (Epidermis, Haut, Körpergewebe) erheblich abnimmt durch die Einwirkung des Stroms selbst. Wenn nun bei diesen Manipulationen — bei Reizung eines motorischen Nervenstamms z. B. — viel stärkere Zuckungen auftreten, so hat man das gewöhnlich ohne Weiteres der durch die Einwirkung des Stroms gesteigerten Erregbarkeit der motorischen Nerven zugeschrieben; wahrscheinlich zum grossen Theil mit

---

7) Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten IV. Band. 2. Heft 271.



Unrecht, da meines Wissens noch keine exacten Untersuchungen am Lebenden existiren, welche das Moment der gesteigerten Leitungsfähigkeit der Gewebe bei der Beurtheilung der gesteigerten Erregbarkeit auszuschliessen gestatteten.« Der Physiker kann mit diesen Sätzen ganz einverstanden sein, aber er vermisst die Erwähnung der Polarisation, und da diese bei Deutung der im Verlauf der Abhandlung vorkommenden Versuche gar nicht berücksichtigt wird, so fehlt dem Physiker gerade das, was in den bei weitem meisten ihm bekannten Fällen Hauptursache oder einzige Ursache ist. (vrgl. Wiedemann Galvanismus I. pag. 612 ff.)

Wenn der Strom irgendwo in den thierischen Körper eintritt, so findet er verschiedene Flüssigkeiten vor, die er der Reihe nach durchsetzt. In jeder Zelle, die er durchströmt, hat er Gelegenheit, Stoffe zu zerlegen (die sich nach seinem Aufhören wieder zum ursprünglich vorhandenen vereinigen können) und damit erstens den Leitungswiderstand zu ändern und zweitens Polarisation hervorzurufen.

Der Leitungswiderstand wird geändert, weil die Theile in welche ein Stoff zerlegt wird, im Allgemeinen anders leiten, als das Ganze. Polarisation entsteht, weil überall wo Zersezung stattfindet, der elektronegative Stoff auf der Seite des ankommenden Stroms sich sammelt, der electropositive auf der entgegengesetzten, wie *H* und *O* im galvanischen Element. Ueberall, wo diese Zersezung vorkommt, hat man einen Gegenstrom, und ein solcher Gegenstrom kann sich sehr häufig wiederholen.

Der Strom wird also beim Eintritt in den thierischen Körper sich ändern, einmal weil die gesammte elektromotorische Kraft sich um die Summe der Gegenströme vermindert, und dann weil der Leitungswiderstand sich ändert.

Eine Untersuchung, wie viel Elemente nöthig sind, um einen bestimmten Ausschlag der Galvanometernadel oder eine bestimmte Wirkung bei der Muskelcontraction zu erzielen, wird also keinen vollen Aufschluss über diese Erscheinungen geben können. Es ist nicht bloß eine Aenderung des Widerstandes, sondern auch eine der electromotorischen Kraft vorauszusetzen; und daher nicht bloß der Widerstand, sondern auch die electromotorische Kraft zu messen.

Die Aufgabe wäre sonach folgende: es wird zunächst die elektromotorische Kraft und der Widerstand der Batterie gemessen, dann die elektromotorische Kraft und der Widerstand der Batterie sammt eingeschaltetem Körper. Beim zweiten Versuche wird die erste kleiner sein wegen der Polarisation, die jetzt auftritt, der letzte wird im Allgemeinen grösser sein. Jedenfalls geben die Differenzen vollen Aufschluss, ob beide Wirkungen da sind oder nicht, und in welchem Grade jede. Es scheint eine solche Untersuchung sehr complicirt, sie ist es aber durchaus nicht, wenn man dieselben Elemente und



Leitungsdrähte vom bekannten Widerstand stets anwendet, und die Einschaltung einer Wheatstone'schen Brücke oder des Apparats von du Bois Reymond sich bequem herrichtet.

Erb hat die Hälfte der nothwendigen Arbeit geleistet; wenn es ihm leider an der nöthigen Musse zu weitem Untersuchungen fehlt, so wird von anderer Seite die zweite Hälfte leicht auszuführen sein.

Wie die Polarisation im Elemente selbst und im Voltameter<sup>unpolarisierbare Elektroden</sup> schädlich wirkt, so wird dasselbe auch der Fall sein, so oft der Strom in ein Gewebe eintritt, wo chemische Zersezung möglich ist, wo er also Feuchtigkeit trifft. Insbesondere wird, wie bei der Wasserzersezung immer *H* und *O* auftreten und der entgegengesetzte Strom eingeleitet werden, wo die Elektroden eine feuchte Oberfläche treffen. Das wird aber häufig der Fall sein, da man durch Befeuchten der Haut ihren Widerstand beträchtlich vermindert. Es hat deshalb Hitzig (Berliner Wochenschrift 1867, Nro. 39) unpolarisierbare Elektroden vorgeschlagen, welche in ähnlicher Art construirt sind, wie die von du Bois-Reymond. Das Princip, das zu Grunde liegt, ist das von den Rheostaten her uns wohlbekannte, dass amalgamirtes Zink in Berührung mit reinem Zinkvitriol keine Polarisation gibt. In einem Rohr von Hartkautschuk sitzt ein Zinkcylinder, der am innern Ende geschlossen ist. In dieses Ende wird die Messingsäule eingeschraubt, welche den Leitungsdraht aufnimmt. Der hohle Theil des Cylinders wird mit Zinkvitriol gefüllt und durch einen Propf von Papier maché, welches mit Zinkvitriol getränkt ist, geschlossen. Darauf wird dann ein trichterartiges Stück aufgesetzt, welches wieder einen Propf von Papier maché enthält, der mit ein- bis zweiprocentiger Kochsalzlösung befeuchtet ist. Es soll dadurch die Haut des Patienten geschont werden, insbesondere wenn häufige Anlegung der Elektrode an derselben Stelle nöthig ist.

### c. Die galvanischen Elemente im Einzelnen.

Wenn man annimmt, dass die Regel für beste Combination der Elemente jederzeit praktisch ausführbar sei, d. <sup>Leistung der Elemente bei gleichen Kosten.</sup> h. dass man statt ganzer Zahlen auch jeden Bruch zulassen könne, dass man also z. B. ebenso Viertelselemente wie vierfache u. s. w. herstellen könne, so findet man, dass bei der besten Combination für jeden beliebigen Widerstand das Verhältniss der nöthigen Zahl Elemente verschiedener Sorten ein gegebenes ist, wenn die Stromstärke beidemale gleich sein soll. Man kann also unter der obigen Voraus-



setzung mit jeder Art galvanischer Elemente jede Arbeit leisten, jeden Widerstand überwinden, wenn nur die Zahl der Elemente richtig gewählt und die beste Combination bestimmt wird. (Anm. 9.) Was 1 Grove oder Bunsen leistet, dazu braucht man 6 Daniell, 7 Leclanché, 22 Siemens, 26 Meidinger und 97 Beetz. Man hätte also nur nach den Anschaffungskosten und Unterhaltungskosten zu fragen, um zu erfahren, welches Element vorzuziehen ist.

Rechnet man, wie früher, 3 Thaler für Grove, 2 für Bunsen,  $1\frac{1}{2}$  für Beetz, 1 für die übrigen, so hätte man bei den einzelnen Elementen für gleiche Wirkung der Reihe nach die Anschaffungskosten:

3	2	6	7	22	26	145
---	---	---	---	----	----	-----

Thaler. Nimmt man jedoch Rücksicht auf die Unterhaltungskosten und nimmt an, dass Bunsen und Grove vielleicht 4 Stunden, Daniell 4 Wochen, die übrigen ein Jahr brauchbar sind, so stellen sich die Zahlen wesentlich anders. Es liegt in der Natur der Sache, dass nur ungefähre Zahlen sich aufstellen lassen. Nimmt man an, dass jede Batterie jeden Tag gebraucht werde, ohne sie mehr als einmal täglich zu füllen, so werden für unsere Elemente die Betriebskosten betragen in Thalern:

1 Grove, 1 Bunsen, 6 Daniell, 7 Leclanché, 22 Siemens, 26 Meidinger, 97 Beetz.

40	50	18	5	11	13	48
----	----	----	---	----	----	----

Rechnen wir diese Betriebskosten zu den Anschaffungskosten, so ist der jährliche Aufwand in Thalern:

41	55	24	12	33	39	193
----	----	----	----	----	----	-----

Diese Zahlen sollen nicht etwa einen Massstab geben für die Güte der einzelnen Elemente, sie sind gar zu unsicher: sie sollen nur zeigen, dass die Wahl der Elemente von der Art der Benützung gar wesentlich abhängt. Wer z. B. nur alle Monate einmal den Strom braucht, der wird Bunsen und Grove vorziehen, da sich dann der Betrieb auf den 12 Theil oder etwa 4 Thaler reducirt. Der Arzt, der



seine Batterie täglich braucht, wird schon der Annehmlichkeit wegen, nur einmal des Jahrs für Erneuerung sorgen zu müssen, die vier letzten Arten vorziehen.

Nun kommt aber noch hinzu, dass die Regel der besten Combination practisch unausführbar ist, wenn es sich um grossen äussern Widerstand handelt. Je grösser die Zahl der Elemente, desto mehr wird der äussere Widerstand reducirt. Ob die Elemente klein sind, macht wenig aus, da der innere Widerstand ohnehin klein ist. So kommt es, dass die Regel für beste Combination eine grosse Zahl sehr kleiner Elemente verlangt, oder also Bruchtheile von Elementen, wenn man grössere als vorhanden in Rechnung bringt.

Unterschied des grossen und kleinen Widerstandes der Leitung.

Man habe z. B. 6 Bunsen und wolle einen äussern Widerstand von 1080 Einheiten überwinden. Man erhält als Gruppenzahl

$$\sqrt{6 \cdot \frac{1080}{0,8}} = \sqrt{8100} = 90, \text{ d. h. man hat 90 fünfzehntel Elemente}$$

anzuwenden, man hat jedes Element in 15 Theile zu theilen, und 90 solche kleine Elemente ungleichnamig zu verbinden. Praktisch ausführbar ist das natürlich nicht, es ist ein Fingerzeig, dass für diesen Fall keine Bunsen vortheilhaft verwendbar sind. Allerdings könnte man sich fünfzehntel Elemente dadurch verschaffen, dass man die Platten in Flüssigkeit nur soweit eintaucht, dass gegenüber vom gewöhnlichen Gebrauch nur der fünfzehnte Theil eingetaucht ist. Allein damit ist offenbar nichts gewonnen, da dann der grösste Theil ohne Nutzen angeschafft werden muss. Denkt man aber etwa daran, sehr kleine Elemente anzuschaffen, so wird man bald finden, dass die Anschaffungskosten nicht in dem Maasse abnehmen, als die Grösse.

Bei grossen äussern Widerständen wird man also Bunsen und Grove nicht anwenden. Bei kleinen äussern Widerständen dagegen sind sie am besten zu brauchen. Beträgt z. B. beim Glühendmachen eines Platindrahts der Widerstand 2 Einheiten, so geben 2 Bunsen ungleichnamig verbunden

$$\text{den Strom: } \frac{21}{0,8 + 1} = 11,7.$$

Wollte man zu diesem Zweck etwa Meidinger anwenden,



so hätte man bei bester Combination 5 elffache Elemente anzuwenden, also 55 Elemente im Ganzen, so dass der Anschaffungspreis viel zu gross wird.

Frommhold (der constante galvanische Strom. Pest 1867) legt grossen Werth darauf, dass seine Batterie ohne Stromunterbrechung in ihrer Wirkung in zwei Weisen abgeändert werden könne, durch Einschaltung von mehr oder weniger Elementen und durch schwächere oder stärkere Eintauchung der Metallplatten. Durch das erste werde der Intensitätswerth, durch das letzte der Quantitätswerth geändert. Der Verfasser sagt in seinem Vorwort: »Da von der Modification und Trennung der Quantitäts- und Intensitätswerthe des constanten Stroms Erwähnung geschieht, so dürfte es, um jedem Missverständnisse vorzubeugen, gleich hier an seinem Orte sein, zu erklären, dass nicht die absoluten Werthe und ihre Trennung als solche zu verstehen sind, sondern dass es sich hier um die Variationen dieser Werthe handelt, welche man für die medicinische Anwendung in jeder, durch Indicationen zu rechtfertigenden Weise, von einander unabhängig, also getrennt modificiren könne. Auch bleibt bei fixer Einsenkung der elektromotorischen Metalle der Quantitätswerth der Batterie, bei fortschreitender Intensitätssteigerung nicht auf gleicher Höhe stehen, sondern der Quantitätswerth nimmt ab, im geraden Verhältniss der Intensitätssteigerung, und zwar bedingt durch die immer neu hinzutretenden Widerstände.«

Auch hier zeigt sich wieder, wie schwer es ist, mit den Worten Quantität und Intensität fertig zu werden. Eine klare Anschauung von der »Modification« und »Trennung« beider wird Niemand durch die citirten Worte erhalten. Sowie man dagegen den Widerstand einführt, ist die Sache augenblicklich klar. In dem Ausdruck für die Stromstärke steht im Nenner der reducirte Gesamtwiderstand, die Summe des reducirten innern und des reducirten äussern (s. oben). Das tiefere Einsenken verändert in diesem Ausdruck den innern Widerstand, die grössere Zahl von Elementen (da sie ungleichnamig verbunden sind) den äussern. Es sind 32 Elemente, ihre elektromotorische Kraft und ihr Widerstand wird nicht angegeben. Da es Zink-Platin-Elemente sind, ohne Zelle, so nehmen wir die elektromotorische Kraft gleich der von Grove zu 21, den Widerstand kleiner etwa zu 0,5. Zu bemerken ist jedoch sogleich, dass von einem gleich bleibenden Strom nicht die Rede sein kann, da das Element neben zwei Metallen nur eine Flüssigkeit enthält.

Der reducirte innere Widerstand ist also 0,5 für vollständige Einsenkung, für theilweise grösser im Verhältniss der bei vollständiger und bei theilweiser Einsenkung eingetauchten Flächen. Der reducirte



äussere Widerstand ist der wirkliche dividirt durch die Zahl der Elemente.

Die grösste Wirkung hat man bei Anwendung aller Elemente und voller Eintauchung. Dies gibt beim Widerstand 1000 die Stromstärke:

$$\frac{21}{0,5 + 31} = 0,67$$

Werden die Platten gehoben, so ist die Zahl 0,5 zu vergrössern im Verhältniss der vorher und der jetzt eingetauchten Fläche. Wird die Elementenzahl vermindert, so ist die Zahl 31 im Verhältniss der vorigen zur neuen Zahl zu vermehren. Theoretisch genommen ist es absolut gleichgiltig, ob man 0,5 oder 31 grösser macht, auf beide Weise lässt sich die Stromstärke gleich modificiren. In der Praxis aber kann man auf Schwierigkeiten stossen, weil Brüche in der Elementenzahl unzulässig sind. Statt die Platten halb herauszuheben, wodurch 0,5 auf 1 vermehrt wird, kann man auch blos 31 Elemente anwenden, statt sie auszuheben bis nur der 8 Theil eingetaucht ist, was 0,5 auf 4 vermehrt, nimmt man 29 Elemente u. s. w.

Bei grossem Widerstand wird also das verschiedene Eintauchen nur von kleiner Wirkung sein. Ist der Widerstand 1, so ist der stärkste Strom bei vollem Eintauchen aller Elemente:

$$\frac{21}{5, + 0,01} = 39,5$$

Halbes Heben kann ersetzt werden durch Verminderung der Elementenzahl auf 2, Heben bis auf  $\frac{1}{8}$  kann nicht ersetzt werden; 1 Element würde dem Heben auf etwas weniger als die Hälfte entsprechen, ein Bruchelement ist praktisch nicht zulässig.

Statt zu sagen: Frommholds Batterie lässt die Quantität und Intensität ändern, werden wir also sagen, sie lässt durch Heben und Senken den reducirten innern, durch Drehung des Zeigers die Zahl der angewandten Elemente und damit den reducirten äussern Widerstand ändern. Bei grossem äussern Widerstand wird die Aenderung des innern Widerstands wenig Einfluss auf die Stromstärke haben (im obigen Beispiel von 0,67 auf 0,66 bei halber Hebung, von 0,67 auf 0,60 beim Heben auf  $\frac{1}{8}$ ), es wird also die Aenderung der Elementenzahl allein brauchbar sein. Bei kleinem äussern Widerstand würde das Heben von beträchtlichem Einfluss auf die Stromstärke sein, beinahe im Verhältniss der Hebung, allein in solchen Fällen ist überhaupt die Batterie unpraktisch, weil die Elemente ungleichnamig verbunden sind, und weil der Strom kein gleichbleibender ist. Eine beliebige Aenderung der Batterie in »Quantität und Intensität« wäre nur durch die Möglichkeit einer beliebigen Combination der Elemente gegeben, in beliebig viele ungleichnamig verbundene Gruppen von gleichnamig verbundenen Elementen. Doch scheint dafür



in der Therapie kein Bedürfniss zu sein. Jedenfalls geht aus dem Obigen hervor, dass die Meinung des Verfassers von der Vorzüglichkeit seines Systems und von der Entbehrlichkeit der Rheostate viel zu weit geht, nicht zu sprechen von dem grossen Werth, den das neue Princip für technische Zwecke, Telegraphie und unterseeische Kabel haben soll (pag. 65). Der Physiker kann sich davon nicht überzeugen.

Nehmen wir alles zusammen, so kommen wir zu dem Schluss: es ist unpraktisch, alles mit derselben Batterie thun zu wollen. Wenn eine Batterie allen möglichen Zwecken dienen soll, so wird sie den meisten nur schlecht dienen. Bei sehr grossem Widerstand hat man eine andere anzuwenden, als bei sehr kleinem; bei sehr grossem Elemente, welche selbst einen grossen innern Widerstand haben, bei sehr kleinem Elemente mit kleinem innern Widerstand. Jene haben den Vorzug langer Dauer, weil der grosse Widerstand auch die chemische Einwirkung mindert, sie sind, je mehr das der Fall ist, desto vollkommener; die mit kleinem innern Widerstand sind nothwendige Uebel, die chemische Wirkung ist sehr heftig, das Element also bald verbraucht, aber der Vortheil besteht eben in diesem kleinen Widerstand. Ob grossplattige und kleinplattige Elemente verschiedene therapeutische Resultate — bei gleicher Stromstärke — geben, ist zum mindesten nicht nachgewiesen, physikalisch ist es nicht denkbar. Benedict pag. 11 läugnet es, obgleich er pag. 9 sagt, er habe die Grösse der Siemens-Halske reducirt, da die grossen Elemente zu schmerzhaft seien.

Alle Elemente mit einer Flüssigkeit ohne Zwischenkörper wollen damit kleinen innern Widerstand gewinnen, aber bei ihnen wirkt in kurzer Zeit die Polarisirung entgegen, sie geben einige Zeit lang sehr starke Wirkungen, um dann rasch zu erlahmen. Ein Ausheben hilft ebenfalls nur für kurze Zeit.

Wir unterscheiden somit 3 Arten von Elementen: con-



stante mit kleinem, constante mit grossem, und inconstante mit kleinem Widerstand.

### 1. Constante Elemente mit kleinem Widerstand.

Die constanten Elemente mit kleinem Widerstand werden in der Therapie zur Galvanokaustik verwendet. Ausser <sup>Zink-Eisen-Elemente.</sup> Grove und Bunsen sind besonders noch die Zink-Eisen-Elemente, welche Hawkins zuerst angegeben und Schönbein modificirt hat, zu diesem Zweck empfohlen worden, insbesondere von Bruns\*). Es unterscheiden sich diese Elemente von den Grove und Bunsen nur dadurch, dass Eisensterne statt Kohlen- oder Platinplatten verwendet werden. Das Eisen in Berührung mit concentrirter Salpetersäure wird passiv, wie man es nennt, d. h. es wird von der Säure nicht angegriffen, solange deren specifisches Gewicht 1,5 und mehr ist; bei einem specifischen Gewicht von 1,3 und weniger greift sie dasselbe an unter Entwicklung rother Dämpfe von Untersalpetersäure. Bei 1,35 ist sie bald activ bald passiv. Bruns verwendet Salpetersäure vom specifischen Gewicht 1,4. Die Passivität scheint durch Bildung einer oxydirten Schicht hervorgebracht zu sein. Bruns selbst führt die den Physikern wohl bekannte Erfahrung an, dass ein Zink-Eisen-Element mit concentrirter Salpetersäure zuweilen unter zunehmender Erhizung salpetrigsaure Dämpfe ausstösst und überläuft, weil aus irgend welcher Ursache — Ablösung der oxydirten Schicht oder Verdünnung der Salpetersäure — die Passivität aufhört. Dieselbe Erfahrung hat man bei den Zink-Eisen-Batterien gemacht, welche früher zur Herstellung des elektrischen Lichts in Theatern verwendet wurden.

Die Bunsen'schen Elemente haben das Unangenehme, dass <sup>Bunsen.</sup>

\*) Die Galvanochirurgie. Tübingen 1870.



sie nicht verschliessbar sind, so dass die, während der Strom geschlossen ist, aufsteigenden rothen Dämpfe lästig fallen.

Grove. Jeder Physiker wird unbedingt das Grove'sche Element — Zink in verdünnter Schwefelsäure, Platin in concentrirter Salpetersäure, beide getrennt durch eine gut gebrannte, beim Anschlagen klingende Thonzelle — empfehlen, besonders in der Form, welche Poggendorf angegeben hat, mit Deckel von Speckstein, der gut auf die mit Salpetersäure gefüllten Zellen passt und durch welchen ein Platin-draht geht, an den unten die Platinplatte angenietet, oben die Messingsäule zur Einführung der Leitungsdrähte angeschraubt ist. Eine Batterie solcher Elemente offen, nicht in einem Kasten verschlossen, auf dem Experimentirtisch aufgestellt, lässt keine Spur von salpetrigsauren Dämpfen empfinden, und der Speckstein wird nicht angegriffen. Freilich sind diese Elemente beträchtlich theurer, als Bunsen und Zink-Eisen-Elemente. (3—4 Thaler die kleinsten, von denen jedenfalls 6 nöthig sind.)

Die salpetrigsauren Dämpfe, die bei diesen 3 Elementen sich bilden, müssen entstehen, wenn die Polarisation aufgehoben werden soll. Der Wasserstoff, der bei der Wasserzersezung in dem Element zur Kohle, zum Eisen, zum Platin geht, trifft zunächst mit der concentrirten Salpetersäure zusammen und entzieht derselben Sauerstoff, um sich mit diesem zu Wasser zu verbinden. Damit fällt die Polarisation, aber die Salpetersäure wird rasch umgeändert. Alle genannten Elemente sind deswegen nur einige Stunden gleich bleibend und müssen bei jeder Operation frisch gefüllt werden.

In der Berliner klinischen Wochenschrift 1874. Nro. 50 empfiehlt Eulenburg die Thermosäule von Noë zum Ingangsetzen eines Inductionsapparats. Ihre elektromotorische Kraft soll um mehr als ein drittel grösser sein als die von Grove, ihr Widerstand 2,22 Einheiten. Sie wird durch einen Bunsen'schen Brenner oder eine Spirituslampe erhitzt. Ihr Preis ist 8 Thaler. Wenn sich ihre Wirksamkeit längere



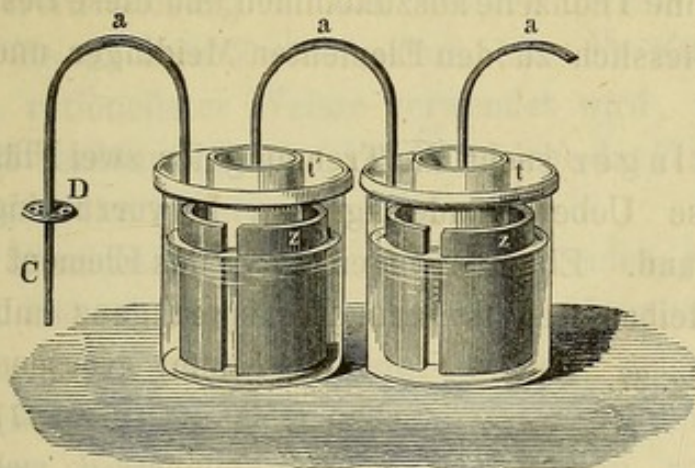
Zeit erhält, was bei den früher angepriesenen Thermobatterien nicht der Fall war, so wäre sie jedenfalls die bequemste Batterie, da sie transportabel, reinlich und jederzeit rasch in Gang zu setzen ist.

## 2. Constante Elemente mit grossem Widerstand.

Handelt es sich um Ueberwindung eines sehr grossen Widerstands, so werden Elemente mit eigenem grossen Widerstand vorzuziehen sein, weil derselbe doch noch gegen den zu überwindenden verschwindet und weil mit grossem Widerstand geringe chemische Wirkung und somit lange gleich bleibende Thätigkeit verbunden ist.

Das erste Element dieser Art, das namentlich zum <sup>Daniell.</sup> Telegraphiren lange ausschliesslich benützt wurde, ist das

Fig. 26.



Element von Daniell: Zink in verdünnter Schwefelsäure, Kupfer in Kupfervitriollösung, beide getrennt durch eine poröse Thonzelle. Der bei geschlossenem Strom ausgeschiedene Wasserstoff trifft auf seinem Wege zum Kupfer die Kupfervitriollösung; reducirt aus ihr metallisches Kupfer, tritt an dessen Stelle und bildet verdünnte Schwefelsäure. Das reducirte Kupfer wird auf der Kupferplatte niedergeschlagen — der Vorgang der Galvanoplastik — und erhält sie so beständig frisch. Freilich setzt es sich auch in die Poren der Zelle und macht damit schliesslich das Element







nach unten offenes, mit Kupfervitriolstücken und Wasser gefülltes Glasgefäss *h* in einem Kreisausschnitt.

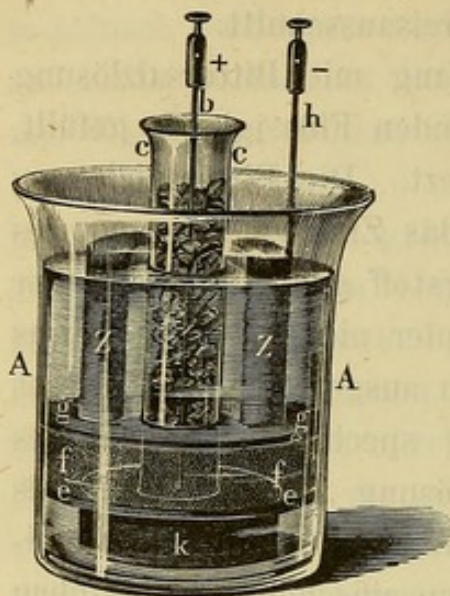
Das Element wird zum Anfang mit Bittersalzlösung (später mit der beim Zink bleibenden Flüssigkeit) gefüllt, und dann der Glasballon eingesetzt. Die Bittersalzlösung leitet nun den Strom ein, ohne das Zink zu zersezzen, es wird Wasser zersezzt, der Wasserstoff geht zur Blei- oder Kupferplatte und schlägt dort Kupfer nieder, sobald etwas Kupfervitriollösung aus dem Ballon ausgetreten ist. Dieses Austreten wird durch das höhere specifische Gewicht des Kupfervitriols begünstigt. Die Lösung des Kupfervitriols wird durch das Reduciren des Kupfers zu verdünnter Schwefelsäure, die wegen ihres geringern specifischen Gewichts oben in dem kleinen Glas sich ansammelt und bei nachsickern-der Kupfervitriollösung in das weitere Gefäss zum Zinke austritt. Es ist kein Zweifel, dass hier die Kupfervitriollösung in rationellster Weise verwendet wird, man erhält daraus die verdünnte Schwefelsäure, welche das Zink braucht, und es wird diese beständig zugeführt.

Die Elemente gestatten deswegen einen jahrelangen Gebrauch und erhalten sich in dieser Zeit sehr gleichbleibend. Nur wenn sie stark angestrengt werden, zeigen sie ein Nachlassen der Kraft, wahrscheinlich weil nicht genug Kupfervitriollösung nachzufliessen Zeit hat. Denn nach hydrostatischen Gesezen kann abgesehen von der Diffusion nur soviel nachfliessen, als durch Verdunstung oben abgeht. Am besten sind sie zu verwenden zu unterbrochener Arbeit, zu elektrischen Uhren, Läutwerken u. ähnlichem.

Siemens in seinem verbesserten Daniell'schen Ele-<sup>Siemens.</sup>ment (Fig. 28) ersetzt die Thonzelle durch eine eigens präparirte Papiermasse *f*, welche eine unten liegende Kupferspirale *k* von einem auf ihr liegenden Zinkeylinder *Z* trennt. In der Mitte geht ein mit Kupfervitriolstücken gefüllter oben und unten offener Glascylinder *c* durch bis zu



Fig. 28.

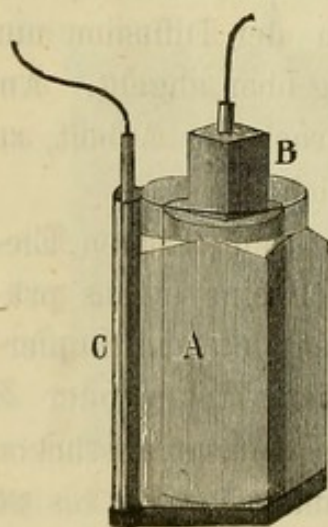


dem Raume unten, wo die Kupferspirale liegt. Das Ganze wird mit Wasser gefüllt, dem etwa für den Anfang zur raschern Einleitung des Stroms etwas Kochsalz zugesetzt wird. Der chemische Vorgang ist der gleiche wie bei Meidinger. Der durch das Papierdiaphragma gehende Wasserstoff reducirt Kupfer aus der Kupfervitriollösung, welches sich auf der Kupferspirale niederschlägt. Die dabei sich bildende verdünnte Schwefelsäure geht durch das Diaphragma zum Zink. Man hat nur nöthig, von Zeit zu Zeit Kupfervitriolstücke und Wasser in dem mittlern Gefäss nachzufüllen.

Es sind diese Elemente constanter in ihrer Wirkung als irgend andere, selbst bei grosser Anstrengung derselben und daher mehr als alle andere zu therapeutischen Zwecken bei grossem Widerstand zu empfehlen. Sie dauern jedenfalls ein Jahr. Die Papiermasse muss dann frisch präparirt werden, was dem Mechaniker zu überlassen ist. Transportabel ist die Batterie kaum zu nennen.

Le-  
clanché.

Fig. 29.



Das Element von Leclanché (Fig. 29.) benützt wie Bunsen Zink und Kohle und eine Flüssigkeit, aber die Kohle wird mit Brauneinstücken umgeben, welche den Wasserstoff absorbiren sollen, vielleicht auch direkt stromerregend wirken. Die Flüssigkeit ist concentrirte Salmiaklösung. Es bildet sich Chlorzink und Ammoniak auf Seite des Zinkes, der Wasserstoff wird von den Braun-



steinstückchen nicht vollständig absorbirt, so dass immer noch Polarisation stattfindet. Vorthail des Elements ist die grosse elektromotorische Kraft, der Widerstand scheint bei verschiedenen Exemplaren sehr wechselnd zu sein. Wenn man dafür sorgt, dass durch Ueberschuss von Salmiak die Lösung stets concentrirt erhalten wird, so ist das Element sehr dauerhaft. Braunstein und Kohle befindet sich in einer Thonzelle *A*. Um das Oxydiren der Anode bei Zersezung von Salmiak zu verhüten, ist dieselbe in einem Block (*B*) Kohle mit Asphalt gefasst. Als Kathode dient ein Zinkstab, der in einer Ausbauchung *C* des Glasgefässes Platz findet.

Von den lange dauernden ist es dasjenige, welches den kräftigsten Strom gibt. Zwei gleichnamig verbundene eignen sich nach *Ziemen* \*) ganz vortrefflich für Inductionsapparate, bei welchen ja ein kleiner Widerstand zu überwinden ist. Man hat dann nicht nöthig, jedesmal ein Grove und Bunsen frisch zu füllen.

*Beetz* (siehe deutsches Archiv für klinische Medicin *Beetz*. Band X Heft 1.) hat das Element Leclanché für therapeutische Zwecke transportabel hergestellt. In den Boden eines Reagenzgläschens ist ein Platindraht eingeschmelzt, welcher nach innen und aussen hervorragt. Bis zu einem Drittel wird das Glas mit grob gestossenem Braunstein und Kohle gefüllt, bis zu zwei Drittel mit concentrirter Salmiaklösung. In diese taucht ein Zinkstab, der in einem das Glas lose verschliessenden Propf sitzt. Die electromotorische Kraft ist noch grösser als bei Leclanché, der Widerstand uncommon gross, nemlich 45.

Das Element ist sonach nur für grosse Widerstände brauchbar, die Verbindung des hervorragenden Platindrahts soll mangelhaft sein und dadurch vielfache Störungen verursachen.

\*) El. in der Medicin pag. 174.



Das Element von Pincus, oben in einem Reagenzglas Zink in verdünnter Schwefelsäure und unten Silber von Chlorsilber umgeben, ist ebenso leicht transportabel wie das von Beetz, in Beziehung auf electromotorische Kraft und Widerstand steht es dem Meidinger gleich. Es ist theurer wegen des Verbrauchs von Chlorsilber und der isolirte Leitungsdraht, der vom Silber durch die verdünnte Schwefelsäure nach oben geht, soll vielfach Nebenschliessungen mit sich bringen. Daher hat Beetz bei seinem Element den Zuleitungsdraht unten aus dem Glas geführt.

### 3. Inconstante Elemente mit kleinem Widerstand.

Stöhrer.

Die hierher gehörigen Elemente sind in der Regel Zink-Kohlen-Elemente, aber ohne Zelle mit einer Flüssigkeit und daher mehr oder weniger der Polarisation ausgesetzt. Sie sind, wie die Stöhrer'schen, zum Eintauchen eingerichtet, geben Anfangs einen kräftigen Strom, der bei dem kleinen innern Widerstand am besten bei geringem äussern Widerstand verwendet wird. Aber nach kurzer Zeit lässt die Wirkung nach und nur nach Ausheben und Wiedereinsenken wird die Batterie wieder stärker. Um den polarisirenden Wasserstoff an den Kohlenplatten zu entfernen, hat man schon einen Strahl Wasser oder ein Wiegen der ganzen Batterie angewendet. Damit wird der Apparat complicirt und unbequem und der Zweck doch nicht ganz erreicht. Zu Glüherscheinungen sind diese Batterien nicht passend, weil mit der Temperaturerhöhung der Widerstand des Drahts wächst, und zugleich bei längerer Wirkung Polarisation eintritt, jedenfalls müssten die Oberflächen von Kohle und Zink möglichst gross genommen werden.

Bunsen.

Selbst die Batterie von Bunsen ohne Thonzelle ist zu Glüherscheinungen wenig brauchbar, der Platindraht kommt wohl zum Glühen, erlischt aber rasch. Als Flüssigkeit dient gewöhnlich verdünnte Schwefelsäure (1 auf 10 bis 20).



Bunsen hat nach einer Mischung gesucht, welche der Polarisation möglichst entgegenwirken soll. 92 Gramm gemahlenes saures chromsaures Kali werden mit 93,5 Cubikcentimeter concentrirter Schwefelsäure zu einem Brei zusammengerieben. Dabei erwärmt sich die Masse und löst sich dann in 900 Cubikcentimeter Wasser zu einem Liter Flüssigkeit. Die Einhaltung der genannten Maasse ist nothwendig, wenn nicht der Chromalaun auskrystallisiren soll; eine Bedeckung der Platten mit Krystallen würde natürlich alle Wirkung aufheben.

Eine zweite Art solcher inconstanter Elemente mit kleinem Widerstand sind Zink-Platin-Elemente, bei welcher das theure Platin durch mit Platinmoor überzogene Silberplatten — S m e e 's Element — oder Bleiplatten — F r o m m h o l d 's Batterie — ersetzt ist. Als Flüssigkeit dient verdünnte Schwefelsäure.

Smee und  
Fromm-  
hold.

Solche inconstante Elemente mit kleinem Widerstand sind — weil inconstant — wenig brauchbar zu Glühversuchen und — weil von kleinem Widerstand — unpraktisch zu Versuchen mit grossem Widerstand. Dagegen können sie mit Vortheil z. B. zu Inductionsapparaten verwendet werden. Der Vortheil dieser Batterien ist, dass sie keine Säuredämpfe geben und dass sie, wenn sie nicht gebraucht werden, durch Ausheben ganz ausser Thätigkeit gesetzt werden können, so dass Zink und Flüssigkeit gespart wird. Gegenüber den modificirten Daniell'schen Elementen haben sie den Vortheil der Transportfähigkeit.

Die Ketten von Goldberger und Pulvermacher sollen hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden. Jene geben gar keinen Strom (Heidenreich pag. 248), diese geben einen Strom, der nach Heidenreich therapeutisch wirkt. Jedenfalls ist es die roheste Form einer galvanischen Kette, rasch an Wirksamkeit verlierend, und schnellem Verderben ausgesetzt.

Alle galvanischen Combinationen haben Zink als eines der Metalle, bei allen ist nöthig dafür zu sorgen, dass es

Amalgamiren  
des  
Zinks.



nicht zu rasch aufgezehrt wird, namentlich nicht, solange die Batterie nicht in Thätigkeit ist. Das wird durch das Amalgamiren des Zink erreicht und zugleich hat man damit den Vortheil eines mehr gleich bleibenden Stromes.

Es gibt verschiedene Vorschriften für dieses Amalgamiren, zum Theil sehr complicirte. Es genügt vollständig, in ein flaches Glas Quecksilber und darüber verdünnte Schwefelsäure zu bringen: eine durch die Säure in das Quecksilber getauchte Zinkplatte wird sich dann leicht amalgamiren, besonders wenn man dann noch mit einer Bürste nachhilft. Selbstverständlich hat man sich wohl zu hüten, die Verbindungsstelle des Zink mit der Messingklemme zu amalgamiren, da dadurch mit der Zeit die Verbindung gelöst würde. Wird das Zink erwärmt, so dringt die Amalgamirung tiefer ein und braucht seltener wiederholt zu werden. Zur Erhaltung der Amalgamation ist es gut in die einzelnen Elemente einen Tropfen Quecksilber oder eine Messerspitze Schwefelsaures Quecksilberoxyd zu bringen. Durch die Thätigkeit des Stroms selbst bleibt dann die Platte überzogen mit Amalgam.

Die Wirkung des Amalgamirens beruht wahrscheinlich darauf, dass das käufliche Zink stets mit andern Metallen verunreinigt und an seiner Oberfläche niemals homogen ist. Es bilden sich dann bei der Berührung mit Säuren kleine galvanische Ketten, die eine schnelle Zerstörung des Zinks bewirken. Der Ueberzug mit Zinkamalgam tritt dem entgegen.



## Viertes Kapitel.

## Hilfsapparate zu galvanischen Batterien.

## 1. Elementenzähler.

Um allmählig den Strom einer Batterie zu verstärken <sup>Zweck.</sup> oder abzuschwächen, kann man den Rheostaten verwenden, wie oben gezeigt wurde, sei es durch direkte Einschaltung, sei es in einer Zweigleitung. Diese Methode hat den Nachtheil, dass man die ganze Batterie benützt, und mehr Arbeit leistet, als nöthig ist. Einfacher ist es offenbar, einzelne Elemente wegzulassen und damit ihre Abnützung zu vermindern.

Die verschiedenen Apparate, um eine beliebige Zahl Elemente bequem ausschalten oder wieder einschalten zu können, nennt man gewöhnlich Stromwähler. Eigentlich aber handelt es sich darum, eine beliebige Zahl Elemente zu wählen. Er soll deswegen bezeichnender Elementenzähler genannt werden, da er die Zahl der in Gebrauch befindlichen Elemente angibt. Es sind deren mehrere gebräuchlich, die einen mit Federcontact, die andern mit Stöpselcontact, die ersten von Frommhold, von Siemens-Remak und von Stöhrer, der zweite von Brenner. Frommhold (pag. 34) gibt eine Beschreibung seines Zifferblatts, wornach auf eine gut isolirte kreisrunde Holzscheibe ein Messingring aufgesetzt ist, der in 32 Theile zersägt wird, durch Einschnitte in der Richtung von Radien. In der Mitte des Rings sitzt eine Metallaxe, um welche eine durch eine Feder nach unten gedrückte Kurbel sich dreht, so dass ihr vorderster Theil auf einem der 32 Theile aufliegt, bei der Drehung aber keinen Theil verlässt, ohne den folgenden oder vorhergehenden berührt zu haben.

Die 32 Elemente sind ungleichnamig mit einander verbunden, z. B. das Platin des ersten mit dem Zink des zweiten u. s. w. Ausserdem führt von jedem Platin ein Draht



zu einem Theil des Zifferblatts zur betreffenden Nummer; die Befestigung des Drahts geschieht durch eine von unten durch die Holzscheibe zum Messingstück gehende Schraube. Der eine Zuleitungsdraht geht zum Zink des ersten Elements, der andere zur Kurbelaxe und es ist nun sogleich klar, dass soviel Elemente ungleichnamig eingeschaltet sind, als die Zahl des Messingstücks sagt, auf welchem die Kurbel aufruhet. Die Messingstücke sind so nahe bei einander, dass, wie oben gesagt, bei der Drehung keines verlassen wird, ehe das nächste berührt ist. Damit ist erreicht, dass bei allmählicher Vergrößerung oder Verkleinerung der Elementenzahl nicht jedesmal der Strom unterbrochen werde. Nach unserer Regel der Verzweigung ist die Stromstärke beim Uebergang von einem Messingkloz zum andern, während also doppelter Schluss vorhanden ist, immer zwischen den Stromstärken gelegen, die der einfache Schluss der zwei Messingklöße gibt, also eine Zunahme oder Abnahme der Stromstärke ohne raschen Wechsel gesichert. Damit der Uebergang von 32 zu 1 nicht möglich sei, ist zwischen beiden ein hervorragendes Elfenbeinblättchen eingeschoben.

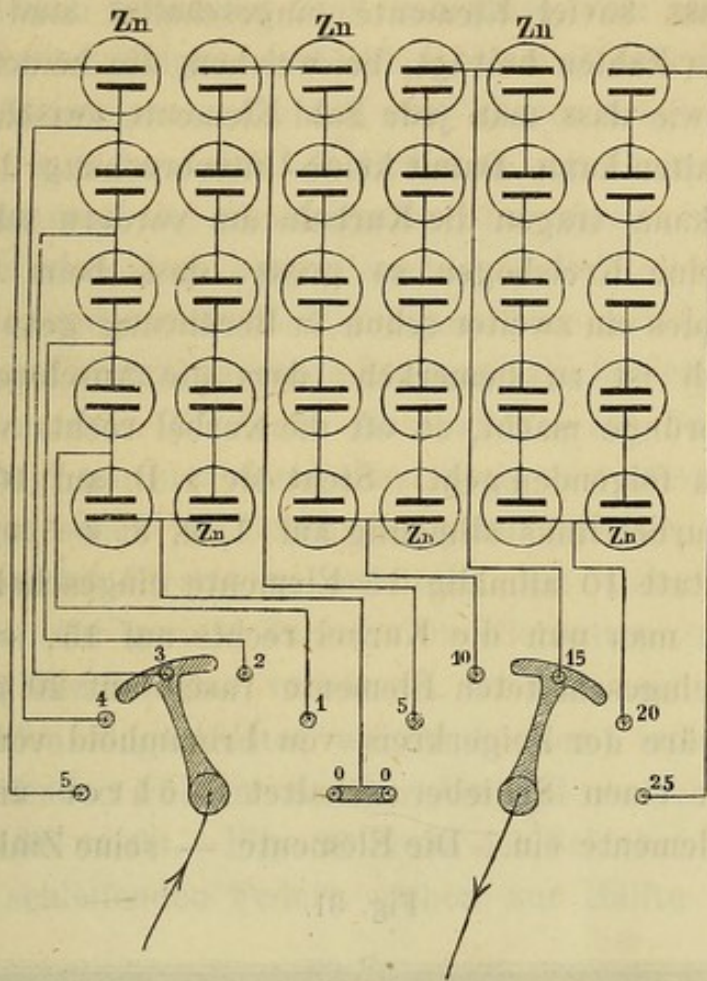
Remak's  
Elemen-  
tenzäh-  
ler.

Handelt es sich um eine grosse Zahl Elemente, 50 oder 100, so würde der zu zerschneidende Messingring in zu kleine Theile getheilt. Es ist dann der Stromwähler von Siemens-Remak mit zwei Kurbeln vorzuziehen. Auch hier werden alle zur Disposition stehende Elemente ungleichnamig verbunden. Die zwei Kurbeln bewegen sich in zwei Halbkreisen neben einander, auf welchen je nach der Gesamtzahl der Elemente verschiedene Zahlen von oben abgerundeten Knöpfen angebracht sind. Die zwei nächsten der beiden Halbkreise, mit 0 bezeichnet, sind metallisch verbunden.

Hat man z. B. 30 Elemente, so theilt man sie in 6 Gruppen von je 5 Elementen, bringt auf jeden Halbkreis in gleichem Abstand von einander 6 abgerundete Messing-



Fig. 30.



knöpfe an und bezeichnet die Messingknöpfe links von der 0 an mit den Ziffern 1 bis 5, die Messingknöpfe rechts von der 0 an mit den Zahlen 5, 10, 15, 20 und 25. Jetzt wird das erste Zink mit 5, der Verbindungsdraht zwischen dem 1. und 2. Element mit 4, der zwischen dem 3. und 2. Element mit 3, der zwischen dem 3. und 4. mit 2, der zwischen dem 4. und 5. mit 1 und der zwischen dem 5 und 6 mit 0 verbunden. Nun wird von 5 zu 5 Elementen vorwärtsgegangen, das Verbindungsstück zwischen dem 10. und 11. mit 5, zwischen dem 15. und 16. mit 10, zwischen dem 20. und 21. mit 15, zwischen dem 25. und 26. mit 20 und endlich das letzte Metall der Reihe — also Kupfer oder Kohle, nicht Zink — mit dem Knopf 25 verbunden. Gehen

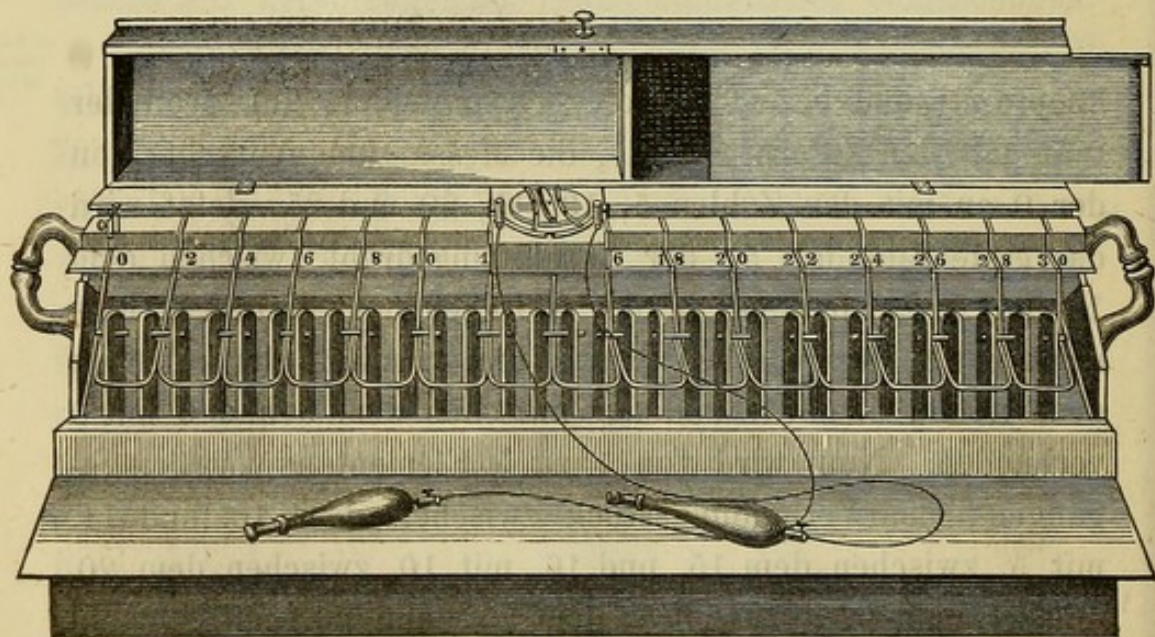


die Zuleitungsdrähte zu den Kurbelaxen, so sieht man leicht, dass soviel Elemente eingeschaltet sind, als die Summe der Zahlen beträgt, bei welchem die beiden Kurbeln stehen, sowie dass man jede Zahl Elemente zwischen 0 und 30 einschalten kann. Damit keine Unterbrechung des Stroms eintreten kann, tragen die Kurbeln am vordern schleifenden Theile kleine Kreisbogen so gross, dass beim Verlassen eines Knopfes ein zweiter schon in Berührung gekommen ist.

Jedoch ist zu bemerken, dass die Anschwellung des Stroms Sprünge macht, so oft die Kurbel rechts von einem Knopf zum folgenden geht. Steht sie z. B. auf 10 und hat man die Kurbel links allmählig auf 1, 2, 3, 4 5 eingestellt, wodurch statt 10 allmählig 15 Elemente eingeschaltet sind, und bringt man nun die Kurbel rechts auf 15, so ist die Zahl der eingeschalteten Elemente rasch auf 20 gestiegen. Insofern wäre der Zeigerkreis von Frommhold vorzuziehen.

Durch einen Schieber schaltet Stöhrer mehr oder weniger Elemente ein. Die Elemente — seine Zink-Kohlen-

Fig. 31.

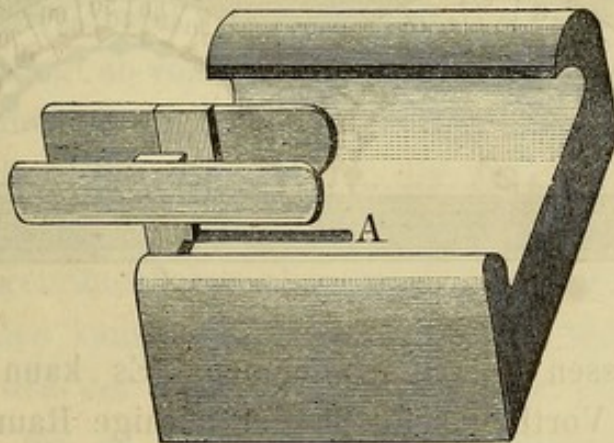


Tauchelemente — sind in zwei Reihen aufgestellt, die eine mit Zink, die andere mit Kohle beginnend. Die zwei ersten



der Reihe sind direkt verbunden, dann jede Kohle der ersten Reihe mit dem folgenden Zink und jedes Zink der zweiten Reihe mit der folgenden Kohle. Vom Verbindungsstück läuft ein Messingstab, der die zwei Platten trägt, zu einem Querholz, auf dem sich ein Schieber mit Federn bewegt, von denen eine die Messingstäbe der einen Seite, eine zweite die der andern beim Verschieben der Reihe nach berührt. Verbindet man die Leitungsschnüre mit den Federn, so kann man durch passende Stellung des Schiebers 2 oder 4 oder 6 u. s. w. Elemente einschalten. Die Federn sind gross genug, um erst dann einen Stab zu verlassen, wenn ein anderer schon zur Berührung gekommen ist, um Unterbrechungen des Stroms zu verhüten. Mit diesem Schieber lassen sich nur gerade Zahlen von Elementen einschalten. Baur hat den Schieber verbessert, so dass auch die ungeraden Zahlen eingeschaltet werden können, indem er eine der schleifenden Federn um den Abstand zweier Elemente verschiebbar macht. Fig. 32 stellt den Schieber von unten vor: die schleifenden Federn stehen zur Hälfte über den

Fig. 32.

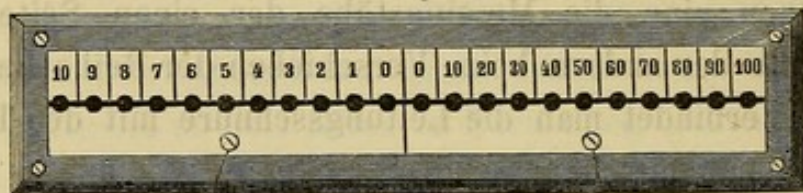


Schieber vor. Die eine kann in dem Schlitz A um ihre halbe Länge verschoben werden, so dass eine Verbindung zwischen nicht gegenüberstehenden Elementen möglich ist, also eine Einschaltung ungerader Zahlen.



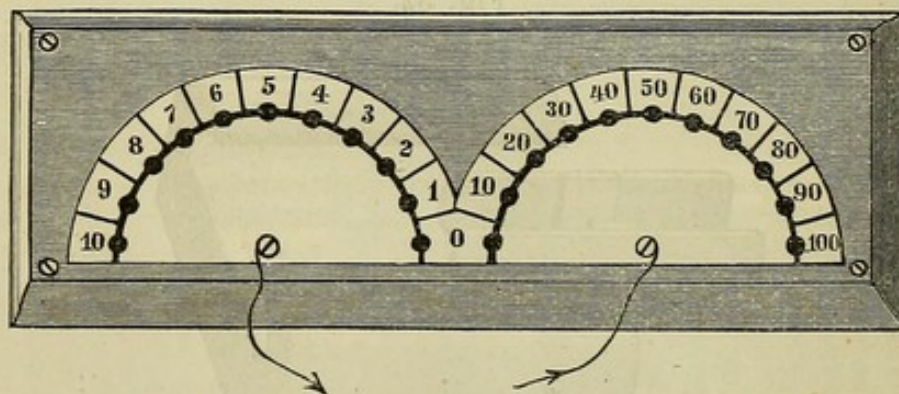
Der Elementenzähler von Brenner (Fig. 33) ist derselbe wie der von Siemens-Remak, nur mit Stöpseln statt federnden Kurbeln\*). Nach der ersten Beschreibung sind es bei 100 Elementen 22 kleine Metallbalken senkrecht zu zwei

Fig. 33.



getrennten grössern gestellt, die in gleicher Art, wie bei Siemens-Remak mit den Elementen verbunden sind. Die grossen Balken sind mit den Leitungsschnüren verbunden. Die Zahl der eingeschalteten Elemente ist gleich der Summe der Zahlen, bei welchen in der Abtheilung rechts und in der links ein Stöpsel eingesteckt ist. Man kann natürlich auch die kleinen Metallklöße in einem Halbkreis anordnen (Fig. 34.), dessen Mitte die ebenfalls halbkreisförmig ge-

Fig. 34.



stalteten grossen Balken einnehmen. Es kann diese Anordnung von Vorthail sein, da der nöthige Raum nicht die grosse Länge hat, wie bei der ersten Einrichtung. Soll bei der Umstöpslung keine Unterbrechung stattfinden, so benützt man einen dritten Stöpsel, wie beim Stöpsel-Reostaten.

\*) Elektrotherapie von Brenner Leipzig 1868. pag. 49.



Brenner zieht die Stöpselung der Federung vor, weil sie einen sicheren Kettenschluss garantirt. An der Richtigkeit dieser Ansicht ist nicht zu zweifeln (siehe S. 25), und es wird deshalb der Stöpselapparat immer vorzuziehen sein, wenn nur ganz geringe Stromschwankungen zulässig sind, wie dies nach Brenner bei den Sinnesnerven der Fall ist.

Brenner stellt sich hier eine Frage, die schon oben kurz berührt worden ist, inwiefern es nemlich mit dem Elementenzähler allein möglich ist, Stromschwankungen zu vermeiden, und es gibt uns dies Gelegenheit, hier ausführlicher darauf zurückzukommen.

Brenner sagt pag. 50: „Gesezt es seien in einem Balkensysteme der Punkt 5, im andern der Punkt 30 verstöpselt, so hat man 35 Elemente in der Kette. Will man diese Zahl auf 25 reduciren, so hat man nur den dritten Stöpsel in den mit 20 bezeichneten Zwischenraum einzusetzen; der Strom geht jezt, auch wenn 30 verschlossen bleibt, nicht mehr durch den diesem Punkte entsprechenden Stöpsel, sondern durch den zuletzt eingefügten.“

Die lezte Behauptung ist, wie wir wissen, physikalisch nicht genau: der Strom hat jezt zwei Wege und es handelt sich darum, wieviel auf jedem Wege Electricität durchgeht. Diese Menge hängt ab von dem Widerstand der Drähte, welche von den Elementen zu den Metallklößen führen, von dem Widerstand der Elemente und von der Zahl der durch den Stöpsel mehr oder weniger einzuschaltenden Elementen. Ist, wie bei den gebräuchlichen therapeutischen Batterien angenommen werden kann, der Widerstand der Elemente sehr gross gegen den der Verbindungsdrähte der Elemente und Metallklöße, so ist die Behauptung Brenners nahezu richtig. Es ist gerade so, als ob in dem obigen Beispiel statt 20 Elementen noch ein Bruchtheil eines Elements, weiter eingeschaltet wäre, ein Bruchtheil, der gefunden wird, wenn man den Widerstand des Verbindungsdrahts mit



dem Metallkloze durch den des Elements dividirt, und dieser Bruchtheil wird selten  $\frac{1}{2}$  erreichen. Die Regel bleibt dieselbe, gleichgiltig wieviel Elemente ein- oder ausgeschaltet werden sollen. Im obigen Beispiel würde also bei Einsetzen des dritten Stöpsels die Stromstärke zwischen der von 25 und  $25\frac{1}{2}$  Elementen liegen. (Anm. 10.)

Brenner macht dann auf den Uebelstand aufmerksam, der S. 94 namhaft gemacht wurde, dass bei einem Elementenzähler gewöhnlicher Construction Sprünge von 10 Elementen vorkommen. Er verband daher jedes einzelne Element mit einem besondern Metallkloz, und hatte damit die Einrichtung von Frommhold, nur für 100 Elemente, aber auch einen „kostbaren und voluminösen Apparat.“ Aber selbst diese Einrichtung wurde verworfen, weil doch immer ein Sprung von einem Element stattfindet, und „diese kleinste Schwankung ist für Sinnesorgane keineswegs klein genug.“

Somit war eine Combination von Elementenzähler und Rheostat geboten<sup>11)</sup>, in der Art, dass der Rheostat in eine Nebenleitung eingeschaltet wurde. Dadurch ist es nun möglich, die Sprünge und Schwankungen auf ein Minimum herabzubringen, wie es die Art und Weise des behandelten Organs verlangt.

Dass es möglich ist, das wird folgendes Beispiel zur Genüge zeigen. Man habe 30 Siemens'sche Elemente, der Elementenzähler gestatte von 3 zu 3 fortzuschreiten; der Rheostat gestatte alle Zehner von 10 bis 100 und dann alle Hunderter bis 1000, schliesslich noch 2000 einzuschalten.

Ist der Rheostat ganz ausgeschaltet, so dass der ganze Strom durch den Leiter geht, dessen Widerstand 4000 sei, so sind die Stromstärken (in Tausendeln) bei verschiedener Elementenzahl folgende:

Elemente:	3	6	9	12	15
Stromstärke:	90	179	267	355	442
Elemente:	18	21	24	27	30
Stromstärke:	528	614	699	783	868

Sie wachsen also nahe wie die Zahl der Elemente, und es ist dies

11) Brenner pag. 54.



das Höchste, was sich überhaupt mit der gegebenen Zahl Elemente erreichen lässt. Zugleich ist die geringste vorkommende Abstufung in der Stromstärke im Durchschnitt 0,03. Sollte dies nicht genügen, so schaltet man den Rheostaten in der Zweigleitung ein. Was dies bewirkt, darüber gibt folgende Tabelle Auskunft:

Rheostat:	2000	1000	500	100	50	10	0
3 El.	89	88	87	78	67	36	0
6	173	171	167	136	106	45	0
9	264	256	244	185	133	49	0
12	344	333	312	222	152	51	0
15	435	416	385	257	167	53	0
18	500	476	435	277	175	54	0
21	590	555	500	303	185	55	0
24	667	625	555	322	192	55	0
27	770	715	625	344	200	56	0
30	831	770	667	357	204	56	0

Die Zahlen dieser Tabelle bedeuten die Stromstärke bei Anwendung von soviel Elementen, als vorn in derselben Horizontallinie steht und bei Einschaltung von soviel Einheiten in der Zweigleitung, als oben in gleicher Spalte steht; nur ist die Stromstärke, wie sie bisher bestimmt worden ist, mit 1000 multiplicirt, um Brüche zu vermeiden.

Bedenkt man zunächst, dass zwischen 1000 und 500, zwischen 500 und 100, zwischen 100 und 50, zwischen 50 und 10 noch 5 oder 4 Zwischenstufen liegen, wenn man auch nur nach Zehnern und Hunderten fortschreitet, und zwischen 10 und 0 noch 10 Zwischenstufen, so sieht man, dass wenigstens bei kleinerer Elementenzahl eine sehr grosse Zahl von Abstufungen möglich ist. Höchstens könnte die Frage entstehen, ob bei grosser Stromstärke die möglichen Abstufungen genügen. Die grösste Stromstärke beim gegebenen Widerstand 4000 ist 868 bei Anwendung aller Elemente und Ausschaltung des Rheostaten, die nächstfolgende bei 2000 Einheiten in der Zweigleitung 831, also etwa  $\frac{1}{6}$  weniger, was wohl in den meisten Fällen genügt. Hat man vollends die Einrichtung, dass man die einzelnen Elemente aus- und einschalten kann, so erhält man natürlich noch viel mehr Zwischenstufen. Hätte der Rheostat nur 1000 Einheiten, dann wäre allerdings ein grösserer Sprung vorhanden zwischen der gänzlichen Ausschaltung und der Einschaltung von 1000 Einheiten als Zweigleitung.

Die Gefahr des Uebergangs von 2000 zu gänzlicher Ausschaltung scheint darnach nicht so gross, als sie Schiel (deutsches Archiv für klinische Medicin VII. pag. 298) auffasst. Ein 600<sup>mm</sup> langer Moderator hat doch auch seine Unbequemlichkeit, und wenn man bei



diesem auf den vollen Strom zurückgeht, so wird, wenn die Kupferplättchen nicht durch eine Schraube verschoben werden, sicher auch eine zu rasche Steigerung eintreten.

Insbesondere aber wird ein Sprung dadurch vermieden, dass man die früher (pag. 35) gegebene Regel (von Renz) befolgt, zunächst zu viele Elemente und zu wenig Zweigwiderstand einzuschalten: dann wird man, wie die Tabelle zeigt, langsam aufwärts schreiten können.

Jedenfalls aber ist klar, dass man mit einem Rheostaten neben einem Elementenzähler einen viel grössern Spielraum zur allmählichen Abschwächung oder Steigerung des Stroms hat, als ohne denselben. Darin liegt der grosse Werth des Rheostaten für den Therapeuten.

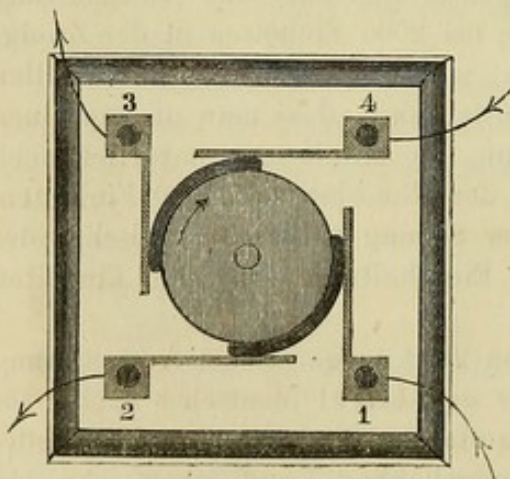
## 2. Stromwender.

Zweck.

Um die Richtung des Stroms wechseln zu können, ohne die Elektroden zu verstauchen, was zu viel Zeit in Anspruch nimmt, müssen die von der Batterie oder von dem Elementenzähler ausgehenden Drähte zunächst zu einem besondern Apparat geführt werden, welcher den Namen *Stromwender* oder *Stromwechsler* führt.

In der Therapie gebräuchlich sind nur federnde. Bei Anwendung von Stöpseln ist die Dauer des Wendens zu gross. Ist der Elementenzähler fest, wie bei Siemens-Remak, Frommhold und Brenner, so ist es auch der Stromwender. Der verschiebbare Elementenzähler von Stöhrer hat dagegen auch einen mit ihm zu verschiebenden Stromwender.

Fig. 35.



Der feste Stromwender besteht aus einer nicht leitenden um eine vertikale Axe drehbaren Scheibe, welche an zwei entgegengesetzten Seiten mit leitenden Ringstücken besetzt ist, die sich auf etwas mehr als einen Quadranten ausdehnen. In Form eines Quadrats sind vier Federn an vier in den



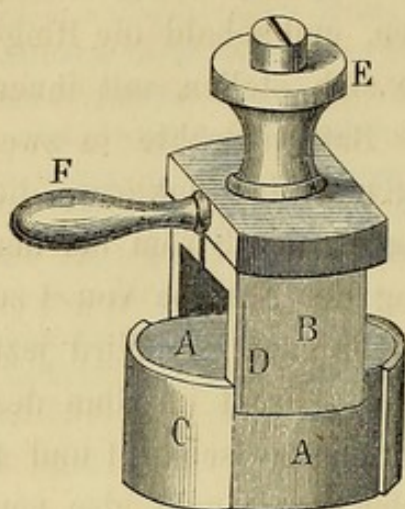
Ecken des Quadrats befestigten Messingklößen angebracht, welche gegen die Scheibe hin pressen, und sobald die Ringstücke zwischen sie und die Scheibe sich stellen, mit ihnen einen Contact bilden. Kommen die Batteriedrähte in zwei in der Diagonale des Quadrats liegende Messingklöße, die Elektroden in die zwei andern, so geht der Strom bei der in der Zeichnung gegebenen Stellung der Scheibe von 1 zu 2, durch das Object nach 4 und von da nach 3. Wird jezt die Scheibe um einen rechten Winkel gedreht im Sinn des eingezeichneten Pfeils, so ist Verbindung zwischen 1 und 4 und zwischen 2 und 3 hergestellt, der Strom geht also von 1 nach 4, durch das Object zu 3 und dann zu 2 zurück, also in umgekehrter Richtung durch das Object als vorher. Die Drehung der Scheibe geschieht durch eine Kurbel, welche durch einen Stift gehindert ist, über die zwei genannten Stellungen hinauszugehen, so dass man, ohne den Stromwender im Auge zu haben, die Wendung vollziehen kann.

Diese von Siemens - Remak herrührende Einrichtung Vorrichtung zu raschem Wechsel. hat für gewisse Versuche den Uebelstand, dass die Wendung nicht momentan erfolgt, dass zuerst der Strom unterbrochen und erst nach der zu einer Viertelsumdrehung nöthigen Zeit wieder geschlossen wird. Dem hat Brenner abgeholfen, indem er zu den Quadranten, welche mit den Federn in Berührung kommen, noch ein weiteres Stück hinzufügte, das man beliebig auf- und abwärts schieben kann. Wird es abwärts geschoben, so schliesst es sich auf der einen Seite genau an den Quadranten an, auf der andern lässt es einen kleinen Zwischenraum übrig. Jezt hat die Feder blos diesen kleinen Zwischenraum zu überspringen nöthig, um den Strom zu wenden.

Die Figur 35<sup>b</sup> zeigt die Einrichtung, welche ein weiteres Stück auf die isolirende Scheibe *A* aufzusezen gestattet. Längs der vertikalen Axe, um welche sich die Scheibe drehen lässt,



Fig. 35b.



kann man den ganzen obern Theil des Apparats abwärts und dann wieder aufwärtsschieben. Dabei kommt das isolirte Messingstück *B* in die Fortsetzung von *C* über die Scheibe *A* zu liegen, eben so entsprechend auf der Rückseite. Damit *B* in guter Verbindung mit *C* bleibe, ist es bei *D* eingesägt, um eine Federung herbeizuführen. Der Knopf *E* dient zum Auf- u. Abschieben,

die Handhabe *F* zum Drehen des ganzen Apparats beim Stromwechseln. Baur hat diese Einrichtung ebenfalls beim Störerschen Schieber angebracht, neben der Einrichtung zur Einschaltung ungerader Zahlen von Elementen. Er hat so einen Universalschieber geschaffen.

Gewöhnlich werden jetzt die Stromwender in dieser Form unabänderlich ausgeführt, die Scheibe wird mit einem Messingring umgeben, welcher an zwei entgegengesetzten Seiten durchsägt wird. Aber dann ist eine Unterbrechung des Stroms nur schwierig zu erzielen: in diesem Fall hätte man noch eine besondere, übrigens leicht zu beschaffende Einrichtung zur Stromunterbrechung anzubringen, am einfachsten durch einen Stöpsel.

### 3. Hilfsmittel zur Messung des Stroms.

#### a) Tangentenboussole.

Zweck  
der Tan-  
genten-  
boussole.

Die Messung der Stromstärke geschieht im Allgemeinen durch die Grösse der Ablenkung einer Magnetnadel und da innerhalb bestimmter Grenzen die Stromstärke der Tangente der Ablenkung proportional ist, so nennt man einen solchen Apparat eine Tangentenboussole.

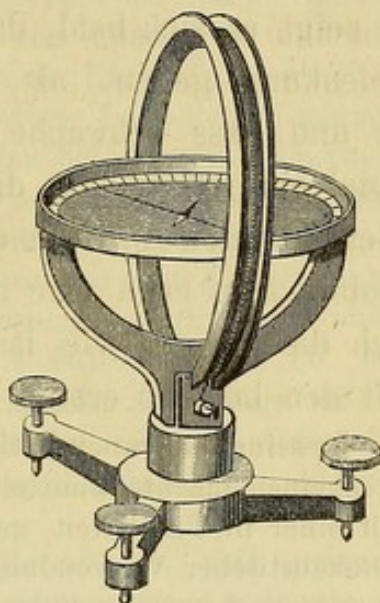
Eine Magnetnadel schwebt horizontal auf einer Spitze,



die in der Mitte eines getheilten Kreises angebracht ist, auf welchem die Lage der Nadel abgelesen werden kann. Die getheilte Scheibe lässt sich um eine vertikale Axe drehen und durch diese Drehung kann man es dahin bringen, dass die Nadel auf die Nullpunkte der

Fig. 36.

Theilung einspielt. In der vertikalen Ebene durch die Verbindungslinie der Nullpunkte ist mit dem getheilten Kreis fest verbunden ein Ring aus Holz oder Hartkautschuk, um welchen eine oder mehrere Windungen Draht geführt sind. In der Ruhelage befindet sich die Nadel gerade unterhalb des Kreistrings und bei geringer Ablenkung nicht weit davon. Es ist dann die Ablenkung



nicht sicher abzulesen, weil die Nadel von der Seite betrachtet werden muss. Man verbindet deswegen mit der Magnetnadel einen sehr leichten Zeiger — gewöhnlich von Aluminium — welcher die Nadel unter einem rechten Winkel kreuzt. In diesem Falle ist auf der Theilung 0 und 90 vertauscht, weil nicht die Lage der Nadel, sondern des dazu rechtwinklichen Zeigers abgelesen wird.

Geht der Strom durch eine Windung, so übt er einen bestimmten Druck auf die Pole der Magnetnadel aus, einen desto grössern, je stärker der Strom ist, er sucht die Nadel senkrecht zur Windung zu stellen; der Magnetismus der Erde aber strebt die Nadel in die Ebene der Windung zurückzuführen, die Nadel nimmt somit eine Zwischenstellung ein. Je kleiner die Magnetnadel im Verhältniss zum Durchmesser der Windung ist und je weniger die Nadel abgelenkt wird, desto genauer gilt das Gesetz, dass die Stromstärke proportional der Tangente der Ablenkung der Nadel ist.



Wenn die Nadel eine Länge hat, welche grösser als ein Sechstel des Durchmessers der Windung ist, und wenn die Ablenkung über  $50^{\circ}$  geht, kann man auf die Genauigkeit des Gesetzes nicht mehr rechnen.

Anwen-  
dung  
der  
Bous-  
sole.

Wenn man mit einer solchen Tangentenboussole operirt, so zeigt es sich bald, dass starke Ströme eine viel grössere Ablenkung geben, als nach dem Tangentengesetz zulässig ist und dass schwache Ströme so wenig auf die Magnetnadel einwirken, dass die Grösse der Ablenkung in Graden oder Minuten nicht mehr abgelesen werden kann. Und probirt man etwa eine andere Tangentenboussole, so stellt sich die Frage, wie lassen sich die Resultate vergleichen mit den bei der ersten erhaltenen.

In seiner Galvanokaustik \*) sagt Bruns: »So einfach und leicht es scheinen möchte, mittelst der Tangentenboussole die Brauchbarkeit einer in Thätigkeit gesetzten galvanischen Batterie behufs galvanokaustischer Verwendung zu beurtheilen, so stehen doch zwei Momente entgegen u. s. w.« Einmal gebe dieselbe Batterie an verschiedenen Boussoles verschiedene Ausschläge, und dann geben verschiedene Batterien, welche an derselben Boussole gleiche Ablenkung bewirken, sehr verschiedene In- und Extensität der Glühwirkung.

Die erste Bemerkung ist vollkommen richtig; die Stärke der Ablenkung der Magnetnadel hängt von der Windungszahl, vom Durchmesser der Windungen und von dem Widerstand aller Windungen ab. Kennt man diese Verhältnisse, so kann man allerdings einen Schluss auf die Stärke der Batterie machen, allein praktisch wird diese Untersuchungsart nicht sein. Der Therapeut wird die Tangentenboussole nur benützen, um zu erkennen, ob eine Stromstärke gleich geblieben ist, die irgendwie vorher als passend gefunden worden ist. Man habe z. B. gefunden, dass zwei Grove im Stande sind, einen bestimmten Platindraht zum Glühen zu bringen, und dass dabei die Tangentenboussole einen bestimmten Ausschlag gibt, z. B.  $60^{\circ}$ . Wird die Batterie schwächer oder tritt irgend ein Fehler bei einer neuen Zusammenstellung ein, so wird dies die Boussole sogleich anzeigen. Das ist die einzige praktische Verwendung der Boussole.

Nur theilweise richtig aber ist die Behauptung, dass verschiedene Batterien, welche an derselben Boussole gleiche Ablenkung bewirken, sehr verschiedene In- und Extensität der Glühwirkung geben.

\*) pag. 13.



Wenn Bruns angibt (pag. 14), dass zwei Zink-Eisen-Elemente bei seiner Boussole sowohl bei gleichnamiger als bei ungleichnamiger Verbindung den Ausschlag  $80^\circ$  gegeben haben, ebenso ein einziges Element gleicher und eines halber Grösse, so ist damit die beste Illustration gegeben, dass ein Ausschlag von  $80^\circ$  viel zu gross ist, um noch ein Maass für die Stromstärke geben zu können. Die Tangente von  $80^\circ$  ist 5,7, die von  $83^\circ$  schon 8,1 und die von  $77^\circ$  nur 4,3. Wenn nun schon beim Ablesen Fehler von einem Grad und mehr vorkommen können — namentlich wegen der Excentricität der Nadel zur Theilung — und wenn wegen unrichtiger Lage der Windungen zur Theilung Fehler von mehreren Graden bei grossen Ablenkungswinkeln zu erwarten sind, so sieht man, dass die Boussole in diesem Fall eben keinen Anhaltspunkt zum Messen mehr geben kann.

Nimmt man den Widerstand der Boussole zu einer Einheit an und gibt die Batterie *B* nach Bruns  $80^\circ$  Ausschlag, so gibt *A* 81 und *C*  $78^\circ$ , wenn das Tangentengesetz gilt, die Batterie *D* nur 71. Man sieht also, dass die Theorie sehr nahe gleiche Ausschläge verlangt wenigstens bei den 3 ersten Combinationen. (*D* kann unter allen Umständen nur die halbe Stromstärke von *A* geben; dort muss also ein Irrthum obwalten.)

Wendet man dagegen eine andere Boussole an, mit grösserem Durchmesser oder weniger Windungen, so könnte man z. B. die Ablenkungen 60, 57, 51 und 37 oder 41, 38, 31 und 20 erhalten, und diese wegen ihrer Grösse noch zulässigen Ablenkungen zeigen deutlich die Verschiedenheit der Combinationen übereinstimmend mit den beobachteten Glühwirkungen.

Also wäre eine Anzahl Boussoles nöthig, um immer eine solche wählen zu können, bei welcher der Ausschlag nicht zu gross ist. Diesem Uebelstand kann man entgehen, wenn man von der Verzweigung des Stroms Gebrauch macht, wenn man den zu untersuchenden Strom in zwei Theile theilt, von denen nur einer durch die Boussole geht. Da man diese Theile beliebig reguliren kann, so kann man auch den Ausschlag beliebig gross werden lassen.

Verfahren bei verschiedenen Stromstärken.

Von dem Element *E* werden die Leitungsdrähte zunächst zum Rheostaten *R* geführt und dann weiter zu der Boussole *B*. Ist beim Rheostaten gar kein Widerstand eingeschaltet, so geht nahe der ganze Strom dort durch, die Boussole gibt höchstens einen ganz schwachen Aus-



schlag. Je mehr dagegen Widerstand durch den Rheostaten eingeschaltet wird, desto weniger Strom geht durch ihn, desto stärker wird die Nadel der Boussole abgelenkt. Und wird der Rheostat ganz ausgeschaltet, so geht der Strom ganz durch die Boussole (s. Fig. 12. S. 19).

In der Regel wird nun die Aufgabe folgende sein: eine bestimmte Batterie gibt bei ausgeschaltetem Rheostaten einen bestimmten Ausschlag, wie gross wird er, wenn eine gegebene Zahl Einheiten als Zweigleitung eingeschaltet wird? Oder wenn man die Stärke des letzten Stromes kennt, wie gross ist die des ersten?

Diese Aufgaben sind schon oben gelöst worden (pag. 20). Hier ist die Voraussetzung, dass der Widerstand der Batterie gross sei gegen den der Boussole und Zweigleitung, welche sehr klein sind. In diesem Fall ändert sich durch Zweigleitung der Gesamtwiderstand nur wenig, so dass der Satz gilt: Es theilt sich der Strom, wie er ohne Zweigleitung zu Stande kommt, im umgekehrten Verhältniss der Widerstände von Boussole und Zweigleitung, wenn diese eingeschaltet wird. (Anm. 11.)

Eine Tangentenboussole mit einer einzigen Drahtwindung habe einen Widerstand von 0,01 Einheiten. Wenn als Zweigleitung 0,01 eingeschaltet wird, so wird der durch die Boussole gehende Strom auf die Hälfte reducirt; wenn 0,02, auf  $\frac{2}{3}$  u. s. w. Da aber das benützte galvanische Element im Durchschnitt jedenfalls den Widerstand 1 leistet, so wird der Gesamtstrom nicht wesentlich geändert, ob die Zweigleitung da ist oder nicht. Man erhält nemlich ohne Zweigleitung den Gesamtwiderstand 1,01 und mit Zweigleitung im ersten Beispiel oben 1,005, im zweiten 1,007, was von 1,01 kaum verschieden ist.

Man hat sonach die Regel, dass bei grossem Widerstand der Batterieleitung — viele ungleichnamig verbundene Elemente mit grossem Widerstand — der durch die Boussole ohne Zweigleitung gehende Strom nahe im Verhältniss des Widerstands der Boussoleleitung zur Summe dieses und des Widerstands der Zweigleitung bei Einschaltung dieser



vermindert wird. Wenn dagegen der Batteriewiderstand klein ist gegenüber dem der Boussole, so nimmt die Stromstärke nicht so bedeutend ab, und es ist dann eine besondere Berechnung nöthig.

Ebendeswegen wird diese Methode höchstens im ersten Fall — bei grossem Batteriewiderstand — angewendet werden. Die Tangentenboussole wird wohl nie eine grosse Rolle in der Hand des Therapeuten spielen, die Ableitung eines Resultats aus ihren Angaben ist zu complicirt. Zur Untersuchung einer Batterie mit grossem Widerstand wird man stets am besten die Wasserzersezung verwenden, wie schon S. 72 gesagt wurde. Bei kleinem Widerstand wird man direkte Proben machen, z. B. Glühversuche mit rohem Fleisch, wie Voltolini (pag. 314) vorschlägt, oder aus der bekannten electromotorischen Kraft und dem bekannten Widerstand durch Rechnung zum Ziel kommen, wie sich weiter unten zeigen wird.

#### b) Multiplicator.

Handelt es sich um sehr schwache Ströme, so hat man <sup>Zweck.</sup> verschiedene Mittel, die Einwirkung auf die Magnetnadel zu vergrössern: entweder vermehrt man die Zahl der Windungen, wodurch bei gleich bleibendem Strom in gleichem Maas die Einwirkung auf die Magnetnadel wächst — solche Apparate nennt man Multiplicatoren — oder legt man die Windungen dicht an die Magnetnadel oder endlich beschränkt man deren Richtungskraft. Gewöhnlich wendet man diese drei Mittel zu gleicher Zeit an.

Was zunächst die Vermehrung der Zahl der <sup>Vermehrung der Windungszahl.</sup> Windungen betrifft, so ist klar, dass damit der Boussole-Widerstand vermehrt, also der Strom geschwächt wird. Die Wirkung auf die Magnetnadel wird also nicht im Verhältniss der Vermehrung der Windungen zunehmen, sondern langsamer, und schliesslich wird eine Grenze kommen, wo weitere



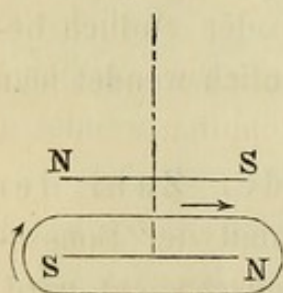
Multiplication nichts mehr hilft, weil der Widerstand zu gross wird. Die beste Wirkung tritt ja, wie wir wissen, dann ein, wenn der Widerstand in der Boussole gleich der in der Leitung ist.

Handelt es sich z. B. um Nachweisung von Thermoströmen, bei welchen die ganze Leitung metallisch ist, so darf man nicht zu viele Windungen nehmen, der Strom würde bald zu sehr geschwächt, und man wendet möglichst dicken Draht an, um keinen grossen Widerstand zu erhalten. Will man dagegen etwa Ströme im thierischen Körper nachweisen, so darf der Widerstand der Windungen tausende von Siemens'schen Einheiten betragen, man wird also möglichst viele Windungen anwenden und sehr dünnen Draht, damit alle Windungen der Magnetnadel so nahe als möglich liegen.

Astati-  
sche  
Nadeln.

Die Richtungskraft der Magnetnadel wird geschwächt, indem man ein astatisches Nadelpaar anwendet, d. h. zwei parallel, in Beziehung auf ihre Pole entgegengesetzt, gestellte, fest mit einander verbundene Magnetnadeln, von denen eine innerhalb, eine ausserhalb der Windungen schwingt, beide an einem Coconfaden aufgehängt. Wären die Nadeln genau parallel und enthielten sie genau gleich viel Magnetismus, so hätten sie gar keine Richtkraft, sie könnten in jeder Lage in Ruhe sein, sie wären vollkommen astatisch: der schwächste Strom würde sie senkrecht zu den Ebenen der Windungen stellen. Es würde in der Figur 37 z. B. die

Fig. 37.



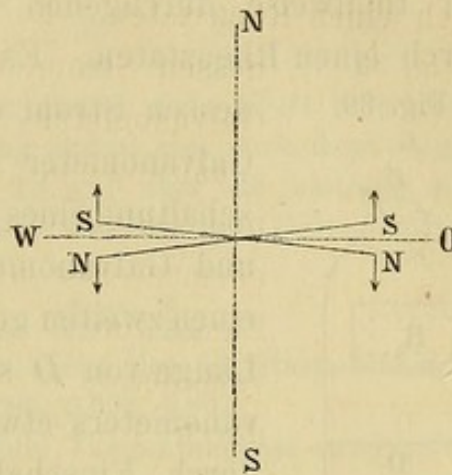
innere Nadel mit ihrem Südpol nach vorn, die äussere mit dem Südpol nach hinten ausschlagen, also die linke Seite beider nach vorn, die rechte nach hinten gehen. Die Nadeln wären nicht zu brauchen, weil sie nicht einen mit der Stärke des Stroms wachsenden Ausschlag geben, sondern immer bei durchgehendem Strom in gleiche Lage kommen würden.

In Wirklichkeit ist es aber auch unmöglich, solche



Nadeln herzustellen: sie sind nie genau parallel und nie genau gleich magnetisch. Wären sie genau parallel, aber ungleich magnetisch, so würden sie sich in der Ruhe, wenn kein Strom durchgeht, in der Richtung Süd-Nord stellen, wie es die stärkere beider Nadeln verlangt. Wären

Fig. 38.



sie aber genau gleich magnetisch, dagegen nicht parallel, so müsste sich ihre Halbirungslinie in der Richtung Ost-West stellen, weil nur dann das Drehungsbestreben beider gleich ist. (Fig. 38.) Da sie nun aber weder genau gleich magnetisch noch genau parallel sind, so wird die Ruhestellung zwischen die Richtungen Süd-Nord und Ost-West fallen.

Je mehr die gleiche Magnetisirung erreicht ist, desto mehr nähert sich in der Ruhe das Nadelpaar der Richtung Ost-West, desto kleiner ist die richtende Kraft des Erdmagnetismus, desto leichter werden die Nadeln abgelenkt. Um die gleiche Magnetisirung möglich zu machen, nehme man zwei Hälften einer gehärteten längern Nadel und magnetisire immer beide zugleich mit demselben Magnet und derselben Zahl von Strichen, wiederhole auch dieses Magnetisiren von Zeit zu Zeit.

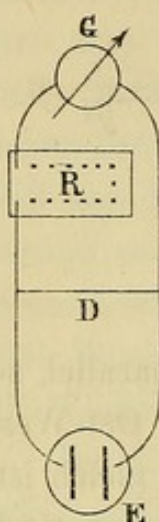
Es ist klar, dass die Ablenkung der Nadeln eines solchen Multipliers oder Galvanometers im Allgemeinen nicht dem Tangentengesetze folgt. Will man also nicht bloß das Vorhandensein eines Stroms nachweisen, d. h. das Instrument bloß als Galvanoskop verwenden, so muss man es graduiren, indem man Ströme von verschiedener Stärke durchgehen lässt. Da diese Ströme jedenfalls sehr schwach sein müssen, lässt man den Strom eines Elements, das

Gradu-  
irung  
eines  
Galvano-  
meters.



möglichst constant ist — ein Siemens oder Meidinger — nur theilweise durchgehen und schwächt den Theilstrom durch einen Rheostaten. Es sei (Fig. 39.)  $E$  das Element,

Fig. 39.



dessen Strom durch den Rheostaten und das Galvanometer geht. Man bringe durch Einschaltung eines gewöhnlichen Drahts  $D$  Rheostat und Galvanometer in einen, das Element in einen zweiten geschlossenen Kreis, und wähle die Länge von  $D$  so, dass der Ausschlag des Galvanometers etwa  $80^\circ$  beträgt. Dann kann man durch Einschaltung von Widerständen vermittelst des Rheostaten den Ausschlag herabbringen bis gegen Null, und die entsprechende Stromstärke berechnen, wenn man den Zweigwiderstand  $D$  und den Widerstand des Gal-

vanometers kennt.

Ein Galvanometer mit 300 Windungen vom Widerstand 3,4 gab einen Ausschlag von  $78^\circ$ , wenn in der Querleitung 0,06 Siemens'sche Einheiten eingeschaltet waren und als Stromgeber ein Siemens'sches Element benützt wurde. Nimmt man die elektromotorische Kraft dieses Elements zu 12, seinen Widerstand zu 5, so ist noch der Widerstand zu bestimmen, welcher an die Stelle der Zweigleitungen gesetzt werden kann. Statt der Querleitung denken wir uns eine Quecksilbersäule von 1<sup>m</sup> Länge und  $\frac{1}{0,06} = 17^{mm}$  Querschnitt, statt der Galvanometerleitung  $\frac{1}{3,4} = 0,30$ ; die Vereinigung beider Säulen gibt eine von 17,3<sup>mm</sup> Querschnitt; ihr Widerstand ist also  $\frac{1}{17,3} = 0,058$  und somit die Stromstärke  $\frac{12}{5,058} = 2,37$ .

Bleibt man bei der ersten Decimalstelle stehen, was vollkommen genügt, so sieht man, dass die ganze Berechnung überflüssig ist, weil der Widerstand der Zweigleitung gegen den der Batterie verschwindet. Man wird also unbedingt  $\frac{12}{5} = 2,4$  als Stromstärke nehmen.

Diese theilt sich im Verhältniss von 0,06 und 3,4 auf Galvanometer und Zweigleitung, so dass auf das Galvanometer  $\frac{6}{346}$  von der Stromstärke 2,4 kommt. Der die Ablenkung  $78^\circ$  hervorbringende Strom hat also den Werth  $\frac{11,4}{346} = 0,042$ , d. h. er würde in einer Minute soviel Cubikcentimeter Gas im Voltameter bilden.



Wenn man nun folgende Widerstände einschaltete, fand man die unten stehenden Ausschläge:

Widerstand	0	5	10	20	50	100
Ausschlag	78	62	50	35	17	9

Die entsprechenden Stromstärken lassen sich direct berechnen. Die Stromstärke in der Batterieleitung ändert sich nach dem obigen kaum, wir nehmen sie constant zu 2,4 an, aber sie vertheilt sich verschieden auf die Zweige, weil der Widerstand der Galvanometerleitung vermehrt wird. Man erhält

$$\frac{6}{346}, \frac{6}{846}, \frac{6}{1346}, \frac{6}{2346}, \frac{6}{5346}, \frac{6}{10346}$$

Theile des Gesamtstroms der Reihe nach, also die Stromstärken:

$$0,042, 0,017, 0,011, 0,006, 0,003, 0,001$$

Diesen Stromstärken würden nach dem Tangentengesetz entsprechen die Ablenkungen:

$$78^{\circ}, 62,5, 50,5, 34,7, 16,9, 8,9$$

also folgt das Galvanometer auffallend gut dem Tangentengesetz.

Man sieht aus diesem Beispiel, wie diese einfachen Operationen das Wesen und die Brauchbarkeit eines Galvanometers unmittelbar vor Augen führen. Da dem eingeschalteten Widerstand 100 die Stromstärke 0,001 entspricht bei der Ablenkung  $9^{\circ}$ , so würde einem Grad nahe ein Zehntausendel Stromstärke entsprechen, d. h. ein Strom, der die Galvanometernadeln um  $1^{\circ}$  ablenkt, würde in der Minute ein Zehntausendel Cubik-Centimeter Gas entwickeln.

### c) Spiegelgalvanometer.

Ein Galvanometer ist nur für Ströme brauchbar, die <sup>Zweck.</sup> in verhältnissmässig engen Grenzen liegen (im vorhergehenden Beispiel zwischen 0,001 und 0,04): die Astasie der Nadeln ist durch deren Beschaffenheit gegeben, sie kann bei verschiedenen Untersuchungen nicht vergrössert und nicht verkleinert werden und es dauert ziemlich lange, bis die Nadeln bei einer bestimmten Ablenkung zur Ruhe kommen. Allen diesen Nachtheilen hilft man jetzt durch das Spiegelgalvanometer ab.

Solange die Ablenkung einer Magnetnadel klein ist, ist die Stromstärke einfach proportional der Ablenkung, etwa bis zu zehn Grad; es wäre sonach am einfachsten, nur kleine Ausschläge zu benützen. Bei den gewöhnlichen Galvanometern geht dies nicht, weil bei kleinen Ausschlägen die

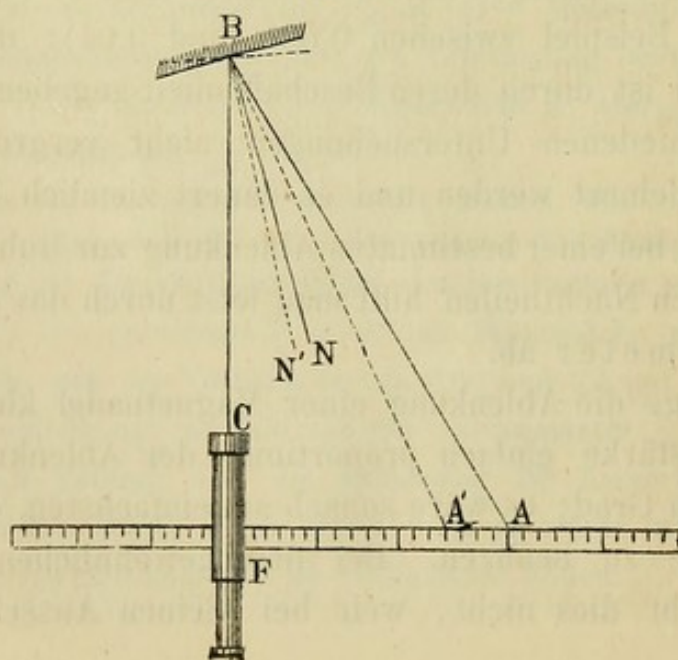


Spiegel-  
able-  
sung.

Ablesungsfehler von zu grossem Einfluss sind, man braucht ein künstliches Mittel um sehr kleine Ausschläge genau bestimmen zu können. Dazu dient die von Poggendorf angegebene und in der neuern Zeit so oft als möglich von den Physikern zu genauen Messungen angewendete Spiegelablesung. Es wird mit dem abzulenkenden Magnet ein kleiner Spiegel fest verbunden, diesem Spiegel gegenüber ein Fernrohr in einer Entfernung von einigen Metern aufgestellt; und ein getheilter Maassstab, der beim Fernrohr horizontal angebracht und gegen den Spiegel gekehrt ist, durch das Fernrohr im Spiegel betrachtet. Das Fernrohr enthält ein Fadenkreuz, und es ist klar, dass wenn man in der Ruhelage des Magnets einen bestimmten Strich des Maassstabs am verticalen Faden sieht, bei einer kleinen Drehung des Spiegels dieser Strich verschwindet und an seine Stelle ein anderer tritt. Der Maassstab bewegt sich scheinbar im Gesichtsfeld der Fernrohrs, in Wirklichkeit ändert sich nur die Lage des Bilds des Maassstabs, weil der Spiegel sich dreht. Auf diese Weise kann man mit aller Leichtigkeit und Schärfe Minuten und kleinere Winkel messen.

Sieht man durch das Fernrohr  $F$  gegen den Spiegel,

Fig. 40.





so erkennt man, wenn das Ocular richtig gestellt ist, einen bestimmten Theilstrich  $A$ , welcher so liegt, dass ein von ihm ausgehender Strahl in der Richtung der Gesichtslinie zurückgeworfen wird, wenn die Linie  $AB$  mit der Normalen  $BN$  zum Spiegel denselben Winkel macht, wie diese mit der Gesichtslinie  $BC$ . Dreht sich der Spiegel, so bleibt  $BC$  fest,  $BN$  dreht sich um denselben Winkel, wie der Spiegel. Wird Winkel  $CBN$  z. B. kleiner um  $NB'N'$ , also auch  $ABN$  um gleichviel, so wird der ganze Winkel  $CBA$  um das Doppelte des Drehwinkels  $NB'N'$  kleiner. Sieht man also jetzt den Theilstrich  $A'$ , wo vorher  $A$  stand, so ist  $ABA'$  der doppelte Drehwinkel des Spiegels und daher des Magnets. Bloss der Deutlichkeit wegen ist  $A$  weit seitwärts vom Fernrohr angenommen, in Wirklichkeit werden  $BA$  und  $BA'$  nahe senkrecht auf dem Maassstab stehen, und dann ist die Grösse des Winkels leicht aus dem Abstand  $AA'$  und der Entfernung des Spiegels vom Maassstab zu schätzen. Ein Gegenstand, der 60 mal so weit entfernt ist, als seine Breite beträgt, erscheint unter einem Winkel von einem Grad. Ist also  $AA'$  z. B. 10 Millimeter und die Entfernung des Spiegels von dem Maassstab  $3^m$  oder  $3000^{mm}$ , so ist die letzte 300 mal so gross, also der Winkel  $ABA'$  der fünfte Theil eines Grads oder 12 Minuten. Ein Millimeter der Skala würde sonach 1,2 Minuten entsprechen. Geht man mit dem Maassstab noch weiter weg, so kann man den Werth eines Millimeters einem noch kleinern Winkel entsprechen lassen. Jedenfalls sieht man, dass man Winkel ablesen kann, welche beim gewöhnlichen Galvanometer nicht mehr unterscheidbar sind.

Um den Strom in beliebiger Stärke einwirken lassen zu können, werden die Windungen auf verschiebbaren Rollen angebracht, welche dem Magnet innerhalb weiter Grenzen genähert oder von ihm entfernt werden können. Hat man noch mehrere Rollen mit verschiedener Zahl von Umwicklungen oder auf derselben Rolle mehrere Systeme von

Windungen auf verschiebbaren Rollen.



Windungen, so kann man durch passende Auswahl und Stellung der Rollen in jedem beliebigen Fall auskommen.

Astasi-  
rung des  
Magnets.

Um die Richtkraft des Magnets zu beschränken, wird ein grösserer Magnetstab gleicher Stellung — den Nordpol auf der Seite, wo der Nordpol des Magnets ist — angebracht, an einem vertikalen Stabe über ihm verschiebbar, so dass er beliebig genähert werden kann. Man findet dabei leicht die Grenze, wo die Einwirkung des Magnetstabs stärker ist als die des Erdmagnetismus, wo also der vorher nach Norden stehende Pol des Magnets nach Süden umschlägt. Bezeichnet man sich diese Stellung, so kann man durch Annäherung des Magnetstabs an dieselbe die Richtkraft des Magnets mehr und mehr beschränken, das Instrument dadurch immer empfindlicher machen.

Dämpf-  
ung.

Ausser diesen Vortheilen erreicht man noch den, dass der Magnet bei Ablenkungen rasch zur Ruhe kommt, wenn man eine dämpfende Kupfermasse anwendet. Arago hat zuerst die Beobachtung gemacht, dass eine über einer Kupferplatte schwingende Magnetnadel rascher zur Ruhe kommt, als wenn die Kupferplatte nicht da ist. Faraday hat nachgewiesen, dass die bewegten Magnetpole in der Kupferplatte Inductionsströme hervorrufen, welche die Bewegung der Pole mässigen. Es ist dies um so mehr der Fall, je näher die Metallmasse, in welcher die Ströme inducirt werden, an der Magnetnadel liegt. Bei den gewöhnlichen Galvanometern ist unter der obern Nadel eine Kupferplatte als Dämpfer angebracht. Bei dem Spiegelgalvanometer von Edelmann in München (Preis 100 fl.) ist die Nadel oder der kreisförmige Magnet so dicht von einer grossen Kupfermasse umgeben, dass die Schwingungen beinahe augenblicklich aufhören, wenn eine Ablenkung stattgefunden hat. Da es aber manchmal überflüssig ist, eine so starke Dämpfung anzuwenden, so ist dafür gesorgt, dass die dämpfenden Kupfermassen von Magnet entfernt werden können.



Ein solches Galvanometer mit Spiegelablesung, verschiebbaren Rollen und verstellbarer Dämpfung ist das vollkommenste Messinstrument für den galvanischen Strom, das es gibt; es wird sicher mehr und mehr bei genauern Arbeiten zur allgemeinen Geltung kommen. Allerdings aber ist seine Aufstellung verhältnissmässig complicirt, und beansprucht viel Raum, da der Beobachter von dem empfindlichen Instrument möglichst entfernt sein sollte.

## Fünftes Kapitel.

### Ausbreitung des Stroms.

Wir haben bis jetzt den galvanischen Strom betrachtet, Lineare Leiter. wie er in einem Leiter mit durchweg gleichem Querschnitt oder, wie man sagt, in einem linearen Leiter verläuft. Bei den Verzweigungen kamen allerdings verschiedene Querschnitte vor, aber bei jedem Zweig war wieder durchweg der Querschnitt gleich. Da nun die Stromstärke durch die Menge Electricität bedingt ist, welche in der Zeiteinheit durch einen Querschnitt hindurchgeht, so ist bei überall gleichem Querschnitt auch die in der Zeiteinheit durch die Flächeneinheit gehende Electricitätsmenge durchweg gleich, oder die Stromstärke ist für gleiche Theile des Querschnitts gleich.

Anders ist die Sache, wenn die Electricität in einen Leiter beliebiger Form. beliebig gestalteten Leiter übergeht, bei dem von einem bestimmten Querschnitt nicht die Rede sein kann, z. B. den thierischen Körper oder einen Theil desselben. Die Electricität strömt hier an einem bestimmten Punkte oder längs einer bestimmten Fläche ein, verbreitet sich nach allen Seiten hin, hauptsächlich den besten Leitern folgend, und eilt dann wieder von allen Seiten dem Ausströmungspunkte oder der Ausströmungsfläche zu. Es ist klar, dass hiebei ver-

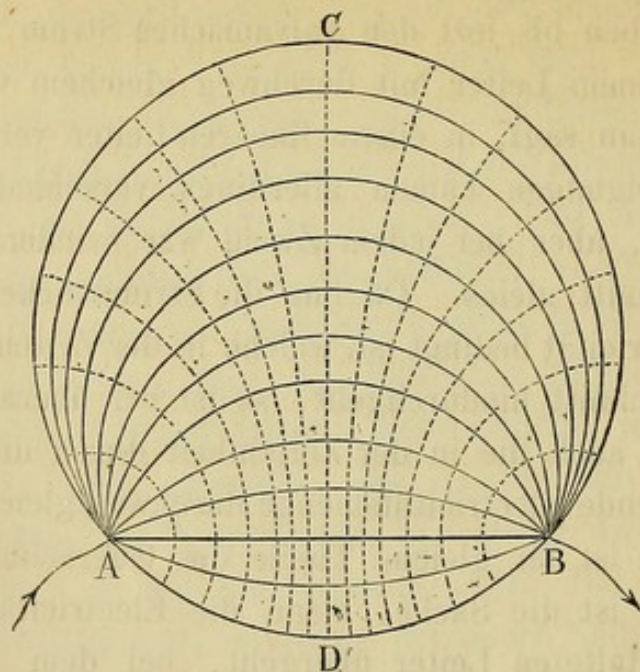


schiedene Theile der ganzen durchströmten Masse verschieden betroffen werden, dass es sich nicht um die Menge Electricität überhaupt handelt, sondern eben um diejenige, welche einzelne Theile trifft. Die Bestimmung dieser muss aber auf dasselbe Gesez zurückgeführt werden, das bei der Verzweigung anzuwenden ist, dass nemlich die Electricitätsmenge umgekehrt proportional dem Widerstand sich vertheilt.

Strom-  
verbrei-  
tung in  
einer  
Kreis-  
scheibe.

Es gibt sehr wenig Fälle, in welchen das Problem der Ausbreitung des Stroms in einem Körper gelöst ist. Als Beispiel soll hier eine kreisförmige Platte von überall gleicher Dicke und gleichem Widerstand, also z. B. eine homogene Metallplatte, angeführt sein.

Fig. 41.



Wenn an dem Umfang der Platte in den Punkten *A* und *B* der Strom ein- und austritt, und man durch *A* und *B* beliebige Kreisbögen zieht, so weit sie innerhalb des Kreises fallen, so sind dies die Curven, in welchen die Strömung vor sich geht, die *Stromfäden*; sie sind in der Figur ganz ausgezogen. Zieht man ferner Kreise, welche die vorigen und den Umfang der Platte senkrecht durch-



schneiden, so sind sie Curven gleicher Spannung oder isoelectrische Curven; sie sind in der Figur gestrichelt gezeichnet. Setzt man die Enden zweier von einem empfindlichen Galvanometer kommenden Drähte in zwei Punkten einer solchen Curve auf, so zeigt das Galvanometer keinen Strom an: denn an beiden Punkten ist die Spannung gleich, also keine Ursache vorhanden, dass die Electricität in der einen oder andern Richtung ströme. Setzt man dagegen die Drähte auf zwei verschiedene Spannungskurven auf, so zeigt sich augenblicklich ein Strom, desto stärker, je weiter die Spannungskurven aus einander sind. Die electricische Spannung nimmt von der Eintritts- bis zur Austrittsstelle ab, wie das auch im sonstigen Verlauf des Stroms in der Richtung desselben stattfindet; und die Menge Electricität, die durch das Galvanometer abgeleitet wird, ist proportional dem Spannungsunterschied an den beiden aufgesetzten Drähten.

Die Stromdichte ist am grössten am Ein- und Ausströmungspunkt *A* und *B*, am kleinsten längs der Geraden *CD*; denn durch die kleinen Flächen *A* und *B* muss dieselbe Electricitätsmenge hindurch, wie durch den grossen Querschnitt, dessen Dimensionen die Gerade *CD* und die Dicke der Platte sind. Betrachtet man irgend zwei aufeinanderfolgende der ganz ausgezogenen Curven (der Strömungs-Curven), so sieht man, dass dieselben vom Einströmungspunkt aus sich entfernen und dann wieder nähern. Die Dichte des Stroms nimmt also vom Einströmungspunkt an ab, um dann wieder zum Ausströmungspunkt zuzunehmen. Bei einem gleichartigen Körper würde also unbedingt an der Einströmungs- und Ausströmungsstelle die Wirkung der Electricität am grössten sein, weil dort durch dieselbe Fläche am meisten Electricität durchgeht.

Die in der Therapie zu behandelnden Körpertheile bestehen aus verschiedenen Substanzen mit verschiedenem Widerstand, und selbst wenn dieser etwa nach allen Rich-



tungen hin bekannt wäre, bliebe doch die Aufgabe ungemein schwierig, die Strömungskurven und Spannungskurven zu bestimmen. Praktisch lassen sich dieselben in gleicher Art auffinden, wie oben gezeigt wurde, nemlich durch eingesteckte Nadeln und Beobachtung des Stroms, der von diesen Nadeln zu einem Galvanometer geht. (Burkhardt in Basel.)

Ferner ist klar, dass, wenn ein bestimmter Theil des Körpers, z. B. ein bestimmter Nerv vorzugsweise getroffen werden soll, es nicht gleichgiltig ist, wo man die Elektroden aufsetzt. Die Ansatzpunkte sind so zu wählen, dass der Nerv von dem Strom leichter erreicht wird, als jeder andere Körpertheil, und dass die Ableitung des Stromes möglichst günstig sei. Bei der grossen Verschiedenheit des Widerstands, welchen die verschiedenen Körpertheile dem Durchgang des Stroms entgegensetzen, wird es selbst bei genauester anatomischer Kenntniss nicht möglich sein, jene Punkte des Eintritts und Austritts des Stroms a priori anzugeben. Dass sie vorhanden sind, dass es sogenannte „motorische Punkte“ gibt, hat zuerst Duchenne nachgewiesen. Er spricht von Localisirung des Stroms auf einzelne Körpertheile, und weist die Möglichkeit nach, ohne die physikalische Ursache anzugeben. Ziemssen hat eine grosse Anzahl motorischer Punkte festgestellt und angegeben, wie man sich eine physikalische Vorstellung der Erscheinung bilden könne. Davon ausgehend, dass die Nerven ungefähr doppelt so schlecht leiten, als die Muskeln, schliesst er, dass „tiefer liegende Nerven nur dann gereizt werden können, wenn man im Stande ist, die verschiedenen, durch feuchte Leiter von einander getrennten Widerstände durch kräftige Compression mittelst der Electrode zu einem grossen Widerstande zu vereinigen,“ und findet dies durch Beobachtungen am Lebenden bestätigt. „Sehr begünstigend für das Zustandekommen completer Contractionen auf intramuskulärem Wege, be-



sonders bei grossen und breiten Muskeln, ist die Vergrösserung der Contactfläche an den Enden der Elektroden.“ „Die Strombahn, welche von der grossen Contactfläche aus in den Muskel eintritt, ist viel umfänglicher, als die der feinen Electrode. Somit werden von der erstern eine weit grössere Zahl von motorischen Nervenfasern gereizt werden, als von der letztern.“ Als Zwischensatz würde der Physiker noch einschieben, dass bei grosser Oberfläche der Elektrode gerade der Hauptwiderstand, der der Haut, weniger auf Verminderung der Stromstärke einwirkt. Die ins Innere gelangende Stromstärke ist grösser, wenn durch Vergrösserung der schlecht leitenden Hautfläche der Widerstand derselben vermindert wird.

Aehnlich spricht sich Rosenthal aus (pag. 186). Er betrachtet die Haut als nahezu gar nicht leitend und lässt die Electricität ihren Weg durch die Schweisskanälchen oder andere enge Wege nehmen. Nimmt man eine grosse Elektrode, so findet der Durchgang durch die Epidermis an vielen Punkten statt, um so grösser ist die absolute Stärke des Stroms (weil, setzen wir hinzu, mehr Wege für die Electricität offen sind, also mehr zuströmen kann). An jedem einzelnen Punkte aber, an welchem der Strom die Epidermis durchbricht, wird die Stromdichte dieselbe Grösse erlangen, als bei Anwendung eines Drahts als Elektrode an diesem einen Punkt. (Denn pag. 22 haben wir den Satz aufgestellt, dass jede Zweigleitung soviel Stromstärke erhält, als ob andere Zweige nicht da wären, wenn der Widerstand in der Batterie gegen den der Zweigleitungen zu vernachlässigen ist, was hier zutrifft.) An den Punkten, wo der Strom beim Eindringen die Epidermis verlässt, wird er eine grosse Dichte haben, hier ist eine starke Erregung sensibler Nerven möglich.

Ebenso im Einklang mit den bisher festgestellten Begriffen ist die weitere Ausführung Rosenthals (pag. 188),



dass das Aufsetzen einer grossen Elektrode auf die wohl durchfeuchtete Haut die Stromstärke an einer zweiten pinselförmigen Elektrode nahe verdopple, da der Hauptwiderstand eben in der Epidermis liegt, und die eine Hälfte desselben bei grosser Elektrode auf wohl durchfeuchteter Haut wegfällt; dass eine zweite grosse Elektrode auf durchfeuchteter Haut die Stromstärke beträchtlich mehre, so dass tiefer liegende Muskeln und Nerven, ohne Schmerzgefühl in der Haut, erregt werden können.

Form der  
Elektro-  
den.

Die Form der Electroden spielt bei dieser Ausbreitung der Electricität eine grosse Rolle. An und für sich betrachtet, abgesehen von dem Uebergang aus Elektrode in den Körper, ist es vollkommen gleichgiltig für die Stromstärke, welche Form, welchen Querschnitt man der Elektrode gibt: sie ist von Metall, ihr Widerstand im Ganzen, sowie der Widerstand ihrer einzelnen Theile ist so klein, dass er merkliche Abschwächung nicht bewirken kann. Von Bedeutung kann nur sein, wie bei verschiedener Form die Ueberleitung des Stroms in den Körper vor sich geht.

Zunächst kommt hier der Querschnitt der Elektrode in Betracht: ist er gross, so ist auch die Fläche gross, durch die der Strom übergehen kann und in gleichem Maasse, in welchem die Fläche wächst, steigt auch die Stromstärke (nach dem schon oben angeführten Saz pag. 22).

Die besondere Form der Electroden — Platte, Knopf, Nadel oder Pinsel — bedingt ausser der Stromstärke auch noch die Stromdichte. Die Platte gibt die grösste Stromstärke bei kleinster Stromdichte. Wegen dieser geringen Stromdichte trifft jede kleine Fläche weniger Electricität, es wird die betreffende Stelle geschont; es kann sogar möglicherweise, wenn sich unter der Haut ein dünner guter Leiter in der Nähe befindet, in diesem die Dichte grösser sein, als an der Eintrittsfläche. Der Knopf als kleinere Platte bildet den Uebergang zur Nadel, bei welcher die



grösste Dichtigkeit erreicht wird. Der Pinsel gibt eine Reihe getrennter Eintrittsstellen mit grösserer Dichtigkeit.

Bei der Elektrolyse kommt die Ausbreitung des Stroms <sup>Electro-lyse.</sup> in Betracht, da zunächst der Strom durch die Elektroden eingeführt wird und von da aus in der ganzen Flüssigkeit sich vertheilt. Am dichtesten ist die Electricität an den Electroden, hier wird also die Wirkung am grössten sein. Unter Umständen erfolgt elektrolytische Wirkung überhaupt erst, wenn die Dichte möglichst vergrössert wird, so beim Inductionsapparat, welcher Wasser nur zersetzt, wenn die Elektroden Platindrähte sind, die in Glasröhren eingeschmolzen nur an den äussersten Enden mit der Flüssigkeit in Berührung kommen. Dadurch wird auf möglichst kleinem Raum möglichst viel Electricität concentrirt.

Auch in der Therapie wird bei der Electrolyse die Stromdichte vermehrt, wenn man eine oder mehrere Nadeln als Kathoden anwendet, freilich nicht vollständig, da ein nicht leitender Ueberzug nicht practicabel ist (Bruns pag. 129). Werden mehrere Nadeln verwendet, welche gleich weit von der Anode entfernt sind, so wird die Wirkung an jeder ungefähr dieselbe sein — sie wäre genau dieselbe, wenn der Widerstand nach allen Seiten gleich wäre. Sind aber die Nadeln verschieden entfernt, so wird die Wirkung nahe den Abständen umgekehrt proportional sein. Hat man z. B. 3 Nadeln mit den Abständen 1, 2 und 3, so wäre die Grösse der Wirkung der Reihe nach 1,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$  oder in ganzen Zahlen 6, 3, 2.

## Sechstes Kapitel.

### Induction.

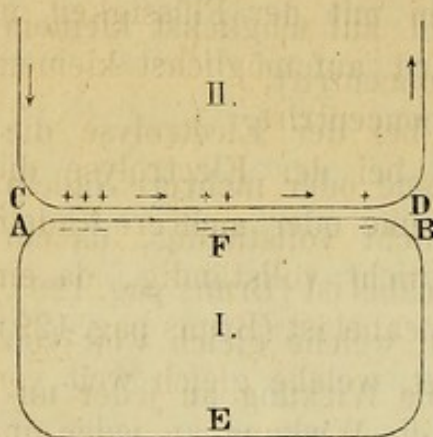
Wenn in die Nähe eines geschlossenen Leiters ein <sup>Entstehung von Inductionsströmen.</sup> Strom oder ein Magnetpol gebracht, oder wenn in seiner



Nähe plötzlich ein Strom geschlossen oder ein Magnetpol erzeugt wird, so entsteht in dem Leiter ein momentan dauernder Strom entgegengesetzter Richtung, beim Entfernen des Stroms oder Pols, beim Oeffnen des Stroms und Aufhören des Magnetismus der gleich gerichtete. Man nennt solche Ströme *Inductionsströme*, weil sie durch Vertheilung der Electricität — englisch *induction* — hervorgebracht werden.

Wenn z. B. in dem Leiter II. (Figur 42.) ein Strom im Sinn des Pfeils plötzlich eingeführt wird, so ist nach

Fig. 42.



unsern frühern Anschauungen in *C* mehr positive Elemente angesammelt als in *D*, was durch 3 Pluszeichen bei *C*, eines bei *D*, und zwei in der Mitte bezeichnet sein soll. Die positive Electricität nimmt von *C* bis *D* stetig ab. Auf den in nächster Nähe liegenden Theil *AFB* des geschlossenen Leiters I. muss jene Anordnung der Electricität in der Art einwirken, das nach *A*

viel, nach *F* weniger, nach *B* noch weniger negative Electricität gezogen wird. In dem geschlossenen Leiter muss also eine Bewegung negativer Electricität von *B* nach *A* stattfinden. Dies ist auf zwei Wegen möglich: entweder geht negative Electricität von *B* über *F* nach *A* oder von *B* über *E* nach *A*. Der letzte Strom wird angewendet und beobachtet, er geht gleich dem entgegengesetzten Strom positiver Electricität von *A* über *E* nach *B*, und da dieser fortgesetzt von *B* über *F* nach *E* gehen würde, so sagt man, es werde der dem plötzlich auftretenden Strom entgegengesetzte inducirt.

Dieser inducirte Strom dauert nur solange, als Zeit nöthig ist, um die neue Vertheilung der Electricität im Leiter hervorzubringen, also bei der grossen Geschwindigkeit der



Electricität ungemein kurz. Ist die Vertheilung fertig, so bleibt die Electricität in Ruhe, solange der Strom in II ungeändert bleibt, weil in II die Vertheilung der freien Electricität ebenfalls gleich bleibt. Hört der Strom in II auf, so stellt sich im geschlossenen Leiter I wieder der ursprüngliche Zustand her, was abermals durch einen momentanen Strom, aber von entgegengesetzter Richtung als vorher, geschieht. Es entsteht ein dem ursprünglichen Strom in II gleichgerichteter Inductionsstrom.

Sollen diese Inductionsströme von bedeutenderer Wirkung sein, so muss die Einwirkung des Hauptstroms beträchtlich vervielfältigt werden, und dies geschieht, indem man den Hauptstrom durch eine grosse Zahl von Windungen gehen lässt, in deren nächster Nähe wieder eine grosse Zahl von Windungen angebracht ist, in welchen der Inductionsstrom entstehen soll; man wendet eine inducirende und eine inducirte Drahtrolle an, die in einander geschoben werden.

Der Sitz der elektromotorischen Kraft dieser Inductionsströme ist an jeder Stelle zu suchen, wo die Einwirkung der inducirenden Rolle statt hat, also längs aller Windungen der inducirten Rolle; sie fehlt nur in den Leitungsdrähten, in welche die Rolle ausmündet. Daraus folgt, dass die elektromotorische Kraft proportional der Zahl der Windungen ist, und da jede Windung der Hauptrolle oder primären Rolle, durch welche der Strom gesendet wird, auf jede Windung der secundären Rolle einwirkt, so ergibt sich, dass die elektromotorische Kraft proportional dem Produkt der Windungszahlen beider Rollen ist. Ausserdem ist klar, dass die elektromotorische Kraft des inducirten Stroms proportional der Stärke des inducirenden ist.

Man kann somit die elektromotorische Kraft des Inductionsstroms beliebig vermehren, indem man die Zahl der Windungen beider Rollen vermehrt. Allein damit wird zu-

Verstärkung  
der Inductions-  
ströme.

Elektro-  
moto-  
rische  
Kraft.



gleich der Widerstand vermehrt. In der primären Rolle hat dies den Nachtheil, dass der Hauptstrom geschwächt wird und damit zugleich der Inductionsstrom. In der secundären Rolle hat die Vermehrung des Widerstands keinen Nachtheil, wenn der inducirte Strom selbst grossen Widerstand findet, wie das bei der Anwendung in der Therapie stets der Fall ist.

Beste  
Con-  
struction  
einer In-  
ductions-  
rolle.

Geht man davon aus, dass eine bestimmte Kupfermasse zu den Rollen verwendet werden soll, was ungefähr mit der Forderung einer bestimmten Handlichkeit oder eines bestimmten Preises zusammenfällt, so kann man folgendermassen auf die beste Art der Construction schliessen: Nimmt man z. B. die zehnfache Windungszahl, so muss man eine zehnmal so grosse Länge des Drahts anwenden, also, weil die Kupfermasse gleich bleiben soll, den Querschnitt zehnmal so klein nehmen: in Folge jeder dieser Aenderungen wird der Widerstand zehnmal so gross, in Folge beider zusammen also hundertmal so gross.

Für die primäre Rolle hat man sonach nicht viele Windungen dicken Drahts zu verwenden, weil sonst der Hauptstrom zu sehr geschwächt und damit die Inductionswirkung vermindert wird, die secundäre Rolle mag beschaffen sein, wie sie will. Mit der Zahl der Windungen der primären Rolle wächst die Einwirkung auf die secundäre in gleichem Verhältniss, der Widerstand dagegen im quadratischen, also ist offenbar kleine Windungszahl geboten. Es ist natürlich noch ein weiter Spielraum in der Wahl der Windungszahl vorhanden, denkt man sich aber Zahl und Art der Elemente, die man benützen will, gegeben, so muss, wie wir wissen, für die beste Wirkung der Widerstand in ihnen dem in der primären Rolle gleich sein. Ebenso folgt umgekehrt, dass bei gegebenem Inductionsapparat der Widerstand der primären Rolle Anhaltspunkte gibt für die zu benützenden Elemente.



Ein mittelgrosser Inductionsapparat von Rhümkorff hat etwa 200 Windungen eines 2,5<sup>mm</sup> dicken Kupferdrahts, deren Widerstand nahe 0,5 beträgt. Sonach erhält man bei Anwendung von

1 Grove	den Strom	$\frac{21}{0,7 + 0,5} = 17,5$
2 Grove gleichnamig . . . . .		$\frac{21}{0,35 + 0,5} = 24,7$
6 Leclanché gleichnamig . . . . .		$\frac{16}{0,5 + 0,5} = 16$
10 Meidinger gleichnamig . . . . .		$\frac{11}{0,5 + 0,5} = 11$

Man wird also wohl die Leclanché vorziehen, da die Grove jedesmal frisch zu füllen sind. Die Elemente sind gleichnamig zu verbinden, da es sich um Ueberwindung eines kleinen Widerstandes handelt. Die Zahl derselben ist dadurch bestimmt, dass der reducirte innere Widerstand, d. h. bei gleichnamiger Verbindung der Widerstand eines Elements dividirt durch die Zahl der Elemente dem äussern Widerstand möglichst nahe kommen muss.

Der Widerstand der secundären Rolle desselben Apparats beträgt etwa 1300 Einheiten, in 20000 Windungen eines 9000<sup>m</sup> langen und 0,4<sup>mm</sup> dicken Kupferdrahts. Dieser Widerstand ist noch beträchtlich geringer, als der des thierischen Körpers oder eines Theils desselben. Würde es sich also um therapeutische Zwecke handeln, so könnte die Zahl der Windungen des secundären Drahts noch vermehrt werden, vielleicht auf das 1½fache, und in gleichem Maass der Querschnitt reducirt. Der Widerstand würde dann  $\frac{9}{4} \cdot 1300 = 2925$ , also noch nicht zu gross.

Wollte man dagegen die Zahl der Windungen des primären Drahts etwa verdoppeln, um das Produkt der zwei Windungszahlen zu erhöhen, so würde der Draht den halben Querschnitt erhalten, der Widerstand 4mal so gross, also 2,0 werden und in Folge dessen bei den oben genannten Elementen die Stromstärke bei richtiger Combination folgendermassen erhalten werden:

1 Grove	$\frac{21}{0,7 + 2,0} = 7,8$
2 Grove ungleichnamig	$\frac{21}{0,7 + 1,0} = 12,4$
6 Leclanché 2 Gruppen von 3 gleichn. verb.	$\frac{16}{1,0 + 1,0} = 8,0$
10 Meidinger 2 Gruppen von 5 gleichn. verb.	$\frac{11}{1,0 + 1,0} = 5,5$

Es würde also die Stromstärke auf die Hälfte abnehmen und somit Nichts gewonnen sein, da das Produkt der Windungszahlen nur das Doppelte erreicht. Dagegen ist es offenbar einfacher, 200



Windungen dickeren Drahts aufzuwinden, als 400 Windungen dünneren, und darum wird die obige Einrichtung vorzuziehen sein.

Es ergibt sich somit deutlich die Regel, zur primären Rolle wenig Windungen dicken Drahts, zur secundären viele Windungen dünnen Drahts zu nehmen.

Verstärkung der Induction durch Eisen.

Der Inductionsstrom in der secundären Rolle entsteht auch, wenn man ihr einen Magnetpol nähert oder wenn man einen solchen in ihrer Nähe entstehen lässt. Seine Wirkung ist dieselbe, wie die eines Stromes, welcher im Sinn des Zeigers einer Uhr circulirt, wenn man bei abgewendetem Nordpol den Südpol betrachtet. Schiebt man also in die primäre Rolle ein weiches Eisen und über die primäre die secundäre, so wird in dem Moment, wo der Strom in die primäre Rolle geschickt wird, das Eisen magnetisch und wirkt ebenso inducirend, wie der Strom, der den Magnetismus hervorgebracht hat; der Inductionsstrom wird also verstärkt. Geht der Strom nicht mehr durch die primäre Rolle, so hört auch der Magnetismus des Eisens auf und dieses Aufhören wirkt wieder im gleichen Sinn wie das Oeffnen des Stroms in der primären Rolle, der Eisenkern verstärkt also die inducirende Wirkung des Hauptstroms beim Schliessen und Oeffnen. Dazu kommt aber noch eine weitere Wirkung: in dem Eisenkern als geschlossenem Leiter entsteht durch den primären Strom ein Inductionsstrom, wie in der secundären Rolle, entgegengesetzt dem Hauptstrom, wirkt also diesem entgegen bei seinem Entstehen, und in gleichem Sinn beim Vergehen; er schwächt so den Inductionsstrom anfangs und verstärkt ihn nachher, verlängert also seine Dauer auf Unkosten seiner momentanen Stärke; es wird die gleiche Menge Electricität in längerer Zeit fortgeführt und damit die Wirkung vermindert. Diese schädliche Wirkung wird grossentheils gehoben, wenn man statt des soliden Eisenkerns einen aufgeschlizten Cylinder von Eisen anwendet, in welchem der Inductionsstrom keine regelmässige Bahn findet, also schwerer zu Stande kommt,

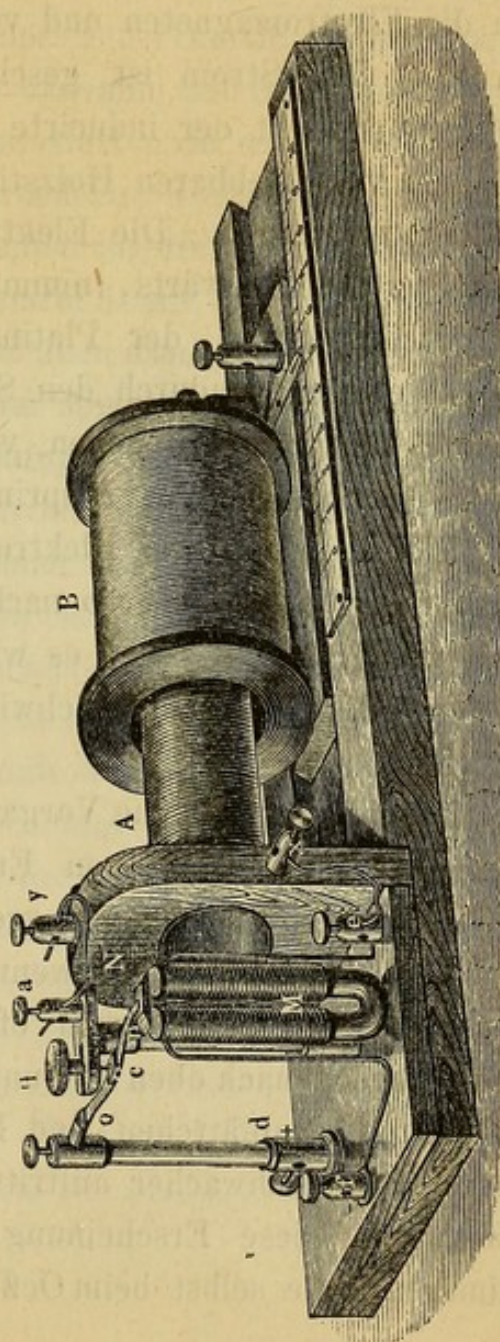


oder ein Bündel von Eisenstäben, die unter sich isolirt sind.

Da der Inductionsstrom nur zu Stande kommt, wenn der Hauptstrom geschlossen oder geöffnet wird, so ist ausser den Rollen mit Eisenkern noch eine Einrichtung nöthig, um das Schliessen und Oeffnen in kurzen Perioden hervorzu-  
Induc-  
tions  
apparat.  
 bringen, ein Selbstunterbrecher. Die Rollen mit diesem verbunden geben dann den Inductionsapparat. Der in der Therapie gebräuchlichste ist der Schlittenapparat von Dubois-Reimond, er soll zunächst näher betrachtet werden.

In dem verticalen Ständer *N* ist die primäre Rolle *A* befestigt, innen den Eisenkern tragend. Ueber dieser Rolle lässt sich die secundäre *B* verschieben, indem sie auf einem Holzstück sitzt, das in einem Falz sich bewegt. Auf dem Holzstück sind zwei Messingsäulen angebracht, in welche die Enden der secundären Rolle münden. Die Enden der primären Rolle gehen zu den Messingsäulen *x* und *y*, von *x* geht der Draht weiter nach *e*, dann um die Elektromagneten *M* und zur Messingsäule *f*, von *y* durch einen Draht und ein horizon-

Fig. 43.





tales Messingplättchen zu der Schraube  $q$ , welche in eine Platinspize endigt. Diese liegt auf einem Platinplättchen  $c$  auf, welches durch die Messingfeder  $o$  gegen die Spize angedrückt wird; die Messingfeder ist in der Messingsäule  $d$  fest, und trägt am Ende einen eisernen Anker  $n$ , welcher sehr wenig oberhalb der Enden der Elektromagnete sich befindet.

Tritt der Strom in  $d$  ein, so geht er durch die Feder  $o$  und die Schraube  $q$  zur primären Rolle, von da zur Säule  $x$ , um die Electromagneten und von der Säule  $f$  zur Batterie zurück. Der Strom ist geschlossen, in der secundären Rolle  $B$  entsteht der inducirte Strom, und kann durch die auf dem verschiebbaren Holzstück stehenden Messingsäulen fortgeleitet werden. Die Elektromagnete ziehen den Anker  $n$  an, er geht abwärts, nimmt mit der Feder  $o$  das Platinplättchen  $c$  von der Platinspize der Schraube  $q$  weg und unterbricht dadurch den Strom. In der Rolle  $B$  entsteht der umgekehrt gegen vorher gerichtete Oeffnungsinductionsstrom und bei  $c$  springt ein lebhafter Funke über.

Weil zugleich der Elektromagnet seinen Magnetismus verliert, geht die Feder  $o$  nach oben und der Hauptstrom wird wieder geschlossen, es wiederholt sich alles bisherige in Perioden, welche der Schwingungszeit der Feder  $o$  entsprechen.

Das ist der einfache Vorgang der Sache, daran knüpfen sich aber eine Reihe von Erwägungen, welche für die Wirkung des Apparats von grosser Bedeutung sind.

Schlies-  
sungs-  
und  
Oeff-  
nungs-  
funke.

Zunächst zeigt sich, wenn man die Feder, welche abwechselnd den Hauptstrom öffnet und schliesst, mit der Hand langsam nach oben und unten führt, dass beim Schliessen zwischen Platinplättchen und Platinspize kein Funke oder nur ein sehr schwacher auftritt, beim Oeffnen dagegen ein lebhafter. Diese Erscheinung rührt daher, dass in der primären Rolle selbst beim Oeffnen und Schliessen ein indu-



cirter Strom entsteht, dem man im Gegensatz zu den andern inducirten Strömen den besondern Namen „*Extrastrom*“ Extrastrom. gegeben hat, der jedoch den allgemeinen Gesezen der inducirten Ströme folgt, also beim Schliessen dem Hauptstrom entgegengesetzt, beim Oeffnen ihm gleichgerichtet ist. Erfolgt die Schliessung, so wirkt der Extrastrom dem Hauptstrom entgegen, die Wirkung ist eine geschwächte: einmal ist die Spannung der Electricität nicht so gross, dass ein merkbarer Funke überspringen könnte, und zweitens wird der inducirte Strom in der secundären Rolle *B* schwach sein, weil auch hier Extrastrom und Hauptstrom einander entgegenwirken. Beim Oeffnen dagegen hat der Extrastrom gleiche Richtung mit dem Hauptstrom, sie werden also zusammen verstärkte Wirkung ausüben, ein lebhafter Funke wird die Spannung der Electricität an der Unterbrechungsstelle ausgleichen und der inducirte Strom in der secundären Rolle wird nahezu verdoppelt auftreten. Daher rührt es, dass bei den inducirten Strömen der secundären Rolle nur die Oeffnungsströme von Wirkung sind, die Schliessungsströme gegen dieselben nahe verschwinden — im Gegensatz zu den gewöhnlichen elektromagnetischen Apparaten.

Werden die Leitungsdrähte bei *f* und *a* eingeschraubt, und die Elektroden auf einen thierischen Körper aufgesetzt, so kann der Hauptstrom entweder den oben angegebenen Weg verfolgen oder von der Säule *d* zur Säule *a* durch den Körper gehen; da aber der Widerstand des Körpers mehrere tausendmal grösser ist, als der der primären Rolle, so wird der Strom nahezu ganz durch die Rolle gehen. Wird nun der Strom unterbrochen, so hat er beim Verschwinden nebst dem zugleich entstehenden gleich gerichteten Extrastrom wieder zwei Wege, entweder durch den Körper oder bei *c* von der Platinspize zum Platinplättchen. Anfangs, solange der Abstand dieser zwei noch sehr klein ist, also auch der Wider-



stand beim Uebergang noch nicht gross, wird er hier übergehen, um so mehr da der Funke selbst besser leitet, als die Luft. Es wird also zunächst der Hauptstrom diesen Weg machen, dann der Extrastrom, welcher beim Verschwinden des Hauptstroms entsteht, und wenn der Abstand von Spitze und Platte zu gross wird, gehen beide durch den Körper. Bei dieser Wirkung ist die secundäre Rolle ganz überflüssig, es wird nur der Extrastrom der primären benützt.

Einen principiellen Unterschied zwischen Extrastrom und secundärem Strom kann es physikalisch nicht geben. Duchenne behauptet eine specifische Verschiedenheit, Rosenthal und Erb weisen sie entschieden zurück.

Condensator.

Der Funke, der zwischen Platinspitze und Platinplättchen überspringt, macht eine längere Dauer des Extrastroms möglich, so dass auch der Eisenkern seinen Magnetismus verhältnissmässig langsam verliert. Wenn aber die gleiche Menge Electricität mit grösserer Geschwindigkeit den Körper durchläuft, so ist die physiologische Wirkung stärker. Es ist also von Interesse, jene Verzögerung zu vermeiden und es geschieht dies durch Anwendung eines Condensators.

Verbindet man die Platinspitze mit der einen, das Platinplättchen mit der andern der Belegungen einer Leydner Flasche, so kann beim Oeffnen, wenn Spitze und Plättchen sich trennen, die Electricität in die Belegungen abströmen, und bleibt dort bis zum folgenden Schliessen gebunden. Es wird also beim Oeffnen der Funke geschwächt, weil nicht soviel Electricität wie ohne Condensator überzugehen hat. Damit wird die Dauer des Extrastroms verkürzt, der Eisenkern verliert seinen Magnetismus rascher und in Folge dessen steigt die physiologische Wirkung des Inductionstroms. Für das Schliessen hat der Condensator keine Wirkung: es wird momentan mehr Electricität zugeführt,



(nehmlich ausser der von der Batterie kommenden auch die in der Leydner Flasche gebundene) aber damit auch der Extrastrom verstärkt, und da dieser dem Hauptstrom entgegenwirkt, so wird durch die vermehrte Zuführung Nichts gewonnen.

Um nicht eine Leydner Flasche oder zu grösserer Wirkung mehrere neben dem Apparat aufstellen zu müssen, wird ein besonders construirter Condensator in compendiöser Form unter dem Apparat angebracht. Eine Anzahl Platten Stanniol liegen durch Wachspapier isolirt in einem Kästchen, die erste, dritte, fünfte u. s. w. unter sich und mit der Platinspize, die zweite, vierte, sechste u. s. w. unter sich und mit dem Platinplättchen verbunden.

Der Condensator verstärkt die physiologischen Wirkungen, weil er ein schnelles Entwickeln des Extrastroms, ein rasches Aufhören des Magnetismus des Eisenkerns und in Folge dessen einen kurz dauernden inducirten Strom bewirkt. Eine bestimmte Menge Electricität geht in kürzerer Zeit durch den thierischen Körper und wirkt dabei energischer. Wenn man dagegen statt des thierischen Körpers ein Galvanometer einschaltet, so ist die Wirkung mit und ohne Condensator dieselbe; bei der elektromagnetischen Wirkung handelt es sich nur um die absolute Menge Electricität, die ankommt, nicht um die Geschwindigkeit, mit der sie sich bewegt; ein länger dauernder schwacher Druck kann die Nadel ebenso stark ablenken, als ein kurz dauernder starker Druck. Bei den Nerven dagegen wird durch längere Dauer nicht ersetzt, was an Stärke fehlt.

Die Wirkung der primären Rolle auf die secundäre ist am grössten, wenn ihre Mitten zusammenfallen, und nimmt mit der Entfernung der Mitten ab, weil die Inductionswirkung mit der Entfernung abnimmt. Durch eine angebrachte Skala kann man den Grad der Verminderung bezeichnen. Doch lässt sich keine allgemeine Regel geben,



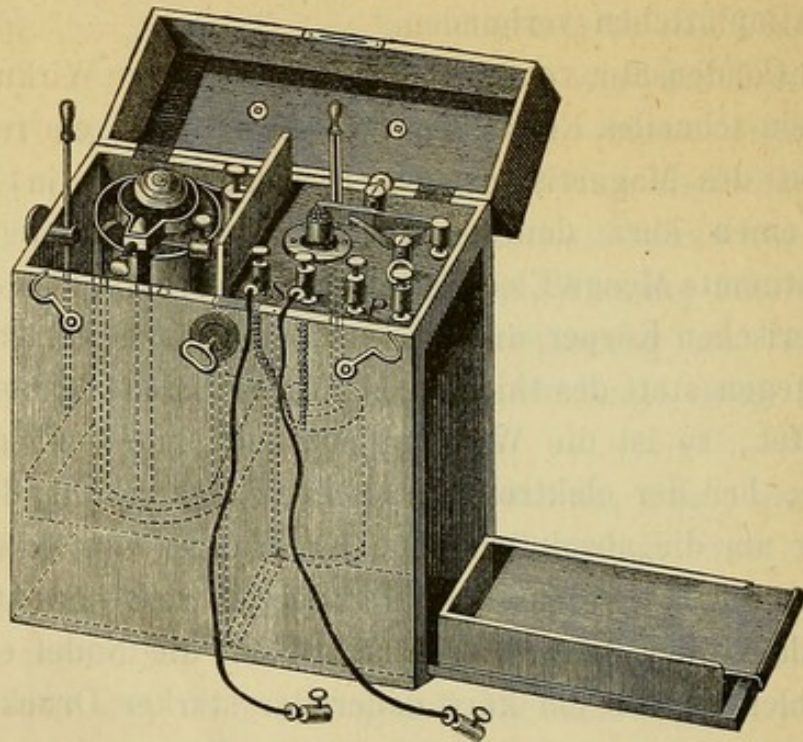
in welchem Grade die Wirkung abnimmt (siehe später), da dies von den Dimensionen, Zahl der Umwindungen und Durchmesser der Rollen, abhängt. Es muss also die Abschwächung für jeden einzelnen Apparat besonders untersucht werden, sei es durch Rechnung, sei es durch Beobachtung.

Ein weiteres Mittel, den Strom abzuschwächen, ist es, den Eisenkern mehr oder weniger ausziehen.

Stührers  
Apparat.

In anderer Weise, unmittelbar mit den erregenden Elementen verbunden, hat Stöhrer seine Inductionsapparate

Fig. 44.



construirt, hauptsächlich, um sie bequem transportabel zu machen. Die Figur 44 zeigt einen einfachern nur mit einem Element. Die eine Hälfte eines Holzkastens nimmt das Element in Anspruch, die andere der Inductionsapparat. Das Element ist ein Zink-Kohlenelement in verdünnter Schwefelsäure oder in Chromsäure ohne Zelle, zum Heben eingerichtet. Zink und Kohle sind oben fest, das Glasge-



fäss mit der Säure kann mehr oder weniger gehoben werden, damit die Metalle eintauchen. Dies geschieht durch den Metallstab links, der in beliebiger Höhe durch die aussen angebrachte Schraube festgestellt werden kann. Bei dem Inductionsapparat stehen die Axen der Rollen vertikal, unbeweglich; die mit *S* bezeichneten Säulen geben den secundären Strom, die mit *P* bezeichneten den primären oder Extrastrom. Zur Abschwächung dient hier nicht eine Verschiebung der Inductionsrolle, sondern eine verschiebbare Metallröhre, welche zwischen dem Eisenkern und der inducirenden Rolle auf- und abgeschoben werden kann. Bei der tiefsten Lage umgibt sie den Eisenkern vollständig, es entsteht in ihr durch Einwirkung des im Eisenbündel entstehenden und vergehenden Magnetismus ein inducirter Strom, welcher seinerseits wieder auf die Entwicklung des secundären Inductionsstroms und des Extrastroms in der Art einwirkt, dass ihre Bildung verzögert wird. Mit der Verzögerung nimmt aber die Intensität der physiologischen Wirkung ab. Die Einwirkung auf die Magnetnadel ändert sich nicht (Althaus pag. 34 nach Dove).

In der Therapie handelt es sich keineswegs darum, besonders starke Inductionsapparate anzuwenden. Die in der Physik benützten von Rühmkorff und Stöhrer geben schon so heftige Schläge, dass sie kaum einzeln auszuhalten sind, auf keinen Fall längere Zeit hindurch. Es wird in der Therapie die Anwendung des Condensators ganz überflüssig sein und man wird die Zahl der Windungen in weitem Spielraum modificiren können, ohne dass die Anwendung des Apparats wesentlich leidet. Ebendeswegen hat man sich aber auch bei jedem Apparat, da sie so vielfältig construirt werden, zu versichern, wie gross der Widerstand der Rollen und wie gross die Zahl der Windungen ist, das erste um zu wissen, welche Elemente am besten verwendet werden, das zweite um ein Maass für die Wirkung

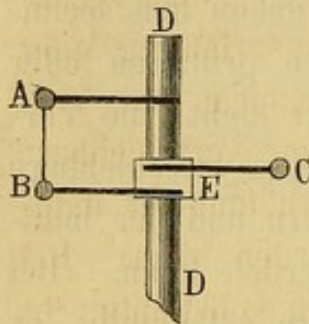


zu haben. Diese Zahlen sollte jeder Mechaniker seinem Apparat aufdrücken.

Magneto-  
elektri-  
sche  
Appa-  
rate.

Die bisher betrachteten Induktionsmaschinen heissen elektromagnetische, weil der elektrische Strom als Erreger dient und die Wirkung durch Magnetisirung eines Eisens erhöht wird. Eine andere Gattung von Induktionsmaschinen benützt bleibende Magnete, vor deren Polen Induktionsrollen vorübergehen, sie heissen magnetoelektrische. Die erste derartige wurde von Pixii construiert (1832) und wird jezt haupt-

Fig. 45.



sächlich in der Form angewendet, welche ihr Saxton gegeben hat.

An den Polen eines starken Hufeisenmagnets können zwei Kupferdrahtrollen, die auf einer Axe sitzen, durch Drehen dieser vorübergeführt werden. Bei der Näherung gegen den Nordpol wird ein Strom von bestimmter Richtung, bei der Entfernung der umgekehrte inducirt: da von den symmetrisch zur Axe gestellten Rollen die eine dem Nordpol oder Südpol sich nähert, während die andere sich entfernt, so erhält man in den zwei Rollen jederzeit entgegengesetzte Ströme, kann diese aber durch passende Verbindung der Enden in gleicher Richtung weiter leiten.

Es seien die einen Enden mit der metallischen Axe *D* (Fig. 45) die andern mit dem auf der Axe isolirt aufsitzenden Metallring *E* verbunden. Wird die Axe gedreht, so werden die entgegengesetzten Ströme der Rollen in gleicher Richtung z. B. in die Axe *D* übergehen. Auf dieser Axe schleift eine Feder, die zur Messingsäule *A* führt, diese ist mit der Messingsäule *B* leitend verbunden und von der letzten geht eine Feder zu dem Ring *E*. Es geht also der Doppelstrom von *D* über *A* und *B* nach *E*, ein Strom, dessen Intensität mit der Annäherung der Rollen an die



Pole wächst bis zu dem Moment, wo die Rollen den Polen am nächsten stehen. Jetzt hat der Inductionsstrom seine grösste Stärke: in diesem Moment wird er unterbrochen, indem die auf dem isolirten Ring *E* schleifende Feder über eine Höhlung geht und ausser Berührung mit dem Ring tritt. Die Electricität kann nun den Weg von *D* nach *E* nicht mehr verfolgen, es springt ein Funke über wie bei der Feder des Schlittenapparats, der grössere Theil aber geht durch die Nebenschliessung. Es schleift nemlich auf dem Ringe *E* noch eine weitere Feder, die zur Messingsäule *C* führt. Ist also bei *A* und *C* ein thierischer Körper eingeschaltet, so geht der Strom selbst und der im Moment des Abbrechens des Stroms entstehende Extrastrom durch ihn. Solange dagegen die Feder *B* auf dem Ring schleift, ist die Leitung über *B* und *A* um soviel besser, dass auf dem Wege von *C* nach *A* kein merklicher Strom stattfindet.

Nun entfernen sich die Rollen von den Polen, es entstehen die entgegengesetzten Inductionsströme von vorher, sie wachsen wieder an, während einer halben Umdrehung, indem sie sich von einem Pol entfernen und dem andern nähern, und dann werden sie unterbrochen, indem die Feder *B* über eine zweite Höhlung hinget. Durch den Körper geht jetzt Strom und Extrastrom mit entgegengesetzter Richtung.

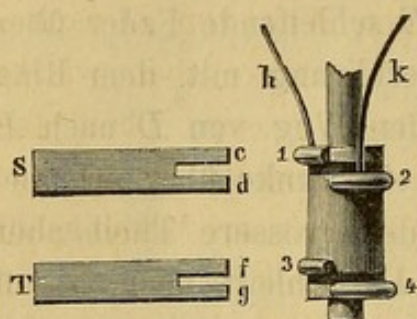
Ein magnetoelektrischer Apparat gibt also abwechselnd Ströme der einen und andern Richtung, beide gleich stark, im Gegensatz zu den elektromagnetischen Apparaten, welche ebenfalls abwechselnd gerichtete Ströme geben, aber von sehr verschiedener Intensität. Will man nur die Ströme einer Richtung, so lässt man auf dem isolirten Ring eine Höhlung weg, wobei freilich die Hälfte der Arbeit verloren geht.



Commu-  
tator  
von  
Stöhrer.

Stöhrer hat solche Apparate mit mehreren Magneten

Fig. 46.



construirt und zugleich dafür gesorgt, dass alle Ströme mit gleicher Richtung durch den Körper gehen. Auf der Rotationsaxe sitzen zwei unter sich und gegen die Axe isolirte Metallröhren 2,3 und 1,4, die erste mit dem Draht *k*, die zweite mit dem Draht *h* verbunden. Dieselben tragen halbkreisförmige, abgerundete, stählerne Wülste, von denen 1 und 4 auf das eine, 2 und 3 auf das andere Metallrohr aufgelöthet sind. Die Federn *S* und *T*, welche die Elektroden aufnehmen, sind gespalten. Die Enden *c* und *d* von *S* schleifen auf 1 und 2, die Enden *f* und *g* von *T* auf 2 und 4; aber jedes nur während einer halben Umdrehung. Schleift *c* auf 1, so schleift *f* auf 3, die Enden *d* und *g* sind frei. Der Strom geht von *h* nach *S*, durch den Körper nach *T* und zurück nach *k*. Verlässt *c* den Wulst 2, so schleift *d* auf 2, *g* auf 4; der Strom geht von *h* über 4 und *g* nach *T*, durch den Körper und über *S*, *d* und 2 nach *k*, also in entgegengesetzter Richtung.

Da aber der Strom sich auch umkehrt, so geht er beidemale in gleicher Richtung durch den Körper.

Bequem sind diese Apparate, da man keine galvanischen Elemente nöthig hat; ein Nachtheil derselben ist, dass sie mit der Hand in Bewegung gesetzt werden müssen, also nur eine Hand zum Operiren übrig bleibt. Die Wirkung lässt sich modificiren durch langsames oder schnelleres Drehen, da zugleich damit der Strom mit kleinerer oder grösserer Geschwindigkeit abgebrochen wird, in viel weitem Grenzen aber dadurch, dass man einen Eisenanker gegen die Pole des Magnets hinschiebt. Dabei wird der Magnetismus mehr und mehr gebunden und daher die Induction geschwächt. Verbindet der Anker die Pole unmittelbar, so verschwindet die Wirkung nahezu.

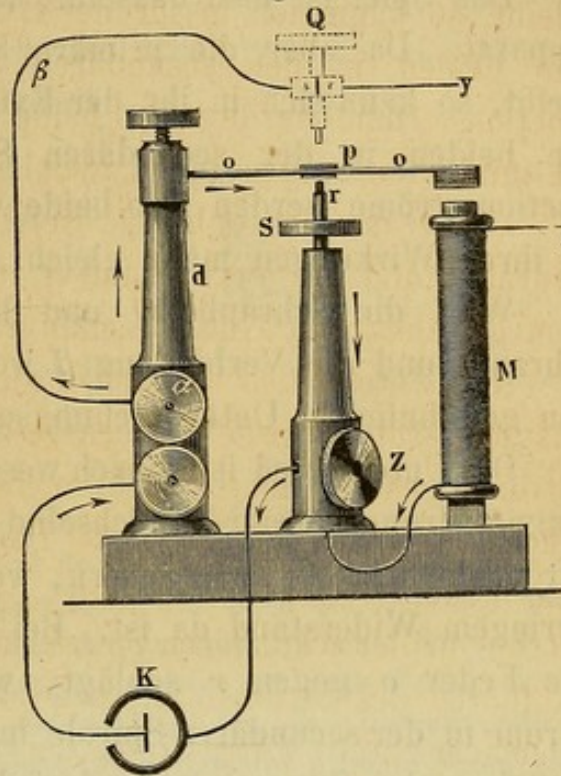
Viel verwendet scheinen die Apparate in der Therapie nicht, wenigstens sagt Erb, dass die früher vielfach in Gebrauch gewesenen magneto-elektrischen Rotationsapparate jetzt ganz verlassen seien.



Die Ungleichheit des Verlaufs des Oeffnungs- und Schliessungsstroms eines elektromagnetischen Inductionsapparats

Helmholtz  
Einrichtung um  
gleiche  
Ströme  
zu erhalten.

Fig. 47.



*A.* Das andere Ende *x* derselben ist in Verbindung mit den Umwindungen des Elektromagnetes *M*, welcher sich unter dem vorderen, den Anker tragenden Ende der Feder *o* befindet. Das andere Ende der Umwindungen ist mit der Messingsäule *Z* und diese wiederum mit dem zweiten Pole der Batterie *K* verbunden. Oben trägt die Säule *Z* eine Messingschraube *S*, die nach oben in eine Platinspize *r* endigt, welche einem Platinplättchen der Feder *o* gegenübersteht.

Der den Kreis *KαβγAxMK* durchfliessende Strom erregt den Magnet *M*, welcher seinen Anker und die Feder *o* herabzieht, so dass das Platinplättchen gegen die Spize *r* anschlägt. Jetzt ist die Nebenleitung *KdorZK* geschlossen von sehr kleinem Widerstand; somit nimmt der erste immer noch geschlossene Strom um *M* beträchtlich ab, die

\*) Wiedemann Galvanismus II. Nro. 826.



Feder  $o$  geht zurück, die Nebenleitung wird wieder geöffnet u. s. w.

Das Spiel ist also dasselbe, wie bei dem gewöhnlichen Apparat. Da aber die primäre Spirale stets geschlossen bleibt, so kann sich in ihr der Extrastrom stets entwickeln, die beiden in der secundären Spirale entstehenden Inductionsströme werden also beide verzögert und sind daher in ihren Wirkungen mehr gleich. (Rosenthal pag. 119.)

Wird die Schraube  $Q$  und die Schraube  $S$  tiefer geschraubt und die Verbindung  $\beta$  weggenommen, so hat man den gewöhnlichen Unterbrechungsapparat.

Der Unterschied ist sonach wesentlich der, dass durch die Magnetisirungsspirale abwechselnd stärkere und schwächere Ströme gehen, die schwächern, weil eine Nebenleitung von geringem Widerstand da ist. Bei der Abschwächung, wenn die Feder  $o$  gegen  $r$  schlägt, wird der gleichgerichtete Strom in der secundären Spirale inducirt (wie beim völligen Aufhören des Stroms, nur schwächer), und es entsteht der gleichgerichtete Extrastrom, der aber nicht viel wirkt, da ihm eine metallische Leitung zu Gebot steht, er also langsam verläuft, nicht so rasch, wie beim Abreissen des Platinplättchens von der Schraube  $Q$  beim gewöhnlichen Apparat. Bei der Zunahme des Stroms, wenn das Platinplättchen von  $r$  weggeht und damit die Nebenschliessung aufhört, wird der entgegengesetzt gerichtete Strom in der secundären Spirale inducirt, und der Extrastrom kann auf dem Wege über  $Q$  sich entwickeln, also wieder langsam, so dass er die physiologische Wirkung des geschlossenen Hauptstroms wenig beeinträchtigt.

Verlauf  
der In-  
ductions-  
ströme.

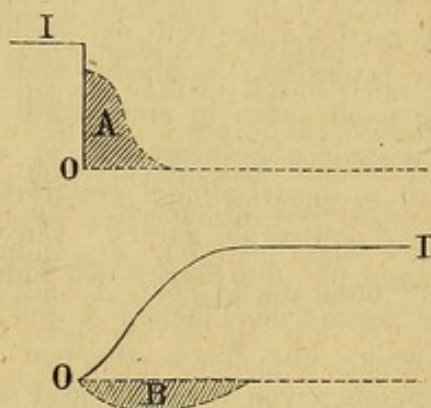
Wird der Strom der primären Rolle geschlossen, so erhält er nicht momentan seine ganze Stärke, da zugleich der entgegengesetzte Extrastrom in dem geschlossenen Kreis sich entwickeln kann; er hebt sich also langsam bis zu seinem Maximum. Ebendeswegen wird auch der In-



ductionsstrom in der secundären Rolle nur langsam sein Maximum erreichen und langsam wieder abnehmen.

Wird dagegen der Strom der primären Rolle geöffnet, so sinkt der Strom plötzlich auf Null, auch der Extrastrom, der gleich gerichtet ist, wird rasch Null, da kein Weg zur längern Entwicklung möglich ist. Aus beiden Gründen wird also der Inductionsstrom der secundären Rolle sehr rasch ansteigen und sehr rasch abfallen.

Fig. 48.



Die Figur 48 stellt den Verlauf des primären Stroms und des Inductionsstroms der secundären Rolle vor, oben die Oeffnung, unten die Schliessung. Die Höhe über der horizontalen Linie durch  $O$  soll die Stärke andeuten, die ausgezogenen Linien den Verlauf des primären Stroms mit der Zeit, die gestrichelten den des Inductionsstroms der secundären Rolle. Man sieht oben, dass der primäre Strom beim Oeffnen plötzlich von  $I$  auf  $O$  herabsinkt, der zugleich entstehende Inductionsstrom gleicher Richtung mit einem Werth kleiner als  $i$  beginnt und rasch gegen Null abfällt. Beim Schliessen dagegen hebt sich der primäre Strom langsam von  $O$  bis  $I$  und dem entsprechend steigt der entgegengesetzte — deswegen nach unten gezeichnete — Inductionsstrom ebenfalls, und zwar noch mehr, langsam an, um nachher wieder langsam zu Null zu werden.

Die zwei Flächen  $A$  und  $B$  sind gleich gross, sie stellen die Maass der Inductionsströme. Summe der Produkte dar, welche man erhält, wenn man die jeweilige Intensität des Stroms mit einem möglichst kleinen Zeittheil multiplicirt, während dessen diese Intensität nahe gleich bleibt. Die Ablenkung der Magnetnadel hängt blos von der Grösse dieser Flächen ab. Daher rührt es, dass ein in dem Kreis einer Inductionsspirale eingeschaltete Magnetnadel eine doppelsinnige Ablenkung gibt, d. h. sie schlägt bald nach der einen, bald nach der andern Seite aus, behält aber bei fortgehendem Spiel des Apparats ihre einmal eingenommene Lage. Erfolgt z. B. eine Oeffnung zuerst, so schlägt die Nadel beispielsweise links aus: die Schliessung sollte sie zurückführen, allein sie dauert zu kurz, um sie bis zur Null und darüber hinaus führen zu können; sie gibt ihr nur einen kurzen Stoss gegen Null hin, der aber sogleich wieder bei der Oeffnung durch einen gleichen



von der Null weg aufgehoben wird. Das Resultat ist, dass sie links abgelenkt bleibt. Erfolgt die Schliessung zuerst, so wird die Nadel nach rechts abgelenkt und bleibt es aus gleichen Gründen. Die Magnetonadel oder das Galvanometer ist sonach unbrauchbar zur Messung der Inductionsströme.

Wenn man in den Inductionsstrom einen dünnen Platindraht einschaltet, so wird er durch die Entladung erwärmt. Die Erwärmung ist unabhängig von der Richtung des Stroms, bloss abhängig von der Intensität. Schliesst man den Platindraht in eine Glaskugel, die nach unten in eine Röhre ausmündet, welche durch eine Flüssigkeitssäule abgesperrt ist, so wird durch den erwärmten Draht die Luft in der Glaskugel erwärmt, diese dehnt sich aus und schiebt die Flüssigkeitssäule zurück. Ein solches Luftthermometer gibt ein Maass für die Stärke des Inductionsstroms und zwar ein Maass für die Summe der Flächen  $A$  und  $B$ . Ebenso wird die Menge zersetzten Wassers ein Maass abgeben für die Stärke des Inductionsstroms, abgesehen von dem Wechsel seiner Richtung.

Man sieht aber leicht, dass diese Maasse nicht zugleich Maasse für die physiologische Wirkung des Stroms sein können. Denn man denke sich einen gleich bleibenden Strom verlaufen von der Intensität  $I$ , er wird den Platindraht auf einen bestimmten Temperaturgrad erwärmen oder in der Stunde eine bestimmte Menge Wasser zersetzen. Dieser Strom werde nun unterbrochen in regelmässigen Zwischenräumen durch einen elektrischen Selbstunterbrecher. Selbstverständlich wird dann in den Elementen weniger Zink verbraucht, die Erwärmung des Platindrahts ist geringer, als beim continuirlichen Strom, die Menge des zeretzten Wassers ist ebenfalls kleiner; die physiologische Wirkung dagegen ist stärker. Die physiologische Wirkung hängt nicht bloss von der Intensität des Stroms ab, sondern auch von der Schwankung des Stroms. Sie hängt nicht bloss von dem Flächeninhalt  $A$  und  $B$  der Fig. 48 ab, sondern auch von der Form der den Flächeninhalt umschliessenden Curven. Wo diese Curven eine besonders rasche Steigung oder einen besonders steilen Fall haben, da ist die physiologische Wirkung am grössten.

Zum Maass der physiologischen Wirkung des Inductionsstroms ist daher nicht nur die Fläche der Curve, welche seinen Verlauf darstellt, zu bestimmen, sondern auch seine Form. Beides, Fläche und Form, hängt aber von der Länge, Aufwindung und Windungszahl der Rollen ab, so dass für jeden Inductionsapparat im Allgemeinen besonders eine Bestimmung über seine Wirksamkeit zu machen ist. Insbesondere ist nicht daran zu denken, dass etwa bei gleicher Grösse und gleicher Elementenzahl die Wirkung gleich wäre. Daraus ergibt sich aber die ungemeine Schwierigkeit, die Wirkung der Inductionsapparate zu messen. Allerdings gibt das Dynamometer



von Weber im Verein mit einem Spiegelgalvanometer ein Mittel (vgl. Rosenthal pag. 163), um die Dauer und Intensität sehr kurz dauernder Ströme, wie die Inductionsströme sind, zu messen; allein man erhält damit doch nur eine mittlere Intensität, nicht ein Maass der Zunahme oder Abnahme. Freilich wird ein kurzer starker Strom nothwendig rasch ansteigen und fallen müssen, aber man erhält damit doch nur eine ungefähre Bestimmung. Bei der Umständlichkeit solcher Untersuchungen werden sie wohl noch nicht sobald zur Prüfung der Inductionsapparate verwendet werden.

Das Dynamometer besteht im Wesentlichen aus einer festen Rolle mit vertikaler Axe und einer innerhalb derselben drehbaren beweglichen Rolle mit gleicher Axe. Wird ein Strom durch beide Rollen geleitet, so ist die Ablenkung dem Quadrat der Stromstärke proportional, beim Spiegelgalvanometer einfach der Stromstärke, beide multiplicirt mit der Zeitdauer. So ist es möglich, durch Beobachtung beider Instrumente, durch welche derselbe Strom geht, Zeitdauer und Intensität zu bestimmen.

## Siebentes Kapitel.

### Erwärmung der Leiter.

Jeder Leiter, durch den ein galvanischer Strom geht, wird erwärmt, d. h. ein Theil der Electricität wandelt sich in Wärme um. Die Menge Wärme, die in einem Draht erzeugt wird, ist nach Versuchen von Joule und Lenz dem Quadrat der Stromstärke und dem Widerstand des Drahts proportional, dagegen von der Natur des Drahts ganz unabhängig. Es ist demnach von Vortheil, wenn starke Erwärmung beabsichtigt wird, einen schlecht leitenden Draht anzuwenden. Doch wird eine Grenze eintreten, weil mit der Zunahme des Widerstands die Stromstärke abnimmt. Am vorteilhaftesten ist es auch hier wieder, wenn der Widerstand des Drahts gleich dem in der übrigen Leitung ist.

In der Praxis handelt es sich nicht um diese absolute Wärmemenge, sondern um die Temperatur, die der Draht

Allgemeine  
Thatsache.

Glühen  
von  
Drahten.



erhält. Er soll zum Glühen kommen und während des Glühens beständig Wärme abgeben. Wenn z. B. der Draht in freier Luft zum Glühen gebracht werden soll, so geht von der zugeführten Wärme durch Ausstrahlung beständig verloren: dieser Verlust ist desto grösser, je grösser die ausstrahlende Oberfläche und je höher die Temperatur ist, die Wärmeabgabe nach aussen muss in jedem Augenblicke durch die galvanische Wärmeentwicklung im Innern ersetzt werden. Ganz ähnlich wird sich die Sache bei der Galvanokaustik verhalten; wenn der glühende Draht zerstörend auf Gewebe einwirkt, so muss er ebenfalls an seiner Oberfläche Wärme abgeben, die durch den galvanischen Strom beständig zu ersetzen ist. Hierbei können natürlich sehr verschiedene Verhältnisse auftreten, je nach der Leitungsfähigkeit der umgebenden Körper für Wärme, und je nach der Ausdehnung, längs welcher die Wirkung stattfindet. Nimmt man an, dass längs der ganzen Oberfläche Wärme abgegeben werde und zwar eine der Temperatur und Oberfläche proportionale Menge, so findet man, dass die Temperatur, welche der Draht erreicht, proportional dem Quadrat der Stromstärke und dem specifischen Widerstand, umgekehrt proportional der dritten Potenz der Dicke, dagegen ganz unabhängig von der Länge ist; sowie dass zu gleich starkem Glühen desselben Metalls Stromstärken erforderlich werden, welche der Dicke proportional sind. Müller und Zöllner haben diese Sätze durch Versuche bestätigt.

Bei derselben Batterie wird natürlich die Erwärmung des eingeschalteten Platindrahts von der Länge nicht unabhängig sein, weil durch Einschaltung einer grössern Länge Platindraht der Strom geschwächt wird. Darum ist auch dafür zu sorgen, dass die Platinschlingen, welche bei der Galvanokaustik verwendet werden, nicht in leitenden Metallen zurückgezogen werden. Es würde damit der Widerstand abnehmen und der Strom stärker werden, da die Drähte theilweise sich abkühlen. Dann entstünde aber die Gefahr des Abreissens oder des Abschmelzens der Schlinge. Die Schlinge sollte



daher nur in schlechtleitenden Substanzen — Porcellan oder Glas — vor- und zurückgeschoben werden.

Da die Temperatur mit dem Quadrat der Stromstärke wächst und der Widerstand bei vollkommen metallischer Schliessung klein ist, so folgt, dass zum Glühendmachen von Drähten galvanische Elemente mit grosser elektromotorischer Kraft und kleinem Widerstand, also Grove oder Bunsen, zu verwenden sind. Als zu erwärmender Draht ist derjenige zu wählen, welcher den grössten specifischen Widerstand hat, also Neusilber, Eisen oder Platin. Das letzte wird wegen seiner geringen Schmelzbarkeit und Oxydirbarkeit nahezu ausschliesslich verwendet, neuerdings ist von Voltolini Stahldraht vorgeschlagen worden, der freilich jedesmal neu zu nehmen ist, aber auch viel billiger erhalten wird. Endlich ist der Draht möglichst dünn zu wählen, wenn er nur dabei fest genug ist.

Es kommt dann noch die Eigenthümlichkeit aller Me-<sup>Wachsen  
des  
Wider-  
stands.</sup> talle in Rechnung, dass ihr Widerstand mit steigender Temperatur zunimmt und zwar für jeden Grad über Null um  $\frac{1}{273}$ . Bei einer Temperaturerhöhung auf 273 Grad würde also der Widerstand schon das Doppelte betragen, beim Beginn des Glühens, das für alle Körper bei 525° stattfindet, schon nahe das Dreifache, und bei 1300°, welche Temperatur etwa dem Weissglühen entspricht, beinahe das Sechsfache. Diese Eigenschaft der Metalle erleichtert das Glühen, solange der Widerstand des Drahts kleiner ist als der der übrigen Leitung, was gewöhnlich der Fall ist; und man hat darauf stets Rücksicht zu nehmen, wenn man die beste Wirkung durch Rechnung finden will.

Ein Platindraht von 0,4<sup>mm</sup> Dicke und 20<sup>cm</sup> Länge leistet bei 0° einen Widerstand von 0,16 Einheiten. Erhitzt man bis zum Weissglühen, so wächst dieser Widerstand auf das sechsfache, also 0,96 Einheiten. Verwendet man 2 Grove, so wird man sie ungleichnamig verbinden, da dann der reducirte Widerstand  $0,7 + 0,48 = 1,18$  ist; bei gleichnamiger dagegen  $0,35 + 0,96 = 1,31$ . Das Quadrat der



Stromstärke ist dann  $(\frac{21}{1,18})^2 = 317$ . Würde man Leclanché anwenden, so müsste man gleichnamig verbinden, da der Widerstand der Leclanché grösser als 0,96 ist. Z. B. 3 Leclanché gleichnamig verbunden würden geben: reducirter Widerstand  $1 + 0,96 = 1,96$ , Stromstärke  $\frac{16}{1,96}$ , wovon das Quadrat: 67. Da die Temperaturerhöhung, weil alles andere gleich ist, dem Quadrat der Stromstärke proportional ist, so würde der Platindraht, wenn er durch die zwei Grove zum Weissglühen, also  $1300^\circ$  gebracht wird, durch die 3 Leclanché nur  $\frac{67}{317} \cdot 1300 = 275^\circ$  Temperatur erhalten.

Wollte man mit den Leclanché gleiches Resultat erzielen, so hätte man 14 Elemente nöthig, nämlich zwei 7fache Elemente. Denn dies gäbe den reducirten Widerstand  $\frac{3}{7} + \frac{0,96}{2} = 0,43 + 0,48 = 0,91$  und die Stromstärke  $\frac{16}{0,91}$ , deren Quadrat 309 also nahe gleich der obigen Zahl ist.

Hätte der Draht  $1^{\text{mm}}$  Dicke, so wäre sein Widerstand nur 0,025, beim Weissglühen 0,15. Die zwei Grove müssen jetzt gleichnamig verbunden werden und geben den reducirten Widerstand  $0,35 + 0,15 = 0,50$ , die Stromstärke  $\frac{21}{0,5} = 42$  und das Quadrat der Stromstärke  $= 1764$ .

Dividirt man die Zahlen 317 und 1764 durch die dritten Potenzen der Dicken 0,064 und 1, so ergibt sich 4950 und 1764, also eine viel höhere Temperatur im ersten Fall, als im zweiten, daherrührend, dass die Oberfläche des zweiten Drahts  $2\frac{1}{2}$  mal so gross ist, dass er also auch viel mehr Wärme abgibt.

Anzuwenden-  
de Batterien.

Zur Galvanokaustik wird man, wie oben gesagt, in erster Linie Grove und Bunsen (die Grove vielleicht auch in der Umänderung Eisen-Zink, wenn man die S. 81 erwähnten Uebelstände dieser Form nicht fürchtet) verwenden. Unbequem bleibt dabei immer, dass zu jeder längern Operation eine neue Füllung nöthig ist. Begreiflich ist daher das Streben, eine Combination von Metallen und Säuren zu finden, welche einen möglichst constanten Strom bei grosser Electricitätsmenge und kleinem Widerstand liefert, der lange, jedenfalls wochenlang andauert. Von allen Batterien scheint die Zink-Kohlentauchbatterie mit Chromsäure am meisten diesem Ideal zu entsprechen.

J. Müller findet, dass diese Batterie bei kleinem eingeschaltetem Widerstand innerhalb  $\frac{3}{4}$  Stunden nur wenig



sich ändert; die elektromotorische Kraft steigt etwas, der Widerstand wird etwa  $1\frac{1}{2}$  mal so gross \*). Dann aber sinkt bei fortwährendem Gebrauch rasch ihre Wirkung. Der Verfasser hat 45 Elemente in der von Bunsen angegebenen, von Desaga ausgeführten Form zu einem electrischen Licht verwendet, aber kaum für wenige Minuten ein gleich bleibendes Licht erzielt. Bei kleinem Widerstand scheint somit die Wirkung eine bessere zu sein.

Jedenfalls aber wird man, wie das neuerdings von Stöhrer, Baur, Fein und andern mehr und mehr geschieht, die Oberflächen von Kohle und Zink sehr gross nehmen, ebenso eine grosse Menge Flüssigkeit verwenden müssen, um lange gleichbleibende Wirkung zu erzielen. Geschieht dies aber, dann scheint es für kleinere Operationen wenigstens möglich, dieselbe Batterie aus 6 grossen Elementen bestehend mehrere Monate hinter einander zu benützen. Wieviel Elemente nöthig sind und ob die Batterie nach längerem Gebrauch noch stark genug ist, das wird am besten (nach Voltolini) die Probe mit einem Stück rohen Fleisches zeigen.

## Achtes Kapitel.

### Der Gesamtapparat von Brenner.

Brenner hat ein System von elektrotherapeutischen Apparaten so angeordnet, dass es möglich ist, ohne die Elektroden zu ändern, entweder den constanten Strom oder den Inductionsstrom, beide mit oder ohne Unterbrechungen anzuwenden, und dass die verschiedenen Zwischenapparate, Elementenzähler, Rheostat, Stromwender, Rheotom, jeder Zeit eingeschaltet werden können.

Die Figur 49 gibt eine Uebersicht über eine solche Zu-

\*) Dingler's Journal Bd. 205. pag. 104. 1872.



sammenstellung, wie sie von Krüger und Hirschwald in Berlin für das Katharinenstift in Wildbad ausgeführt worden ist. Sie enthält einen Elementenzähler *A* mit Galvanometer, einen Schlittenapparat *E*, einen Unterbrecher *F*, einen Rheostaten *K*, einen Stromwender *M*, ein Rheotom *I* und eine Anzahl Klemmen und Kurbeln zur Befestigung von Leitungsdrähten und Schliessung von Leitungen.

Bat-  
terien.

Zum Betrieb dieses Gesamtapparats sind drei Batterien nöthig: 60 Siemens'sche Elemente — entsprechend der durch den Elementenzähler gegebene Zahl — alle ungleichnamig verbunden und in bekannter Weise (S. 92) mit dem Elementenzähler in Verbindung gesetzt; dann eine Batterie, um den Unterbrecher *F* in Gang zu setzen, in die Messingstücke einmündend, welche mit „Unterbr. Batt.“ bezeichnet sind; und eine Batterie für den Inductionsstrom, bei den mit „Inductions batt.“ bezeichneten Messingstücken ein- und austretend.

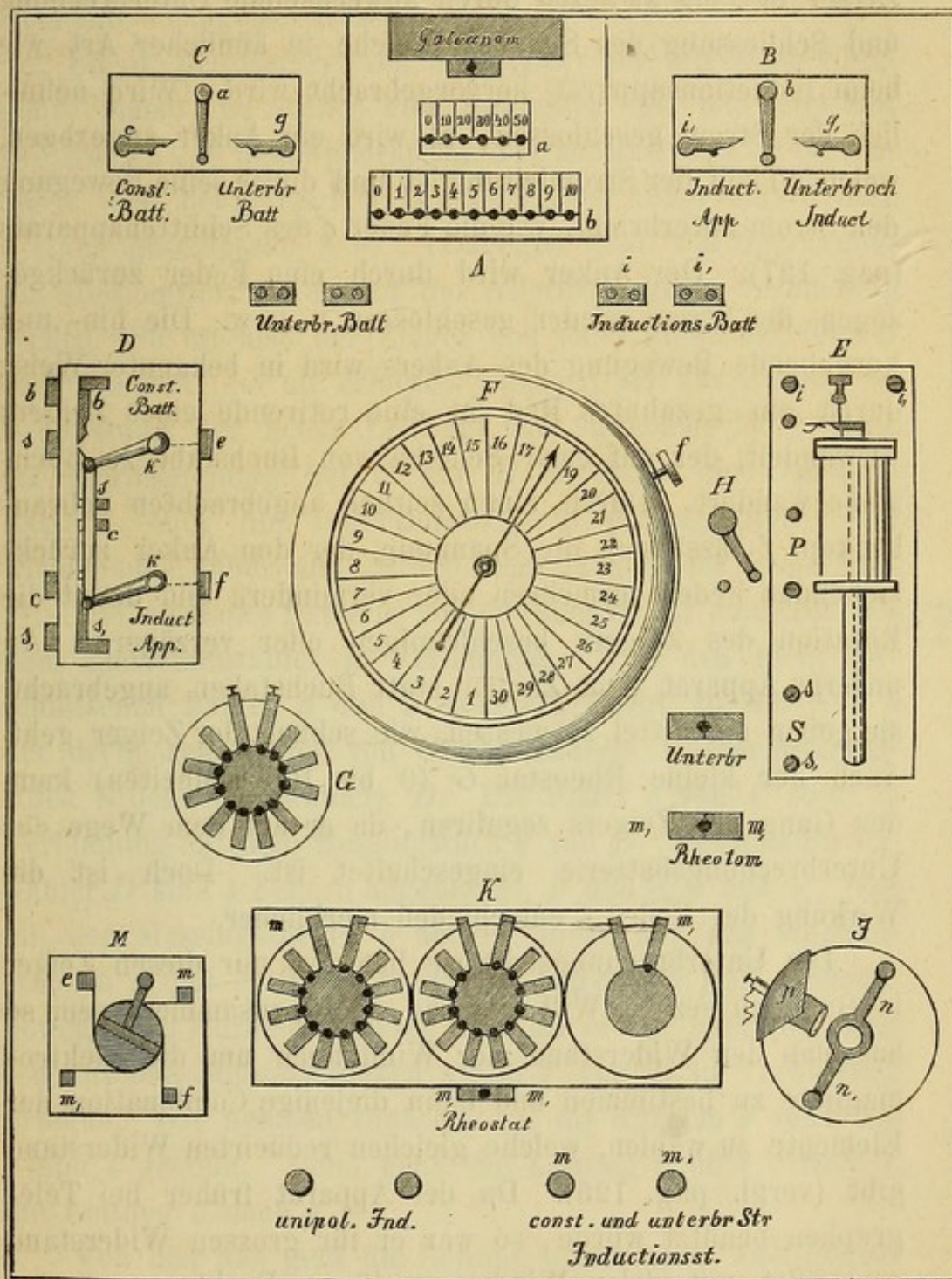
Als Unterbrechungs- und als Inductions- batterie kann man eine Anzahl Leclanché verwenden, oder eine Stöhrer'sche Tauchbatterie. Gut construirte Leclanché werden den Vorzug verdienen, da sie jedenfalls constanter sind, als jede Tauchbatterie. (Zu empfehlen scheint mir nach meinen Erfahrungen nur die pag. 86 beschriebene Form.) Zahl und Art der Verbindung der Elemente wird ganz von dem in Gang zu setzenden Apparat abhängen, also vom Unterbrecher und vom Schlittenapparat. Den letzten haben wir (pag. 127) kennen gelernt, ebenso (pag. 125) die anzuwendende Zahl und Verbindungsart der Elemente. Es bleibt also nur der Unterbrecher noch zu betrachten.

Unter-  
brecher.

Der von Brenner angewandte Unterbrecher ist ein Theil des Siemens-Halske'schen Zeigertelegraphen, der früher häufig, namentlich in Norddeutschland, Anwendung fand, heutzutage ganz verlassen ist. Man kann daher solche Apparate alt und wohlfeil erhalten und das für vorliegenden



Figur 49.





Zweck Ueberflüssige leicht entfernen, das noch Nöthige einfach hinzufügen. Der Zweck jenes Apparats war, einen Zeiger in Gang zu setzen durch abwechselnde Unterbrechung und Schliessung des Stroms, welche in ähnlicher Art wie beim Inductionsapparat hervorgebracht wird. Wird nemlich der Strom geschlossen, so wird ein Anker angezogen, welcher Theil der Stromleitung ist und durch seine Bewegung den Strom unterbricht, wie die Feder *c* des Schlittenapparats (pag. 127). Der Anker wird durch eine Feder zurückgezogen, der Strom wieder geschlossen u. s. w. Die hin- und hergehende Bewegung des Ankers wird in bekannter Weise durch ein gezahntes Rad in eine rotirende eines Zeigers verwandelt, der auf einer Scheibe von Buchstabe zu Buchstabe wandert. Durch einen seitlich angebrachten Schraubenkopf *f* lässt sich die Spannung der den Anker zurückziehenden Feder vermehren oder vermindern und damit die Rotation des Zeigers beschleunigen oder verzögern. An unserm Apparat sind Zahlen statt Buchstaben angebracht, sie geben ein Mittel zu messen, wie schnell der Zeiger geht. Auch der kleine Rheostat *G* (0 bis 100 Einheiten) kann den Gang des Zeigers reguliren, da er auf dem Wege der Unterbrechungsbatterie eingeschaltet ist. Doch ist die Wirkung der Feder *f* entschieden merklicher.

Die Unterbrechungsbatterie hat also nur diesen Zeiger in Gang zu setzen. Will man sie richtig zusammensetzen, so hat man den Widerstand der Windungen um die Elektromagnete zu bestimmen und dann diejenige Combination der Elemente zu wählen, welche gleichen reducirten Widerstand gibt (vergl. pag. 125). Da der Apparat früher bei Telegraphen benützt wurde, so war er für grossen Widerstand construirt, mit vielen Windungen dünnen Drahts, es werden also die Leclanché immer ungleichnamig zu verbinden sein. Es liessen sich aber statt des Apparats *F* natürlich auch andere mit kleinerm Widerstand besonders anfertigen. Dann



sollte der Mechaniker stets den Widerstand beidrucken, damit man sogleich die beste Combination der Elemente anzugeben wüsste.

So oft der Zeiger von einer Zahl zur folgenden übergeht, macht der Anker eine Bewegung hin und eine her. Die Zuthat zu dem Apparat von Siemens-Halske besteht darin, dass bei jedem Hingang durch den Anker eine andere Leitung geschlossen wird. (Dagegen wird von dem Apparat alles entfernt, was mit der Allarmglocke in Verbindung steht.) So oft also der Zeiger von einer Ziffer zur folgenden übergeht, so oft erfolgt, jedesmal für kurze Zeit, die Schliessung der neuen Leitung und als solche ist je nach der Kurbelstellung bei *C* und *B* entweder die constante Batterie oder die Inductions-batterie eingeschaltet. Wir wenden uns daher nun zu den Leitungen dieser Batterien.

Die constante Batterie von 60 Siemens ist zunächst mit dem Elementenzähler in Verbindung. Von den nicht zerschnittenen Balken *a* und *b* geht ein Draht zu der Axe *a* der drehbaren Kurbel von *C*, der andere zu dem Messingstück *b* des Stromwählers *D*. Die Feder *c* von *C* steht in Verbindung mit dem Messingstück *c* von *D*. Auf dem Stromwähler *D* sind 4 Federn angebracht, *b* und *c*, *s* und *s*, jene mit den Messingstücken *b* und *c*, diese mit den Messingstücken *s* und *s*, in Verbindung. Durch die mit einander beweglichen Kurbeln *k* lassen sich die ersten oder die zweiten mit den Messingstücken *e* und *f* von *D* in Verbindung bringen. Wir nehmen zunächst an, die Kurbeln *k* seien auf *b* und *c* gestellt. Dann geht die Leitung *a* über *c* nach *f*, die Leitung *b* nach *e*.

Von hier aus geht die Leitung weiter nach zwei gegenüberstehenden Federn *e* und *f* des Stromwenders *M*. Von den zwei andern Federn *m* und *m*, ist eine mit der einen Elektrode *m* für constanten Strom verbunden, die andere *m*, mit einem Messingstück „Rheotom.“ Das andere Messing-



stück „Rheotom“ ist mit der zweiten Elektrode  $m$ , für constanten Strom verbunden. Der Rheostat  $K$  ist in Nebenschliessung angebracht, indem die Elektrode  $m$  mit dem Messingarm  $m$  desselben, die andere  $m$ , mit dem Messingstück  $m$ , verbunden ist, aber der letztere auf dem Umweg durch die zwei Stücke  $m$ , unten am Rheostaten, so dass nur bei Stöpselung dieser Stücke der Rheostat als Zweigleitung eingeschaltet ist.

Will man sonach den constanten Strom mit seinen Zwischenapparaten anwenden, so dreht man bei  $C$  die Kurbel  $a$  nach links, beim Stromwähler  $D$  die Kurbeln  $K$  nach oben, steckt beim Rheostat den Stöpsel zwischen den Stücken  $m$ , ein und ebenso den Stöpsel bei den Messingstücken „Rheotom“.

Nach der (pag. 35) gegebenen Regel schaltet man nun beim Elementenzähler zu viel Elemente, beim Rheostaten zu wenig Einheiten ein, und kann dann durch Stöpselung den Strom allmählig ansteigen lassen. Mit dem Stromwender  $M$  lassen sich die Volta'schen Alternativen ausführen.

Rheo-  
tom.

Der Rheotom  $F$  von Fick dient dazu, den Strom nur kurze Zeit einwirken zu lassen. Ein Hebel  $nn$ , dreht sich um eine Axe von einer im Innern der Axe liegenden Feder getrieben. Wird der Hebel gedreht, so dass  $n$  in die Stellung  $n$ , kommt, so wird die Feder gespannt und treibt den Hebel, sobald er frei gelassen wird, in die alte Lage zurück (nicht weiter, da er dann durch einen Stift gehalten wird). Bei dieser Bewegung schleift das Ende  $n$  auf dem dreieckigen Stück  $p$ , das nach aussen und innen verschiebbar ist, und nur während dieses Schleifens ist metallische Verbindung zwischen  $p$  und der Axe des Hebels und daher zwischen den Messingstücken »Rheotom« mit denen  $p$  und die Axe leitend verbunden sind.

Zieht man also den Stöpsel bei »Rheotom« aus, dreht den Hebel  $n$  zurück und lässt ihn frei, so ist der constante Strom nur geschlossen, solange die Feder auf  $p$  schleift und diese Zeit lässt sich vergrössern oder verkleinern, je nachdem man  $p$  weiter nach innen oder aussen schiebt.

Induc-  
tions-  
strom.

Von der Inductions-batterie gehen die Drähte zunächst zu den Messingstücken  $i$  und  $i$ , („Inductions-batt.“). Von



diesen ist  $i$  mit der Messingsäule  $i$  des Inductionsapparats  $E$  verbunden, die Leitung geht von hier zur primären Rolle und zur Säule  $i$ , und diese ist mit der Feder  $i$ , von  $B$  verbunden. Die Kurbel  $b$  von  $B$  ist mit dem Messingstück  $i$ , der „Inductionsbatte.“ in Verbindung. Wenn also die Kurbel  $b$  nach links auf „Inductionsapp.“ gestellt wird, so geht der Strom durch die primäre Rolle, der Inductionsapparat beginnt mit seinem Spiel.

Die zwei Säulen  $s$  und  $s$ , des Inductionsapparats, welche den secundären Strom aufnehmen, sind mit den Messingstücken  $s$  und  $s$ , des Stromwählers  $D$  verbunden und dadurch mit den Federn  $s$  und  $s$ ,. Wird also bei  $B$  die Kurbel auf „Inductionsapp.“ gestellt und bei  $D$  die beiden Kurbeln nach unten geschoben, so tritt bei  $e$  und  $f$  des Stromwählers der Inductionsstrom ein statt des constanten Stroms, und, so weit man sie einschaltet, durch alle Zwischenapparate, den Stromwechsler, den Rheostat und Rheotom hindurch, zu den Elektroden  $m$  und  $m$ ,.

Der Apparat  $D$  dient also dazu, durch Verschiebung der Doppelkurbel  $K$  beliebig den constanten oder den Inductionsstrom den Elektroden zuzuführen, nachdem die Kurbeln von  $C$  und  $B$  beide nach rechts geschoben sind. Da man also mit seiner Hilfe den einen oder andern Strom wählen kann, wird er am besten Stromwähler heissen (vergl. pag. 91).

Die Kurbel  $H$  ist auf dem Wege  $i$  von der Inductionsbatte zur primären Rolle eingeschaltet, kann also neben der Kurbel von  $B$  zum Einschalten und Ausschalten des Inductionsapparats benützt werden. Die Kurbel liegt näher bei den Elektroden, ist daher vom Operirenden leichter zu erreichen, was nicht selten von Vorthail ist.

Es würde keinem Anstand unterliegen, auch den primären Strom mit den Säulen  $P$  zu benützen. Man hätte sie dann mit den Messingstücken  $s$  und  $s$ , von  $D$  zu verbinden



und durch einen Stöpsel dafür zu sorgen, dass eine der Verbindungen geöffnet oder geschlossen werden kann. Dieselbe Einrichtung wäre bei der Verbindung der Säulen  $S$  mit  $s$  und  $s$ , anzubringen. Wird kein Stöpsel eingesteckt, so hat man keinen Strom, wird einer eingesteckt, so hat man je nach seiner Lage den primären oder den secundären Strom.

Unter-  
brech-  
ungs-  
Strom.

Wir haben oben gesehen, dass der bei „Unterbrechungs-Batt.“ eintretende Strom die Aufgabe hat, den Unterbrecher  $F$  in Thätigkeit zu setzen. Es geschieht dies, wenn bei „Unterbr.“ der Stöpsel eingesetzt wird. Es wird dann, so oft der Zeiger von einer Zahl zur folgenden geht, eine Stromverbindung zwischen zwei Messingsäulen  $q$  und  $q$ , im Innern von  $F$  hergestellt, welche nach zwei Seiten hin Verbindung haben. Einmal steht  $q$  mit der Feder  $q$  von  $C$  in Verbindung und  $q$ , mit dem Messingstück  $c$  des Stromwählers  $D$ . Andererseits ist  $q$  mit der Säule  $i$ , des Inductionsapparats  $E$  und  $q$ , mit der Feder  $q$ , von  $B$  verbunden.

Wird die Kurbel  $a$  von  $C$  rechts gegen die Feder  $q$  angelegt, so geht der Strom der constanten Batterie über  $q$  nach  $q$ , zu  $c$  statt direkt nach  $c$ ,, behält übrigens sonst den gleichen Weg. Da aber  $q$  und  $q$ , nur zeitweise verbunden sind, so wirkt auch der constante Strom nur zeitweise, während der Zeiger von einer Zahl zur andern springt. Wird dagegen die Kurbel  $b$  von  $B$  nach rechts gegen die Feder  $q$ , gelegt, so geht der Strom der Inductionsbatterie über  $q$ , und  $q$  im Unterbrecher nach  $i$ , statt direkt zu  $i$ ,, er wirkt nur zeitweise, solange  $q$  und  $q$ , leitend verbunden sind. Man kann sonach mit dem Unterbrecher sowohl den constanten als den Inductionsstrom intermittirend wirken lassen.

Unipola-  
re In-  
duction.

Endlich sind noch die zwei Elektroden „unipolare Induction“ zu besprechen übrig. Die eine ist mit dem Messing-



stück *s*, des Stromwählers *D* verbunden, die andere mit der Erde (am einfachsten vermittelt der Gasleitung). In *s*, des Inductionsapparats *E* muss das äussere Ende der secundären Drahtrolle münden, da nur hier die elektrische Spannung stark genug ist, um Wirkungen zu geben. Dann geht die durch Induction entstandene Elektrizität nach *s*,, von dort zur Elektrode und durch den Körper zur Erde.

Es lässt sich sonach mit diesem Apparat der galvanische <sup>Zu-</sup>Strom in verschiedenster Weise anwenden: <sup>sammen-</sup>  
<sup>fassung.</sup>

1) als constanter Strom durch Drehung der Kurbel bei *C* nach links, der Doppelkurbel des Stromwählers nach oben. Dabei lässt sich die Richtung und Stärke des Stroms modificiren:

- a) durch den Elementenzähler *A*, indem man eine beliebige Zahl Elemente einschaltet.
- b) durch den Rheostaten *K*, indem man bei „Rheostat“ den Stöpsel einsteckt und eine bestimmte Zahl Einheiten stöpselt (vergl. pag. 99).
- c) durch das Rheotom *J*, indem man bei „Rheotom“ den Stöpsel auszieht. Der Strom wirkt dann nur kurze Zeit.
- d) mit Anwendung des Stromwenders *M* zum Zweck der Oeffnung, Schliessung und Wendung des Stroms, mit der (pag. 102) gegebenen Einrichtung zu rascher oder allmählicher Stromwendung.

2) als Inductionsstrom durch Drehung der Kurbel bei *B* links, der Doppelkurbel des Stromwählers nach unten.

Dabei lassen sich alle Modificationen anwenden, wie beim constanten Strom.

3) als intermittirender constanter Strom mit allen unter 1) angeführten Modificationen, wenn man die Kurbel bei *C* rechts, die Doppelkurbel bei *D* nach oben anlegt, und bei „Unterbr.“ stöpselt.

4) als intermittirender Inductionsstrom mit



allen unter 1) angeführten Modificationen, wenn man die Kurbel bei *B* nach rechts, die Doppelkurbel bei *D* nach unten anlegt und bei „Unterbr.“ stöpselt.

5) als unipolarer Induktionsstrom, wenn man bei *B* nach links, bei *D* nach unten die Kurbeln anlegt, und die Elektroden „unipolare Induction“ benützt.

Bei 2) 4) und 5) kann man entweder den primären oder den secundären Strom verwenden, wenn die oben erwähnte Doppelverbindung der Säulen *P* und *S* des Inductionsapparats *E* mit den Messingstücken *s* und *s*, des Stromwählers *D* vorhanden ist und die eine oder andere Verbindung durch Stöpselung hergestellt werden kann.

Fehler in  
der  
Leitung.

Bei grossen Batterien und einer Reihe von Zwischenapparaten kommt es nicht selten vor, dass der Strom seine Arbeit nicht oder schwach leistet. Wegen der grossen Zahl vorhandener Verbindungen ist es umständlich, einem Fehler auf die Spur zu kommen. Es gibt aber bestimmte Regeln, nach denen man sich richten kann, um schneller und sicherer zum Ziel zu kommen. Einfaches Probiren da und dort wird in der Regel nur Zeitverlust mit sich bringen.

Erste Regel: Wenn ein Apparat nicht wirkt, so liegt meist in der Batterie der Fehler; denn die Leitungsdrähte zwischen den Einzelapparaten bleiben immer an gleicher Stelle, werden nicht an- und abgeschraubt, während in den Elementen einmal beim Frischfüllen neue Verbindungen hergestellt und dann durch die chemischen Zersetzungen, während sie in Thätigkeit sind, vorher gute Verbindungen zerstört werden. Es wird also im Fall der Versagung des Apparats zunächst die Batterie zu untersuchen sein.

Am bequemsten geschieht diese Untersuchung, wenn die Drähte, die nach S. 92 von den Elementen ausgehen, znnächst zu Messingknöpfen führen, die mit der Zahl der Elemente, wie beim Elementenzähler, bezeichnet sind, und erst von da aus zu den Einzelapparaten. Jene Messing-



knöpfe sind am besten offen an der Wand anzubringen. Bei dieser Einrichtung kann man einen Wasserzersezuungsapparat (S. 52) mit je zwei folgenden Knöpfen in Verbindung bringen und aus der Zahl Cubikcentimeter Gas, die sich in einer Minute etwa bilden, darauf schliessen, ob die betreffenden Elemente in Ordnung sind. Wird kein oder zu wenig Wasser zersezt, so hat man die Klemmen der betreffenden Elemente zu untersuchen und gut zu befestigen. Sollte dies nicht helfen, so wäre jedes Element für sich zu untersuchen. Das ist jedoch mit dem Wasserzersezuungsapparat wegen der Polarisation (S. 71) nicht möglich. Man hilft sich hier, indem man immer zwei aufeinander folgende zusammen untersucht, also von einer Reihe von 10 z. B. zuerst 1 und 2, dann 2 und 3, dann 3 und 4 u. s. w. Ist dann z. B. 2 unbrauchbar, so geben die zwei ersten Versuche im Verhältniss zum dritten zu kleine Zahlen, nur etwa die Hälfte; ist 2 und 3 unbrauchbar, so gibt der zweite Versuch gar nichts, der erste und dritte zu wenig u. s. w. Sollte man irgend im Zweifel sein, so kann man auch noch andere Combinationen, 1 und 3, 1 und 4 u. s. w. untersuchen.

Einfacher wird die Untersuchung der Unterbrechungs- und der Inductionsbatte rie sein. Hat man nach einer frischen Füllung untersucht, wieviel Gas sie in einer Minute bilden, so weiss man jederzeit, ob sie noch im Stande sind, wenn man sie auf den Wasserzersezuungsapparat einwirken lässt. Sinkt die Menge auf weniger als die Hälfte herab, so wird man gut thun, die Batterie neu zu füllen.

Sind die Batterien untersucht und etwaige Fehler verbessert, so können noch in den Leitungen Fehler vorkommen. Um diese rasch zu finden, gedenke man der

Zweiten Regel: Man schalte in den Stromkreis zunächst so wenig als möglich ein, und dann allmählig mehr und mehr. Sowie die Wirkung aufhört, weiss man, dass der Fehler im letzten Abschnitt liegt.



Also z. B. bei Brenner's Apparat wirke der constante Strom nicht. Man verbinde die Drähte des Wasserzerseungsapparats mit den Balken  $a$  und  $b$  des Elementenzählers, und untersuche von zwei zu zwei Elementen, um sich zu überzeugen, ob im Elementenzähler der Fehler liegt. Berührt man dann mit dem einen Draht des Wasserzerseungsapparats die Kurbel  $a$  von  $C$ , mit dem andern das Messingstück  $b$  des Stromwählers  $D$ , so kann man sich überzeugen, ob hier ein Fehler ist.

Dann berühre man mit den Drähten des Wasserzerseungsapparats die Messingstücke  $e$  und  $c$ , dann  $e$  und  $f$  des Stromwählers  $D$ , weiter etwa  $e$  von  $D$  und  $f$  des Stromwenders  $M$ , dann  $e$  und  $f$  des Stromwenders u. s. w.

Jedesmal wird wieder ein neues Stück der gesammten Leitung eingeschaltet.

Am einfachsten wird es sein, den Wasserzerseungsapparat vor dem Elementenwähler  $A$  ein- für allemal aufzustellen und mit langen Leitungsdrähten zu versehen, die an beliebigen Stellen angelegt werden können. Man wird auf diese Weise mit grosser Sicherheit in verhältnissmässig kurzer Zeit den etwaigen Fehler finden. Selbstverständlich wird man auch mit dem grössten Weg beginnen können, also bei den Elektrodenschrauben und von ihnen aus immer weiter zurückgehen.

Hauptsache ist immer, darauf zu achten, dass die Drähte an Metallflächen angelegt werden, die nicht gefirnisst sind, und eine etwaige Oxydschicht jedesmal zu entfernen, sonst kann leicht ein Irrthum entstehen, da Firniss und Oxyd nahezu isoliren.



## Anmerkungen.

1) Kirchhoff hat die zwei allgemeinen Sätze aufgestellt, nach pag. 10.  
welchen die Theilung eines Stroms in beliebigen Zweigleitungen erfolgt. Wenn in einem Punkte beliebig viele Strombahnen zusammentreffen, so muss die Summe der Stromstärken der ankommenden Ströme so gross sein, als die Summe der abgehenden, oder in mathematischem Ausdruck:

$$\sum i = 0$$

wo die Stromstärke mit  $i$  bezeichnet ist, und das Summenzeichen absolut zu nehmen ist, d. h. die Stromstärken der ankommenden Ströme sind positiv zu nehmen, wenn die der abgehenden negativ, und umgekehrt; und somit ist die Gesamtsumme Null, weil die Summe der positiven Glieder gleich der der negativen ist.

Der zweite Satz lautet:

$$\sum i w = \sum e$$

und gilt für irgend einen in sich zurückkehrenden Weg, der bei beliebiger Stromverzweigung zurückgelegt wird. Dabei bedeutet in jedem Theil der Leitung zwischen zwei Knotenpunkten  $w$  den Widerstand und  $e$  die elektromotorische Kraft, die diesem Theil zukommen.

Der erste Satz von Kirchhoff ergibt sich einfach daraus, dass wenn in einem Knotenpunkte mehr oder weniger Electricität zu- als abströmen würde, sich dort Electricität anhäufen oder die Electricität mehr und mehr abnehmen müsste, was bei einem Beharrungszustand, wie er beim continuirlichen Strom stattfindet, nicht möglich ist.

Der zweite Satz lässt sich folgendermassen ableiten:  $a b c d \dots$  sei ein in sich zurückkehrender Weg eines Stromnetzes. In den Knotenpunkten  $a, b, c, d \dots$  werden bestimmte Spannungen herrschen, welche mit den gleichen grossen Buchstaben bezeichnet seien. Ferner sei auf den Theilstrecken  $ab, bc, cd \dots$  zwischen je zwei Knotenpunkten der Widerstand der Reihe nach  $w_1, w_2, w_3 \dots$ , dagegen seien elektromotorische Kräfte zunächst nicht vorhanden. Nach Ohm's Gesez ist:



$$i_1 = \frac{a-b}{w_1}, i_2 = \frac{b-c}{w_2}, i_3 = \frac{c-d}{w_3} \dots\dots$$

oder nach Multiplication mit den  $w$  und Addition:

$$i_1 w_1 + i_2 w_2 + i_3 w_3 + \dots = 0$$

da die letzte Spannung wieder  $a$  ist.

Ist aber noch auf jedem Wege eine electromotorische Kraft  $e_1, e_2, e_3 \dots$ , so kann man diese stets an den Anfang gelegt denken, ohne dass die Stromwirkung sich ändert: dann kommt zu der Anfangsspannung noch diese Kraft hinzu, so dass man hat:

$$i_1 = \frac{a + e_1 - b}{w_1}, i_2 = \frac{b + e_2 - c}{w_2}, i_3 = \frac{c + e_3 - d}{w_3} \dots\dots$$

und dann die Multiplikation mit den  $w$  und die Addition der Produkte gibt:

$$i_1 w_1 + i_2 w_2 + i_3 w_3 + \dots = e_1 + e_2 + e_3 + \dots$$

und dies ist der Satz von Kirchhoff.

Wenden wir diesen Satz auf die Wheatstone'sche Brücke (Fig. 5) an: Der Strom längs  $DAB$  sei mit  $i_1$ , der längs  $DCB$  mit  $i_2$  bezeichnet; der Widerstand auf dem Wege  $DA$  ist  $n$ , auf dem Wege  $AB$   $l$ , längs  $DC$  sei er mit  $p$ , längs  $CB$  mit  $q$  bezeichnet. Der Strom längs  $DC$  ist so gross als der längs  $CB$ , und der längs  $DA$  so gross als der längs  $AB$ , weil auf dem Wege  $CGA$  kein Strom ist, also in  $C$  und  $A$  nichts abzweigen kann. Nun hat man auf dem in sich zurückkehrenden Wege  $DAGCD$  die Gleichung:

$$i_1 n - i_2 p = 0$$

und auf dem Wege  $BAGCB$  die Gleichung:

$$i_1 l - i_2 q = 0$$

aus diesen zwei Gleichungen folgt:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{p}{n} = \frac{q}{l}$$

pag. 11. 2) Es sei  $q$  der Querschnitt,  $l$  die Länge,  $s$  das specifische und  $p$  das absolute Gewichts des Drahts. Dann ist:

$$p = q \cdot l \cdot s.$$

Ist  $v$  der Gewichtsverlust in Wasser, so ist:

$$s = \frac{p}{v}$$

also erhält man durch Einsetzung des Werthes von  $p$ :

$$q = \frac{v}{l}.$$

pag. 20. 3) Mit den Sätzen von Kirchhoff erhält man Folgendes: Es sei  $e$  die electromotorische Kraft des Elements,  $J$  die Stromstärke auf dem Wege  $CDA$  (Fig. 12),  $i_1$  auf dem direkten Wege  $AC$ , und  $i_2$  auf dem Wege  $ABC$ . Man hat:



$$J = i_1 + i_2, \quad JH + i_1 M = e, \quad i_1 M - i_2 N = 0$$

Daraus folgt zunächst:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{N}{M}$$

d. h. die Stromstärken in den Verzweigungen sind den Widerständen umgekehrt proportional. Durch Elimination von  $i_1$  und  $i_2$  folgt:

$$J = \frac{e}{H + \frac{MN}{M+N}}$$

Das zweite Glied im Nenner ist aber der reciproke Werth von  $\left(\frac{1}{M} + \frac{1}{N}\right)$ , d. h. vom Querschnitt der Quecksilbersäule, die aus den zwei andern vom Querschnitt  $\frac{1}{M}$  und  $\frac{1}{N}$  zusammengesetzt gedacht wird. Ferner folgt:

$$i_1 = \frac{eN}{HM + HN + MN}, \quad i_2 = \frac{eM}{NM + HM + MN}$$

Ist  $N$  sehr gross gegen  $M$ , also z. B.  $N$  der Widerstand des Körpers,  $M$  der eines Platindrahts, so ist  $i_2$  sehr klein gegen  $i_1$ , also im Körper nahe kein Strom. Sind  $M$  und  $N$  beide sehr gross gegen  $H$ , so ist, da  $H$  gegen  $M$  und  $N$  vernachlässigt werden kann:

$$J = E \left( \frac{1}{M} + \frac{1}{N} \right), \quad i_1 = \frac{e}{M}, \quad i_2 = \frac{e}{N}$$

d. h. in jeder Zweigleitung entsteht ein Strom, als ob die andere (und die Batterieleitung) nicht da wäre.

4) Es mag nicht selten von Interesse sein, Beobachtungen, die ohne Rheostat gemacht worden sind, bei welchen durch eine kleinere Zahl galvanischer Elemente ein schwächerer Strom erzielt worden ist, mit andern zu vergleichen, bei welchen mit Hilfe des Rheostaten der Strom abgeschwächt worden ist. pag. 36.

Wir setzen dabei voraus, dass der Rheostat in einer Zweigleitung eingeschaltet sei. Es zeigt sich dann, dass die Vergleichungszahlen ganz unabhängig von dem Widerstand in der Hauptleitung sind. Bezeichnet man nämlich mit  $E$  die elektromotorische Kraft eines der benützten Elemente, mit  $W$  seinen Widerstand, mit  $n$  die Zahl der benützten Elemente, wenn der Rheostat in der Zweigleitung eingeschaltet ist, mit  $w$  den Widerstand im eingeschalteten Körper, mit  $R$  den des Rheostaten, so hat man als Strom in der Hauptleitung (s. Anm. 3)

$$S = \frac{nE(w+R)}{nW(w+R) + wR}$$

und für denjenigen Theil, der durch den Körper mit dem Widerstand  $w$  geht:



$$S \cdot \frac{R}{w+R} = \frac{nER}{nW(w+R)+wR}$$

Ist dagegen keine Nebenschliessung da, sondern wird eine kleinere Zahl  $p$  Elemente verwendet, so hat man die Stromstärke:

$$\frac{pE}{pW+w}$$

Soll diese gleich dem vorigen Theilstrom sein, so ist:

$$pnW(w+R) + pwR = nR(pW+w)$$

oder kürzer:

$$1) \quad p(nW+R) = nR$$

Die Zahl  $p$  ist also unabhängig von dem Widerstand des Körpers.

Man wird bald nach  $p$  fragen, wenn  $n$  gegeben ist, bald umgekehrt. Die folgenden Tabellen geben Antwort auf beide Fragen. In der ersten ist  $W$  zu eins angenommen, wie bei länger gebrauchten Tauchbatterien, in der zweiten zu 5, wie bei Siemens und Meidinger. Oben steht die Zahl  $n$  der mit Rheostat verwendeten Elemente, es wird stets eine runde Zahl sein, da die Abstufung ja eben durch den Rheostaten erzielt wird. Links steht die Zahl  $p$  der Elemente ohne Rheostat. Wo die Verticalcolumnne für  $n$  mit der Horizontalcolumnne für  $p$  zusammentrifft, steht die Anzahl  $R$  Einheiten des Rheostaten in der Zweigleitung.

Die Hälfte jeder Tabelle bleibt unausgefüllt, da  $n$  immer grösser als  $p$  sein muss, da Anbringung einer Zweigleitung immer gleich Verminderung der Elementenzahl ist.

Die Benützung der Tafel ergibt sich aus folgenden Beispielen:

Wenn 31 Siemens'sche Elemente zu einem bestimmten Zweck gebraucht wurden ohne Rheostaten, wieviel Widerstand ist bei 50 Elementen in der Zweigleitung einzuschalten, um gleiche Wirkung zu erhalten? Die zweite Tabelle gibt in der Verticalcolumnne 50 und der Horizontalcolumnne 31 die Antwort 408. Für Tauch-Elemente gibt die erste Tabelle 81,6.

Hat man 30 Elemente und 345 Rheostaten Einheiten in der Zweigleitung, so kann man nach der ersten Tabelle für Tauchelemente, ohne Zweigleitung  $27\frac{1}{2}$  verwenden, nach der zweiten Tabelle, wenn es Meidinger oder Siemens sind, 21 Elemente gleicher Art.



Widerstand =  $\frac{1}{2}$  Eins.

	2	5	10	20	30	40	50	60		40	50	60
1	2,0	1,3	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	31	138	81,6	64,2
2		3,3	2,5	2,2	2,1	2,0	2,0	2,0	32	160	88,8	68,6
3		7,5	4,3	3,5	3,3	3,2	3,2	3,2	33	186	97,1	73,3
4		20,0	6,7	5,0	4,6	4,4	4,3	4,3	34	227	106	78,5
5			10,0	6,7	6,0	5,7	5,5	5,4	35	280	117	84,0
6			15,0	8,6	7,5	7,1	6,8	6,7	36	360	129	90,0
7			23,3	10,4	9,1	8,5	8,1	7,9	37	493	142	96,5
8			40,0	13,3	10,5	10,0	9,5	9,2	38	760	158	104
9			90,0	16,4	12,8	11,6	11,0	10,3	39	1560	177	111
10				20,0	15,0	13,3	12,5	12,0	40		200	120
11				24,5	17,4	15,2	14,1	13,4	41		228	129
12				30,0	20,0	17,1	15,8	15,0	42		263	140
13				37,1	23,0	19,2	17,6	16,6	43		307	152
14				46,7	26,3	21,5	19,5	18,3	44		367	165
15				60,0	30,0	24,0	21,5	20,0	45		450	180
16				80,0	34,3	26,7	23,5	21,8	46		575	197
17				113	39,2	29,6	25,7	23,7	47		783	217
18				180	45,0	32,6	28,1	25,7	48		1200	240
19				380	51,9	36,2	30,6	27,8	49		2050	267
20					60,0	40,0	33,3	30,0	50			300
21					70,0	44,2	36,2	32,3	51			340
22					82,5	48,7	39,3	34,6	52			390
23					98,6	54,0	42,5	37,3	53			454
24					120	60,0	46,1	40,0	54			540
25					150	66,7	50,0	42,9	55			660
26					195	74,3	54,2	45,8	56			840
27					270	83,1	58,7	49,1	57			1140
28					420	93,3	63,6	52,5	58			1740
29					870	105	69,0	56,1	59			3540
30						120	75,0	60,0	60			—



$W = 5$ . Siemens oder Meidinger.

	2	5	10	20	30	40	50	60		40	50	60
1	10,0	6,5	5,5	5,5	5,0	5,0	5,0	5,0	31	690	408	321
2		16,5	12,5	11,0	10,5	10,0	10,0	10,0	32	800	444	343
3		37,5	21,5	17,5	16,5	16,0	16,0	16,0	33	930	486	367
4		100	33,5	25,0	23,0	22,0	21,5	21,5	34	1135	530	393
5			50,0	33,5	30,0	28,5	27,5	27,0	35	1400	585	420
6			75,0	43,0	37,5	35,5	34,0	33,5	36	1800	645	450
7			117	52,0	45,5	42,5	40,5	39,5	37	2465	710	483
8			200	66,5	52,5	50,0	47,5	46,0	38	3800	790	520
9			450	82,0	64,0	58,0	55,0	51,5	39	7800	885	555
10				100	75,0	66,5	62,5	60,0	40		1000	600
11				123	87,0	76,0	70,5	67,0	41		1140	645
12				150	100	85,5	79,0	75,0	42		1315	700
13				186	115	96,0	88,0	83,0	43		1535	760
14				234	132	108	97,5	91,5	44		1835	825
15				300	150	120	108	100	45		2250	900
16				400	172	134	118	109	46		2875	985
17				565	196	148	129	119	47		3915	1085
18				900	225	163	141	129	48		6000	1200
19				1900	259	181	153	139	49		10250	1335
20					300	200	167	150	50			1500
21					350	221	181	162	51			1700
22					413	244	197	173	52			1950
23					493	270	213	187	53			2270
24					600	300	231	200	54			2700
25					750	333	250	215	55			3300
26					975	372	271	229	56			4200
27					1350	416	294	246	57			5700
28					2100	467	318	263	58			8700
29					4350	525	345	281	59			17700
30						600	375	300	60			—

Auch auf die Frage, wieviel Elemente ohne Rheostat einer bestimmten Anzahl mit in der Hauptleitung eingeschaltetem Rheostat entsprechen, erhält man eine einfache Antwort. Mit den obigen Bezeichnungen ist die Stromstärke von  $n$  Elementen mit Rheostat in der Leitung:

$$\frac{n E}{n W + w + R}$$



Lässt man den Rheostat weg und nimmt weniger Elemente — ihre Zahl sei  $p$  — so hat man als Stromstärke:

$$\frac{p E}{p W + w}$$

Sollen beide gleich sein, so erhält man

$$2) \quad \frac{p}{n} = \frac{w}{w + R}$$

also unabhängig vom Widerstand im Element, aber abhängig von dem der Leitung.

Endlich kann man die Aufgabe stellen, die Anzahl Widerstandseinheiten anzugeben, welche in einer Zweigleitung eingeschaltet für den Hauptstrom gleiches Resultat geben, wie eine andere Anzahl, die in der Hauptleitung selbst mit Weglassung der Zweigleitung eingeschaltet werden.

Die Stromstärke im Hauptstrom, wenn in einer Zweigleitung  $R$  eingeschaltet ist, ergibt sich zu:

$$\frac{n E R}{n W (R + w) + R w}$$

und die Stromstärke ohne Zweigleitung, wenn  $R'$  eingeschaltet ist:

$$\frac{n E}{n W + R' + w}$$

Sollen beide gleich sein, so muss

$$3) \quad R R' = n W w$$

sein, d. h. die zwei Widerstände sind umgekehrt proportionirt.

5) Der Widerstand in elektro-magnetischem Maass ausgedrückt ist pag. 39. der reciproke Werth einer Geschwindigkeit. Solange wir über das eigentliche Wesen der Electricität nichts wissen, ist es gewiss am einfachsten, beim Bilde des Stromes zu bleiben. Die Arbeit, welche ein Strom leisten kann, ist durch das Wassergewicht gegeben, welches in der Sekunde durch den Querschnitt fließt, oder durch das in einem Theil des Stroms, der ein Meter lang ist, enthaltene Wassergewicht multiplicirt mit der Geschwindigkeit, wobei die letzte in Metern gegeben ist. Misst man den Querschnitt  $Q$  eines Wasserlaufs mit gleich bleibendem Querschnitt und Gefäll in Quadratmetern, so ist  $Q$  zugleich die Anzahl Cubikmeter Wasser, welche auf den Meter kommen. Diese Zahl als Volumen oder Gewicht ausgedrückt entspricht der Electricitätsmenge, welche von einer bestimmten electromotorischen Kraft erzeugt wird. Jenes  $Q$  entspricht also  $E$ , der Electricitätsmenge oder electromotorischen Kraft.

Multiplicirt man  $Q$  mit der Geschwindigkeit des Wassers, so hat man die in der Sekunde durch den Querschnitt gehende Wassermenge, die ein Maass für die Arbeit ist, welche das Wasser leisten kann. Ebenso wird alsdann die Stromstärke als Produkt aus Electri-



citätsmenge und Geschwindigkeit unmittelbar ein Maass für die Arbeit sein, welche der Strom leistet.

pag. 44. 6) Nach den Angaben im Text ist in Figur 18 der Widerstand auf dem Wege  $ABCEA$  mit  $w$  bezeichnet, der längs  $AB$  mit  $v$ . Es handelt sich darum, nachzuweisen, dass:

$$\frac{E}{w} = \frac{D}{v}$$

ist. Für die in sich zurückkehrenden Wege  $ABCEA$  und  $GDAB$  hat man, da das Galvanometer keinen Ausschlag gibt, unter der Voraussetzung, dass  $i$  die Stromstärke auf dem Wege  $ABCEA$  ist, nach dem zweiten Satz von Kirchhoff die Gleichungen:

$$iw = E \text{ und } iv = D$$

und daraus folgt die obige Gleichung.

pag. 66. 7) Verwendet man bei dem äussern Widerstand  $W$  ein Element mit der electromotorischen Kraft  $E$  und dem innern Widerstand  $w$ , so ist die Stromstärke:

$$J = \frac{E}{w + W}$$

Verbindet man  $p$  solche Elemente gleichnamig, so hat man:

$$J = \frac{E}{\frac{w}{p} + W}$$

weil es gerade so ist, als ob man ein einziges  $p$  mal so grosses Element hätte.

Und verbindet man  $q$  solche  $p$  fache Elemente ungleichnamig, so hat man:

$$J = \frac{Eq}{\frac{w}{p} q + W} = \frac{E}{\frac{w}{p} + \frac{W}{q}}$$

d. h. es ist, als ob der äussere Widerstand auf den  $q$ ten Theil reducirt wäre.

Ist  $n$  die Anzahl zu Gebot stehender Elemente, so ist:

$$n = p \cdot q$$

und die Frage ist, wenn  $n$  gegeben ist, wie ist  $p$  oder  $q$  zu wählen, damit der Nenner des letzten Werthes von  $J$  möglichst klein werde.

Da  $p \cdot q$  eine gegebene Zahl ist, so ist es auch  $\frac{w \cdot W}{p \cdot q}$ ; also ist die

Aufgabe: eine bekannte Zahl  $\left(\frac{w \cdot W}{p \cdot q}\right)$  so in zwei Faktoren  $\left(\frac{w}{p} \text{ und } \frac{W}{q}\right)$  zu zerlegen, dass deren Summe möglichst klein ist. Diess geschieht



aber bekanntlich durch die Quadratwurzel, d. h. beide Faktoren müssen gleich sein; somit ist:

$$\frac{w}{p} = \frac{W}{q} = \sqrt{\frac{w W}{p q}} = \sqrt{\frac{w W}{n}}$$

womit  $p$  und  $q$  bestimmt ist.

$$p = \sqrt{\frac{n w}{W}} \text{ und } q = \sqrt{\frac{n W}{w}}$$

8) Wenn man je  $p$  Elemente gleichnamig verbindet und  $q$  solcher  $p$  fachen Elemente ungleichnamig, so ist die Stromstärke: pag. 68.

$$J = \frac{E}{\frac{w}{p} + \frac{W}{q}}$$

(nach Anm. 7). Dasselbe soll erreicht werden, wenn man je  $q$  Elemente ungleichnamig verbindet und  $p$  solcher Verbindungen als Zweigleitungen der Hauptleitung neben einander stellt. Dies ergibt sich folgendermaassen. In der Hauptleitung hat man die Stromstärke  $J$ , den Widerstand  $W$  und keine electromotorische Kraft. Die Zweigleitungen sind alle gleich, in jeder sei die Stromstärke  $i$ ; der Widerstand ist in allen  $q w$ , die electromotorische Kraft  $q E$ . Man hat nach den Kirchhoff'schen Sätzen die Gleichungen:

$$J = p \cdot i, J W + i \cdot q w = q E$$

die erste nach dem ersten Satz für die zwei Knotenpunkte, die zweite nach dem zweiten Satz für die Hauptleitung und irgend eine Zweigleitung als in sich zurückkehrendem Weg. Durch Elimination von  $i$  aber folgt:

$$J W + J \frac{q}{p} w = q E$$

oder:

$$J = \frac{E}{\frac{w}{p} + \frac{W}{q}}$$

wie oben behauptet wurde.

9) Die Regel für beste Combination lautet, man soll eine Anzahl pag. 76.

$\left(\sqrt{n \frac{W}{w}}\right)$  von  $\left(\sqrt{n \frac{w}{W}}\right)$  fachen Elementen bilden, um einen gegebenen äussern Widerstand  $W$  mit  $n$  Elementen, deren jedes den Widerstand  $w$  hat, zu überwinden. Der reducirte Gesamtwiderstand ist dann (Anm. 7):

$$\frac{w}{p} + \frac{W}{q} = 2 \sqrt{\frac{w W}{n}}$$



und daher die Stromstärke:

$$J = \frac{E \sqrt{n}}{2 \sqrt{w} W}$$

Nimmt man nun zu Ueberwindung desselben Widerstands andere Elemente, in der Anzahl  $n_1$  mit dem Widerstand  $w_1$  und der electromotorischen Kraft  $E_1$ , so hat man:

$$J_1 = \frac{E_1 \sqrt{n_1}}{2 \sqrt{w_1} W}$$

Sollen beide Ströme gleich sein, so erhält man nach Erheben ins Quadrat und Weglassen des Factors  $4W$  die Gleichung:

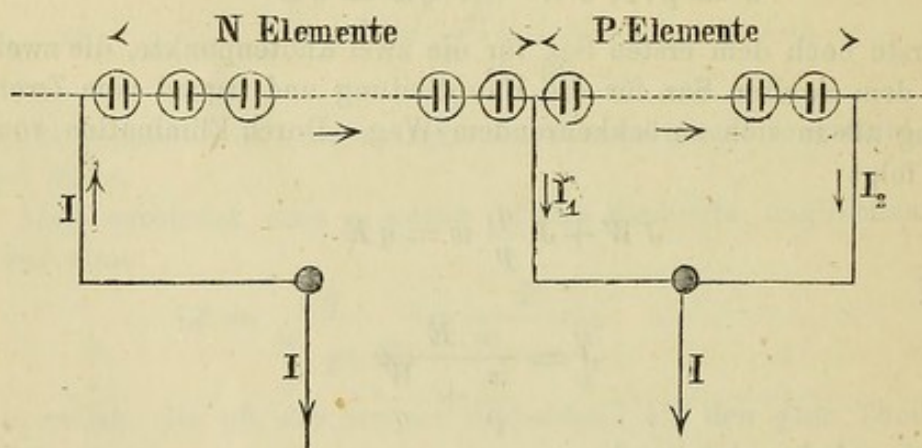
$$\frac{n}{n_1} = \frac{E_1^2 w}{E^2 w_1}$$

und nach dieser Formel sind die Aequivalenzzahlen der Elemente im Text berechnet.

pag. 98.

10) Wenn zu  $n$  Elementen, welche schon eingeschaltet sind, noch  $p$  hinzukommen, so dass am Schlusse der  $n$  und am Schlusse der  $p$  eine Leitung zum Körper geht, so hat man (Figur 50) eine Doppel-

Fig. 50.



leitung zum Körper und eine einfache Zurückleitung. Ist  $E$  die electromotorische Kraft eines Elements,  $w$  sein Widerstand,  $W$  der Widerstand im Körper und  $v$  der überall gleich angenommene Widerstand von den Elementen zu der Messingsäule, wo die Electroden eingeschraubt werden, und bezeichnet man endlich die Stromstärken der Doppelleitung mit  $i_1$  und  $i_2$ , die der Rückleitung mit  $i$ , so ergibt sich nach den Sätzen von Kirchhoff:

$$\begin{aligned} i &= i_1 + i_2 & i_2 (v + pw) - i_1 v &= pE \\ i (W + v + nw) + i_1 v &= nE \end{aligned}$$



Eliminirt man aus diesen drei Gleichungen  $i_1$  und  $i_2$ , so folgt:

$$i = \frac{E \{n (pw + v) + (p + n) v\}}{(W + v + nw) (pw + 2v) + v (pw + v)}$$

Nun ist aber  $W$  immer sehr gross gegen  $w$  und noch mehr gegen  $v$ . Wenn man also die letzten gegenüber von  $W$  vernachlässigt, so erhält man:

$$\begin{aligned} i &= \frac{E \{n (pw + 2v) + pv\}}{W (pw + 2v)} \\ &= \frac{E}{W} \left\{ n + \frac{pv}{pw + 2v} \right\} \end{aligned}$$

Der Strom von  $n$  Elementen, deren Widerstand gegenüber dem im Körper vernachlässigt werden kann, wäre  $\frac{nE}{W}$ ; der Strom bei Einschaltung von weitem  $p$  Elementen ist derselbe, als ob  $\left( n + \frac{pv}{pw + 2v} \right)$  Elemente eingeschaltet wären. Weil  $w$  stets grösser als  $v$  sein wird, so ist der Bruch der zu  $n$  hinzukommt, stets ein ächter. Wenn man  $2v$  gegen  $pw$  vernachlässigen darf, ist der Bruch einfach  $\frac{v}{w}$ .

11) Die Formeln der Anm. 3 ergeben für den Fall, dass  $H$  gegen  $M$  und  $N$  sehr gross ist, pag. 106.

$$J = \frac{e}{H}$$

d. h. der Strom ist derselbe, als ob die zwei Zweigleitungen nicht da wären. Die Stromtheile sind:

$$i_1 = \frac{eN}{H(M+N)}; \quad i_2 = \frac{eM}{H(M+N)}$$

oder in  $J$  ausgedrückt:

$$i_1 = J \frac{N}{M+N}, \quad i_2 = J \frac{M}{M+N}$$

womit der Satz im Text bewiesen ist.



## Tangententafel.

Grad	Tangente	Grad	Tangente	Grad	Tangente	Grad	Tangente
1	0,017	23	0,424	45	1,000	67	2,356
2	0,035	24	0,445	46	1,036	68	2,475
3	0,052	25	0,466	47	1,072	69	2,605
4	0,070	26	0,488	48	1,111	70	2,747
5	0,087	27	0,510	49	1,150	71	2,904
6	0,105	28	0,532	50	1,192	72	3,078
7	0,123	29	0,554	51	1,235	73	3,271
8	0,141	30	0,577	52	1,280	74	3,487
9	0,158	31	0,601	53	1,327	75	3,732
10	0,176	32	0,625	54	1,376	76	4,011
11	0,194	33	0,649	55	1,428	77	4,331
12	0,213	34	0,675	56	1,483	78	4,705
13	0,231	35	0,700	57	1,540	79	5,145
14	0,249	36	0,726	58	1,600	80	5,671
15	0,268	37	0,754	59	1,664	81	6,314
16	0,287	38	0,781	60	1,732	82	7,115
17	0,306	39	0,810	61	1,804	83	8,144
18	0,325	40	0,839	62	1,881	84	9,514
19	0,344	41	0,869	63	1,963	85	11,430
20	0,364	42	0,900	64	2,050	86	14,30
21	0,384	43	0,933	65	2,145	87	19,08
22	0,404	44	0,966	66	2,246	88	28,64
23	0,424	45	1,000	67	2,356	89	57,29



## Literatur.

- Althaus, die Electricität in der Medicin. Berlin Reimer 1860.
- Beard und Rockwell. Praktische Abhandlung über Verwerthung der Electricität. Deutsch v. Väter. Prag. Dominikus 1874.
- Benedikt, Elektrotherapie. Wien. Tendler 1868.
- Du Bois-Reymond, Untersuchungen über thierische Electricität. Berlin Reimer 1848.
- Brenner, Untersuchungen und Beobachtungen aus dem Gebiete der Electrotherapie. Leipzig. Gieseke 1868.
- v. Bruns, Galvanochirurgie. Tübingen Laupp 1870.
- Duchenne, de l'électrisation localisée, 3. éd. Paris. Baillière 1872.
- — die örtliche Anwendung der Electricität deutsch v. Erdmann. Leipzig. Barth 1856.
- Fick, medicinische Physik 2. Aufl. Braunschweig. Vieweg 1866.
- Fieber, Compendium der Electrotherapie. Wien. Braumüller. 1869.
- Frommhold, der constante galvanische Strom. Pesth. Heckenast. 1867.
- Heidenreich, Elemente der therapeutischen Physik. Leipzig. Wigand 1854.
- Meyer, Die Electricität in ihrer Anwendung auf praktische Medicin. 3. Aufl. Berlin. Hirschwald 1868.
- Middeldorpf, Galvanokaustik. Breslau. Jos. Max. 1854.
- Oppenheimer, Lehrbuch der physikal. Heilmittel. Würzburg. Stahel 1861.
- Priestley, Geschichte der Electricität. Deutsch v. Kränitz. Berlin Lange 1772.
- Remak, Galvanotherapie. Berlin Hirschwald 1858.
- Ries, Lehre von der Reibungs-Electricität. Berlin Hirschwald 1853.
- Rosenthal, Electricitätslehre für Mediciner. 2. Aufl. Berlin. Hirschwald 1869.
- Schmidt, Jahrbücher der gesammten Medicin. Leipzig. Wiegand.
- Voltolini, Anwendung der Galvanokaustik. 2. Aufl. Wien 1872.
- Wiedemann, Galvanismus. 2. Aufl. Braunschweig. Vieweg 1874.
- Wundt, Handbuch der medicinischen Physik. Erlangen Encke 1867.



Ziemssen, Electricität in der Medicin 2. Aufl. -Berlin Hirschwald  
1857.

Ziemssen und Zenker, deutsches Archiv für klinische Medicin.  
Leipzig bei Vogel.



## Preise der hauptsächlichsten Apparate nach den neuesten Preisverzeichnissen in Mark.

	Krüger Berlin.	Hirschmann Berlin.	Stöhrer Dresden.	Fein Stuttgart.
Daniell . . .	1—3,5	1,5		2,55
Grove . . .	7,5			
Bunsen . . .				4,15
Meidinger . .				3,75
Siemens . . .	2—3	3—5		
Leclanché . .	4,5—6,75	5		3,2—5,8
Noë Thermobatterie . . .		30		
duBois-Reymond Compensator		140		
Inductionsapparat				
Schlittenapp. nach Meyer .	42—66 165	21—96 180		12—60
transport. nach Stöhrer . .		60—114 (mit Thermos.)	64—96 (mit Zn.C)	30—102 (mit Leclanché)
Magneto elektr. App. . . .				51—96
Stromwender .		20—30		18—24
Elementenzähler mit Stöpsel .	30	30		30—36
mit Kurbel .	36 u. 54	36 bis 60		34—39
Rheostaten				
Stöpsel . . .	90 (bis 2100) 171 (bis 5000)	90 (bis 2100) 180 (bis 5000)		90 (bis 2000)
Kurbel . . .	75 (bis 1100) 135 (bis 5110)	108 (bis 5000) (mit rascher Stei- gerung)		112 (bis 2000)
Flüssigkeits- Rheost. . .			22	24
Batterien zur Galvanokaustik	102(4Bunsen) 54(2Bunsen) 75(2Zn Fe)		54—156 (ZnC m.Chromsäure, 4 Plattensy- steme)	78—120 (ZnC mit Chroms. 4 Plattensyst.) 60—87(2ZnFe) 174 (4Zn Pt).



	Krüger Berlin.	Hirschmann Berlin.	Stöhrer Dresden.	Fein Stuttgart.
Apparatenisch in verschiede- ner Vollstän- digkeit sammt Batterien . .	300—750	300—945		90—300 (ohne Batterie).
Transportable ZnC Batterien,	120-150(40El.)	70-150 (40 El.)	110 (20 El.)	51 (10 El.)
mit Stromwechs- ler, Elementen- zähler etc.			150-200 (40 El.)	102 (20 El.) 128 (30 El.) 154 (40 El.)
(Voltameter von Mollenkopf, Stuttgart, 8 M. 60.)				



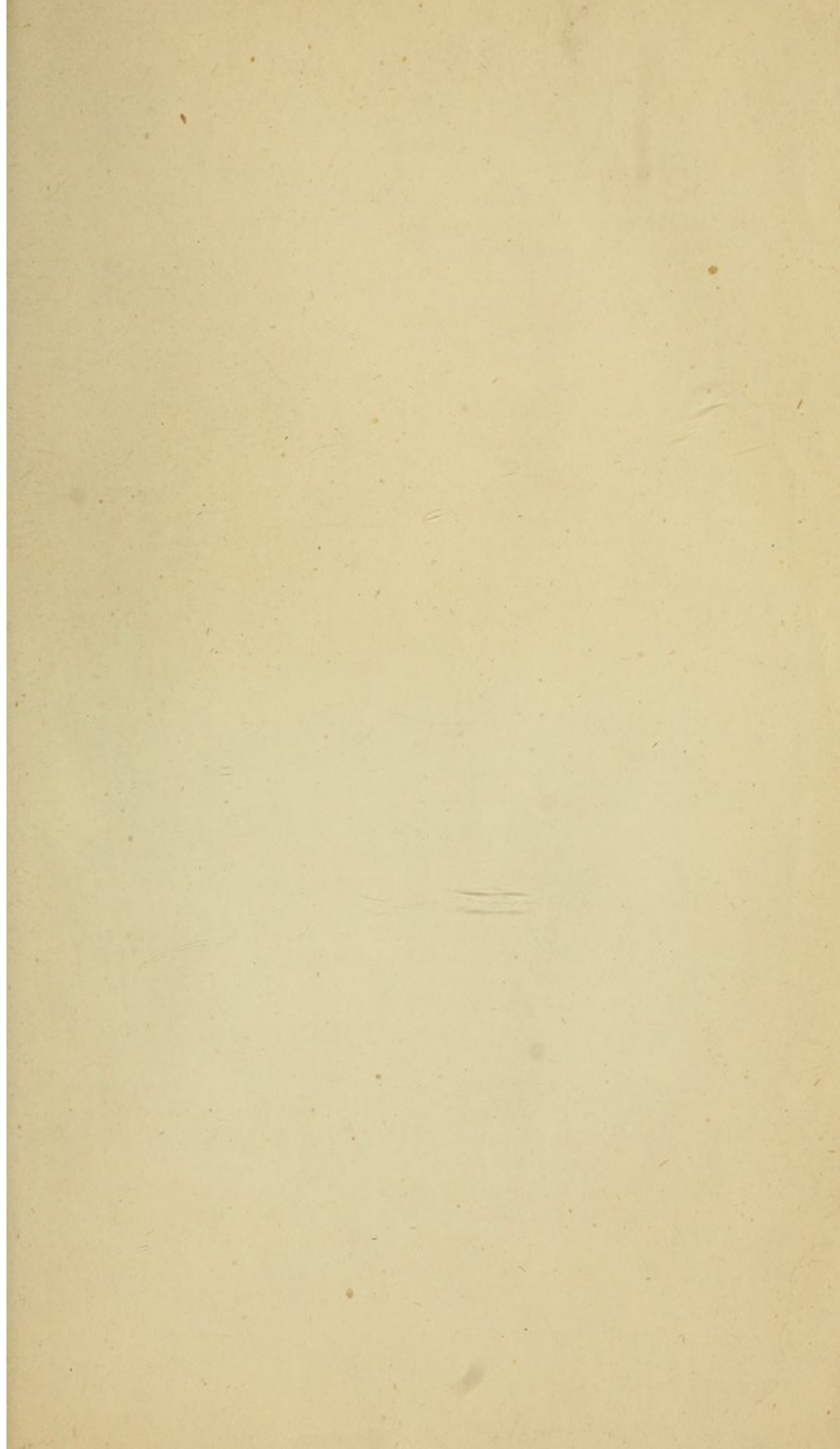
## Sachregister.

	Seite		Seite
Ableitungen . . . . .	16	Induction . . . . .	121
Amalgamiren des Zink . .	86	Influenzmaschine . . .	46. 54
Anode . . . . .	61	Isoelektrische Curven . .	117
Arbeit der galv. Elemente	56	Isolatoren . . . . .	14
Arbeitsfähigkeit des Stroms	39	Kathode . . . . .	61
Astatische Nadel . . . .	108	Kurbelrheostat . . . . .	30
Ausbreitung des Stroms .	115	Leclanché's Element . . .	86
Beetz's Element . . . . .	87	Leitungsdrähte . . . . .	12
Brenner's Apparat . . . .	145	Magnetoel. Apparat . . .	134
Bunsen's Element . . . .	81. 88	Meidinger's Element . . .	84
Combination der Elemente	66. 75	Messung der Elektricitäts-	
Dämpfung . . . . .	114	menge . . . . .	41
Daniell's Element . . . .	83	Multiplicator . . . . .	107
Elektricitätsmenge . . . .	36	Oxyde schlechte Leiter . .	24
Elektrischer Strom . . . .	1	Polarisation . . . . .	69
Elektromotorische Kraft der		Pole der Elemente . . . .	60
Elemente . . . . .	45. 59	Reducirter Widerstand . .	64
Elektrodenform . . . . .	120	Rheostat . . . . .	25
Elektrolyse . . . . .	121	Rheotom . . . . .	149
Elementenzähler . . . . .	91	Schieber von Stöhrer . . .	94
— von Siemens-Remak . .	92	Schlittenapparat . . . . .	127
— von Brenner . . . . .	96	Siemens Element . . . . .	85
Erwärmung der Leiter . . .	141	— Einheit . . . . .	7
Extrastrom . . . . .	129	Smee Element . . . . .	89
Fehler der Leitung . . . .	153	Spannung der Elektricität	3
Flüssigkeitsrheostat . . .	32	Spiegelgalvanometer . . .	111
Frommhold's Element . . .	89	Stöhrer's Tauchelemente . .	88
Funkenentladung . . . . .	50	Stöpselrheostat . . . . .	26
Galvanometer . . . . .	109	Stromfäden . . . . .	116
Gleichnamige Verbindung	63	Stromstärke . . . . .	39
Glühen . . . . .	141	Stromwähler . . . . .	91. 150
Grove's Element . . . . .	82	Stromwender . . . . .	100

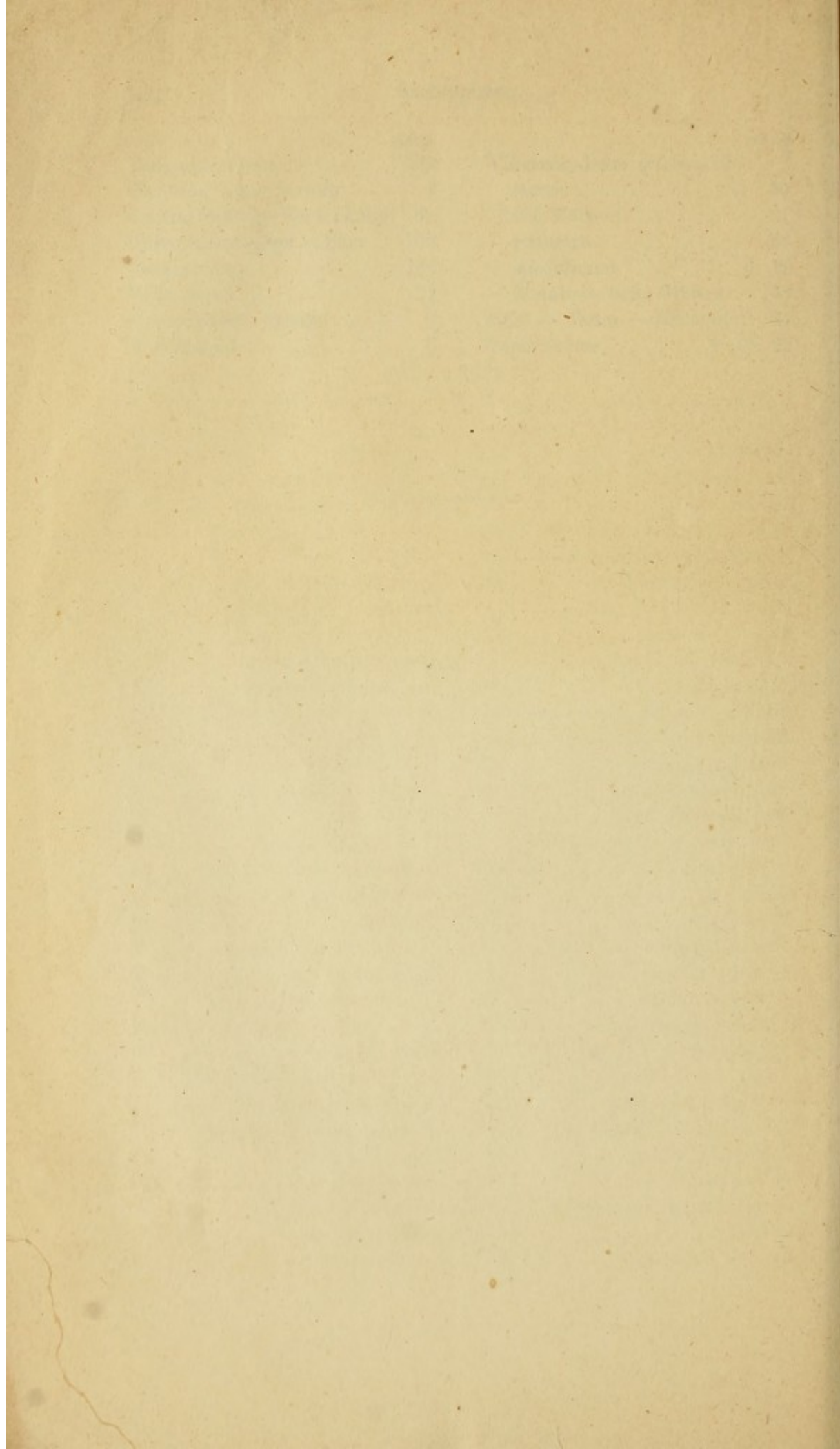


	Seite		Seite
Tangentenboussole . . . .	102	Widerstand der galvan. Ele-	
Theilung eines Stroms . . .	4	mente . . . . .	59
Ungleichnamige Verbindung	61	— des Körpers . . . . .	21
Universalschieber v. Baur .	102	— reducirter . . . . .	64
Unterbrecher . . . . .	146	— specifischer . . . . .	6. 12
Voltameter . . . . .	72	— Zunahme beim Glühen .	143
Wheatstone's Brücke . . .	8	Zink — Eisen — Elemente	81
Widerstand . . . . .	6	Zweigströme . . . . .	4. 18. 22















Neuerer Verlag

der H. Lamm'schen Buchhandlung in Tübingen.

**Bruns, Prof. Dr. V. v., Die Galvano-Chirurgie oder die Galvano-  
kaustik und Electrolysis chirurgischen Krankheiten.** Mit 44  
Holzstichen. gr. 8. *Mk* 3.

**Bruns, Prof. Dr. V. v., Arznei-Operationen oder Darstellung sämt-  
licher Methoden der manuellen Application von Arzneistoffen.**  
Mit 31 Abbild. in Holzschnitt. Lex. 8. *Mk* 3. 60.

**Bruns, Prof. Dr. V. v., Die Laryngoskopie und laryngoskopische  
Chirurgie.** Zweite Ausgabe. gr. 8. broch. *Mk* 7. —

**Bruns, Prof. V. v., Atlas zur Laryngoskopie und laryngoskopischen  
Chirurgie.** Zweite Auflage. gr. quer fol. mit 8 theilweis in  
Farbendruck ausgeführten lithogr. Tafeln. In Envel. *Mk* 12.

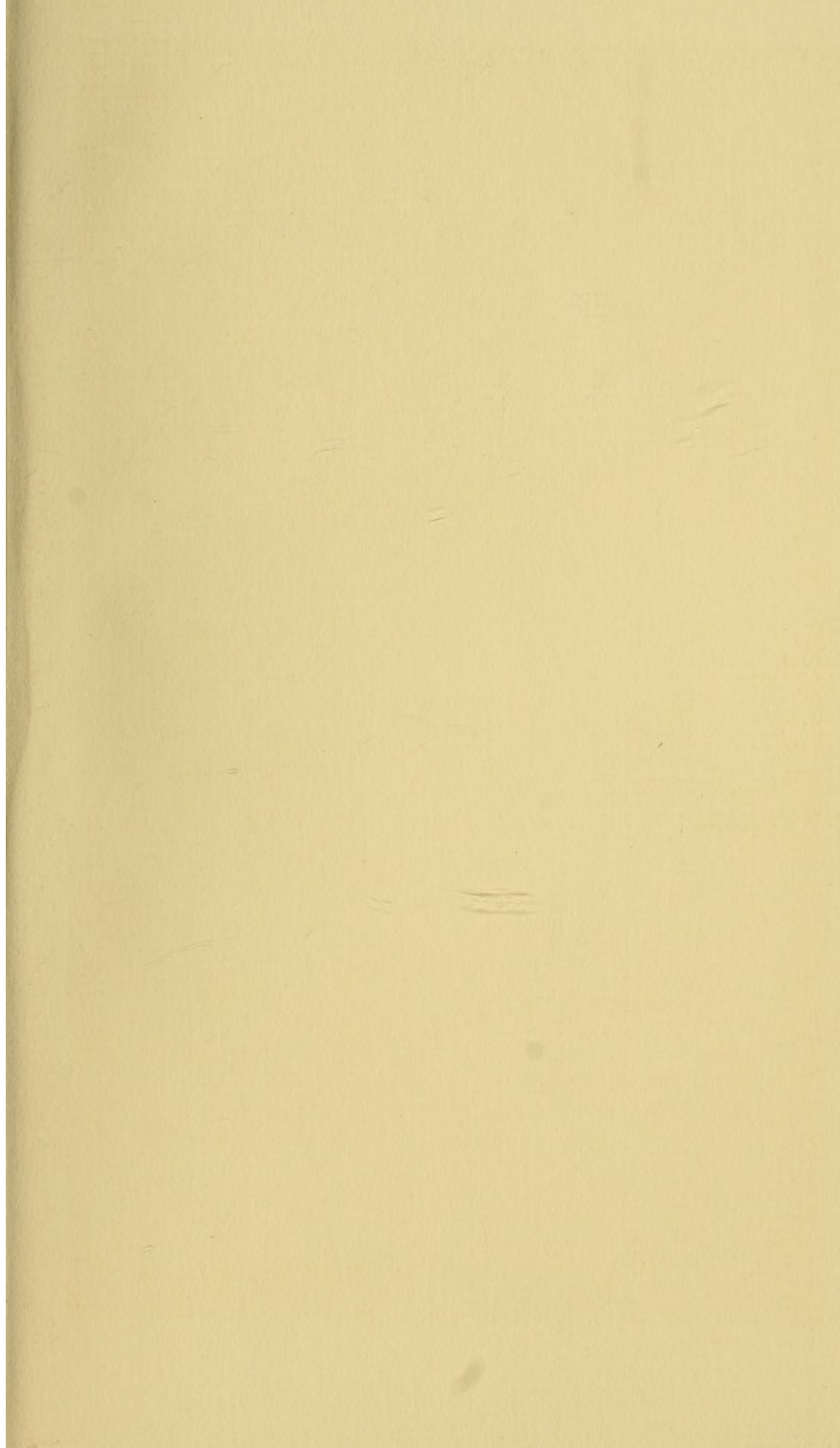
**Bruns, Prof. Dr. V. v., Dreiundzwanzig neue Beobachtungen von  
Polypen des Kehlkopfes.** Mit 59 Abbildungen auf 4 Farbendruck-  
tafeln. Zweite Ausgabe. gr. 8. broch. *Mk* 8. —

**Bruns, Prof. Dr. V. v., Handbuch der chirurgischen Praxis.** Mit  
810 Holzschnitten. Auch u. d. Titel: **Chirurgische Heilmittellehre**  
für Studirende, Aerzte und Wundärzte. **Erster Band:** Instrumente  
und Verbandgeräth. -- Allgemeine Operationslehre. — Manual-  
und Arznei-Operationen. **Zweiter Band:** Instrumental-Opera-  
tionen. — Verband-Operationen. **Zwei Bände.** gr. 8. broch.  
*Mk* 30.

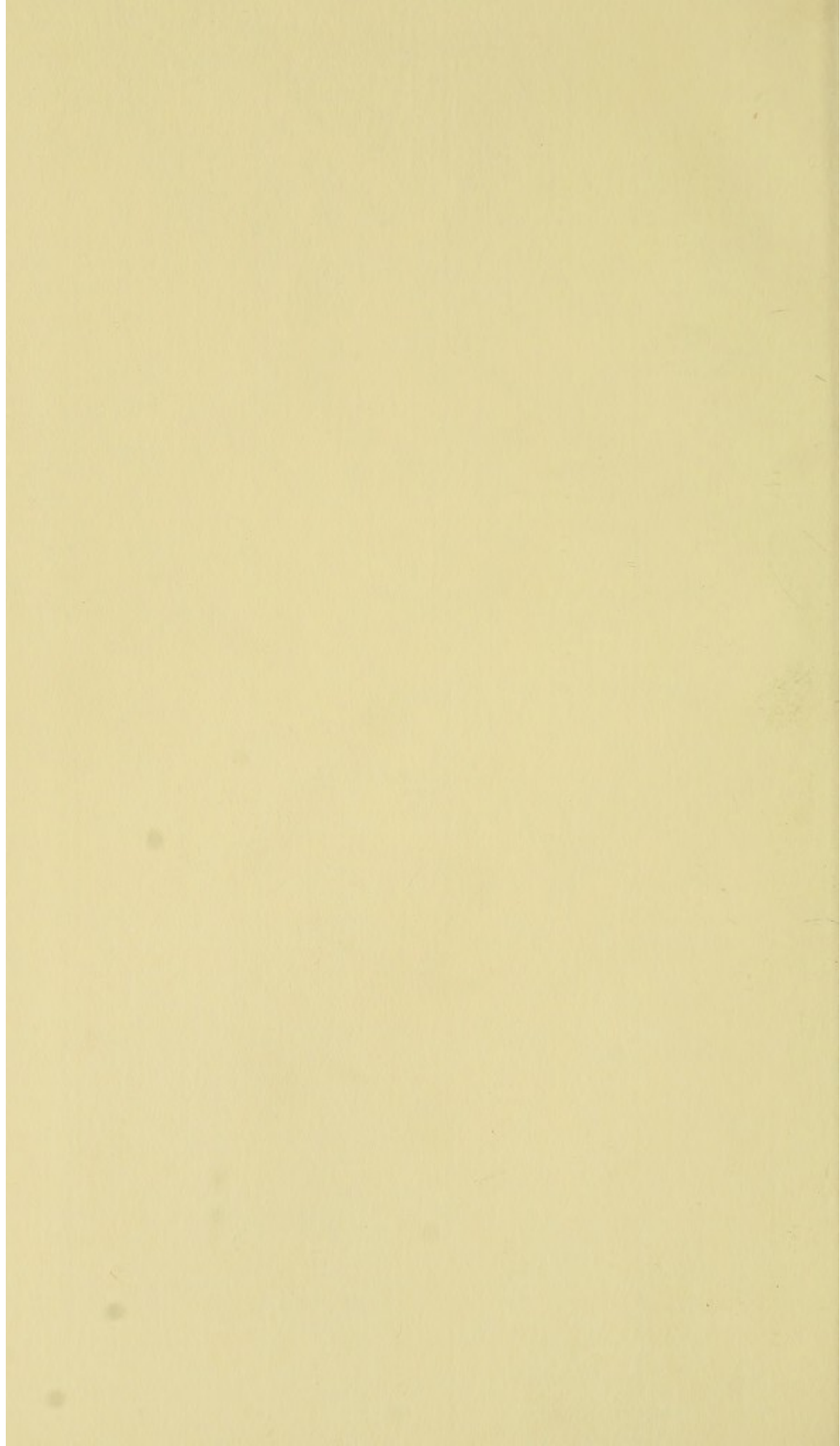
**Roser, Dr. W., Prof. in Marburg, Handbuch der anatomischen  
Chirurgie.** Siebente umgearbeitete Auflage. Mit zahlreichen Holz-  
schnitten. 65 Bogn. in 8. *Mk* 15.

**Gerhardt, Dr. C., Prof. in Würzburg, Lehrbuch der Kinderkrank-  
heiten.** Mit Holzschnitten. **Dritte vollständig umgearbeitete**  
Auflage. Lex. 8. 47 Bogn. *Mk* 13. —

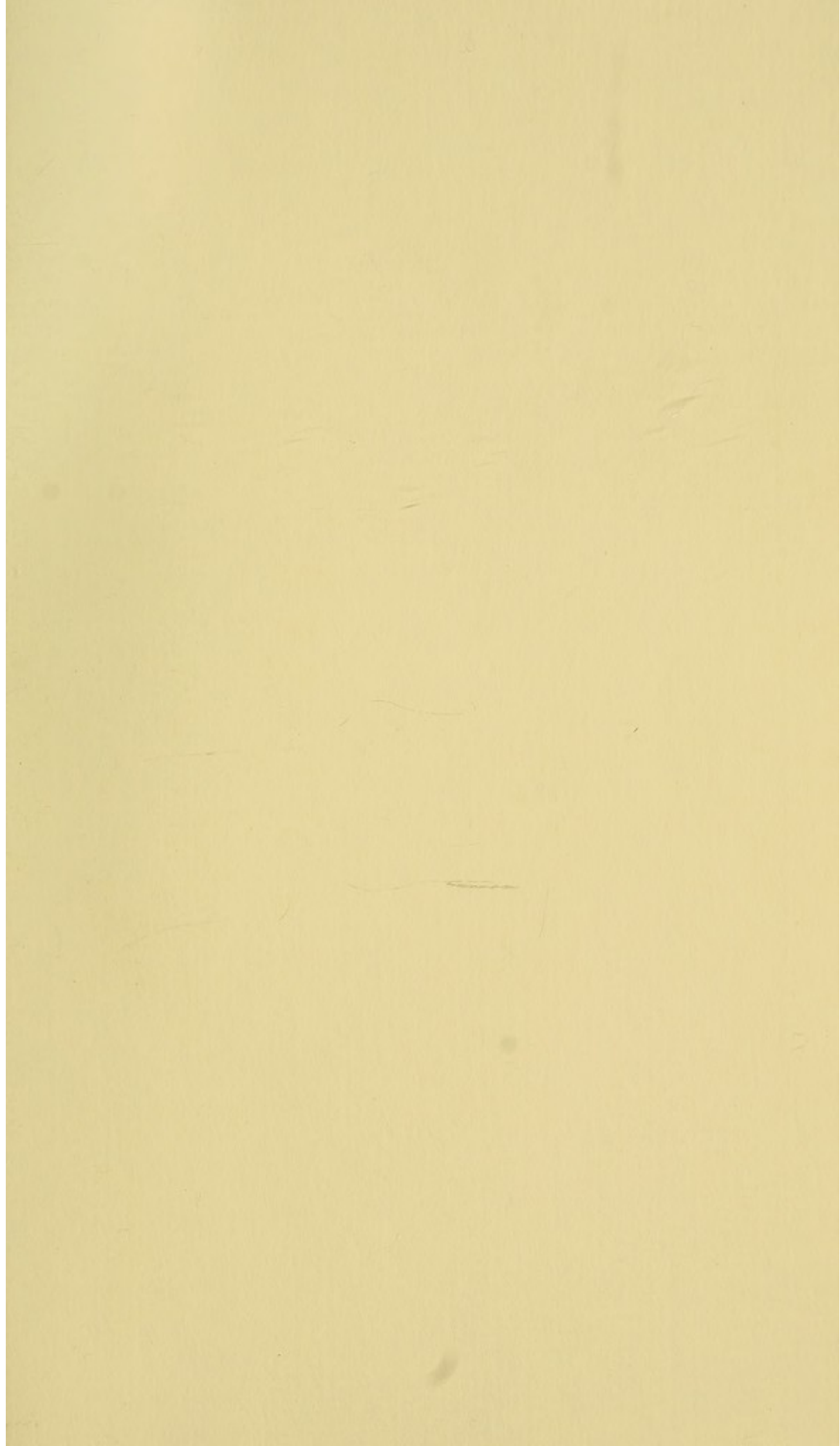




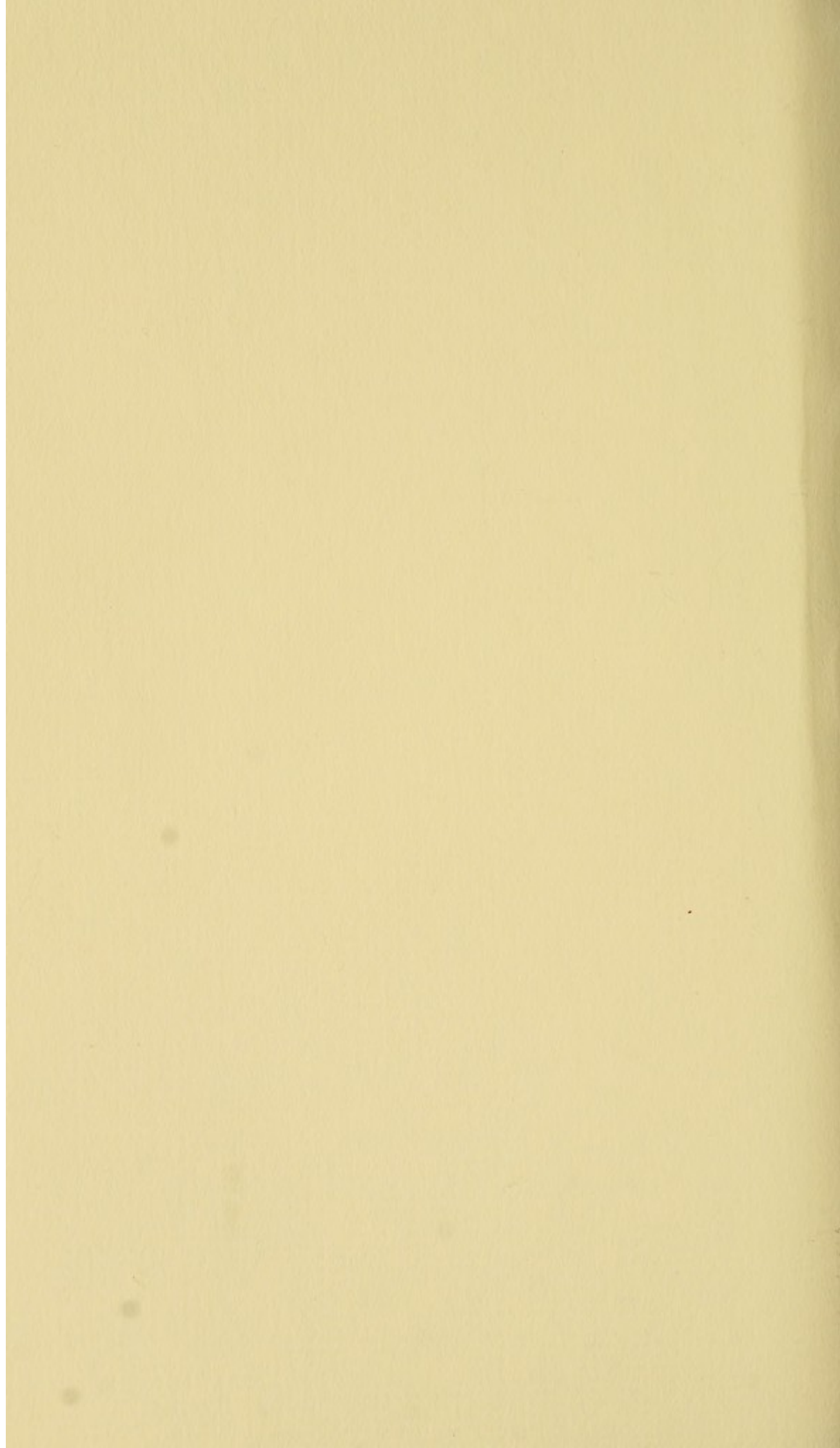














22. E. 114

COUNTWAY LIBRARY OF MEDICINE

RM

870

Z2

RARE BOOKS DEPARTMENT



