

Fachbibliothek für Uhrmacher.

Band II.

Die

Elektrizität als Antriebskraft

für

Zeitmessinstrumente.

Von

Friedrich Testorf.

Mit 164 in den Text gedruckten Abbildungen.

Halle a. S.

Druck und Verlag von Wilhelm Knapp.
1910.

Fachbibliothek für Uhrmacher.

Häufig an uns gestellte Anfragen über einzelne Gebiete der Uhrmacherei veranlassen uns, eine Reihe von kleinen, in sich abgeschlossenen Bändchen erscheinen zu lassen, die jedes ein bestimmtes Gebiet der Uhrmacherei behandeln. Die Bändchen sollen in ihrem Umfange nicht stark, der Preis ein niedriger sein, so dass jedem Fachkollegen Gelegenheit geboten ist, sich nach und nach eine kleine Fachbibliothek anzuschaffen.

Das Hauptaugenmerk werden wir auf die praktische Verwendbarkeit des Gebotenen richten. Wer heute eine Auskunft braucht, will eine knappe und klare, dabei aber doch erschöpfende Antwort haben.

Der erste Band behandelt den **Kronenaufzug**. In diesem Bändchen ist alles erörtert, was einem die schnelle und sachgemässe Ausführung der Reparatur erleichtern kann; dann aber wird man wichtige Winke für die Beurteilung der neuen Uhren beim Einkauf finden.

Der zweite Band behandelt das für den Uhrmacher so wichtige Gebiet der **elektrischen Uhren**.

Es fehlte bis jetzt an einer leicht fasslichen Einführung in das Wesen der Elektrizität für Uhrmacher. Die Bücher über elektrische Uhren sind entweder veraltet oder sie geben nur eine ganz knappe Uebersicht über die Gesetze der Elektrizität, um dann die verschiedensten Konstruktionen zu besprechen. Der Verfasser des zweiten Bandes der Fachbibliothek, Herr Fr. Testorf, hat sich mit diesem Buche die Aufgabe gestellt, den Uhrmacher dahin zu bringen, dass er jedes System der elektrischen Uhren in seiner Wirkungsweise versteht. Es kommt doch auch nur darauf an, dass der Uhrmacher eine elektrische Uhr beliebigen Fabrikats bei aufmerksamer Betrachtung versteht und entscheiden kann, ob die betreffende Konstruktion richtig oder unzumässig ist.

(Fortsetzung auf der dritten Umschlagseite.)

Fachbibliothek
für
Uhrmacher.

Band II.

Die

Elektrizität als Antriebskraft

für

Zeitmessinstrumente.

Von

Friedrich Testorf.

Mit 164 in den Text gedruckten Abbildungen.



Halle a. S.
Druck und Verlag von Wilhelm Knapp.
1910.

Vorwort.

Durch die langsame, aber unaufhaltsame Einführung der elektrischen Uhren, sowie Uhren, die in irgend einer Beziehung elektrische Vorrichtungen zu betätigen haben, ist dem Uhrmacher ein neues Arbeitsfeld entstanden. Dieser Entwicklung Rechnung tragend, fanden Meister- und Gehilfenkurse für das Uhrmacher-gewerbe statt, in denen die Grundlagen der Elektrizität und die praktische Anwendung in der Uhrentechnik vor Augen geführt wurden. Auf Anregung aus Kollegenkreisen folgte ich einer Aufforderung der Redaktion des „Allgemeinen Journals der Uhrmacherkunst“, den von mir behandelten Lehrstoff weiteren Kreisen zugänglich zu machen.

Das vorliegende Buch stellt somit gewissermassen einen Lehrgang dar auch für jene Herren Kollegen, die sich bisher mit elektrischen Uhren wenig oder gar nicht befasst haben. Eingehend sind die Stromquellen behandelt, da gerade hier sehr häufig Missgriffe gemacht werden. Auch der Elektromagnet, der Umwandler elektrischer Energie in mechanische Arbeit, fand entsprechende Würdigung.

Einer besonderen Beachtung sei der Abschnitt über die Kontakte empfohlen, da diese Einrichtung — namentlich von Anfängern — vielfach als nebensächlich betrachtet wird. Dahingegen hielt ich es für überflüssig, alle erdenklichen Bauarten elektrischer Uhren vorzuführen, da empfehlenswerte Bücher, sowie die Fachpresse bereits für Veröffentlichung gesorgt haben. Aufnahme fanden vorwiegend jene Konstruktionen, die entweder charakteristische Anordnungen aufweisen oder instruktiv wirken, so dass eine Folgerung in bezug auf Güte der nicht aufgeführten Fabrikate ausgeschlossen ist.

Den Herren Fabrikanten, die in liebenswürdiger Weise durch Ueberlassung von Material und Klischees, ferner dem

geschätzten Herrn Verleger, sowie insbesondere dem Herrn Redakteur W. König für ihre tatkräftige Beihilfe in Anordnung und Ausstattung des Buches spreche ich hiermit meinen besten Dank aus. Ferner danke ich Herrn Hauptlehrer A. Vogler, Vorstand der fachlichen Fortbildungsschule in München, für sein lebhaftes Interesse und eifrige Förderung meiner vorliegenden Arbeit.

Indem ich meine bescheidene Leistung der gütigen Nachsicht befähigter Herren Kollegen empfehle, hoffe ich, die mir gestellte Aufgabe erfüllt zu haben.

Krailling, im Juni 1910.

Friedrich Testorf.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	V
Einleitung	1
1. Kapitel.	
Die Reibungselektrizität	4
Die zwei Arten der Elektrizität	4
Einige Versuche	4
Das Elektroskop	6
Fortpflanzung der Elektrizität	8
Leiter, Nichtleiter, Widerstand, Isolatoren	8
Die elektrische Verteilung oder Influenz	9
Versuche	9
Die dualistische Hypothese	12
Erklärung der Influenz	12
Der Elektrophor	14
Was ist Elektrizität?	16
2. Kapitel.	
Kontaktelektrizität. Der elektrische Strom	18
Wie entsteht ein Strom?	19
Potentialdifferenz	19
Spannungsreihe	19
Das galvanische Element	20
Hintereinandergeschaltete Elemente	21
Ablenkung der Magnetnadel	22
Die Handregel	22
Die Tangentenbussole	23
Versuche über die Stromstärke	24
Veränderungen im Element	25
Etwas aus der Chemie	25
Elemente der Chemie	25
Herstellung von Wasserstoff	26
Herstellung von Wasserstoff für Gebrauchszwecke	27
Zerlegung des Wassers durch den elektrischen Strom	27
Folgerungen	29
Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff	29
Knallgas	30
Schreibweise der Chemie	30
Verbindungsgewichte	30
Erklärung der chemischen Vorgänge in den Elementen	32
Der sekundäre Strom	33
Beseitigung der Polarisation auf mechanischem Wege	34

	Seite
Depolarisation auf chemischem Wege	35
Das Daniell-Element	36
Das Bunsen-Element	37
Das Bunsen-Chromsäure-Element	38
Die Meidinger-Elemente	39
Das Meidinger-Ballon-Element	42
Lokale Ströme im Element	43
Das Amalgamieren der Elektroden	44
Die Zink-Kohle-Elemente	44
Das Braunstein-Element	45
Regeneration der Elemente	46
Das Braunstein-Brikett-Element	46
Das Leclanche-Element	47
Das Fleischer-Element	47
Die Beutel-Elemente	48
Das Rhenus-Element	49
Behandlung der Rhenus-Elemente	49
Das Cupron-Element	50
Behandlung der Cupron-Elemente	51
Das Delef-Element	53
Das Heilelement	55
Die Trockenelemente	56
Das Hellesen-Element	58
Das Dewa-Element	59
Die Füllelemente	60
Das Dura-Element	60
Die Akkumulatoren	62
Geschichtliches	62
Das Wesen der Sekundärelemente	63

3. Kapitel.

Leistungsfähigkeit der Elemente, Berechnungen	65
Die elektrischen Masseinheiten	65
Ohm	65
Das Ohmsche Gesetz	66
Das Voltmeter	67
Innerer und äusserer Widerstand	67
Berechnung der Stromstärke bei einem Element	67
Berechnung der Stromstärke bei mehreren Elementen	69
Schaltung auf Spannung	69
Parallelschaltung	70
Berechnung der Stromstärke bei hohen äusseren Widerständen	72
Die gemischte Schaltung	73
Verhältnis zwischen innerem und äusserem Widerstand	75
Widerstand der Leitungsdrähte	77
Umstände, die den Widerstand verändern	78
Länge und Inhalt des Leiters	78
Der spezifische Widerstand	79
Berechnung des Widerstandes	80
Künstliche Widerstände	82
Stromverzweigung	83
Berechnung der Stromstärke in verzweigten Leitungen	84

	Seite
Spannungsabfall	87
Berechnung des Spannungsabfalles	87
4. Kapitel.	
Der Elektromagnet	90
Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom	90
Magnetische Kraftlinien	91
Solenoid	92
Wie entsteht Magnetismus?	96
Molekularmagnete	96
Wirkung und Herstellung von Magneten	97
Verhältnis der Magnetpole zueinander	98
Magnetische Kraftlinien	99
Magnetische Leitungsfähigkeit	102
Das Material für Elektromagnete	103
Die magnetischen Eigenschaften des Eisens	104
Durchlässigkeitsmesser	105
Hufeisenelektromagnete	106
Magnetische Streuung	110
Ampere-Windungen	111
Grösse der Spulen	112
Ausführungsformen von Elektromagneten	113
Topfmagnete	113
Schwinganker	114
Solenoid	115
Polarisierte Elektromagnete	116
Selbstinduktion	118
Wirkungen der Selbstinduktion	120
Mittel, um die Wirkung der Induktion zu schwächen	121
5. Kapitel.	
Die Kontakte	123
Bedeutung und Arten der Kontakte	123
Der einfachste Kontakt	123
Die Verbrennung und der Druck der Kontaktflächen aufeinander	124
Der Uebergangswiderstand	124
Ein Schleifkontakt	125
Die Zeitdauer der Ein- und Ausschaltung	126
Der Nebenschluss	127
Kontakte von sehr kurzer Dauer	128
Kontakte für Stromwechsel	129
Vor- und Nachteile der Wechselstromkontakte	130
Sekundenkontakte	132
Ein Ruhestromkontakt	132
Sekundenkontakte für Stromwechsel	134
Die Anwendung eines Mittelleiters	134
Rückblick und Uebersicht	135
Der Stromverbrauch einer Uhr	138
6. Kapitel.	
Die elektrischen Uhren	140
Einteilung	140
Hauptuhren	140

	Seite
Nebenuhren für Gleichstrom	141
Einrichtung	142
Vor- und Nachteile	142
Nebenuhren für Stromwechselbetrieb	144
Kontaktdauer	145
Die polarisierten Elektromagneten	145
System Siemens-Schuckert	146
System Wagner	149
System Bohmeyer	151
System Favarger	155
Verwendung der elektrischen Nebenuhren	156
Der elektrische Betrieb von Turmuhren	157
Stromschlusswerke	159
Die Schaltung der elektrischen Nebenuhren	160
Parallelschaltung	161
Gruppenschaltung	164
Nebenapparate	164
Stromschlussvorrichtung für mehrere Linien	164
Fortstellvorrichtungen	166
Apparat zum Anzeigen der Stromschwäche	169
Erdrückleitungen	170
Blitzschutzvorrichtungen	171
Installation	172
Die elektrisch angetriebenen Pendel	174
Pendel von Hipp	174
Pendel von Bohmeyer	177
Pendel von Testorf	181
Uhren mit elektrischem Selbstaufzug	185
Selbstaufzug von Perret	185
Selbstaufzug von Möller	189
Selbstaufzug von Bohmeyer	192
Selbstaufzuguhren mit Schlagwerk	194
Rechenschlagwerk von Testorf	194
Die elektrischen Signaluhren	196
Signaluhr von Hahn	198
Signaluhr von Bohmeyer	199
Signaluhr von Ungerer	200
Signaluhr von Möller	202
Schaltung der Signaluhren	204
Wahl der Läutewerke	204



ie Elektrizität, diese geheimnisvolle Naturkraft, die fast alle Zweige menschlicher Tätigkeit beeinflusst, ist schon lange aus der Studierstube des Gelehrten und Naturforschers in die Hand des Technikers und Praktikers übergegangen.

Da die Elektrizität in einfachster Weise die Eigenschaft besitzt, eine Kraft, und zwar eine mechanische Kraft auszuüben, so erscheint es nur zu natürlich, dass vor mehr als 70 Jahren Versuche gemacht wurden, die Elektrizität in den Dienst der Zeitmessung bzw. Zeitübertragung zu stellen.

Bedeutenden Männern, wie z. B. Dr. Steinheil in München, sowie auch Wheatstone, gelang es bereits im Jahre 1839, die Aufgabe der elektrischen Zeitübertragung zum Teil zu lösen. Und 1840 versuchte Alexander Bain, ein Pendel durch Elektrizität in Schwingung zu erhalten.

In den Jahren 1849 bis 1850 schien die elektrische Zeitübertragung schon so vervollkommenet, dass man in Berlin und Leipzig den Plan fasste, eine elektrische Zentral-Uhrenanlage zu errichten, die nach „Dinglers Polytechn. Journal“ (Berlin 1851) 4000 Nebenuhren, die alle von einer Hauptuhr durch den elektrischen Strom fortbewegt werden, erhalten sollte. Die Fachblätter damaliger Zeit berichten fortlaufend über jede neue Errungenschaft, und das Interesse der Mechaniker und nicht zuletzt der Uhrmacher scheint ein sehr reges gewesen zu sein. — Es muss daher um so mehr auffällig erscheinen, dass eine nur zu grosse Zahl der Berufsgenossen sich heute nicht nur gleichgültig, sondern ablehnend gegenüber allen Uhren verhält, die in irgend einer Beziehung zur Elektrizität stehen.

Ob dieses Abwarten heute noch rätlich erscheint, mag sehr bezweifelt werden. Es lässt sich nicht mit Bestimmtheit behaupten, dass die elektrischen Uhren im allgemeinen den Umsatz in gangbaren Wand- und Zimmeruhren wesentlich beeinflussen. Aber es ist unbestrittene Tatsache, dass in elektrischen Uhren, und vorwiegend in elektrischen Zentral- und Nebenuhren, bedeutende Summen umgesetzt werden. Ein Blick in die Verzeichnisse der erzeugenden Fabriken über gelieferte Anlagen, mit

Tausenden von Nebenuhren, dürfte den Uneingeweihten die Ueberzeugung gewinnen lassen, dass der Absatz in elektrischen Uhren nicht so belanglos ist, wie der Uhrmacher im allgemeinen annimmt. Es unterliegt keinem Zweifel, dass heute kein Bahnhof, Staats- oder städtisches Gebäude, wie Rathäuser, Schulen, Universitäten, Krankenhäuser usw., ferner Fabriken, Brauereien, Buchdruckereien, Banken, Hotels, Badhäuser, Restaurants, Cafes und sonstige industrielle und kaufmännische Unternehmungen und Niederlassungen mehr gebaut werden, ohne dass eine Zentral- oder andere elektrische Uhrenanlage dort Aufstellung findet, die mechanische Uhr also in allen diesen Fällen ausgeschaltet wird. Rechnet man noch dazu den bedeutend höheren Preis gegenüber den von jedem Hausierer vertriebenen Wand- und Zimmeruhren, so dürfte sich nicht nur die Umsatzsumme, sondern auch der Nutzen bei allen jenen steigern, die es verstehen, dem Zeitgeist Rechnung zu tragen. Auch darf man nicht ausser acht lassen, dass es sich in allen diesen Fällen vorwiegend um zahlungsfähige Käufer handelt.

Auch die elektrische Signal- und Kontrolluhr erweitert das Absatzgebiet um ein bedeutendes. Wenn nun auch zurzeit wohl vorwiegend grössere Anlagen durch die erzeugende Fabrik selbst ausgeführt werden, so ist doch stets eine Mittelsperson erforderlich, die den Auftrag erwirkt. In den vorwiegendsten Fällen sind es nun die Elektrotechniker, Installateure und Mechaniker, die sich um die Erlangung eines solchen Auftrages bemühen. Der einzelne Kollege am Platze darf dann hier und da ein Werk reinigen. Der Elektriker setzt es wieder ein, schreibt die Rechnung und nimmt mit vollem Recht seinen Nutzen in Empfang für seine geschäftliche Rührigkeit, während es doch das eigentliche Gebiet des „Uhrmachers“ sein sollte, Uhrenanlagen zu errichten und zu unterhalten.

Forscht man nun nach den Ursachen dieser Erscheinung, so muss zunächst zugegeben werden, dass der Durchschnittsuhrmacher zur Tätigkeit dieser Art nicht erzogen ist. Schön hinterm Werktsch sitzen und warten, bis ein Kunde seinen streikenden Zeitmesser seufzend auf die Werkbank oder den Ladentisch legt, anstatt einen Neubau zu betreten, sich dem Baumeister oder Bauherrn vorzustellen, auf die grossen Errungenschaften der modernen Technik hinzuweisen, die Unentbehrlichkeit der genauen Zeitangabe zu betonen und die elektrischen Uhren oder eine elektrische Zentralanlage als ganz besonders geeignet zu empfehlen. Hierzu gehört nun allenfalls ein sicheres

Auftreten. Der eventuelle Auftraggeber muss sehen, dass er einen Fachmann vor sich hat, einen Mann, der vom Fach etwas versteht und auf gestellte Fragen auch in technischer Beziehung aufklärend antworten kann. Sinnloses Geschwätz und Misstrauen erweckende Anpreisungen haben schon manches Geschäft verdorben, das als abgeschlossen hätte betrachtet werden können.

Als ein weiterer Grund, warum sich der Uhrmacher, von einigen rühmlichen Ausnahmen abgesehen, nicht mit grösserer Liebe dieses neuen Artikels bemächtigt, liegt wohl darin, dass es sich hierbei nicht lediglich um eine mechanische Neuerung handelt, die eingehend betrachtet und verstanden werden kann, sondern es sind Vorkenntnisse erforderlich, die erst einen genaueren Einblick in die Wirkungsweise des Ganzen gestatten. Es ist ein gesondertes Gebiet unseres vielverzweigten Berufes, das ebenso seine eigenen Kenntnisse und Erfahrungen verlangt, wie die des Turmuhrmachers, der mit der Ausbildung des Taschenuhrmachers seine Aufgabe nicht erfüllen könnte. Und dennoch liegt die Behandlung und der Vertrieb dieser Uhren unserem Berufe entschieden näher als jedem anderen Gewerbe.

Die Lehre von der Elektrizität, ihre Gesetze und Wirkungsweise sind nun lange kein Geheimnis mehr. Ausführliche und umfangreiche Werke sind geschrieben worden und ermöglichen dem Lernenden, sein Wissen zu bereichern. Leider sind diese Bücher oft zu umfangreich und enthalten viel, was über die gesonderten Bedürfnisse des Uhrmachers hinausgeht. Ausserdem sind dieselben auch vorwiegend in einer technischen Sprache gehalten, die für den Anfänger unverständlich ist. Es soll keineswegs behauptet werden, dass die Anwendung mathematischer Formeln entbehrlich sei. Die Verfasser solcher Werke setzen jedoch in den meisten Fällen solche Hilfskenntnisse bei den Lesern voraus.

Dessenungeachtet ist es jedoch auch möglich, sich genügende Kenntnisse in diesem Fache anzueignen, ohne den Inhalt umfangreicher Werke auswendig zu lernen. Auch das Kind lernt ja zuerst die praktische Seite der Sprache und dann erst die Regeln.

Da sich nun der geneigte Leser, der sich zum ersten Male bemüht, in die Geheimnisse dieser wunderbaren Naturkraft einzudringen, mit den ersten und allereinfachsten Erscheinungen vertraut machen muss, so werden nachstehende Erklärungen für manchen eine Wiederholung bedeuten.

1. Kapitel.

Die Reibungselektrizität.

Die zwei Arten der Elektrizität. Betrachten wir nun die sich uns bietenden elektrischen und magnetischen Erscheinungen mit den Augen des modernen Naturforschers, der sich nicht auf Erraten oder Deuten einer Erscheinung stützt, sondern untersucht und beobachtet, so werden wir Schritt für Schritt zu einer Erkenntnis gelangen, die für unsere Zwecke praktisch verwertbar ist. Wesentlich unterstützt wird die Selbstbildung dadurch, dass man nicht nur die Erklärungen liest, sondern die Versuche selbst wiederholt.

1. Versuch. Zu unserem ersten Versuch benötigen wir einen Glasstab und ein wollenes Tuch oder ein Katzenfell. Einige kleine Papierschnitzel oder Hollundermarkkugeln vervollständigen die erste Versuchseinrichtung.

Wird die Glasstange mit dem Tuchlappen oder dergl. gerieben, so zieht sie, in die Nähe der Papierschnitzel gebracht, diese an. Die Papierschnitzel oder die Hollundermarkkugeln hüpfen in lebhafter Bewegung auf und nieder. Die Glasstange ist durch das Reiben in einen Zustand versetzt worden, der ihr diese Kraft verleiht. Diesen Zustand nennen wir den „elektrischen“. Zu unserem zweiten Versuch fertigen wir uns ein kleines Pendel. In die Mitte eines Brettchens wird eine nicht zu weite, ungefähr 15 bis 20 cm lange Glasröhre eingekittet. Auch eine innen und aussen gut gereinigte Flasche kann den Zweck der Säule erfüllen. In das obere Ende der Glasröhre oder in den Kork der Flasche wird nun ein gebogener Draht befestigt und am freien Ende mit einem Haken versehen (Fig. 1). An diesem Haken hängt an einem dünnen Seidenfaden ein 8 bis 10 mm grosses Hollundermarkkugeln. Bringt man die geriebene Glasstange nun in die Nähe der Kugel, so wird dieselbe kräftig angezogen. Wird die Glasstange abermals schnell gerieben, und ist die Zimmerluft trocken, so beobachten wir bei der zweiten Annäherung die entgegengesetzte Wirkung. Die Pendelkugel wird jetzt abgestossen.

Wiederholen wir den Versuch noch einmal, verwenden jedoch diesmal statt der Glasstange eine geriebene Stange aus Harz, z. B. Siegellack oder Hartgummi, so sehen wir, dass auch hier zunächst Anziehung des Pendels stattfindet; bei der zweiten Annäherung jedoch Abstoßung wie zuvor bei der Glasstange.

Da uns die Erklärung für diese Erscheinung noch nicht ge- 3. Versuch.
lungen ist, so machen wir einen dritten Versuch. Wir reiben
zunächst die Glasstange, bringen sie in die Nähe der Pendel-

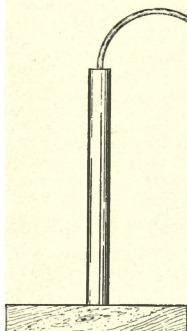


Fig. 1.

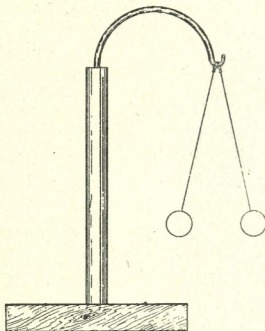


Fig. 2.

kugel; es erfolgt Anziehung. Bei der nächsten Annäherung Abstoßung. Bei abermaliger Annäherung stets Abstoßung. Wird nun jedoch der vorher geriebene Hartgummistab genähert, so wird die Kugel kräftig angezogen.

Sind beide Stäbe, Glas und Harz, gerieben, und werden jetzt wechselweise genähert, einmal Glas- und dann Harzstange, Glas, Harz, und so fort, so erfolgt jedesmal Anziehung! Da die Erklärung für dieses Verhalten des Pendels noch nicht einwandfrei gegeben ist, so setzen wir die Fragestellung an die Natur 4. Versuch.
fort. Zu diesem Zwecke hängen wir an den Haken der Säule ein, dem ersten gleiches, zweites Pendel, so dass die Kügelchen, in gleicher Höhe hängend, sich berühren. Wird nun die ge-

riebene Glasstange dem Pendel genähert, so erfolgt zunächst Anziehung beider Pendel. Entfernt man jedoch den Stab, so zeigt sich jetzt die auffällige Erscheinung, dass die Pendel nicht mehr in ihre anfängliche Stellung zurückkehren, sondern beide Kugeln weichen sich gegenseitig aus, stoßen sich ab (Fig. 2). Durch diese Versuche ist also erwiesen, dass nicht die Umkehrung der Wirkung der Glasstange die Ursache der Anziehung und dann der sofortigen Abstossung ist, sondern wir sehen mit Bestimmtheit, dass ein Teil der Glaselektrizität auf die Hollundermarkkugelchen übergegangen ist. Beide Kugeln haben aber die gleiche Glaselektrizität erhalten und ziehen sich doch nicht an, sondern stoßen sich ab. Wir müssen daher annehmen, dass sich „gleiche Elektrizitäten“ abstossen. Bestärkt wird unsere Vermutung noch durch die schon vorher beobachtete Erscheinung, dass die eine Pendelkugel stets angezogen wurde, wenn Glas und Harzstange wechselweise dem Pendel genähert wurden. Weitere in der mannigfachsten Weise fortgesetzte Versuche haben denn auch bestätigt, was wir in folgenden Sätzen zusammenfassen können: Es gibt zwei Arten von Elektrizitäten. Gleiche Arten von Elektrizitäten stoßen sich ab. Ungleiche Arten von Elektrizitäten ziehen sich an.

Jetzt erklärt sich auch, warum das eine Kugelchen von der geriebenen Glasstange zuerst angezogen und dann abgestossen wurde. — Weil die Kugel anfangs unelektrisch war und durch die Berührung Glaselektrizität erhielt und somit von der gleichnamigen Elektrizität abgestossen werden musste. Durch Annäherung der Harzstange wirkte sodann eine andere Elektrizität — eine ungleichnamige — auf das Kugelchen ein, und es musste Anziehung erfolgen.

Das Elektro-
skop.

Die Tatsache, dass zwei mit gleicher Elektrizität geladene Körper sich gegenseitig abstossen, hat zur Erfindung des Elektroskopes geführt, eines Instruments, mit dem sehr kleine Elektrizitätsmengen nachgewiesen werden können.

Ein solcher Apparat lässt sich leicht selbst herstellen. Eine ziemlich weite, möglichst gut gereinigte Flasche wird mit einem trockenen Kork versehen, durch den man vorher einen Messingstab von etwa 4 bis 5 mm Dicke hindurchgeschoben hat. Noch besser ist es, wenn man den Messingstab zuerst in ein Stückchen Glasrohr festkittet und dann Stab mit Glasrohr durch den Kork schiebt. Das untere Ende wird wie ein Schraubenzieher von zwei Seiten flach gefeilt. An diese beiden Flächen werden zwei 3 bis 4 mm breite Streifen aus sehr dünnem Blattgold oder

Aluminiumfolie geklebt. Das obere Ende des Messingstabes erhält eine Metallkugel von 15 bis 30 mm Durchmesser. Die dünnen Metallstreifen lassen sich am besten zwischen einem Stück zusammengelegten Papiere schneiden, das man natürlich mit durchschneidet. Fig. 3 erübrigt die weitere Beschreibung.

Bringt man nun eine geriebene Glasstange in die Nähe der ^{5. Versuch.} Metallkugel oder in Berührung, so streben die beiden Metallstreifen auseinander und behalten eine Zeit lang diese Stellung bei. Wird derselbe Stab nochmals gerieben und genähert, so wird der Ausschlag grösser. Wird nun die geriebene Harzstange in die Nähe der Kugel gebracht, so fallen die Plättchen zusammen. Die von der Glasstange erhaltene Elektrizität nennt man auch die „positive“ und die von der Siegellack- oder Hartgummistange ausgehende die „negative“ Elektrizität, man bezeichnet daher positiv mit + und negativ mit —. Dieser Versuch lehrt uns nun folgendes: Durch Zuführung der positiven Elektrizität wurden beide Goldblattstreifen mit gleichnamiger Elektrizität geladen. Es entstand eine „Spannung“, eine Kraft, die wir auch „elektromotorische Kraft“ nennen. Nachdem wir wissen, dass gleiche Arten, also positive und positive Elektrizitäten sich abstossen, so mussten die Plättchen auseinander streben. Durch Berührung mit der Harzstange wurde jedoch die gleiche Menge negativer Elektrizität den Plättchen mitgeteilt und somit die bestehende positive Spannung ausgeglichen. Die + und — Elektrizitäten wurden miteinander vermischt, und keine von beiden hatte mehr das Uebergewicht (um eine wenn auch nicht wörtlich zu nehmende Erklärung zu gebrauchen) und konnte demzufolge keine Wirkung nach aussen mehr ausüben. Beide Elektrizitäten waren also wieder „gebunden“ oder, wie man sagt, sie hatten sich neutralisiert.

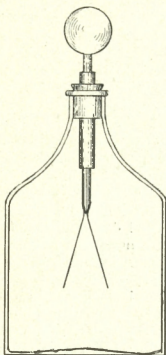


Fig. 3.

Zu dem nun folgenden Versuch fertigen wir eine zweite ^{6. Versuch.} Glassäule oder verwenden eine reine trockene Flasche, die aussen mit aufgelöstem Siegellack überzogen ist. Der Lacküberzug hat

Fort-
pflanzung
der
Elektrizität.

den Zweck, dass die Luftfeuchtigkeit das Gelingen des Versuches nicht vereitelt. Das obere Ende der Glassäule oder Flasche wird, wie das Elektroskop, mit einer Metallkugel versehen. In Ermangelung dessen kann auch eine Holzkugel Verwendung finden, die jedoch mit einem Metallüberzug oder Graphit versehen sein muss. Stellt man nun das Elektroskop und die so hergerichtete Glassäule in einer Entfernung von ungefähr 1 m auf und verbindet beide Kugeln durch einen Draht, so haben wir einen Apparat geschaffen, der unsere Kenntnis über das Verhalten der Elektrizität erweitert. Zunächst hängen die Plättchen des Elektroskops herunter. Wird nun die geriebene Glasstange an die Kugel der Glassäule gehalten, so beobachten wir das schon bekannte Auseinandergehen der Plättchen. Ohne Zweifel ist die auf der Glasstange durch Reibung erzeugte Elektrizität auf die Kugel, von da über den Draht zum Elektroskop übergegangen. Wir sehen also, dass die Elektrizität nicht immer örtlich gebunden ist, sondern sich auf andere Körper übertragen und somit „fortpflanzen“ kann. Der Draht hat demnach die Eigenschaft, die Elektrizität fortzuleiten. Wir nennen ihn daher kurz den „Leiter“. Streben die Plättchen noch auseinander und berühren wir die Kugel des Elektroskops mit der Hand, so fallen die Plättchen sofort zusammen. Auch unser Körper ist demnach ein Leiter der Elektrizität und durch ihn wurde die vorhandene Ladung zur Erde abgeleitet.

Leiter,
Nichtleiter,
Widerstand,
Isolatoren.

Untersuchen wir nun auch andere Materialien und nehmen z. B. jetzt einen dünnen Faden, Garn oder Wolle, und verbinden wie vorhin beide Kugeln damit. Nachdem nun die geriebene Glasstange an die Kugel der Säule gehalten wird, sehen wir, dass die Plättchen in ihrer abwärts hängenden Stellung beharren, so oft wir auch die Glasstange reiben und anhalten. Das Elektroskop zeigt keinerlei elektrische „Spannung“ an. Halten wir jedoch die Glasstange unmittelbar an die Kugel des Elektroskops, so fahren die Plättchen auseinander. Wir haben daher berechtigten Grund, anzunehmen, dass der untersuchte trockene Faden nicht die Eigenschaft besitzt, die Elektrizität fortzuleiten. Der Faden setzt also dem Durchgang der Elektrizität einen so grossen „Widerstand“ entgegen, dass die aufgehäuften Elektrizität an dem Ort ihrer Erzeugung verbleiben muss. Ausser einem Faden kann man auch die beiden Kugeln durch eine Glasstange, einen Gummischlauch oder Stab, trockenes Holz und dergl. mehr verbinden. Alle diese und ähnliche Körper leiten die Elektrizität nicht. Man bezeichnet sie daher als „Nichtleiter“. Da diese somit die er-

zeugte Elektrizität von der Empfangsstelle (in unserem Falle das Elektroskop) trennen oder isolieren, so nennt man sie auch „Isolatoren“. Wird nun der vorhin untersuchte Faden, der sich im trockenen Zustande als Nichtleiter erwies, zuvor in Wasser getaucht, also angefeuchtet, so erlangt er dieselbe Eigenschaft wie der Draht. Die Elektrizität wird jetzt durch den „feuchten“ Faden ebenfalls auf das Elektroskop geleitet. Wir folgern daraus, dass Isolatoren im feuchten Zustande sich in Leiter umwandeln können. Da das Leitungsvermögen hierbei durch die Feuchtigkeit bewirkt wurde, so sind auch viele Flüssigkeiten als Leiter der Elektrizität erkannt worden. Dahingegen erweisen sich die meisten Oele als (flüssige) Isolatoren.

Die elektrische Verteilung oder Influenz. Die letzten Versuche haben uns gezeigt, dass sich die Elektrizität durch manche Körper fortleiten lässt, während wieder andere Körper die Elektrizität augenscheinlich nicht leiten. Es wurde schon erwähnt, dass die Plättchen des geladenen Elektroskopes sofort zusammenfallen, wenn die Kugel mit der Hand berührt wird. Man erhält dasselbe Resultat durch Verbindung der Elektroskopkugel mit der Erde unter Verwendung eines Metalldrahtes. Wird das Elektroskop stets gleichmässig durch wiederholtes Berühren der Kugel mit der geriebenen Glasstange geladen, so lässt sich durch den Ausschlagswinkel der Plättchen der Grad der Ladung erkennen. Stellt man nun die Verbindung der Elektroskopkugel mit der Erde unter Verwendung verschiedener Materialien her, so macht man sofort die Beobachtung, dass die Plättchen des Elektroskopes nicht immer mit der gleichen Geschwindigkeit zusammenfallen; dass hingegen bei manchen Materialien geraume Zeit vergeht, bis die im Elektroskop aufgehäufte Elektrizität durch den Verbindungskörper zur Erde abgeleitet ist. Fast augenblicklich erfolgt die Entladung durch Metalle, in noch bemerkbarer Zeit durch Alkohol, und noch viel langsamer durch Leder oder gar durch manche Harze.

Mit Bienenfloss haben nun die Naturforscher Untersuchungen angestellt und sind dabei zu der Ueberzeugung gekommen, dass eine strenge Scheidung sämtlicher Stoffe in Nichtleiter und Leiter der Elektrizität nicht durchführbar ist, dass man die Körper vielmehr, vom bestleitenden angefangen, in fortlaufender Reihenfolge bis zum schlechtest leitenden anordnen kann. Der Unterschied zwischen Leiter und Nichtleiter ist kein qualitativer, sondern nur ein quantitativer, indem eben die Grösse jenes Widerstandes eine verschiedene ist, welchen verschiedene Körper dem

Durchgänge oder der Leitung der Elektrizität entgegensetzen. Bei all diesen Versuchen ist jedoch Bedingung, dass die Zimmerluft möglichst trocken ist. Denn nicht nur die festen und flüssigen Körper zählen zu den Leitern der Elektrizität, sondern auch die Gase und somit auch unsere Luft. Wenn auch die Luft zu den schlechten Leitern zählt, so wird doch deren Leitungsfähigkeit durch den jeweiligen Wassergehalt mehr oder weniger beeinflusst. Auf diesen Umstand sei schon jetzt besonders aufmerksam gemacht, da durch diese unerwünschte Eigenschaft Elektrizität verloren gehen kann und das sichere Arbeiten der Apparate in Frage gestellt wird.

Im vorstehenden haben wir gesehen, auf welche Weise ein Körper elektrisch werden kann: Durch Reibung und durch Mitteilung (Berührung). In letzterem Falle geht ein Teil der anderweitig erregten Elektrizität auf den zweiten Körper durch Berührung über. Der erste Körper verliert also um so viel, wie der zweite Körper aufnimmt.

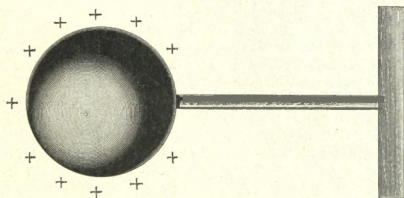
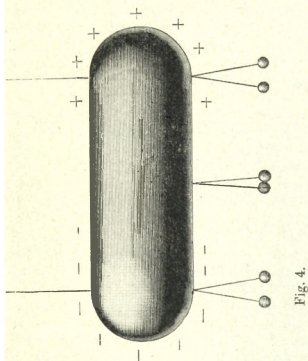
Es gibt nun aber noch eine dritte Art, durch die Elektrizität erregt und hervorgerufen werden kann.

Diese Erscheinung nennt man „die elektrische Verteilung“ oder Influenz. Um uns diesen Vorgang klar zu machen, fertigen wir zunächst eine Kugel, am besten aus Metall, von etwa 10 cm Durchmesser. Ist eine solche nicht zu beschaffen, so genügt auch eine Holzkugel, die jedoch mit Stanniol vollkommen beklebt sein muss. Eine Glasstange oder Röhre mit entsprechendem Fuss dient als Träger. Sodann wird auf gleiche Weise ein metallischer Zylinder angefertigt, dessen Enden jedoch ebenfalls kugelförmig abgerundet sein müssen. Zweckmässig hängt man diesen Zylinder an zwei Seidenfäden in gleicher Höhe der vorhin angefertigten Kugel so auf, dass nirgend eine Berührung mit anderen Gegenständen stattfindet. Zum Schluss erhält der Zylinder an der unteren Seite noch drei Pendelpaare, deren Fäden jedoch aus sehr dünnem Hanf oder vorher mit Salzwasser angefeuchteten dünnen Zwirnfäden bestehen müssen (Fig. 4).

Nun wird mittels einer stark geriebenen Glasstange die Kugel durch Berührung elektrisch geladen, wobei die Glasstange wiederholt gerieben und an die Kugel gehalten werden muss, um eine stärkere Ladung zu erhalten.

Ist die Zimmerluft sehr trocken, so kann man, wenn die Kugel genügend geladen ist, eine interessante Erscheinung wahrnehmen. Die kleinen Pendel des Zylinders hängen herunter. Wir wissen aus den ersten Versuchen, dass bei einer vorhandenen

elektrischen Spannung die Pendel auseinanderstreben. Der Zylinder ist also unelektrisch. Nähern wir jedoch die geladene Kugel



langsam dem einen Ende des Zylinders, so sehen wir, dass das erste und letzte Pendelpaar auseinanderstrebt, also elektrische Spannung angezeigt wird. Das in der Mitte hängende Pendelpaar jedoch zeigt keinerlei Veränderung. Wir müssen also annehmen, dass nur die beiden Enden des Zylinders elektrisch sind. Wird

nun die Kugel wieder entfernt, so fallen auch sämtliche Pendelpaare wieder zusammen. Bei abermaliger Annäherung tritt dieselbe Erscheinung auf wie vorhin.

Je näher die Kugel an den Zylinder gebracht wird (ohne diesen zu berühren), desto grösser werden die Pendelausschläge. Da aber der Zylinder weder gerieben noch von einem elektrischen Körper berührt wurde, so kann in ihm die Elektrizität nur infolge Annäherung der elektrischen Kugel bzw. nur durch „Fernwirkung“ der letzteren eigenen Elektrizität erregt worden sein. Wir wissen, dass eine geriebene Glasstange positiv elektrisch wird. Auch die Kugel ist durch Berührung + elektrisch geworden. Wollen wir nun untersuchen, welche Art von Elektrizität auf dem Zylinder vorhanden ist, so nehmen wir einen mit Wolle geriebenen Hartgummistab (negativ elektrisch) und nähern ihn dem Pendelpaar, das der Kugel am nächsten hängt. Es zeigt sich, dass hier Abstossung erfolgt, während das am entgegengesetzten Ende des Zylinders befindliche Pendelpaar vom Hartgummistab angezogen wird. Daraus erkennen wir, dass das der + Kugel nächstliegende Zylinderende negativ, das entfernte Ende positiv elektrisch geworden ist. Genauere Untersuchungen zeigen, dass sich die grösste Elektrizitätsmenge an den Enden befindet und zur Mitte stetig abnimmt, so dass hier ein unelektrischer Gürtel, eine indifferente Zone besteht.

Um eine Erklärung für obige Erscheinung zu geben, sei zunächst daran erinnert, dass sich gleiche Arten Elektrizitäten abstossen und ungleiche Arten anziehen.

Die
dualistische
Hypothese.

Nach der dualistischen Hypothese ist jeder Körper mit beiden Arten von Elektrizität geladen. Es befindet sich also in jedem unelektrisch erscheinenden Körper sowohl die gleiche Menge positiver wie negativer Elektrizität, jedoch nicht im freien, sondern im gebundenen Zustande. Beide Arten + und — sind miteinander vermischt, sind ineinander übergegangen, oder, wie der Ausdruck sagt, neutralisiert, sie heben sich demnach in ihrer Wirkung auf und zeigen nach aussen keinerlei Einfluss auf andere Körper. Durch irgend einen Vorgang, z. B. durch Reibung, werden nun die bis dahin gebundenen Elektrizitäten getrennt, der Körper erscheint elektrisch. Aber nicht nur der geriebene, sondern auch der reibende Körper ist elektrisch geworden, und zwar entgegengesetzt zum ersteren.

Erklärung
der Influenz.

Bei der elektrischen Influenz, oder, wie man auch sagt, „elektrostatischen Induktion“, lässt sich der Vorgang folgendermassen erklären: Durch Annäherung eines elektrisch geladenen

Körpers, in diesem Falle die $+$ elektrisch geladene Kugel, an einen unelektrischen Leiter (Metallzylinder) wirkt die $+$ Elektrizität zunächst verteilend auf die gebundenen Elektrizitäten des Zylinders und zieht die freiwerdende $-$ Elektrizität an. Die gleichnamige $+$ Elektrizität wird bis an das entgegengesetzte Ende des Zylinders abgestossen. Hört der Einfluss der $+$ Elektrizität durch Entfernung der Kugel auf, so wird die $-$ Elektrizität des Zylinders gewissermassen losgelassen. Die beiden $+$ und $-$ Elektrizitäten des Zylinders dahingegen ziehen sich gegenseitig an, strömen ineinander über und neutralisieren sich. Der Zylinder erscheint demnach unelektrisch.

Eine Bestätigung dieser Annahme erscheint durch folgenden 8. Versuch. Versuch gerechtfertigt. Man bringt Metallkugel und Zylinder einander wieder so nahe, dass sich, wie beim ersten Versuch, die Wirkungen der elektrischen Kugel äussern, d. h. die Elektrizitäten in dem Zylinder getrennt werden und die Pendel ihre auseinanderstrebende Lage einnehmen. Berührt man nun, ohne Kugel und Zylinder zu verrücken, den letzteren mit der Hand, so fallen sofort die Pendel in ihre natürliche Lage zurück. Auf dem Zylinder herrscht jetzt keine ersichtliche Spannung mehr; denn indem man ihn mit der Hand berührte und somit eine leitende Verbindung mit der Erde herstellte, floss die abgestossene $+$ Elektrizität durch unseren Körper zur Erde ab. Trotzdem bleibt der isolierte Zylinder elektrisch, da die an dem der elektrischen Kugel zugekehrten Ende des Zylinders angehäuften $-$ Elektrizität von der ungleichnamigen $+$ Elektrizität der Kugel angezogen und festgehalten wird. Nimmt man nun die Hand vom Zylinder und entfernt sodann die Kugel, so fahren sofort alle Pendel, auch die in der Mitte hängenden, auseinander. Diese Erscheinung beruht darauf, dass die vorher gebundene $-$ Elektrizität des Zylinders infolge der Entfernung der influierenden Kugel frei beweglich wird, sich über die ganze Oberfläche des Leiters verbreiten und sich auch den Pendeln mitteilen kann. Da nun sämtliche Pendel gleichnamige Elektrizität erhalten haben, so stossen sie sich gegenseitig ab. Nähert man eine geriebene Harzstange den Pendeln, so zeigt sich, dass diese von der $-$ Elektrizität der Harzstange abgestossen werden. Es unterliegt also keinem Zweifel, dass die auf dem Zylinder zurückgebliebene Elektrizität negativ ist. Der Zylinder ist jetzt $-$ geladen, und zwar durch den Einfluss eines $+$ elektrischen Körpers, ohne dass dieser von seiner eigenen Elektrizität dem Zylinder etwas mitgeteilt hat.

Diese Versuche liessen sich nun in der mannigfachsten Weise fortsetzen, und eine fast endlose Zahl von Apparaten und Versuchseinrichtungen ist erdacht worden, um das Verhalten der Elektrizität zu ergründen. Die durch Reibung einer Glas- oder Harzstange erregte Elektrizitätsmenge ist nun eine verhältnismässig sehr geringe. Um die Erscheinungen besser beobachten zu können, fertigen wir uns eine Einrichtung, die imstande ist, weit kräftiger zu wirken und den Vorzug der Billigkeit hat.

Der Elektro-
phor.

Ein rundes Brett von etwa 30 cm Durchmesser wird mit Firnis getränkt und gut getrocknet. Sollte sich das Brett ver-

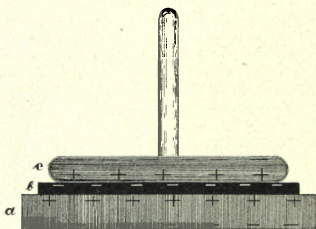


Fig. 5.

ziehen, so ist es wieder flach zu hobeln und nochmals zu tränken. Zweckmässig ist es auch, sich von einem Schreiner mehrere dünne Bretter kreuzweise zusammenleimen zu lassen. Hierauf wird das Brett von allen Seiten mit Stanniol beklebt. Auf diese Unterlage oder Teller *a* (Fig. 5) kommt sodann eine Scheibe *b* aus Hartgummi oder Hartkautschuk von etwa 28 cm Durchmesser, ungefähr 5 bis 8 mm dick, zu liegen. Als Deckel oder Schild dient eine Metallscheibe *c* mit abgerundeter Kante. Auch dieser Deckel lässt sich durch eine gedrehte Holzscheibe ersetzen, die möglichst glatt mit Stanniol allseitig überzogen ist. Der Deckel erhält in der Mitte eine Hülse oder, wenn derselbe aus Holz gefertigt ist, ein Loch, so dass eine Glasstange oder -röhre, die mit aufgelöstem Schellack überzogen ist, eingekittet werden kann. Auch kann diese Glasstange durch einen etwa 20 cm langen Hartgummistab ersetzt werden.

Dieser so hergestellte Apparat dient dazu, wie schon eingangs erwähnt, grössere Elektrizitätsmengen abzugeben, und trägt den Namen „Elektrophor“.

Wird die Kautschukscheibe mit einem Katzenfell oder Fuchschwanz gepeitscht, oder mit Wolle gerieben, so wissen wir, dass die Oberfläche elektrisch wird, und zwar harzelektrisch, also negativ. Nehmen wir nun den Deckel am isolierenden Griff und setzen ihn in die Mitte der Hartgummischeibe und heben denselben, ohne den Metallbelag bezw. die Scheibe selbst zu berühren, wieder auf, so zeigt eine Prüfung durch ein Elektroskop, dass der Deckel unelektrisch ist, wie zuvor. Wird der Deckel jedoch, nachdem er wieder auf die Harzplatte gesetzt wurde, mit der Hand berührt, so zeigt er sich, am isolierten Griff abgehoben, stark elektrisch. Bringt man den Deckel an die Kugel des Elektroskopes, so fahren die Plättchen fast wagerecht auseinander. Hält man den Deckel am Griff und nähert einen runden Gegenstand oder den Fingerknöchel der anderen Hand dem Rande des Deckels, so springt unter knisterndem Geräusch ein kleiner Funke über, der bei guter Ladung und trockener Luft 1 cm Länge erreichen kann.

Wenn wir uns den Vorgang erklären wollen, so dürfen wir uns nur an unseren vorletzten Versuch zurückerinnern. Die Erscheinung beruht auf der uns bekannten elektrischen „Verteilung“ oder Influenz.

Durch Reibung wurde die Harzplatte *b* (Fig. 5) negativ elektrisch, und zwar an der Oberfläche. Wird nun der Deckel (der in diesem Falle den Metallzylinder in Fig. 4 vertritt) auf die Oberfläche der Harzscheibe gesetzt, so wirkt die negative Elektrizität verteilend auf die im Deckel vereinigten oder neutralen Elektrizitäten. Die positive (+) wird angezogen und an der unteren Seite des Deckels festgehalten, die negative (—) aber abgestossen und an die Oberseite des letzteren hingetrieben. Da aber der Deckel keine leitende Verbindung mit der Erde hat, so kann die — E nicht entweichen. Beim Abheben des Deckels am isolierenden Griff hört jedoch der verteilende Einfluss der — E der Harzplatte auf, und die soeben noch getrennt gehaltenen + und — Elektrizitäten ziehen sich gegenseitig wieder an, vereinigen sich zu neutraler (\pm) Elektrizität, und der Deckel erscheint unelektrisch.

Setzen wir jedoch den Deckel wieder auf und berühren den Metallbelag mit der Hand, so fliesst die vom Harzteller abgestossene — E des Deckels durch unseren Körper zur Erde ab, während die + E an der unteren Seite des Deckels angezogen bezw. fest-

gehalten oder gebunden wird. Nimmt man nun die Hand vom Deckel und hebt sodann am Griff diesen auf, so verteilt sich die $+E$ auf der ganzen Oberfläche. Die $-E$ ist entzogen worden, es kann also keine Vereinigung zu $+E$ eintreten, und somit bleibt die $+E$ auf dem Deckel verteilt und kann ihre Wirkung nach aussen ausüben.

Mit dem geladenen Deckel des Elektrophors lassen sich nun alle Versuche wiederholen, die wir mit der geriebenen Glasstange gemacht haben. Auch kann man mit den überspringenden Funken kleine Zündversuche anstellen. Es ist nicht notwendig, dass die Hartkautschukscheibe jedesmal gerieben wird, da ja keine $-E$ entnommen wird. Die Eigenschaft des Elektrophors, längere Zeit die einmal erregte E festzuhalten, wird wesentlich durch die leitende Unterlage a unterstützt. Die $-E$ der Harzscheibe wirkt auch gleichzeitig verteilend auf die E der Unterlage, indem die $-E$ derselben abgestossen wird und zur Erde abfliessen kann. Die $+E$ wird jedoch an die Oberfläche der Unterlage a gezogen und festgehalten. Diese $+E$ von a wirkt aber auch anziehend auf die $-E$ von b und hält dieselbe fest. Dadurch erklärt es sich, dass der einmal erregte Elektrophor oft wochenlang wirksam bleibt.

* * *

Diese wenigen Versuche haben uns die Grunderscheinungen der Elektrizität zum Teil vor Augen geführt. Wir haben die „Erregung“ durch Reibung und Verteilung kennen gelernt. Elektrizität wird aber nicht nur durch jede Art von Reibung, wie z. B. auch durch Feilen, Schaben, Druck, Zerbrechen, Schütteln und dergl. mehr, erregt, sondern auch durch Ausströmen von Gasen und Wasserdampf, durch Verdunstung, Erwärmung und durch chemische Vorgänge.

Was ist
Elektrizität?

Bei dieser Betrachtung drängt sich uns unwillkürlich die Frage auf: Was ist Elektrizität? Ist sie eine Flüssigkeit, ein Gas? Mit nichts ist diese eigenartige, grossartig geheimnisvolle Naturkraft vergleichbar. Obgleich die Elektrizität sich unseren Sinnen offenbart, so sind wir doch über das ursächliche Wesen derselben in Dunkel gehüllt. Die Elektrizität ist nicht sichtbar. Wir können nur ihre Wirkung wahrnehmen. Sie ist unwägbare; ein elektrischer Körper wird weder schwerer noch leichter durch Veränderung seines elektrischen Zustandes. Die Elektrizität selbst ist nicht messbar. Wir können nur eine durch Elektrizität bewirkte mechanische oder chemische Arbeit messen und somit

auf die vorhandene oder verbrauchte Elektrizitätsmenge schliessen. Wir können die Elektrizität daher nicht als einen Körper irgendwelcher Art, sondern als einen Zustand ansehen, in dem sich ein Körper befindet. Wenn auch manches Rätsel schon gelöst ist, so stellen sich dem Naturforscher mit jedem Schritt vorwärts wieder neue Geheimnisse in den Weg, wie z. B. die Entdeckung der Uran- und Radiumstrahlen. Ob alle diese Fragen der menschliche Geist jemals beantworten wird, ist ebenso unentschieden als die Frage: Was ist Elektrizität?

Die Erregung der Elektrizität durch Reibung und Verteilung ist für unsere Zwecke nicht durchführbar. Die wenigen Versuche sollten auch lediglich zeigen, was man unter den gebräuchlichen Bezeichnungen, wie Erregung, Anziehung, Abstossung, Leiter, Nichtleiter, Widerstand, Isolation, Fernwirkung, Verteilung oder Influenz für die Folge zu verstehen hat.

Damit ist das Gebiet der Reibungselektrizität jedoch noch keineswegs erschöpft. Wer sich näher damit befassen will, findet Ausführlicheres in den Werken: Urbanitzky, „Die Elektrizität im Dienste der Menschheit“; Dr. W. F. A. Zimmermann, „Naturkräfte und Naturgesetze“, sowie in dem nach dem neuesten Stande der Wissenschaft bearbeiteten Buche von Prof. Dr. Graetz, „Die Elektrizität“.

2. Kapitel.

Kontaktelektrizität. Der elektrische Strom.

Für die Zwecke der elektrischen Uhrmacherei benötigen wir eine Elektrizitätsquelle, die selbsttätig eine genügende Elektrizitätsmenge zu liefern imstande ist. Vorstehend wurde schon angedeutet, dass auch durch chemische Einwirkungen Elektrizität erzeugt werden kann.

Die ursprüngliche Entdeckung wird dem italienischen Professor der Chirurgie Aloisius Galvani zu Bologna im Jahre 1790 zugeschrieben. Da der Vorgang von verschiedenen Schriftstellern nicht gleichlautend wiedergegeben wird, so möge uns die Tatsache genügen, dass die Beobachtungen Galvanis anregend auf seine Zeitgenossen gewirkt haben. Alexander Volta gelang es nach vielen Versuchen, eine Zusammenstellung von festen und flüssigen Bestandteilen zu finden, die die Eigenschaft besitzt, Elektrizität zu erzeugen. Wenngleich Voltas unermüdlicher Fleiss zuerst praktisch brauchbare Elektrizitätserzeuger schuf, so knüpft sich doch der Name Galvanis an diese Entdeckung. Eine Erscheinung, die nicht nur in der Wissenschaft, sondern auch in der Technik beobachtet werden kann, indem manche Schöpfungen mit falschem Namen belegt sind.

Während die Reibungselektrizität mehr eine ruhende Kraft darstellt, eine Druckkraft, die einem Körper anhaftet, so tritt uns hingegen die sogen. „Galvanische Elektrizität“ als eine Kraft entgegen, die sich in Bewegung befindet. Eine Kraft, die nicht an dem Ort ihrer Erzeugung haftet, sondern sich fortbewegt, durch einen Leiter fließt oder strömt. Wir sprechen daher auch von „elektrischen Strömen“. Unsere Aufgabe soll es nun sein, das Wesen des elektrischen Stromes zu erkennen, die Ursache zu ergründen, wodurch ein elektrischer Strom entsteht, und welche Wirkungen er auf seinem Wege hervorbringt.

Um uns eine Vorstellung zu machen, denken wir an andere in der Natur vorkommende Ströme, z. B. an einen Wasserstrom, Wärme- oder Luftstrom. Legen wir uns die Frage vor: Wie

entsteht überhaupt ein Strom? Das Wasser kann sich nur in Bewegung setzen, wenn an einer Stelle ein grösserer Druck vorhanden ist, wie an einer anderen, damit in Verbindung stehenden Stelle. Ein Wärmestrom entsteht nur dann, wenn ein Raum ungleich erwärmt ist. Denken wir uns ein gut geheiztes Zimmer und öffnen die Tür zu einem kalten Zimmer, so tritt sofort eine Strömung ein, und zwar an der Oberkante der Türöffnung strömt die warme Luft in das kalte Zimmer, dahingegen bewegt sich die kalte Luft am Boden der Oeffnung in das warme Zimmer. Es erfolgt gewissermassen ein „Kreislauf“ zum „Ausgleich“ der bestehenden Differenz.

Wie
entsteht ein
Strom?

Nicht auf die Höhe der Temperatur kommt es an, sondern auf die Grösse des Unterschiedes! Würde das eine Zimmer eine Temperatur von 20 Grad und das andere 0 Grad haben, so würde der Wärmestrom mit derselben Geschwindigkeit eintreten, als wenn sich 80 und 100 Grad ausgleichen.

Dahingegen wird der Ausgleich zwischen 0 und 30 Grad einen stärkeren Wärmestrom erzeugen, d. h. in derselben Zeiteinheit wird sich eine grössere Wärmemenge in Bewegung setzen.

Volta entdeckte nun, dass, wenn eine Metallplatte in eine Flüssigkeit getaucht wird, eine Kraft auftritt, die zwischen den beiden Körpern, Flüssigkeit und Metallplatte, einen Spannungsunterschied hervorruft. Man hat ferner gefunden, dass die Grösse der Platte oder die Menge der Flüssigkeit keinen Einfluss auf die Grösse des Spannungsunterschiedes oder, wie man auch sagt, der Potentialdifferenz hat. Dahingegen ist die Potentialdifferenz abhängig von der Art der Platte, d. h. aus welchem Material dieselbe besteht. Ferner von der Beschaffenheit bezw. chemischen Zusammensetzung der Flüssigkeit. Nimmt man eine Platte aus Zink und taucht sie in verdünnte Schwefelsäure, so erhält man eine andere Spannung oder Potentialdifferenz, als wenn eine Kupferplatte in dieselbe Säuremischung gestellt würde. Durch Untersuchungen und Messungen sind die verschiedensten festen Körper und Flüssigkeiten in einer Reihe geordnet worden, die man die „Spannungsreihe“ nennt.

Potential-
differenz.

In verdünnte Schwefelsäure getaucht, ergab sich nach Poggendorfs Untersuchungen für einige Metalle die Reihenfolge: Zink, Eisen, Zinn, Blei, Aluminium, Nickel, Kupfer, Silber, Platin, sowie zuletzt die Kohle. Die Kohle zählt zwar nicht zu den Metallen, ist jedoch ein verhältnismässig guter Leiter und zeigt, in Säure getaucht, den geringsten Spannungsunterschied.

Spannungs-
reihe.

Wir haben an unserem Wärmebeispiel gesehen, dass nur ein Strom entstehen kann, wenn eine Ungleichheit besteht. Tauchen wir demnach zwei Zinkplatten in ein Gefäss mit verdünnter Schwefelsäure, so erhalten wir an beiden Platten die gleiche Potentialdifferenz. Beide Platten haben gleiche Spannung und üben daher aufeinander den gleichen (elektrischen) Druck aus; ein Strom kann somit nicht entstehen.

Vertauschen wir jedoch die eine Zinkplatte mit einer Bleiplatte, so sind die Potentiale verschieden. Die Zinkplatte, in Schwefelsäure getaucht, wird negativ elektrisch. Die Säure hingegen positiv. Da nun die Bleiplatte der Säure gegenüber weniger Spannungsunterschied aufweist, so muss dieselbe der Zinkplatte gegenüber positiv erscheinen. Verwendet man statt Zink und Blei zwei Platten aus Blei und Platin, so wird jetzt die Bleiplatte gegenüber der Platinplatte negativ elektrisch erscheinen und die positive Elektrizität sich auf der Platinplatte sammeln.

Aus diesen Erklärungen ergibt sich, dass, wenn ein Element der Spannungsreihe mit einem nachfolgenden in Säure getaucht wird, das voranstehende stets — elektrisch wird. Z. B. Eisen —, Zinn +; Blei —, Aluminium +; Kupfer —, Silber +; Silber —, Platin +; Nickel —, Kupfer + usw. Wir sehen also, dass demnach der grösste Spannungsunterschied zwischen Zink und Platin liegt. Des hohen Preises wegen verwendet man jedoch statt Platin, Kohle.

Das
galvanische
Element.

Eine solche Zusammenstellung von zwei Leitern (die man in diesem Falle auch „Elektroden“ nennt) in eine Flüssigkeit, bezeichnet man mit dem Namen „Galvanisches Element“. Wir wollen nun sehen, was ein solches galvanisches Element zu leisten vermag. Verbindet man die beiden, aus der Flüssigkeit herausragenden Enden der Platten mit einem Metalldraht, von dem wir schon wissen, dass er die Elektrizität fortleiten kann, so findet durch diesen ein Ausgleich der Elektrizitäten verschiedenen Potentials statt. Die Elektrizität höheren Potentials fliesst ab zur Platte oder Elektrode niederen Potentials. Da die Kohlenplatte ein höheres Potential besitzt, als die Zinkplatte, so fliesst der Strom in der Richtung von der Kohlenplatte durch den Verbindungsdraht zur Zinkplatte. Dieser Ausgleich ist jedoch kein plötzlicher, wie z. B. die Entladung des Elektrophordeckels durch einen überspringenden Funken. Diese Art der Entladung bezeichnet man daher auch als elektrischen Strom. Denn die ausgeglichene Elektrizität wird stets wieder erneuert und strömt

somit ununterbrochen durch den Verbindungsdraht oder, wie man sagt, die Leitung ab.

Aber auch im Innern des Elementes setzt sich die Strombewegung fort (Fig. 6). Hier ist der Ausgangspunkt die Zinkplatte, von der der Strom durch die Flüssigkeit zur Kohlenplatte fließt. Da somit ein Kreislauf von der Kohlenplatte durch die äussere Leitung zur Zinkplatte und von da durch die Flüssigkeit wieder zur Kohlenplatte stattfindet, so spricht man, sobald eine leitende Verbindung zwischen den Elektroden hergestellt ist, von einem „geschlossenen Stromkreis“. Die Spannung eines so zusammengesetzten Elementes ist nicht sonderlich hoch. Unter Ver-

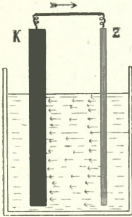


Fig. 6.

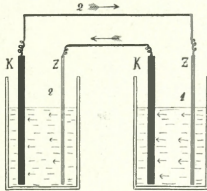


Fig. 7.

wendung bestimmter Materialien kann dieselbe bis zu zwei „Volt“ betragen. (Volt ist eine elektrische Masseinheit für Spannung.)

Erfordert jedoch der jeweilige Verwendungszweck höhere Spannungen, so kann man mehrere Elemente miteinander verbinden. Nehmen wir an, die Spannung der Zinkplatte in Zelle 1 (Fig. 7) würde gegenüber der Kohlenplatte eine Differenz von 1 aufweisen, so fließt die $+E$ der Kohle durch den Verbindungsdraht zur Zinkplatte in Zelle 2 und erhöht deren Potential um 1. Da aber auch hier durch die chemische Einwirkung der Säure eine Differenz von 1 schon vorhanden ist, so steigert sich die Spannung auf 2. Verbindet man nun die Kohlenplatte der Zelle II mit der Zinkplatte in Zelle I, so gleichen sich die Potentiale der beiden Elektroden mit einer Spannung von 2 aus. Auf diese Weise kann eine unbegrenzte Zahl von einzelnen Zellen miteinander verbunden werden. Die Spannung ist dann gleich der Spannung einer

Hinter-
einander
geschaltete
Elemente.

Zelle, multipliziert mit der Zahl der „hintereinander“ geschalteten Zellen. Die Grösse der Platten oder Elektroden ist, wie schon oben erwähnt, ohne Einfluss auf die jeweilige Spannung.

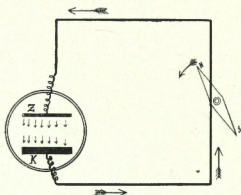


Fig. 8.

Dass tatsächlich elektrische Spannung vorhanden ist, können wir nicht sehen. Wohl aber gibt es Hilfsmittel, die uns in den Stand setzen, nicht nur einen elektrischen Strom nachzuweisen, sondern auch die jeweilige Stärke und Stromrichtung anzugeben. Ein einfaches natürliches Mittel besteht darin, dass man die beiden Enddrähte einer Stromquelle mit der Zunge in Berührung bringt. Ist die Spannung ge-

nügend, so empfindet man einen leichten säuerlichen Geschmack und einen stechenden Schmerz an den berührten Stellen.

Eine weit zuverlässigere Anzeigevorrichtung haben wir in einer frei schwebenden Magnetnadel oder, was das gleiche ist, in einem etwa 5 bis 8 cm langen, leichten Magnetstab.

Ablenkung
der Magnet-
nadel.

Leitet man einen elektrischen Strom so über die frei schwebende Magnetnadel hinweg, dass der Strom, von der Kohlenplatte ausgehend, in der Richtung der Pfeile fliesst (Fig. 8), so wird der Nordpol der Nadel nach links abgelenkt. Diese Ablenkung ist bei gleicher Stromrichtung immer dieselbe. Wird die Stromrichtung jedoch gewechselt, d. h. das Ende der Leitung von der Kohlenplatte an die Zinkplatte gelegt, und jenes von der Zinkplatte an die Kohlenplatte, so bewegt sich sofort der Südpol der Nadel nach links. Da diese Ablenkung keine willkürliche ist, sondern bestimmten Voraussetzungen entspricht, so haben wir ein bequemes Mittel, nicht nur einen vorhandenen Strom zu erkennen, sondern wir wissen auch sofort, in welcher Richtung derselbe durch den Draht fliesst.

Die
Handregel.

Die sogen. Handregel leistet uns hierbei noch einen Dienst. Hält man die rechte Hand ausgestreckt so über den Stromleiter, dass die Handfläche nach unten zeigt und die Fingerspitzen in die Richtung des Stromes zeigen, der Strom also vom Handgelenk in der Richtung der Fingerspitzen fliesst, so zeigt der ausgestreckte Daumen den Ausschlag des Nordpols der Magnetnadel an. Oder ist die Stromrichtung unbekannt, so hält man,

die Handfläche nach unten, den Daumen nach der Seite des Ausschlags des Nordpoles. Die Fingerspitzen zeigen dann die Stromrichtung an.

Die Ablenkung der Magnetnadel ist also keine willkürliche, sondern von der jeweiligen Stromrichtung abhängig. Leiten wir jedoch den Strom von zwei hintereinander geschalteten Elementen, wie Fig. 7 zeigt, durch einen Draht an oder über die frei bewegliche Magnetnadel hinweg, so ist die Ausschlags-

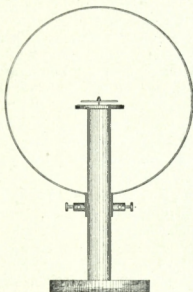


Fig. 9.



Fig. 10.

richtung der Nadel dieselbe wie bei einem Element; dahingegen hat sich der Nadelausschlag fast um das Doppelte vergrößert.

Die Praxis hat auf Grund dieser Tatsache Vorrichtungen geschaffen, die als Messinstrumente Verwendung finden.

Ein sehr einfaches Instrument, das sich jeder Uhrmacher leicht selbst anfertigen kann, stellt Fig. 9 dar. Auf einem Holzfuss oder Brett steht eine Säule aus Hartgummi oder trockenem Holz. Ein kreisförmiger Metallbügel, der zweckmässig aus einem etwa 10 mm breiten Kupferstreifen hergestellt ist, wird so befestigt, dass das obere Ende der Säule nahezu in die Mitte zu stehen kommt. Die beiden Enden des Metallbügels, die sich metallisch

Die
Tangenten-
busssole.

nicht berühren dürfen, erhalten je eine Klemmschraube zum Befestigen der Leitungsdrähte. Auf das obere Ende der Säule wird, auf einer Nadelspitze leicht drehbar, eine kleine Magnetnadel aufgesetzt. Unterhalb der Nadel befindet sich eine Skala mit Gradeinteilung, auf der die jeweilige Stellung, d. h. der Nadelausschlag, abgelesen werden kann.

Infolge der Anziehungskraft des Erdmagnetismus stellt sich die Nadel in die Meridianebene, zeigt also von Süden nach Norden. Soll das Instrument in Gebrauch genommen werden, so muss die Ebene des Kupferbügels ebenfalls von Süden nach Norden zeigen. Dieses Instrument, das den Namen Tangentenbussole trägt, dient zum Messen der Stromstärke.

Der Ausschlag der Nadel ist unter anderem abhängig von dem Durchmesser des Kupferbügels. Für unsere Zwecke kann derselbe 15 bis 20 cm betragen. Will man bestimmte Stromstärken ablesen, so muss die Skala geeicht werden. Diese Eichung lässt sich durch Rechnung finden. Einfacher ist es jedoch, wenn man Ströme von bekannter Stärke durch den Bügel leitet, und nach der Stellung der Nadel die Skala einteilt und bezeichnet.

Für gewöhnliche Beobachtungen kann man auf das Säulende auch gleich einen fertigen Kompass mit samt Gehäuse und Glasverschluss aufsetzen. Solche Kompassse sind ja käuflich, und ersparen die Zeit der Selbstanfertigung.

Mit dieser Tangentenbussole wollen wir nun einige Versuche anstellen.

Versuch:
über die
Strom-
stärke.

Zunächst schalten wir ein Element, wie es Fig. 6 darstellt, in den Stromkreis ein. Wir verbinden also die Kohle des Elementes durch ein Stück Kupferdraht mit einer Klemme des Kupferbügels. Von der zweiten Klemme des Bügels führt ein Draht zur Zinkplatte. In dem Augenblick, wo die Verbindung hergestellt ist, macht die Magnetnadel einen Ausschlag. Wir können nun schon im voraus bestimmen, nach welcher Seite sich der Nordpol der Magnetnadel bewegt, wenn wir uns an die Handregel zurückerrinnern. Nach einigen Hin- und Herschwankungen nimmt die Nadel eine Stellung ein, die wir auf der Skala ablesen und notieren wollen. Jetzt schalten wir ein zweites Element zum ersten, und beobachten den Ausschlag der Nadel. Es fällt uns sofort auf, dass der Ausschlagwinkel fast doppelt so gross ist, wie vorhin. Ein drittes Element vergrössert den Ausschlag noch um ein Bedeutendes. Um einer irrtümlichen Auffassung vorzubeugen, sei hier bemerkt, dass bei doppelter Stromstärke der Nadelausschlag sich nicht verdoppelt oder verdreifacht. Je grösser der

Ausschlag der Nadel wird, eine desto grössere Stromstärke ist erforderlich, um die Nadel noch weiter abzulenken.

Bei einer auf Stromstärke geeichten Skala würden also die Teilstriche nicht gleichen Abstand haben, sondern, bei Null beginnend, immer näher beisammenstehen.

Doch darauf kommt es bei unserem gegenwärtigen Versuch nicht an. Wir befassen uns noch nicht mit der genauen Messung der Stromstärke nach Ampere und Milliampere, sondern wir müssen zunächst unsere Aufmerksamkeit der Stromquelle selbst zuwenden. Haben wir die Versuche einigemal wiederholt, und den Ausschlag der Magnetnadel jedesmal notiert, so fällt uns unwillkürlich auf, dass die Nadel nicht mehr so weit ausschlägt, wie zuerst. Sowohl ein Element, wie zwei oder drei, erreichen nicht mehr den Wert, der zu allererst beobachtet wurde. Ist der Stromkreis geschlossen, und betrachten wir den Stand der Nadel längere Zeit, so machen wir die unangenehme Beobachtung, dass sich die Nadel in steter Rückwärtsbewegung befindet, um schliesslich auf den Nullpunkt zu gelangen! — Mit der Herrlichkeit ist es zu Ende, der galvanische Strom hat aufgehört, zu fliessen, die Potentialdifferenz hat sich ausgeglichen, das Element ist erschöpft.

Dem aufmerksamen Beobachter wird es jedoch nicht entgangen sein, dass die anfangs klare Flüssigkeit der Elemente eine Veränderung erfahren hat. In der Säure, und namentlich an den beiden Elektroden, der Kohlen- und Zinkplatte, haben sich kleine, anscheinend Luftblasen gebildet. Luft- oder Wasserdampfblasen können es jedoch nicht sein, denn wenn, etwa durch Wärmeeinwirkungen, solche Blasen entstanden wären, so müssten dieselben durch die Flüssigkeit sofort wieder abgekühlt und zu Wasser verwandelt werden. Verfolgen wir die Untersuchung weiter, so begeben wir uns in das Gebiet der Chemie. Wenn es auch nicht unsere Aufgabe ist, diese Wissenschaft zu studieren, so dürften doch einige Erläuterungen zum besseren Verständnis mancher Vorgänge beitragen.

Im Altertum nahm man an, dass unsere Erde, überhaupt der ganze Weltenbau, nur aus einigen Bestandteilen zusammengesetzt sei. Durch die fortschreitende Entwicklung der Naturforschung, und hauptsächlich, nachdem man sich nicht mehr, wie die alten Philosophen, aufs Deuten verlegte, sondern in zielbewusster Anordnung Versuche anstellte und Beobachtungen machte, hat sich die Zahl der chemischen Elemente, d. h. jener Körper, die nicht mehr zerlegt werden können, auf 76 gesteigert. Ob damit die Zahl der einzelnen Urbestandteile ihren Höhepunkt

Veränderungen
im Element

Etwas aus
der Chemie

Elemente.

erreicht hat, ist nicht mit Bestimmtheit anzunehmen. Noch vor einigen Jahrzehnten war die Zahl der chemischen Elemente 64. Und vor etwa 100 Jahren war es noch nicht möglich, Schwefelsäure, Phosphorsäure und einige Alkalien in weitere Bestandteile zu zerlegen. Man sah also damals noch Schwefelsäure für ein chemisches Element an. Heute wissen wir, dass dieselbe eine Verbindung von mehreren Elementen ist. Mit der Verbesserung unserer Hilfsmittel erscheint es nicht ausgeschlossen, dass Körper, die wir heute noch als ein unzerlegbares Element ansehen, sich als eine Verbindung noch unbekannter Stoffe ergeben.

Viele dieser Elemente sind allgemein bekannt, wie z. B. Eisen, Kupfer, Zink, Zinn, Blei usw. Aber auch gasförmige Elemente, wie Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, finden tägliche Verwendung, ebenso auch die flüssigen.

Die chemischen Elemente nun haben die Eigenschaft, sich miteinander zu verbinden. Viele solcher Verbindungen sind in der Natur enthalten, und so lange man sie eben nicht zu trennen vermochte, wurden sie folgerichtig als „ein“ Element angesehen.

So galt z. B. das Wasser lange Zeit als „ein“ Element. Die Chemie hat uns gezeigt, dass dies nicht der Fall ist. Das Wasser besteht aus den beiden Elementen „Sauerstoff“ und „Wasserstoff“, also aus zwei Gasen. Der Wasserstoff ist im 16. Jahrhundert entdeckt worden. Paracelsus nannte denselben „brennbare Luft“.

Man kann Wasserstoff auf sehr einfache Weise herstellen:

Herstellung
von
Wasserstoff.

Man nimmt eine Schale mit Wasser und legt ein kleines Stückchen Kalium auf die Oberfläche desselben. Da Kalium leichter ist als Wasser, so schwimmt es. In demselben Augenblick bemerken wir jedoch, dass um das Metall herum eine Flamme entsteht. Diese Flamme wird durch den Wasserstoff des Wassers verursacht, der, durch Kalium in Freiheit gesetzt, Feuer fängt und brennt. Der frei werdende Sauerstoff verbindet sich chemisch mit dem Kaliummetall und verwandelt dasselbe in Aetzkali. Wollen wir uns davon überzeugen, so brauchen wir nur etwas rote Lackmuspflösung in die Flüssigkeit zu gießen. Ist Aetzkali vorhanden, so verwandelt sich die Farbe von Rot in Blau. Wird jedoch Natrium mit Wasser in Berührung gebracht, so entwickelt sich ebenfalls Wasserstoff. In diesem Falle ist die Wärmeentwicklung jedoch nicht gross genug, um den Wasserstoff zu entzünden. Der frei werdende Sauerstoff verbindet sich mit dem Natrium zu Aetznatron.

Ein Verfahren, um Wasserstoff für Gebrauchszwecke herzustellen, besteht darin, dass man Eisen- oder Zinkstückchen mit verdünnter Schwefelsäure oder Salzsäure übergiesst. Für Versuchs-

zwecke eignet sich die in Fig. 10 (S. 23) dargestellte Flasche. Auf den Boden derselben werden eine Menge Zinkschnitzel gelegt. Die Öffnung der Flasche wird mit einem gut passenden Kork verschlossen. Zwei Glasröhren sind so in das Innere geführt, dass das längere Trichterrohr bis fast an den Boden reicht. Das zweite, sogen. Brennerrohr, ist jedoch kürzer, und schliesst kurz hinter der Korkdurchführung ab. Füllt man nun langsam in den oberen Teil des Trichterrohres verdünnte Schwefelsäure, so beginnt eine lebhaft Blasenbildung. Die Flüssigkeit scheint zu kochen. Ebenfalls tritt eine nicht unbedeutende Wärmeentwicklung auf. Die aus der Flüssigkeit aufsteigenden Blasen enthalten Wasserstoff. Die Flasche füllt sich allmählich damit an, und das so entstandene Gas tritt aus der Öffnung des Brennerrohres aus. Wasserstoff oder, wie man auch sagt, Wasserstoffgas, ist farb- und geruchlos. Es ist sehr leicht, etwa $14\frac{1}{2}$ mal leichter als die Luft. Daher eignet es sich auch vorzüglich zur Füllung der Luftballons.

Herstellung
von Wasser-
stoff für
Gebrauchszwecke.

Dieses Gas kann nun am Brennerrohr angezündet werden, jedoch ist dabei einige Vorsicht zu gebrauchen. Man muss sich zunächst davon überzeugen, dass sämtliche Luft aus der Flasche entwichen ist. Dies erreicht man dadurch, dass man ein kleines Probierröhrchen über den Brenner stülpt, langsam abhebt und die nach unten gekehrte Öffnung einer Flamme nähert. Ist das Gas rein, so brennt es mit blasser Flamme ohne Geräusch. Diese Wasserstoffflamme findet hauptsächlich Verwendung bei Bleilötungen an Akkumulatoren, wobei unter Zuführung von Luft Knallgas erzeugt wird. Das in der Flasche enthaltene Zink löst sich allmählich auf und verwandelt sich in Zinkvitriol.

Um bei diesen Methoden das Wasser zu zersetzen, haben wir nur den Wasserstoff zur Verfügung gehabt, während der freiwerdende Sauerstoff sich sofort wieder eine neue Verbindung suchte.

Der elektrische Strom ist uns jedoch behilflich, das Wasser so zu zerlegen, dass wir beide Gase getrennt auffangen können.

Fig. 11 zeigt die Zusammensetzung des Apparates. Ein trichterförmiges Glasgefäß wird mit Wasser nahezu gefüllt. Zwei Elektroden 2 und 3 aus Bleiblech sind mit den beiden Zuleitungsdrähten so verbunden, dass die Zuleitung von unten kommt. So weit die Drähte in die Flüssigkeit eintauchen, müssen dieselben gut isoliert sein. Am einfachsten schiebt man einen dünnen Gummischlauch über die Drähte bis zur Elektrode. 4 und 5 sind zwei, oben geschlossene Glasröhren. Dieselben werden vollständig mit Wasser gefüllt, und indem man die Öffnung mit dem Finger

Zerlegung
des Wassers
durch den
elektrischen
Strom.

schließt, bringt man sie mit der Öffnung nach unten in das Gefäß, so dass keine Luft eintreten kann. Nachdem der Finger, unter dem Wasserspiegel, entfernt ist, werden sie über die beiden, aufrecht stehenden, Bleielektroden gestülpt. Die beiden Drähte müssen nun mit den Polen einer Batterie von drei bis vier Klemmen verbunden werden. Nachdem noch einige Tropfen

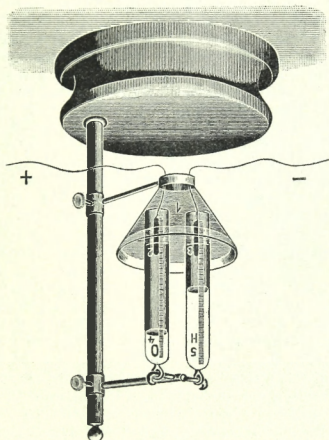


Fig. 11.

Schwefelsäure in das Wasser geschüttet worden sind, um es leitend zu machen (chemisch reines Wasser leitet den elektrischen Strom nicht), beginnt sofort die Zersetzung. An den beiden Bleistreifen bilden sich Blasen, die sich ab-lösen und nach oben steigen. Die Gasentwicklung wird immer lebhafter, und es dauert nicht lange, so bemerken wir, dass sich das Wasser in den Röhren langsam senkt. Wird die Zersetzung fortgesetzt, so fällt uns der Umstand auf, dass sich die eine Röhre

viel langsamer entleert, als die andere. Wir sehen deutlich, dass jene Röhre, die sich über der mit der positiven Zuleitung verbundenen Elektrode befindet, genau um die Hälfte weniger Gas entwickelt, als die andere.

Sehen wir nun zunächst, welche Art von Gas wir erhalten haben.

Wir nehmen das Röhrchen, das nur bis zur Hälfte mit Gas gefüllt ist, aus dem Wasser heraus. Dabei muss jedoch die Oeffnung noch im Wasser mit einem Finger zugehalten werden. Wir drehen die Röhre dann um, so dass die Oeffnung nach oben kommt, und führen einen glimmenden Holzspan in das Gas. Sofort entwickelt sich eine stark leuchtende Flamme. Das Holz brennt! Wird der Holzspan entfernt, so brennt das Gas nicht weiter; dieses ist also selbst nicht brennbar. Diese Eigentümlichkeit sagt uns, dass wir es mit einem Sauerstoffgas zu tun haben. Die Chemiker haben gefunden, dass Sauerstoff schwerer ist, als die Luft; deshalb müssen wir die Oeffnung der Röhre nach oben halten, da das Gas sonst wie Wasser herausfließen würde.

Nehmen wir nun die zweite Röhre, die die doppelte Menge Gas enthält, aus dem Wasser, jedoch die Oeffnung nach unten, und bringen wieder einen glimmenden Holzspan hinein, so entzündet sich der Span nicht. Wird dahingegen ein brennendes Zündholz an die Oeffnung gehalten, so entsteht eine fahle, blassblaue Flamme. Wir erkennen also sofort, dass sich in dieser Röhre Wasserstoffgas angesammelt hat.

So oft auch der Versuch wiederholt wird, erhalten wir stets dasselbe Ergebnis, sowohl in bezug auf Art der Gase, wie auch der Mengen der Entwicklung im Verhältniss von 1:2.

Wir ziehen daher aus dieser Beobachtung den Schluss:

Folgerungen.

1. Dass der elektrische Strom, sobald er durch angesäuertes Wasser geleitet wird, das Wasser in seine beiden Bestandteile, Wasserstoff und Sauerstoff, zerlegt;

2. dass das Wasser aus zweimal so viel Raumteilen Wasserstoff als Sauerstoff besteht;

3. dass bei der Zersetzung des Wassers der Sauerstoff an jener Elektrode gebildet wird, der der elektrische Strom von aussen zugeführt wird, und sich Wasserstoff da bildet, wo die Elektrode den elektrischen Strom aus der Flüssigkeit aufnimmt und durch den Draht nach aussen leitet.

Wenn wir nun Wasser in seine Bestandteile zerlegen können, so muss es auch möglich sein, aus den beiden Gasen, Wasserstoff und Sauerstoff, Wasser zu bilden. Auch diese Vermutung

Verzinsung
von Wasser-
stoff und
Sauerstoff.

lässt sich durch einen Versuch bestätigen. Entzünden wir z. B. eine Wasserstoffflamme, so entsteht dadurch Wasser, dass sich der Sauerstoff der Luft mit dem Wasserstoff der Flamme verbindet. Halten wir ein reines, trockenes Trinkglas, mit der Oeffnung nach unten, über die Flamme, so bilden sich alsbald Wassertropfen.

Knallgas. Die Vereinigung der beiden Gase kann aber auch noch auf andere Weise erfolgen. Werden beide Gase in einem gemeinsamen Behälter aufgefangen, und durch einen elektrischen Funken entzündet, so verschwinden die Gase, und an deren Stelle erscheint eine entsprechende Menge Wasser. Diese Vereinigung erfolgt jedoch plötzlich unter lautem Knall. Eine solche Mischung von zwei Teilen Wasserstoff und einem Teil Sauerstoff bezeichnet man daher auch mit dem Namen Knallgas. Alle Experimente mit Wasserstoff sind daher mit grösster Vorsicht vorzunehmen; da auch, wie schon erwähnt, unsere Luft Sauerstoff enthält, so ist die Bildung von Knallgas sehr wohl möglich, und bei entsprechender Menge ist die Wirkung einer Explosion der des Schiesspulvers gleich!

Schreibweise der Chemie. Jede Wissenschaft und jede Technik hat, wie jedes Volk, seine eigene Sprache und Schreibweise. Auch die Chemie hat für ihre Zwecke eine Sprache und Schreibweise herausgebildet, die für den Uneingeweihten unverständlich ist. Da in der Chemie oft sehr lange Namen und Bezeichnungen vorkommen, so schreibt man im allgemeinen nur die Anfangsbuchstaben der betreffenden Namen. Um aber Irrtümer zu vermeiden, die dadurch entstehen würden, dass manche Namen gleiche Anfangsbuchstaben haben, so sind viele chemische Elemente, ausser deutschen, auch mit griechischen und lateinischen Namen belegt worden. So schreibt der Chemiker z. B. für Eisen Ferrum und bezeichnet es mit den Buchstaben *Fe*, statt Schwefel Sulfur und bezeichnet ihn mit *S*, statt Silber Argentum = *Ag*, Gold Aurum = *Au*, Wasserstoff Hydrogenium = *H*, Sauerstoff Oxygenium = *O* usw.

Verbindungs-gewichte. Wie nun das Wasser immer aus einem Raumteil Sauerstoff und zwei Raumteilen Wasserstoff gebildet wird, so stehen die einzelnen Elemente auch in einem bestimmten Gewichtsverhältnis zueinander. Da Wasserstoff der leichteste Körper ist, so sind alle Gewichtsverhältnisse der übrigen chemischen Elemente auf Wasserstoff bezogen worden. Untersuchungen und Wägungen haben ergeben, dass alle Verbindungen in einem, dem jeweiligen Element eigenen Verbindungsgewicht erfolgen. So ergeben 16 Gewichtsteile Sauerstoff und 2 Gewichtsteile Wasserstoff 18 Gewichtsteile Wasser. Verbindet man Sauerstoff mit Zink,

so erhalten wir stets das Verhältnis von 16 Gewichtsteilen Sauerstoff und 65 Gewichtsteilen Zink, woraus sich 81 Gewichtsteile Zinkoxyd gebildet haben. Wenn wir Kupfer und Schwefel zusammen erhitzen, so erhalten wir eine Verbindung, die Schwefelkupfer genannt wird. Hierbei verbinden sich immer nur 32 Gewichtsteile Schwefel mit 63 Gewichtsteilen Kupfer zu 95 Gewichtsteilen Schwefelkupfer. Ist von einem Element eine grössere Menge vorhanden, so bleibt der Ueberschuss unverbunden zurück. Nachstehende Tabelle gibt einige der wichtigsten Elemente an, nebst ihrer chemischen Bezeichnung und das dazu gehörige Verbindungsgewicht.

Nichtmetallische Elemente.

Sauerstoff	$O = 16,$	Chlor	$Cl = 35,$
Wasserstoff	$H = 1,$	Schwefel	$S = 32,$
Stickstoff	$N = 14,$	Phosphor	$P = 31,$
Kohlenstoff	$C = 12,$	Silizium	$Si = 28.$

Metallische Elemente.

Eisen	$Fe = 56,$	Zinn	$Sn = 118,$
Aluminium	$Al = 27,$	Blei	$Pb = 207,$
Kalzium	$Ca = 40,$	Quecksilber	$Hg = 200,$
Magnesium	$Mg = 24,$	Silber	$Ag = 108,$
Natrium	$Na = 23,$	Gold	$Au = 197,$
Kalium	$K = 39,$	Selen	$Se = 79,$
Kupfer	$Cu = 63,$	Platin	$Pt = 194.$
Zink	$Zn = 65,$		

Zu dieser Aufstellung muss bemerkt werden, dass die beigefügte Zahl abgerundet ist. So beträgt das Verbindungsgewicht des Eisens z. B. nicht genau 56, sondern 55,88. Für unsere Vorstellung genügt jedoch die abgerundete Zahl vollkommen.

Es gibt Verbindungen, in denen das Verbindungsgewicht eines oder mehrerer Elemente öfter enthalten ist als nur einmal; aber immer als Vielfaches vom Gewicht des einzelnen Körpers. Wasser besteht aus Sauerstoff und Wasserstoff, und zwar aus 16 Gewichtsteilen Sauerstoff und 2 Gewichtsteilen Wasserstoff. Der Chemiker kürzt diese Verbindung ab, indem er schreibt: OH_2 . Die beigesetzte Zahl 2 bedeutet, dass Wasserstoff zweimal seines Verbindungsgewichtes im Wasser enthalten ist.

Schwefelsäure besteht aus Wasserstoff, Schwefel und Sauerstoff. Der Chemiker schreibt: H_2SO_4 . Diese Formel heisst in Worten (das Verbindungsgewicht in Gramm ausgedrückt):

$$\begin{array}{rcl}
 2 \text{ g Wasserstoff} & = & H_2 \\
 32 \text{ „ Schwefel} & = & S \\
 4 \times 16 = 64 \text{ „ Sauerstoff} & = & O_4 \\
 \hline
 \text{ergeben 98 g Schwefelsäure} & = & H_2SO_4.
 \end{array}$$

Die beiden Zahlen 2 und 4 gelten nur für die vorstehenden Buchstaben, also 2 für H und 4 für O . Niemals gilt eine Zahl für zwei Zeichen. Wenn wir uns obige Regel merken, dann ist es leicht, auch die weiteren chemischen Formeln zu verstehen. Es bedeutet daher CaO Kalziumoxyd (gebrannter Kalk), und zwar 40 Gewichtsteile Kalzium und 16 Gewichtsteile Sauerstoff = 56 Gewichtsteile CaO , ZnO = Zinkoxyd usw.

Diese kurzen Erklärungen mögen vorläufig genügen, um die chemischen Vorgänge in den galvanischen Elementen besser zu verstehen. Immerhin würde es sich für den Uhrmacher lohnen, auch auf dem weiten Gebiet der Chemie, wenigstens etwas bewandert zu sein; denn nur ein umfassendes Wissen befähigt zu einer logischen Denkungsweise, und um folgerichtig handeln zu können, genügt es nicht, bloss nach begrenzten Vorschriften und Schemen zu arbeiten.

Ein kleines, sehr empfehlenswertes Buch für Anfänger ist die deutsche Ausgabe der „Naturwissenschaftlichen Elementarbücher“, Chemie, von H. E. Roscoe, Professor der Chemie, in Manchester. Verlag von Karl J. Trübner, Strassburg. Preis 0.80 Mk. Diesem kleinen Werk sind auch vorstehende Tabellen zum Teil entnommen.

* * *

Erklärung
der
chemischen
Vorgänge
in den
Elementen.

Kehren wir nun zu unseren erschöpften Zink-, Kohlen-Schwefelsäure - Elementen zurück und überlegen auf Grund unserer erweiterten Kenntnisse, was vorgegangen ist. — Wir haben den Satz aufgestellt: dass der elektrische Strom, sobald er durch angesäuertes Wasser geleitet wird, das Wasser in seine Bestandteile O und H zerlegt. Ist der Stromkreis eines Elementes geschlossen, so wissen wir, dass nicht nur in der äusseren Leitung von C (Kohlenpol) nach Zn (Zinkpol) ein Strom fliesst, sondern dass der Strom von der Zn -Platte durch die Flüssigkeit (OH_2 und H_2SO_4) zur C -Platte weiter wandert. Demzufolge muss sich im Innern des Elementes derselbe Vorgang abspielen wie in unserer Zersetzungszone (Fig. 11, S. 28). Wir haben ferner beobachtet, dass sich O dort bildet, wo der Strom in die Flüssigkeit eintritt und H an der Elektrode entsteht, wo

der Strom ausgeht. Folglich muss sich an der negativen *Zn*-Elektrode *O* (Sauerstoff) und an der positiven *C*-Elektrode *H* (Wasserstoff) bilden. Der frei werdende Sauerstoff greift die Zinkplatte an und verbindet sich mit den abgelösten *Zn*-Teilchen zu Zinkoxyd bzw. Zinksulfat ($ZnSO_4$). Der frei gewordene Wasserstoff hingegen wandert in der Stromrichtung zur Kohlenplatte. Bei fortgesetzter Stromentwicklung hüllt der Wasserstoff die Kohlenplatte mehr und mehr ein; es werden fortgesetzt mehr Kohlenteile der Berührung mit der Säure entzogen. Am Schluss stehen sich also nicht mehr Kohle und verdünnte Schwefelsäure einander gegenüber, sondern Wasserstoff und Schwefelsäure. Da aber auch Gase, in Berührung mit Flüssigkeiten, eine Spannung erzeugen und *H* (Wasserstoff) in der Spannungsreihe noch vor dem *Zn* (Zink) steht, so dass die Zinkplatte der Wasserstoffhülle gegenüber positiv erscheint, so tritt eine Spannung oder elektromotorische Kraft auf, die bestrebt ist, einen Strom von der Wasserstoffhülle durch die Flüssigkeit zur Zinkplatte hervorzubringen. Es ist demnach klar, dass diese entgegengesetzte elektromotorische Kraft das Element fortschreitend schwächt. Sobald die gegenelektromotorische Kraft der Spannung des Zink-Kohlenelementes das Gleichgewicht hält, erscheint das Element stromlos.

Wenn auch diese Erklärung der gegenelektromotorischen Kraft ohne weiteres glaubwürdig erscheint, so können wir uns, mit Hilfe unserer Apparate, von der beschriebenen Tatsache auch augenscheinlich überzeugen. Wir wissen aus früheren Darlegungen, dass ein Strom nur dann entstehen kann, wenn zwei ungleiche Potentiale vorhanden sind. Wir wissen ferner, dass die Potentialdifferenz abhängig ist von der Beschaffenheit der Elektroden. Zwei Zinkplatten, in eine Flüssigkeit getaucht, haben gleiches Potential; es entsteht also im Schliessungsdraht kein elektrischer Strom. Ebenso konnte zwischen den beiden Bleiplatten des Zersetzungsapparates (Fig. 11, S. 28) keine Potentialdifferenz auftreten, so lange die beiden Elektroden sich in ihrer Beschaffenheit gleich waren. Nachdem wir aber längere Zeit einen Strom hineingeleitet haben und sich *O* und *H* entwickelt hat, können wir sogleich die Wirkung der Polarisation beobachten. Schalten wir zu diesem Zweck die Batterie aus und verbinden die beiden Bleiplatten durch je einen Draht mit den Klemmen unserer Tangentenbussole. Durch den sofortigen Ausschlag zeigt uns die Magnetnadel einen Strom an. Durch die Handregel erfahren wir, dass der Strom von der Sauerstoff-

Der sekundäre Strom.

bleiplatte durch die Leitung, den Bügel der Tangentenbussole, zur Bleiplatte fließt, die Wasserstoff entwickelt hatte.

Wir sehen also deutlich, dass mit den beiden, vorher gleichartigen Bleielektroden eine Veränderung vorgegangen ist. Die mit Wasserstoff bedeckte Platte steht der Sauerstoffplatte als negative Elektrode gegenüber. Die Stromrichtung ist also dem Elementstrom entgegengesetzt. Da sich, wie schon erwähnt, derselbe Vorgang im Element selbst abspielt, so dürfte eine genügende Erklärung für das Nachlassen der Stromerzeugung eines Elementes gegeben sein.

Diesen durch die Polarisation erzeugten Strom nennt man daher auch den Polarisationsstrom oder den „sekundären Strom“.

So unangenehm sich nun auch das Auftreten des Polarisationsstromes in den galvanischen Elementen bemerkbar macht, so hat man nicht nur Mittel und Wege erdacht, die Polarisation zu beseitigen oder doch wenigstens auf ein geringes Mass zurückzuführen, sondern, nachdem diese Erscheinung richtig erkannt, sogar eine praktische Nutzenanwendung daraus gezogen.

Die Sekundärelemente, oder wie der gebräuchliche Ausdruck lautet: die Akkumulatoren beruhen auf jener Erscheinung, die wir in unserem Zersetzungsapparat beobachtet haben. Da wir uns jedoch vorläufig mit den galvanischen Primärelementen beschäftigen, so möge die Herstellung und Behandlung der Akkumulatoren einem späteren Abschnitt vorenthalten bleiben.

* * *

Beseitigung
der Polari-
sation auf
mecha-
nischem
Wege.

Wir haben vorläufig als Ursache der Verminderung der Stromerregung die Polarisation kennen gelernt. Wir haben beobachtet, dass während des Stromdurchganges im Innern des Elementes eine Zersetzung stattfand. Der ausgeschiedene Wasserstoff hatte die positive Elektrode, also die Kohlenplatte, mit einer Gashülle umgeben und somit deren Berührung mit der Flüssigkeit (dem Elektrolyten) aufgehoben. Ja noch mehr, diese Gashülle trat selbst als Elektrode auf und brachte ein entgegengesetztes Potential hervor. Mit der Erkenntnis dieser Tatsache setzte auch sofort die Bestrebung ein, den Uebelstand zu beseitigen. Das einfachste Mittel, den Wasserstoff zu entfernen, besteht darin, dass man die Kohlenplatte fortwährend in der Flüssigkeit hin und herbewegt, also gewissermassen die sich ansetzenden Wasserstoffbläschen durch die Flüssigkeit abschwenkt. Und in der Tat sind seinerzeit Elemente gebaut worden, die auf diese Weise die Polarisation verzögern sollten.

Die Kohlenplatte war in Form einer Scheibe hergestellt, deren Achse auf dem oberen Rand des Standgefäßes gelagert war. Wie ersichtlich, wurden bei der Drehung der Scheibe stets die mit Wasserstoff bedeckten Teile aus der Flüssigkeit gehoben. Dass diese Art Elemente umständlich und für den praktischen Gebrauch nicht verwendbar waren, liegt auf der Hand. Nicht viel besser war der Vorschlag, statt der Elektroden die Flüssigkeit selbst in stete Bewegung zu erhalten.

Zu diesem Zwecke war eine Anzahl Elemente treppenförmig aufgestellt. Der Boden des zweiten Elementes stand in der Höhe des oberen Randes des ersten Elementes. Das dritte wieder um so viel höher, als das zweite usw. Jedes Element hatte am Boden ein kleines Abflussrohr, dessen Oeffnung sich über dem Rand des weiter unten stehenden Elementes befand. Wurde nun das obere Element oder ein Reservebehälter mit verdünnter Säure gefüllt, so floss letztere von einem Element in das andere und vom untersten wieder in einen Behälter.

Die Säure befand sich also in steter Bewegung und verhütete dadurch zum Teil das Ansetzen der Wasserstoffbläschen. Dass auch dieser und noch viele andere Versuche nicht den gewünschten Erfolg hatten, ist im Vergleich zu den Leistungen unserer heutigen galvanischen Elemente leicht einzusehen.

Dass sich aber auch unter diesen Umständen die elektrischen Uhren keinen Eingang verschaffen konnten, bedarf keiner weiteren Erklärung. Wenn dagegen die elektrischen Zeitmesser jetzt beginnen, mit den mechanischen in Wettbewerb zu treten, so verdanken wir unsere Fortschritte nicht zum geringsten Teil der rastlosen Tätigkeit auf dem Gebiete der Elektrochemie.

Nachdem die Versuche, die Polarisation auf mechanischem Wege zu verhindern, gescheitert waren, erinnerte man sich an die Eigenschaften der chemischen Elemente. Wir haben gesehen, dass sich chemische Verbindungen lösen lassen. Umgekehrt aber gehen chemische Elemente zum Teil Verbindungen miteinander ein, schon durch blosser Berührung. Bei unseren heutigen galvanischen Stromquellen wird daher die „Depolarisation“ (d. h. die Verhütung der Polarisation) auf chemischem Wege bewirkt:

Man bringt zu diesem Zwecke solche chemische Bestandteile in die Nähe der positiven Elektrode, die leicht Sauerstoff entwickeln und dadurch den freigewordenen Wasserstoff wieder binden und zu Wasser reduzieren.

Stoffe, die diese Eigenschaft besitzen, sind z. B. Säuren, Oxyde usw., also Körper, in denen viel Sauerstoff enthalten ist. Die

Depolarisation auf chemischem Wege

Das Daniell-
Element.

blauen, unter dem Namen Kupfervitriol bekannten Kristalle, sowie Braunstein, enthalten grosse Mengen von Sauerstoff.

Eins der ältesten, sogen. konstanten Elemente ist das Daniell-Element. Die negative Elektrode besteht aus einem Zinkzylinder, die positive aus einem Kupferzylinder oder einer Kupferplatte. Fig. 12 veranschaulicht eine ältere Form dieses Elementes.

In einem Standglase befindet sich zunächst der Zinkzylinder. Innerhalb des letzteren steht eine poröse Tonzelle, die zur Aufnahme der Kupferelektrode dient.

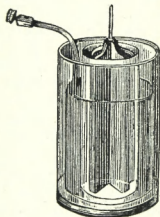


Fig. 12. Das Daniell-Element.

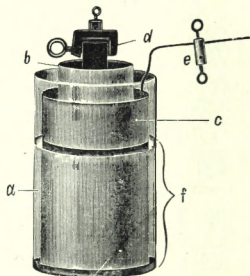


Fig. 13. Das Bunsen-Element.

Der Zinkring steht, wie beim Voltaschen Becher, in verdünnter Schwefelsäure (1 Teil Schwefelsäure auf 9 bis 10 Teile Wasser). In den Tonzylinder kommt eine gesättigte Lösung von Kupfervitriol, der noch einige Stücke Kupfervitriol beigegeben werden. Wird das Element geschlossen, d. h. wird die positive Kupferelektrode durch einen Leitungsdraht mit der negativen Zinkelektrode verbunden, so suchen sich die durch die Einwirkung der Elektrolyten erzeugten Potentialunterschiede auszugleichen. Es entsteht also ein elektrischer Strom, der, wie wir wissen, sich auch im Innern des Elementes von der negativen zur positiven Elektrode fortsetzt. Die Flüssigkeiten werden zersetzt. Aus der Kupfervitriollösung scheidet sich reines metallisches Kupfer Cu aus und schlägt sich, der Stromrichtung folgend, an

der positiven Elektrode nieder. Die beiden Bestandteile O_4 und S (vergl. die chemische Tabelle) gehen durch die poröse Scheidewand (Tonzylinder) zur Schwefelsäure (SO_4H_2). Die Schwefelsäure wird ebenfalls in ihre Bestandteile H_2 und SO_4 zersetzt. H_2 verbindet sich mit den aus dem Kupfervitriol ausgeschiedenen Produkten SO_4 wieder zu H_2SO_4 (Schwefelsäure) und die noch freien (chemischen) Elemente SO_4 verbinden sich mit einem Teil von der Zinkelektrode zu Zinksulfat ($ZnSO_4$).

Der soeben geschilderte Vorgang im Daniell-Element gibt uns einen Einblick, wie man die stromschwächende Wirkung der Polarisation aufheben kann. Während sich die Schwefelsäure stets wieder ergänzt, wird die Kupfervitriollösung mit der Dauer des Stromdurchganges verändert.

Entsprechend der Stromstärke wird eine bestimmte Menge Kupfer an der positiven Elektrode niedergeschlagen. Die Lösung wird demnach geschwächt und verliert nach und nach ihre wasserstoffbindende Eigenschaft. Wird der Wasserstoff nicht im selben Verhältnis vernichtet, d. h. mit den bereits genannten, frei gewordenen Bestandteilen der Schwefelsäure vereinigt, wie er durch den elektrolytischen Vorgang entwickelt wird, so tritt eine Aenderung auch in der Spannung ein. Man kann hier jedoch etwas vorbeugen, indem man von Zeit zu Zeit einige Kupfervitriolkristalle zuführt.

Ein im Aufbau ähnliches Element zeigt Fig. 13, das nach dem Verfertiger Bunsen benannt ist.

In einem runden Standglase *a* steht, wie beim Daniell-Element, der Zinkbecher *c*, an dem der negative Ableitungsdraht *e* befestigt ist; *b* ist ein aus unglasiertem Pfeifton gefertigter Zylinder mit Boden, in dessen Hohlraum eine Kohlenplatte *d* steht. Eine Messingklemme mit zwei Schrauben vermittelt die Befestigung des positiven Leitungsdrahtes.

Das Bunsen-
Element.

Die Zinkelektrode *c* taucht in verdünnte Schwefelsäure. Der Tonzylinder ist jedoch in gleicher Höhe der Schwefelsäure mit konzentrierter Salpetersäure gefüllt. Bei diesem Element wird also der freiwerdende Wasserstoff durch die Salpetersäure von der Kohle ferngehalten, wobei sich jedoch während des Stromdurchganges Wasser bildet und die Salpetersäure gewissermassen verdünnt wird. Soll das Element angesetzt werden, so muss die verdünnte Schwefelsäure zuerst eingefüllt und der Tonzylinder so lange auf dem Grund des Glases gehalten werden, bis die Schwefelsäure die Poren des Zylinders gefüllt hat. Würde man umgekehrt verfahren, so dringt zuerst die Salpetersäure durch

und kommt mit der Zinkelektrode in Berührung, was jedoch vermieden werden muss. Trotz der hohen Spannung und Stromstärke hat dieses Element auch seine grossen Schattenseiten. Der elektrische Strom zersetzt nämlich auch die Salpetersäure, wobei sich unter Zutritt von Luft ein sehr giftiges Gas bildet, das Untersalpetersäure genannt wird. Dieses Gas ist der Gesundheit schädlich und greift auch alle Metallteile an, mit denen es in Berührung kommt. Trotzdem hat das Bunsenelement in Ermangelung eines Besseren seinerzeit eine grosse Verbreitung gefunden; hauptsächlich in der Galvanoplastik und zum Vergolden, Versilbern und dergl.

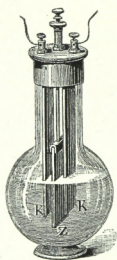


Fig. 14.

Das Tauch-Element.

Da auch Chromsäure ein guter Depolarisator ist, so kann diese an Stelle von Salpetersäure Verwendung finden. Nach den Angaben von Bunsen werden 92 g doppeltchromsaures Kali fein zerstoßen und mit etwa $\frac{1}{10}$ Liter englischer Schwefelsäure zu einem Brei zusammengemührt. Bevor die Masse fest wird, setzt man unter starkem Umrühren noch $\frac{9}{10}$ Liter Wasser hinzu. Die Mischung erscheint in kurzer Zeit rotglänzend.

Da sich bei dieser Mischung eine ziemliche Wärme entwickelt, so muss man für genügende Abkühlung Sorge tragen. Man tut gut, wenn man das Mischungsgefäss in einen grösseren Behälter mit kaltem Wasser stellt.

Ist der so hergestellte Elektrolyt erkaltet, so kann derselbe in den Tonzylinder eingefüllt werden. Diese Zusammenstellung des Elementes

wirkt weniger schädlich, doch dürfte es immerhin geboten erscheinen, solche Elemente nicht in bewohnten Räumen aufzustellen.

Da sich gezeigt hat, dass Chromsäure das Zink auch nicht stärker angreift als Schwefelsäure, so konnte die poröse Scheidewand, also der Tonzylinder, fortgelassen werden.

Fig. 14 zeigt die Zusammenstellung des Bunsen-Chromsäure-Elementes ohne Tonzylinder. An dem Holzdeckel einer weithalsigen Flasche sind zwei Kohlenplatten *KK* befestigt. Die Befestigung geschieht meistens durch einen kräftigen, U-förmig gebogenen Messingbügel. An den Schenkeln sind die Kohlenplatten mittels Schrauben so befestigt, dass sie miteinander in leitender Berührung stehen. Zwischen den beiden Kohlenplatten befindet sich die Zinkplatte *Z*. Da die Zinkelektrode durch den oben an-

Das Bunsen-
Chrom-
säure-
Element.

gegebenen Elektrolyten auch in der Ruhe, d. h. wenn kein Strom entnommen wird, angegriffen wird, so ist die Einrichtung getroffen, dass das Zink beim Nichtgebrauch aus der Flüssigkeit herausgehoben werden kann.

Diese Elemente, die in verschiedenen Grössen hergestellt werden, finden hauptsächlich da Verwendung, wo es sich um zeitweisen Strombedarf handelt. Für ärztliche Zwecke, zum Betrieb von Induktionsapparaten, für elektrische Zündungen oder elektrische Versuche bildet dieses Element eine stets bereite Stromquelle, vorausgesetzt, dass die Stromentnahme nur kurze Zeit dauert. Nach öfterem Gebrauch wird die Flüssigkeit allmählich dunkler und geht dann ins Grünliche über, worauf sie erneuert werden muss.

Wenn wir die Wirkungsweise der vorstehend beschriebenen Elemente betrachten, so wird uns klar, dass diese Zusammenstellungen nicht geeignet sind, als Stromquelle für dauernden Betrieb irgendeiner elektrischen Anlage zu dienen. Zunächst findet ein Materialverbrauch statt, auch wenn kein Strom entnommen wird. Auch der Tonbecher erleidet mit der Zeit eine Veränderung, indem sich die Poren verstopfen und somit der Stromdurchgang erschwert wird. Eine glückliche Abänderung des alten Daniell-Elementes war daher die Zusammenstellung von Meidinger. Auch das Meidinger-Element ist im Laufe der Zeit vielfach verändert worden. Betrachten wir zunächst eine der einfachsten Formen.

Fig. 15 (S. 40) zeigt uns ein rundes Standglas, auf dessen Boden ein zusammengebogener Kupferring liegt. Ein starker Kupferdraht, der an den Ring angenietet ist, führt nach oben und dient als + Ableitung. Innerhalb des Gefässes ist der Draht durch eine Glasröhre oder dergl. isoliert.

Fig. 15
Meidinger-
Elemente.

In dem Oberteil des Standglases hängt an drei Winkeln ein Zinkring, an dem ebenfalls ein Kupferdraht als — Ableitung befestigt ist. Als Füllung verwendet man zweckmässig Regenwasser, dem je nach Grösse des Elementes 15 bis 25 g Bittersalz beigegeben werden.

Auf den Boden des Gefässes werden sodann noch mehrere Stücke Kupfervitriolkristalle gelegt. Nach einiger Zeit bildet sich im unteren Teil des Elementes eine blaue Schicht, die zum mindesten den Kupferring bedecken muss. Ist dies nicht der Fall, so ist noch Kupfervitriol nachzuwerfen. Keineswegs darf jedoch die Lösung so hoch steigen, dass der Zinkring damit in Berührung kommt. Die Abbildung zeigt den allerhöchsten Stand, den die blaue Lösung erreichen darf.

Wird der Stromkreis des Elementes geschlossen, so wird, wie beim Daniell-Element, an der positiven Elektrode reines metallisches Kupfer niedergeschlagen. Die somit frei werdenden Bestandteile SO_4 der zersetzten Kupfervitriollösung wandern zum Zinkpol und bilden hier mit den sich ablösenden Zinkteilen schwefelsaures Zink oder, wie der chemische Ausdruck sagt, Zinksulfat ($ZnSO_4$). Während der Stromerzeugung verringert sich demnach der Bestand an Kupfervitriollösung. Man erkennt die Abnahme an der immer blasser werdenden Färbung der anfangs tiefblauen Lösung. Um das Versagen der Elemente zu verhüten, muss daher, der Stromleistung entsprechend, stets etwas $CuSO_4$ nachgefüllt werden.

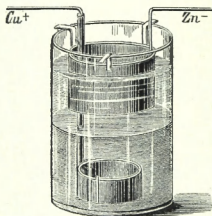


Fig. 15.

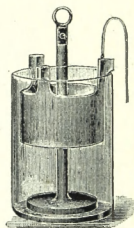


Fig. 16.

Das Meidinger-Element hat, wie das Daniell- und Bunsen-Element, ebenfalls zwei Flüssigkeiten. Kupfer in Kupfervitriol und Zink in Zinkvitriol. Während jedoch bei Daniell und Bunsen die beiden Flüssigkeiten durch eine poröse Scheidewand voneinander getrennt werden, wirkt beim Meidinger-Element lediglich der spezifische Gewichtsunterschied der beiden Elektrolyten. Da Zinkvitriol leichter ist als Kupfervitriol, so schwimmt es gewissermassen oben, wie eine Oelschicht auf Wasser. Daraus ergibt sich wiederum eine Behandlungsregel, und zwar die, dass das Element nicht transportabel ist und auch sonst keine Erschütterung erleiden darf. Nach längerem Gebrauch bilden sich an dem Zinkring graubraune Zapfen; die meistens daher rühren, dass entweder zu viel Kupfervitriol auf einmal eingelegt worden ist, oder dass sich durch Erschütterungen die Flüssig-

keiten etwas vermischt haben, was auch durch Hineinwerfen grösserer Stücke geschehen sein kann.

Man kann diese Zäpfchen durch einen umgebogenen Zinkstreifen vorsichtig abstossen. Da sich stets fortschreitend Zinkvitriol bildet, so wird die Lösung allmählich zu stark gesättigt. Es wäre an der Zeit, die Elemente zu zerlegen, die Elektroden zu reinigen und das Element neu anzusetzen. Ist es aber zurzeit nicht möglich, die Batterie auszuschalten, so kann man sich in der Weise helfen, dass man mit einem Heber oder mit einer Glasspritze vorsichtig einen Teil der Zinkvitriollösung absaugt und dann ebenso vorsichtig wieder durch Regenwasser auffüllt.

Eine ähnliche Ausführung, wie die vorstehend beschriebene Anordnung, zeigt Fig. 16. Der Zinkring ist gegossen und hängt an drei gleichzeitig mit angegossenen Nasen. Eine Abweichung bildet hier die positive Elektrode. An Stelle des Kupferringes ist eine gegossene Bleiplatte verwendet. Der in der Mitte stehende Bleistab ist gleichfalls mit angegossen und dient als $+$ Ableitung. Da Zinkvitriol das Blei nicht angreift, so braucht der Stab auch nicht isoliert zu sein. Die Zusammensetzung und Wirkungsweise des Elementes ist dieselbe wie zu Fig. 15. Da sich bei der Strombildung an der positiven Elektrode, also in diesem Falle an der Bleiplatte, das ausgeschiedene reinmetallische Kupfer niederschlägt, so dauert es nicht lange, bis die Platte vollständig mit einer Kupferschicht überzogen ist. Es stehen sich sodann ebenfalls Kupfer und Zink als Elektroden gegenüber.

Diese sogen. offenen Meidinger-Elemente, auch Krüger-Elemente genannt, bedürfen, wie ersichtlich, einer steten Wartung. Auch ist das Eindringen von Staub von Nachteil.

Fig. 17 (S. 42) zeigt eine Ausführungsform, die manchen Vorteil bietet. Das Standglas ist durch einen Deckel geschlossen. In der Mitte des Deckels ist durch eine runde Oeffnung ein Glasrohr eingesetzt. Das untere, mit einer kleinen Oeffnung versehene Ende des Rohres reicht bis nahezu auf den Boden des Gefässes. Die positive Elektrode liegt nicht, wie bei Fig. 15 u. 16, unmittelbar auf dem Boden des Standglases, sondern, wie die Abbildung zeigt, ist zunächst, ein kleines Glas, in der Form eines niederen Wasserglases, eingesetzt. In diesem kleinen Einsatzglase liegt die Kupfer- oder Bleielektrode. Das im Deckel hängende Glasröhrchen dient zur Aufnahme einer entsprechenden Menge Kupfervitriol, das sich durch das von unten eindringende Wasser allmählich auflöst und die Kupfervitriollösung in ziemlich gleichmässiger Sättigung erhält.

Das
Meidinger-
Ballon-
element.

Durch diese Einrichtung kann das Element längere Zeit ohne Aufsicht arbeiten; auch ist bei der Auffüllung keine Gefahr vorhanden, dass sich die beiden Elektrolyten vermischen.

Die grösste Lebensdauer nach einmaliger Füllung hat jedoch das ursprüngliche Meidinger-Ballonelement. Fig. 18 zeigt eine betriebsfertige Zusammenstellung dieser Art. Das Standglas hat unterhalb der Mitte eine Verengung. Auf dem so entstandenen Ansatz steht der Zinkring. Das kleine Einsatzglas, das zur Aufnahme der Kupferelektrode dient, ist in dieser Abbildung etwas deutlicher erkennbar. Der Behälter, der zur Auf-

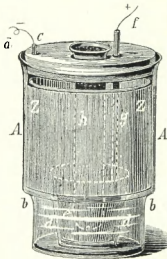


Fig. 17.

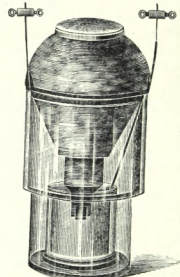


Fig. 18.

nahme der Kupfervitriolkristalle dient, ist als birnförmige Flasche ausgebildet. Soll das Element in Betrieb gesetzt werden, so wird zunächst der Ballon mit kleinen Kupfervitriolstücken gefüllt und, soviel noch Raum vorhanden, Wasser aufgegossen. Die Oeffnung ist dann mit einem Kork, der vorher mit heissem Paraffin getränkt wurde, zu verschliessen. Durch die Mitte des Korkes ist jedoch vorher ein kurzes Glasröhrchen zu stecken, damit die Vitriollösung langsam austreten kann.

Das Standglas wird mit Regenwasser oder in Ermangelung dessen mit abgekochtem Wasser gefüllt und je nach Grösse 20 g Bittersalz beigegeben. Der Ballon wird hierauf mit der Oeffnung nach unten in das Standglas eingesetzt, wobei das Ende des Glasröhrchens bis in die Mitte des Einsatzglases reichen muss. All-

mählich tritt nun die blaue Lösung aus dem Ballon aus und füllt das kleine Einsatzglas, worauf das Element gebrauchsfertig ist.

Es wurde schon bemerkt, dass sich mit der Zeit an der Zinkelektrode Niederschläge ansetzen. Teile dieser schlammigen Masse lösen sich nach und nach ab und fallen zu Boden. Die Kupferelektrode der Elemente Fig. 15 u. 16 wird daher verunreinigt; es kommen Körper miteinander in Berührung, die aus verschiedenartigem Material bestehen. Wir wissen aus früheren Darlegungen, dass eine Spannung, eine elektromotorische Kraft entsteht, sobald sich zwei verschiedene Körper in einer Flüssigkeit gegenüberstehen. Dasselbe muss daher auch eintreten, wenn Zinkteilchen mit der Kupferelektrode in Berührung kommen.

In der Tat zeigt eine genaue Beobachtung und Messung, dass die elektromotorische Kraft eines offenen Krüger-Elementes merklich nachlässt, sobald die Kupferelektrode mit abgelösten Zinkteilchen bedeckt ist.

Hier entstehen sogen. lokale Ströme, die sich durch die unmittelbare Berührung der Teilchen ausgleichen. Durch Ver- Lokale
Ströme
im Element.wendung des kleinen Einsatzglases wird diesem Uebel vorgebeugt. Die etwa abfallenden Verbindungen des Zinkringes sammeln sich, wie ein Blick auf die Abbildung zeigt, zwischen dem Umfang des Einsatzglases und dem unteren Teil des Standglases, wodurch die Kupferelektrode rein erhalten bleibt.

Lokale Ströme können aber auch noch durch etwas anderes entstehen, als durch äussere Verunreinigung. Das im Handel käufliche Zink ist selten chemisch rein. Es enthält oft Beimengungen von anderen Metallen. Namentlich die gegossenen Zinkplatten und Zinkstäbe, die nicht selten aus alten zusammengekauften Zinkgegenständen gefertigt sind, dürften alles andere sein, als ein geeignetes Material zur Herstellung von Elektroden galvanischer Elemente. Wird eine aus ungleichem Material hergestellte Elektrode mit einem Elektrolyten in Berührung gebracht, so entstehen in der Elektrode selbst elektrische Spannungen, die sich sofort ausgleichen und somit auch Material auflösen und verbrauchen.

Dieser Umstand trägt mit dazu bei, dass manche Elemente in der Ruhe einen wesentlichen Spannungsabfall zeigen. Es ist also nicht immer Form und Zusammensetzung eines Elementes massgebend für die Güte desselben, sondern es hängt in dieser Beziehung viel von dem Verständnis und der Gewissenhaftigkeit des Fabrikanten ab.

Die Anlag-
mieren der
Elektroden.

Um die Wirkungen der lokalen Strombildung möglichst zu vermeiden, hat ein englischer Physiker vorgeschlagen, die Zinkelektrode mit Quecksilber zu überziehen. Zu diesem Zwecke wird die Zinkplatte oder der Zinkring zuerst in verdünnte Schwefelsäure getaucht, bis die Säure leicht aufbraust. Sodann verreibt man mit einer harten Bürste einen Tropfen Quecksilber so lange, bis die Oberfläche allseitig glänzend erscheint. Hierauf wird die Elektrode mit reinem Wasser abgewaschen. Das Amalgamieren, wie man diesen Vorgang nennt, empfiehlt sich bei allen Elektroden der Primärelemente. Namentlich müssen jene Elektroden, die mit stark ätzenden Säuren in Berührung gebracht werden, mit einem Ueberzug von Quecksilber versehen sein.

Das Meidinger-Element dürfte wohl, seiner praktischen Brauchbarkeit wegen, seinerzeit die grösste Verbreitung gefunden haben. Die elektromotorische Kraft, d. h. die Spannung, ist zwar nicht sonderlich hoch; auch kann aus verschiedenen Ursachen keine grosse Stromstärke entnommen werden. Dahingegen besitzt das Element, im Gegensatz zum Chromsäure-Element, eine äusserst gleichbleibende (konstante) Kraftentwicklung. Selbst wenn der Stromkreis dauernd geschlossen bleibt, hört die Stromentwicklung nicht auf, solange eben noch Depolarisationsmasse (Kupfervitriol) vorhanden ist.

Während die vorstehend beschriebenen Elemente zwei Flüssigkeiten enthalten, die entweder durch eine poröse Scheidewand oder durch ihren spezifischen Gewichtsunterschied voneinander getrennt gehalten werden, kommt bei den nachstehenden Anordnungen nur ein Elektrolyt zur Anwendung. Auch der Umstand, dass die Zink-Kupferelemente nach Meidinger eine verhältnismässig geringe Spannung aufweisen, wird mit Veranlassung gegeben haben, weitere Versuche in dieser Richtung anzustellen.

Die
Zink-Kohle-
Elemente.

Wir wissen, dass die Grösse der Spannung, oder was dasselbe ist, die elektromotorische Kraft, in erster Linie abhängig ist von der Beschaffenheit der sich gegenüberstehenden Elektroden. Demzufolge herrscht ein grösserer Spannungsunterschied zwischen Zink und Kohle als wie zwischen Zink und Kupfer. Auf diesem Grundsatz beruhen die verschiedenen Elementtypen von Leclanché, Barbier, Fleischer usw.

Betrachten wir nun zunächst eine einfache Zusammenstellung dieser Art, unbekümmert darum, ob die Entstehung den chronologischen Tatsachen entspricht oder nicht.

In einem zylindrischen Standglase (Fig. 19) steht eine Kohlenplatte und in einer Entfernung von einigen Zentimetern gegen-

über hängt am Deckel eine Zinkplatte, die jedoch bis ungefähr ein Drittel ihrer Länge vom Boden des Standglases entfernt ist. Als Elektrolyt dient eine Salmiaklösung.

Aus unseren früheren Betrachtungen ist uns bekannt, dass während der Stromentwicklung die positive Elektrode, also hier die Kohlenplatte, mit Wasserstoffbläschen besetzt wird. Es handelt sich nun darum, diesen Wasserstoff zu beseitigen. Es wurde schon bemerkt, dass auch Braunstein ein sauerstoffhaltiger Körper ist. Wie die Abbildung (Fig. 19) zeigt, ist der Boden des

Das
Braunstein-
Element.

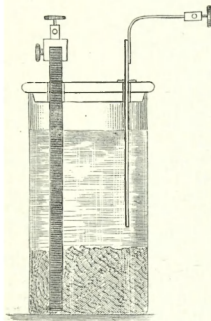


Fig. 19. Braunstein-Element.

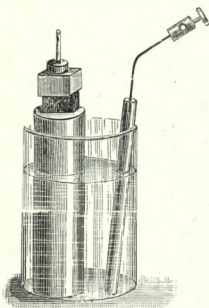


Fig. 20. Leclanché-Element.

Standglases mit einer starken Schicht Braunsteinkörner belegt. Der freiwerdende Wasserstoff soll nun durch den vom Braunstein abgegebenen Sauerstoff wieder in Wasser verwandelt werden.

Dieses Element, das den Namen Braunsteinelement führt, zeigt jedoch gegenüber den uns schon bekannten Daniell-, Bunsen- und Meidinger-Elementen ein völlig verschiedenes Verhalten in bezug auf seine Stromabgabe.

Durch den grösseren Abstand der Elektroden in der Spannungsreihe ist auch die elektromotorische Kraft des Elementes eine grössere. Wird jedoch der Stromkreis des Elementes geschlossen, so geht die elektromotorische Kraft bald zurück; wir haben also einen raschen Spannungsabfall zu verzeichnen. Steht das

Element längere Zeit in Ruhe, so erholt sich die Spannung (wenigstens solange das Element neu ist) wieder bis nahezu der Anfangsspannung. Dieser Vorgang wiederholt sich, bei steter Abnahme der jeweiligen Höchstspannung, bis die Bestandteile des Elements verbraucht sind.

Regenera-
tion der
Elemente.

Die Ursache dieser Eigentümlichkeit dürfte darin zu suchen sein, dass die Abgabe von Sauerstoff der Entwicklung des Wasserstoffes nicht gleichen Schritt hält. Die Depolarisation wirkt also zu langsam. Die leicht bewegliche, flüssige Depolarisationsmasse des Meidinger-Elementes (aufgelöstes Kupfervitriol) umgibt die positive Elektrode vollständig. Der Wasserstoff kann also nicht an die Kupferplatte gelangen. Die festen Braunsteinstücke geben dahingegen ihren Sauerstoffgehalt nur langsam ab, und daher auch das „allmähliche“ Erholen der Spannung bei dem Braunelement. Dieses Wiedererholen nennt man auch die Regeneration der Elemente.

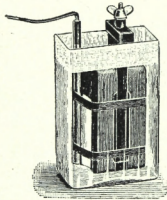


Fig. 21.

Braunstein-Brikett-Element.

Eine auf demselben Prinzip beruhende Zusammenstellung zeigt das Element von Leclanche (Fig. 20). Die depolarisierenden Braunsteinkörner umgeben die Kohlenplatte vollständig. Um das Abfallen zu verhüten, ist die Kohle in einen porösen Tonzylinder gestellt und der noch freibleibende Raum mit Braunsteinstückchen ausgefüllt. Die negative Elektrode besteht aus einem Zinkstab, wodurch die wirksame Oberfläche bedeutend verringert wird. Durch diese Oberflächenverringering des Zinkes erhält die positive Kohle und der Depolarisator ein bedeutendes Uebergewicht in der Wirkung. Ein Nachteil ist jedoch der Tonzylinder, sobald die Poren desselben verunreinigt sind. Auch der erhöhte Preis dürfte zeitweise zu berücksichtigen sein.

Das
Braunstein-
Brikett-
Element.

Fig. 21 zeigt das Braunstein-Brikettelement, das seinen Namen von der Brikettform der Braunsteinplatten erhalten hat. Wie aus der Abbildung ersichtlich, sind zwei aus Braunstein gepresste Platten durch Gummibänder an der Kohlenplatte befestigt. Als negative Elektrode dient ebenfalls ein Zinkstab.

Später versuchte man, die erforderliche Braunsteinmenge der Kohle gleich beizumengen. Die in den galvanischen Elementen gebräuchlichen Kohlen sind keine natürlichen, sondern künstlich

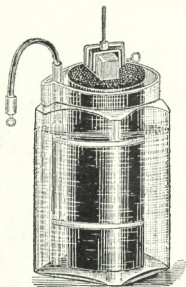
erzeugte. Um der Kohlenelektrode eine depolarisierende Wirkung zu geben, wird ein Gemenge aus Braunstein, Retortenkohle und einem geeigneten Bindemittel, z. B. Schellack, unter starker Erhitzung und grossem Druck in die gewünschte Form gepresst.

Ein derartiges Element zeigt Fig. 22, das im allgemeinen unter dem Namen Leclanché-Element bekannt ist. Ein Nachteil, der diesen Elementen anhaftet, besteht darin, dass der Zinkstab gleichfalls mit der Kohle den Boden des Standglases berührt.

Es bilden sich nach längerer Zeit Kristalle, sowohl an der Kohle, wie auch hauptsächlich am Zinkstab. Auch lösen sich von dem Zinkstab selbst Teilchen ab, die dann zu Boden fallen und eine leitende Verbindung zwischen den beiden Elektroden herstellen. Das Element erhält dadurch sogenannten inneren Kurzschluss, da der Strom vom Zinkstab, durch Vermittelung der unerwünschten Verbindung zur Kohle übergeht. Das Element verzehrt sich daher oft sehr schnell, ohne dass demselben nennenswerte Strommengen entnommen worden sind.

Als eine Verbesserung kann daher das in Fig. 23 u. 24 veranschaulichte Fleischer- oder Standkohlenelement betrachtet werden. Die runde Kohle hat unten einen grösseren Durchmesser; auch werden diese bisweilen mit einem Hohlraum versehen. Damit die Flüssigkeit auch dort eintreten kann, besitzt der Kohlenzylinder an mehreren Stellen Oeffnungen. Durch diese bedeutende Oberflächenvergrösserung der positiven Elektrode ist es auch möglich, anstatt eines Zinkstabes einen Zinkzylinder zu verwenden. Wie die Abbildung zeigt, hängt der Zinkzylinder mit drei Nasen auf dem oberen Rand des Standglases. Die Länge ist so bemessen, dass der stärkere Teil der Standkohle noch genügend Abstand hat. Fig. 24 unterscheidet sich dadurch, dass das Standglas mit einem Deckel verschlossen ist, wodurch die Ausdünstung des Wassers verzögert und das Einfallen von Staub verhütet wird. Die Elemente werden bis zu einer Grösse von 44 cm Höhe hergestellt. Bei solchen Abmessungen ist die Leistung natürlich auch eine dementsprechende.

Das
Leclanché-
Element.



Das
Fleischer-
Element.

Fig. 22.

Leclanché-Element

Die Beutel-
Elemente.

Seit einigen Jahren scheint sich eine andere Elementtype die Vorherrschaft auf dem Markt zu erobern, das sogen. Beutelelement. Als Elektroden finden ebenfalls Zink und Kohle Anwendung. Der Depolarisator ist jedoch nicht der Kohle beigefügt und zu einer Masse vereinigt, wie beim Leclanché- und Fleischer-Element, sondern ein vorwiegend runder Kohlenstab (von 10 bis 20 mm Durchmesser, je nach Elementgrösse) wird mit einem Gemisch aus fein zerteiltem Braunstein und Graphit umpresst, und damit die Masse nicht abfallen kann, mit einem

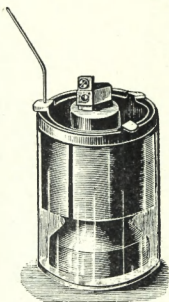


Fig. 23.

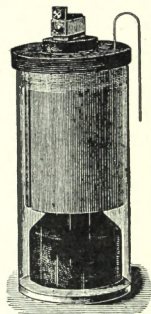


Fig. 24.

Fleischer- oder Standkohlen-Elemente.

Stück Leinwand umwickelt und verschnürt. Einige Fabrikanten fügen dieser Mischung auch gleichzeitig die Erregersalze bei, so dass durch Aufgiessen von reinem Wasser das Element sofort gebrauchsfertig angesetzt ist, sobald sich die Salze aufgelöst haben. Ist kein Erregersalz beigefügt, so muss natürlich eine Salmiaklösung eingefüllt werden. Die Beigabe von Graphit hat vorwiegend den Zweck, die Leitungsfähigkeit der Elektroden zu erhöhen.

Das in Fig. 25 dargestellte Element mit Kohlenbeutel ist ein Erzeugnis der Rhenus-Elementefabrik, G. m. b. H., Köln a. Rh. Die äusserst sauber ausgeführten Bestandteile des Elements haben ausserdem eine in mancher Beziehung vorteilhafte Anordnung.

Der amalgamierte Zinkzylinder hängt mittels dreier Lappen auf dem Ansatz einer Einschnürung am Oberteil des Standglases vollständig frei. In der Mitte des Bodens ist eine Vertiefung angebracht, die zur Aufnahme des Kohlenstabes dient. Ein Glasdeckel, der durch eine seitliche Einkerbung den negativen Ableitungsdraht austreten lässt, hat ausserdem in der Mitte eine runde Oeffnung, aus der das obere Ende des Kohlenstabes hervorragt. Durch diese Anordnung ist erreicht, dass der Kohlenbeutel möglichst an allen vier Seiten gleichen Abstand von dem Zinkzylinder hat. Es kann daher der Zwischenraum der Elektroden ein ziemlich geringer sein, was in bezug auf Stromabgabe, wie wir später sehen werden, von Bedeutung ist.

Die Behandlung der vorstehend beschriebenen Elemente ist eine sehr einfache. Es kommt nur darauf an, dass sachgemäss bei der Zusammenstellung verfahren wird. Man sehe vor allen Dingen darauf, dass die Polklemmen möglichst fest angezogen sind. Bei manchen Fabrikaten sind namentlich auf den runden Kohlenstäben die Kohlenkappen oder Schrauben nur lose aufgesteckt. Man sagt: zur leichteren Auswechselung der Elektroden! Diese Einrichtung ist jedoch falsch. Nur eine unbedingt festsitzende Verbindungskappe garantiert für einen längeren guten Kontakt zwischen Kohle und Ableitungsdraht. Auch die vielfach gebräuchlichen Bleiableitungen an der Zinkelektrode sind zu verwerfen, da erstens das Blei sehr leicht oxydiert, und zweitens ein Bleistreifen sich niemals vollständig festschrauben lässt, weil sich das Blei zusammendrückt. Ferner ist darauf zu achten, dass weder die Gläser noch die oberen Teile der Elektroden und vor allem die Klemmschrauben benetzt werden, da sonst die Salmiaklösung leicht auskristallisiert und die Klemmen oxydieren.

Bei den älteren Salmiakelementen fand man sehr häufig, dass die Klemmschraube an der Kohlenelektrode stark mit Grünspan bedeckt wurde. Diese Erscheinung hatte darin ihre Ursache, dass die Salmiaklösung in der porösen Kohle aufsteigen konnte (Kapillarität).

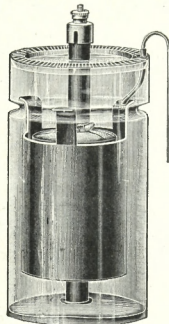


Fig. 25.
Rhenus - Element.

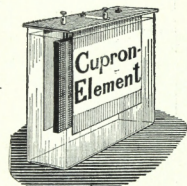
Behandlung
der
Elemente.

Man hat diesen Uebelstand dadurch beseitigt, dass der obere, aus der Flüssigkeit hervorragende Teil der Kohle mit heissem Paraffin getränkt wird, wodurch die Poren verstopft werden. Es empfiehlt sich, auch den oberen Rand des Standglases mit Paraffin oder einer anderen Fettschicht zu überziehen, um das Ueberwuchern der sich bildenden Kristalle zu verhüten.

Der Verwendungsbereich dieser Zink-Kohlen-Salmiak-elemente ist durch die eingangs erklärte Wirkungsweise gegeben. Die langsame Regeneration gestattet eine periodische Stromentnahme von kurzer Dauer, mit entsprechenden Ruhepausen. Für Dauerstrom, sogen. Ruhestrom, sind diese Elemente nicht geeignet. Dahingegen bleiben die neueren Typen, je nach Stromentnahme, mehrere Jahre wirksam.

Für Ruhestrombetrieb eignen sich die nachstehenden Typen, und für die jeweiligen Bedürfnisse der Schwachstromtechnik verdient die eine oder andere Zusammenstellung den Vorzug.

Das „Cupron“-Element, Fig. 26, ist ein Zink-Kupferelement; seine Spannung ist demnach nicht so hoch, wie die der Zink-Kohlenelemente. Dahingegen besitzt es eine ausserordentliche Konstanz, die derjenigen der Meidinger-Elemente noch überlegen ist.



Das Cupron-
Element.

Fig. 26.

Die Fabrikanten dieses Elementes, Umbreit & Matthes, Elektrische Fabrik, Leipzig-Plagwitz, geben in ihren Prospekten über die Entstehung des Cupronelementes folgenden Aufschluss:

„Die bekannte Erscheinung, dass Kupferoxyd leicht seinen Sauerstoff unter Reduktion an andere Körper abgeben kann, führte schon im Jahre 1881 Lalande (Paris) zur Konstruktion eines galvanischen Elementes aus Kupferoxyd und Zink in Kalilauge, und wohl nur gewisse Mängel, insbesondere die nicht gelungene Lösung der Aufgabe, das Kupferoxyd in feste, bei der Ladung (Regeneration) genügend leicht oxydierbare Form zu bekommen, an welcher sich auch Edison vergeblich versuchte, liessen der Lalandeschen Konstruktion keinen Eingang in das praktische Leben finden. Erst das Cupronelement, welches seit dem Jahre 1894 im Handel ist, verwirklichte die Hoffnungen, die an die Lalandesche Idee gestellt wurden, indem es Platten in fester, aber poröser Form erhielt, die sich infolge ihrer

Porosität an warmer Luft von selbst oxydieren (also wieder laden). Die bei Stromschluss in dem Cupronelement auftretende chemische Aktion besteht darin, dass unter Reduktion des Kupferoxydes zu metallischem Kupfer das Zink oxydiert wird, und das gebildete Zinkoxyd in der Natronlauge sich löst. Spannungsabfall durch Polarisation ist ausgeschlossen, und es behält daher das Cupronelement auch bei andauerndem Schluss seine normale Spannung von 0,8 Volt während der ganzen Entladungsperiode bei. Aus dieser Eigenschaft, die das Cupronelement mit den gebräuchlichen Akkumulatoren teilt, resultiert dessen grosser Wert für alle Zwecke, bei denen es darauf ankommt, einen Strom von gewisser konstanter Stärke und Spannung für eine längere Zeitdauer zur Verfügung zu haben.

Ausser der konstanten Spannung liefert dieses Element (im Gegensatz zum Meidinger-Element) auch eine hohe Stromstärke. Grösse I kann mit 1 bis 2 Amp. beansprucht werden und leistet bis zur völligen Erschöpfung 50 Amperestunden. Während die Grösse IV mit 8 bis 16 Amp. belastet werden kann und 400 Amperestunden liefert.

Diese hohe Stromstärke ist zum Teil durch die grosse Oberfläche und den geringen gegenseitigen Abstand der Elektroden (Kupfer- und Zinkplatten), sowie den dadurch bedingten, sehr niederen inneren Widerstand ermöglicht. Grösse I hat 0,06 Ohm und Grösse IV nur 0,0075 Ohm.“

Zur Behandlung obiger Elemente haben die Fabrikanten folgende Vorschriften gegeben: Behandlung
der Cupron-
Elemente.

I. Füllung. 1. Die Cupronelemente erhalten zur Füllung folgende Mengen Aetznatron:

Nr. I	II	III	IV	
0.2	0.4	0.8	1.6 kg.	Das

Aetznatron muss ausserdem 1 Prozent unterschwefligsaures Natron enthalten, um die Zinkplatten vor ungleichmässiger Abnutzung zu schützen, und das Absetzen harter Krusten auf dem Boden der Glasgefässe zu verhindern. Das von der Firma gelieferte Aetznatron hat diesen Zusatz im richtigen Verhältnis.

2. Die Auflösung des Aetznatrons kann sowohl in einem grösseren Gefäss für mehrere Elemente gemeinsam, als auch in jedem Elementglas direkt erfolgen. Zu letzterem Zweck werden Normaldosen von 0,2, 0,4, 0,8, 1,0, 1,2 und 1,6 kg Inhalt geliefert.

Beim Auflösen des Aetznatrons in den Glasgefässen müssen diese vorher $\frac{3}{4}$ mit Wasser gefüllt sein und die Lösung be-

ständig mit einem Holz- oder Glasstab gerührt werden, bis sämtliches Natron gelöst ist. Dann hebt man die Elementsysteme in die Lösung und giesst eventuell bei jedem Element so viel Wasser nach, dass die Lösung 3 bis 5 mm über allen Platten steht.

Beim Auflösen des Aetznatrons in einem grösseren Gefässe für mehrere Elemente gleichzeitig, nimmt man pro Element

Nr. I	II	III	IV	
$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	6 Liter	Wasser und verteilt die erkaltete

Lösung gleichmässig in alle Glasgefässe. Es muss auch hierbei noch Wasser nachgefüllt werden, dass die Lösung 3 bis 5 mm über allen Platten steht.

Beim Arbeiten mit Aetznatronlauge usw. ist Vorsicht nötig, da dieselbe die Farbe der Kleider und Fussböden angreift.

Als „Wasser“ kann jedes reine verwendet werden, beim „harten“ Wasser scheiden sich nach dem Erkalten Flocken aus, welche mit der Zeit zu Boden sinken und vollständig unschädlich sind.

3. Zum Schutz gegen schädigende Einflüsse der Kohlensäure der Luft giesst man auf die Lösung jedes Elementes noch eine 3 bis 5 mm hohe Schicht helles Vaselineöl oder (falls am Orte nicht erhältlich) Paraffinöl. Auch Petroleum dient diesem Zweck, nur verdampft dieses mit der Zeit und muss danach erneuert werden.

4. Beim Kauf von Aetznatron verlange man „hochgrädiges“, denn nur dieses ist befähigt, eine gute Stromerzeugung zu sichern.

II. Kupferplatten. 5. Die schwarzen Kupferoxydplatten werden durch die Entladung zu roten Kupferplatten reduziert. Man erkennt sonach schon an der Farbe der Platten, wenn die Entladung beendet und eine Wiederladung (Regeneration) benötigt ist. Zu letzterem Zweck schraubt man die Kupferplatten vorsichtig (denn sie sind durch die Entladung etwas leichter geworden) aus den Systemen, wickelt sie zusammen in Papier und legt das Paket einige Tage an einen trockenen, warmen Ort. Durch eine Temperatur von 100 bis 150 Grad, wie z. B. im Kochofen, lässt sich die Oxydation schon in einigen Stunden erzielen.

6. Wenn die entladenen Kupferplatten längere Zeit in mit Zink gesättigter Lauge gestanden haben, füllen sich die Hohlräume derselben (Poren) oft mit einer weissen Masse (Zinkoxyd), welche einer guten Oxydation hinderlich ist.

In diesem Falle legt man die Platten vor der Oxydation einige Stunden in frische Natronlösung und oxydiert erst dann. (Die Lösung kann dann zur nächsten Füllung benutzt werden.)

7. Wenn eine Anwendung eine Unterbrechung von einigen Tagen nicht gestattet, ist es ratsam, einen Satz Reserveoxydplatten anzuschaffen. Während der eine Satz entladen wird, hat der andere genügend Zeit, gut zu oxydieren.

III. Zinkplatten. 8. Die Zinkplatten sind von der Fabrik aus amalgamiert, und hält sich das Quecksilber zum grössten Teil auf der Platte, bis sie verbraucht ist. Es ist daher eine nochmalige Amalgamierung bei Wiederfüllung nicht nötig. Ebenso ist eine besondere Reinigung nur dann angebracht, wenn die Zinkplatten infolge weitgehender Ausnutzung der Lauge mit harten Kristallen belegt sind.

IV. Verschiedenes. 9. Beim Zusammensetzen der Elemente ist streng darauf zu achten, dass alle Platten gut parallel zueinander stehen und sonach eine Berührung (innerer Schluss) vermieden wird. Auch ist streng darauf zu achten, dass alle Schrauben und Verbindungen gut angezogen sind.

10. Frisch gefüllte Elemente haben anfangs eine etwas höhere Spannung (1 bis 1,1 Volt). Diese sogen. Ueberspannung rührt von dem in den Poren der Kupferplatte okkludierten Sauerstoff her. Man nützt diese Ueberspannung dadurch aus, dass man anfangs weniger Elemente einschaltet.

11. Der Verbrauch der Lösung tritt gleichzeitig mit der Entladung der Oxydplatten ein. Die Lösung ist also jedesmal mit der Oxydation der Kupferplatten zu erneuern. Man erkennt den Verbrauch der Lösung auch, wenn sich innerhalb der Glasgefässe Kristalle an die Wände absetzen.

12. Die Glasgefässe sind vor jeder Füllung mit reinem Wasser zu spülen. Das Entfernen etwaiger festhaftender Niederschläge (Kristalle) ist nicht nötig, da diese Arbeit von der nächsten Lauge besorgt wird.

Ein in seiner Zusammensetzung dem Cupronelement ähnliches Element ist in Fig. 27 (S. 54) dargestellt.

Das Delefelement.

Die positive Elektrode besteht ebenfalls aus Kupfer, und zwar aus einem engmaschigen Kupfergewebe. Die negative Elektrode ist aus einer, mit Quecksilber überzogenen Zinkplatte gebildet. Als Elektrolyt findet hier eine Lösung von Aetznatron Verwendung. Die Behandlung entspricht im allgemeinen denen der Cupronelemente. Ist das Element angesetzt, so zeigt es

häufig keine Spannung. Man verbindet daher die beiden Elektroden durch ein kurzes Stück Kupferdraht, schliesst es also kurz und lässt es einige Minuten stehen. Dadurch klärt sich auch die, manchmal auftretende, bläuliche Färbung des Elektrolyten. Das Element erreicht eine Spannung von etwa 0,7 Volt. Eine Eigentümlichkeit besteht darin, dass das Element nach längerer Ruhepause oft in der Spannung so weit zurückgeht, dass es stromlos erscheint. Bei dauernder Beanspruchung hingegen erhält sich die Spannung nahezu gleichmässig. Auch diesem Element können grosse Stromstärken entnommen werden.



Fig. 27.

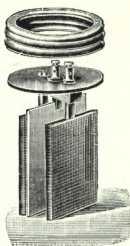


Fig. 28. Verschraubung und Platteneinsatz.

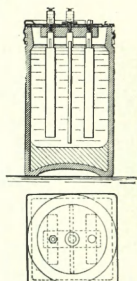


Fig. 29. Querschnitt und Grundriss.

Es empfiehlt sich nicht, Petroleum als Aufguss zu verwenden, da letzteres leicht verdunstet und auch an der Glaswandung, sowie dem Deckel emporsteigt; wodurch die Elemente ein unsauberes Aussehen erhalten.

Um die Natronlauge vor der Einwirkung der Luft zu schützen, ist ein Aufguss von Vaselineöl geeigneter. Bei der Auflösung des Aetznatrons entwickelt sich starke Wärme, so dass oft die Gläser zerspringen; man tut gut, die Gläser in ein grösseres Gefäss mit kaltem Wasser zu stellen. — Fig. 28 veranschaulicht den Platteneinsatz und Fig. 29 den Querschnitt, sowie den Grundriss. Dieses Element wird unter dem Namen „Delef-Element“ von der Firma Ernst Wiechmann, Berlin, in den Handel gebracht.

Ein verhältnismässig kleines und daher sehr handliches Element wird unter dem Namen „Heilelement“ (Fig. 30) von der schon genannten Firma Umbreit & Matthes geliefert. Das Heilelement ist nach Angabe der Fabrik ein Quecksilberoxydzinkelement. Als Elektrolyt dient auch hier, wie bei Cupron- und Delefelement, Aetznatron. Wie die Abbildung zeigt, hat das Standglas eine hohe zylindrische Form. Auf der unteren Einschnürung des Glases steht ein starker amalgamierter Zinkring mit einem Ableitungsdraht. Die positive Elektrode besteht aus einer Metallplatte, auf deren beiden Flächen das Quecksilberoxyd durch einen verschnürten Leinwandbeutel festgehalten wird. Diese Beutelelektrode stützt sich ebenfalls auf die Einschnürung des Glases und wird am Ableitungsdraht durch eine kleine Oeffnung im Deckel in senkrechter Stellung gehalten. Die Füllung geschieht wie bei den beiden obengenannten Elementen. Auch hier ist darauf zu sehen, dass die Natronlösung erst erkaltet ist, bevor man die Elektroden einsetzt. Die Elektroden müssen von der Flüssigkeit vollständig bedeckt sein und mit einer etwa 5 mm hohen Schicht Vaselineöl von der Luft abgeschlossen werden. Petroleum ist nicht zu empfehlen, da dieses sehr leicht verdunstet. Auch dieses Element ist für Dauerstrom geeignet. Die Spannung ist jedoch fast doppelt so hoch, wie die der Cupron- und Delefelemente; sie beträgt offen 1,32 Volt. Bei dauernder Stromentnahme sinkt die Spannung auf etwa 1,25 bis 1,20 Volt, hält sich jedoch auf dieser Höhe konstant, bis das Element vollständig verbraucht ist. Das Element kann erneuert werden, jedoch ist bei jeder Neufüllung auch die positive Elektrode zu ersetzen. Der Zinkring reicht für dreimaligen Gebrauch aus. In umstehender Tabelle sind die Grössen und Leistungen der drei Typen nebst Preisen angegeben.

Das
Heilelement

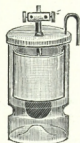


Fig. 30.

Größen, Leistungen, Gewicht und Preise der Heilelemente und Einzelteile.

Type	I	II	III
Kapazität in Ampere-Stunden	7,5	15	30,
Stromstärke in Amp. $\left\{ \begin{array}{l} \text{normal} \\ \text{maximal} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0,25 \\ 0,5 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0,5 \\ 1,0 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 2 \end{array} \right.$
Grösse der Glasgefäße in Millimeter, etwa	120 × 50	150 × 55	180 × 60
Aetznatron pro Element in Gramm	25	50	100
Gewicht pro Element exklusive Füllmasse in Gramm	370	500	700
Preis pro Element exklusive Füllmasse mit einer Klemme, Mark	1,20	2,00	3,00

Einzelteile	I	II	III
Glasgefäße $\left\{ \begin{array}{l} \text{Gewicht in Gramm} \\ \text{Preis in Mark} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 180 \\ 0,20 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 250 \\ 0,30 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 320 \\ 0,40 \end{array} \right.$
Beutel mit positiver Elektrode und Klemme, Mark	0,75	1,30	2,10
Zinkzylinder, amalgamiert, Mark	0,15	0,20	0,30
Abschlussdeckel, Mark	0,10	0,15	0,20
Endpolklemme für Zinke, Mark	0,10	0,10	0,10
Aetznatron, pulv., für zweimalige Füllung, in Blechdosen à 50, 100 u. 200 g Inhalt, pro Dose Mark	0,08	0,12	0,20

Zurückgegebene entladene Beutel werden zu 0,25 Mk. für I, 0,40 Mk. für II, 0,80 Mk. für III gutgeschrieben.

* * *

Die
Trocken-
elemente.

Alle bisher beschriebenen Elemente gehören der Klasse der sogen. „nassen“ Elemente an. Wenn auch für die verschiedensten Bedürfnisse der Schwachstromtechnik die eine oder andere Type allen berechtigten Ansprüchen in bezug auf Leistung genügt, so ist doch immerhin einige Sachkenntnis erforderlich, um die Elemente gebrauchsfertig anzusetzen. Auch die Handlichkeit, namentlich bei solchen elektrischen Einrichtungen, die oft transportiert werden müssen, ist bei den nassen Elementen

sehr erschwert. Dieser Umstand und das Bestreben, ein sofort gebrauchsfertiges Element zu liefern, führte zur Konstruktion der sogen.

Trockenelemente.

Trockenelemente im Sinne des Wortes gibt es nicht. Auch die Trockenelemente enthalten eine Erregerflüssigkeit in mehr oder weniger gebundener oder dickflüssiger Form. Als Elektroden finden Zink und Kohle Verwendung. Der vorwiegend runde Kohlenstab ist nach Art der nassen Beutelemente mit einer starken Schicht Braunsteinpulver mit Graphit untermischt und in einem Beutel verschnürt. Die Zinkelektrode ist in Form einer Röhre gebildet, und mit Boden versehen, dient dieselbe bei manchen Fabrikaten gleichzeitig als Elementgefäß. Damit jedoch beim Umstürzen der Elektrolyt nicht austreten kann, werden Sägespäne, Kleie oder auch Asbestwolle mit einer Salmiaklösung stark durchtränkt in den Zwischenraum von Kohlenbeutel und Zinkring eingestampft. Als Verschluss dient in den meisten Fällen ein Aufguss von Harz oder Hartpech.

Eines der ältesten Elemente dieser Art ist durch Fig. 31 dargestellt. *K* bezeichnet den Kohlenstab, *B* die Braunsteinmasse, *A* die mit den Elektrolyten getränkte Füllmasse und *Z* den als Elementgefäß dienenden Zinkzylinder. Um die Kohle vom Boden des Gefäßes zu isolieren, ist eine Platte *S* aus Papier, Glas oder sonst geeignetem Material eingelegt. Damit die bei der Stromentwicklung auftretenden Gase entweichen können, ist noch ein kleines Bleiröhrchen *R* in die Vergussmasse eingeschmolzen.

Auch die Trockenelemente haben eine grosse Wandlung durchgemacht. Man hatte die praktische Seite bald erkannt, doch standen die Leistungen denen der nassen Elemente um ein Bedeutendes nach, so dass die Trockenelemente bald in Verruf kamen. Diese Annahme ist jedoch heute nicht mehr berechtigt.

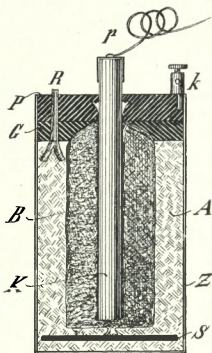


Fig. 31.

Einige Fabrikate sind, bei gleicher Grösse der Elektroden, den nassen Elementen in bezug auf Stromabgabe nicht unwesentlich überlegen. Um das Austrocknen des Elektrolyten zu verzögern, versehen einige Fabrikanten die Kohle mit einem Hohlraum (Fig. 32); dieser wurde mit kleinen Braunisteinstücken und einer Salmiaklösung gefüllt und der Boden mittels Kork verschlossen. Durch die poröse Kohlenwand drang nun die Flüssigkeit hindurch und erhielt somit das Element feucht. Später brachte man die Erregermasse in einem breiartigen Zustande in das

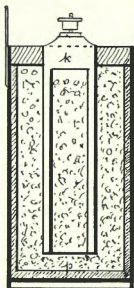


Fig. 32.

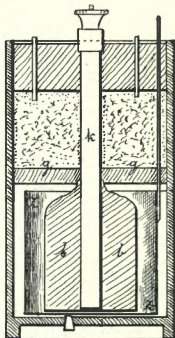


Fig. 33.

Element unter Verwendung eines geeigneten Bindemittels, wie Gelatine usw.

Das
Hellesen-
Element.

Ein im Aufbau der Fig. 33 ähnliches Element ist die Konstruktion von W. Hellesen. Der Elektrolyt ist hier mit einer dickflüssigen Gipspaste vermischt und füllt den Hohlraum zwischen Kohlenbeutel und Zinkzylinder aus. Oberhalb der Elektroden befindet sich ein entsprechender Raum, der mit Getreide- oder Reisspreu und zum Teil mit Sägespänen gefüllt ist und das Trocknen der austretenden Gase bewirken soll. Neuerdings ist das Element verändert worden. Die Entgasungsröhrchen fehlen ganz und die Vergussmasse schliesst das Innere vollständig ab.

Nach der Patentschrift soll der entstehende Gasdruck zur Regenerierung des Elektrolyten benutzt werden, indem das entwickelte Ammoniak zum Teil vom Elektrolyten wieder aufgenommen wird und sich von neuem Salmiak bilden kann. Eigene praktische Erfahrungen über diese Neuordnung liegen mir zurzeit nicht vor. Das Hellesen-Element zählte mit zu den besten Fabrikaten.

Ein dem neuen Hellesen-Element entgegengesetztes Prinzip verfolgt der Konstrukteur Anton Schneeweiss in Berlin bei seinem „Dewa“-Element. Schon Leclanche empfahl, die Kohle nicht vollständig in die Erregerflüssigkeit einzutauchen, damit das „Atmen“ der Kohle möglich sei. Spätere Untersuchungen haben dann auch bestätigt, dass bei solchen Elementen der Sauerstoffverbrauch des Depolarisators nicht im Verhältnis zur abgegebenen Strommenge stand; es musste demnach ein Teil des erforderlichen und tatsächlich verbrauchten Sauerstoffes der atmosphärischen Luft entnommen sein. Auf Grund dieser Tatsache konstruierte ich vor etwa acht Jahren ein Versuchselement nach folgender Anordnung: Aus einem viereckigen Elementgefäss war die eine Seite vollständig herausgeschnitten und die Oeffnung durch eine poröse Kohlenplatte wieder verschlossen. Die innere Seite der Kohle war mit Braunsteinpulver belegt, das durch ein Stückchen Leinwand am Abfallen verhindert wurde. Der Braunsteinschicht gegenüber stand eine Zinkplatte, und der Zwischenraum war mit einem Brei aus Salmiak, Stärkemehl und Wasser ausgefüllt. Schon damals fiel mir die grosse Erholungsfähigkeit dieses Elementes auf und wurde ich in der Annahme bestärkt, dass der Zutritt der atmosphärischen Luft nicht ohne Einfluss auf die Regeneration der Elemente sei. Da die eine Seite der Kohlenplatte bei obigem Versuchselemente eine Aussenwand des Elementgefässes darstellte, so ging dieselbe natürlich als wirksame Fläche verloren, wodurch auch der innere Widerstand erhöht wurde. Als eine glückliche Lösung des auch von mir angestrebten Prinzipes muss daher das schon erwähnte Dewa-Element angesehen werden. In einem viereckigen oder runden Gefäss steht zunächst ein hoher Zinkzylinder und in dessen Hohlraum die Kohle mit der bekannten Braunsteinschicht. Die ganze Länge der Kohle ist jedoch bis nahezu an die Klemmschraube mit einer Höhlung versehen. Letztere steht durch ein kurzes Rohr mit der Aussenluft in Verbindung. Auch die die Kohle umgebende Depolarisationsmasse ist mit mehreren Kanälen versehen, die in einen freien Raum oberhalb der Elektroden endigen und ebenfalls durch ein kleines Rohr in der Vergussmasse mit der Aussenluft

Das Dewa-
Element.

in Verbindung stehen. Durch diese lebhafteste Luftzirkulation sowohl in der Kohle, wie in der Braunsteinmasse selbst ist eine vollständige Entgasung angestrebt. Der sich bildende Wasserstoff verbindet sich mit dem Sauerstoff der Luft und es entsteht wieder Wasser, wodurch der Elektrolyt am Austrocknen verhindert wird. Das Element hat einen ausserordentlich geringen inneren Widerstand (etwa 0,08 Ohm).

* * *

Die Füllelemente.

Als eine Zwischengruppe können die sogen. „Füllelemente“ angesehen werden. Die bekannte Tatsache, dass Trockenelemente auch im unbenutzten Zustande durch längeres Lagern ihre Spannung mehr oder weniger verlieren, legte den Wunsch nahe, die Vorteile der Trockenelemente mit der Lagerfähigkeit der unangesetzten nassen Elemente zu vereinigen. An diesbezüglichen Versuchen hat es nicht gefehlt, doch haftete manchen Erzeugnissen der Uebelstand an, dass die im trockenen Zustande eingefügten Erregersalze des fertig zusammengesetzten Elementes nach und nach Feuchtigkeit aus der Luft aufsaugten und somit eine langsame Zersetzung begann und der beabsichtigte Zweck nicht erreicht wurde.

Das Dura-Element.

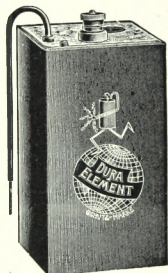


Fig. 34.

Fig. 34 veranschaulicht ein Element dieser Klasse, das von der Dura-Elementbau-Gesellschaft m. b. H. in Berlin-Schöneberg hergestellt und in den Handel gebracht wird. Ausserlich gleicht das Element in dem schwarzen Isolithebecher den bekannten Trockenelementen. Der Abschluss erfolgt jedoch nicht durch eine Vergussmasse, sondern durch einen eingeklebten Korkdeckel. Diese Anordnung hat den Zweck, das Auslaufen der Vergussmasse zu verhindern. Der im trockenen Zustande eingefügte Elektrolyt hat, wie ich seit einigen Jahren beobachtet habe, nicht die Eigenschaft, Feuchtigkeit anzusaugen. Das Element bleibt daher stromlos und hat dadurch eine grosse Lagerfähigkeit. Soll das Element in Gebrauch genommen werden, so wird in die Oeffnung des Deckels Wasser eingefüllt. Das Element gibt dann sofort Strom; bei manchen Fabrikaten ist oft ein stundenlanges Warten erforderlich, bis die volle Spannung von

1,5 Volt erreicht ist. Nach einigen Tagen verdickt sich der aufgelöste Elektrolyt zu einer gallertartigen Masse, so dass das Element gestürzt und gleich einem Trockenelement behandelt werden kann. Die Angabe der Fabrik, dass die Verdickung schon nach etwa 12 Stunden eintritt, trifft nicht zu. Man muss daher das Element einige Tage aufrecht stehen lassen. Das Dura-Element hat einen geringen inneren Widerstand und kann somit grosse Stromstärken abgeben. Auch die Regeneration ist eine ausserordentlich günstige.

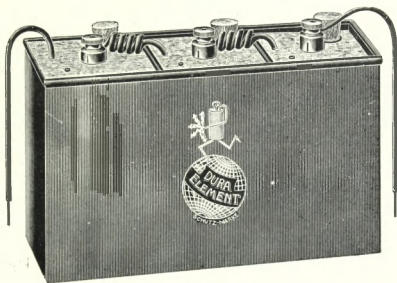


Fig. 35.

Für manche Zwecke der elektrischen Uhrmacherei kommen zwei oder auch drei Elemente in Anwendung. Durch gleichzeitigen Einbau mehrerer Zellen in einen gemeinsamen Behälter wird in vielen Fällen die Montage vereinfacht. Fig. 35 zeigt eine derartige Zusammenstellung.

Erschöpfte Trockenelemente sind im allgemeinen wertlos und müssen durch neue ersetzt werden. Und: verbrauchte nasse Elemente sind nicht viel besser.

Dem aufmerksamen Leser wird es nicht entgangen sein, worauf es bei der galvanischen Strömerzeugung ankommt. Es genügt nicht, den Elektrolyten zu ersetzen, sondern auch den Depolarisator! Gereinigte und mit neuer Füllung versehene nasse Elemente geben anfangs zwar wieder Strom ab, die volle Spannung wird jedoch nicht mehr erreicht. Auch die Lebensdauer währt

nur so lange, bis der etwa noch vorhandene Rest an Sauerstoff verbraucht ist. Für gewöhnliche Klingelanlagen mit mässiger Beanspruchung sind wieder aufgefüllte Elemente wohl noch eine Zeit lang brauchbar, für Uhrenanlagen jedoch nicht.

* * *

Die Akkumulatoren

Die
Akkumu-
latoren oder
Sekundäre-
lemente.

Geschicht-
liches.

oder Sekundärelemente sind keine Stromquellen im Sinne der Primärelemente, wie wir sie bisher kennen gelernt haben. Da jedoch die Akkumulatoren in der Technik eine bedeutende Rolle spielen, so mögen dieselben auch hier der Vollständigkeit halber erwähnt werden.

In seinem Werke, „Die Herstellung der Akkumulatoren“, Verlag von Wilhelm Knapp, Halle a. S., gibt Ingenieur F. Grünwald einige Anhaltspunkte über die Entstehung dieser Elemente wieder und führt unter anderem folgendes aus: Die Entdeckung des Prinzipes der umkehrbaren Elemente lässt sich bis auf das Jahr 1801 zurückführen, denn in diesem Jahre entdeckte Gautherot die Eigenschaft der Platin- und Silberdrähte, die als Elektroden in einer elektrolytischen Zelle zum Zersetzen von Salzwasser gedient hatten, nach Ausschalten des Stromerzeugers selbständig Strom abzugeben. Auch J. W. Ritter, der sich schon im Jahre 1799 mit dem Galvanismus beschäftigt hatte, entdeckte im gleichen Jahre wie Gautherot, dass Gold einen kräftigen sekundären Strom (Polarisationsstrom) erzeugt, und baute eine Säule aus Goldplatten zusammen, die durch mit Salzwasser getränkte Tuchstücke getrennt waren.

Endlich fand Sinsteden 1854, dass Bleiplatten in verdünnter Schwefelsäure einen ebenso starken und dauernden sekundären Strom wie Silberplatten lieferten; Nickelplatten ergaben ähnliche Resultate. 1860 beschäftigte sich Gaston Planté mit der Herstellung von Bleiakkumulatoren und veröffentlichte 1879 seine Resultate. Dieser Forscher wird im allgemeinen als der Erfinder der Bleiakkumulatoren genannt.

Die Bezeichnung „Akkumulator“ (Sammler) ist im Grunde genommen nicht richtig, da die Zelle die Elektrizität nicht sammelt, sondern durch die elektrische Energie wird chemische Energie und durch diese chemische Energie wieder elektrische Energie erzeugt; es findet also eine stete Umwandlung statt. Richtiger ist die Bezeichnung „Sekundärelement“, da der sekundäre Strom (Polarisationsstrom) nutzbar gemacht wird.

Um den Elektroden eine grosse Kapazität zu geben, werden sie mit einem Bleioxyd überzogen. Als Anodenmasse verwendet man Mennige, als Kathodenmasse Bleiglätte. Da aber diese Masse nicht ohne weiteres an einer Bleiplatte haften würde, so hat man die Platten in Form eines Gitters oder Rostes hergestellt. Die Fig. 36 u. 37 zeigen einige Ausführungsformen. Ausserdem wird die Füllmasse noch durch ein Bindemittel, z. B. reine verdünnte Schwefelsäure zu einer Paste verarbeitet, die sich dann in die Maschen des Gitters einkneten lässt. Als Elektrolyt dient verdünnte Schwefelsäure.

Die Sekundärelemente können nur durch Gleichstrom geladen werden, wobei die Elektrizitätsquelle stets eine höhere Spannung haben muss, als die zu ladende Batterie. Eine Akkumulatorenzelle kann bis etwa 2,6 Volt geladen werden. Zum Betrieb elektrischer Uhren haben die Sekundärelemente bisher wenig Verwendung gefunden. Wer sich für diese Elemente näher interessiert, dem sei das oben genannte Werk von F. Grünwald bestens empfohlen, dem auch, wie schon erwähnt, obige Angaben entnommen sind.

3. Kapitel.

Leistungsfähigkeit der Elemente. Berechnungen.

Nachdem wir den Aufbau und die Wirkungsweise der galvanischen Stromerzeuger kennen gelernt haben, wollen wir im nachstehenden uns von der Leistungsfähigkeit einiger Typen unterrichten und deren zweckmässige Zusammensetzung zu Batterien näher vor Augen führen.

Um die Grösse einer Leistung oder Arbeit zu bemessen, bedürfen wir eines Masses oder einer Einheit, wie z. B. das Meter die Einheit einer bestimmten Länge darstellt.

Die
elektrischen
Mass-
einheiten.

Auch für die elektrischen Grössen sind solche Einheiten aufgestellt worden und zum Segen der gesamten Technik als internationale Masse anerkannt.

Die Masseinheit für die mehrfach erwähnte elektromotorische Kraft, oder was das gleiche ist, die „Spannung“ ist „ein Volt“. Die Einheit für die Strommenge oder Stromstärke (auch mit Intensität bezeichnet) ist „ein Ampere“. Als dritte Grösse ist noch jene Eigenschaft der Körper, dem Durchgange des elektrischen Stromes einen Widerstand entgegen zu setzen, mit der Einheit „ein Ohm“ bezeichnet worden.

Nicht nur die festen Körper, wie z. B. Drähte aus Metall, setzen dem elektrischen Strome einen Widerstand entgegen, sondern auch die Flüssigkeiten zeigen ein verschiedenartiges Verhalten in bezug auf ihre Leitungsfähigkeit.

Widerstand
oder „Ohm“

Schwefelsäure z. B. besitzt ein anderes Leistungsvermögen als eine Kupfervitriollösung. Ein Eisendraht leitet den elektrischen Strom schlechter als ein Kupferdraht; das Eisen hat also einen grösseren Leitungswiderstand als Kupfer. Aber nicht nur die Natur des Körpers allein bestimmt den jeweiligen Widerstand, sondern auch Länge und Durchmesser des Leiters sind zu berücksichtigen. Tauchen zwei Platten von je 50 qcm Flächeninhalt auf eine Entfernung von 5 cm Abstand in eine leitende Flüssigkeit, so ist der Widerstand, den ein elektrischer

Strom von einer Platte zur anderen durch die Flüssigkeit finden würde, doppelt so gross, als wenn zwei Platten von je 100 qcm Fläche sich auf gleichem Abstand gegenüberstehen würden. Dahingegen nimmt der Leitungswiderstand der Flüssigkeit ab, wenn die Platten näher zusammengedrückt werden.

Wir können uns von dieser Tatsache auch selbst überzeugen, wenn wir in den Stromkreis eines konstanten Elementes eine Tangentenbussole einschalten und gleichzeitig durch zwei Metallplatten den Strom durch eine leitende Flüssigkeit hindurchführen. Der Ausschlag der Magnetonadel wird dann am grössten sein, wenn sich die beiden Platten in der Flüssigkeit am nächsten stehen. Dahingegen geht die Nadel mehr zurück, je weiter die Platten auseinander gebracht werden, der Leitungswiderstand also erhöht wird. Wir folgern daraus den Schluss, dass die Stromstärke abhängig ist:

Abhängigkeit
der Strom-
stärke.

1. Von der vorhandenen „elektromotorischen Kraft“ und
2. von dem gesamten Leitungswiderstande, den der Strom bei seinem Kreislauf zu überwinden hat. Demnach ist die Stromstärke grösser, wenn der Widerstand geringer ist. Die Stromstärke ist geringer, wenn der Widerstand grösser ist.

Diesen Zusammenhang zuerst erkannt und in ein Gesetz zusammengefasst zu haben, ist das Verdienst des Münchener Physikers Ohm, nach dem auch die nachfolgende Regel das Ohmsche Gesetz genannt wird.

Das
Ohmsche
Gesetz.

Dieses Gesetz sagt uns nun: Die Stromstärke ist gleich der elektromotorischen Kraft geteilt durch den Widerstand.

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{elektromotorische Kraft}}{\text{Widerstand}}.$$

Um derartige Rechnungen zu vereinfachen, hat man für die einzelnen Grössen als Bezeichnung zumeist die Anfangsbuchstaben oder sonst ein bestimmtes Zeichen gewählt. Wir schreiben daher:

E für elektromotorische Kraft,
 J für Intensität oder Stromstärke,
 W für Widerstand.

In einer Formel ausgedrückt: $J = \frac{E}{W}.$

Statt dieser Zeichen können wir auch die Masseneinheiten einsetzen, wir erhalten dann 1 Ampere = $\frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}}$, d. h.: haben

wir 1 Volt Spannung zur Verfügung und beträgt der Gesamtwiderstand, den der Strom zu überwinden hat, 1 Ohm, so ist die Stromstärke 1 Ampere.

Mit Hilfe dieser einfachen Rechnung sind wir nun imstande, uns Aufklärung darüber zu verschaffen, welche Stromstärke ein Element abgeben kann. Die Spannung der verschiedenen galvanischen Elemente kann mit einem geeigneten Messinstrumente, sogen. Voltmeter unmittelbar gemessen werden. Fig. 38 veranschaulicht ein derartiges Instrument. Ausserdem wird die Spannung von den Fabrikanten jeweils angegeben; ebenso der innere Widerstand.

Das Voltmeter

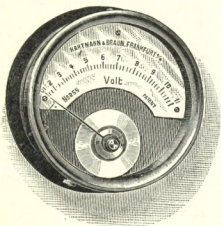


Fig. 38.

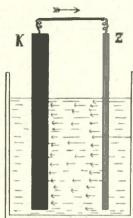


Fig. 39.

Bezüglich des Widerstandes müssen wir zweierlei unterscheiden, erstens den inneren Widerstand und zweitens den äusseren Widerstand. Der äussere Widerstand (W) wird gebildet durch die Leitung von der positiven Elektrode zur negativen. Der innere Widerstand (w) hingegen, wie schon mehrfach erläutert, durch die Erregerflüssigkeit, also von der negativen Elektrode durch den Elektrolyten zur positiven Elektrode.

Innere und äusserer Widerstand.

Zur Berechnung der Stromstärke denken wir uns ein Element kurzgeschlossen, indem die beiden Elektroden miteinander durch ein sehr kurzes, dickes Stück Kupferdraht verbunden sind. Der äussere Widerstand ist dadurch so klein, dass er praktisch vernachlässigt werden kann. Nehmen wir ferner an, dass die Spannung des in Fig. 39 dargestellten Elementes 2 Volt betrage und der innere Widerstand 2 Ohm, so kreist (wie durch die Pfeile

Berechnung der Stromstärke bei einem Element

angedeutet) durch die Flüssigkeit, Elektroden und äussere Verbindung ein Strom, der sich folgendermassen berechnet:

$$E = 2 \text{ Volt}; w = 2 \text{ Ohm},$$

$$J = \frac{E}{W} \text{ also } \frac{2 \text{ Volt}}{2 \text{ Ohm}} = 1 \text{ Ampere.}$$

Als fernerer Beispiel nehmen wir ein Meidingereslement, dessen Spannung etwa 1 Volt beträgt. Der innere Widerstand möge sich auf 5 Ohm bemessen; die Stromstärke, die das Element im Höchsfalle zu leisten vermag, ist dann folgende:

$$\frac{1 \text{ Volt}}{5 \text{ Ohm}} = 0.2 \text{ Ampere.}$$

Die Elemente nach Leclanché (mit Zinkzylinder) zeigen durchschnittlich eine Spannung von 1,4 Volt. Der innere Widerstand ist, je nach Elektrodengrösse, etwa 0,5 Ohm.

$$J = \frac{1,4 \text{ Volt}}{0,5 \text{ Ohm}} = 2,8 \text{ Ampere.}$$

Ein Cupronelement mit einer Spannung von 0,8 Volt und einem inneren Widerstande von 0,06 Ohm ergibt im Kurzschluss:

$$\frac{0,8 \text{ Volt}}{0,06 \text{ Ohm}} = 13,3 \text{ Ampere.}$$

Wie sich aus obigen Beispielen die Stromstärke berechnen lässt, so kann auch aus dem bekannten Widerstande und der Stromstärke die Spannung ermittelt werden. Die Formel lautet in diesem Falle: $E = J \cdot W$.

Liefert ein Element einen Strom von 2,8 Ampere und ist der innere Widerstand 0,5 Ohm, so muss die Spannung

$$2,8 \text{ Ampere} \cdot 0,5 \text{ Ohm} = 1,4 \text{ Volt}$$

betragen.

Ein Trockenelement liefert im Kurzschluss 5 Ampere und hat einen inneren Widerstand von 0,3 Ohm, wie hoch ist die Spannung?

$$E = J \cdot W = 5 \text{ Ampere} \cdot 0,3 \text{ Ohm} = 1,5 \text{ Volt.}$$

Eine andere Elementtype leistet 4 Ampere, der innere Widerstand möge 0,33 Ohm betragen, wie hoch muss die Spannung sein, um diese Stromstärke zu erzeugen?

$$4 \text{ Ampere} \cdot 0,33 \text{ Ohm} = 1,32 \text{ Volt.}$$

Auch der Widerstand lässt sich berechnen, wenn Stromstärke (J) und Spannung (E) bekannt sind. Die Formel hierfür

ist folgende: $W = \frac{E}{J}$.

Die Spannung einer Stromquelle beträgt 1,5 Volt, die Stromstärke 5 Ampere. Wie hoch ist der innere Widerstand des Elementes?

$$w = \frac{E}{J} = \frac{1,5 \text{ Volt}}{5 \text{ Ampere}} = 0,3 \text{ Ohm.}$$

Ein Element gleicher Bauart leistet jedoch bei 1,5 Volt 7,5 Ampere. Wie hoch darf in diesem Falle der innere Widerstand sein?

$$\frac{1,5 \text{ Volt}}{7,5 \text{ Ampere}} = 0,2 \text{ Ohm.}$$

Wir schliessen daraus, dass dieses Element grössere Elektroden besitzt, da der innere Widerstand geringer ist als im vorhergehenden Beispiel. Fassen wir der Uebersichtlichkeit wegen vorstehende Formeln kurz zusammen, so berechnet sich aus der Formel:

$$J = \frac{E}{W} \text{ die Stromstärke (Volt durch Ohm).}$$

$$E = J \cdot W \text{ die Spannung (Ampere mal Ohm).}$$

$$W = \frac{E}{J} \text{ der Widerstand (Volt durch Ampere).}$$

* * *

Aus diesen wenigen Rechnungsbeispielen haben wir gelernt, dass die Stromstärke wächst, wenn sich der Widerstand verringert, oder wenn bei gleichem Widerstande die Spannung erhöht wird. Als Stromquelle haben wir nun bisher „ein“ Element angenommen. Aus früheren Darlegungen ist uns bekannt, dass sich die elektromotorische Kraft verdoppelt, wenn zwei Elemente so miteinander leitend verbunden werden, dass der Zinkpol des ersten mit dem Kohlenpol des zweiten Elementes in Berührung steht. Fig. 40 zeigt schematisch die Verbindung zweier solcher Elemente. Diese Art der Elementverbindung bezeichnet man als: Schaltung auf Spannung oder auch als Hintereinanderschaltung. Bei den folgenden Rechnungen wollen wir den äusseren Schliessungsdraht ebenfalls als Nullwiderstand betrachten und nur den inneren Widerstand in Rechnung ziehen. Die Spannung soll für ein Element 1,5 Volt betragen und $w = 0,3 \text{ Ohm}$. Da wir zweimal die Spannung eines Elementes haben, so schreiben wir in der Formel $E \cdot 2$; aber auch der innere Widerstand ist zweimal vorhanden, demnach auch $w \cdot 2$.

Berechnung der Stromstärke bei mehreren Elementen.

Schaltung auf Spannung.

$$J = \frac{E \cdot 2}{w \cdot 2} = \frac{1,5 \text{ Volt} \cdot 2}{0,3 \text{ Ohm} \cdot 2} = \frac{3 \text{ Volt}}{0,6 \text{ Ohm}} = 5 \text{ Ampere.}$$

Sechs Elemente (Fig. 41), hintereinander geschaltet, liefern eine Stromstärke von ? Ampere.

$$J = \frac{E \cdot 6}{w \cdot 6} = \frac{1,5 \text{ Volt} \cdot 6}{0,3 \text{ Ohm} \cdot 6} = \frac{9 \text{ Volt}}{1,8 \text{ Ohm}} = 5 \text{ Ampere.}$$

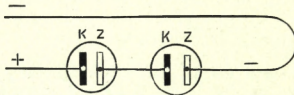


Fig. 40.

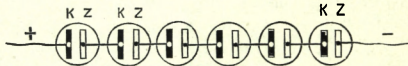


Fig. 41.

Zehn Elemente, in gleicher Weise geschaltet, würden dieselbe Stromstärke ergeben, wie ein einziges; vorausgesetzt, dass der äussere Widerstand sehr gering oder gleich Null ist.

Parallel-
schaltung.

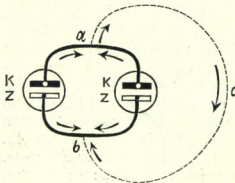


Fig. 42.

Bedingt es der Verwendungszweck, eine grössere Stromstärke zu erhalten, als ein einziges Element zu liefern imstande ist, so müssen die einzelnen Zellen auf Quantität oder nebeneinander geschaltet werden. Die Nebeneinander- oder „Parallelschaltung“ von zwei Elementen zeigt Fig. 42.

Die Kohlenpole beider Elemente sind durch eine gemeinsame Leitung miteinander verbunden, desgleichen beide Zinkpole. Der in der Pfeilrichtung im punktierten Schliessungsbogen kreisende Strom tritt nun gleichzeitig in beide Zellen ein, durchwandert beide Elektrolyte und vereinigt sich wieder in Punkt *a*. Dadurch verringert sich der innere Widerstand um die Hälfte, aber auch die elektromotorische Kraft ist gleich der eines einzigen Elementes.

Die Wirkungsweise dieser Schaltung wird noch deutlicher, wenn wir uns beide Plattenpaare in ein Gefäß gestellt denken und beide Kohlenplatten so nahe aneinander gerückt vorstellen, dass sie durch Berührung als eine Platte von doppeltem Flächeninhalt erscheinen; desgleichen auch beide Zinkplatten. Da somit der Quadratinhalt der Elektroden verdoppelt ist, so muss sich auch der innere Widerstand auf die Hälfte herabmindern.

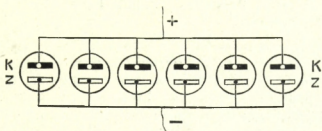


Fig. 43.

Eine einfache Rechnung soll uns über das Gesagte Aufklärung geben. Da keine Schaltung auf Spannung vorliegt, so ist die elektromotorische Kraft gleich der eines Elementes.

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

Da in diesem Falle zwei Elemente nebeneinander geschaltet sind, so bedeutet „ n “, dass der Widerstand w noch zu teilen ist; in diesem Falle somit durch 2. Also:

$$J = \frac{E}{\frac{w}{2}} = \frac{1.5 \text{ Volt}}{\frac{0.3}{2} \text{ Ohm}} = \frac{1.5 \text{ Volt}}{0.15 \text{ Ohm}} = 10 \text{ Ampere.}$$

Diese zwei Elemente nebeneinander geschaltet, liefern also 10 Ampere, wogegen die sechs gleichen, aber hintereinander geschalteten Elemente nur 5 Ampere abgeben konnten. Schalten wir der besseren Erläuterung wegen auch noch sechs Elemente (Fig. 43) nebeneinander, indem wir alle Kohlenpole an eine gemeinsame Leitung legen; desgleichen alle Zinkpole an eine zweite gemeinsame Leitung, so erhalten wir durch die Rechnung das folgende Resultat:

$$J = \frac{E}{\frac{w}{n}} = \frac{E}{\frac{w}{6}} = \frac{1.5 \text{ Volt}}{\frac{0.3}{6} \text{ Ohm}} = \frac{1.5}{0.05} = 30 \text{ Ampere.}$$

Berechnung
der
Stromstärke
bei hohen
äusseren
Wider-
ständen.

Bei all diesen Rechnungen wurde angenommen, dass der äussere Widerstand gleich Null sei. Da aber jede Leitung, und vor allem die durch den elektrischen Strom betätigten Apparate, einen bestimmten Widerstand aufweisen, so muss auch dieser mit in Rechnung gezogen werden.

Welche Stromstärke erhalten wir nun, wenn der äussere Widerstand (W) 3 Ohm beträgt, der innere Widerstand (w) eines Elementes 0,5 Ohm und die Spannung 1,5 Volt?

Es ist demnach

$$J = \frac{E}{W + w} = \frac{1,5 \text{ Volt}}{3 + 0,5 \text{ Ohm}} = \frac{1,5}{3,5} = 0,428 \text{ Ampere.}$$

Sind W und w die gleichen wie vorstehend, und kommen zwei hintereinander geschaltete Elemente zur Anwendung, so lautet die Rechnung:

$$J = \frac{E \cdot 2}{W + w \cdot 2} = \frac{1,5 \cdot 2}{3 + 0,5 \cdot 2} = \frac{3}{4} = 0,75 \text{ Ampere.}$$

Bei fünf Elementen und $W = 3 \text{ Ohm}$

$$J = \frac{E \cdot 5}{W + w \cdot 5} = \frac{1,5 \cdot 5}{3 + 0,5 \cdot 5} = \frac{7,5}{5,5} = 1,363 \text{ Ampere.}$$

Diese Stromstärke, angenommen, genügt uns aber immer noch nicht, um z. B. eine elektrische Uhr aufzuziehen. Wir wollen daher die Zahl der Elemente verdoppeln und sehen, was wir nun erreichen.

$$J = \frac{E \cdot 10}{W + w \cdot 10} = \frac{1,5 \cdot 10}{3 + 0,5 \cdot 10} = \frac{15 \text{ Volt}}{8 \text{ Ohm}} = 1,875 \text{ Ampere.}$$

Betrachten wir nun die Ergebnisse unserer Rechnung, so zeigt sich, dass durch die Vermehrung der Elementzahl kein wesentlich günstigeres Resultat erzielt worden ist. Zwei Elemente lieferten schon einen Strom von 0,75 Ampere, fünf Elemente 1,363 Ampere, und weitere fünf brachten nur eine Erhöhung von 0,512 Ampere. Hier liegt also ein Fehler vor, der in der Praxis so oft gemacht wird, und der das Versagen so vieler elektrischer Einrichtungen verschuldet, die, mit etwas mehr Sachkenntnis angelegt, ihren Dienst erfüllen würden.

Die errechnete Stromstärke wird ausserdem auch nur dann erreicht, wenn der angenommene Widerstand auch vorhanden ist; erfahrungsgemäss kann aber der innere Widerstand nicht als gleichbleibend betrachtet werden. Letzterer ist am geringsten, wenn das Element neu ist; mit der Zeit steigt derselbe, je nach dem Alter, um den vier- bis sechsfachen Betrag. Z. B. zeigen

kleinere, nasse Elemente bald einen Widerstand von 1 Ohm; je nach Beanspruchung mehr oder weniger. Nehmen wir nun an, die geleistete Stromstärke der zehn hintereinander geschalteten Elemente würde für unseren Zweck genügen. Während einer entsprechenden Betriebszeit ist jedoch der innere Widerstand von 0,5 auf 1 Ohm gestiegen, und rechnen wir nun die Leistungsfähigkeit der Batterie nach, so ergibt sich folgende Veränderung:

$$J = \frac{E \cdot 10}{W + w \cdot 10} = \frac{1,5 \cdot 10}{3 + 1 \cdot 10} = \frac{15 \text{ Volt}}{13 \text{ Ohm}} = 1,153 \dots \text{ Ampere.}$$

Diese zehn Elemente leisten also jetzt weniger, als fünf Elemente in neuem Zustande. Die Anlage muss ihren Dienst versagen und die Schuld wird dann nicht selten den schlechten Elementen zugeschrieben, während falsche Schaltung oder unrichtige Wahl der Elementgrösse die wahre Ursache bilden.

Versuchen wir nun, uns durch eine Rechnung Aufklärung über das Verhältnis einer Parallelschaltung von fünf Elementen zu verschaffen, von der wir ja wissen, dass sie grössere Stromstärken ergibt.

$$J = \frac{E}{W + \frac{w}{n}} = \frac{1,5}{3 + \frac{0,5}{5}} = \frac{1,5 \text{ Volt}}{3,1 \text{ Ohm}} = 0,483 \dots \text{ Ampere.}$$

Also auch hierdurch ist nichts erreicht, sondern die Stromstärke ist noch dreimal geringer, als bei der Schaltung auf Spannung. Diese geringe Stromstärke wird natürlich dadurch bedingt, dass bei der Parallelschaltung sämtliche Elemente als ein-, zwei-, fünf- oder zehnfach grösseres Element zu betrachten sind, und somit nur die Spannung gleich eines Elementes tatsächlich vorhanden ist. Um jedoch dennoch zum Ziele zu gelangen, wenden wir die sogen. gemischte Schaltung an. Fig. 44 zeigt die Verbindung von sechs Elementen in zwei Gruppen geschaltet. Wie aus der Abbildung ersichtlich, sind jeweils drei Elemente hintereinander, also auf Spannung geschaltet, die gleichnamigen Endpole beider Gruppen jedoch zu einer gemeinsamen Ableitung vereinigt. Da je drei Elemente hintereinander geschaltet sind, so haben wir in der folgenden Rechnung die Spannung eines Elementes dreimal zu nehmen; aber auch der innere Widerstand ist dreimal vorhanden. Durch die Parallelschaltung beider Gruppen werden jedoch die Elektroden um das Doppelte vergrössert und somit der innere Widerstand um die Hälfte verringert. In nachstehenden Formeln bedeutet „*n*“ die Anzahl der hintereinander geschalteten Elemente und „*m*“ die

Die
gemischte
Schaltung.

Zahl der Gruppen. Wenn nun der äussere Widerstand (W) gleich 3 Ohm ist, so ist die Stromstärke:

$$J = \frac{E \cdot n}{W + \frac{w \cdot n}{m}} = \frac{E \cdot 3}{W + \frac{w \cdot 3}{2}} = \frac{1,5 \cdot 3}{3 + \frac{0,5 \cdot 3}{2}}$$

$$= \frac{4,5 \text{ Volt}}{3 + \frac{1,5}{2} \text{ Ohm}} = \frac{4,5 \text{ Volt}}{3,75 \text{ Ohm}} = 1,2 \text{ Ampere.}$$

Auch in dieser Zusammenstellung ist die als erforderlich angenommene Stromstärke noch nicht erreicht. Versuchen wir es also noch einmal mit einer anderen Schaltungsweise. Statt wie

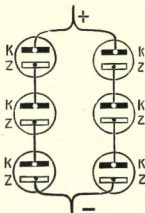


Fig. 44.

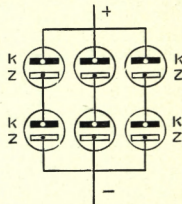


Fig. 45.

in Fig. 44 verbinden wir jetzt je „zwei“ Elemente hintereinander und formieren dann drei Gruppen, wie Fig. 45 zeigt.

Wir haben jetzt n Elemente hintereinander und m Gruppen nebeneinander. Daher ist:

$$J = \frac{E \cdot n}{W + \frac{w \cdot n}{m}} = \frac{1,5 \cdot 2}{3 + \frac{0,5 \cdot 2}{3}} = \frac{3 \text{ Volt}}{3 + \frac{1}{3} \text{ Ohm}}$$

$$= \frac{3 \text{ Volt}}{3,33 \dots \text{ Ohm}} = 0,9 \dots \text{ Ampere.}$$

Dieses Resultat ist noch ungünstiger, als das vorhergehende. Betrachten wir jedoch beide Schaltungen, so finden wir, dass der Gesamtwiderstand sich nur um 0,42 Ohm verringert hat, während die Spannung im letzten Beispiel um 1,5 Volt gesunken ist. Man darf hierbei nicht ausser acht lassen, dass, wie auch die Schaltung der Batterie sein möge, der äussere Widerstand stets

der gleiche bleibt. Soll also nach obigen Beispielen die Stromstärke erhöht werden, so darf man die Spannung nicht verringern.

Betrachten wir vergleichsweise die Stromstärke von fünf, zehn und zwanzig hintereinander geschalteten Elementen bei einem äusseren Widerstand von 3 Ohm.

$$J = \frac{1,5 \cdot 5}{3 + 0,5 \cdot 5} = \frac{7,5 \text{ Volt}}{5,5 \text{ Ohm}} = 1,366 \dots \text{ Ampere.}$$

$$J = \frac{1,5 \cdot 10}{3 + 0,5 \cdot 10} = \frac{15 \text{ Volt}}{8 \text{ Ohm}} = 1,875 \text{ Ampere.}$$

$$J = \frac{1,5 \cdot 20}{3 + 0,5 \cdot 20} = \frac{30 \text{ Volt}}{13 \text{ Ohm}} = 2,307 \dots \text{ Ampere.}$$

Die Erhöhung der Elementzahl von zehn auf zwanzig hat also nur einen Erfolg von 0,432 Ampere gezeitigt. Diese geringe Zunahme der Stromstärke ist darauf zurückzuführen, dass der innere Widerstand der Elemente im Vergleich zum äusseren Widerstand ein bedeutendes Uebergewicht erreicht hat. Wir müssen also danach trachten, den inneren Widerstand zu verringern, und schalten zu diesem Zwecke je zehn Elemente hintereinander und beide Gruppen parallel.

$$J = \frac{1,5 \cdot 10}{3 + \frac{0,5 \cdot 10}{2}} = \frac{15 \text{ Volt}}{5,5 \text{ Ohm}} = 2,727 \text{ Ampere.}$$

Durch diese Schaltung ist also ein Stromzuwachs von 0,852 Ampere erzielt worden.

Die Parallelschaltung bezweckt demnach die Verringerung des inneren Widerstandes durch die Elektrodenvergrösserung. Wir würden also auch zum Ziele gelangen, wenn wir anstatt zwei Gruppen kleiner Elemente nur eine Gruppe, also zehn hintereinander geschaltete Elemente von doppelter Elektrodengrösse, verwenden würden. Gute Trockenelemente, sowie auch grosse, nasse Elemente mit Zinkzylinder, haben einen sehr geringen inneren Widerstand; nehmen wir an, derselbe betrage 0,15 Ohm. Zehn solcher Elemente, auf Spannung geschaltet, würden nach unserer bisherigen Annahme folgende Stromstärke ergeben:

$$J = \frac{1,5 \cdot 10}{3 + 0,15 \cdot 10} = \frac{15 \text{ Volt}}{4,5 \text{ Ohm}} = 3,333 \dots \text{ Ampere.}$$

Um jedoch einer, aus obigen Rechnungen sich ergebenden falschen Auffassung vorzubeugen, sei bemerkt, dass der innere Widerstand der Elemente nur dann von Bedeutung ist, wenn der äussere Widerstand verhältnismässig gering ist. Mit der Erhöhung

Verhältnis
zwischen
innerem und
äusserem
Widerstand.

des äusseren Widerstandes tritt der Einfluss des inneren Widerstandes mehr zurück, so dass in manchen Fällen letzterer in der Rechnung sogar vernachlässigt werden kann. Einige Beispiele sollen das Gesagte näher erläutern.

Zwei auf Spannung geschaltete Elemente sind durch eine Leitung von 0,5 Ohm geschlossen, $E = 1,5$ Volt, $w = 0,5$ Ohm; wie gross ist die Stromstärke?

$$J = \frac{E \cdot 2}{W + w \cdot 2} = \frac{1,5 \cdot 2}{0,5 + 0,5 \cdot 2} = \frac{3 \text{ Volt}}{1,5 \text{ Ohm}} = 2 \text{ Ampere.}$$

W ist gleich 1 Ohm, w gleich 0,5 Ohm; wie gross ist die Stromstärke?

$$J = \frac{E \cdot 2}{W + w \cdot 2} = \frac{1,5 \cdot 2}{1 + 0,5 \cdot 2} = \frac{3 \text{ Volt}}{2 \text{ Ohm}} = 1,5 \text{ Ampere.}$$

Wie gross ist die Stromstärke, wenn vier Elemente hintereinander geschaltet werden, und W gleich 0,5 und w gleich 0,5 sind?

$$J = \frac{E \cdot 4}{W + w \cdot 4} = \frac{1,5 \cdot 4}{0,5 + 0,5 \cdot 4} = \frac{6 \text{ Volt}}{2,5 \text{ Ohm}} = 2,4 \text{ Ampere.}$$

$W = 1$ Ohm, $w = 0,5$ Ohm, und vier Elemente:

$$J = \frac{E \cdot 4}{W + w \cdot 4} = \frac{1,5 \cdot 4}{1 + 0,5 \cdot 4} = \frac{6 \text{ Volt}}{3 \text{ Ohm}} = 2 \text{ Ampere.}$$

Zwei Elemente auf Spannung geschaltet mit einem $w = 0,15$ Ohm und $W = 0,5$ Ohm:

$$J = \frac{E \cdot 2}{W + w \cdot 2} = \frac{1,5 \cdot 2}{0,5 + 0,15 \cdot 2} = \frac{3 \text{ Volt}}{0,8 \text{ Ohm}} = 3,75 \text{ Ampere.}$$

Vier Elemente auf Spannung und W und w wie vorstehend:

$$J = \frac{E \cdot 4}{W + w \cdot 4} = \frac{1,5 \cdot 4}{0,5 + 0,15 \cdot 4} = \frac{6 \text{ Volt}}{1,1 \text{ Ohm}} = 5,45 \dots \text{ Ampere.}$$

Wie diese Rechenbeispiele zeigen, ist der Einfluss, den der innere Widerstand auf die Stromstärke ausübt, stets zu berücksichtigen, wenn der äussere Widerstand nur einige Ohm beträgt. Wir wollen nun untersuchen, wie sich die Stromstärke verhält, wenn im äusseren Leiter der Widerstand grössere Dimensionen annimmt. Zu diesem Zweck denken wir uns eine Anzahl Elemente in die Leitung eines elektrischen Nebenuhrwerkes eingeschaltet, dessen Spulen und Leitungswiderstand zusammen 100 Ohm betragen soll.

Wir verwenden dieselbe Elementtype, wie vorhin, um einen besseren Vergleich anstellen zu können. Zunächst schalten wir

zwei Elemente auf Spannung und berechnen die durch die Spulen fließende Stromstärke wie vorhin. $E = 1,5$ Volt. $w = 0,5$ Ohm, $W = 100$ Ohm.

$$J = \frac{E \cdot 2}{W + w \cdot 2} = \frac{1,5 \cdot 2}{100 + 0,5 \cdot 2} = \frac{3 \text{ Volt}}{101 \text{ Ohm}} = 0,0297 \text{ Ampere.}$$

Wie hoch ist die Stromstärke, wenn vier Elemente eingeschaltet werden?

$$J = \frac{E \cdot 4}{W + w \cdot 4} = \frac{1,5 \cdot 4}{100 + 0,5 \cdot 4} = \frac{6 \text{ Volt}}{102 \text{ Ohm}} = 0,0582 \dots \text{ Amp.}$$

Wie hoch ist die Stromstärke, wenn zehn Elemente eingeschaltet werden?

$$J = \frac{E \cdot 10}{W + w \cdot 10} = \frac{1,5 \cdot 10}{100 + 0,5 \cdot 10} = \frac{15 \text{ Volt}}{105 \text{ Ohm}} = 0,1429 \text{ Ampere.}$$

Wir sehen an diesen Beispielen, dass die Stromstärke fast gleichmässig mit der Zahl der Elemente oder mit der Erhöhung der Spannung steigt. Würden wir den inneren Widerstand der Elemente nicht mit in Rechnung gezogen, also vernachlässigt haben, so würde die Berechnung nur um einige Tausendstel von der Wirklichkeit abweichen, wie folgendes Beispiel zeigt:

Zwei Elemente auf Spannung, $w = 0$ angenommen:

$$J = \frac{E \cdot 2}{W} = \frac{1,5 \cdot 2}{100} = \frac{3 \text{ Volt}}{100 \text{ Ohm}} = 0,03 \text{ Ampere.}$$

Bei zehn Elementen und $w = 0$?

$$J = \frac{E \cdot 10}{W} = \frac{1,5 \cdot 10}{100} = \frac{15 \text{ Volt}}{100 \text{ Ohm}} = 0,15 \text{ Ampere.}$$

Demnach würden wir im ersten Falle einen Fehler von 0,0003 Ampere, und erst bei zehn Elementen einen solchen von 0,01 Ampere zu verzeichnen haben.

Widerstand der Leitungsdrähte.

Wir haben in dem letzten Abschnitt unserer Berechnungen der Stromstärke stets von einem äusseren Widerstand gesprochen, der bald gross und bald klein angenommen wurde. Wir wollen uns nun darüber Klarheit verschaffen, durch welche Umstände oder Verhältnisse der Widerstand sich in so weiten Grenzen bewegen kann.

Was man unter Widerstand überhaupt zu verstehen hat, ist eingehend erklärt worden. Es erübrigt sich, nun noch festzustellen, durch welche Umstände ein gegebener Widerstand verändert wird.

Umstände,
die den
Widerstand
verändern.

Um uns durch eigene Anschauung von den bestehenden Tatsachen zu überzeugen, nehmen wir wieder unsere Hilfsmittel zur Hand und stellen einige Versuche an. In den Stromkreis eines konstanten galvanischen Elementes, wie wir solche kennen gelernt haben, schalten wir unsere Tangentenbussole ein. Wir wissen auf Grund unserer Berechnungen, dass der Strom stärker wird, wenn der Widerstand geringer ist, wir wissen aber auch, dass bei grösserer Stromstärke die Magnetnadel der Tangentenbussole einen grösseren Ausschlag zeigt, und diese Erscheinung wollen wir nun praktisch nutzbar machen.

Länge des
Leiters.

Wir schalten in den Stromkreis des gedachten Elementes und der Tangentenbussole ein Stück Kupferdraht von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt (nicht Durchmesser) und notieren den Ausschlag der Magnetnadel. Nun vertauschen wir den Draht von 1 m mit einem solchen von 20 m und gleichfalls 1 qmm Querschnitt und beobachten den Ausschlag der Nadel. Es zeigt sich, dass die Nadel einen viel geringeren Ausschlag macht; wir schliessen also daraus, dass die Stromstärke geringer ist, als wie vorhin, und dass diese geringere Stromstärke nur von dem höheren Widerstand des stromleitenden Drahtes bedingt wird. Würden wir anstatt 20 m 40 m desselben Drahtes einschalten, so zeigt die Tangentenbussole abermals eine Verringerung der Stromstärke.

Wir können demnach die Regel aufstellen: „dass der Widerstand eines Leiters mit der zunehmenden Länge desselben grösser wird.“

Quadrat-
inhalt
des Leiters.

Haben wir uns den Ausschlag der Nadel notiert, der bei Einschaltung eines 20 m langen Kupferdrahtes zu beobachten war, so wiederholen wir den Versuch noch einmal und schalten jetzt einen Kupferdraht von 20 m Länge und 2 qmm Querschnitt in den Stromkreis. Die Nadel schlägt weiter aus und zeigt uns eine doppelte Stromstärke an, wie vorhin. Auch 40 m Kupferdraht von 2 qmm Querschnitt ergeben die doppelte Stromstärke, als 40 m mit halbem Querschnitt. Wir sehen also, dass nicht nur die Länge des Drahtes allein massgebend ist für den jeweiligen Widerstand desselben, sondern auch der Querschnitt oder Quadratinhalt des Leiters eine ebenso grosse Rolle spielt. Da ein Kupferdraht von bestimmter Länge und doppeltem Querschnitt auch einen doppelt so starken Strom hindurchlässt, so müssen wir auf Grund unserer Rechnungen auch annehmen, dass sein Widerstand einhalbmal so gering ist, als bei einem Draht von 1 qmm Querschnitt. Wir könnten somit den zweiten

Satz aufstellen und sagen: „mit zunehmendem Querschnitt nimmt der Widerstand eines Leiters ab.“

Mit diesen Versuchen sind wir aber noch nicht über alles aufgeklärt, denn als Leitungsdrähte erscheinen uns auch andere Metalle geeignet, z. B. Eisen- oder Stahldrähte.

Auch mit diesem Material wollen wir Versuche anstellen, und zwar wieder genau dieselbe Drahtstärke und -Länge wählen wie beim Kupfer.

Nehmen wir zunächst einen Eisendraht von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt. Der Ausschlag der Magnetnadel sagt uns, dass die durch diesen Draht fließende Stromstärke fast fünf- bis sechsmal geringer ist, als die vom Kupferdraht in gleichen Abmessungen durchgelassene. 20 und 40 m langer Eisendraht hat ebenfalls eine 20 und 40fache Abnahme der Stromstärke zur Folge. Auch die Einschaltung eines Eisendrahtes von 2 qmm Querschnitt zeigt, dass der Widerstand der jeweiligen Längen halb so gross ist, als bei 1 qmm derselben Länge; aber immer ist der Widerstand des Eisendrahtes fünf- bis sechsmal grösser, als der des Kupferdrahtes. Würden wir die Versuche auch auf andere Metalle ausdehnen, so hätten wir stets dasselbe Ergebnis zu verzeichnen; nur würde jedes Material bei gleicher Länge und gleichem Querschnitt einen dem jeweiligen Widerstand oder, was dasselbe ausdrückt, ein eigenes Leistungsvermögen zeigen.

Dieses verschiedenartige Verhalten der Körper zueinander in bezug auf Leitungsfähigkeit oder Widerstand bezeichnet man mit „spezifischem Widerstand“.

Man hat nun die verschiedensten, als Leiter der Elektrizität in Betracht kommenden Metalle usw. geprüft und auf Grund genauer Messungen festgestellt, dass ein 1 m langer und 1 qmm starker Kupferdraht einen Widerstand von 0,0175 Ohm besitzt.

Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass das Kupfer in einer entsprechenden Reinheit zur Verwendung kommt; Beimengungen von anderen Metallen, sowie der jeweilige Härtegrad beeinflussen auch den Widerstand. Auch die Erwärmung des Drahtes ist geeignet, den Widerstand zu verändern. So würde z. B. eine Erwärmung von 10 Grad den Widerstand auf etwa 0,0180 bis 0,0181 erhöhen. Da jedoch in der elektrischen Uhrmacherei die zur Anwendung kommenden Ströme nur von kurzer Dauer sind, so kann dieser Faktor ausser acht gelassen werden.

Nachdem wir nun den spezifischen Widerstand des Kupfers wissen, ist es nicht allzu schwer, aus einer bestimmten Länge

Der
spezifische
Widerstand.

Der
spezifische
Widerstand
des Kupfers

und Querschnitt eines Kupferdrahtes den Widerstand durch Berechnung zu finden.

Berechnung
des Wider-
standes.

Unsere Versuche haben uns gezeigt, dass der Widerstand eines Drahtes sich verdoppelt, wenn bei gleichem Querschnitt die Länge verdoppelt wird. Hat ein Kupferdraht von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt einen Widerstand von 0,0175 Ohm, so haben 2 m von gleichem Querschnitt $2 \times 0,0175 = 0,0350$ Ohm, 10 m $10 \times 0,0175 = 0,175$ Ohm und 100 m $100 \times 0,0175 = 1,75$ Ohm usw. Wir können dieses Verhältnis nun dadurch ausdrücken, indem wir sagen: „Der Widerstand eines Drahtes ist der Länge desselben direkt proportional.“

Der Widerstand ist aber auch abhängig vom Querschnitt. Hat ein Kupferdraht von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt einen Widerstand von 0,0175 Ohm, so hat dieselbe Drahtlänge mit einem Querschnitt von 2 qmm den halben Widerstand, also $0,0175 : 2 = 0,00875$ Ohm, 1 m Länge und 10 qmm Querschnitt $0,0175 : 10 = 0,00175$ Ohm usw.

In diesem Falle sind also beide Verhältnisse umgekehrt proportional.

Wollen wir also den Widerstand eines Kupferdrahtes berechnen, so müssen wir den spezifischen Widerstand mit der Länge (in Metern) malnehmen und diese Summe durch den Querschnitt (in Quadratmillimetern) teilen:

Spezifischer Widerstand \times Länge in Metern

Querschnitt in Quadratmillimetern.

Diesen Rechenansatz können wir in einer Formel ausdrücken, wenn wir für jede Grösse ein bestimmtes Zeichen wählen, z. B.

W = Leitungswiderstand (der errechnet werden soll),

s = spezifischer Widerstand,

l = Länge,

q = Querschnitt,

Demnach ist $W = \frac{s \cdot l}{q}$ Ohm.

Beispiel: Ein Kupferdraht von 10 m Länge und 1 qmm Querschnitt hat wieviel Ohm?

$$W = \frac{s \cdot l}{q} = \frac{0,0175 \cdot 10}{1} = \frac{0,175}{1} = 0,175 \text{ Ohm.}$$

Ferner 10 m Länge und 0,5 qmm Querschnitt:

$$W = \frac{s \cdot l}{q} = \frac{0,0175 \cdot 10}{0,5} = \frac{0,175}{0,5} = 0,35 \text{ Ohm.}$$

Ein Kupferdraht von 1000 m Länge und 2 qmm Querschnitt würde einen Widerstand von wieviel Ohm haben?

$$W = \frac{s \cdot l}{q} = \frac{0,0175 \cdot 1000}{2} = \frac{17,5}{2} = 8,75 \text{ Ohm.}$$

Bei diesen Rechnungen ist die Drahtstärke stets in Quadratmillimeter ausgedrückt. Da wir jedoch in der Praxis keine vierkantigen Leitungsdrähte haben, sondern runde, so muss aus dem Durchmesser des runden Drahtes erst der Querschnitt ermittelt werden. Der Inhalt eines Kreises wird bekanntlich nach der Formel $r \cdot r \cdot \pi$ berechnet. r bedeutet den Radius, also den Halbmesser des Kreises, während π oder pi die Ludolf'sche Verhältniszahl 3,14 oder etwas genauer 3,1415 ... ausdrückt. Wollen wir danach den Querschnitt eines runden Drahtes von 1 mm Durchmesser berechnen, so müssen wir den Halbmesser 0,5 mm mit sich selbst multiplizieren, also $0,5 \cdot 0,5 = 0,25$ ($r \cdot r$), sodann $0,25 \cdot 3,1415 = 0,785375$ qmm; wenn wir den Bruch auf vier Stellen abkürzen, so erhalten wir bei einem Durchmesser von 1 mm 0,7854 qmm Querschnitt.

Diese Rechnungen sind jedoch etwas zeitraubend und deshalb sind für den Praktiker eigene Tabellen berechnet worden. Nachstehende Tabellen, die dem Werke „Elektrische Beleuchtungs-

Gewicht und Widerstand von Kupferdrähten.

Durchmesser in Millimetern	Querschnitt in Quadratmillimetern	Gewicht auf 1 km in Kilogramm	Widerstand auf 1 km in Ohm	Länge auf 1 kg in Metern	Länge auf 1 Ohm in Metern
0,05	0,001 96	0,0175	8913	57 140	0,1122
0,10	0,007 85	0,0700	2228	14 286	0,4488
0,15	0,017 7	0,1575	990,3	6 349	1,0098
0,20	0,031 4	0,2800	557,0	3 571	1,7952
0,30	0,070 7	0,6300	247,6	1 587,2	4,039
0,40	0,125 7	1,1200	139,26	892,9	7,181
0,50	0,196 3	1,7500	89,13	571,4	11,220
0,60	0,282 7	2,520	61,89	396,8	16,157
0,70	0,384 8	3,430	45,47	291,5	21,99
0,80	0,503 7	4,480	34,82	223,2	28,72
0,90	0,636 2	5,670	27,51	176,37	36,35
1,00	0,785 4	7,000	22,28	142,86	44,88
1,50	1,767 1	15,750	9,903	63,49	100,98
2,00	3,142	28,00	5,570	35,71	179,72
2,50	4,909	43,75	3,565	22,86	280,5 ¹⁾

1) Da stärkere Leitungen in der Uhrmacherei wohl nicht vorkommen, so ist die Tabelle hier abgebrochen worden.

anlagen“, von F. Grünwald, Verlag von Wilhelm Knapp, Halle a. S., entnommen sind, enthalten neben der Angabe des Durchmessers auch den jeweiligen Querschnitt.

Ferner sind das Gewicht und die Anzahl Ohm auf 1 km, also auf 1000 m, berechnet. Handelt es sich um kürzere Leitungen, so sind diese Zahlen entsprechend zu teilen.

Künstliche
Wider-
stände.

Für manche Zwecke ist es erforderlich, hohe Widerstände herzustellen; z. B. als Widerstände zum Vorschalten, um eine zu hohe Stromstärke oder Spannung herabzumindern. Auch zu Nebenschlüssen bedingt es zeitweise der Zweck, Drahtspulen anzufertigen, die einen hohen Leitungswiderstand aufweisen.

Zu solchen künstlichen Widerständen verwendet man daher ein Material, das an und für sich schon einen hohen spezifischen Widerstand besitzt.

Nachstehend sind einige Metalle mit dem zugehörigen spezifischen Widerstand aufgeführt:

Tabelle I.

	Ohm auf 1 m bei 1 qmm Querschnitt
Aluminium, gewalzt	0,028 74
Blei, gepresst	0,20
Eisendraht	0,12 — 0,14
Nickel	0,11 — 0,13
Platin	0,094
Silber, je nach Härte	0,0168 — 0,0170
Zink, gepresst	0,059
Messingdraht von 30 Proz. Zink	0,065 — 0,085
Neusilber	0,36 — 0,38
Konstantan (Kupfer—Nickel) . .	0,488
Nickelin (Kupfer—Nickel—Zink)	0,40
Rheotan	0,47
Kruppin (Eisen—Nickel) . . .	0,84
Quecksilber	0,9532

Wie aus vorstehender Tabelle I ersichtlich, besitzt nach dem Quecksilber Kruppin, Nickelin, Rheotan und Konstantan den höchsten spezifischen Widerstand.

Zur leichteren Berechnung der Widerstände ist daher folgende Tabelle II geeignet; dazu muss bemerkt werden, dass der Querschnitt auf drei Bruchstellen abgerundet ist und demzufolge auch der Widerstand um einige Tausendstel von der Wirklichkeit abweicht, was jedoch für die Praxis ohne wesentliche Bedeutung ist.

Tabelle II.

Durchmesser in Millimetern	Querschnitt in Quadrat- millimetern	Abgerundeter Widerstand in Ohm für 1 m Draht	
		Nickelin	Rheotan
0,10	0,008	51	60
0,15	0,018	22	26
0,20	0,031	13	15
0,25	0,049	8	9,5
0,30	0,071	5,6	6,7
0,35	0,096	4,1	4,9
0,40	0,126	3,2	3,7
0,45	0,159	2,5	2,9
0,50	0,196	2	2,4
0,55	0,238	1,68	1,99
0,60	0,283	1,41	1,67
0,70	0,385	1,04	1,23
0,80	0,503	0,79	0,94
0,90	0,636	0,63	0,74
1	0,785	0,51	0,60

Stromverzweigung.

Die Berechnungen des Widerstandes und der Stromstärke im letzten Abschnitt hatten zur Voraussetzung, dass der von einer Stromquelle ausgehende elektrische Strom nur durch einen Leitungsdraht fliesst; die Stromstärke also an allen Punkten des Leiters gleich ist. Dem Praktiker ist aber bisweilen die Aufgabe

Verzweigte
Leitungen.

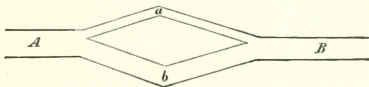


Fig. 46.

gestellt, von einer Stromquelle mehrere Leitungen oder Apparate gleichzeitig zu bedienen. Es fragt sich nun, wie sich die Stromstärke in den einzelnen Abzweigungen ermitteln lässt.

Um dieses Verhältnis anschaulich zu machen, betrachten wir ein Wasserrohr (Fig. 46). Die Rohrleitung AB ist in der Mitte abgezweigt. Das bei A eintretende Wasser durchfliesst gleichzeitig beide Abzweigungen. a ist eine Leitung mit geringerem Querschnitt als b ; der Wasserstrom findet also in a einen grösseren Leitungswiderstand als in b , und infolgedessen wird b eine grössere

Wassermenge durchfliessen lassen; jedoch immer im bestimmten Verhältnis zu a . So gross nun auch der Druck sein möge, so ist die Wassermenge der Hauptleitung AB doch stets die gleiche, wie in beiden Abzweigungen a und b zusammen. Oder mit anderen Worten: Der Hauptstrom ist gleich der Summe sämtlicher Teilströme. Ähnlich ist das Verhalten elektrischer Ströme; auch hier fliesst durch jede Abzweigung ein Strom, der von dem Widerstande der Abzweigung abhängig ist. Fig. 47 zeigt eine derartige Schaltung. Da beide Abzweigungen gleiche Längen haben, Leitung 1 jedoch einen geringeren Querschnitt besitzt als Leitung 2, so fliesst durch 2 ein stärkerer Strom.

Berechnung
der Strom-
stärke in
verzweigten
Leitungen.

Wollen wir die jeweilige Stromstärke, sowohl der Hauptleitung, als auch der Abzweigungen ermitteln, so kann das in praktischer Weise erfolgen, wie Fig. 48 veranschaulicht. In die Hauptleitung $P_1 P_2$ ist ein Strommesser, ein sogen. Ampere-



Fig. 47.

meter eingeschaltet, desgleichen in beide Zweigleitungen. Der Widerstand jeder Abzweigung beträgt 3 Ohm. Stehen nun die Punkte P_1 und P_2 mit einer Stromquelle von 60 Volt in Verbindung, so zeigen die Strommesser der Abzweigungen je 20 Ampere an; der Hauptstrommesser jedoch die Summe beider Teilströme, also 40 Ampere.

Verändern wir jedoch den Widerstand der einen Abzweigung von 3 auf 6 Ohm, indem wir doppelte Drahtlänge einschalten, so zeigt der Strommesser dieser Abzweigung 10 Ampere an, während die obere Leitung mit 3 Ohm Widerstand noch 20 Ampere hindurchlässt (Fig. 49). Der Hauptstrommesser hingegen sagt uns, dass in der ungeteilten Leitung ein Strom gleich dem Produkte beider Teilströme fliesst, also $10 + 20 = 30$ Ampere.

Auch durch Rechnung lässt sich die Stromstärke jeder Teilleitung ermitteln, da es nicht immer möglich ist, Messapparate einzuschalten. Zweigen beide Leitungen in einem Punkte von der Hauptleitung ab, so ist die Stromstärke $J = \frac{E}{W}$, wobei W den

jeweiligen Widerstand der Zweigleitung bedeutet, deren Stromstärke bestimmt werden soll. Ist der Widerstand einer Zweig-

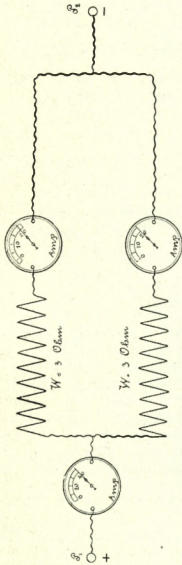


Fig. 48.

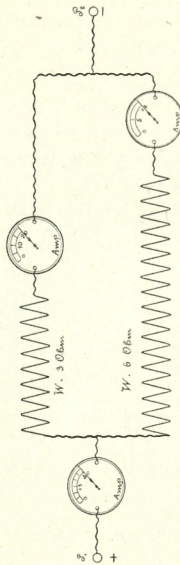


Fig. 49.

leitung = 3 Ohm und die Spannung der Hauptleitung (P_1 bis P_2 [Fig. 48]) = 60 Volt, so ist die Stromstärke

$$J = \frac{60 \text{ Volt}}{3 \text{ Ohm}} = 20 \text{ Ampere.}$$

Da die zweite Abzweigung denselben Widerstand hat, so können beide Leitungen zusammen als eine Leitung von doppeltem Querschnitt betrachtet werden. Der Widerstand würde demnach die Hälfte, also 1,5 Ohm betragen. Dieser zusammengesetzte Widerstand, den man auch den „Kombinationswiderstand“ nennt, wird berechnet nach der Formel: $W = \frac{W_1 \cdot W_2}{W_1 + W_2}$. Setzen wir nach Fig. 48 die entsprechenden Werte dafür ein, so ergibt die Rechnung $W = \frac{3 \text{ Ohm} \cdot 3 \text{ Ohm}}{3 \text{ Ohm} + 3 \text{ Ohm}} = \frac{9 \text{ Ohm}}{6 \text{ Ohm}} = 1,5 \text{ Ohm}$ wie oben angegeben. Die Spannung beträgt 60 Volt und die Stromstärke J der Hauptleitung: $\frac{60 \text{ Volt}}{1,5 \text{ Ohm}} = 40 \text{ Ampere}$ wie das Amperemeter anzeigt.

Haben die Teilleitungen ungleiche Widerstände, wie in Fig. 49, so behält obige Formel ebenfalls ihre Gültigkeit:

$$W = \frac{W_1 \cdot W_2}{W_1 + W_2} = \frac{3 \text{ Ohm} \cdot 6 \text{ Ohm}}{3 \text{ Ohm} + 6 \text{ Ohm}} = \frac{18 \text{ Ohm}}{9 \text{ Ohm}} = 2 \text{ Ohm}.$$

$$J = \frac{60 \text{ Volt}}{2 \text{ Ohm}} = 30 \text{ Ampere Gesamtstromstärke}.$$

Sind sämtliche Widerstände parallel geschalteter Zweigleitungen gleich, so ist das Leistungsvermögen gleich der Summe der Leistungsvermögen der einzelnen Abzweigungen. Da Leistungsvermögen und Widerstand in umgekehrtem Verhältnis dasselbe ist, so ist auch der gesamte Widerstand aller parallel geschalteter Leiter gleich dem Widerstand einer Abzweigung, geteilt durch die Zahl aller Abzweigungen. Z. B. in den Stromkreis einer Batterie sind zwei Nebenuhren eingeschaltet. Die Spulen einer Nebenuhr haben 100 Ohm; demnach würde der Gesamtwiderstand $\frac{100}{2} = 50 \text{ Ohm}$ betragen. Schalten wir jedoch zehn Neben-

uhren parallel, so beträgt der Kombinationswiderstand $\frac{100}{10} = 10 \text{ Ohm}$. Besteht die Batterie aus vier Elementen, à 1,5 Volt, so würde die Stromstärke

$$J = \frac{E \cdot 4}{W} = \frac{1,5 \cdot 4}{10} = \frac{6 \text{ Volt}}{10 \text{ Ohm}} = 0,6 \text{ Ampere}$$

sein.

Da nun jede einzelne Nebenuhr den zehnten Teil dieser Stromstärke hindurchlässt, so ergibt sich $\frac{0,6 \text{ Ampere}}{10} = 0,06 \text{ Ampere}$ für den Betrieb einer Nebenuhr.

Bei dieser Berechnung der Stromstärke wurde angenommen, dass die Spannung an allen Abzweigungspunkten stets die gleiche ist. Bei einer elektrischen Uhrenanlage kommt es jedoch nicht selten vor, dass Abzweigungen von der Hauptleitung räumlich oft sehr getrennt sind. Wir haben daher auch den Widerstand der Hauptleitung zu berücksichtigen, da hierdurch ein

Spannungsabfall

entsteht. Um uns auch hiervon eine Vorstellung zu machen, betrachten wir Fig. 50 (S. 88). G ist ein Wasserbehälter in entsprechender Höhe aufgestellt. Das Wasser in der angeschlossenen Rohrleitung erhält somit einen bestimmten Druck. Solange der am Ende befindliche Wasserhahn geschlossen ist, ist der Druck an allen Punkten gleich, was sich an der Höhe der Wassersäulen in den drei Steigrohren S_1 , S_2 und S_3 bei a_1 , a_2 und a_3 erkennen lässt. Sobald jedoch der Hahn geöffnet wird, fallen alle drei Wassersäulen, jedoch nicht gleichmässig. Die der Stromquelle zunächst befindliche Wassersäule zeigt eine geringere Abnahme; die entfernteste (S_3) den grössten Druck- oder Spannungsabfall.

Spannungs-
abfall.

In fast ähnlicher Weise verhält sich die Elektrizität. Eine schematische Darstellung zeigt uns Fig. 51 (S. 88). Die Punkte P_1 und P_2 einer Stromquelle sind durch eine sehr lange, dünne Leitung miteinander verbunden. Schalten wir an irgendeiner Stelle einen Strommesser ein, so finden wir, dass die Stromstärke an allen Punkten der Leitung gleich ist.

Wäre dies nicht der Fall, dann müsste ja an einzelnen Stellen eine Stromanhäufung bestehen.

Anders verhält es sich mit der Spannung. Legen wir an den Punkten a und c einen Spannungsmesser, so werden wir eine bedeutend höhere Spannung konstatieren, als zwischen den Punkten b und c . Je näher wir mit a an c heranrücken, desto geringer wird die Spannungsdifferenz.

Um den jeweiligen Spannungsabfall zu berechnen, erinnern wir uns an die Erklärungen bezüglich Spannungsberechnungen (Seite 68), worin $E = J \cdot W$ ist.

Berechnung
des
Spannungs-
abfalls.

Denken wir uns zehn Nebenuhren, in weiter oben angegebener Weise, in eine Leitung von 2 Ohm Widerstand eingeschaltet. (Siehe bezüglich Länge die Widerstandstabelle.) Die

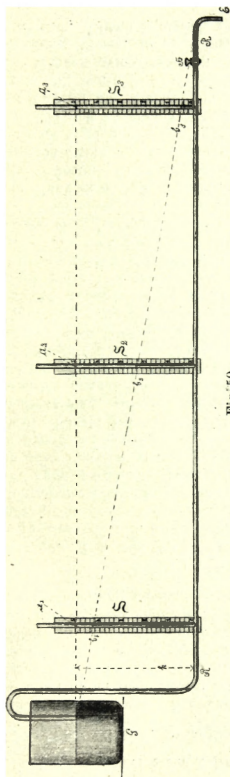


Fig. 50.

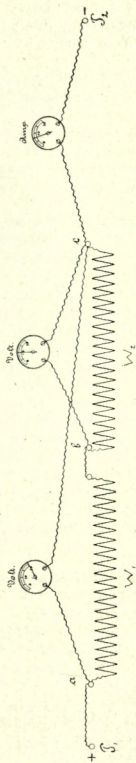


Fig. 51.

Batteriespannung beträgt 6 Volt. Die Stromstärke, die nach unserer obigen Berechnung für zehn Uhren benötigt wird, beträgt 0,6 Ampere. Demnach $E_1 = J \cdot W_1 = 0,6 \text{ Ampere} \cdot 2 \text{ Ohm} = 1,2 \text{ Volt}$ Spannungsabfall.

Die Klemmenspannung beträgt 6 Volt; somit haben wir am Ende der Leitung eine Spannung von $6 - 1,2 = 4,8 \text{ Volt}$. Durch Hinzufügung eines Elementes würde die Spannung auf etwa $4,8 + 1,5 = 6,3 \text{ Volt}$ steigen. Nehmen wir den Querschnitt der Leitung jedoch doppelt so gross, so würde der Widerstand 1 Ohm betragen und der Spannungsabfall $0,6 \text{ Ampere} \cdot 1 \text{ Ohm} = 0,6 \text{ Volt}$. $6 \text{ Volt} - 0,6 \text{ Volt} = 5,4 \text{ Volt}$ Spannung am Ende der Leitung.

4. Kapitel.

Der Elektromagnet.

Ablenkung
der Magnet-
nadel durch
den elektr.
Strom.

Bei unseren Betrachtungen des elektrischen Stromes haben wir bereits eine Erscheinung kennen gelernt, die für die Entwicklung der Elektrotechnik von hoher Bedeutung war. Dem

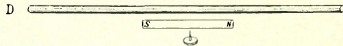


Fig. 52.

denkenden Beobachter wird es aufgefallen sein, dass die isoliert und frei im Bügel der Tangentenbusssole schwingende Magnetnadel aus ihrer Stellung abgelenkt wurde, sobald in den etwa

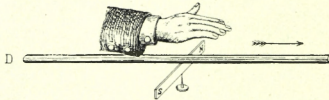


Fig. 53.

10 cm entfernten Bügel ein elektrischer Strom floss. Diese Ablenkung findet jedoch auch statt, wenn die freischwingende Magnetnadel in die Nähe eines gerade gespannten, stromdurchflossenen Leitungsdrahtes gebracht wird. Fig. 52 veranschaulicht die Stellung der Nadel, solange kein Strom durch den Draht *D* fließt. Tritt jedoch bei *D* (Fig. 53) ein Strom ein, so stellt sich die Magnetnadel im rechten Winkel zum Stromleiter.

Der Ausschlag des Nordpols kann dabei durch die in einem früheren Abschnitt angegebene Handregel bestimmt werden.

Nachdem die Magnetnadel in keiner Weise mit dem elektrischen Strom in direkter Berührung steht, so liegt die Vermutung

nahe, dass der Leitungsdraht, sobald er vom Strom durchflossen wird, etwas ausstrahlt, das eine Kraft auszuüben imstande ist. Um uns über diese Vermutung Aufklärung zu verschaffen, stellen wir folgenden Versuch an.

Ein Leitungsdraht *D* (Fig. 54) wird senkrecht gespannt. In der Mitte ist eine durchbohrte Glasscheibe oder ein starker Karton befestigt. Wird nun an Stelle des Pfeiles eine kleine freischwingende Magnetnadel auf den so gebildeten Tisch gestellt, so stellt sich, sobald bei *D* ein Strom eintritt, der Nordpol in die Richtung der Pfeilspitze. Führen wir nun die Nadel, den punktierten Kreisen folgend, rings um den Stromleiter herum, so bildet die Längsachse der Magnetnadel stets eine Tangente zum Radius des Kreises; oder mit anderen Worten: auf allen Punkten eines Kreises kehrt die Magnetnadel stets eine Längsseite dem Stromleiter zu. Wird die Stromrichtung gewechselt, so kehrt auch die Magnetnadel um und zeigt mit dem Südpol in die Richtung der Pfeilspitze. Wir sehen durch diesen Versuch, dass um den Stromleiter eine Hülle oder ein Kraftfeld wirksam ist, und da diese Kraft in einer bestimmten Richtung oder in gewissen Linien verläuft, so nennt man diese Erscheinung ein „Kraftlinienfeld“. Steht ein genügend starker elektrischer Strom zur Verfügung, so kann dieses Kraftlinienfeld noch in anderer Weise sichtbar gemacht werden.

Streut man nämlich auf den Karton *E* (Fig. 54) feine Eisenfeilspäne und sucht durch leichte Schläge den Tisch *E* zu erschüttern, so ordnen sich die Feilspäne in Kreise um den Stromleiter. Der weisse Punkt in Fig. 55 (S. 92) stellt den Querschnitt des Stromleiters dar. Wie man sieht, ist das Kraftlinienfeld in der Nähe des Stromleiters am dichtesten, mit der zunehmenden Entfernung jedoch schwächer. Dieses Kraftlinienfeld tritt nun nicht etwa an einem bestimmten Punkt des Leiters auf, sondern diese magnetischen Kraftlinien umgeben den Draht seiner ganzen Länge nach.

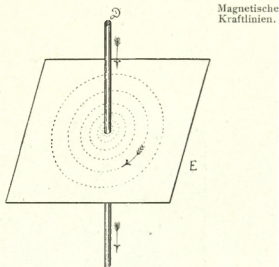


Fig. 54.

Richtung
der
Kraftlinien.

Denken wir uns nun einen stromdurchflossenen Draht zu einer Schlinge zusammengebogen und betrachten wir den so entstandenen Ring von der flachen Seite — sehen also durch die Ringöffnung hindurch —, dann müssen die den Draht umkreisenden Kraftlinien auf der einen Seite der Ringöffnung austreten, den Draht nach aussen umkreisen und auf der anderen Seite der Ringfläche wieder eintreten. Ein solcher Ring ist z. B. durch den Bügel der Tangentenbussole gebildet. Tritt der Strom an der linken Klemmschraube in den Bügel ein, durchfliesst den

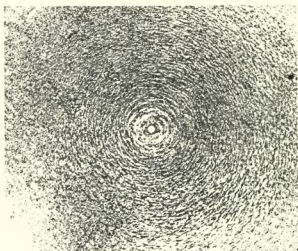


Fig. 55.

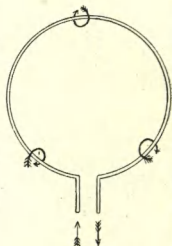


Fig. 56.

Bügel von links nach rechts — also im Sinne der Uhrzeigerbewegung —, so strömen die Kraftlinien an der Aussenseite des Bügels auf den Beschauer zu, biegen an der dem Beschauer zugekehrten Kante des Bügels nach innen um und fließen alle gemeinsam durch den Hohlraum des Bügels vom Beschauer weg (Fig. 56). Wird die Stromrichtung umgekehrt, so strömen die Kraftlinien — aus dem Hohlraum kommend — auf den Beschauer zu. Da nun der Nordpol einer Magnetnadel stets der Richtung magnetischer Kraftlinien folgt, so erklärt sich auch, warum die Nadel unserer Tangentenbussole sich im rechten Winkel zur Bügelebene zu stellen sucht.

Solenoido.

Wird der stromdurchflossene Leitungsdraht in mehreren Windungen zu einer Spirale geformt, so wird die magnetische Wirkung des elektrischen Stromes erhöht. Fig. 57 zeigt eine Spirale mit drei Windungen. Die Stromrichtung ist durch die

drei kleinen Pfeile angedeutet. Auch diese drei Windungen werden von Kraftlinien umkreist (gewissermassen wie die Umspinnung der Isolation der Kupferdrähte sich um den Draht windet). Fliessen der Strom vom Beschauer aus im Sinne der Uhrzeiger, so treten sämtliche Kraftlinien an dieser Stelle in den Hohlraum der Spirale ein; am entgegengesetzten Ende demnach wieder aus. Diese Bewegungsrichtung der Kraftlinien ist durch den stärker gezeichneten Pfeil gekennzeichnet.

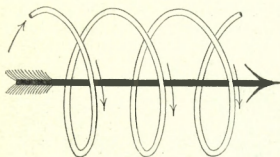


Fig. 57.

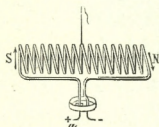


Fig. 58.

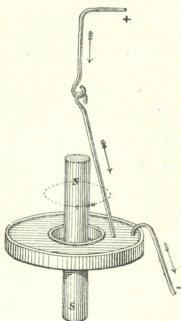


Fig. 59.

Da nach unseren früheren Betrachtungen die Stromstärke eines Leitungsdrahtes an allen Punkten gleich ist, so sind auch die von den drei Windungen erzeugten Kraftlinienfelder einander gleich. Die Wirkung einer Spirale ist demnach um so grösser, je mehr Windungen sie auf 1 cm Länge hat und je stärker der Strom ist, der durch sie fließt.

Nähern wir nun eine solche vom Strom durchflossene Spirale mit einem Ende einer frei beweglichen Magnetnadel, so wird diese aus ihrer Nord-Südrichtung abgelenkt. An jenem Ende, wo die Kraftlinien aus dem Hohlraum herausquellen, findet eine Anziehung des Südpoles der Magnetnadel statt. Der Nordpol der Nadel hingegen wird von dem Ende der Spirale angezogen,

an dem die Kraftlinien in den Hohlraum einsinken. Man kann daher die Enden der Spirale mit Quell- und Sinkstelle bezeichnen. Hängen wir eine stromdurchflossene Spirale an einen sehr dünnen Faden frei schwebend auf und leiten durch zwei Quecksilbernäpfschen an den Enden Strom ein bzw. ab, so stellt sich die Achse der Spirale, gleich einer Magnetnadel, in die Nord-Südrichtung (Fig. 58).

Eine andere Versuchseinrichtung bestätigt uns ebenfalls die nahe Verwandtschaft stromdurchflossener Leiter zum Magneten. Fig. 59 (S. 93) zeigt einen Stabmagneten *N.S.* Ueber die Mitte des Nordpoles ist ein Stück Draht nach allen Seiten beweglich aufgehängt. Das untere Ende taucht in eine Quecksilberrinne, von der

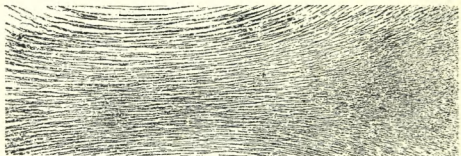


Fig. 60.

wiederrum eine Ableitung den bei $+$ eintretenden Strom aufnimmt. Fließt der Strom in der Richtung der drei Pfeile, so entsteht auch um den beweglichen Stab ein Kraftlinienfeld, das sich, in der Richtung des Stromes gesehen, im Sinne der Uhrzeiger bewegt. Da nun der Magnetstab selbst Kraftlinien aussendet, die ausserhalb des Stabes vom Nordpol zum Südpol verlaufen, so setzt sich der bewegliche Stromleiter in kreisende Bewegung, da die gekreuzt verlaufenden Kraftlinien sich gegenseitig abstoßen.

Die magnetischen Kraftlinien haben das Bestreben, geschlossene Kreise zu bilden. Treten z. B. aus der Quellstelle eines „Solenoides“ — so nennt man stromdurchflossene Spiralen — Kraftlinien aus, so suchen sie ausserhalb der Spirale das andere Ende zu erreichen, um hier an der Sinkstelle wieder in den Hohlraum einzutreten. Die Kraftlinien durchwandern dabei einen Luftraum, der als schlechter Leiter der magnetischen Linien erkannt worden ist; dahingegen bildet Eisen einen vorzüglichen

Leiter, ebenso ist reines Nickel geeignet, magnetische Kraftlinien aufzunehmen und fortzuleiten. Führen wir nun in den Hohlraum eines Solenoides einen Eisenstab ein, so nehmen die an der Sinkstelle eintretenden Kraftlinien ihren Weg durch den Eisenstab und treten an der Quellstelle aus der End- oder Polfläche des Eisens wieder aus.

Wie wir bei unserem Versuch gesehen haben, lassen sich die magnetischen Kraftlinien durch Eisenfeilspäne erkenntlich machen. Um den Verlauf der Kraftlinien im Innern eines Solenoides zu beobachten, fertigen wir uns eine Spirale aus vielen Windungen starken Kupferdrahtes. In den entsprechend gross gewählten Hohlraum führen wir nun einen Streifen Karton so ein, dass derselbe nahezu in der Mitte zu liegen kommt. Werden auf diese Fläche Eisenfeilspäne gestreut, so ordnen sich dieselben, sobald ein Strom durch die Windungen fliesst, in der durch Fig. 60

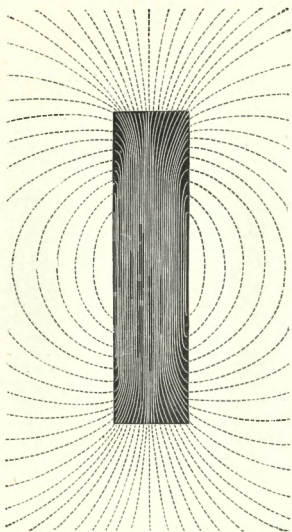


Fig. 61.

dargestellten Weise. In der Mitte sind die Linien gerade, an den Aussenseiten bilden sie jedoch leichte Krümmungen. Fig. 61 zeigt in schematischer Darstellung den Verlauf der Kraftlinien eines magnetisierten Eisen- oder Stahlstabes. Wie ersichtlich, suchen alle Kraftlinien, die aus dem Nordpol austreten, wieder den Südpol zu erreichen, um hier vom Südpol durch den Eisen-

stab zum Nordpol zu gelangen. Es besteht hierin eine Aehnlichkeit mit einem galvanischen Element und dem äusseren Schliessungsbogen. Betrachten wir das Solenoid als die Kraftlinienquelle, so vollzieht sich der Kreislauf innerhalb des Solenoides vom Süd- zum Nordpol und im äusseren Schliessungsbogen vom Nord- zum Südpol. Da nun die im Solenoid erregten Kraftlinien das Eisen durchsetzen, erhält dasselbe ebenfalls die Befähigung, anziehend auf einen Pol einer Magnetnadel zu wirken. Gleichzeitig werden aber auch im Eisen selbst magnetische Kräfte wachgerufen. Die anziehende Wirkung einer Drahtspirale mit Eisenkern ist daher grösser als ohne Eisenkern.

Wie entsteht
Magnetismus?

Wie nun die Erregung magnetischer Kräfte im Eisen vor sich geht, ist bis heute nicht ergründet. Man nimmt jedoch —

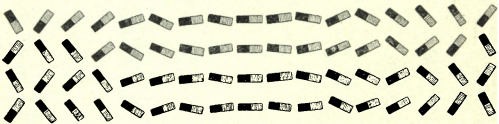


Fig 62.

Molekular-
Magnete.

um eine Vorstellung zu haben — an, dass die kleinsten Teilchen, die Moleküle des Eisens, selbst kleine Magnete sind, die, solange das Eisen unmagnetisch erscheint, jedoch wirr und ungeordnet aufeinander lagern. Nord- und Südpole würden sich somit decken, und was von einem Pol angezogen, würde von einem anderen abgestossen; eine Wirkung nach aussen kann demnach nicht stattfinden. Man nimmt nun an, dass die durch eine stromdurchflossene Spirale erzeugten Kraftlinien auf ihrem Weg durch das Eisen die kleinen wirren Molekularmagnete mit sich fortreissen, wodurch alle Nordpole nach der einen Seite, die Südpole jedoch nach der anderen gerichtet werden. Fig. 62 zeigt eine bildliche Darstellung dieser Annahme.

Da nun zur Gleichrichtung der Molekularmagnete eine Kraft erforderlich ist, so werden bei einem schwachen elektrischen Strom nur wenige Moleküle gerichtet oder die Gleichrichtung erfolgt unvollkommen. Je stärker der elektrische Strom, desto mehr werden die Teilchen gerichtet.

Diese Erklärung hat viel Wahrscheinlichkeit, denn es lassen sich manche Tatsachen dadurch verständlich machen. Weiches

Eisen wird z. B. durch eine bestimmte Stromstärke stärker magnetisch erregt, als ein gleiches Stück harten Stahles. Im weichen Eisen hätten die Moleküle demnach eine grössere Beweglichkeit als im harten Stahl. Auch die Magnetisierung geht schneller vor sich. Nach Unterbrechung des Stromes verliert weiches Eisen seinen Magnetismus; im harten Stahl bleibt ein hoher Prozentsatz der erreichten Magnetisierung dauernd zurück. Die Moleküle des Stahles sind schwerer beweglich und beharren daher länger in der neu eingenommenen Stellung. Die Moleküle des Eisens hingegen fallen wieder in ihren Urzustand zurück.

Härtere Eisensorten, z. B. Gusseisen, sind schwerer magnetisierbar, behalten jedoch einen Teil der Magnetisierung längere Zeit zurück. Ferner liesse sich durch obige Anschauung erklären, warum mit zunehmender Stromstärke die Magnetisierung nicht fortwährend gleichen Schritt hält.

Werden durch einen schwachen Strom und somit durch geringe Kraftlinien des Solenoides die Moleküle des Eisenkernes nur unvollkommen gleichgerichtet, so schreitet die Gleichrichtung mit zunehmender Stromstärke vorwärts, bis alle Teilchen eine gerade Stellung angenommen haben, oder mit anderen Worten: Die gedachten Molekularmagnete haben alle ihre Nordpole nach dem einen und die Südpole nach dem entgegengesetzten Ende des Eisenkernes gerichtet.

Eine weitere Erhöhung der Stromstärke würde also ohne Einfluss auf die Magnetisierung des Eisenkernes sein, da die Moleküle ja nicht mehr als gleichgerichtet sein können.

Nachdem wir nun glauben, eine Vorstellung zu haben, wie der Magnetismus entsteht, wollen wir das Verhalten bezw. die Wirkung der Magnete näher betrachten. Um in den Besitz einiger Magnete zu gelangen, fertigen wir uns ein kräftiges Solenoid. Zu diesem Zwecke wird eine Holzspule mit möglichst dünner Rohrwindung mit isoliertem Kupferdraht von etwa 1 mm Kupferdurchmesser in mehreren hundert Windungen bewickelt. In den Hohlraum der Spule (Fig. 63, S. 98) legen wir sodann nacheinander einige Stäbe gut gehärteten Wolframstahl. Nachdem die Enden der Drahtumwicklung mit einer kräftigen Stromquelle verbunden sind, treten die Kraftlinien des Solenoides ihren Kreislauf an. Blickt man auf das eine Ende der Spule, und fliesst der elektrische Strom in der Richtung der Uhrzeigerbewegung durch die Windungen, so wird der Stahlstab an dem, dem Beschauer zugewendeten Ende südmagnetisch. Es muss bei dieser Magnetisierung darauf gesehen werden, dass der Stab nicht eher aus der

Wirkung
der Magnete.

Herstellung
von
Magneten.

Spule gezogen wird, bis die Stromquelle ausgeschaltet ist, da sonst eine Umkehrung der Pole und Schwächung des Magneten eintritt.

Verhalten
der
Magnetpole
zueinander.

Wird nun ein so magnetisierter Stahlstab in seiner Mitte an einen dünnen Faden freischwebend aufgehängt, so stellt er sich in die Nord-Südrichtung ein. Nähern wir dem Nordpol des schwingenden Stabes den Südpol eines zweiten Magneten, so ziehen sich beide Pole an. Bringen wir jedoch zwei gleichnamige Pole einander näher, so stoßen sie sich ab.

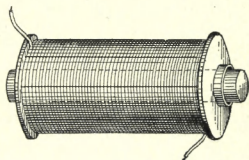


Fig. 63.

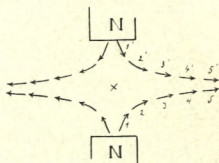


Fig. 64.

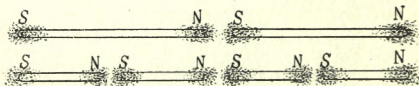


Fig. 65.

Wir folgern daraus den Schluss:

Gleichnamige magnetische Pole stoßen sich einander ab und ungleichnamige ziehen sich an.

Den Verlauf der Kraftlinien zweier gleichnamiger Pole zeigt schematisch Fig. 64.

Tauchen wir einen Magnetstab in Eisenfeilspäne, so haften an den Enden starke Büschel, während in der Mitte des Stabes wenig oder gar keine Späne hängen bleiben. Man sollte daher annehmen, dass die Mitte unmagnetisch ist. Wird jedoch der Stab in zwei gleiche Teile getrennt, so zeigt sich, dass nun beide Enden der Trennungsstelle ebenfalls gleiche Anziehung ausüben. So oft auch der Stab in kleine und kleinste Stücke zerteilt wird, stets bilden sich an der Bruchstelle zwei neue Pole (Fig. 65),

was durch Annäherung an eine freischwingende Magnetnadel beobachtet werden kann. Auch durch diese Erscheinung gewinnt die Annahme der Molekularmagnete an Wahrscheinlichkeit.

Entziehen sich die magnetischen Kraftlinien im Innern eines Magnetstabes unserer Beobachtung, so können wir den äusseren Verlauf derselben jedoch durch die uns schon bekannte Methode darstellen. Ob die magnetische Kraft in Form von sehr feinen Linien oder als ein völlig homogenes Fluidum den Raum durchsetzt, ist ebenfalls eine Annahme. Die Bezeichnung „Kraftlinien“ wurde von dem grossen Physiker Faraday gebraucht, der, nach Dr. K. E. F. Schmidts Experimentalvorlesungen, über Elektrotechnik (Verlag von Wilhelm Knapp in Halle a. S.) 1851 an de la Rive u. a. schrieb:

Magnetische
Kraftlinien.

„Sie wissen, dass ich den Ausdruck ‚magnetische Kraftlinien‘ gebrauche, um die magnetische Kraft und den Sinn (die Polarität), in dem sie sich äussert, darzustellen. In der Tat erhält man, wie ich glaube, hierdurch eine fehlerfreie und zuverlässige Vorstellung von der Verteilung der Kräfte um einen Magnetstab oder zwischen einander benachbarten flachen Polen, die ein gleichförmiges magnetisches Feld liefern oder in irgendeinem anderen Falle. . . . Ein ebenso wichtiger Bestandteil der Definition dieser Linien ist der, dass sie der Ausdruck eines festen und unveränderlichen Kraftbetrages sind. Obwohl also die Gestalt der Linien zwischen zwei oder mehreren Zentren oder Ausgangspunkten magnetischer Kraft, ebenso wie der Raum, den sie durchdringen können, sehr verschieden sein kann, so ist doch die Summe der Kraft in einem Querschnitt einer gegebenen Zahl von Linien genau gleich der Summe der Kraft an jedem anderen Querschnitt derselben Linien, wie verschieden auch ihre Gestalt, ihre Konvergenz oder Divergenz an den beiden Stellen sein mögen.“

Zum besseren Verständnis dieser Faradayschen Grundanschauung fertigen wir uns zunächst ein Bild von dem äusseren Verlauf der magnetischen Kraftlinien. Zu diesem Zwecke legen wir unter die Mitte einer Glasscheibe oder eines glatten Kartons einen kräftigen Stabmagneten *NS* (Fig. 66, S. 100). Sodann werden mittels eines kleinen Siebes feine Eisenfeilspäne möglichst gleichmässig auf die Oberfläche der Scheibe verteilt. Schon beim Aufstreuen, mehr noch durch leichte Erschütterungen der Scheibe, ordnen sich die Feilspäne in Kreise, die durch deutlich erkennbare Linien gebildet werden. An den Polen *N* und *S* streben die Linien

auseinander, biegen jedoch in einem Bogen um und vereinigen sich wieder im entgegengesetzten Pol. Dieses Austreten und Auseinanderstreben der Kraftlinien findet dabei nach allen Seiten des Poles statt. Stellen wir den Magnetstab aufrecht und legen die Glasscheibe auf die Endfläche eines Poles, so ergeben die aufgestreuten Feilspäne ein Bild, wie es in Fig. 67 dargestellt ist.

Faraday sagt nun, dass die gedachten Kraftlinien der Ausdruck eines festen und unveränderlichen Kraftbetrages sind. — Wie kann man nun eine Kraftlinie als ein Mass für eine be-

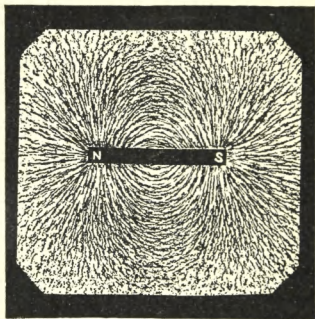


Fig. 66.

stimmte Kraft bezeichnen, wenn man die Kraftlinien selbst nicht sehen oder sonstwie mit Bestimmtheit wahrnehmen kann? Die durch Feilspäne veranschaulichten Kreise entsprechen keineswegs der Zahl der magnetischen Kraftlinien, und doch rechnet die Technik bei allen magnetischen Wirkungen mit einer bestimmten Zahl derselben

Zahl der
Kraftlinien.

Ohne uns allzuweit in theoretische Erörterungen zu vertiefen, möge die nachstehende Erklärung einen Einblick in die Bestimmung der Kraftlinienzahl gewähren: Wir sahen, dass der elektrische Strom selbst nicht messbar war, wie z. B. Wasser oder Leuchtgas, sondern wir benutzten die Wirkung des Stromes, um

auf seine Kraft und Stärke zu schliessen. Ebenso hat man die Zahl der Kraftlinien festgesetzt nach der Stärke der magnetischen Anziehung. Man zählt demnach auf 1 qcm Polfläche eine Linie, wenn ein Zug von einer Dyne ausgeübt wird (eine Dyne ist gleich nahezu 1 mg). Durch Versuche ist festgestellt worden, dass zwei Pole von 1 qcm Querschnitt bei 1000 Kraftlinien mit einem Zug von 40,6 g aneinander haften. Mit anderen Worten: Werden zwei Pole mit einer Kraft von 40,6 g pro Quadrat-

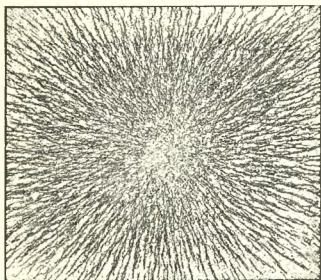


Fig. 67.

zentimeter gegenseitig angezogen, so gehen durch die Berührungsfläche pro Quadratzentimeter 1000 Kraftlinien.

Alle Kraftlinien suchen nun einen geschlossenen Kreis zu bilden; die vom Nordpol austretenden, suchen auf dem kürzesten Weg den Südpol zu erreichen. Da sich nun gleichgerichtete Kraftlinien gegenseitig abstossen, so weichen die äusseren Linien den inneren aus, beschreiben demnach einen grösseren Bogen, wie Fig. 61 (S. 95) veranschaulicht. Bringt man ein Eisenstück in die Nähe eines Poles *N* (Fig. 68), so werden die Kraftlinien aus ihrer Bahn abgelenkt; ein grosser Teil wählt seinen Weg durch das Eisen. Da wir den Nordpol als die Austritts- oder Quellstelle betrachten, so treten die Kraftlinien bei *A* in das Eisen ein, und erzeugen hier eine Sinkstelle, oder bei *A* wird ein Süd-

pol erregt. Die Kraftlinien durchwandern das Eisenstück und treten an der entgegengesetzten Seite wieder aus, bilden also hier eine Quellstelle. Demnach muss das dem Nordpol abgewandte Ende des Eisens ebenfalls ein Nordpol werden, was sich durch Versuche mittels der Magnetnadel bestimmen lässt. Legt man zwischen den Polen *NS* (Fig. 69 u. 70) einen eisernen

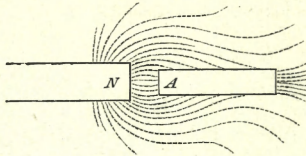


Fig. 68.

Ring, so tritt ebenfalls ein grosser Teil der Kraftlinien in das Eisen ein; durch den Hohlraum des Ringes selbst gehen fast keine Kraftlinien, da dieselben in dem Mantel des Ringes einen besseren Leiter finden.

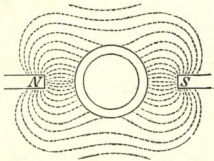


Fig. 69.

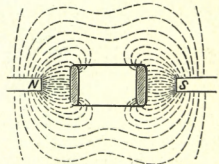


Fig. 70.

Magnetische
Leitungs-
fähigkeit

Einen Unterschied im Leistungsvermögen zwischen hartem Stahl und weichem Eisen zeigt uns die Abbildung Fig. 71.

Vor den Polen *NS* eines Stahlmagneten sind in einiger Entfernung je ein harter Stahl- und weicher Eisenstab befestigt. Wird das untere Ende der Stäbe in Eisenfeilspäne getaucht, so bleiben am Ende des Eisenstabes büschelartig Feilspäne haften. Die Kraftlinien des Stahlmagneten haben also das Eisen durchdrungen und dem Eisenstab selbst eine magnetische Anziehungs-

kraft erteilt. Diese Uebertragung der magnetischen Kraft auf unmagnetisches Eisen oder Nickel usw. nennt man die magnetische Induktion. Betrachten wir nun den Stahlstab, der ebenfalls in Eisenfeilspäne getaucht wurde, so bemerken wir, dass nur wenig oder gar keine Feilspäne angezogen worden sind. Wir finden somit die Annahme bestätigt, dass harter Stahl ein schlechterer Leiter der magnetischen Kraftlinien ist und dadurch auch schwerer magnetisiert werden kann.

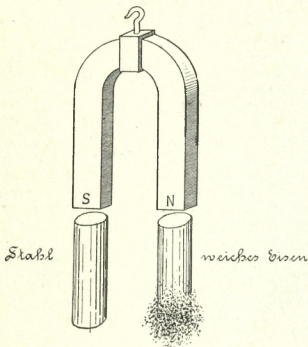


Fig. 71.

Ob nun Eisen oder Stahl durch einen permanenten Stahlmagneten oder durch ein Solenoid magnetisiert wird, ist belanglos. Dahingegen ist die Wahl der Materialien für die Anfertigung der Magnete von hoher Bedeutung. Dem vortrefflichen Werke „Der Elektromagnet“ von Professor Silvanus P. Thompson, London (Verlag von Wilhelm Knapp in Halle a. S.), entnehme ich daher nachstehende Angaben. Bei den elektrischen Uhren findet der Elektromagnet eine ausgedehnte Verwendung, und da in den vorwiegendsten Fällen die Stromquelle in ihrer Leistungsfähigkeit begrenzt ist, so muss die grösstmögliche Ausnutzung der magnetischen Leistung des Eisens angestrebt werden.

Das Material
für Elektro-
magnete.

Die magne-
tischen
Eigen-
schaften des
Eisens.

Es ist deshalb sehr wichtig, sich erst über die magnetischen Eigenschaften des Eisens, das für den Elektromagneten verwendet werden soll, Klarheit zu verschaffen. Hat man Eisen, das eine geringere Durchlässigkeit besitzt, so ist klar, dass man ein grösseres Stück braucht, um die gleiche magnetische Wirkung hervorzubringen, als solche von einem kleineren Stück von höherer Durchlässigkeit hervorgebracht werden würde. Andererseits ist mehr Kupferdraht zur Wickelung erforderlich, wenn das Eisenstück geringere Durchlässigkeit besitzt, denn, um die Magnetisierung bis zu dem erforderlichen Punkt zu steigern, muss man das Stück grösserer magnetisierender Kraft aussetzen, als für ein Stück mit höherer Durchlässigkeit notwendig gewesen wäre. Zum Studium der magnetischen Beobachtungen bei irgendeiner Eisensorte zeichnet man zweckmässig die Kurve der Magnetisierung auf, d. h. die Kurve, deren Abszissen die magnetische Kraft H darstellen und deren Ordinaten der Magnetisierung B entsprechen. Die Fig. 72 (nach den Untersuchungen von Ewing) zeigt fünf Kurven für weiches Eisen, gehärtetes Eisen, geglühten Stahl, hartgezogenen Stahl und glasharten Stahl. Sämtliche Kurven besitzen dieselbe Grundform. Für kleine Werte von H sind die Werte von B klein, beim Anwachsen von H wächst B ebenfalls. Die Kurve steigt ferner plötzlich an, wenigstens bei allen weicheeren Eisensorten, biegt sich dann und verläuft beinahe horizontal. Befindet sich die Magnetisierung in dem Zustand unterhalb des Knies der Kurve, so sagt man, das Eisen ist vom Zustand der Sättigung weit entfernt. Ist aber die Magnetisierung bis jenseits des Knies fortgeschritten, so nähert sich das Eisen der Sättigung; bei diesem Zustand der Magnetisierung ist ein starkes Anwachsen der magnetisierenden Kraft notwendig, um eine nur geringe Zunahme der Magnetisierung hervorzubringen. Es mag bemerkt werden, dass weiches Eisen dem Zustand der Sättigung sich nähert, wenn B den Wert von etwa 16000 Linien für das Quadratcentimeter, oder, wenn H den Wert von etwa 50 erreicht hat. Wir werden sehen, dass es nicht wirtschaftlich ist, den Wert von B über die angegebene Grenze zu steigern, d. h. es lohnt sich nicht, eine stärkere, magnetische Kraft anzuwenden, als eine solche, bei der H den Wert $= 50$ besitzt. Aber auch dieser Wert dürfte bei elektrischen Uhren niemals erreicht werden. Da wir stets mit verhältnismässig schwachen Strömen zu arbeiten haben oder, richtiger gesagt, auskommen müssen, so ist es von doppelter Wichtigkeit, ein Material zu verwenden, das eine grosse Durchlässigkeit besitzt. Ein Vergleich der beiden

Kurven von weichem, ausgeglühtem Eisen und durch Strecken gehärtetem Eisen ergibt, dass bei einer magnetisierenden Kraft von $H=5$ das gehärtete Eisen kaum eine Magnetisierung von 3000 Kraftlinien aufweist, während das ausgeglühte Eisen den Wert von etwa 12000 erreicht.

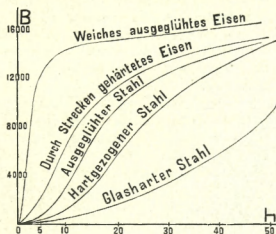


Fig. 72.

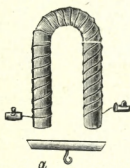


Fig. 74.

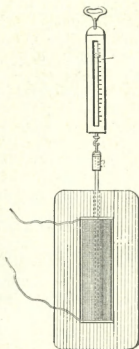


Fig. 73.

Der Praktiker ist nun wohl im allgemeinen darauf angewiesen, ihm bekannte Eisensorten zu verwenden. Immerhin dürfte es von Interesse sein, ein Verfahren kennen zu lernen, das wenigstens einen Vergleich zwischen den einzelnen Eisensorten gestattet. Thompson beschreibt in seinem genannten Werk einen solchen Apparat folgendermassen: Ein rechtwinkliges Stück weiches Eisen ist mit einer Höhlung zur Aufnahme einer Magnetisierungsspule versehen, die Achse wird durch eine Messingröhre gebildet. Das Eisenstück ist 30 cm lang, 16,5 cm

Durchlässigkeitsmesser.

breit und 7,5 cm stark. An dem einen Ende besitzt der Block eine Bohrung, um das zu prüfende Eisen einzuführen (Fig. 73).

Zu der Probe nimmt man einen dünnen Stab von etwa 0,3 m Länge, die Oberfläche des einen Endes muss sorgsam abgeflacht werden. Sobald die Probe in die Magnetisierungsspule gebracht ist und der erregende Strom sie durchfließt, haftet der Stab mit seinem unteren Ende fest an der Fläche des Eisenblockes; die zum Abreissen erforderliche Kraft (oder vielmehr die Quadratwurzel aus der Grösse der Kraft) bildet einen Massstab für den Durchgang der magnetischen Linien durch die Endfläche. Bei dem ersten, von mir hergestellten Durchlässigkeitsmesser hatte die magnetisierende Wicklung eine Länge von 13,64 cm und besass 371 Drahtwindungen. Betrug die Stärke des erregenden Stromes 1 Amp., so wurde eine magnetisierende Kraft $H = 34$ hervorgebracht. Der Draht besitzt genügende Stärke, um 30 Amp. zu leiten, so dass man leicht eine magnetisierende Kraft von 1000 erreichen kann. Der zu prüfende Stab wird an einer Federwage befestigt und damit die Kraft gemessen; die Wage ist mit einer selbsttätigen Fangvorrichtung versehen, so dass der Zeiger bei der höchsten Ablesung stehen bleibt.

Nachdem wir nun wissen, dass es auch für magnetische Kraftlinien gute und schlechte Leiter gibt, können wir an die Herstellung eines Elektromagneten schreiten. Die Entstehung und der Verlauf der Kraftlinien in einer stromdurchflossenen Drahtspirale ist uns bekannt; auch wissen wir, dass ein, in den Hohlraum eingefügter Eisenstab Kraftlinien ausstrahlt, ja selbst ein Magnet wird, solange der elektrische Strom durch die Windungen der Spirale oder Spule kreist. Einen solchen Stabelektromagneten haben wir in Fig. 63 (S. 98) kennen gelernt. Um jedoch beide Enden oder Pole eines magnetisierten Eisenstabes auf einen Anker einwirken lassen zu können, ist der Stab hufeisenförmig gebogen (Fig. 74). Zweckmässig werden auch zwei Eisenstäbe in ein gemeinsames Flacheisen befestigt und auf die so gebildeten Schenkel je eine, mit Kupferdraht bewickelte Spule gesteckt. Eine solche Anordnung nennt man einen

Hufeisenelektromagneten.

Durchfließt ein elektrischer Strom die Spulen des Elektromagneten, so wird ein vor den Polen befindliches Eisenstück, der sogen. Anker, angezogen. Für uns ist nun von Bedeutung, zu wissen, mit welcher Kraft diese Anziehung erfolgt, wenn ein

Strom von bestimmter Stärke zur Anwendung kommt? Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, ob der Anker unmittelbar die Polflächen berührt, oder ob die Anziehung des Ankers aus einer bestimmten Entfernung erfolgen soll; für unsere Zwecke wird letzteres wohl immer der Fall sein. Ein einfacher Versuch belehrt uns schon, dass die Anziehung in nächster Nähe der Pole am stärksten ist, mit zunehmender Entfernung nimmt die Anziehungskraft der Magnete schnell ab. Eine vielfach verbreitete Ansicht, die man auch in manchen Lehrbüchern finden kann, behauptet, dass die Anziehungskraft „dem Quadrat der

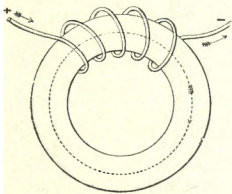


Fig. 75.

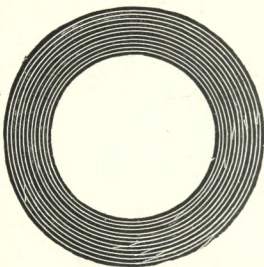


Fig. 76.

Entfernung umgekehrt proportional sei“; d. h. wird ein Anker in einer Entfernung von 10 mm mit einer Kraft von 50 g angezogen, so würde die Anziehungskraft bei einem Ankerabstand von 5 mm gleich 200 g sein.

Diese Regel würde Gültigkeit haben, wenn die magnetische Kraft als etwas Feststehendes, die Zahl der Kraftlinien, bei einer bestimmten magnetisierenden Kraft als unveränderlich angesehen werden könnte. Man war früher der Meinung, dass die magnetische Kraft nur an den Polen haften, dies ist jedoch nicht der Fall. Könnte man zwei entgegengesetzte Pole als Punkte betrachten, an denen eine bestimmte Menge Magnetismus angehäuft ist, oder, was dasselbe bedeutet, wenn die an den Polen vorhandene, magnetische Kraft nur von der Grösse der magnetisierenden Einwirkung, z. B. einer stromdurchflossenen Draht-

spule abhängig wäre, so liesse sich die Kraft der Anziehung wohl durch die Gesetze der umgekehrten Quadrate berechnen. Sobald jedoch der eiserne Anker dem Pole eines Elektromagneten genähert wird, entsteht eine wechselseitige Zwischenwirkung; es treten mehr magnetische Kraftlinien aus dem Pole als vorher, weil die Strömung der magnetischen Linien im Eisen leichter als in der Luft stattfindet.

Um uns diesen Vorgang näher vor Augen zu führen, betrachten wir die Fig. 75. Ein eiserner Ring ist ringsherum mit

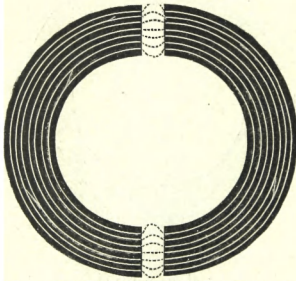


Fig. 77.

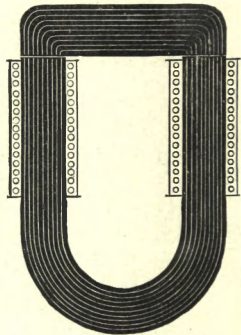


Fig. 78.

einer Drahtwicklung versehen. Fließt der Strom im Sinne der Uhrzeigerbewegung, so werden im Ring Kraftlinien erzeugt, deren Strömung ebenfalls im Sinne der Uhrzeiger verläuft. Da die magnetischen Kraftlinien im Innern des Eisenringes einen geschlossenen Kreis bilden, so erscheint der Ring (Fig. 76) als ein polloser Magnet. Bei diesem Kreislauf bildet das Eisen den einzigen Widerstand auf dem Wege, den die Kraftlinien zu durchwandern haben. Anders verhält es sich jedoch, wenn der Ring an zwei Stellen getrennt wird (Fig. 77). Die Luft ist ein schlechter Leiter der Kraftlinien und dadurch wird der Kreislauf gestört, es treten nicht mehr so viel Kraftlinien aus den Schnitt-

flächen des Ringes, als wenn derselbe vollständig geschlossen wäre; da der Luftzwischenraum eben als magnetischer Widerstand wirkt. Betrachten wir nun einen Hufeisenmagneten mit anliegendem Anker, wie ihn Fig. 78 darstellt. Unter Berücksichtigung der Durchlässigkeit des Eisens lässt sich aus dem Quadrat oder Querschnitt, sowie der Länge des Kernes nebst Anker berechnen, wie gross die Stromstärke, bei einer be-

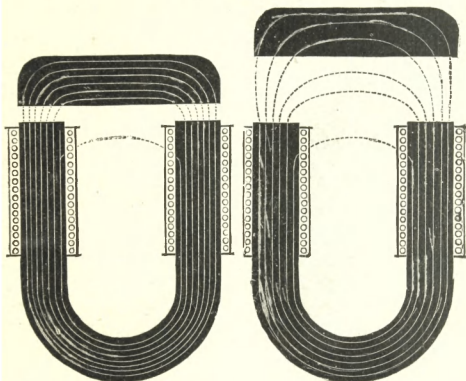


Fig. 79.

Fig. 80.

stimmten Anzahl von Drahtwindungen sein muss, um eine gewünschte Anziehungskraft zu erzielen. Diese Anziehungskraft ist auf einen fest anliegenden Anker gedacht. Entfernen wir den Anker etwas von den Polflächen, wie ihn Fig. 79 darstellt, so wird dieselbe Stromstärke, wie vorhin, nicht mehr imstande sein, die gleiche Anzahl Kraftlinien hervorzurufen, weil die entstandenen Luftzwischenräume dem Uebertritt der Kraftlinien einen Widerstand entgegensetzen und somit der magnetische Kraftlinienkreis geschwächt wird; die Anziehung ist also in dieser Entfernung geringer.

Magnetische
Streuung

Ein weiterer Umstand, weshalb die Anziehungskraft mit zunehmender Entfernung des Ankers vom Pol so bedeutend abnimmt, ist die sogen. Streuung.

Diese Erscheinung tritt stets auf, wenn der magnetische Kreis nicht vollkommen ist. Durch die Entfernung des Ankers von den Polen wird durch den Luftraum ein bedeutender

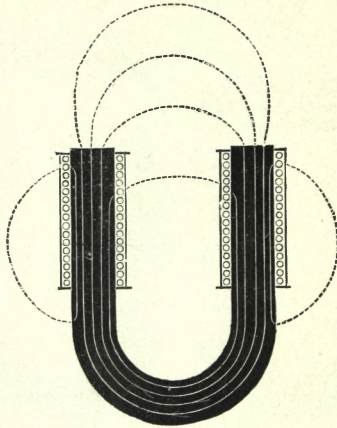


Fig. 81.

Widerstand eingefügt. Die Kraftlinien finden auf ihrem Weg vom Pol zum Anker und vom Anker zum nächsten Pol zweimal einen Luftzwischenraum, der länger ist, als die Entfernung von einem Pol zum anderen selbst. Wir sehen in Fig. 80, wie ein Teil der Kraftlinien von Pol zu Pol übergeht und somit den Anker gar nicht erreicht; diese Kraftlinien gehen daher für die Anziehung verloren.

Eine Streuung findet zwar immer statt, deshalb ist bei der Herstellung der Elektromagnete dahin zu wirken, dass der Ver-

lust von Kraftlinien in möglichst engen Grenzen gehalten wird. Aus dem oben Gesagten ergibt sich daher die Regel, dass bei Elektromagneten, die eine grosse Anziehungskraft erhalten sollen, der Anker nur einen geringen Abstand von den Polen haben darf. Würden wir den Anker ganz entfernen, wie in Fig. 81 veranschaulicht, so würden durch dieselbe Stromstärke und Windungszahl nur so viele Kraftlinien erzeugt werden, wie infolge Streuung, von einem Pol zum anderen, durch den Luftwiderstand übertreten können.

Wir haben bereits die Magnetisierung des Eisens durch einen elektrischen Strom kennen gelernt, auch haben wir gesehen, dass die Zahl der Drahtwindungen einer Magnetisierungsspule von grosser Bedeutung für die Stärke der Magnetisierung ist. Da aber auch die jeweils durch die Windungen fliessende Stromstärke den gleichen Einfluss auf die Grösse der Magnetisierung ausübt, so müssen beide Faktoren gleichzeitig in Rechnung gezogen werden. Man bezeichnet daher das Produkt aus Stromstärke in Ampere \times Anzahl der Windungen mit Ampere-Windungen.

Praktische Versuche haben bestätigt, dass es in bezug auf Wirkung gleich ist, ob ein Strom von 1 Amp. durch 100 Windungen, oder 2 Amp. durch 50 Windungen fliessen. In beiden Fällen haben wir 100 Amp.-Windungen ebenso, als wenn 0,1 Amp. durch 1000 Windungen fliesst. $1000 \cdot 0,1 = 100$ Amp.-Windungen.

Hieraus darf jedoch nicht der Schluss gezogen werden, dass demnach durch eine geringe Stromstärke dieselbe magnetisierende Kraft erreicht werden kann, als mit einer grösseren Stromstärke, wenn nur die Zahl der Windungen dementsprechend erhöht würde.

Denken wir uns eine Spule mit einem Draht von etwa 43 m Länge so bewickelt, dass wir 200 Windungen erhalten. Beträgt der Durchmesser des Drahtes blank 1 mm, so haben wir nach unserer Tabelle etwa 1 Ohm Widerstand. Als Stromquelle dient ein Trockenelement mit 1,5 Volt Spannung. Die Stromstärke, die nun durch die 200 Windungen fliesst, ist $\frac{1,5 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}} = 1,5$ Amp. und die Ampere-Windungszahl

$$1,5 \text{ Amp.} \cdot 200 \text{ Windungen} = 300 \text{ Amp.-Windungen.}$$

Wir fügen hierauf unserer Spule weitere 43 m hinzu und würden dadurch, angenommen, 400 Windungen erhalten. Da der Widerstand bei doppelter Drahtlänge jetzt 2 Ohm beträgt, so stellt sich die Rechnung wie folgt:

$$\frac{1,5 \text{ Volt}}{2 \text{ Ohm}} = 0,75 \text{ Amp.} \cdot 400 \text{ Windungen} = 300 \text{ Amp.-Windungen.}$$

Ampere-
Windungen

Scheinbar haben wir mit der halben Stromstärke dieselbe magnetisierende Wirkung von 300 Amp.-Windungen erreicht; praktisch ist das jedoch nicht der Fall. Die Drahtwindungen kommen bei der Spulenwicklung lagenweise übereinander zu liegen; demnach nimmt der Durchmesser stetig zu, die inneren Windungen werden daher kürzer sein, als die äusseren. Hat z. B. die Spulenhülse einen Durchmesser von 12 mm, so hat eine innere Windung eine Länge von etwa 39 mm, während bei 20 mm Lagendurchmesser erst etwa 66 mm Länge eine Windung ergeben. Der Widerstand wächst mit zunehmender Länge im gleichen Verhältnis, die Zahl der Windungen jedoch nicht.

Grösse der
Spulen.

Bei elektrischen Uhren ist die Grösse der Spulen durch den verfügbaren Raum gegeben. Um die Zahl der Windungen zu ermitteln, wird zunächst Länge und Höhe des Wickelraumes bestimmt; ist derselbe z. B. 30 mm lang und beträgt die gewählte Drahtstärke mitsamt der Umspinnung 1 mm, so kommen 30 Windungen nebeneinander zu liegen. Ist der Wickelraum 10 mm hoch (also von der Hülse bis an den Rand der Endscheiben), so liegen 10 Windungen übereinander; demnach fasst diese Spule $10 \cdot 30 = 300$ Windungen dieser Drahtstärke. Ebenfalls lässt sich die gesamte Drahtlänge dadurch ermitteln, dass man aus dem Durchmesser einer inneren Windung und dem Durchmesser einer äussersten Windung die mittlere Länge aller Windungen berechnet und mit der Zahl der Windungen multipliziert. Z. B.: Durchmesser einer inneren Windung (von Mitte zu Mitte des Drahtes) 11 mm = 34,56 mm Umfang; äussere Windung 29 mm = 91,11 mm Umfang.

34,56

91,11

$125,67 : 2 = 62,835$ mm mittlere Windungslänge.

$62,835 \cdot 300 = 18,850$ m gesamte Drahtlänge.

Ist der Kupferquerschnitt bekannt, so lässt sich mit Hilfe der Tabelle auch der Widerstand feststellen. Selbstverständlich muss bei diesen Rechnungen die Stärke der Isolierschicht, d. h. die Umspinnung genau bekannt sein; dieselbe schwankt bei den verschiedenen Drahtstärken bedeutend und wird noch durch das Material der Umspinnung, ob Seide oder Baumwolle, einfach oder doppelt usw. beeinflusst.

Die Ampere-Windungen bilden eine Grösse für die magnetischen Wirkungen einer bestimmten elektrischen Energie. Soll diese Wirkung in mechanische Arbeit umgesetzt werden, so ist bei der Konstruktion der Elektromagnete auch auf den Eisenquerschnitt

Rücksicht zu nehmen, damit die Kraftlinien sich in genügender Zahl entwickeln können, wie in einem früheren Abschnitt begründet wurde.

Wir wollen nun einige praktische

Ausführungsformen von Elektromagneten

betrachten, wie sie in elektrischen Uhren Verwendung finden. Form und Wirkungsweise eines einfachen Hufeisenelektromagneten zeigen uns Fig. 78 bis 80 (S. 108 u. 109), während Fig. 82 eine Ausführungsform mit einer Spule darstellt.

Bei den sogen. Topfmagneten findet ebenfalls nur eine Spule Anwendung. Wie aus der Fig. 83 ersichtlich, ist die Spule

Elektro-
magne-
te in ver-
schiedenen
Aus-
führungen.

Topf-
magnete

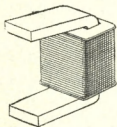


Fig. 82.

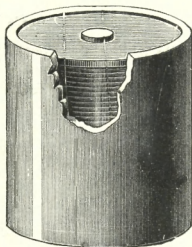


Fig. 83.

mit einem eisernen Mantel umgeben. In dem Boden dieses Mantels ist der Eisenkern befestigt; Boden mit Mantel bilden daher gewissermassen die Verlängerung des unteren Poles. Die durch Einwirkung der stromdurchflossenen Spule im Eisenkern erregten Kraftlinien finden somit keinen Luftwiderstand auf ihrem Weg vom unteren Pol bis zur Ebene des oberen Poles. Ist letzterer nordmagnetisch erregt, so bildet der obere Rand des Mantels den Südpol. Der geeignete Anker für diesen Topfmagneten ist eine runde Scheibe. Auch diese Bauart hat verschiedentlich Abänderungen erfahren. So stellt man z. B. Topfmagnete dadurch her, dass der Eisenkern in der Mitte eines Uförmig gebogenen Flacheisens befestigt wird. Auch verwendet man zwei Uförmige Eisenwinkel und setzt in die Mitte den Kern.

Die vier aufrechtstehenden Enden bilden dann ein Viereck und wirken im Prinzip gleich dem runden Mantel. Bei geringem Ankerabstand ist die Wirkungsweise eine sehr günstige; als weiterer Vorzug ist der geringe Raumbedarf zu bezeichnen.

Schwing-
anker.

Soll die anziehende Wirkung eines Elektromagneten sich in einer drehenden Bewegung äussern, so eignet sich die Anordnung

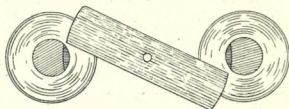


Fig. 84.

der Fig. 84 u. 85. Die Kraftäusserung ist jedoch im Vergleich mit vorstehend beschriebenen Magneten umgekehrt. Während die flach angezogenen Anker in der Nähe des Poles kräftiger beeinflusst werden als in grösserer Entfernung, findet bei den

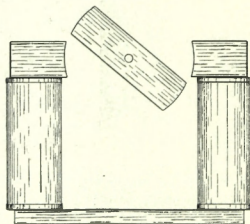


Fig. 85.

Ankern der Fig. 84 u. 85 die grösste Anziehung in der Anfangsstellung statt und nimmt mit fortschreitender Drehung stetig ab. Die Ursache liegt darin, dass die Kraftlinien ihren Weg nicht mehr so viel verbessern oder verkürzen können, wenn sich der Anker bereits den Polen genähert hat. Obgleich die Zahl der Kraftlinien wächst, tritt doch mehr ein Seitenzug auf, als ein Zug im Sinne der Drehrichtung.

Um diese grosse Anfangsgeschwindigkeit der sogen. Schwinganker günstig auszunutzen, werden zweckmässig Gewichte, bezw. Schwungkörper mit dem Anker fest verbunden; die Winkelbewegung wird dadurch auch über die Mittellage hinaus vergrößert.

Als eine besondere Gruppe können die sogen. Solenoide oder Elektromagnete mit Kern zum Eintauchen betrachtet werden. Die bekannte Erscheinung, dass ein Eisenstab in den Hohlraum einer stromdurchflossenen Spule hineingezogen wird,

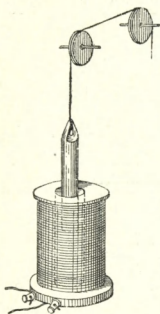


Fig. 86.

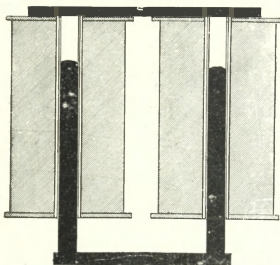


Fig. 87.

ist durch Fig. 86 bildlich dargestellt. Bei genügender Stromstärke wird der Kern so weit hineingezogen, dass beide Enden gleich lang aus der Spule hervorragen. Kommen zwei Spulen zur Anwendung, so wird die Wirkung dadurch erhöht, dass der Uebertritt der Kraftlinien von einer Spule zur anderen nicht durch Streuung, sondern durch ein aufgelegtes Eisenstück begünstigt wird (Fig. 87).

Die Elektromagnete mit beweglichem Kern haben einen grösseren Wirkungsbereich, dahingegen ist die Anziehungskraft etwas geringer. Führt man in das eine Spulenende jedoch einen aussen vorstehenden Eisenpfropf ein, wie Fig. 88 zeigt,

Wirkungsweise der Solenoide.

so wird die Anziehung grösser, gleichzeitig aber ist auch die Bewegungsfreiheit des Kernes begrenzt.

Um nun beide Vorteile einander möglichst nahe zu bringen, formte ich den Eisenkern, wie ihn Fig. 89 zeigt. Durch die beiderseitige Abschrägung wird zunächst eine grosse, wirksame Polfläche gebildet; ausserdem wächst der gegenseitige Abstand nicht im gleichen Verhältnis mit der Ankerbewegung. Wird z. B. E_1 25 mm aus den Spulen herausgezogen, so beträgt der Abstand an den Schnittflächen erst 7 mm.

Die vorstehend beschriebenen Elektromagnete ziehen ihren Anker stets an, ohne Rücksicht auf die jeweilige Stromrichtung.

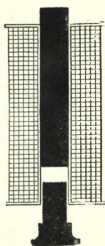


Fig. 88.

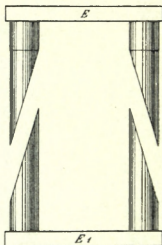


Fig. 89.

Polarisierte
Elektro-
magnete.

Der Vollständigkeit halber seien daher nur noch jene Elektromagnete erwähnt, bei denen der Anker nur dann in Bewegung tritt, wenn die Stromrichtung und somit die Polarität der Kerne es gestattet. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass als Anker nicht ein weiches Eisenstück Verwendung findet, sondern der Anker besitzt dauernd schon Polarität. Diese Art nennt man daher auch polarisierte Elektromagnete.

Fig. 90 veranschaulicht den Grundgedanken. Vor den Polen eines Elektromagneten ist ein Magnetstab ns drehbar gelagert. Wird nun durch die uns bekannte Stromrichtung der linke Schenkel nord- und der rechte südmagnetisch erregt, so wird der Südpol S den Nordpol n des Magnetstabes anziehen und gleichzeitig der Schenkel N den Pol n des Stabes abstossen. So oft nun auch der Stromkreis, wie vorhin, geschlossen wird, beharrt der Magnet-

stab, der hier den Anker darstellt, in seiner Stellung. Kehrt man die Stromrichtung um, so dass *S* ein Nordpol wird und *N* ein Südpol, so macht der Anker *ns* eine entgegengesetzte Drehung.

Nicht immer besteht der Anker aus einem magnetisierten Stahlkörper; vielfach kommt die weiter oben erklärte magnetische Induktion zur Anwendung. Als ein Beispiel möge Fig. 91 dienen. Auf der blattförmigen Verlängerung eines U-förmig gebogenen Stahlmagneten stehen zwei weiche Eisenkerne mit den Magneti-

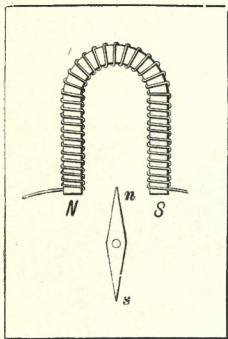


Fig. 90.

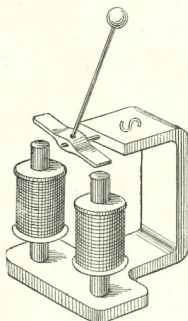


Fig. 91.

sierungsspulen. Am oberen Ende *S* des Stahlmagneten ist ein weicher Eisenanker drehbar gelagert. Beide Eisenkerne werden durch den Magneten gleichnamig polarisiert; der Anker hingegen nimmt infolge der Nähe des anderen Poles die entgegengesetzte Polarität an und wird demnach an beiden Enden, von beiden Elektromagnetschenkeln gleichmässig angezogen. Ein durch die Spulen fließender Strom soll nun den linken Schenkel noch stärker nord- und den rechten Schenkel südmagnetisch erregen; die Folge davon ist, dass der Anker rechts abgestossen und von dem linken Schenkel angezogen wird. Kehrt die Stromrichtung um, so wechseln die Schenkel ihr Vorzeichen und der Anker macht eine Rechtsdrehung.

Galvanometerzeiger ausschlägt und sofort wieder auf Null zurückgeht. Wird hierauf der Magnetstab schnell aus der Spule herausgezogen, so schlägt die Nadel nach der entgegengesetzten Seite aus.

Um den Vorgang noch etwas deutlicher zu machen, benutzen wir die Einrichtung in Fig. 92. Vor den gleichnamigen Polen kräftiger Stabmagnete stehen zwei Metallsäulen Cu_1 und Cu_2 . Die oberen Enden sind durch eine Drahtleitung mit einem Galvanometer verbunden. Bewegt man nun einen Kupferdraht LL so an den Säulen auf und ab, dass stete metallische Berührung vorhanden ist, so schlägt die Nadel des Galvanometers nach rechts aus, sobald LL rasch abwärts bewegt wird. Das Galvanometer zeigt also einen positiven Strom an, wie er durch die Pfeile gekenn-

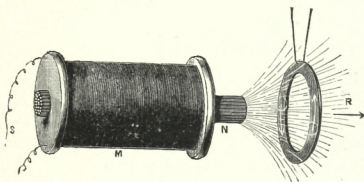


Fig. 93.

zeichnet ist. Denken wir uns die magnetischen Kraftlinien am Nordpol der Magnete austreten (Fig. 66, S. 100) und kreisförmig zum Südpol verlaufend, so können wir den Schluss folgern, dass durch Annäherung oder Entfernung eines Leiters an einen Magnetpol, in dem Leiter selbst ein elektrischer Strom erregt oder induziert wird. Dasselbe tritt auch ein, wenn der Leiter stillsteht und die Magnete genähert oder entfernt werden. Bei dieser Lageveränderung werden die magnetischen Kraftlinien durchgeschnitten; demnach muss beim plötzlichen Auftreten eines Kraftfeldes in einem benachbarten Leiter ebenfalls ein Induktionsstrom entstehen, wenn die Kraftlinien den Leiter durchsetzen und somit erstere geschnitten werden. Diese Tatsache führt uns Fig. 93 vor Augen. Wird der Stromkreis der Batterie unterbrochen und somit der Magnetismus im Eisenkern aufgehoben, so entsteht ein zweiter Strom im Drahtring, jedoch von entgegengesetzter Richtung. Wir wissen aus früheren Betrachtungen, dass auch stromführende Leiter in ihrer Nähe ein magnetisches Kraftfeld erzeugen, dem-

nach übt eine Drahtwindung auf eine benachbarte Windung gleichfalls eine induzierende Wirkung aus. Fig. 94 zeigt in schematischer Darstellung zwei Stromkreise. Die äussere Windung steht mit einer Stromquelle P_1 und P_2 in Verbindung; die innere mit einem Galvanometer. Wird bei O der Stromkreis geschlossen, so zeigt der Galvanometerausschlag das Austreten eines Stromes an, der in entgegengesetzter Richtung des Primärstromes verläuft. Wird der Batteriestrom unterbrochen, verschwinden also die von der äusseren Spirale erzeugten Kraftlinien, so tritt in der inneren Spirale ein Strom auf, der dem Batteriestrom gleichgerichtet ist.

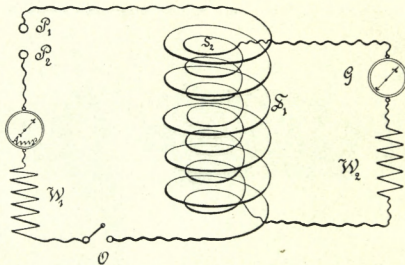


Fig. 94.

Wirkung
der Selbst-
induktion.

Die Erscheinung gewinnt für uns dadurch an Bedeutung, dass auch in einer einzigen Drahtspirale Induktionsströme auftreten. Das Kraftfeld einer Windung wirkt induzierend auf die nächstliegende Windung usw., so dass die einzelnen Windungen als auf Spannung geschaltete Elemente zu betrachten sind. Je mehr Windungen, desto höher ist die Spannung des induzierten Stromes. Der Eisenkern des Elektromagneten verliert seinen Magnetismus fast gleichzeitig mit der Stromunterbrechung, wirkt also im gewissen Sinne gleich einem Stahlmagneten, der plötzlich aus dem Hohlraum einer Spule gezogen wird. Eine weitere Wirkung des Induktionsstromes besteht darin, dass der Batteriestrom nicht sofort zur vollen Wirkung gelangt.

Da der Schliessungssekundärstrom eine entgegengesetzte Richtung zum Primärstrom hat, so erzeugt er naturgemäss an

der Stelle einen Nordpol, wo der Batteriestrom einen Südpol erzeugt. Beide Wirkungen heben sich also gleichsam auf. Da die Spannung des Sekundärstromes eine höhere ist, so bildet sich für den Batteriestrom scheinbar ein grösserer Widerstand, so dass erst nach Verschwinden des Induktionsstromes ersterer seine volle Stärke erreicht. Da der sekundäre Oeffnungsstrom dem Primärstrom gleichgerichtet ist, so tritt auch eine Verzögerung in der Unterbrechung ein.

Ausser dieser verzögernden Wirkung macht sich hauptsächlich der an einer Unterbrechungsstelle auftretende Funken störend bemerkbar, indem die wirksamen Kontaktflächen oxydieren, ja sogar verbrennen, und dadurch dem Uebergang des Stromes einen hohen Widerstand entgegensetzen.

Um den Induktionsstrom oder wenigstens dessen zerstörende Wirkung aufzuheben bzw. zu schwächen, sind verschiedene Methoden in Vorschlag gebracht worden, von denen einige im Prinzip erläutert werden sollen.

Ein sehr schnell unterbrechender Kontakt lässt den Funken früher erlöschen, die Verbrennung ist demnach geringer, als bei langsamer Unterbrechung.

Durch einen starken Luftstrom auf die Kontaktstelle wird der Funken ausgeblasen.

Findet die Unterbrechung im magnetischen Felde statt, so wird der Funken seitwärts gerissen und erlischt.

Im Jahre 1867 schlug Varley (nach S. P. Thompson) vor, über den Eisenkern eine Kupferhülse zu schieben, die eine Gegeninduktion erzeugt. 1870 verfolgten Paine und Frost diesen Gedanken und schoben zwischen jede Drahtlage eine Lage Metallfolie, wodurch eine Gegenwirkung erreicht wird und die auftretende Spannung an der Unterbrechungsstelle auf ein geringes Mass beschränkt bleibt.

Ferner hat man versucht, die Wirkung des Sekundärstromes dadurch aufzuheben, dass man die Spule mit einer Anzahl gesonderter Lagen feinen Drahtes bewickelt. Für jede Lage wird ein besonderer Draht benutzt, und erfolgt die Wicklung stets im gleichen Sinne. Sämtliche Enden werden sodann in der durch Fig. 95 dargestellten Weise verbunden. Durch diese Parallelschaltung aller Lagen wirken sie elektrisch wie ein Draht von grösserem Querschnitt; der in jeder Lage entstehende Induktions-

Mittel, um die Wirkung der Induktion zu schwächen.



Fig. 95.

strom verläuft jedoch zeitlich nicht gleich. Da die inneren Lagen kürzer sind als die äusseren, so ist auch der Widerstand verschieden, und demnach fallen die Höchstwerte der einzelnen Extraströme nicht zusammen, sondern verlaufen nacheinander in den Wicklungen.

Als eine wirksame Verminderung des Öffnungsfunkens hat sich die Einschaltung eines Kondensators erwiesen. Die beiderseitige Belegung des Kondensators wirkt gewissermassen wie ein Staubecken eines plötzlich anschwellenden Flusses. Die Einschaltung kann parallel zu den Enden der Elektromagnetwicklung erfolgen, oder man kann den Kondensator auch als Nebenschluss zu der Unterbrechungsstelle legen. Durch diese letztere Anordnung wird die Kapazität an den Endstellen der Unterbrechung erhöht und somit die Potentiale vermindert, so dass die Spannung so vermindert wird, dass kein Luftraum durchschlagen und ein Funke gebildet werden kann.

5. Kapitel.

Die Kontakte.

Die Kontakte oder Stromschlussvorrichtungen bilden den wichtigsten Bestandteil einer elektrischen Uhr. So einfach die Sache auf den ersten Blick erscheint, so viele Schwierigkeiten haben sich dem Konstrukteur entgegengestellt, einen brauchbaren Kontakt zu schaffen. Der Uneingeweihte neigt gern zu der Annahme, dass die Ursache einer Störung in der Stromquelle, den galvanischen Elementen, zu suchen sei. Es soll nicht behauptet werden, dass alle Elemente eines bestimmten Fabrikates in der Leistung gleichwertig sind, doch ein plötzlicher Spannungsabfall kann bei normal zulässiger Beanspruchung nicht eintreten. Da nun bei gleicher Stromstärke die magnetische Wirkung eines Elektromagneten stets die gleiche ist, so muss der Stromschlussvorrichtung die grösste Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Bedeutung
und Arten
der
Kontakte.

Die Kontaktvorrichtungen kann man in der Hauptsache in zwei Gruppen einteilen:

- a) den Berührungskontakt,
- b) den Schleifkontakt.

Die zahllosen Ausführungsformen können hier nicht alle Erwähnung finden, es soll daher nur auf jene Grundzüge aufmerksam gemacht werden, die zur Beurteilung der Brauchbarkeit beitragen.

Bringen wir zwei stromführende Kupferdrähte miteinander in Berührung, so findet ein Stromübergang statt. Diese einfachste Art der Stromschliessung findet praktische Anwendung in den Druckknöpfen der Haustelegraphen und leistet jahrelangen Dienst. Würden wir nun beispielsweise seitwärts in eine Metallpendelstange einen Stift einsetzen und eine schwache Feder so anbringen, dass diese bei jeder Schwingung von dem Stift berührt wird, so würde dadurch ein Stromkreis geschlossen und geöffnet werden können. Ein etwa in den Stromkreis eingeschalteter Elektromagnet würde seinen Anker regelmässig, der Schwingung des Pendels entsprechend, anziehen. Nach einigen Tagen jedoch

Der
einfachste
Kontakt.

machen sich bereits Störungen bemerkbar; der Anker wird schwach und schliesslich gar nicht mehr angezogen. Die Batterie zeigt, dem Verbrauch des Stromes entsprechend, ihre normale Spannung. Eine Untersuchung der Berührungsstelle von Stift und Feder ergibt, dass beide Teile sich mit einer schwarzen Schicht bedeckt haben. Durch den stets auftretenden Funken des Induktionsstromes (siehe voriges Kapitel) sind beide Kontaktstellen verbrannt, es hat sich ein Oxyd gebildet und somit die metallische Berührung beider Teile verhindert.

Die Verbrennung und der Druck der Kontaktflächen aufeinander

Um die Verbrennung zu verzögern, belegt man die Berührungsstellen mit Platina, da dieses einen sehr hohen Schmelzpunkt besitzt. Setzt man das gedachte Pendel wieder in Schwingung, so wird der Platinkontakt länger, als Messing oder Kupfer, den Dienst erfüllen; aber auch hier wird in absehbarer Zeit ein Versagen eintreten. Presst man jedoch von Hand beide Stromschlussteile fest aneinander, so erfolgt wieder ein Stromübergang an den vorhin versagenden Kontaktstellen. Vergleicht man nun die vorstehend gedachte Einrichtung mit dem eingangs erwähnten Druckknopf eines Haustelegraphen, bei dem die Stromschlussteile aus einfachen Neusilberblechstreifen bestehen und jahrelang dienstbrauchbar bleiben, so liegt der wesentliche Unterschied in der Art der Betätigung. Die Federn der Taste werden von Hand gewaltsam zusammengepresst, der Stift des Pendels berührt die schwache Feder nur leicht. Die Ursache dieser Erscheinung liegt nun zunächst darin, dass keine Metallfläche sich dauernd metallisch rein erhält. Abgesehen von der Verbrennung, überzieht sich jede Metallfläche mit einer Oxydschicht, die durch den Sauerstoff der Luft bedingt wird. Unterstützt wird die Verunreinigung noch durch Ablagerung von Staub oder Luftfeuchtigkeit. Dass die meisten Metalloxyde schlechte Leiter sind, ist bereits früher erwähnt worden.

Aber selbst angenommen, die Kontaktflächen wären vollständig rein, so ist es doch nicht gleichgültig, mit welchem Druck beide Teile sich berühren. Jede Trennung und Wiederezusammenfügung eines Stromleiters bedingt eine Erhöhung des Widerstandes an dieser Stelle, den man den

Der Uebergangswiderstand.

Uebergangswiderstand

nennt. Selbst an den durch Lötung wieder zusammengefügt Trennungsstellen hat man eine Erhöhung des Leitungswiderstandes nachweisen können. Wie bekannt, ist der Widerstand unter anderem abhängig vom Querschnitt des Leiters, in diesem Falle also von der Grösse der Berührungsfläche beider Kontaktteile.

Ein Stromübergang findet jedoch nur dann statt, wenn wirkliche Berührung vorhanden ist; d. h. wenn die Kontaktflächen sich in allen Punkten, ohne jeden Luftzwischenraum, aneinandersetzen. Dies wird jedoch in den seltensten Fällen möglich sein; denn zunächst müssten beide Flächen mathematisch genau aufeinander passen und nicht die geringste Unebenheit aufweisen. Dass es keine vollkommene Fläche gibt, zeigt uns die Betrachtung einer hochglanzpolierten Metallplatte unter dem Mikroskop. Die Kontaktflächen werden mehr einer Furchenebene gleichen, wie sie im Durchschnitt schematisch Fig. 96 zeigt. Die vorstehenden Erhöhungen verhindern die Berührung der übrigen Fläche, und somit kann der Fall eintreten, dass der wirkliche Kontakt sich auf Tausendstel von Quadratmillimetern beschränkt. Denkt man sich nun die Kontaktfläche zusammengedrückt, so werden die Unebenheiten mehr und mehr ausgeglichen, bezw. die zwei Flächen passen sich einander an. Je stärker der Druck, desto mehr Fläche kommt miteinander in Berührung, und um so geringer wird der Uebergangswiderstand. Es

Beziehungen
zwischen
Druck und
Uebergangs-
widerstand.

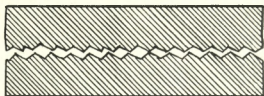


Fig. 96.

wäre nun falsch, anzunehmen, dass eine wirksame Berührungsfläche gewonnen werden könnte dadurch, dass die Kontaktteile grösser genommen werden. Da, wie oben gezeigt, auf jeden Quadratmillimeter ein Druck erforderlich ist, der die Unebenheiten des verwendeten Materials genügend ausgleichen kann, so wird eine grössere Fläche auch einen grösseren Druck erfordern. Ruhen z. B. auf einer Kontaktfläche von 1 qmm 20 g, so würde der Druck auf 10 qmm 200 g betragen müssen, damit das Leistungsvermögen im Verhältnis zum Flächeninhalt steht. Demnach wäre bei geringem oder begrenztem Druck eine Spitze die günstigste Form; letztere ist jedoch von begrenzter Haltbarkeit, und rundet man daher die Platinstifte zweckmässig etwas ab.

Fläche und
Druck.

Bei nachstehendem Schleifkontakt kann man zum Zwecke der Berührungsflächenvergrösserung die Kontaktfeder in mehrere Streifen spalten. Wie Fig. 97 zeigt, sind die einzelnen Streifen nicht gleich lang abgekürzt. Der in einer sich drehenden Scheibe befestigte Kontaktstift verlässt daher zuerst die kürzere Feder und zuletzt die längste. Diese Einrichtung bietet noch den Vorteil, dass der Öffnungsfunken an der längsten Spitze auftritt.

Ein Schleif-
kontakt.

und die Verbrennung der übrigen Streifen auf längere Zeit verzögert.

Die Zeit-
dauer der
Ein- und
Aus-
schaltung.

Von Bedeutung ist ferner auch die Zeitdauer der Ein- und Ausschaltung. Wird die Fortbewegung des Kontaktstiftes z. B. von einer sich langsam drehenden Welle bewirkt, so erfolgt auch die Einschaltung im ersten Stadium mangelhaft, und durch Erschütterungen können Doppelkontakte entstehen. Eine langsame

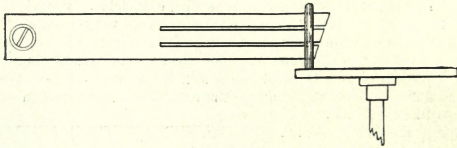


Fig. 97.

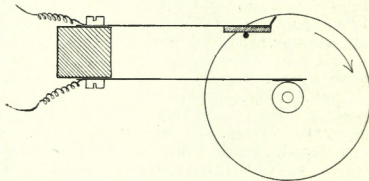


Fig. 98.

Stromunterbrechung verzögert das Erlöschen des Funkens; es tritt somit eine stärkere Verbrennung ein. Um diese Nachteile zu vermeiden, kann die Anordnung der Fig. 98 Verwendung finden.

Die Kontaktfeder ist am Ende winkelförmig aufgebogen. An der unteren Fläche ist ein Stück Isoliermaterial, Fiber oder dergl., angenietet. Dreht sich nun die Scheibe im Sinne der Pfeilrichtung, so hebt zunächst der Kontaktstift die Feder an, ohne Stromschluss zu machen. Am Ende des Isolierplättchens angelangt, gleitet dieses plötzlich ab und die Aufbiegung der Feder schlägt auf den Kontaktstift. Je nach dem Winkel der Aufbiegung

erfolgt dann auch der plötzliche Abfall der Feder und die Unterbrechung des Stromkreises.

Um die Wirkung des Induktionsfunken zu verhüten, sind verschiedene Methoden in Anwendung gebracht worden. Eine vielfach gebräuchliche Einrichtung ist der sogen. Der Nebenschluss.

Nebenschluss.

Wie aus Fig. 99 ersichtlich, ruht auf der Aufbiegung der Kontaktfeder eine zweite Feder, die jedoch um einige Zehntel

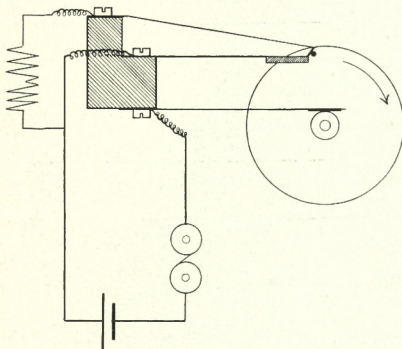


Fig. 99.

Millimeter vorsteht. Bevor die Aufbiegung der Kontaktfeder den Kontaktstift verlässt, legt sich die Nebenschlussfeder ebenfalls auf den Kontaktstift. Die Nebenschlussfeder steht mit einem induktionsfreien Widerstand vom zwanzigfachen Betrag des gesamten Widerstandes in Verbindung.

Wie die Abbildung zeigt, wird der Stromkreis nach Abfallen der Kontaktfeder nicht vollständig unterbrochen, sondern durch die Nebenschlussfeder und den Widerstand noch so lange geschlossen, bis auch die Nebenschlussfeder vom Kontaktstift abgleitet. Der Induktionsstrom verläuft demnach durch den Wider-

stand und die Nebenschlussfeder, und auch der bedeutend geschwächte Batteriestrom wird durch letztere unterbrochen. Der Nebenschlusswiderstand kann auch vor der Batterie angeschlossen werden; der Induktionsstrom verläuft dann vollständig im Nebenschluss, der Batteriestrom jedoch wird durch die Kontaktfeder unterbrochen. Diese letzte Anordnung bedeutet jedoch einen

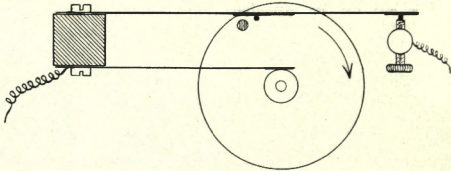


Fig. 100.

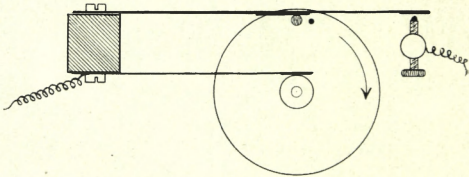


Fig. 101.

Mehrverbrauch an Strom, der um so grösser ist, je geringer der Widerstand des Nebenschlusses bemessen wird.

Kontakte
von sehr
kurzer
Dauer.

Erfordert es der Zweck, Kontakte von sehr kurzer Dauer herzustellen, so ist die Einrichtung der Fig. 100 zweckmässig. Eine gerade Feder ruht mit ihrem Kontaktplättchen aus Platinblech auf der Spitze einer Kontaktschraube. Dreht sich die Scheibe im Sinne der Pfeilrichtung, so kommt der Kontaktstift mit der Feder in Berührung, und der Stromkreis ist geschlossen. Bei der geringsten Weiterbewegung des Kontaktstiftes hebt sich jedoch das Ende der Feder von der Kontaktschraube ab und der Strom ist unterbrochen. Da nun bei der fortschreitenden Bewegung des Kontaktstiftes sich die Feder wieder senkt, so würde

abermals ein Stromschluss stattfinden. Um dies zu verhüten, befindet sich dicht hinter dem Kontaktstift ein zweiter Stift aus Elfenbein, Fiber oder sonstigem Isoliermaterial, der die Feder aufnimmt und ohne Stromschluss auf die Kontaktschraube zurückgehen lässt (Fig. 101).

Auch diese Stromschlussvorrichtung kann mit einem Nebenschluss von hohem Widerstand versehen werden, wodurch dann der Oeffnungsfunken zwischen Kontaktfeder und -schraube verringert wird. Sollen die vorstehend skizzierten Stromschlussvorrichtungen jedoch längere Zeit dienstbar bleiben, so ist der Druck der Federn so stark zu bemessen, wie es die treibende Kraft zur Betätigung der Einrichtung nur irgendwie gestattet.

* * *

Sind die Stromschlussvorrichtungen der Fig. 97 bis 101 geeignet, einen Stromkreis auf längere oder kürzere Zeit zu schliessen und zu öffnen, so fällt den nachstehenden noch eine weitere Aufgabe zu, nämlich bei jedem Stromschluss auch die Richtung des Stromes zu wechseln. Unrichtigerweise werden diese Einrichtungen Wechselstromkontakte genannt, während doch nur Gleichstrom in abwechselnder Richtung von der Stromschlussvorrichtung ausgeht.

Kontakte
für Strom-
wechsel.

Fig. 102 ist eine Abänderung der Fig. 100 u. 101. Die Kontaktschraube erscheint hier gewissermassen doppelseitig als Mittelschiene M . Die beiden Federn F und F_1 liegen mit den platinbelegten Enden an zwei eingesetzten Platinstiften der Schiene M . Zwischen den Federn F und F_1 ist eine Scheibe mit dem Kontaktstift K drehbar gelagert. Auf das Ende der Scheibenwelle drückt eine Schleiffeder S als Stromzuführung. An der Mittelschiene M liegt der eine Pol der Batterie, während der andere Pol mit der Schleiffeder S in Verbindung steht. Die beiden Ableitungen der Federn F und F_1 führen zu dem Elektromagneten (elektrische Nebenuhr oder dergl.), der mit Strömen wechselnder Richtung beschickt werden soll. Setzt sich die Scheibe (in Fig. 103), der Pfeilrichtung entsprechend, in Bewegung, so hebt der Kontaktstift K die Feder F von der Schiene M ab. Der vom $+$ Pol der Batterie kommende Strom geht von S über die Scheibe zum Stift K zur Feder F , umkreist den Elektromagneten, geht zur Feder F_1 über M und von da zum $-$ Pol der Batterie zurück. Hat die Scheibe eine halbe Drehung ausgeführt, so dass K unter S in Ruhe steht, so hat sich F wieder auf M gelegt, und da keine leitende Be-

rührung von K mit F oder F_1 mehr besteht, so ist der Stromkreis unterbrochen. Bei der zweiten Auslösung des Laufwerkes wird nun Feder F_1 von K berührt und von M abgehoben. Der Strom kommt wieder vom $+$ Pol der Batterie über S , Stift K zur Feder F_1 und jetzt in umgekehrter Richtung durch die Umwindungen des Elektromagneten zur Feder F , und da diese auf M ruht, zum $-$ Pol zurück. Bei jeder halben Drehung der Scheibe

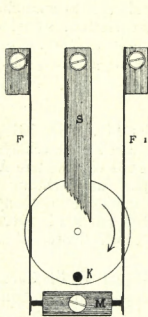


Fig. 102.

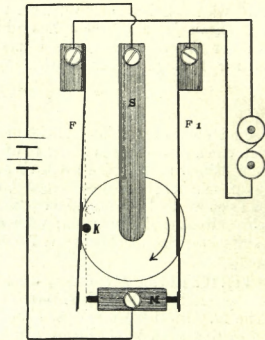


Fig. 103.

wird also der Batteriegleichstrom in stets wechselnder Richtung dem Elektromagneten zugeführt.

Vor- und Nachteile
der
Wechselstrom-
kontakte.

Die Vor- und Nachteile dieser Stromwechselkontaktvorrichtung bestehen darin, dass in dem Augenblick, wo der Stift K eine der Federn F bzw. F_1 anhebt und diese noch mit M in Berührung stehen, also noch nicht voll abgehoben sind (wie punktiert angedeutet), eine unmittelbare Verbindung der beiden Batteriepole besteht, also Kurzschluss vorhanden ist. Dieser Zustand tritt ein zweites Mal beim Verlassen der Federn ein. Bei entsprechend schneller Drehung der Scheibe dauert dieser Kurzschluss der Batterie allenfalls nicht lange; doch entsteht immerhin dadurch ein unnützer Stromverbrauch. Liegen beide Federn F und F_1 an M , so ist aber auch ein geschlossener Stromkreis für den

Elektromagneten hergestellt, und bevor K die jeweils angehobene Feder verlässt und dadurch den Batteriestrom unterbricht, hat sich die Feder wieder an M gelegt, so dass sich der Oeffnungsinduktionsstrom ohne Funkenbildung ausgleichen kann. Aus diesem Grunde ist der Kurzschluss beim Oeffnen des Stromkreises geeignet, die Kontakteile länger betriebsbrauchbar zu erhalten. Zur Verhütung des Kurzschlusses beim „Anheben“ der Federn,

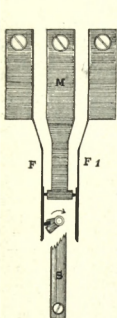


Fig. 104.

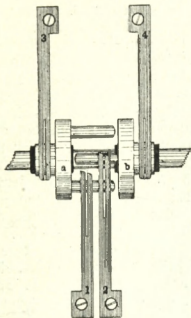


Fig. 105.

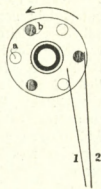


Fig. 105 a.

kann vor den Kontaktstift K (nach Art der Fig. 100 u. 101) ein Isolierstift eingesetzt werden, der dann die erste Anhebung bewirkt, bis F bzw. F_1 ausser Kontakt mit M gebracht sind. Bei der Weiterdrehung der Scheibe legt sich sodann K an die schon gehobene Feder und schliesst den Stromkreis.

Zur Betätigung dieser Stromschlussvorrichtung würde, infolge des grossen Scheibendurchmessers, eine erhebliche mechanische Kraft erforderlich sein. Die Fig. 104 stellt eine Anordnung dar, wie sie in der Praxis weiteste Anwendung gefunden hat. Auf dem, aus der Platte eines Laufwerkes vorstehenden Ende einer Welle sitzt ein kurzer Exzenter, dessen Ende mit einem Platinstreifen belegt ist. Um den Kurzschluss der Batterie beim Anheben der Federn zu verhüten, ist die Angriffsstelle des Exzenter

mit einer Achatplatte versehen. Der Anschluss der Batterie und der Elektromagnetleitung ist aus der Abbildung des Schemas Fig. 103 ersichtlich.

Eine ebenfalls im Gebrauch befindliche Einrichtung ist durch Fig. 105 dargestellt. Auf einer sich periodisch drehenden Welle sind zwei Metallscheiben *a* und *b* voneinander isoliert befestigt. Die Scheiben tragen je eine gleiche Anzahl Edelmetallstifte, auf denen die beiden Federn 1 und 2 schleifen. Federn 3 und 4 hingegen stehen mit geeigneten Ansätzen der Scheiben *a* und *b* in leitender Berührung. An Feder 1 und 2 liegt die Zuleitung des Elektromagneten. Der vom + Pol der Batterie ausgehende Strom geht über Feder 3 zur Scheibe *a* und den daran befestigten Stift zur Feder 2 (Fig. 105a) in die Leitung des Elektromagneten, kehrt zur Feder 1 zurück, und da diese auf einem Stift der Scheibe *b* schleift, durch die Feder 4 zum — Pol. Bei fortschreitender Drehung der Scheiben *a* und *b* gleitet Feder 2 vom Stift der Scheibe *a* ab und unterbricht den Stromkreis. Bei der nächsten Weiterdrehung der Scheiben gleitet nun Feder 1, da dieselbe kürzer ist als 2, zuerst vom Stift der Scheibe *b* ab und tritt mit dem nächsten von *a* in Berührung. Der bei 3 eintretende Strom geht nun über *a* zur Feder 1 und in umgekehrter Richtung durch den Elektromagneten über 2, Stift in *a* und Feder 4 zum — Pol. Besonders ist darauf zu achten, dass bei der Installation der Anschluss der Zu- bzw. Ableitungen an richtiger Klemme erfolgt, da sonst die Batterie kurzgeschlossen würde. Ist der Druck, namentlich an jenen Stromschlusstellen, die keiner steten Reibung unterworfen sind, ein möglichst kräftiger, so kann mit ziemlicher Sicherheit auf eine längere Betriebsdauer gerechnet werden, zumal die Bewegungen bei minutenweiser Inanspruchnahme sich mit mässiger Geschwindigkeit vollziehen.

Sekunden-
kontakte.

Etwas heikler wird die Sache, wenn es sich darum handelt, einen Stromkreis alle Sekunden zu schliessen und zu öffnen. Ein eigenes Laufwerk, das jede Sekunde ausgelöst und gesperrt wird, dürfte sich der hohen Uebersetzung wegen nicht für alle Fälle empfehlen. Man nahm daher seine Zuflucht zum Quecksilberkontakt. Vorwiegend wurde die Pendelschraube mit einer Platinspitze versehen, die bei jeder Schwingung durch eine Quecksilberkugel streicht. Abgesehen von der starken Ausdehnung des Quecksilbers, bildet sich auch sehr bald eine starke Oxydschicht, die den Kontakt unsicher macht.

Ein Ruhe-
strom-
kontakt.

Eine weitere Verbreitung hat daher der Ruhestromkontakt gefunden, wie er in Fig. 106 dargestellt ist. Auf der Welle des

Sekundenrades befindet sich ein zweites Rad mit Sperrzähnen. Ein entsprechend drehbar gelagerter, doppelarmiger Hebel trägt an seinem längeren Ende einen Achatstift, der in die Verzahnung eingreifen kann. Das kürzere Ende hingegen ruht mit dem Platinplättchen an der Spitze einer Kontaktschraube. Bei jeder Schwingung des Pendels wird der Hebel am Achatstift durch einen Zahn des Sperrrades gehoben und gesenkt, wodurch andererseits der Kontakt zwischen Hebel und Schraube unterbrochen und geschlossen wird. Die Stromunterbrechung ist von kurzer Dauer, doch genügt dieselbe, um den Anker eines Elektromagneten freizugeben. Diese und ähnliche Einrichtungen haben jedoch den Nachteil, dass die Sekundenwelle gehemmt wird. Es ist daher

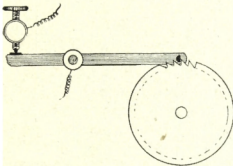


Fig. 106.

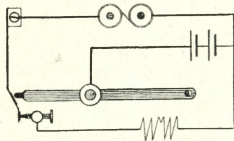


Fig. 107.

darauf zu achten, dass der Hebel kein zu grosses Eigengewicht hat, sowie, dass der Durchmesser des Sperr- oder Hebungsrades nicht grösser genommen wird, als es der erforderliche Abstand der Zähne bedingt.

Besonders sei noch erwähnt, dass der Achatstift nicht auf den Grund der Verzahnung aufliegen darf, sondern nur wenig in die Zahnücke eintritt, um einen freien Fall des Hebungsrades so weit als möglich zu gestatten, da sonst eine grössere Triebkraft des Laufwerkes erforderlich würde. Eine erhöhte Sicherheit erhält der Kontakt durch die Abänderung der Fig. 107. Der Platinstift des Hebels streift bei seiner Aufwärtsbewegung an die Schräge einer Feder, wodurch etwas Reibung der Kontaktflächen entsteht und die Feder links seitwärts gedrückt wird. Bei der Abwärtsbewegung des Kontaktstiftes legt sich die Feder an die Nebenschlusschraube an, bevor der Kontakt zwischen Stift und Feder vollständig unterbrochen ist. Der Induktionsstrom findet also einen geschlossenen Stromkreis durch die Windungen des

Nebenschlusses und wird dadurch auch bei dieser Einrichtung die Verbrennung der Kontaktflächen bedeutend verzögert.

Sekunden-
kontakt
für Strom-
wechsel.

Sekundenkontakte für Stromwechsel sind in den Fig. 108 u. 109 skizziert. Ein besonderes Augenmerk ist nun darauf zu richten, dass bei all diesen Nebenfunktionen der Gang bzw. die Regulierung einer Uhr möglichst wenig ungünstig beeinflusst wird. Mit Erfolg verwende ich seit Jahren zur Betätigung derartiger Kontakte eine Pendelfeder nach Fig. 108a.

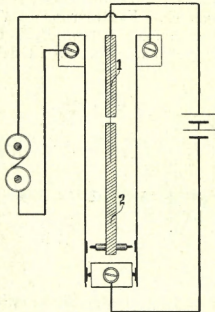


Fig. 108.

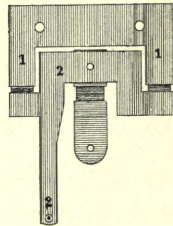


Fig. 108a.

In dem feststehenden Bügel 1 hängt an zwei kürzeren Pendelfedern der Bügel 2 mit einer nach unten ragenden Verlängerung. Letzterer dient unter anderem zur Aufnahme der Feder, in der das Pendel eingehängt wird. Setzt man dieses in Schwingung, so macht auch Bügel 2 die hin und her pendelnde Bewegung mit, wobei die untere Verlängerung zur Stromschliessung dient. Die Wirkungsweise geht aus der Darstellung der Fig. 108 ohne weiteres hervor, wenn man sich den drehenden Exzenter in Fig. 104 durch den schwingenden Bügelarm 2 ersetzt denkt.

Die
Anwendung
eines Mittel-
leiters.

Da der alle Sekunden erfolgende Stromschluss eine hohe Beanspruchung der Batterie bedeutet, ist es zweckmässig, eine Doppelbatterie aufzustellen. Die Schaltungsweise zeigt uns Fig. 109. Zwei Federn F und F_1 , die mit ihrem Biegungspunkt nicht mit dem des Pendelfederbügels 2 zusammenfallen, liegen im Ruhe-

zustand an zwei voneinander isolierten Stiften; ausserdem sind die beiden Aussenpole einer aus zwei, vier oder sechs Elementen bestehenden Batterie mit F und F_1 verbunden. Abweichend von der bisherigen Schaltung, zweigt von der Batterie eine dritte Leitung ab, der sogen. Mittelleiter, der zum Elektromagneten führt. Andererseits steht der Elektromagnet mit dem Bügel 1 der Pendelfeder in Verbindung. Schwingt nun das Pendel nach rechts, so macht auch die Verlängerung des Bügels 2 diese Bewegung mit und hebt die Feder F_1 , soweit es die Begrenzung gestattet, von ihrem Stützpunkt ab. Der von dem $+$ Pol der Batterie B_1 kommende Strom geht nun über F_1 , Federbügel 2, durch den Elektromagneten über den Mittelleiter zum $-$ Pol von B_1 . Da hierbei F ausser Kontakt mit Bügel 2 ist, so bleibt die Batterie B_2 ausgeschaltet. Schwingt das Pendel nach links, so wird zunächst der Stromkreis von B_1 unterbrochen; sobald jedoch 2 mit Feder F in Berührung tritt, kommt ein zweiter Strom vom $+$ Pol B_2 über den Mittelleiter in umgekehrter Richtung durch den Elektromagneten zur Pendelfeder und von 2 über F zum $-$ Pol der Batterie B_2 ; Batterie B_1 ist während dieser Zeit ausgeschaltet. Durch die wechselseitige Beanspruchung haben die Batterien eine grössere Erholungspause, doch eignen sich für die Sekundenkontakte nur Elemente mit schneller und andauernder Depolarisation (siehe Abschnitte über Elemente).

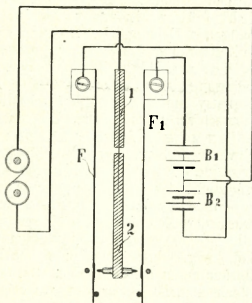


Fig. 109.

Die Betätigung der vorstehend skizzierten Stromschliess-
 vorrichtungen erfolgt unabhängig von der Wirkung eines Elektro-
 magneten. Die stromschliessenden Teile werden durch mechanische
 Kraft gegeneinander geführt und halten den Stromkreis geschlossen
 — ohne Rücksicht darauf, ob der hierdurch erregte Elektromagnet
 seine Arbeit verrichtet hat oder nicht —, so lange, bis dieselbe
 Kraft den Kontakt wieder unterbricht. Diese Einrichtungen haben,

Rückblick
 und
 Uebersicht.

bei sachgemässer Anordnung, seit mehreren Jahrzehnten zum Betrieb von Nebenuhren befriedigende Resultate gezeitigt, so dass eine Zentraluhrenanlage als vollkommen betriebssicher bezeichnet werden muss. Um so auffälliger erscheint es, dass die Uhren mit elektrischem Selbstaufzug, zum Teil bis in die Neuzeit, alles andere waren, als Zeitmesser mit langer Gangdauer. Wie schon bemerkt, trägt an dieser Tatsache die falsche Vorstellung über die Wirkungsweise dieser Spezialkontakte die Hauptschuld. Zunächst muss berücksichtigt werden, dass die Bewegung der Stromschlussteile mit der der Ankerbewegung identisch ist. Da nur wenige Anker der Aufzuguhren eine fortschreitende rotierende Bewegung haben, sondern rückgängig sind, so muss auch die Kontaktvorrichtung beim Rückgang ausser Stromschluss bleiben. Ausserdem soll, aus bekannten Gründen, die Ein- und Ausschaltung plötzlich erfolgen. Die Unterbrechung des Stromkreises darf nicht früher eintreten, als bis der zugehörige Anker eine genügende Hebung oder Drehung ausgeführt hat. Ebenso sollte die Zugwirkung des Elektromagneten so lange kräftig genug sein, bis die Stromschlussteile sich vollständig getrennt haben. (Diese Bedingung kann jedoch nur von einem richtig konstruierten Magnetsystem erfüllt werden.) Kontakte, die durch einen sogen. Ueberschwing des Ankers, d. h. durch die lebendige Kraft eines in Bewegung befindlichen Körpers ausgeschaltet werden, sind schwer justierbar und erfordern eine grosse Erfahrung des jeweiligen Arbeiters. Auch ist von einigen Konstrukteuren die Forderung aufgestellt, dass der Stromschluss und die Oeffnung an räumlich getrennten Punkten zu erfolgen habe. Dass der gegenseitige Druck der Kontaktflächen ein grösstmöglichst erreichbarer sein soll, ist bereits begründet worden. Ausser dem letzten Punkte sind die gestellten Aufgaben mit mehr oder weniger komplizierten Einrichtungen gelöst worden. Bezüglich des Kontaktdruckes liess jedoch manche Bauart zu wünschen übrig. Abgesehen vom Druck, ist auch der Umstand vielfach unbeachtet geblieben, dass das Zusammenwirken der Teile bei der langsamen Durchführung von Hand sich anders gestaltet, als bei der blitzartigen Bewegung durch den Elektromagnetanker.

Die Richtigkeit vorstehender Tatsache erhellt ohne weiteres aus der Betrachtung der Fig. 98, 104, 105 u. 106, wenn man sich die drehenden Scheiben oder Wellen in schnelle Rotation versetzt denkt. Die Federn 1 und 2 der Fig. 105 würden — bei schneller Drehung von a und b — nicht genügend Zeit finden, um sich folgerichtig mit entsprechendem Druck auf die Stifte

legen zu können. Alle federnden Teile würden abgeschleudert und der Kontakt zum mindesten unsicher werden. Die Stromschlussteile der Aufzuguhren bestehen nun vorwiegend aus Hebeln mit einem bestimmten Eigengewicht. Erfolgt durch die plötzliche Bewegung des Ankers ein Druck auf den durch Federdruck in seiner Ruhestellung beharrenden Hebel, so ist hier die Wirkung des Abschleuderns noch grösser als bei einer Feder mit geringem Eigengewicht. Wollte man jedoch die innige Berührung der Kontaktflächen dadurch erhöhen, dass die Stromschlussteile durch stärkeres Anspannen der Gegendruckfeder stärker aufeinander reiben, so würde das einen steigenden Kraftverlust bedeuten.

Da der Elektromagnetanker die Kontaktvorrichtung zu betätigen hat, so ist hier eine Grenze gesetzt für den Kraftbedarf, den der Anker an die Stromschlussvorrichtung abgeben kann. Ein mit grösstmöglichem Nutzeffekt arbeitendes Elektromagnetsystem wird demnach gestatten, dass die Stromschlussteile mit grösserer Reibung arbeiten. Hier die richtige Grenze einzuhalten, Druck und Gegendruck so abzugleichen, dass auch die eventuellen Veränderungen der wirkenden Teile nach einer längeren Betriebsdauer mit berücksichtigt werden, erfordert immerhin einige Erfahrungen und Übung, hauptsächlich bei jenen Systemen, deren bewegliche Kontaktteile nicht zwangsläufig sind, sondern durch den erhaltenen Stoss der Ankerbewegung vorausseilen können und dadurch den Stromkreis unterbrechen, bevor der Anker seinen vorgeschriebenen Weg zurückgelegt hat. Irrtümlicherweise wird oft angenommen, dass die Batterie zu schwach ist, wenn der Anker nicht genügend aufzieht, doch ist in den meisten Fällen die Ursache in zu frühzeitiger Stromunterbrechung zu suchen.

Manche Kontaktvorrichtungen wirken im Moment des Einschaltens zuerst als Druckkontakt, indem ein Hebel oder Stift auf eine zweite Fläche fällt; wird hierdurch der Stromkreis geschlossen, so setzt sich der Anker in Bewegung und die Stromschlussteile werden reibend. Wenn auch im Prinzip gegen diese Anordnung nichts einzuwenden ist, so hatte Verfasser in seiner langjährigen Praxis doch einmal Gelegenheit, einen Stromschluss zu beobachten, der dadurch unvollkommen war, dass sich „mutmasslich“ ein winziges Staubfäserchen zwischen die Kontaktflächen gelegt hatte und die innige Berührung verhinderte. Da der Raum finster war, konnte an der Kontaktstelle ein sehr schwaches Funkensprühen

beobachtet werden; ein Druck auf die Stromschlussfeder, und der Aufzug war normal! Hierzu muss bemerkt werden, dass die Kontaktflächen verhältnismässig gross und der Federdruck schwach war. Würde nun beispielsweise dieser Fehler nicht sofort beobachtet worden sein, so wäre am nächsten Tage die Batterie erschöpft gewesen. Durch das Einschalten einer neuen ist die Uhr scheinbar wieder dienstbrauchbar, und der Unkundige misst der Stromquelle die Schuld des Versagens bei. Da aber, wie schon bemerkt, ohne etwaige Beschädigung oder Oxydation der Verbindungsstellen eine noch unverbrauchte Batterie die Stromabgabe nicht plötzlich einstellt, so muss unter allen Umständen die elektrische Partie, vor allem die Kontaktvorrichtung auf ihre Brauchbarkeit untersucht und erst nach Behebung etwaiger Fehler eine neue Batterie eingeschaltet werden, da sich sonst das Spiel sehr wahrscheinlich wiederholt.

Der Strom-
verbrauch
einer Uhr.

Häufig wird die Frage gestellt: Wieviel Strom verbraucht diese Uhr? Diese Frage ist mit Hilfe unserer einfachen Rechnung, „Spannung durch Widerstand“, nicht einwandfrei zu beantworten. Da sich das verbrauchte „Stromquantum“ aus „Stromstärke mal Zeit“ berechnet, so ist in diesem Falle zu berücksichtigen, dass die „Zeitdauer“ des Stromschlusses nicht gleichbleibend ist. Bei voller Spannung der Stromquelle wird der Anker eine schnellere Bewegung ausführen, und da eine nach vorstehenden Gesichtspunkten angelegte Kontaktvorrichtung die Bewegung des Ankers mitmacht, so ist anfangs die Zeitdauer des Stromschlusses kürzer als bei allmählich sinkender Spannung. Demnach haben wir bei hoher Spannung grössere Stromstärke und kürzere Zeit, und bei niederer Spannung schwächeren Strom und längere Schlusszeit. Ferner ist auch die Selbstinduktion nicht ausser acht zu lassen. Wie bekannt, entsteht beim Stromschluss in den Windungen der Drahtspulen ein zweiter Strom, der dem Batteriestrom entgegengesetzt gerichtet ist und die Wirkung des letzteren verzögert. Sobald der Sekundärstrom an Intensität nachlässt, gewinnt der Batteriestrom die Oberhand, bis die Stromstärke genügt, den Elektromagneten zu erregen und der Anker seine Bewegung ausführen kann, worauf sich der Stromkreis selbsttätig öffnet. Da nun beim Öffnen ebenfalls ein Induktionsstrom entsteht, der jedoch dem Primärstrom gleichgerichtet ist, so wirkt letzterer im Sinne des Batteriestromes.

Aus diesen Andeutungen geht hervor, dass eine elektrische Selbstaufzuguhr unter keinen Umständen mehr Strom verbraucht,

als zur Betätigung der Aufzugvorrichtung der Zeit entsprechend erforderlich ist, sofern Anker und Stromschlussteile unmittelbar voneinander abhängig sind.

In welcher Weise nun die einzelnen Konstrukteure die gestellten Aufgaben gelöst haben, wird in dem Abschnitt über „Selbstaufzuguhren“ eingehender behandelt werden.

6. Kapitel.

Die elektrischen Uhren.

Wie schon in der Einleitung bemerkt, ist das Bestreben, die Elektrizität in den Dienst der Zeitmessung zu stellen, nicht neu. Schon vor 70 Jahren wurde vom Physiker Steinheil in München eine Leitung gelegt, die die Sternwarte in Bogenhausen mit der Akademie der Wissenschaften in der Neuhauser Strasse verband, zu dem Zweck, die Zeit auf elektrischem Wege zu übertragen. Seitdem ist am Ausbau dieses neuen Zweiges der Technik rastlos gearbeitet worden, und unzählig sind heute die Berührungspunkte, wo sich Uhr und Elektrizität die Hand reichen. Nur durch Indienststellung dieser jüngeren Tochter der Wissenschaft war es der Zeitmesskunst möglich, in rationeller Weise die Gleichheit der Zeitangabe zu erreichen und unserem gesamten Verkehrswesen die Möglichkeit eines geordneten Betriebes zu geben.

Einteilung. Die vielseitige Anwendung der Elektrizität in Verbindung mit Uhren und die daraus sich ergebenden mannigfachen Bauarten lassen sich nicht immer scharf abgrenzen; doch kann man im allgemeinen folgende Hauptgruppen unterscheiden:

- a) Haupt- und Nebenuhren.
- b) Elektrisch angetriebene Pendel.
- c) Elektrische Selbstaufzuguhren.
- d) Signaluhren.
- e) Kontrolluhren.

Hauptuhren

Einrichtung der Hauptuhren. nennt man im allgemeinen jene Uhren, die mit einer Vorrichtung versehen sind, in bestimmten Zwischenpausen einen Stromkreis zu schliessen und zu öffnen. Ein solches Hauptuhrwerk besteht zunächst aus einem durch Gewicht oder Federzug oder auch elektrischem Selbstaufzug angetriebenen Gehwerk. Ein zweites, in gleicher Weise angetriebenes, sogen. Laufwerk hat die Aufgabe, die Stromschlussvorrichtung zu betätigen. Man hat vielfach ver-

sucht, einfache Gehwerke zur Stromschliessung einzurichten. Die Möglichkeit ist auch vorhanden, solange es sich um Stromschlüsse mit grösseren Zwischenpausen handelt, wie z. B. bei Signaluhren, da hier das Minutenrad zur Bewegung der Kontaktvorrichtung benutzt werden kann. Soll jedoch ein Stromkreis alle Minuten geschlossen und geöffnet werden, so würde die Bewegung eine zu langsame sein und der Kontakt zu lange geschlossen bleiben, was einen unnützen Stromverbrauch bedeuten würde. Dass die geringe Kraft der Steigradwelle nicht geeignet ist, geht aus der Erklärung der Kontakte zur Genüge hervor. Da es ebenfalls nicht ohne Bedeutung ist, wie lange ein Stromkreis geschlossen bleibt, um eine Anzahl angeschlossener Nebenuhren sicher fortzuschalten, so bietet ein besonderes Laufwerk die beste Möglichkeit, die Schlusssdauer nach Belieben zu regeln.

Diese Laufwerke sind nach Art der Rechenschlagwerke konstruiert und eingebaut. Die vorwiegend alle Minuten erfolgende

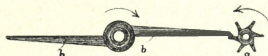


Fig. 110.

Auslösung wird entweder durch eine leichtgebaute Hebelvorrichtung bewirkt oder durch eine Anordnung, wie sie in Fig. 110 dargestellt ist. Der Stern *a* sitzt auf der Verlängerung einer Welle des Gehwerkes. Die Berechnung ist so gewählt, dass sich die Welle in der Minute um einen Zahn des Sternes dreht. Der zweiarmige Hebel *b* sitzt auf einer Wellenverlängerung des Laufwerkes und greift in die Verzahnung von *a* ein. Durch diese Anordnung wird das Gehwerk nicht gehemmt, da der Hebel den Stern im Sinne seiner Drehung antreibt. Auf das entgegengesetzte Ende der Welle von *b* kann nun beispielsweise die Kontaktscheibe der Fig. 97 oder 98 aufgesetzt werden. In diesem Falle müsste jedoch der Hebel *b* nur einen Schenkel haben oder die Scheiben je zwei Kontaktstifte tragen, damit bei jeder Drehung der Hebelwelle *b* ein Stift die Stromschlussfeder streift.

Da bei dieser Einrichtung die jede Minute erfolgenden Stromstösse stets in gleicher Richtung fließen, so müssen auch die damit betriebenen

Nebenuhren für Gleichstrom

eingerrichtet sein. Wenn auch die Stromwechsel-Nebenuhren zur allgemeinen Einführung gelangt sind, so genügen in manchen

Die Einrichtung der Neben- für Gleichstrom.

Fällen auch Gleichstromuhren, wenn es sich um kleinere Anlagen handelt und der Preis mit berücksichtigt werden muss. Ausserdem ist nicht jede Hauptuhr zur Abgabe von Strömen wechselnder Richtung geeignet.

Die Bauart einer Gleichstrom-Nebenuhr ist die denkbar einfachste. Ein Elektromagnet zieht seinen Anker an und ein damit verbundener Sperrkegel schiebt das mit 60 Zähnen versehene Sperrrad um einen Zahn weiter. Durch den anfangs kräftigeren Zug des Ankers würden jedoch die Zeiger mehr als einen Zahn vorrücken. Man hat daher die Anordnung getroffen, wie sie Fig. 111a darstellt. Wird der Anker angezogen, so spannt sich die Abreissfeder F und der Sperrkegel greift über den nächsten Zahn; sobald der Strom unterbrochen wird, zieht die Feder den Anker zurück und das Sperrrad wird um einen Zahn weitergerückt.

Die am Rücken des Sperrkegels angebrachte schräge Verlängerung hat die Neigung der Sperrzähne und gestattet daher eine Hebung des Sperrkegels bei der Vorwärtsbewegung. Nach erfolgter Schaltung des Rades stützt sich die Schräge an eine Stellerschraube und verhindert dadurch die Weiterbewegung des Rades.

Der Gesamtvorgang der elektrischen Zeitübertragung ist nun folgender: Durch Drehung des Sternes a wird der jeweils aufliegende Arm des Hebels b freigegeben, worauf sich das Laufwerk in Bewegung setzt und die Kontaktscheibe eine halbe Drehung ausführt. Hierbei streift ein Stift K die isoliert angebrachte Feder F . Der vom $+$ Pol der Batterie B kommende Strom geht an die Werkplatte und über die metallisch anliegende Feder S , Stift K , zur Feder F , und von da in die Leitung zum Elektromagneten des Nebenuhrwerkes, um durch die Rückleitung zum $-$ Pol der Batterie zu gelangen. Der hierdurch erregte Elektromagnet zieht seinen Anker an, und die Weiterschaltung des Zeigerwerkes erfolgt in der oben beschriebenen Weise.

Die elektrischen Zeigerwerke für Gleichstrom haben in neuerer Zeit einige Verbesserungen erfahren, doch ist die Wirkungsweise im allgemeinen stets die gleiche. Da es sich bei diesen neueren Bauarten vorwiegend um veränderte Form und Anordnung des Elektromagnetsystems handelt, so dürften obige Erklärungen genügen, um sich auch mit anderen Systemen vertraut machen zu können.

Vor- und Nachteile.

Die Vorzüge der Gleichstromuhren bestehen hauptsächlich in der einfachen Bauart, der leichten Verständlichkeit der Wirkungsweise und der billigeren Herstellungsmöglichkeit. Dagegen weisen

sie auch einige nicht zu unterschätzende Nachteile auf. Zunächst ist der grosse Kraftbedarf anzuführen, der dadurch entsteht, dass

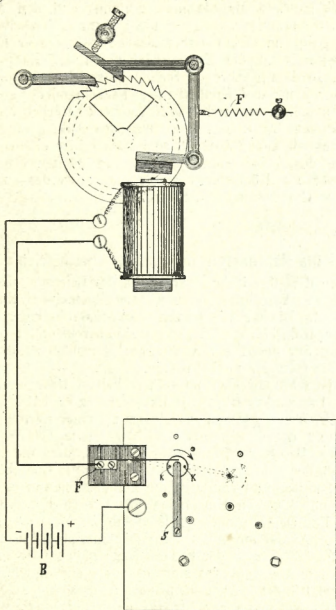


Fig. 111a u. 111.

der Anker vom Elektromagneten nur nach einer Seite bewegt wird; die Rückführung muss durch eine sich spannende Feder

oder ein Gegengewicht bewirkt werden. Die Bemessung dieser Gegenkraft wird bei einigen Systemen dadurch erschwert, dass der zurückbleibende Magnetismus zunimmt und den Anker — nach der Stromunterbrechung — nicht mehr in demselben Masse freigibt. Somit muss ein Uebermass an bewegender Kraft vorhanden sein. Sind die Kontaktflächen an der Hauptuhr verunreinigt, so dass isolierende Stellen entstehen, so können bei einer Bewegung des Kontaktstiftes nacheinander zwei Stromschlüsse entstehen, wodurch das Nebenwerk natürlich voreilt. Da bei der kurzen ruckweisen Bewegung des Ankers lange Zeiger nicht so schnell folgen können, so ist auch hier eine Grenze für die Grösse des Zifferblattes gegeben, und dürften etwa 30 cm Durchmesser als Höchstmass angenommen werden, um noch zuverlässige Gangresultate zu liefern.

* * *

Die Nebenuhren für Stromwechselbetrieb

Die Strom-
wechsel-
Neben-
uhren.

zeigen eine derartige Ueberlegenheit in der Leistung, dass sie in verschiedenen Ausführungsformen zur allgemeinen Einführung gelangt sind. Die zur Abgabe von Strömen wechselnder Richtung geeigneten Stromschlussvorrichtungen sind bereits erläutert worden. Es erübrigt nur noch, die Anbringung derselben an das Hauptuhrwerk etwas näher zu betrachten.

Die jede Minute sich um einen halben Umgang drehende Welle des Laufwerkes trägt den Exzenter der Fig. 104. Die drei Schienen M , F und F_1 sind gemeinsam auf einer Hartgummiplatte montiert und durch Schrauben an der Platte des Werkes angeschraubt. Besonders ist darauf zu achten, dass die Federn F und F_1 möglichst mit gleichem Druck an die Kontaktstifte der Schiene M anliegen; ferner dass die Kontaktstellen metallisch rein sind und unter keinen Umständen mit blossen Fingern berührt werden. Das Oelen sämtlicher Kontakte ist strengstens zu vermeiden. Ausserdem muss die Hartgummiplatte so aufgesetzt werden, dass die Enden der Federn beide gleich weit vom Drehpunkt des Exzenters entfernt sind, da sonst ein ungleichmässiges Anheben stattfindet. Abgesehen davon, dass bei zu geringem Anhub ein unvollkommener Kontakt entstehen kann, würde die näher liegende Feder durch ihre grössere Spannung den Exzenter anhalten können und einen dauernden Stromschluss herbeiführen, so dass die Batterie erschöpft oder doch zum mindesten geschwächt wird. Auch das Ende der Exzenterwelle soll etwas abgerundet,

poliert und sehr sauber sein, die Feder *S* ohne Oel mit massigem Druck aufliegen, damit das Laufwerk nicht gehemmt wird.

Die treibende Kraft sollte so bemessen sein, dass das Laufwerk sich bei jeder Stellung des Exzenters von selbst in Bewegung setzt. Hält man nach erfolgter Auslösung den Windfang an, sobald eine der Federn gehoben wird, so sollte das Werk von selbst wieder anlaufen. Durch diese Probe lässt sich auch feststellen, ob beide Federn gleich gespannt sind, vorausgesetzt, dass das Exzenter genau in der Mitte zwischen beiden Federn seinen Drehpunkt hat. Die Zeitdauer des Stromschlusses richtet sich nach der Zahl und Grösse der angeschlossenen Nebenuhren, sowie nach der Länge der Gesamtleitung.

Der beim Schliessen des Batteriestromes entstehende Induktionsstrom fliesst in entgegengesetzter Richtung zum Batteriestrom und hebt dessen Wirkung anfangs auf, so dass die Elektromagnete der Nebenuhren nicht genügend erregt werden. Wird nun der Kontakt zu früh unterbrochen, so hat eine Drehung des Ankers mit Sicherheit nicht erfolgen können. Ebenfalls haben lange Zeiger, auch wenn dieselben ausbalanciert sind, ein grösseres Trägheitsmoment und setzen sich deshalb nicht so schnell in Bewegung wie kurze Zeiger; auch aus diesem Grunde muss die Kontaktdauer reichlich bemessen werden. Im allgemeinen hat die praktische Erfahrung im Mittel 1 Sekunde Kontaktdauer als Norm erwiesen. Kleinere Anlagen arbeiten schon mit einigen Zehntelsekunden weniger, etwa 0,7 Sekunden Gesamtdauer, sicher; doch sollte auch bei grösseren Anlagen 1 Sekunde nicht zu stark überschritten werden, da sonst ein unnötiger Stromverbrauch die Lebensdauer der Batterie herabmindern würde. — Angaben und Berechnungen, wie sie in neuerer Zeit veröffentlicht worden sind, bei denen 0,1 Sekunde als genügend bezeichnet wird, dürften wohl auf Mangel an eigenen praktischen Erfahrungen zurückzuführen sein.

Kontakt-
dauer.

Die Wirkungsweise der polarisierten Elektromagnete ist bereits in dem Abschnitt über die Elektromagnete erläutert worden; es erübrigt sich daher, nur noch die Anwendung dieser Elektromagnete näher zu betrachten.

Die Vorzüge dieses Stromwechselbetriebes sind schon frühzeitig erkannt worden, wie die ersten Versuche von Stör, Thomas, Hipp, Grau usw. beweisen. Da diese veralteten Bauarten jedoch keine praktische Bedeutung mehr haben, so genügt es für unsere Zwecke, die vollkommensten Systeme der Gegenwart kennen zu lernen. Der leichteren Verständlichkeit wegen beginnen

Die polarisierten Elektromagneten.

wir unsere Betrachtung mit einem System, bei dem der polarisierte Anker eine hin- und herschwingende Bewegung ausführt. Fig. 112 veranschaulicht die Bauart der Siemens-Schuckert-Werke. Im allgemeinen Aufbau ähnlich dem uns schon bekannten Nebenuhrwerk für Gleichstrom, erfolgt auch hier die Fortschaltung des Sperr- bzw. Minutenrades durch zwei Sperr-

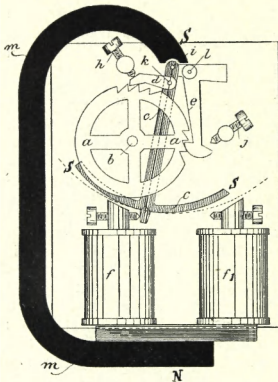


Fig. 112.

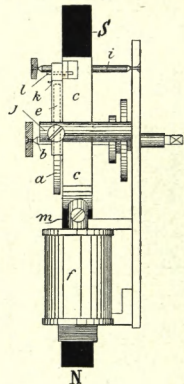


Fig. 112a.

kegel. Der wesentliche Unterschied besteht jedoch darin, dass der vom Elektromagneten angezogene Anker nicht durch eine Feder oder ein Gewicht in seine Ruhestellung zurückgezogen wird, sondern der Anker beharrt in seiner Stellung so lange, bis ein Strom in entgegengesetzter Richtung eine zweite Bewegung veranlasst.

Wie aus der Abbildung ersichtlich, ist das Joch eines Hufeisenelektromagneten auf den einen Pol eines permanenten Stahlmagneten befestigt. Der entgegengesetzte Pol befindet sich möglichst nahe (jedoch ohne Berührung) dem Drehpunkt \dot{c} des Ankers c . Die vom Stahlmagneten m ausgehenden Kraftlinien haben bekanntlich das Bestreben, auf dem kürzesten Wege vom

Nordpol zum Südpol überzugehen. Demzufolge nehmen die am Nordpol austretenden Kraftlinien ihren Weg über das Joch zu den beiden Schenkeln des Elektromagneten, wodurch die beiden Schenkel nordmagnetisiert werden. Da nun der nächstliegende Kraftlinienleiter der Anker c ist, so durchdringen sie den Luftzwischenraum und gehen durch den Körper von c zum Südpol des Stahlmagneten über. Die grössere Kraftlinienzahl tritt natürlich da über, wo der Luftzwischenraum am geringsten ist, und infolgedessen findet auch jeweils an dem Elektromagnetschenkel die grösste Anziehung statt, in dessen Nähe sich der Anker befindet.

Die Wicklungsrichtung der Elektromagnetspulen ist nun so gewählt, dass beim Stromdurchgang ein Schenkel nord- und der andere Schenkel süd magnetisch erregt wird. Würde in der veranschaulichten Stellung des Ankers die Spule f den Schenkel süd magnetisch und Spule f^1 ihren Schenkel nord magnetisch erregen, so würde zwischen Anker c und Schenkel f Abstossung eintreten, da der Anker durch den Südpol des Stahlmagneten stets süd polarisiert ist. Da jedoch durch die Wirkung des Stromes der Schenkel in Spule f^1 noch stärker nord magnetisiert wird, so wird der süd polarisierte Anker von diesem Schenkel angezogen und macht daher eine Rechtsbewegung. Nach Unterbrechung des Stromes wird der Anker in dieser Stellung jetzt durch den Magnetismus des Schenkels f^1 festgehalten. In der nächsten Minute kommt ein Strom in entgegengesetzter Richtung und erzeugt im Schenkel f^1 Süd magnetismus und verstärkt den Nord magnetismus im Schenkel f , worauf der Anker eine Linksbewegung ausführen muss. Diese Hin- und Herbewegung des Ankers wird durch zwei im gleichen Sinne wirkende Sperrkegel auf das Schalt rad übertragen. Die Sperrung des Schaltrades erfolgt dabei durch zwei Stellschrauben h und j . Eine genaue Betrachtung der Abbildung zeigt, dass die gebogenen Ankerarme keinen Kreis zum Drehpunkt i des Ankers bilden. Würde letzteres der Fall sein, so könnte keine wesentliche Anziehung stattfinden, da der Anker sich in jeder Stellung gleich weit entfernt von den Polen des Elektromagneten befinden würde. Die Begrenzung des Ankers wird durch zwei durch die Schenkel des Elektromagneten gehende Stellschrauben bewirkt. Eine unmittelbare Berührung zwischen Anker c und den Eisenpolen des Elektromagneten darf nicht stattfinden, da sonst der Anker „gewissermassen“ kleben bleiben würde. Die Einstellung des Abstandes ist so zu bemessen, dass die vom Stahlmagneten ausgehenden magnetischen Kraftlinien

noch kräftig genug wirken, um den Anker in seiner jeweiligen seitlichen Stellung festzuhalten. Diese Zeigerwerke arbeiten verhältnismässig ruhig, auch ist die Einstellung des Minutenzeigers genau, da das Schaltrad, nach erfolgter Schaltung, durch einen der Sperrkegel festgestellt wird und etwaige Zahnluft nicht störend wirken kann.

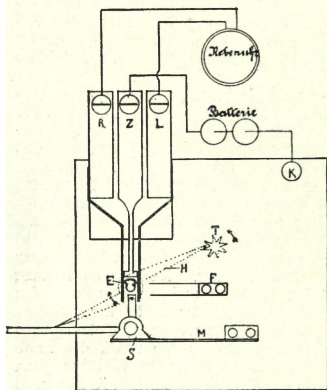


Fig. 113.

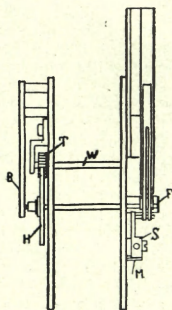


Fig. 113a.

Fig. 113 veranschaulicht ein Stromlaufschema einer Haupt- und Nebenuhr mit Stromwechselbetrieb.

Wie die Abbildung erkennen lässt, steht der Kohlepol der Batterie mit der Schraube *K* in Verbindung. Der Strom nimmt daher seinen Weg über die Platte des Werkes zur Feder *F*, die auf dem Ende der Exzenterwelle ruht. Sobald das Exzenter durch eine Vierteldrehung die rechte Kontaktfeder abgehoben hat, geht der Strom über diese zur Klemme *L* in die Leitung zur Nebenuhr, durchläuft die Windungen des Elektromagneten und gelangt durch die Rückleitung zur Klemme *R*. Da die mit *R* in Verbindung stehende Feder jetzt auf der Mittelschiene *Z* aufliegt, so ist der metallische Weg zum Zinkpol hergestellt. Bei der

folgenden Auslösung des Laufwerkes tritt der Strom in bekannter Weise durch die Feder an Klemme *R* in die Leitung und geht somit in umgekehrter Richtung durch die Nebenuhr. Zweckmässig werden die Hauptuhren mit einer Vorrichtung versehen, um die Nebenuhren von Hand nachstellen zu können. Die Abbildung zeigt eine einfache Anordnung, wie sie von der Firma C. Bohmeyer, Fabrik elektrischer Uhren in Halle a. S., ausgeführt wird. Ein kurzer, um eine Schraube drehbarer Hebel steht mit der Uhrplatte in metallischer Berührung. Wird dieser Hebel seitwärts geführt, so kann dadurch jeweils eine der Kontaktfedern angehoben werden, und der Stromlauf vollzieht sich in derselben Weise, wie bei der Drehung des Exzentrers. Durch den Druck der Feder *M* an die Fläche von *S* wird der Hebel stets wieder in die Mittellage zurückgeführt.

Das elektrische Nebenuhrwerk der Firma Th. Wagner Nebenuhren von Wagner in Wiesbaden (nach System Grau) ist auf wesentlich anderen Grundlagen aufgebaut. Der eigenartig geformte Anker führt keine hin- und hergehende Bewegung aus, sondern rotiert periodisch um seine Mittelachse, wodurch die Sperrkegel in Wegfall kommen und die Fortbewegung des Zeigerwerkes mittels Eingriffes bewirkt werden kann. Wie aus den Fig. 114 u. 115 ersichtlich, besteht der Anker aus zwei Z-förmigen Eisenteilen *a* und *b*, die, um 90 Grad zueinander versetzt, gemeinsam auf ein Messingfutter *d* (Fig. 115) befestigt und durch eine Stahlwelle *cc* drehbar gelagert sind. *M* bezeichnet einen kräftigen, hufeisenförmigen Stahlmagneten, zwischen dessen Polen *f* und *e* der Anker sich bewegt. Bezeichnet *f* den Nordpol, so gehen die Kraftlinien durch beide Ankerteile *b* und *a* zum Südpol *e* über, wodurch *b* dauernd nordmagnetisch und *a* süd magnetisch erregt wird. Oberhalb des Ankers sind die Spulen *E* und *E*₁ eines Elektromagneten sichtbar. Die Polschuhe *h* und *g* sind durch je zwei Schrauben an einer Messingkonsole befestigt und somit unverrückbar mit der Grundplatte des Werkes verbunden. Die Polschuhe selbst haben eine kreisförmige Ausdrehung, in der sich mit wenig Abstand der Anker drehen kann. Wird nun durch einen von der Hauptuhr kommenden Strom der Polschuh *h* nordmagnetisch und der Polschuh *g* süd magnetisch erregt, so findet eine mehrfache Anziehung und Abstossung statt.

Da der Anker *bb* nordmagnetisch polarisiert ist, so wird der obere Schenkel *b* vom nordmagnetischen Polschuh *h* abgestossen und vom süd magnetischen Polschuh *g* angezogen. Die Ankerscheibe *aa* ist süd magnetisch polarisiert, und infolgedessen wird

der rechte Schenkel *a* vom Südpol *g* abgestossen und der linke Schenkel *a* vom Nordpol *h* angezogen. Beide Ankerteile werden also im gleichen Drehungssinne von den Polen *h* und *g* beeinflusst. Kommt in der nächsten Minute ein Strom in entgegengesetzter Richtung, so dass jetzt *h* ein Südpol und *g* ein Nordpol wird, so stösst *g* den vorhin angezogenen Schenkel *b* ab und *h* zieht

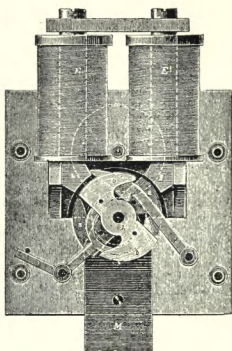


Fig. 114.

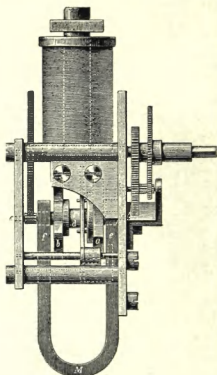


Fig. 115.

den entgegengesetzten von *b* an. *a* wird nun von *h* abgestossen und von *g* angezogen. Bei jedem Stromwechsel dreht sich der Gesamtanker um 90 Grad. Damit jedoch während der ganzen Vierteldrehung Anziehung im drehenden Sinne stattfindet, ist der Umfang der Ankerteile nicht kreisförmig, sondern sämtliche vier Viertelsegmente haben eine ansteigende Aussenfläche, so dass nach vollendeter Drehung die höchsten Kanten der Ankerteile den jeweiligen Polen am nächsten stehen. Durch die dauernde Magnetisierung von *a* und *b* haben diese das Bestreben, die Pole *h* und *g* anzuziehen, wodurch der Anker in seiner Stellung beharrt. Zur grösseren Sicherheit der genauen Einstellung ist jedoch noch eine Fangvorrichtung vorgesehen, welche ein unerwünschtes Voreilen oder Rückgehen des Ankers verhütet. Zu

diesem Zwecke sind in der grösseren Flansche des Messingfutters *d* vier Stifte eingesetzt. Der gabelförmige Hebel *k* gestattet bei langsamer Drehung des Ankers ein ungehindertes Durchgehen der Stifte, bei schneller Drehung jedoch wird der Hebel in die Höhe geschleudert und ein entgegengesetzter Stift schlägt auf die Vorderfläche des unteren Hebelarmes, wodurch eine Weiterdrehung verhindert wird. Bei grossen Zeigerwerken ist noch ein zweiter Hebel *i* angebracht, der nach Art eines Sperrkegels die Rückbewegung verhindert.

Diese Nebenuhrwerke nach System Grau haben sich seit mehreren Jahrzehnten auf das beste bewährt. Es darf jedoch nicht ausser acht gelassen werden, dass die Erzeugnisse der Firma Th. Wagner in Wiesbaden einen hohen Grad der Vollkommenheit aufweisen, und die sichere Funktion nicht allein durch das System, sondern auch durch die exakte Ausführung der wirkenden Teile bedingt wird. Billigere Nachahmungen, bei denen ungleichmässige Polabstände und sonstige Fehler zu beobachten sind, müssen daher mit Vorsicht behandelt werden. — Bei dieser Gelegenheit möge darauf hingewiesen werden, dass die beiden, die Endluft der Ankerwelle begrenzenden Decksteine flach auf der Platte aufliegen und durch je einen versenkten Kloben gehalten werden. Naturgemäss zieht sich das Oel des Ankerzapfens, infolge der Kapillarität, aus den Zapfenlöchern und verbreitet sich unter die ganze Fläche des Klobens. Würde der Deckstein, wie bei den Taschenuhren, durch eine Fassung gehalten, so dass der Stein nicht auf der Platte aufliegt, so wäre auch dieser Uebelstand behoben, und bedarf es wohl nur des Hinweises, um die Herren Fabrikanten zu dieser Massnahme zu veranlassen.

Die Nebenuhrwerke der Firma C. Bohmeyer, Fabrik elektrischer Uhren in Halle a. S., sind gleichfalls mit rotierendem Anker ausgerüstet, so dass die Uebertragung der Bewegung auf das Zeigerwerk durch Eingriff bewirkt werden kann. Wie aus den Fig. 116 u. 117 ersichtlich ist, dreht sich der zweischenkligke Anker *c* vor dem einen Pol eines permanenten Stahlmagneten *e*, wodurch der Anker an beiden Schenkeln gleichnamig magnetisiert wird. Das entgegengesetzte Ende des Stahlmagneten steht in unmittelbarer Verbindung mit dem Querjoch eines Elektromagneten. Die Schenkel des letzteren, sowie die Polschuhe *a* und *b* sind demzufolge ebenfalls gleichnamig dauernd magnetisch erregt. Besitzt der Stahlmagnet *e* an seinem oberen gebogenen Ende Nordmagnetismus, so sind auch, solange kein Strom durch die Windungen der Spulen geht, beide Polschuhe *a*

Nebenuhren
von
Bohmeyer.

und *b* nordmagnetisch. Da der Anker vom entgegengesetzten Pol des Stahlmagneten süd magnetisch erregt ist, so findet eine

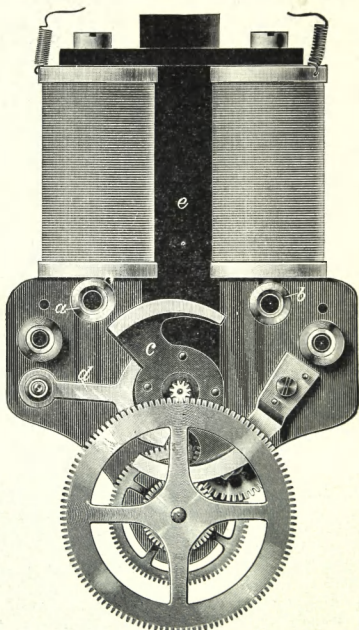


Fig. 116.

kräftige Anziehung zwischen *c* und *a* bzw. *b* statt, je nachdem in welcher Stellung sich der Anker befindet. Wird nun durch einen Strom der Elektromagnet in der Weise beeinflusst, dass der

Magnetismus im Polschuh *a* umgekehrt und somit süd magnetisch wird, während Polschuh *b* noch stärkeren Nordmagnetismus annimmt, so erfolgt zwischen *a* und *c* Abstossung und zwischen *c* und *b* kräftige Anziehung. Der Anker macht hierdurch eine Vierteldrehung und rückt das Antriebsrad der Minutenwelle um den 60. Teil seines Umfangs weiter. Da nach Unterbrechung des Stromkreises zwischen *c* und *b* noch entgegengesetzte Polarität fortbesteht, so wird der Anker auch hier in seiner neuen Stellung festgehalten. Durchfließt hierauf in der folgenden Minute ein Strom in entgegengesetzter Richtung die Spulen des Elektromagneten, so wird *b* ein Südpol und *a* ein Nordpol. Der Anker hatte jedoch vorhin eine wagerechte Stellung eingenommen und dadurch gelangt der untere Schenkel von *c* in die Nähe von *a*, so dass jetzt an diesem Schenkel Anziehung durch *a* erfolgt und der rechte Schenkel *c* von *b* abgestossen wird.

Trotzdem zwischen *c* und *a* bzw. *b* dauernd entgegengesetzte Polarität besteht und dadurch der Anker in seiner Stellung beharrt, so ist doch zur unbedingten Sicherheit der genauen Einstellung auch hier eine Fangvorrichtung vorgesehen und in der Abbildung mit *d* bezeichnet.

Die gleiche Firma fabriziert eine zweite Type, die im Grundgedanken und in der Wirkungsweise der vorstehend beschriebenen gleicht, in der Ausführungsform jedoch einige Abweichungen erkennen lässt. Wie aus der Fig. 118 ersichtlich, wird der zwei-

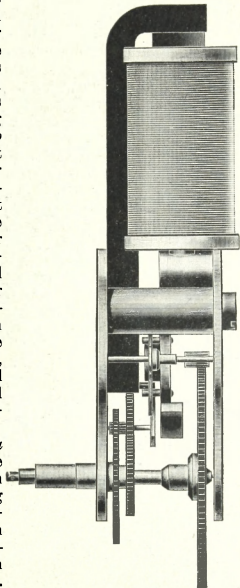


Fig. 117.

Ankervorsprung ab, und der linke Polschuh zieht den ihm zunächst liegenden Vorsprung so weit an, bis die höchste Kante dem Pol am nächsten steht. Der Anker macht bei jeder Bewegung eine Zehntelumdrehung und wird durch einen geraden Sperrhebel, der sich an je einen der zehn in die Ankerscheibe gebohrten Stifte anlegen kann, am Rückgang verhindert. Fig. 121 veranschaulicht die Seitenansicht.

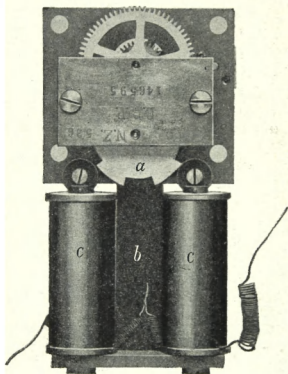


Fig. 120.

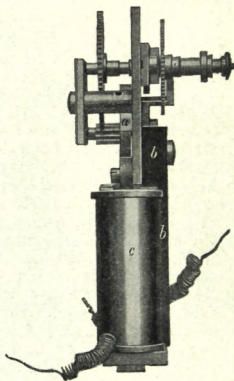


Fig. 121.

Ausser den vorstehend erläuterten Nebenuhrwerken ist die Zahl der verschiedenen Systeme noch nicht erschöpft. Da der Grundgedanke und die Wirkungsweise — mit wenig Ausnahmen — jedoch bei den übrigen Fabrikaten sich mit obigem deckt, so kann von einer weiteren Aufzählung Abstand genommen werden.

Die Verwendung der elektrischen Nebenuhren

ist eine sehr vielseitige. Abgesehen davon, dass eine gleichmässige Zeitangabe auf Tausende von Nebenuhren übertragen werden kann, bieten letztere einzig die Möglichkeit, an jedem Orte aufgestellt werden zu können. Sind die Gehäuse hermetisch

verschlossen, so kann weder Kälte noch Hitze, Feuchtigkeit oder Staub sowie Erschütterungen den guten Gang beeinflussen. Ausser zur Zeitangabe, werden die Nebenuhren auch mit Kalenderwerk versehen; desgleichen zur Betätigung von Signal- und Schlagwerkseinrichtungen. Vorhandene Turm- oder sonstige Grossuhren lassen sich mit Leichtigkeit in das Netz einer elektrischen Uhren-

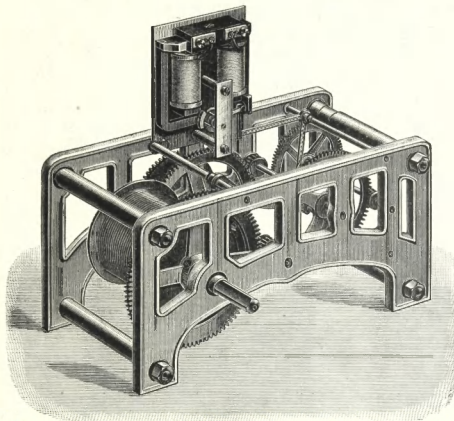


Fig. 122.

anlage einreihen und nehmen dann gleichfalls den präzisen Gang der Hauptuhr an. Fig. 122 zeigt beispielsweise eine Anordnung, wie sie von C. Bohmeyer in Halle a. S. in Anwendung gebracht wird.

Die Abbildung stellt nun keinesfalls ein ehemaliges Turmuhrwerk dar, sondern ein durch Gewicht betriebenes Laufwerk. Diese Laufwerke finden da Verwendung, wo es sich um Fortbewegung sehr grosser Zeiger handelt, oder solche, die im Freien montiert und ohne Schutzglas jeder Witterung ausgesetzt sind.

Der elektr.
Betrieb von
Turmuhren.

Bekanntlich zeigen, namentlich ältere, Turmuhren eine Unregelmässigkeit im Gange, sobald die Zeiger durch Stürme und dergl. an der freien Bewegung gehindert werden. Da die Antriebskraft bei den elektrischen Auslösewerken nach Erfordernis bemessen werden kann, so ist die sichere Bewegung der Zeiger gewährleistet. Die Hemmung des Werkes besteht aus einem Anlaufhebel, der alle Minuten durch ein polarisiertes Nebenwerk betätigt wird. Das Rad *f* (Fig. 123) macht in 1 Minute eine volle Umdrehung; der Anschlagstift stützt sich an den Hebelarm *e* so lange, bis der Arm *d* losgelassen wird und *e* eine Aufwärtsbewegung

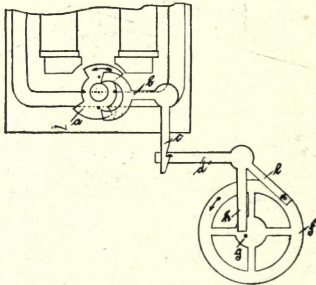


Fig. 123.

macht. Nahe der Welle von *f* ist ein zweiter Stift *g* eingesetzt, der bei der Drehung von *f* den Hebel *h* erfasst und seitwärts drückt, wodurch *d* wieder gehoben und von der Sperrklinke *c* gehalten wird. Letztere steht in fester Verbindung mit dem Fanghebel *b* eines Stromwechselnebenwerkes. Wird durch den — jede Minute — von der Hauptuhr ankommenden Strom der Anker *a* um 90 Grad in der Pfeilrichtung gedreht, so wird der Fanghebel *b* von dem jeweils in der Gabel von *b* befindlichen Stift in die Höhe geschleudert, und der gegenüberliegende Stift schlägt an den unteren Teil der Gabel und verhindert die Weiterdrehung des Ankers *a*. Soll eine vorhandene Turmuhr für elektrische Auslösung eingerichtet werden, so ist der Anker sowie das Pendel zu entfernen und die erforderlichen Anschlagstifte an

das Steigrad anzubringen, vorausgesetzt, dass letzteres in der Minute eine Umdrehung macht. Durch eine derartige Umänderung ist das Aufziehen des Werkes allenfalls nach wie vor erforderlich; jedoch sind Störungen durch Sturm oder unregelmässige Zeitangabe, infolge Erstarrung des Oeles bei grosser Kälte, beseitigt.

Wie sich eine selbständige Grossuhr in eine abhängige Nebenuhr umwandeln lässt, so kann auch eine genügend kräftige Pendeluhr als „Hauptuhr“ Verwendung finden. Dass die An-

Strom-
schluss-
werke.

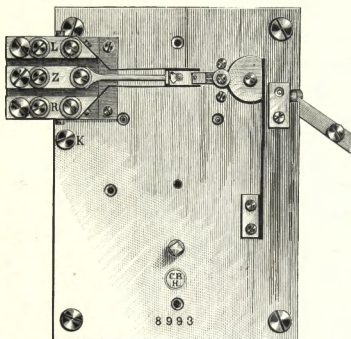


Fig. 124.

bringung eines Stromwechselkontaktes an einem Gehwerk auf Schwierigkeiten stösst, ist bereits begründet worden. Und doch dürfte es manchmal erwünscht sein, eine gut regulierende Sekundenuhr für diesen Zweck geeignet zu machen.

Von mehreren Fabrikanten elektrischer Uhren werden daher eigene Stromschlusswerke gebaut, die entweder durch Gewicht oder Federzug angetrieben werden. Die obenstehende Abbildung Fig. 124 veranschaulicht ein Werk der Firma C. Bohmeyer in Halle a. S. Die vordere Platte trägt eine Stromschlussvorrichtung gleich den Hauptuhren genannter Firma. Zwischen den Enden der Kontaktfedern ist ein kleiner Hebel sichtbar, der als Hand-

stromwender dient und zum Nachstellen sämtlicher angeschlossenen Nebenuhren bestimmt ist. Der rechts seitwärts sichtbare Hebel dient zum Auslösen des Werkes und wird durch einen auf der Welle des Steigrades befestigten Exzenter gehoben. Wird dem Gehwerk noch ein Trieb beigefügt, das mit dem Kleinbodenrad in Eingriff steht, so kann die Auslösung auch nach Art der Fig. 110 bewirkt werden. Die Platten werden mittels geeigneter Kloben mit dem Gehwerk verbunden, und kann der Aufzugzapfen dabei ausserhalb des Zifferblattreifers zu stehen kommen, so dass bei geschlossener Tür von aussen nichts zu sehen ist. Die Selbstanfertigung eines solchen Kontaktwerkes bietet eine dankbare Aufgabe für alle, die sich mit elektrischen Uhren befassen und ihre praktischen Kenntnisse erweitern wollen.

Die Schaltung der elektrischen Nebenuhren

kann auf zweierlei Art erfolgen: a) hintereinander und b) nebeneinander. In dem Abschnitt über Widerstandsberechnungen wurde gezeigt, von welchen Faktoren die Stromstärke abhängig ist; es dürfte daher genügen, nur auf einzelne Punkte hinzuweisen, um zu erkennen, welche Schaltungsweise jeweils die geeignetste ist.

Berechnung
der
Elemente-
zahl.

Die Verbindung „einer“ Nebenuhr mit der Hauptuhr ist bereits durch Fig. 113 dargestellt. Angenommen, die Spulen des Nebenwerkes hätten zusammen einen Widerstand von 100 Ω . Zwei Elemente à 1,5, gleich 3 Volt, genügten, um den Anker sicher in Drehung zu versetzen. Die Stromstärke, die im angenommenen Falle durch die Spulen fliesst, würde demnach

$$\frac{3 \text{ Volt}}{100 \text{ Ohm}} = 0,03 \text{ Amp. betragen.}$$

Schliessen wir nun eine zweite, gleiche Uhr in den Stromkreis so ein, dass der Strom nacheinander beide Spulenpaare durchläuft, so hat sich der Widerstand verdoppelt, und die Stromstärke würde nur noch 0,015 Amp. betragen. Zur Erzielung der erforderlichen 0,03 Amp. müsste daher die Spannung auf 6 Volt erhöht werden. Jede weitere Einschaltung bedingt also auch eine Erhöhung der Spannung und somit Vergrösserung der Elementezahl.

Schon bei Hintereinanderschaltung von nur zehn Nebenuhren würde die Spannung, nach obiger Annahme, 30 Volt = 20 Elemente à 1,5 Volt betragen müssen. Nun könnte man allenfalls durch eine andere Wicklung, und somit Veränderung des Widerstandes, die Zahl der Elemente verringern, doch bei jeder Vergrösserung der Anlage oder notwendig werdender Ausschaltung einzelner Uhren müsste die Spannung der Batterie dem neuen Bedürfnis

angepasst werden. Wird die Leitung an irgendeiner Stelle unterbrochen, so kommen dadurch sämtliche angeschlossenen Uhren zum Stillstand.

Da aber dennoch kleinere Anlagen mit Hintereinanderschaltung ausgeführt werden, so muss bei etwaiger Ausschaltung einer Nebenuhr, um die ganze Anlage nicht zu unterbrechen, an dieser Stelle ein Nebenschluss angelegt werden. Dieser Nebenschluss sollte womöglich den gleichen Widerstand der auszuscheidenden Uhr haben. Mittels geeigneter Klemmen verbindet man je das eine Ende des Nebenschlussdrahtes mit der zu den

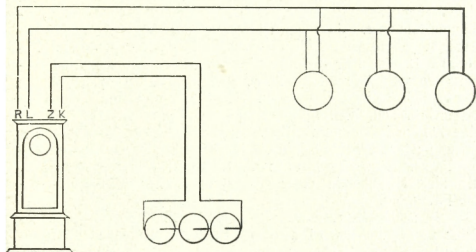


Fig. 125.

Klemmen der Uhr führenden Leitung, so dass der Strom einen geschlossenen Weg findet, wenn die Uhr von der Leitung abgeschaltet wird. Alle diese Umständlichkeiten kommen bei der Parallelschaltung in Wegfall.

Fig. 125 zeigt den Anschluss von drei Nebenuhren an eine Hauptuhr. Letztere trägt an oder auf dem Gehäuse vier Schienen oder Klemmschrauben, die mit *RL* und *ZK* bezeichnet sind. Schraube *K* wird mit der Zuleitung des $+$ Batteriepoles und *Z* mit dem $-$ Pol verbunden. An Klemme *L* liegt die für sämtliche Nebenuhren gemeinschaftliche Leitung und an *R* wird die Rückleitung befestigt. Der Anschluss der einzelnen Uhren ist aus dem Schema ersichtlich. Wird in bekannter Weise die Stromschlussvorrichtung in Tätigkeit gesetzt, so fließt der bei *L* austretende Strom in die Leitung und tritt gleichzeitig durch sämtliche Ab-

Parallelschaltung
der
Nebenuhren

zweigungen in die angeschlossenen Nebenwerke ein; die Rückleitung führt sodann die Teilströme gemeinsam über R durch die Stromschlussvorrichtung, Klemme Z , zum — Pol zurück. Durch diese Nebenschlusschaltung ist es möglich, beliebige Uhren auszuschalten, oder eine Vergrößerung der Anlage vorzunehmen, ohne die bereits angeschlossenen Uhren im Betrieb zu stören. Bei genügend kräftiger Kontaktvorrichtung können bis etwa 25 Nebenuhren an einer Hauptleitung oder Linie angeschlossen werden. Die Zahl ist jedoch auch abhängig von der Grösse der Nebenwerke selbst; denn da längere und schwerere Zeiger auch ein grösseres Werk bedingen, so ist auch der Kraftverbrauch an elektrischer Energie grösser, als bei Uhren mit geringerem Zifferblattdurchmesser. Je mehr Uhren an der Linie angeschlossen werden, je grösser ist die Stromstärke in der Hauptleitung. Benötigt z. B. eine Uhr einer bestimmten Grösse 0,01 Amp., so verbrauchen zwei Uhren 0,02 Amp. und zehn 0,1 Amp. Grössere Werke haben einen geringeren Widerstand und somit grösseren Stromverbrauch. Es fragt sich nun, ob die Stromschlussvorrichtung eine höhere Belastung verträgt. Diese Frage mag auf den ersten Blick unverständlich erscheinen, und doch gibt es eine Grenze für die höchstzulässige Stromstärke bei Stromschlussvorrichtungen, die ihre Ursache in einer bisher unerwähnt gelassenen Erscheinung hat.

Kontakte
und höchst
zulässige
Stromstärke.

Es ist bekannt, dass, wenn ein stromführender Leitungsdraht unterbrochen wird, an dieser Stelle ein leuchtender Funken auftritt. Dieser Funken strahlt jedoch nicht nur Licht aus, sondern entwickelt auch Wärme. Diese Wärme steht im Verhältnis zur Stromstärke und kann so intensiv werden, dass die Enden der unterbrochenen Leitung ins Glühen geraten. Ein Beispiel zeigt uns hier die elektrische Bogenlampe, bei der 10 bis 20 mm starke Kohlestäbe zur Weissglut kommen. Von dieser Erscheinung macht die Technik Gebrauch im elektrischen Schweissverfahren. Aber auch dann tritt eine Wärmeentwicklung auf, wenn sich zwei Leitungsenden berühren, also miteinander im Kontakt stehen. Der Strom hat an dieser Stelle den „Uebergangswiderstand“ zu überwinden und erhöht daher die Temperatur der Kontaktstelle. Weisen die Berührungsflächen Unebenheiten auf, so dass bei der reibenden Bewegung winzige Unterbrechungen stattfinden, so erfolgt eine, häufig unbeachtete, Funkengebung. Bei der plötzlichen enormen Hitze schmelzen die vorstehenden Unebenheiten, und es kann ein Zusammenschweissen der Berührungsfläche stattfinden. Ist nun die zur Bewegung der Kontaktvorrichtung vorhandene

Triebkraft knapp bemessen, so kann das Laufwerk stehenbleiben, und die Batterie ist dauernd geschlossen. Von dieser Erscheinung kann man sich durch ein Experiment selbst überzeugen. Schaltet

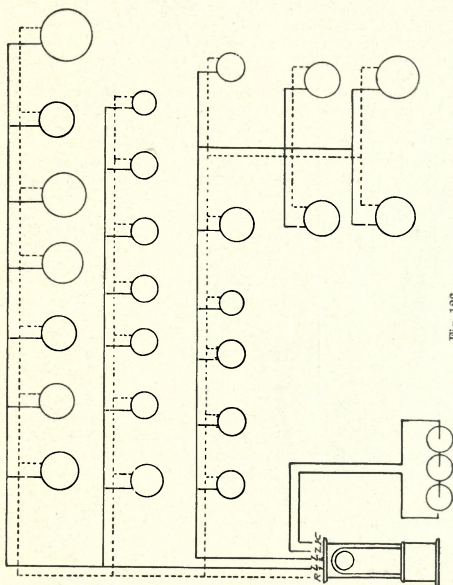


Fig. 126.

man mehrere Elemente zu einer Batterie und versieht die beiden Leitungsdrähte der Endpole mit einer Stahlspitze, Nähnadel oder dergl., so werden die Spitzen, sobald sie miteinander in Berührung gebracht und sofort wieder getrennt werden, ausgeglüht. Ersetzt

man die Stahlspitzen durch schmelzbare Metalle, so gelingt es mit einiger Geduld, die Spitzen zusammenzuschmelzen.

Ferner muss auch die Leistungsfähigkeit der Batterie in Betracht gezogen werden. Da der Strom aus der Hauptleitung in sämtliche angeschlossenen Uhren zugleich eintritt, so muss die Batterie die Summe sämtlicher Teilströme liefern können, ohne dass eine Ueberbeanspruchung eintritt (siehe Berechnung der Elemente).

Gruppen-
schaltung.

Da die Praxis jedoch bisweilen hohe Anforderungen stellt, so hat man dadurch einen Ausweg gefunden, dass die Gesamtzahl der Nebenuhren in Gruppen eingeteilt wird und jede Gruppe eine eigene Zuleitung erhält. Die für diesen Zweck geeignete Stromschlussvorrichtung sendet nun nacheinander einen Strom in die einzelnen Linien, wodurch natürlich nicht sämtliche Uhren zu gleicher Zeit in Tätigkeit treten, sondern zuerst rücken die Zeiger der an Linie 1 angeschlossenen Uhren und dann die der Linie 2 usw. Da die Abweichung in der Zeitangabe der einzelnen Linien jedoch kaum 1 Sekunde beträgt, so ist diese Ungenauigkeit ohne praktische Bedeutung.

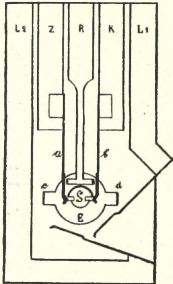


Fig. 127.

Fig. 126 (S. 163) zeigt ein Schaltungs-
schema mit zwei Linien. Wie aus der
Abbildung ersichtlich, speist die Linie 1
die beiden oberen Gruppen, während
Linie 2 die untere mit den beiden Ab-

zweigungen mit Strom zu versehen hat. Die Rückleitung sämtlicher angeschlossener Nebenuhren ist jedoch gemeinsam. Bei der Installierung ist zu beachten, dass die Leitung stets bei allen Uhren an die gleiche Klemme gelegt wird, wie z. B. in der Abbildung an die linke; desgleichen die Rückleitung. Ein Versehen in dieser Beziehung macht sich dadurch bemerkbar, dass die betreffende Uhr stets um 1 Minute zurückbleibt. In diesem Falle müssen also die Zuleitungsdrähte an den Klemmen der Uhr umgewechselt werden.

Strom-
schlussvor-
richtungen
für mehrere
Linien.

In Fig. 127 ist eine Stromschlussvorrichtung dargestellt für Bedienung von zwei Linien. An Schiene K wird der Kohlepol und an Z der Zinkpol der Batterie angeschlossen. R steht mit der Rückleitung und L₁ mit Linie 1, L₂ mit Linie 2 in Ver-

bindung. Unter den Federn *a* und *b* ist der Stromgeber *E* sichtbar. *S* ist der eigentliche Stromwender, der mit *E* metallisch

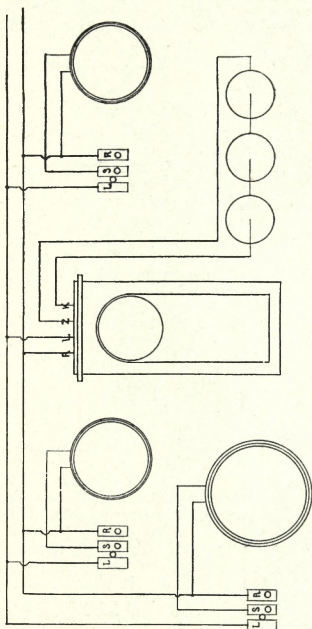


Fig. 128.

fest verbunden ist. Rechts und links sind zwei Isolierteile, Achatplättchen oder dergl. eingesetzt und verhüten im Ruhezustand eine

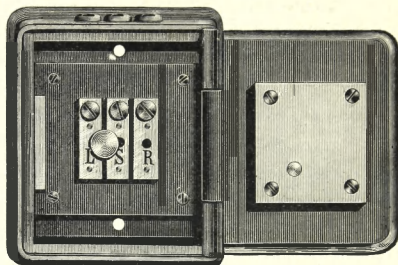


Fig. 129.

Berührung mit Schiene *R*. Setzt sich *E* im Sinne der Uhrzeiger in Bewegung, so gleitet *a* vom linken Isolierstück ab und legt sich auf *R*, während Feder *b* auf dem vorstehenden Halbkreis von *S* schleift. Hat die Kontaktnabe *d* die Feder an Schiene *L*₁

berührt, so geht der $+$ Strom von *K* über *S*, *E*, *d* zur Feder an *L*₁ in die Linie 1 und kehrt durch die Rückleitung über *R*, Feder *a* zum Zinkpol der Batterie zurück. Bei der fortschreitenden Drehung von *E* kommt die Feder an Schiene *L*₂ mit *d* in Berührung, und der Strom geht jetzt in derselben Weise wie vorhin in die Linie 2. Haben nach einer halben Drehung von *E* *c* und *d* ihre Stellung vertauscht, so werden *a* und *b* wieder isoliert voneinander gehalten. In derselben Weise baut die Firma C. Bohmeyer Stromwechsellvorrichtungen für mehr als zwei Linien.

Ist die Hauptuhr mit einer Fortstellvorrichtung versehen, so können sämtliche Nebenuhren von der Hauptuhr aus weitergerückt werden. Bleibt jedoch eine einzelne Uhr zurück, was infolge von Leitungsbeschädigungen oder zu geringer

Fortstellvorrichtungen.

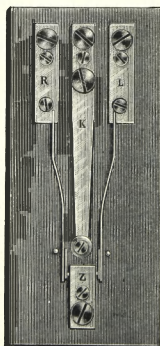


Fig. 130.

Stromstärke bei nicht rechtzeitig erneuerter Batterie vorkommen kann, so muss diese Uhr, sofern dieselbe leicht erreichbar ist, von Hand nachgestellt werden. Häufig ist diese Möglichkeit jedoch nicht vorhanden, und wird daher zweckmässig bei der Neuanlage eine Vorrichtung vorgesehen, wie sie in Fig. 128 (S. 165) schematisch dargestellt ist. Bei dieser Anlage steht die von Klemme *L* ausgehende Leitung nicht unmittelbar mit den Nebenuhren in Verbindung, sondern in erreichbarer Höhe ist ein ver-

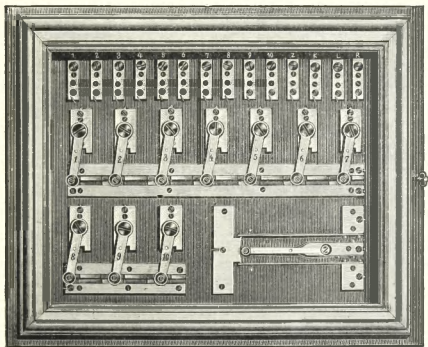


Fig. 131.

schliessbares Kästchen angebracht, an dessen Rückwand sich drei isolierte Schienen mit Klemmschrauben befinden (siehe Fig. 129, S. 166).

Mit Schiene *L* steht die Leitung von der Hauptuhr in Verbindung. *S* ist mit der rechten Klemme der Nebenuhr verbunden, während Schiene *R* an der Rückleitung liegt und durch eine Abzweigung gleichzeitig mit der linken Klemme der Nebenuhr in Verbindung steht. Die Schienen *L* und *S* sind durch einen Schraubenstöpsel miteinander verbunden. Der Stromlauf ist aus der Abbildung ersichtlich. Soll nun eine Uhr vorgestellt werden, so wird der Stöpsel herausgenommen, wodurch diese Uhr von

der Gesamtleitung abgeschaltet ist. Mit den Schienen *S* und *R* wird nun ein Handstromwender (Fig. 130) so verbunden, dass die Schiene *L* des Stromwenders mit Klemme *R* des Stellapparates und Schiene *R* des Stromwenders mit *S* des Stellapparates in Verbindung steht. Wird nun noch an Mittelschiene *K* und Schiene *Z* eine kleine Batterie gelegt, so kann durch Rechts- und Linksbewegung des Hebels *K* Strom wechselnder Richtung in diese Nebenuhr gesandt werden, ohne dass die übrigen Uhren davon in Mitleidenschaft gezogen sind. Sobald die Einstellung bewirkt ist, wird der Stöpsel wieder zwischen *L* und *S* eingesetzt.

Sollen Nebenuhren unmittelbar von der Zentrale aus einzeln eingestellt werden, so kommt hierfür ein eigener Apparat zur Anwendung, der in Fig. 131 dargestellt ist. Die mit 1 bis 10 bezeichneten Hebel ersetzen den Schraubenstöpsel; durch einfaches Umlegen der Hebel nach rechts wird die jeweilige Uhr von der Hauptleitung abgeschaltet und mit dem Stromwender (unten rechts) verbunden.

Nebenapparate.

Wann muss
die
Stromquelle
erneuert
werden?

Soll eine elektrische Uhrenanlage störungsfrei ihren Dienst versehen, so ist Bedingung, dass die Stromquelle rechtzeitig erneuert wird. Wann aber dieses zu geschehen hat, lässt sich nicht ohne weiteres bestimmen. Die Anzahl der angeschlossenen Nebenuhren, und somit der Stromverbrauch, bestimmen die Lebensdauer der Batterie. Wenn man nun auch auf Grund der Erfahrungen einen Anhaltspunkt gefunden hat, wie lange eine Batterie bestimmter Elementgrösse sicher arbeiten kann, so würde eine etwas zu frühzeitige Erneuerung immerhin einen Materialverlust bedeuten. Von der Firma Th. Wagner in Wiesbaden ist daher eine sinnreiche Einrichtung getroffen worden, durch die die Batterie selbst den Zeitpunkt bestimmt, wann ein Ersatz notwendig wird. Die Anordnung ist in Fig. 132 schematisch dargestellt. Auf der Kontaktwelle einer Hauptuhr sitzt ein kleines Exzenter *i*, der jede Minute eine halbe Umdrehung macht. Die Welle *m* steht mit dem $+$ Pol einer kleinen Batterie in Verbindung. Rechts und links sind die Federn *a* und *b* voneinander und vom Körper des Werkes isoliert befestigt. Der $-$ Pol der Batterie steht mit einem elektrischen Lätewerk in Verbindung. Die zweite Leitung des Lätewerkes führt zur Grundplatte eines Nebenuhrwerkes. Auf dem hinteren Ende der Zeigerwelle *o* dieses Nebenuhrwerkes sitzt ein Sperrad mit 30 abgestumpften Zähnen. Da sich die Zeigerwelle in der Minute um den 60. Teil dreht, so fällt

der doppelarmige Sperrkegel q einmal in die Zahnücke ein und in der nächsten Minute ruht derselbe auf der Abflachung eines

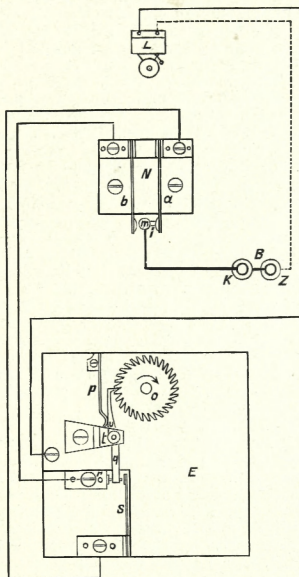


Fig. 132.

Sperrzahnes. Das untere Ende von q steht daher abwechselnd 1 Minute lang mit r und in der nächsten Minute mit s in leitender Berührung. Dieses Kontrollnebenwerk ist gleich den übrigen

Nebenuhren in einer Linie eingeschaltet und wird durch den von der Hauptuhr ausgehenden Strom in Bewegung gesetzt. Die Kontrolle wird nun dadurch erreicht, dass dieses Werk einen höheren Widerstand in den Elektromagnetspulen hat, als die übrigen Nebenuhren. So lange die Batterie gebrauchsfähig ist, rückt auch der Zeiger des Kontrollwerkes ordnungsgemäss weiter; lässt jedoch die Spannung nach, so versagt zuerst das Kontrollwerk, da der höhere Widerstand nicht mehr genügend Strom durch den Elektromagneten hindurchlässt. Angenommen, der Sperrkegel q hätte die Stellung der Abbildung eingenommen und die Kontaktwelle m macht in der nächsten Minute eine halbe Umdrehung, so steht jetzt das Exzenter i mit der Feder b in Berührung. Der vom $+$ Pol der Läutewerkbatterie ausgehende Strom nimmt seinen Weg über mi , Feder b , durch die Leitung zur Kontaktschiene r , Hebel q , über Feder p zur Grundplatte, und da diese durch eine Leitung mit dem Läutewerk L in Verbindung steht, so wird letzteres in Tätigkeit gesetzt, da der $-$ Pol ebenfalls mit dem Läutewerk verbunden ist. Das Signal dauert eine volle Minute und zeigt dadurch an, dass die Batterie in kurzer Zeit erneuert werden muss. Der Widerstand der Kontaktwerkspulen ist so bemessen, dass ein Versagen der übrigen Nebenuhren erst nach geraumer Zeit eintreten kann. Da durch die Erneuerung der Batterie der Betrieb unterbrochen würde, so stellt man rechtzeitig eine Reservebatterie auf und schaltet durch einfaches Umlegen eines Hebelumschalters die alte Batterie aus und die Reservebatterie ein. In Fig. 133 ist die Schaltungsweise nebst Umschalter dargestellt.

Erdrück-
leitungen.

Ferner sehen wir in obiger Skizze drei mit E bezeichnete Platten, die je mit einer punktiert abgebildeten Rückleitung verbunden sind. Da die Erde — nach Steinheils Entdeckung — die Fähigkeit besitzt, einen elektrischen Strom fortzuleiten, so benutzt man in manchen Fällen dieselbe als Rückleitung. Zu diesem Zwecke werden Kupferplatten in den Erdboden vergraben, doch müssen dieselben so tief liegen, dass stets Feuchtigkeit vorhanden ist. Bei sehr langen Leitungen wird hierdurch wohl Material erspart, doch ist auch diese Anlage einer Gefahr ausgesetzt, die durch die sich stets mehrenden Starkstromnetze bedingt wird. Eine grössere Sicherheit dürfte daher durch Verwendung von gut isolierter Hin- und Rückleitung erzielt werden. Liegen die Freileitungen (d. h. Leitungen ausserhalb der Gebäude) hoch, wie es z. B. der Anschluss von Nebenuhren in mehreren entfernt voneinander liegenden Gebäuden, Türmen usw. bedingen

kann, so ist die Leitung mehrfach durch „Blitzschutzvorrichtungen“ zu sichern. Einrichtungen dieser Art sind mehrere ausgeführt worden; für uns genügt es jedoch, das Grundprinzip kennen zu lernen.

Die gewaltige Spannung der atmosphärischen Elektrizität sucht sich auf dem kürzesten Wege auszugleichen, wobei der Funken — den wir Blitz nennen — mit Leichtigkeit Luftstrecken überspringt und im Erdboden verschwindet. Wird nun eine Freileitung vom Blitz getroffen, so würden die angeschlossenen Apparate zerstört werden. Um dieses zu verhüten, wird der

Blitzschutz-
vor-
richtungen.

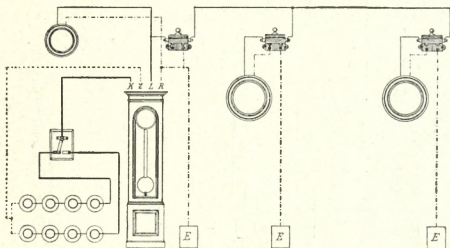


Fig. 133.

Entladung ein günstigerer Weg geboten, zur Erde abzufließen, als die vielen Windungen der Apparate zu durchlaufen. In Fig. 134 sehen wir drei gezahnte Schienen *a*, *b* und *c*. An Schiene *a* und *b* liegen die Hin- und Rückleitungen, wie in Fig. 135 dargestellt ist. Die Mittelschiene *c* ist auf beiden Seiten gezahnt und so zwischen *a* und *b* isoliert befestigt, dass sich die Zahnspitzen auf etwa 1 mm Entfernung genau gegenüberstehen. Eine Leitung mit sehr geringem Widerstand verbindet *c* mit einer Erdplatte oder dem Röhrennetz einer Wasserleitung. Wird nun die Leitung von einer atmosphärischen Entladung getroffen, so springt der Blitz von *a* oder *b* durch die Spitzen nach *c* über und kann zur Erde abfließen; ein schwacher Teilstrom kann jedoch noch durch die Spulen der Nebenuhr fließen und das Vorrücken der Zeiger um 1 Minute bewirken. Da jedoch der nächste, von der Hauptuhr

kommende Strom im gleichen Sinne wirken würde, so bleibt der Anker stehen und die Differenz ist ausgeglichen.

Am zweckmässigsten würde die Verwendung von gut isolierten Kabeln sein, die im Erdboden so tief verlegt sind, dass Beschädigungen von aussen nicht vorkommen können. Diese Art der Leitungsverlegung stellt sich allenfalls teurer; jedoch ist auch andererseits eine Störung durch Blitz oder starken Schneefall ausgeschlossen.

Installation.

Die Installation elektrischer Uhrenanlagen, d. h. die Verlegung der Leitungen, Durchbrechen von Mauerwerk usw., ist nun allenfalls keine Arbeit, die sich mit der übrigen Tätigkeit des Uhrmachers gut vereinbart. Aufgabe des Uhrmachers ist es vielmehr,

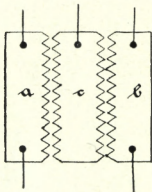


Fig. 134.

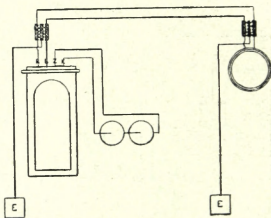


Fig. 135.

die Funktion der Werke und aller zugehörigen Apparate genau zu kennen, um die Wartung und sachgemässe Reparatur selbst ausführen zu können. Damit soll nicht gesagt sein, dass die Ausführung dieser Arbeiten streng zu vermeiden ist. Im Gegenteil, sollte jede Gelegenheit benutzt werden, um sich auch hier praktische Kenntnisse anzueignen. Diese Kenntnisse kann man jedoch nicht durch Lesen gewinnen, sondern nur dadurch, dass man, mit einer kleinen Anlage beginnend, selbst eine Installation ausführt. Die Bauart und Wirkungsweise, sowie die erforderlichen Anschlüsse für eine und mehrere Uhren sind in dieser Abhandlung genügend klargelegt, so dass nur noch die Art und Weise der Leitungsverlegung in Augenschein genommen zu werden braucht, und dazu bieten sich heute viele Gelegenheiten. Haus-telegraphen, Telephon, Lichtleitungen usw. bieten praktische Anschauungsmittel, wie man Leitungen zweckmässig und dauerhaft

an Wänden und Masten befestigt, sowie Mauerdurchführungen anlegt. Als Regel muss jedoch beachtet werden, dass die Leitungen so zu befestigen sind, dass Beschädigungen nicht leicht vorkommen können. So wäre es z. B. falsch, eine Leitung nahe des Fussbodens entlang zu führen, oder schlecht isolierte Drähte mit einfachen Nägeln oder Haken an, womöglich noch feuchten, Wänden zu befestigen. Auf allerbeste Isolation in allen Teilen ist ein Hauptaugenmerk zu richten.

Sämtliche Verbindungsstellen müssen metallisch rein geschabt werden, und eine Berührung mit blossen Fingern darf unter keinen Umständen stattfinden. Klemmschrauben sind so fest als möglich anzuziehen, doch ist zu beachten, dass die angeschlossenen Drähte nicht abgequetscht werden. In manchen Fällen empfiehlt

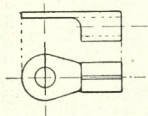


Fig. 136.

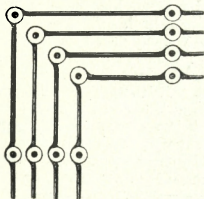


Fig. 137.

es sich, die Enden der Leitungen mit kleinen, sogen. Kabelschuhen (Fig. 136) zu versehen. Abzweigungen und Verbindungen der Leitungen müssen mit säurefreiem Lötmittel (Tinol oder dergl.) verlötet und nach sorgfältiger Reinigung mit Isolierband umwickelt werden.

Das sonstige erforderliche Installationsmaterial ist so bekannt, dass von einer weiteren Beschreibung Abstand genommen werden kann. Es möge jedoch noch darauf hingewiesen werden, dass die Leitungen ordnungsgemäss einzeln nebeneinander liegen sollen, um jede Linie für sich verfolgen zu können, wodurch das Aufsuchen von etwaigen Leitungsfehlern bedeutend erleichtert wird.

Um die einzelnen Leitungen — namentlich bei Mauerdurchführungen — erkennen zu können, verwendet man zweckmässig verschiedenfarbige Drähte. Für jede neue Anlage ist ein Leitungsschema anzufertigen, wobei darauf Rücksicht zu nehmen ist, dass

die Leitungen nicht kreuzweise übereinander zu liegen kommen. Fig. 137 zeigt beispielsweise die Führung von vier Leitungen im rechten Winkel.

Für den Uhrmacher im allgemeinen dürfte es sich empfehlen, sich vorkommendenfalls mit einem Schwachstrominstallateur zu verständigen und diesem die Montage der Leitungen zu einem vorher vereinbarten Preise zu übertragen. Die Aufstellung und der Anschluss der Haupt- und Nebenuhren, sowie der Batterie ist in erster Linie Sache des Uhrmachers.

* * *

Die elektrisch angetriebenen Pendel.

Im letzten Kapitel haben wir die elektrische Zeitübertragung kennen gelernt. Die günstigen Erfolge, die im Laufe der Zeit erzielt worden sind, haben wohl dazu beigetragen, die Elektrizität auch für andere Zwecke der Zeitmessung dienstbar zu machen.

Wie die Geschichte erzählt, versuchte Alexander Bain, geboren 1810 zu Thurso in Schottland, bereits im Jahre 1840 ein Pendel durch Elektromagnetismus in Schwingung zu erhalten. Wir sehen also schon frühzeitig, dass weitblickende Männer bestrebt waren, die Fortschritte der Technik auch auf die Uhrmacherkunst zu übertragen. Dass diese ersten Versuche verfrüht waren, können wir heute beurteilen, zumal wenn man die Stromquellen — galvanische Elemente — aus damaliger Zeit in ihren Leistungen betrachtet. Starkstrommaschinen und -anlagen gab es noch nicht, und so war die Entwicklung der elektrisch angetriebenen Pendel einstweilen noch gehemmt. Erst Hipp in Neuchâtel gelang es, befriedigende Resultate zu erzielen. Von Verbesserungen abgesehen, hat sich das System von Dr. M. Hipp seit vielen Jahrzehnten bewährt und bis auf den heutigen Tag erhalten, so dass mehrere Nachahmungen entstanden sind.

Das
Hipp'sche
Pendel.

In Fig. 138 ist eine schematische Uebersicht gegeben, aus der das Grundprinzip dieses Pendelantriebes hervorgeht. Zwei Isolierstücke *a* und *b* werden durch Säulen oder dergl. getragen und an der Rückwand des Gehäuses befestigt. An *b* sind die Federn *c* und *d* geschraubt, während *a* eine Messingschiene mit den beiden Schrauben *e* und *f* trägt. Feder *d* ist mit einem kleinen Messingkegel *k* ausgerüstet; dieser Kegel hat oben einen Platinstift und in der unteren Einfräsung hängt eine kleine Stahllunge *h*, die durch den Scharnierstift *i* getragen und so leicht beweglich ist, dass dieselbe durch ihr Eigengewicht stets nach

unten hängt. An der Pendelstange sehen wir einen Kloben, der an der oberen Seite eine eingekerbte Nabe *g* trägt. Wird das Pendel in Schwingung versetzt, so streicht die Nabe *g* unter *h*

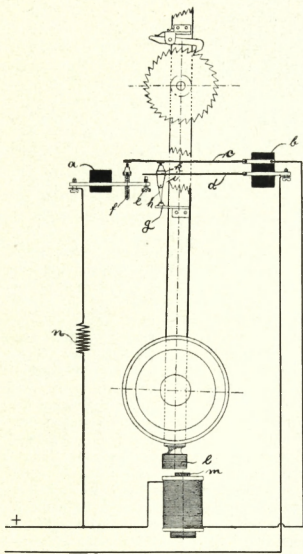


Fig. 138.

hinweg, wobei letztere seitwärts geführt wird und bei genügender Schwingungsweite des Pendels wieder abfallen kann. Nehmen die Schwingungen ab, so wird ein Punkt erreicht, bei dem die

Zunge *h* nicht mehr frei abgleitet, sondern sich bei der Rechtschwingung des Pendels an die Einkerbung von *g* stützt und die Feder *d* nach oben drückt. Der Platinstift in *k* berührt dabei die Feder *c* und hebt letztere von der Schraube *f* ab. Der nun vom

+ Pol der Batterie kommende Strom durchläuft die Windungen des Elektromagneten *m* und tritt von *c* nach *d* über, um durch die Leitung zum — Pol zu gelangen.

Der Elektromagnet übt jetzt eine Anziehung auf den Eisenanker *l* aus und erteilt dem Pendel dadurch einen neuen Antrieb. Bevor jedoch der Anker *l* sich über der Mitte des Elektromagneten befindet, hat sich *h* so weit geneigt, dass sich *c* und *d* senken und *k* ausser Berührung mit *c* kommt, worauf der Stromkreis unterbrochen wird und *l* frei über *m* hinwegschwingen kann. Die Unterbrechung findet jedoch erst dann statt, wenn sich das Ende der Feder *c* bereits auf die Schraube *f* gelegt hat; *d* hingegen sinkt etwas weiter und ruht auf der isolierenden Elfenbein-

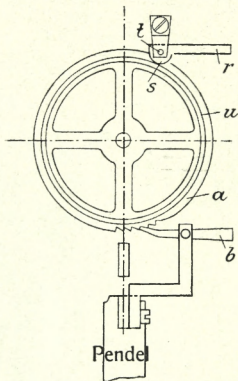


Fig. 139.

spitze der Schraube *e*. Um den Öffnungsfunken des Induktionsstromes abzulenken, ist die induktionsfreie Widerstandsspule *n* in Nebenschluss gelegt. Der Induktionsstrom findet also einen geschlossenen Stromkreis, bevor sich *c* und *k* trennen und den Batteriestrom unterbrechen. Das Spiel wiederholt sich, sobald die Schwingungsweite wieder die ursprüngliche niedrigste Grenze erreicht hat. Die Zeitdauer von einem Stromschluss zum anderen richtet sich nach der Zugkraft des Magneten bezw. der Spannung der Stromquelle und sonach der Stärke des jeweiligen Impulses. Die geringste Schwingungsweite des Pendels bleibt konstant, da in diesem Augenblick ein neuer Antrieb erfolgt.

Die maximale Schwingung nach jedem neuen Antrieb ist jedoch schwankend, wenn Elemente zur Verwendung kommen, die in der Spannung sinken. Die Stromschlüsse erfolgen in

kleineren Zwischenpausen, wenn die maximale Schwingungsweite zurückgeht. Im allgemeinen erfolgen im Durchschnitt zwei Kontakte in der Minute. Aus obigem ist ersichtlich, dass die besten Gangresultate mit möglichst konstanter Stromquelle erreicht werden. Gut eignen sich für diesen Zweck Akkumulatoren, die ständig unter Ladung stehen; ausserdem die Natronelemente, die eine sehr gute Konstanz in bezug auf Spannung aufweisen.

Bei der Aufstellung dieser Uhren ist zu beachten, dass der Anker nicht allzu nahe über den Polen des Elektromagneten schwingt, ferner, dass sich der Anker mit seiner Breitseite gleichmässig beiden Magnetpolen nähert und genau über der Mitte der Pole schwingt. Da der Antrieb an der Spitze des Pendels stattfindet, so ist möglichst weiches, gut geglühtes Eisen zu verwenden, damit der remanente Magnetismus nicht störend auf den Gang einwirken kann. Der Kegel *k* mit der Stahlzunge *h* ist meistens in der Längsrichtung der Feder *d* verschiebbar. Erfolgt die Trennung von *k* und *c* erst in dem Augenblick, wo *l* bereits über der Mitte von *m* steht, so muss *k* nach links gerückt werden. Ein Uebermass in dieser Beziehung würde jedoch ebenfalls einen Kraftverlust bedeuten. Die Stellung des Pendels in der Abbildung dürfte der geeignete Moment sein, wo der Stromkreis unterbrochen wird.

Die Uebertragung der Pendelschwingungen auf das Zeigerwerk erfolgt durch einen vom Pendel betätigten Sperrkegel auf ein Schaltrad, das bei jeder zweiten Schwingung um einen Zahn weiter gerückt wird. Ein zweiter Sperrkegel oder ein in Fig. 139 mit *sr* bezeichneter Bremshebel verhütet den Rückgang des Schaltrades. Diese Bremsvorrichtung wird von den Siemens-Schuckertwerken in Anwendung gebracht und hat den Vorzug, geräuschlos zu arbeiten.

Der elektrische Pendelantrieb von C. Bohmeyer

weicht in der Wirkungsweise wesentlich von der Hippi'schen Konstruktion ab. Zunächst erfolgt der magnetische Antrieb nicht in periodisch schwankenden Zeiten, sondern bei jeder Schwingung. Der Antrieb selbst wird dem Pendel nahe der Pendelfeder erteilt und nicht an der Pendelspitze. Die Unterbrechungsstelle des Stromkreises ist von der Stromschlusstelle räumlich getrennt. Da die Stromstösse, die zur Inganghaltung des Pendels dienen, bei jeder Schwingung einsetzen, so kann die Fortbewegung eines oder mehrerer Zeigerwerke durch diese Ströme bewirkt werden, ohne das Pendel durch eine mechanische Schaltvorrichtung zu belasten.

Pendelantrieb von C. Bohmeyer.

Fig. 140 zeigt uns einen derartigen Pendelantrieb in Verbindung mit einem Sekundennebenwerk. Der eiserne Pendel-

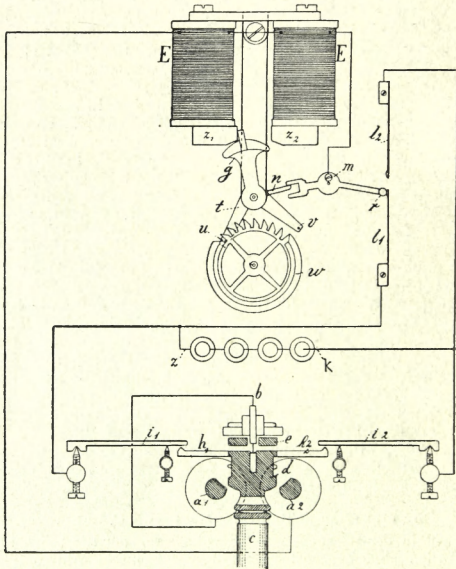


Fig. 140.

federhaken d , der die Stelle des Ankers vertritt, schwingt zwischen den Polen a^1 und a^2 eines polarisierten Elektromagneten. Zur besseren Verständlichkeit betrachte man die Fig. 91 (Seite 117); der drehbare Anker wird durch den oberen Schenkel S eines Stahlmagneten magnetisiert. In gleicher Weise erhält der Anker d des Pendels seinen Magnetismus von dem oberen Pole e , eines perma-

nenten Magneten, an dessen entgegengesetztem Ende die Kerne a^1 und a^2 befestigt sind.

Mit d stehen zwei Hebel h^1 und h^2 in metallischer Verbindung. Wird das Pendel in Schwingung gesetzt, so treten h^1 oder h^2 abwechselnd mit zwei Federn oder auch auf Platinschneiden gelagerte Lamellen i^1 und i^2 in Berührung. Schwingt das Pendel nach rechts, so hebt h^2 i^2 ; der bei z von der Batterie ausgehende Strom nimmt seinen Weg über i^2 , h^2 , durch die Pendelfeder, Verbindung b , durch die Spulen von a^1 und a^2 , über die Leitung zum Sekundennebenwerk, durchläuft die Spulen E und E , tritt sodann über den Schalthebel m bei r in die Feder l^1 und von da zum negativen Pol der Batterie zurück. Waren nun a^1 und a^2 nordmagnetisch polarisiert, so wird Anker d durch e süd-magnetisch erregt. Die oben skizzierte Stromrichtung hat jedoch a^1 in einen Südpol verwandelt und a^2 noch stärker nordmagnetisch beeinflusst, demzufolge wird d von a^1 abgestossen und von a^2 angezogen; das Pendel erhält somit einen Antrieb in der Schwingungsrichtung. Aus der Verfolgung des Stromlaufes geht jedoch hervor, dass gleichzeitig auch die Pole z^1 und z^2 des Nebenwerkes beeinflusst werden. Da dieses Elektromagnetsystem ebenfalls polarisiert ist, so bewirkt der Strom eine Abstossung des Ankers g durch z^1 und Anziehung zwischen g und z^2 . Bei der nun erfolgenden Rechtsbewegung von g legt der Hebel n , sobald der Anker etwas über die Hälfte seiner Bewegung ausgeführt hat, den Schalthebel m um, worauf die Rolle r von l^1 abgleitet und mit der Feder b^2 in Berührung tritt; der zwischen h^2 und i^2 geschlossene Stromkreis ist dadurch unterbrochen. Bewegt sich das Pendel nach links, so tritt h^1 mit i^1 in Berührung, worauf der von der Batterie bei z kommende Strom über l^2 , Hebel m in umgekehrter Richtung durch die beiden Spulenpaare verläuft und den Anker g des Nebenwerkes wieder nach links bewegt. Durch die Hin- und Herbewegung von g wird jedoch nicht nur der Stromkreis unterbrochen und die Stromrichtung gewechselt, sondern der mit g verbundene Schaltanker dient gleichzeitig zur Weiterbewegung des Sekundenrades w . Da das Pendel bei jeder Schwingung einen Antrieb erhält und in seiner Bewegung fast vollständig frei ist, so ist der Kraftbedarf an elektrischer Energie ungemein gering. Nach Angabe des Fabrikanten arbeiten diese Pendelapparate schon mit einer Stromstärke von 0,007 bis 0,008 Ampere.

Eine grosse Betriebssicherheit ist noch dadurch gewährleistet, dass sich die Stromschlussdauer selbst regelt. Der Stromkreis wird erst dann unterbrochen, wenn eine Fortstellung der Zeiger

stattgefunden hat. Sobald der Anker g über die Hälfte seiner Bewegung zurückgelegt hat, wirkt die entgegengesetzte Polarisierung von Anker und nächstliegendem Pol anziehend im Sinne der Bewegung, auch dann noch, wenn der Stromkreis bereits unterbrochen ist. Die Zeitdauer eines jeden Stromschlusses beträgt etwa 0,05 Sekunde. Diese geringe Beanspruchung gestattet die Verwendung von Elementen mit langsamer Depolarisation, da die Ruhepausen der Schlussdauer gegenüber bedeutend länger sind. Es empfiehlt sich jedoch, grosse Zellen zu verwenden.

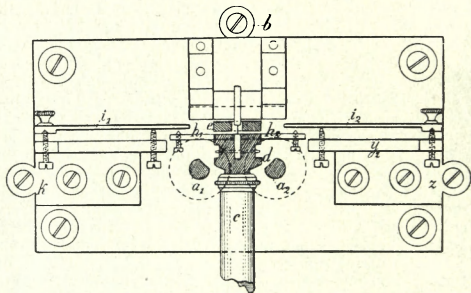


Fig. 141.

Fig. 141 zeigt eine praktische Ausführungsform eines Pendelapparates. Die Hebel i^1 und i^2 sind durch Schrauben einstellbar und ist bei der Aufstellung darauf zu sehen, dass eine gleichzeitige Berührung von i^1 , h^1 und i^2 , h^2 nicht vorhanden ist. Hängt das Pendel in Ruhe, so müssen beide Stromschlussstellen gleichen Abstand haben, der jedoch sehr gering zu bemessen ist. Bei gleichzeitiger Berührung beider Kontaktstellen würde die Batterie kurzgeschlossen sein und sich frühzeitig erschöpfen.

* * *

Die vorwiegendste Zahl der elektrisch angetriebenen Pendel ist teils mehr oder weniger abhängig von der Spannung der Betriebsbatterie. Naturgemäss muss ein Pendel einen stärkeren Impuls erhalten, wenn die Spannung hoch ist, und demzufolge

wird auch der Schwingungsbogen grösser sein, als wenn nach längerer Betriebsdauer die Elemente zurückgegangen sind.

Das nachstehende, von

Friedrich Testorf, Kraling,

konstruierte Pendel besitzt mechanischen Antrieb. Dem Elektromagneten fällt nur die Aufgabe zu, die verbrauchte Kraft zu ersetzen, bezw. das Schwerkraft nach der entgegengesetzten Seite umzulegen.

Pendel-
antrieb von
Testorf.

In der Abbildung (Fig. 142) sind Sp und Sp_1 zwei Induktionsspulen, die von dem Hufeisenelektromagneten E getragen werden. Am unteren Ende der Elektromagnetkerne sind zwei Polschuhe P und P_1 angebracht. Der Anker A hängt an einer schwachen Pendelfeder, die ihrerseits in einem kleinen, isolierten Messingklötzchen festgeklemmt ist. Hinter dem Pendelanker A ist ein gerader Dauermagnetstab NS sichtbar, der mit dem Querjoch E in metallischer Berührung steht.

Der Anker A wird durch den Pol N des Stahlmagneten in bekannter Weise dauernd polarisiert, so dass der Anker stets entgegengesetzten Magnetismus hat als die Pole P und P_1 . Wird nun der Elektromagnet mit Strömen wechselnder Richtung beschickt, so führt der Anker A , je nach Stromrichtung, eine rechte oder linke Bewegung aus und bleibt an dem anziehenden Pol haften; der Vorgang ist derselbe wie in der Beschreibung der Fig. 91.

Diese Hin- und Herbewegung des Ankers bezw. die dadurch bewirkte „Gewichtsverlegung“ zur Mitte des Pendels bildet den Antrieb für das Pendel. In der Fig. 142 hat das Pendel seine normale Schwingung nach links zurückgelegt; um einen neuen Antrieb zu erteilen, muss jetzt der Anker A vom Pol P_1 angezogen werden, um dadurch das Triebgewicht auf die linke Seite der Pendelstange zu verlegen. Damit die Pole des Elektromagneten im gewünschten Sinne erregt werden, ist eine Stromschlussvorrichtung vorgesehen, die ebenfalls durch die Lageveränderung des Apparates in Tätigkeit tritt.

Zunächst befindet sich nahe des Drehpunktes am Anker A eine Gabel G aus Elfenbein. Die Gabelhörner tragen an der Innenfläche je ein Kontaktplättchen, die mit den leicht biegsamen Zuleitungsdrähten 1 und 2 verschraubt sind. Der Kontakthebel C ist am unteren Ende drehbar gelagert und trägt am oberen Ende ein kleines Gewicht. Hat nun der Apparat die Stellung der Fig. 142 eingenommen, so kippt der Kontakthebel C infolge des

Uebergewichts nach rechts um und berührt mit seinem rechtsseitigen Kontaktstift das Plättchen von Zuleitung 1. Der dadurch geschlossene Stromkreis beeinflusst den Elektromagneten derart, dass der Anker *A* von *P* abgestossen und von *P*₁ angezogen wird. Kontakthebel *C* folgt der Rechtsbewegung der Gabel *G* so lange, bis der rechte Begrenzungsstift die Bewegung von *C* hemmt. Anker *A* wird jedoch — infolge des permanenten Magnetismus — vollständig von *P*₁ angezogen, und dadurch entsteht zwischen *C* und Leitung 1 die Unterbrechung des Stromkreises. Bei der Rechtschwingung des Pendels fällt natürlich *C* nach links und tritt mit dem Kontaktplättchen der Zu-

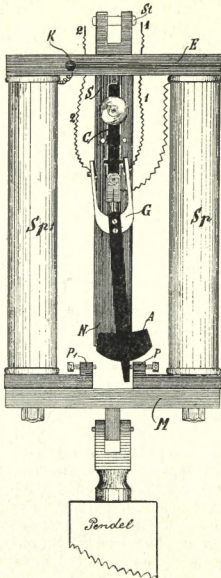


Fig. 142.

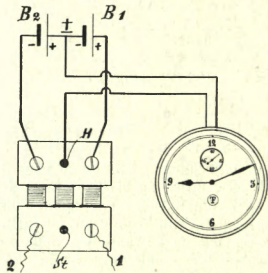


Fig. 143.

leitung 2 in Berührung, worauf ein Strom in entgegengesetzter Richtung die Anziehung des Ankers *A* durch *P* bewirkt. Durch diesen — bei jeder Spannung der Batterie — stets gleichbleibenden Antrieb wird die Schwingungsweite des Pendels in möglichst gleichen Grenzen gehalten.

Die Stromzuführung erfolgt durch die Pendelfeder. Wie aus Fig. 143 ersichtlich, sind zu diesem Zwecke drei voneinander isolierte Federklingen vorgesehen. Die mittlere Klinge ist die eigentlich tragende Feder. Durch den Stift *St* erfolgt die feste und metallische Verbindung mit dem Körper des Pendelantriebsapparates, während der Stift *H* in den Haken des Tragstuhles eingelegt wird und auch hier die metallische Verbindung mit letzterem bewirkt. Die Stromquelle besteht aus zwei hintereinander geschalteten Einzelelementen B_1 und B_2 (siehe Seite 135). Der Mittelleiter \pm steht durch den Tragstuhl mit der mittleren Pendelfeder in Verbindung; die beiden Aussenpole $+$ und $-$ sind an die Federklingen 1 und 2 angeschlossen.

In der Stellung der Fig. 142 würde nun ein Strom vom $+$ Pol der Batterie B_1 in die Zuleitung 1 zum Kontakthebel *C* gehen. Da der Anfang der Umwindungen von *Sp* mit *C* in Verbindung steht, so durchläuft der Strom die Spulen und tritt bei *K* in den Körper von *E*, um von da über *St* zum $-$ Pol der Batterie B_1 zurückzukehren. Die Batterie B_2 bleibt währenddessen ausgeschaltet. Schwingt das Pendel jedoch nach rechts, so dass *C* mit Zuleitung 2 in Berührung tritt, so fließt der Strom vom $+$ Pol der Batterie B_2 über den Mittelleiter \pm , *H*, *St*, *K* in die Spulen und über *C* in die Zuleitung 2 zum $-$ Pol von B_2 zurück.

Während dieser Stromabgabe bleibt B_1 in Ruhe.

Dieser Pendelantrieb kann nun in mehrfacher Weise Anwendung finden; wird z. B. ein Pendel vor oder hinter diesen Apparat an einer eigenen Pendelfeder so aufgehängt, dass die Biegungspunkte beider Federn zusammenfallen, so kann die Verbindung beider durch einen Führungsstift und eine Gabel nach Art der Gewichtsregulatoren erfolgen.

Anwendung
dieses
Pendel-
antriebes.

Die Abbildung zeigt den Apparat mit unmittelbar eingehängtem Pendel. Zu diesem Zwecke sind die beiden Elektromagnetkerne durch eine starke Messingschiene *M* miteinander verbunden. In der Mitte von *M* ist ein Klötzchen mit Stift angebracht, um den Pendelhaken einhängen zu können. Das Pendel muss in diesem Falle entsprechend abgekürzt werden.

Auch die Uebertragung der Schwingungen auf ein Zeigerwerk kann auf zweierlei Weise erreicht werden. Wird das Pendel mit einem Schalthebel in Verbindung gebracht, so wird das Schaltrad, nach Art der Hippschen Uhren, auf mechanischem Wege weitergerückt. Sollen die Schwingungen des Pendels

jedoch vollständig frei bleiben, so wendet man zweckmässig die elektrische Uebertragung an.

In einfacher Weise lässt sich dies ausführen, wenn der Mittelleiter unterbrochen und ein elektrisches Sekundennebenwerk eingeschaltet wird. Der Strom geht dann nicht sofort vom Pol zur Pendelfeder, sondern, wie Fig. 143 zeigt, zunächst durch die Spulen des Nebenwerkes und von da erst zur Pendelfeder und durch den Elektromagneten des Pendelantriebes; beide Spulenpaare sind also hintereinandergeschaltet.

Um die Kontaktflächen vor der Verbrennung durch den Induktionsfunken zu schützen, sind die beiden Begrenzungsstifte des Kontakthebels *C* vom Körper isoliert, unter sich jedoch metallisch verbunden und an einen induktionsfreien Widerstand angeschlossen. Das zweite Ende dieses Widerstandes steht mit der Schraube *K* in Verbindung. Legt sich *C* an einen der Stifte an, so ist ein geschlossener Stromkreis der Spulenwindungen hergestellt, so dass der Induktionsstrom in sich verlaufen kann, ohne an den Stromschlussstellen überzugehen. Diese Einrichtung ist in der Abbildung nicht dargestellt, um Verwechslungen in der Stromführung zu vermeiden.

Dass das Nebenwerk an einem beliebig weit entfernten Ort vom Pendel angebracht werden kann, bedarf keiner weiteren Erklärung. Auf einige Vorzüge möchte ich jedoch noch verweisen, die ähnliche Einrichtungen nicht in gleicher Weise besitzen.

Zunächst erfolgt der Antrieb nicht stossweise während eines Bruchteils des gesamten Schwingungsbogens, sondern die treibende Kraft wirkt konstant während der ganzen Schwingungsdauer. Der Kontakthebel *C* hemmt nicht die Bewegung des Ankers *A*, sondern begünstigt die präzise Umlegung des Gewichtes. Ein Umstand, der von keinem mir bekannten Pendelantrieb — mechanisch oder elektrisch — so wenig störend auf den gleichmassigen Antrieb einwirkt, ist darin zu finden, dass der Fall des Ankers stets gleich ist, wenn auch das Gehäuse und somit die Aufhängung seitlich verschoben wird.

Da das Pendel stets das Bestreben hat, sich lotrecht einzustellen, so kann es bei diesem Apparat keinen „schiefen Abfall“ geben. Wird der Kontakthebel *C* anstatt durch Zapfen durch eine kleine Pendelfeder ebenfalls beweglich gelagert, so arbeitet dieser Antrieb vollständig ohne Oel und ist keiner Abnutzung durch Reibung unterworfen.

Uhren mit elektrischem Selbstaufzug.

Diese Art der elektrischen Zeitmesser dürfte dazu berufen sein, nach und nach mit der durch Gewicht oder Federzug angetriebenen Uhr in Wettbewerb zu treten. Dass dieser Uebergang nicht sprungweise oder durch eine plötzliche Umwälzung vor sich geht, wie manche Prospekte ankündigen und den Fabrikanten mechanischer Uhren gruseln machen wollen, liegt in der Natur der Sache begründet. Die Unvollkommenheit vieler Systeme legte dem selbst für die Sache begeisterten Fachmann eine gewisse Reserve auf; denn am guten Willen hat es nicht gefehlt, und mancher Versuch prangt heute als Invalide im verborgenen Winkel des Ladens.

Dessenungeachtet haben sich auf Grund der gemachten Erfahrungen Konstruktionen herausgebildet, die zu den besten Hoffnungen berechtigen. Welches System das beste ist, lässt sich auf Grund kollegialer Rücksicht nicht bestimmen. Auch muss berücksichtigt werden, dass jeder Konstrukteur den Schwerpunkt seines Scharfsinns auf einen bestimmten Zweck konzentriert.

So würde sich z. B. die eine Bauart für einen bestimmten Zweck vorzüglich eignen, während ein ebenso technisch richtig gebautes Werk als vollkommen unbrauchbar bezeichnet werden muss. Elektrische Aufzüge, deren Antriebskraft durch einen einseitigen Gewichtshebel geliefert wird, werden sich weniger für Schiffs- oder sonstige transportable Uhren eignen, Aufzüge mit starkem Geräusch weniger für Schlaf- oder Krankenzimmer, und mit merklicher Erschütterung arbeitende Aufzüge sind für astronomische Uhren schlecht verwendbar; trotzdem die Zuverlässigkeit über alle Zweifel erhaben sein kann. Aus diesen Erwägungen ergibt sich, dass sich der Fachmann mit den nötigen Kenntnissen ausstatten muss, um selbst eine Auswahl treffen zu können. Die Grundbedingungen, unter denen alle einschlägigen Faktoren arbeiten müssen, sind in diesen Aufsätzen genügend gewürdigt worden, so dass es sich nur noch erübrigt, einige Typen in ihrer Gesamtanordnung zu erläutern. Betrachten wir zunächst die Uhr von David Perret, Neuchâtel. Der Elektromagnet A (Fig. 144) übt bei geschlossenem Stromkreis eine Anziehung auf den Anker b aus, wodurch der mit b fest verbundene Hebel C gehoben wird. Die gewundene Feder R hat das Bestreben, den Anker b wieder zu heben, so dass C und der daran bewegliche Hebel C_1 nach abwärts gedrückt werden. Am unteren Ende von C_1 ist ein runder Stift c_1 eingesetzt, der in die Verzahnung eines mit 60 Zähnen versehenen Sperrades eingreift. Die Feder D_1 trägt in der Mitte

Selbstaufzug
von Perret.

ein keilförmiges Isolierstück, welches bei der Abwärtsbewegung von C_1 durch die Abschrägung seitwärts gedrängt wird und dadurch die Feder D_1 mit der Kontaktschraube B_1 in Berührung bringt. Der um e drehbare Gegensperrkegel C_2 trägt den halbrunden Stift c_2 ; letzterer wird durch Vermittlung eines zweiten

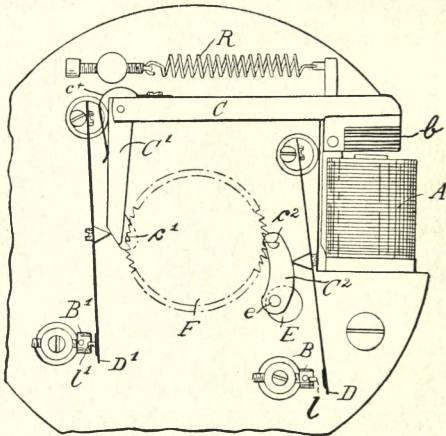


Fig. 144.

Isolierstückes durch die Spannung der Feder D gegen das Sperrrad gedrückt. Sobald c_2 in eine Zahnücke einfällt, ist der Stromkreis geschlossen und A zieht den Anker b mit kurzem Ruck an, wodurch C und C_1 wieder gehoben werden und die Abschrägung von C_1 das Isolierstück freigibt; hierauf hebt sich die Feder D_1 von B_1 ab und der Stromkreis ist unterbrochen. Diesen Augenblick vergegenwärtigt die Fig. 145. Die Abbildung veranschaulicht gleichzeitig ein neueres Modell des Perret'schen Systems. Die wesentliche Neuerung besteht darin, dass an Stelle des einfachen Elektromagneten ein sogen. Topfmagnet Verwendung findet, dessen

Aufbau in dem Kapitel über Elektromagnete gezeigt wurde. Der Anker a (Fig. 146) steht mit dem Hebel HC nicht in starrer Verbindung, sondern der Druck wird durch die Schraube V auf H

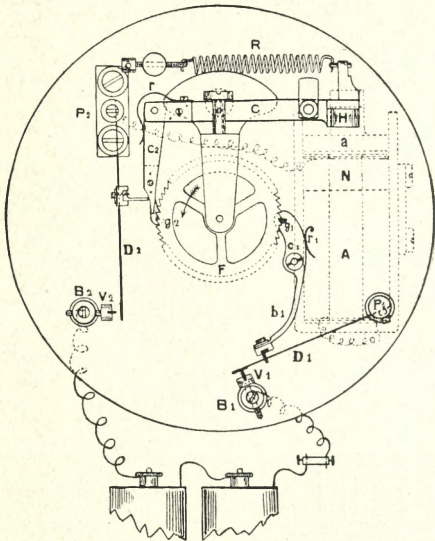


Fig. 145.

übertragen. Der Stromlauf ist aus der Fig. 145 ersichtlich. Hat sich das Schaltrad F in der Pfeilrichtung gedreht und C_2 sich so weit gesenkt, dass D_2 mit V_2 in Berührung steht, so ist durch den Stift g_1 die Feder D_1 gehoben; nach einigen Pendel-

schwingungen fällt jedoch g_1 in eine Zahnücke und D_1 tritt mit V_1 in Berührung.

Der vom Kohlepol der Batterie kommende Strom geht über B_2 , V_2 , Feder D_2 , durch die Drahtverbindung in die Spule des Elektromagneten, tritt am anderen Ende aus und geht über P_1 , Feder D_1 , zur Kontaktfläche V_1 , Säule B_1 , und durch die Ableitung zum Zinkpol zurück. Nach erfolgtem Anzug des Ankers nehmen die Kontaktfedern wieder die Stellung ein, wie sie Fig. 145 veranschaulicht. Da sich das Spiel jede Minute wiederholt, so eignen sich diese Selbstaufzuguhren zum Betriebe von Nebenuhren mit Gleichstrom. Der Anschluss kann entweder durch Parallelschaltung zum Topfmagneten, oder bei genügender Spannung der Batterie in Hintereinanderschaltung zur „Hauptuhr“ erfolgen.

Der Stromschluss und die Unterbrechung finden an getrennten Punkten statt; Feder D_1 schliesst und D_2 unterbricht. Der

Oeffnungsfunke kann also nur bei V_2 auftreten und nicht an der Schliessungsstelle. Ein- und Ausschaltung erfolgen plötzlich. Zur wirksamen Vergrößerung der Kontaktflächen sind die Federn mehrfach gespalten (D_1 , Fig. 146). Die einzelnen Streifen legen sich nicht gleichzeitig auf, und somit verlässt auch je ein Streifen zuletzt die Kontaktfläche, und hier tritt dann der Funke auf und hält für geraume Zeit die übrigen Streifen metallisch rein.

Die Feder D_1 darf nicht allzu stark gespannt werden, da sonst das Rad F einen zu grossen Widerstand zu überwinden hat und an Triebkraft für das Gehwerk verloren geht. Bei der Aufstellung dieser Uhren ist zu beachten,

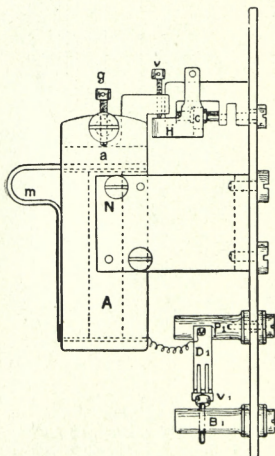


Fig. 146.

dass nach Einschaltung der Batterie der Anker heruntergedrückt wird, damit die Zugfeder *R* gespannt und die Kontaktfedern sich in der Anfangsstellung befinden.

In den Fig. 147 u. 148 ist der elektrische Aufzug der Firma Selbstaufzug von Möller.
Max Möller, Berlin,

veranschaulicht. Zwischen den Platten des Werkes ist ein Hufeisenelektromagnet mit drehbarem Anker angeordnet, dessen

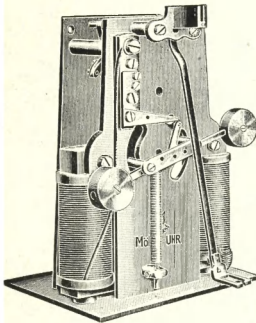


Fig. 147.

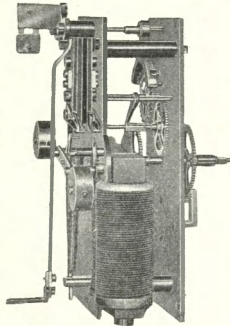


Fig. 148.

Achse durch die Minutenradwelle gebildet wird. Der Anker trägt einen Sperrkegel, der in das, auf gleicher Welle sitzende Sperrrad eingreift. An der hinteren Seite des Werkes ist ein zweiarmliger Hebel sichtbar, der durch zwei kleine Säulchen mit dem Anker starr verbunden ist und daher die drehende Bewegung des letzteren mitmacht. Eine ausserhalb des Drehpunktes befestigte, gewundene Stahlfeder ist bestrebt, den Hebel und somit auch den Anker links abwärts zu ziehen; wodurch das Sperrrad angetrieben und das Minutenrad die erforderliche Triebkraft erhält. Ist die Drehung so weit vorgeschritten, dass der Anker sich in mässiger Entfernung ausserhalb der Polschuhe befindet, so erfolgt ein Stromschluss. Der nun auftretende Magnetismus zieht den Anker in fast

wagerechter Stellung zu den Polschuhen zurück; gleichzeitig wird die gewundene Stahlfeder wieder gespannt und der Stromkreis unterbrochen. Die Ankerdrehung würde nun eine verhältnismässig geringe sein, wenn nicht die starke magnetische Anziehung, in der Anfangsstellung des Ankers, durch zwei Schwunggewichte günstig ausgenutzt würde. Der Anker erhält im Augenblick des Stromschlusses einen kräftigen Drehungsantrieb, der auf die Schwunggewichte übertragen und dadurch der Anker weit über seine Mittellage hinausgeschleudert wird.

Die Kontaktvorrichtung besteht zunächst aus einem Hebel *a* (Fig. 149), der den Edelmetallstift *b* trägt und mit seinem unteren Ende im Drehpunkt des Schwunggewichtshebels befestigt ist.

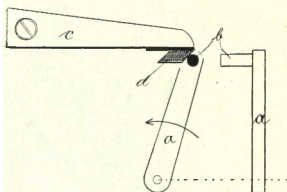


Fig. 149.

Oberhalb von *b* sehen wir einen zweiten Hebel *c*, der durch eine Schraube beweglich gelagert und durch eine Feder in wagerechter Stellung gehalten wird. Ein zweiseitig abgeschrägtes Isolierstück *d* ist durch eine Blattfeder mit *c* derartig verbunden, dass *c* und *d* zangenartig zusammenfedern. Die Wirkungsweise der Strom-

schlussvorrichtung ist nun leicht erkenntlich. Bewegt sich *a* (Fig. 149) in der Pfeilrichtung, so legt sich Stift *b* an die Schräge des Isolierstückes und hebt dadurch *d* und *c* so weit in die Höhe, dass *b* unter *d* hinweggleiten kann. Fig. 150 zeigt den Augenblick, wo *d* von *b* abgleitet und die Kontaktfläche an *c* auf den Stift *b* aufschlägt. Der von der Batterie kommende Strom nimmt seinen Weg über den Körper des Werkes zum Stift *b*, Hebel *c* und tritt durch eine Zuleitung (Fig. 147) in die Spulen des Elektromagneten ein. Das Ende der Windungen der rechten Spule steht mit dem anderen Pol der Batterie in Verbindung. Bei der nun erfolgenden Drehung des Ankers wird der Hebel *a* nach rechts geführt, wobei *b* (Fig. 151) sich zwischen *d* und der Kontaktfläche des Hebels *c* hindurchzwängt und eine kräftig reibende Berührung der beiden Stromschlussteile bewirkt. Sobald der Anker sich in nahezu wagerechter Stellung zu den Polschuhen befindet, muss der Stift *b* die Kontaktfläche von *c* verlassen haben, da sonst ein Rückzug des Ankers eintritt und

die Wirkung der Schwinggewichte aufgehoben würde. Ferner ist zu beachten, dass in dem Augenblick, in dem der Stromschluss hergestellt wird (Fig. 150), der Anker, an der durch

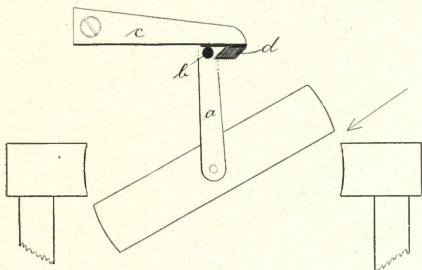


Fig. 150.

den Pfeil angedeuteten Stelle, etwa 2 mm vom Polschuh entfernt sein muss! Da ein sicherer Kontakt unter entsprechendem Druck beider Stromschlussteile arbeitet und dieser Kraftaufwand vom Anker zu leisten ist, so dürfen *c* und *d* nicht zu stark zusammenfedern; vielmehr soll der Anker, nach erfolgtem Stromschluss, in flotter Bewegung über seine wagerechte Lage hinausschwingen. Wie aus den Abbildungen ersichtlich ist, erfolgt Stromschluss und Unterbrechung plötzlich und an räumlich getrennten Punkten. Der Kontakt wird reibend, sobald sich der Anker in Bewegung setzt, und da der Kontaktstift *b*

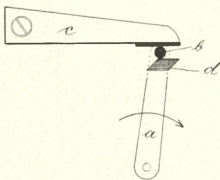


Fig. 151.

vor der Einschaltung des Stromkreises erst unter dem Isolierstück *d* entlang gleitet, so dürften Staubablagerungen selbsttätig beseitigt werden. Die Zeitdauer von einem Aufzug zum anderen richtet sich je nach der Spannung der Batterie. Sind die Elemente neu, so ist naturgemäss der Anzug kräftiger und die Schwing-

gewichte werden weiter geschleudert, so dass der Sperrkegel über mehr Zähne gleitet. Im Mittel dürfte der Aufzug alle 5 bis 6 Minuten erfolgen.

Selbstaufzug
von
Bohmeyer.

Der elektrische Selbstaufzug der Firma

C. Bohmeyer, Halle a. S.,

beruht auf Kombinationen uns schon bekannter Einrichtungen an Haupt- und Nebenuhren. Der wesentliche Unterschied dieses

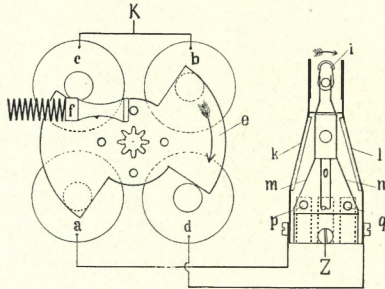


Fig 152.

Systemes besteht darin, dass der zum Nachspannen der Triebfeder dienende Anker stets in einer Richtung rotiert und nicht, wie bei den meisten Aufzügen, eine hin- und hergehende Bewegung ausführt. Aus diesem Grunde kommt auch das sonst unvermeidliche, fein gezahnte Sperrrad in Wegfall.

In der Fig. 152 ist schematisch der elektrische Teil dieser Aufzugvorrichtung dargestellt. Auf einer gedachten Grundplatte sind die beiden Elektromagnetpaare so angeordnet, dass die Spule *a* mit der Spule *b* hintereinander geschaltet ist; desgleichen *c* mit *d*. In der Mitte der vier Spulen ist der Anker *e* drehbar gelagert. Letzterer besteht aus einer starken Eisenplatte. Die den Polen zugekehrte Fläche ist an beiden Enden so abgeschrägt, dass bei der Drehung des Ankers sich die unteren Flächen den Polen des anziehenden Magneten nähern. Ein federnd gelagerter

Sperrkegel *f* verhindert den Rückgang des Ankers. Die Kontaktvorrichtung besteht aus den beiden, von der Werkplatte isoliert angebrachten Federn *l* und *k* und den sich in der Pfeilrichtung drehenden Exzenter *i*. Zwei, aus einem Stück gefertigte Federn *m* und *n* liegen federnd an der Welle des Exzenter *i* und vermitteln die sichere Stromzuführung.

Setzt sich *i* in der Pfeilrichtung in Drehung, so wird eine Berührung zwischen *i* und *l* herbeigeführt. Der bei *K* eintretende

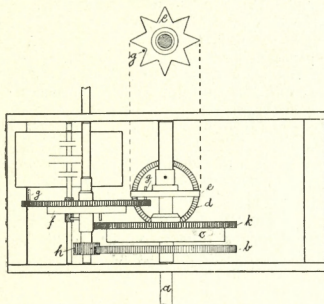


Fig. 153.

Strom kann seinen Weg jetzt durch die beiden Spulen *c* und *d* zur Feder *l* nehmen und durch das Exzenter *i* über *m n* zum Zinkpol der Batterie abfließen. Die Spulen *a* und *b* erhalten keinen Strom, da *k* ohne jede Berührung mit dem Zinkpol ist. *c* und *d* üben jetzt eine Anziehung auf den Anker *e* aus, wodurch dieser eine Drehung von 90 Grad ausführt und die Triebfeder nachspannt. Bei der zweiten halben Drehung von *i* wird die Feder *k* berührt, wodurch die Spulen *a* und *b* Strom erhalten und den Anker in die Stellung der Abbildung weiterführen.

Zur Betätigung der Kontaktvorrichtung ist ein eigenes Laufwerk — wie bei den Hauptuhren — erforderlich; ist die Uhr jedoch mit Schlagwerk versehen, so dient dieses gleichzeitig als Kontaktwerk. In diesem Falle erfolgen die Stromschlüsse jedoch

nur dann, wenn die Uhr schlägt. Bei Gehwerken tritt das Kontaktwerk alle $7\frac{1}{2}$ Minuten in Tätigkeit. Der rotierende Anker spannt die Triebfeder des Gehwerkes und dieses die Feder des Kontaktwerkes. Die Triebfeder für das Gehwerk liegt in dem Federhaus *c* (Fig. 153), das mit dem Kronenrad *d* in Eingriff steht. Dieses wird durch den Anker in Drehung versetzt. Auf der Minutenradswelle *a* sitzt ein achteiliger Stern *e*, in den das Rad *f* durch die Stifte *g* eingreift. *f* ist gleichfalls ein kleines Federhaus, dessen Feder ständig durch das Gehwerk nachgespannt wird. Jedesmal, wenn ein Stift *g* von dem Stern *e* freigegeben wird, erfolgt Kontaktschluss. Sollen bei der ersten Aufstellung die Federn gespannt werden, so ist dies durch Rechts- und Linksführung des Hebels *oo* zu erreichen; indem die Stifte *p* und *q* mit den Federn *k* und *l* in metallischer Verbindung stehen und dadurch der Stromkreis zwischen *mn*, *o* und *p* bzw. *q* geschlossen werden kann. Der Hebel *o* wird durch *mn* in seiner Mittellage erhalten.

Selbstaufzuguhren mit Schlagwerk.

Von der Voraussetzung ausgehend, dass die elektrischen Uhren eine grössere Verbreitung finden würden, wenn dieselben auch mit Schlagwerk versehen werden könnten, konstruierte ich das im Nachstehenden beschriebene

Rechenschlagwerk,

Schlagwerk
von Testorf, das in Verbindung mit einem Sekundennebenwerk gleichzeitig durch die Ströme wechselnder Richtung, die zur Fortschaltung des Zeigerwerkes dienen, betätigt werden kann. *E* und *E*₁ (Fig. 154) sind die Pole eines Elektromagneten, zwischen denen sich der durch den Stahlmagneten *M* polarisierte Anker *A* hin und her bewegen kann.

Die beiden Zuleitungsdrähte *Z* und *Z*₁ sind mit Anfang und Ende der Nebenuhrspulen verbunden; die Schlagwerkspulen liegen also bei geschlossenem Stromkreis im Nebenschluss zum Zeigerwerk. Die Welle des Ankers *A* trägt den Schlaghammer *H* und an der vorderen Seite den kurzen Hebel *X* mit dem Schalthebel *Sch.* *s* ist der Schaltstift, der in die Verzahnung des Rechens *R* eingreift. Am Schenkel des Rechens *R* ist durch Vermittlung des Isolierstückes *Fi* die Kontaktbahn *C* befestigt. *Ah* ist der Auslösungshebel, der an seinem oberen Arm den Kontaktstift *c*₁ trägt. *St* ist die Stundenstaffel, und durch *a* und *a*₁ sind die beiden Auslösungsstifte des Viertelrohres angedeutet.

K ist eine Klinke, die in bekannter Weise während des Schlagens in die Verzahnung des Rechens eingreift und den Rückfall verhütet.

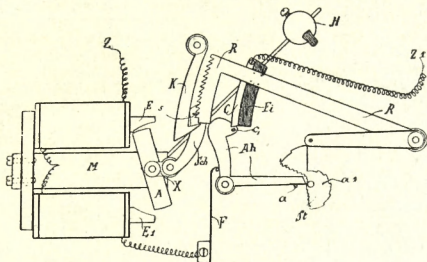


Fig. 154.

Die Wirkungsweise ist folgende: Durch Anheben des Hebel *Ah* durch einen der Stifte *a* wird der aufrechte Arm nach links geführt und kommt zunächst mit dem Schalthebel *Sch* in Berührung, wobei letzterer ebenfalls die Linksbewegung mitmacht. Der Schaltstift *s* tritt aus der Verzahnung des Rechens *R* und legt sich bei fortschreitender Auslösung an die innere Seite der Klinke *K*, die dadurch gleichfalls nach links ausweicht und die Verzahnung des Rechens freigibt. Der Kontaktstift *c*₁ hat die Linksbewegung gleichfalls mitgemacht und steht nun, ohne die Kontaktbahn berührt zu haben, so weit seitlich, dass der Rechen frei und ungehindert abfallen kann. Ist die Auslösung vollendet, so fällt der Hebel *Ah* vom Stift *a* ab, und der Kontaktstift *c*₁ legt sich durch die Einwirkung der Feder *F* auf die bogenförmige Fläche der Kontaktbahn *C* (vergl. Fig. 155). Erst jetzt ist der

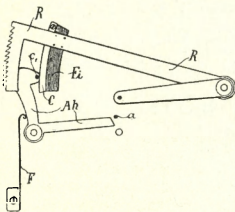


Fig. 155.

Stromkreis geschlossen, so dass die ankommenden Stromstösse den Elektromagneten erregen können. Bei jedem Anzug des Ankers erfolgt ein Schlag, und der Stift *s* schaltet einen Zahn weiter.

Das Spiel wiederholt sich so lange, bis der letzte Zahn erreicht ist und der Kontaktstift *c*₁ von der unteren Kante der Kontaktbahn *C* plötzlich abgelenkt, wodurch der Stromkreis unterbrochen wird. Durch Zwischenschaltung eines Relais können eine beliebige Anzahl Glocken zum Mitschlagen gebracht werden.

Die elektrischen Signaluhren

Die Signal-
glocke.

haben die Aufgabe, an bestimmten Zeitpunkten selbsttätig einen Stromkreis zu schliessen und zu unterbrechen, wodurch dann verschiedenartige Alarmapparate, wie Dampfpfeifen, Dampfsirenen oder elektrische Läutewerke in Tätigkeit treten. Da letztere wohl die weitestgehende Anwendung finden, so ist in Fig. 156 die Wirkungsweise eines sogen. Rasselweckers veranschaulicht. Vor den Polen des Elektromagneten schwingt der Anker *A*, der durch eine Blattfeder *P* an *M* befestigt ist. *T* ist eine — vom Körper des Elektromagneten isolierte — Säule, die die Kontaktschraube *J* trägt. Im stromlosen Zustand federt der Anker *A* gegen *T*, wobei die Feder *S* sich an die Schraube *J* stützt und somit die Begrenzung bildet. Tritt nun beispielsweise bei *V* ein Strom ein, so durchfliesst derselbe die Spulenwindungen, geht bei *M* über *P* und *S* zur Kontaktschraube *J* und durch die Ableitung bei *U* zur Batterie zurück. Wird der Anker hierauf angezogen, so trennen sich *J* und *S*, und der Stromkreis ist unterbrochen, wodurch *A* losgelassen wird und in seine Anfangsstellung zurück-schnellt; dieser Vorgang wiederholt sich so lange, wie der Elektromagnet mit der Batterie in Verbindung steht.

Schaltung.

Die Schaltung einer solchen Signalglocke zur Batterie und Taste ist aus Fig. 157 ersichtlich. Vom + Pol der Batterie führt eine Leitung zur Taste *T* und von da zur linken Klemme der Glocke *G*. Die rechte Klemme hingegen steht mit dem — Pol der Batterie in Verbindung. Wird durch einen Druck auf die Taste der Stromkreis geschlossen, so ertönt ein Signal von beliebiger Zeitdauer. Sollen diese Signale sich täglich an bestimmten Stunden wiederholen, so kann der erforderliche Stromschluss anstatt von Hand zweckmässig durch eine entsprechend eingerichtete Uhr bewirkt werden. Auch auf diesem Gebiet sind die mannig-fachsten Ideen zur Ausführung gelangt. So versah man gewöhn-

liche Weckeruhren mit einer Kontaktvorrichtung dadurch, dass die zur eingestellten Stunde vorschnellende Feder mit einer isoliert angebrachten Kontaktschraube in Berührung trat und das Läutewerk in Tätigkeit setzte. Die Unterbrechung erfolgte jedoch erst, wenn die Feder zurückgedrängt wird; demzufolge muss ein Ausschalter angebracht werden. In vielen Fällen ist es erforder-

lich, dass innerhalb 12 Stunden drei, vier und mehr Signale gegeben werden sollen. Dieses hat man dadurch zu erreichen gesucht, dass auf

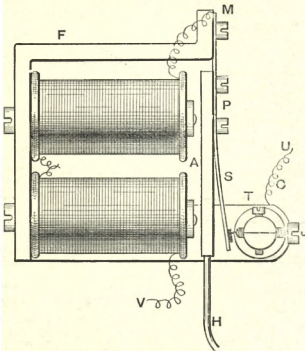


Fig. 156.

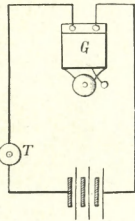


Fig. 157.

dem Zifferblatt entsprechend isoliert angebrachte Kontakte vom Stundenzeiger gestreift wurden.

Abgesehen davon, dass diese Einrichtung nicht gestattet, einen sicheren Kontakt herbeizuführen, erfolgen auch die Signale nicht genau zur gewünschten Stunde.

Seit einer Reihe von Jahren ist man daher dazu übergegangen, eine eigene Signalscheibe zu verwenden, die vom Zeigerwerk in Bewegung gesetzt wird.

Die verschiedenen Konstruktionen unterscheiden sich jedoch vorwiegend in der eigenartigen Anordnung der Kontaktvorrichtung. Es kommt nämlich darauf an, dass das jeweilige Signal genau zur festgesetzten Zeit ertönt, der Kontakt plötzlich geschlossen und unterbrochen wird und die Zeitdauer des Signals nach Be-

dürfnis eingestellt werden kann. Für kleine Räume genügt ein kurzes Läuten, während in geräuschvollen Werkstätten das Signal länger anhalten muss, um nicht überhört zu werden.

Signaluhr
von Hahn.

In der Fig. 158 sehen wir die Anordnung der Firma
Alfr. Hahn, Leipzig,

Mit dem Viertelrohr eines Federzugwerkes ist ein vierteiliger Stern *a* fest verbunden. Der Hebel *b* bewegt sich auf einem (in

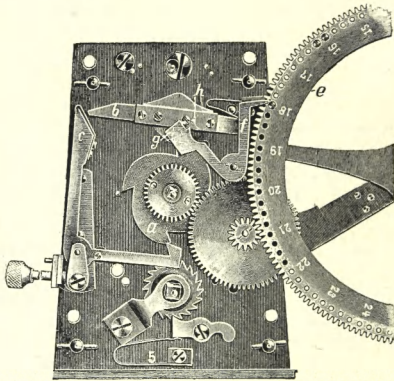


Fig. 158.

der Figur nicht sichtbaren) vom Körper des Uhrwerkes isolierten Anrichtstift. Der Hebel selbst besteht nicht aus einem Stück, sondern die in den Stern *a* einfallende Nase *g* ist mittels vier Schrauben durch einen Fiberstreifen vom Hebel *b* isoliert. Der Winkelhebel *c* ist derart drehbar gelagert, dass der wagerechte Arm mit seiner Nase von unten ebenfalls in den Stern *a* einfallen kann. In der Stellung der Figur ist Hebel *b* am Abfallen und trifft mit seinem vorderen Ende den Hebel *c*. Da *b* in allen Teilen vom übrigen Werk isoliert ist, so kann ein Strom vom Körper des Uhrwerkes über *c* nach *b* gelangen und vom Drehpunkt des letzteren in die Leitung fließen. Nach erfolgter

Weiterdrehung von *a* fällt aber auch der wagerechte Arm von *c* in die Verzahnung von *a*, und die Kontaktfläche von *c* schnell nach links und unterbricht die Berührung mit *b*.

Dieses Spiel würde sich nun alle 15 Minuten wiederholen, wenn nicht der doppelarmige Hebel *f* den Hebel *b* am Stift *h* auffangen würde. Die Ausschaltung von *f* erfolgt durch das Signalrad *e*, dessen Verzahnung und Uebersetzung in diesem Falle so gewählt ist, dass sich letzteres in 24 Stunden einmal herumdreht, dementsprechend ist auch die Stundeneinteilung von 1 bis 24 aufgetragen.

Nahe der Verzahnung befindet sich ein Kreis von 96 Gewindelöchern, so dass auf jede Stunde vier Löcher entfallen. Werden an den gewünschten Signalzeiten Schraubenstifte eingesetzt, wie beispielsweise bei der 18. Stunde, so hebt dieser Stift den Hebel *f* an, und *b* kann frei abfallen. Sollen Signale in kürzeren Zwischenräumen eingestellt werden können, z. B. alle 5 Minuten, so muss die Signalscheibe vergrössert werden oder man wählt die Uebersetzung so, dass sich die Scheibe in 24 Stunden zweimal dreht, so dass nur 12 Stunden aufgetragen sind. Zweckmässig versieht man dann die Signalvorrichtung mit einer Einrichtung, wodurch der Hebel *b* nachts am Einfallen verhindert wird; im anderen Falle muss die Nachtausschaltung von Hand bewirkt werden. Durch Drehung der linksseitigen Kopfschraube wird der Drehpunkt des Hebels *c* verschoben, so dass letzterer früher oder später zum Abfallen kommt, wodurch die Signaldauer nach Belieben eingestellt werden kann.

Die Signaleinrichtung der

Firma C Bohmeyer,

ist in der Fig. 159 dargestellt.

Auf der gezahnten Scheibe *S* schleifen die beiden Hebel *H* und *R*. *R* ist vom Körper des Werkes durch ein Isolierstück *K* metallisch getrennt. Sobald *R* in eine Lücke von *S* einfällt, wird der Kontakt zwischen *K* und *H* hergestellt. Die Signalscheibe *M* steht ihrerseits mit dem Hebel *H* in metallischer Verbindung. Ein isolierter Hebel *Z* ist so angeordnet, dass er die in der Signalscheibe eingesetzten Stifte streifen kann, wodurch ebenfalls Kontakt hergestellt wird. Der bei *K* eintretende Strom nimmt daher seinen Weg über *K*, Hebel *H* zur Signalscheibe *M* und durch den jeweils eingesetzten Stift zum Hebel *Z* und von da in die Leitung. Das Signal dauert so lange, bis auch Hebel *H* von *S* abfällt und dadurch mit *K* ausser Berührung kommt. Um die

Signa-
uhr
von
Bohmeyer.

Signaldauer zu verändern, ist der Drehpunkt von *H* auf den Exzenterhebel *U* gelagert, wodurch *H* in der Längsrichtung verschoben werden kann und dadurch früher oder später zum Abfallen kommt.

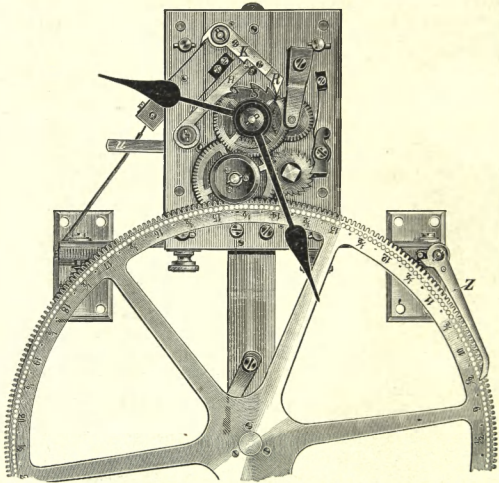


Fig. 159.

Signaluhr
von Ungerer
für
Turmuhren.

Eine vorwiegend für Turm- oder sonstige Grossuhren bestimmte Signalvorrichtung wird von der Firma

J. & A. Ungerer, Strassburg,

hergestellt. Die zwölfteilige Stufenscheibe der Fig. 160 dreht sich in der Stunde einmal und setzt mittels Eingriffes die Signalscheibe in Bewegung. Zwei voneinander isolierte Hebel fallen infolge ungleicher Länge nacheinander von derselben Stufe ab. Der rechtsseitige Hebel fällt zuerst ab und kommt daher mit

seinem unteren Arm mit dem zweiten Hebel in Berührung, wodurch der Kontakt hergestellt wird. Der Stromkreis ist jedoch erst dann vollständig geschlossen, wenn sich die links sichtbare Blattfeder an die isolierte Schiene gelegt hat. Diese Blattfeder steht mit einem um einen Anrichtstift drehbaren Hebel in Verbindung, der andererseits durch die jeweils eingesetzten Schrauben in der Signalscheibe seitwärts gedrängt wird. Sobald der zweite

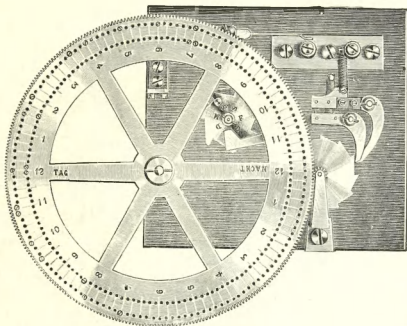


Fig. 160.

Hebel abfällt, ist der Kontakt wieder unterbrochen. Zwischen den Schenkeln des Signalrades ist noch ein siebenteiliger Stern sichtbar, der mit den Anfangsbuchstaben der Wochentage versehen ist. Bei jeder Umdrehung der Signalscheibe wird der Stern um einen Zahn gedreht.

Neben dem Buchstaben *S* (Sonntag) ist ein Stift sichtbar, der die Aufgabe hat, die untere Verlängerung des rechtsseitigen Kontakthebels aufzufangen und dadurch den Apparat am Sonntag ausser Tätigkeit zu setzen.

Fig. 161 zeigt die Verbindung dieses Apparates mit der Zeigerleitung einer Grossuhr.

Signaluhr
von Möller.

Die in Fig. 162 veranschaulichte Signaluhr wird von der Firma

Max Möller, Berlin,

hergestellt. Das Signalrad bewegt sich in umgekehrter Richtung des Zeigerwerkes. Durch die an den gewünschten Signalzeiten

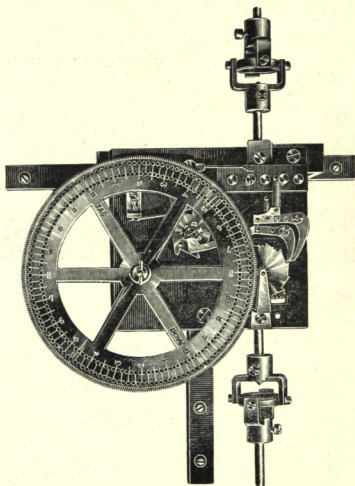


Fig. 161.

eingesetzten Stifte wird ein um Zapfen drehbarer Hebel seitwärts bewegt. Dieser Hebel trägt nach oben eine Verlängerung mit einem Isolierstück, worauf der eigentliche Kontaktkegel um eine Schraube drehbar befestigt ist. Auf der Werkplatte sitzt auf einem Anrichtstift ein zweiter Hebel, dessen nach unten ragender Arm durch vier Stifte des Viertelrohres gehoben werden kann. Die Figur veranschaulicht den Augenblick, wo der Stromkreis nach erfolgtem Signal unterbrochen ist.

Bei der Weiterbewegung der Signalscheibe gleitet die Schräge des Hebels von dem Signalstift ab, und der Hebel macht eine Rechtsdrehung, wodurch der obere Kontaktkegel nach rechts springt und die Bahn für den auf der Platine sitzenden Hebel freigibt. Letzterer wird sodann von den Stiften des Viertelrohres wieder gehoben und fällt so lange frei ab, wie kein Stift der

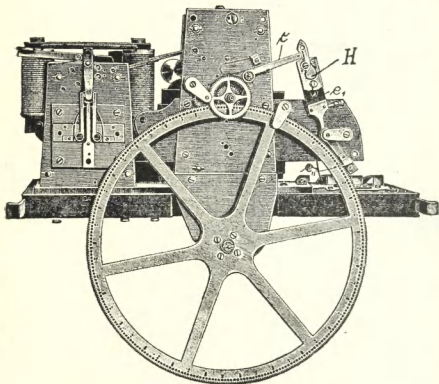


Fig. 162.

Kontaktscheibe beide Stromschlussteile zusammenführt. Steht jedoch der Kontaktkegel im Bereich des Hebels auf der Platine, so fällt dieser zunächst auf die Schräge des Kegels und gleitet nach der zweiten Bewegung ab. Die zweimalige Bewegung des Kontakthebels wird dadurch hervorgerufen, dass sich am unteren Arm eine Einkerbung befindet, so dass die zweite Stufe erst abfallen kann, wenn sich das Viertelrohr etwas weiter bewegt hat. Der Stromlauf vollzieht sich folgendermassen: Vom Körper des Werkes geht der Strom über den Kontakthebel zum Kegel des zweiten Hebels. Von der Befestigungsplatte des Kontaktkegels

führt eine biegsame Leitung zu einer Klemme der Grundplatte, worauf das Werk befestigt ist, und von da in die Leitung.

Schaltung.

Die Anlage einer Signalluhr mit einer Glocke ist die denkbar einfachste. Betrachtet man das Leitungsschema der Fig. 157, so führen beide Leitungsdrähte anstatt zur Taste zu

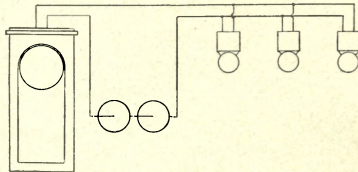


Fig. 163.

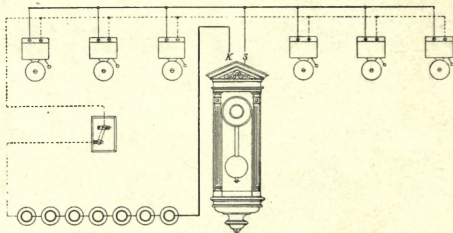


Fig. 164.

den beiden Klemmen der Signalluhr. Batterie, Uhr und Glocke sind also hintereinander geschaltet.

Sollen von einer Signalluhr mehrere Glocken gleichzeitig betätigt werden, so sind die Glocken unter sich nebeneinander zu schalten, wie Fig. 163 zeigt. Eine grössere Anlage mit nach zwei Seiten verzweigter Leitung ist in Fig. 164 dargestellt. Ferner ist aus dieser Figur die Anbringung eines Ausschalters ersichtlich, sofern die Uhr nicht selbsttätig ausschaltet.

Die Wahl
der

Lautwerke. in bezug auf Wahl der Läutwerke. Kommen jedoch mehrere

Glocken zur Verwendung, so darf nicht ausser acht gelassen werden, dass bei Parallelschaltung mit der Zahl der Läutewerke auch der Stromverbrauch wächst. Kommen z. B. zehn Glocken zur Anwendung, und beträgt der Widerstand der Drahtspulen pro Läutewerk 10 Ohm, so wird der Widerstand der zehn Werke in Parallelschaltung 1 Ohm betragen. Die dadurch sich ergebende Stromstärke würde auf die Dauer von den wenigsten Elementen geleistet werden können, und die Anlage würde bald versagen. Man wählt daher den Widerstand um so höher, je mehr Glocken im Nebenschluss liegen. Bei etwa zehn bis zwölf Läutewerken dürften 50 bis 60 Ohm genügen. Auch ist es verfehlt, bei einer Anlage alle möglichen Erzeugnisse zu verwenden.

Ferner ist zu berücksichtigen, dass allen Läutewerken der erforderliche Strom zugeführt wird. Liegen z. B. einzelne Glocken an einer langen Leitung, so werden die der Stromquelle zunächst liegenden stärker ansprechen, als die weiter entfernten. Wie hier ein Ausgleich zu schaffen ist, die Wahl des Leitungsmaterials bestimmt wird, um den Strom ohne unnötige Verluste zu verteilen, ist in den früheren Kapiteln zur Genüge erläutert, und wird der aufmerksame Leser in der Lage sein, den rechten Weg selbst zu finden.

Verlag von **Wilhelm Knapp** in **Halle a. S.**

Wir glauben, dass gerade Band II:

**Die Elektrizität als Antriebskraft
für Zeitmessinstrumente**

bei den Kollegen besonderen Anklang finden wird.

Weiter haben wir folgende Bändchen in Aussicht genommen:

Die Feinstellung der Uhren. Von Regleur Hugo Müller, Glashütte i. Sa.

Erlebtes und Erstrebtes. (Fachliche Plaudereien.) Von Carl Jarck.

Der Zylinder- und Ankergang. Von Bruno Hillmann.

Der unlautere Wettbewerb.

Die Bekämpfung des Hausierhandels, der Versteigerungen und der Warenlager.

Die Reklame des Uhrmachers.

Laden- und Schaufenstereinrichtungen.

Kaufmännisches Handbuch für Uhrmacher.

Wir bitten um eine freundliche Aufnahme unseres Unternehmens.

Redaktion des Allgemeinen Journals der Uhrmacherkunst.

Fragen und Antworten
sowie Arbeitsunterweisungen

für die

Uhrmacher-Gehilfenprüfung.

Von

Ludwig Isensee.

Preis Mk. 1,80.

*Ein Werk, das bei der jetzigen Bedeutung der Prüfungen in der Hand
keines Lehrlings, Gehilfen oder Prüfungsmeisters fehlen darf!*

Verlag von **Wilhelm Knapp** in **Halle a. S.**

Allgemeines Journal der Uhrmacherkunst.

Organ des
Zentralverbandes der Deutschen Uhrmacher.

36. Jahrgang. 1911.

Erscheint regelmässig am 1. und 15. jeden Monats
und kostet vierteljährlich, durch die Post oder den Buchhandel
bezogen, Mk. 1,50, unter Kreuzband Mk. 1,75; für das Ausland
Mk. 8,— jährlich. — **Für Mitglieder** des Zentralverbandes
nur **Mk. 4,—** jährlich.

Anzeigen für den Arbeitsmarkt werden **gratis** aufgenommen.

== *Probenummern auf Wunsch gern kostenlos.* ==

Das

Fachzeichnen des Uhrmachers.

Ein Leitfaden

für den

**Zeichenunterricht an Fortbildungsschulen
sowie zum Selbstunterricht.**

Nach eigenen Erfahrungen zusammengestellt

von

C. Josef Linnartz,

Uhrmachermeister, Lehrer im Fachzeichnen für Uhrmacher an den allgemeinen
gewerblichen Fortbildungsschulen der Stadt Köln.

Mit 28 Vorlagetafeln.

Preis geheftet Mk. 3,—, in Ganzleinen gebunden Mk. 3,40.