



Einführung in die Elektrizitätslehre

Vorträge

Dynamische Elektrizität

Kolbe, Bruno

Berlin, 1895-

V. Vortrag: Wärmewirkung des galvanischen Stromes; Glühlampen; Elektrolyse des Wassers; Knallgas- und Wasserstoff-Voltameter; Das Kupfer-Voltameter; Das Volt, das Ohm und Ampère als Einheiten der ...

[urn:nbn:de:hbz:466:1-80924](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-80924)

V. Vortrag.

Wärmewirkung des galvanischen Stromes; Glühlampen; Elektrolyse des Wassers; Knallgas- und Wasserstoff-Voltameter; Das Kupfer-Voltameter; Das Volt, das Ohm und das Ampère als Einheiten der elektromotorischen Kraft, des Widerstandes und der Stromstärke; Elektrochemische Äquivalente; Eichung des Elektrometers nach Volt; Vergleichung der Eichungsskala des Galvanometers mit der Gradskala; Die Tangens-Busssole; Reduktionsfaktor der Busssole. — Galvanoplastik und Galvanotypie; Der Telegraph (Lesage, Sömmering, Schilling, Gaufs und Weber, Steinheil, Morse); Polarisationsströme; Sekundäre Elemente; Akkumulatoren; Thermo-elektrische Ströme.

Wir haben das vorige Mal die ablenkende Wirkung des galvanischen Stromes auf die Magnetnadel als vorläufiges Maß der Stromstärke angenommen und fanden, nachdem wir durch Graduierung unser Galvanoskop zu einem Galvanometer erhoben hatten, folgendes:

Rückblick.

1. Fließt ein galvanischer Strom durch eine Leitung, so wird die galvanometrische Wirkung um so schwächer, je länger (bei sonst gleicher Beschaffenheit) der Leiter oder je enger sein Querschnitt ist. Die Ursache der Schwächung der Stromenergie (im Leiter) nennen wir seinen *Widerstand*. Bei gleichförmigen Leitern steht der Widerstand im geraden Verhältnis zur Länge und im umgekehrten Verhältnis zur Fläche des Querschnitts. — Der Widerstand (w) und das Leitungsvermögen (l) eines Leiters stehen im reziproken Verhältnis zu einander ($w = 1/l$). Als praktische Einheit des Widerstandes (1 Ohm) gilt der eines gleichförmigen Quecksilberfadens von 1 □mm Querschnitt und 106,3 cm Länge bei 0° C.
2. Die *Stromstärke* (J) ist von den anderen Größen abhängig. Sie steht im geraden Verhältnis zur elektromotorischen Kraft (E) der Elemente und im umgekehrten Verhältnis zum Gesamtwiderstande (W)

d. h. dem inneren Widerstande (w_i) innerhalb der Elemente selbst + dem äusseren Widerstande (w_a) in der Leitung. Also ist die Stromstärke

$$J = E/W = E/(w_i + w_a).$$

Aus diesem Ohm'schen Gesetz folgt, daß die Stromstärke vergrößert wird: bei verschwindend kleinem äusseren Widerstande durch die Schaltung parallel, dagegen bei sehr grossem äusseren Widerstande durch die Schaltung hintereinander. — Die günstigste Gruppierung der Elemente zu einer Batterie ist die, wo der innere Widerstand dem äusseren (dem der Leitung) gleich ist.

3. Wird der Stromleiter zwischen zwei Punkten der Bahn verzweigt, so verhalten sich die Stromstärken der einzelnen Leiterzweige umgekehrt wie die betreffenden Widerstände der Zweige ($i_1 : i_2 \dots = 1/w_1 : 1/w_2 \dots$). Durch dieses Kirchhoff'sche Gesetz sind wir in den Stand gesetzt, die stärksten Ströme zu messen, indem wir die Widerstände zweier Leiterzweige so wählen, daß durch das Leiterstück, in welchem wir die Stromstärke messen, ein genau bestimmter Bruchteil des Gesamtstromes fließt.

* * *

Wir haben letzthin wohl erkannt, von welchen Umständen die Stromstärke (d. i. vorläufig nur die galvanometrische Wirkung) abhängt, aber einen Anhaltspunkt für die Definition derjenigen Stromstärke, welche wir als Einheit annehmen könnten, boten unsere Versuche am Galvanometer nicht. (Beim Graduieren des Galvanometers war von uns willkürlich ein konstanter Strom = 1 gesetzt worden.) Der Ausdruck „Elektritätsmenge per Sekunde“, die durch den Querschnitt des Leiters fließt, ist der Analogie mit dem Wasserstrom entlehnt, also nur als bildliche Redeweise aufzufassen. — Wir besitzen kein Sinnesorgan zur Wahrnehmung der Elektrizität und können daher ihre „Menge“ nicht direkt messen. — Es läßt sich aber erwarten, daß der elektrische Strom, der die Magnetnadel aus ihrer Ruhelage schleudert

und dem Eisen beim Elektromagnet gewaltige Anziehungskräfte verleiht, auch Wirkungen anderer Art hervorzubringen vermag. Vielleicht finden wir unter diesen, was wir brauchen: einen praktischen Maßstab für die Stromstärke!

I. Hier stehen drei große Bunsen'sche Chromsäure-Elemente (vergl. B, Fig. 14, S. 31). Ich schalte sie hintereinander zu einer Batterie. An dem einen freien Pol befestige ich einen feinen Metallfaden (Lametta, welche zum Christbaumschmuck verwandt wird) — wollen Sie vielleicht das andere Ende des Lamettafadens an dem freien Pol des dritten Elements festklemmen? — Sie lassen den Metallfaden bastig fallen, weil er — zu heiß geworden sei! Sie haben Recht, er ist stark erwärmt worden.

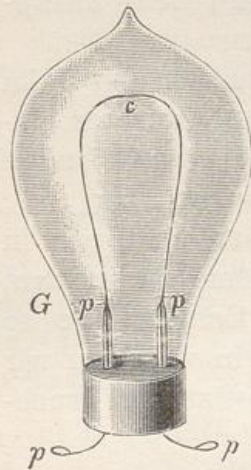


Fig. 52.
Elektrische Glühlampe.
Natürl. Gröfse.

Nun schraube ich statt des Lamettafadens einen Neusilberdraht ein, an welchen ich vorhin eine Menge Wachskügelchen in kurzen Abständen von einander angedrückt habe. Sehen Sie — da beginnen schon einige Kugeln längs dem etwas schräg stehenden Draht herabzurutschen und fallen bald ab, da das Wachs geschmolzen ist. Wir sehen also, daß auch stärkere Drähte durch den Strom erwärmt werden, wenn auch schwächer, als der feine Metallfaden, der dem Strom einen weit größeren Widerstand entgegensetzt. Diese Wärmewirkung

des elektrischen Stromes wird in der Technik u. a. zur Entzündung von Minen beim Sprengen von Felsen u. s. w. benutzt.

Hier lege ich ein elektrisches Lämpchen vor (Fig. 52), das aus einem fast luftleer gemachten Glasgefäß (G) von birnförmiger Gestalt besteht, worin zwei durch einen haarfeinen Kohlenbügel (c) verbundene Platindrähte eingeschmolzen sind. Lasse ich den Strom der drei Elemente durch den Kohlenbügel gehen, indem ich die herausragenden Platin-Ösen der Lampe mit den Poldrähten verbinde, so erstrahlt der Kohlenfaden in hellem, goldgelbem Licht. Sie haben diese elektrischen Glühlampen gewiß schon oft an den Schaufenstern oder auch in Privatwohnungen gesehen, doch ist die gebräuchliche Stromquelle eine andere. Wir werden sie erst später kennen lernen (Anh. 8).

Durch den elektrischen Strom wird der Leiter erwärmt und zwar um so stärker, je schlechter er leitet oder je größer sein Widerstand ist. Sie erraten nun wohl, wo beim „Dämpfen des Stromes“ durch eingeschaltete Widerstände die scheinbar verloren gegangene Energie geblieben ist. *Die elektrische Energie hat sich in Wärmeenergie verwandelt!* Wir könnten nun versuchen, die durch einen Strom erzeugte Wärmemenge zu bestimmen und als Maß der Stromstärke zu benutzen, doch ergaben die sehr umständlichen und schwierigen Versuche (von Lenz und Joule), daß die im Stromleiter erzeugte Wärmemenge zwar im geraden Verhältnis zum Widerstande des Leiters steht, aber nicht der Stromstärke selbst, sondern dem Quadrat der Stromstärke proportional ist (Joule'sches Gesetz), mithin für unseren Zweck sich nicht recht eignet.

II. Jetzt wollen wir eine chemisch-dynamische Wirkung des galvanischen Stromes studieren, die sogenannte Wasserzersetzung oder Elektrolyse des Wassers.

Hier sehen Sie (A, Fig. 53) eine am oberen Ende geschlossene Glasröhre (G), welche nach Fünftel-Kubikcentimetern kalibriert ist. Unten ist ein Gummipfropf hineingeschoben, durch den drei Glasröhrchen wasserdicht geführt sind. Das mittlere Röhrchen (r) ist beiderseits offen, in die beiden anderen sind Platindrähte eingeschmolzen, welche in Platinbleche (p), die „Elektroden“, endigen. Außen sind die Platindrähte mit kleinen Klemmschrauben versehen, zur Aufnahme der Poldrähte der Batterie.

Ich nehme die Röhre aus der Federklemme (f), kehre sie um, ziehe den Pfropf heraus und fülle die Röhre mit stark verdünnter Schwefelsäure. Nach Einsetzen des Pfropfes setze ich die Röhre wieder an ihren Platz und stelle ein Glasgefäß darunter. — Verbinde ich nun die Poldrähte der 3 Bunsen'schen Chromsäure-Elemente, die, wie vorhin, hintereinander geschaltet sind, mit den Klemmschrauben, so bemerken Sie sofort eine lebhafte Gasentwicklung, während aus dem mittleren Röhrchen das verdrängte Wasser herauströpfelt. In wenigen Minuten sind mehrere Kubikcentimeter des Gases erzeugt. Die hierbei innerhalb der Flüssigkeit sich abspielenden Vorgänge sind recht komplizierter Natur; das Endresultat ist dasselbe, als ob die zugefügte Schwefelsäure unverändert geblieben und nur das Wasser in seine Elementarbestandteile

zerlegt worden wäre. Das nahm man auch anfangs an und nannte den Vorgang fälschlich eine „Wasserzersetzung“. Die Gasblasen, welche Sie in der Röhre (A, Fig. 53) aufsteigen sehen, bestehen aus einem Gemisch von Sauerstoff- und Wasserstoffgas, welches sich beim Entzünden (z. B. durch den Entladungsfunken einer Leydener Flasche) unter einer mit einem starken Knall verbundenen Explosion wieder zu Wasser (Dampf) verbindet und daher Knallgas genannt wird. Der Apparat heißt Knallgas-Voltameter (s. w. u.).

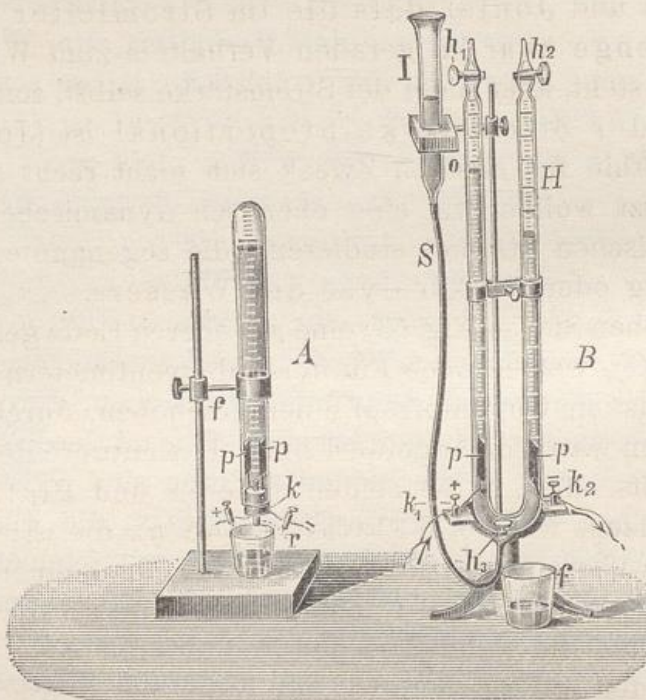


Fig. 53.

Elektrolyse des Wassers. $\frac{1}{10}$ natürl. Gröfse. A Knallgas-Voltameter, vereinfacht;
B Wasserstoff-Voltameter nach Hofmann, modificiert.

Um beide Gase getrennt zu erhalten, benutze ich einen anderen Apparat (B, Fig. 53). Ein hohes U-förmiges Glasrohr ist an beiden Schenkeln nach Zehntel-Kubikeentimetern kalibriert und mit drei Hähnen (h_1, h_2, h_3) versehen. Zum Füllen dient ein cylindrisches, oben trichterförmig erweitertes, unten in eine dünne Röhre verlaufendes Glasrohr (I), welches mit seinem Halter oder in dem Korken, durch den es geführt ist, verstellbar ist. Durch einen Gummischlauch (S) ist der Trichter mit dem Abflußrohr verbunden. Die Platin-

Elektroden (p) sind nahe der Biegung seitlich eingeschmolzen und durch Platindrähte mit den isolierten Klemmschrauben (k_1 und k_2) verbunden. Jetzt fülle ich den Trichter mit verdünnter Schwefelsäure und öffne die drei Hähne, bis beide Schenkel gefüllt sind und schliesse darauf die oberen (h_1, h_2). — Bald nach dem Durchleiten des Stromes sehen Sie in beiden Röhren Gas aufsteigen, doch an der positiven Elektrode (der Anode) weniger als an der negativen (der Kathode).

Jetzt, wo die Flüssigkeit in beiden Schenkeln mit den betreffenden Gasen gesättigt ist, giefse ich in den Trichter Flüssigkeit nach, öffne behutsam die oberen Hähne, bis die Röhren wieder gefüllt sind, und schliesse den Strom der Batterie. Nach einigen Minuten, wenn an der negativen Elektrode (der Kathode) gerade 20 Kubikcentimeter Gas entwickelt sind, unterbreche ich den Strom. An der Anode haben sich nur 10 Kubikcentimeter, d. h. halb soviel Gas gebildet! Die grössere Gasmenge erweist sich bei der Untersuchung als Wasserstoff, die kleinere als Sauerstoff. Das Wasser besteht, also — dem Volumen nach — aus 2 Teilen Wasserstoff und 1 Teil Sauerstoff.

Die Menge Knallgas, welche beim ersten Versuch, oder die Menge Wasserstoff, welche beim zweiten in einer bestimmten Zeit, z. B. in 1 Minute entwickelt wird, kann als Maß der Stromstärke dienen und wird auch vielfach dazu benutzt (Jacobi's Stromeinheit liefert 1 ccm Knallgas per Minute). Doch ist dieses Verfahren für genauere Bestimmungen weniger geeignet als das w. u. beschriebene. Um vergleichbare Resultate zu erhalten, müssen die Gase völlig trocken sein und bei einer Temperatur von 0°C . bei 760 mm Barometerdruck gemessen, oder durch Rechnung auf diese Temperatur und diesen Druck reduciert werden.

Diese, wie die folgenden Apparate müßten chemische Strommesser heißen. Der gebräuchliche Name „Voltmeter“ ist sehr unglücklich gewählt, da Volta mit ihrer Erfindung nichts zu thun hat. Auch liegt eine Verwechselung nahe mit den Voltmetern, d. h. Apparaten zur Bestimmung des „Volt“, oder der praktischen Einheit der elektromotorischen Kraft.

III. Ich ersetze nun den Wasserzersetzungssapparat durch Kupfer-Volta-
meter.

ein Gefäß (A, Fig. 54) mit konzentrierter Lösung von Kupfervitriol, in welche zwei blanke Scheiben aus Kupferblech tauchen. In den Stromkreis schalte ich noch den Stromwender (C) und das Galvanometer (D) ein, wie Fig. 53 zeigt.

Dieser Apparat (A) wird Kupfer-Voltameter genannt.

Die beschriebene Versuchsanordnung gestattet uns, den Strom im Galvanometer umzukehren, während er im Kupfer-Voltameter (B) seine Richtung unverändert beibehält. Durch das Zusammenrücken der Kupferplatten im Voltameter kann ich den Widerstand desselben verkleinern, also die Stromstärke erhöhen, bis das Galvanometer seinen empfindlichsten Ausschlag (45° , d. h. etwa 8 Aichungseinheiten) zeigt. Nach einigen

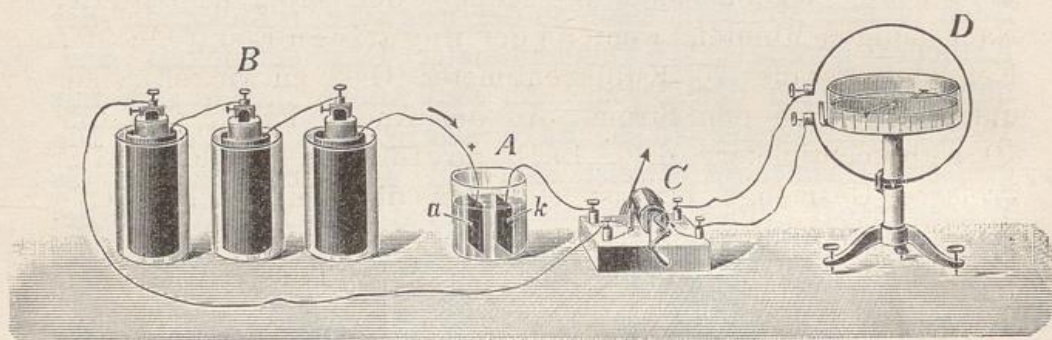


Fig. 54.

Kupfer-Voltameter (A) und Galvanometer (D) durch den Stromwender (C) so mit der Batterie (B) verbunden, daß der Strom nur im Galvanometer die Richtung wechselt.
 $\frac{1}{10}$ natürl. GröÙe.

Minuten hebe ich beide Platten heraus, spüle sie ab und trockne sie durch Betupfen mit Filtrierpapier und Erwärmen über einer Spiritusflamme. Nun gebe ich Ihnen die Platten herum, bitte aber, beide, besonders die durch matten Kupferglanz ausgezeichnete negative Elektrode (die Kathode), nur am angelöteten, mit Siegellack überzogenen Leitungsdrahte zu fassen! Sie bemerken wohl, wie die Kathode mit einer frischen Kupferhaut bedeckt ist, während die Anode aussieht, als wäre sie von Säure zerfressen. — An der Platte, wo der (positive) Strom eintrat, hat sich Kupfer aufgelöst und an der anderen Platte niedergeschlagen, während die Kupferlösung scheinbar unverändert geblieben ist. [Metall geht mit dem Strom.]

Jetzt wollen wir die Gewichtszunahme der Kathode (der negativen Platte) bestimmen. Auf jenem Seitentisch steht eine empfindliche Wage schon bereit. Ich lege die Platte auf die

eine Wagschale und auf die andere Schrot oder Sand, bis das Gleichgewicht erzielt ist. Nun stelle ich jede Platte an ihren Platz und reguliere ihren Abstand nochmals, bis der Ausschlag am Galvanometer 7,5 Aichungseinheiten ($44,6^\circ$) beträgt. Nach dem Wechseln der Stromrichtung haben wir 7,6; also im Mittel 7,55. Nun wollen wir 5 Minuten lang den Strom durchgehen lassen und jede Minute das Galvanometer beobachten.

	I. Strom- richtung	II. Strom- richtung	Mittel
zu Anfang . . .	7,5	7,6	7,55
nach 1 Min. . . .	7,4	7,58	7,49
- 2 -	7,45	7,5	7,48
- 3 -	7,4	7,5	7,45
- 4 -	7,4	7,5	7,45
- 5 -	7,35	7,45	7,40
Der Strom wird unterbrochen.			Mittel 7,47

Die wieder abgespülte und in gleicher Weise getrocknete Kathodenplatte wiegt jetzt um 0,565 g oder 565 mg mehr als vorher. Soviel Kupfer hat sich in 5 Min. abgesetzt also ist die in 1 Minute abgeschiedene Menge des Kupfers $= 0,113 \text{ g} = 113 \text{ mg}$, oder per Sekunde $113/60 = 1,88 \text{ mg}$.

Noch viel merklicher wäre die Gewichtszunahme der negativen Elektrode gewesen, wenn wir zwei Silberplatten in einer verdünnten Lösung von salpetersaurem Silber (Höllenstein) angewandt hätten. Für genaue Strommessungen wird daher das Poggendorf'sche Silbervoltameter verwandt.

Wie wir neulich sahen, hängt die Stromstärke von der elektromotorischen Kraft und dem Gesamtwiderstande ab ($J = E/W$). Wir können nun für zwei dieser Größen willkürliche Einheiten wählen, dann ist die dritte Gröfse dadurch schon bestimmt. Wählen wir z. B. für die elektromotorische Kraft als Einheit 1 Daniell'sches Element und als Widerstandseinheit den eines Quecksilberfadens von 1 qmm Querschnitt und 106,3 cm Länge (1 Ohm), so könnten wir bei einem bekannten Gesamtwiderstande und einer (z. B. am Elektrometer) bestimmten elektromotorischen Kraft der benutzten Batterie für jeden einzelnen Fall die Stromstärke (natürlich nach der angenommenen willkürlichen Einheit) berechnen. Da jedoch die Widerstandsmessungen umständlich sind und besondere Hilfsapparate er-

fordern, so ist es oft wünschenswert, einen Weg einzuschlagen, welcher direkt die Stromstärke einer Batterie bei der gerade eingeschalteten Leitung zu messen gestattet. Die von uns als „galvanometrische Wirkung“ bezeichnete Ablenkung der Magnetnadel des Galvanometers wäre sehr bequem, giebt uns aber vorläufig nur ein willkürliches Maß, sodaß die an verschiedenen Instrumenten angestellten Messungen unter sich nicht vergleichbar sind. Wir müssen uns daher nach vergleichbaren Mäßen umsehen!

Das Volt als
praktische
Einheit der
elektromoto-
rischen Kraft.

Wir wissen schon, daß die praktische Einheit der elektromotorischen Kraft (oder der Potentialdifferenz an den freien Polen der Batterie) das „Volt“ genannt wird, doch fehlte uns in der statischen Elektrizität jede Möglichkeit, eine Elektrizitätsquelle von konstantem, stets wieder herstellbarem elektrischem Niveau zu beschaffen. Eine solche bieten aber in vortrefflicher Weise die konstanten Elemente, besonders — für unseren Zweck — das von Daniell. Wir könnten einfach die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elements zur praktischen Einheit nehmen, und es sind lediglich Gründe theoretischer Natur, welche eine etwas kleinere elektromotorische Kraft als praktische Einheit, d. h. als Volt, geeigneter erscheinen lassen.

$$1 \text{ Volt} = 1/1,07 = 0,934 \text{ Normal-Daniell.}$$

Nun ergab unser Aluminium-Elektrometer beim Aichen mit dem Normalkondensator für 1 Daniell den Ausschlag $\alpha_1' = 15^\circ$; hieraus berechnet sich der Ausschlag für 1 Volt $\alpha_1 = 15^\circ/1,07 = 14,02^\circ$ oder rund 14° . Dieser Ausschlag wurde nun bei der Aichung (I. Bd. S. 67) zugrundegelegt, also ist unsere Projektions-Aichungsskala am Elektrometer zugleich eine Voltskala (d. h. bei Anwendung des Normalkondensators). Die von uns früher (S. 37) für verschiedene galvanische Elemente beobachteten Ausschläge am Elektrometer entsprechen demnach (annähernd) der elektromotorischen Kraft der Elemente nach Volt.

Einheit
der
Stromstärke.

Als *Einheit der Stromstärke* können wir uns die Stromstärke denken, welche durch ein konstantes Element von der elektromotorischen Kraft = 1 Volt bei einem Gesamtwiderstand = 1 Ohm hervorgebracht wird. Sie heißt, dem französischen Gelehrten Ampère zu Ehren, *1 Ampère*.

Durch Versuche, die ich Ihnen hier nicht beschreiben kann, hat man gefunden, daß ein Strom von der Stärke = 1 Ampère während jeder Minute 67,08 Milligramm Silber oder 19,68 mg Kupfer ausscheidet oder 10,44 ccm Knallgas bildet. Also

In 1 Sekunde liefert ein Strom von 1 Ampère:

Silber	Kupfer	Knallgas; d. h. Wasser zersetzt:	Elektrochem. Äquivalente.
1,118 mg	0,328 mg	0,174 ccm	0,0933 mg.

Diese Zahlen heißen die elektrochemischen Äquivalente des Silbers, Kupfers und Wassers, und mit ihrer Hülfe lassen sich die Stromstärken der benutzten Elemente berechnen, wie wir bald sehen werden.

So haben wir denn endlich für die uns wichtigen Größen die betreffenden (praktischen) Einheiten oder Maße gefunden. — Bezeichnen wir noch die Elektrizitätsmenge, welche bei 1 Ampère per Sekunde durch den Querschnitt der Leitung fließt, mit 1 *Coulomb*, so ist die Stromstärke = der Anzahl Coulomb per Sekunde!

Die Einheit der elektromotorischen Kraft = 1 *Volt* (etwa 0,9 Daniell)

- - des Widerstandes	= 1 <i>Ohm</i>
- - der Stromstärke	= 1 <i>Ampère</i> .

Nun ist (I. Bd., S. 128) 1 Coulomb = 3000 Millionen elektrostatischer Einheiten der Elektrizitätsmenge. Um sich eine Vorstellung von dieser gewaltigen Elektrizitätsmenge zu machen, denken Sie sich zwei Coulomb gleichnamiger Elektrizität in 1 Kilometer Abstand. Diese würden dann auf einander eine Abstößungskraft ausüben, die ausreicht, um 900 kg zu heben!

Unsere Batterie hatte beim letzten Versuch in 5 Minuten, d. h. 300 Sekunden 565 Milligramm Kupfer, also per Sekunde 1,88 Milligramm niedergeschlagen. Die Stromstärke betrug (durchschnittlich) also $1,88/0,328 = 5,7$ Ampère, d. h. es flossen in jeder Sekunde 5,7 Coulomb durch den Querschnitt des Leiters.

Jetzt werden Sie einsehen, welch' eine reiche Elektrizitätsquelle das unscheinbare galvanische Element ist, und Sie werden sich nicht mehr über die riesige Tragkraft der Elektromagnete wundern.

Ich erinnere Sie nochmals daran, daß — selbst bei Anwendung konstanter Elemente — die Stromstärke keinen

konstanten Wert hat, noch haben kann (wie die elektromotorische Kraft), da mit jeder Änderung in der Leitung auch eine Änderung des Leitungswiderstandes und mithin auch der Stromstärke verbunden ist.

* * *

Konstante
der
Aichungs-
Skala.

Wenden wir jetzt unsere Aufmerksamkeit wieder dem Galvanometer zu. — Während ein Strom von 5,7 Ampère durch die Leitung floß, zeigte unser Galvanometer im Durchschnitt 7,47 Aichungseinheiten; also ist eine Aichungseinheit $= 5,7/7,47 = 0,763$ Ampère. Diese Zahl könnten wir als Konstante der Aichungsskala verwenden, um die Angaben des Instruments auf Ampère zu reducirern.

Unser Galvanometer hat eine solche Konstruktion, daß die Bussole samt dem Kupferringe in horizontaler Richtung gedreht werden kann, wobei wir mit Hilfe des festen Visiers (vgl. Fig. 37, S. 64) leicht den Drehungswinkel ablesen können; außerdem kann der Ring selbst geneigt werden, um die Ausschläge zu vermindern, ohne den Leitungswiderstand zu ändern. Hierdurch wurde das Graduieren sehr erleichtert. Da nun nicht alle Galvanometer diese Einrichtung haben, so wird es Ihnen gewiß von Interesse sein, zu erfahren: in welcher Beziehung die Ablenkungswinkel (in Graden abgelesen) zur Stromstärke stehen.

Ich entwerfe (Fig. 55) auf der Wandtafel einen Viertelkreis mit Graden von 0 bis 90 und trage an der Peripherie die bei der Graduierung (S. 68) gefundenen Skalenwerte auf. Dann ziehe ich eine Linie (AB) senkrecht zu dem Halbmesser (r), der durch den Nullpunkt geht, und ziehe von dem Mittelpunkt (M) Strahlen durch die Skalenpunkte bis zur Linie AB. Die Punkte, wo diese geschnitten wird, bezeichne ich mit den der Aichungsskala entsprechenden Ziffern 1, 2, 3 . . . u. s. w.

Sie erkennen leicht, daß auf der Linie AB (fast genau) gleiche Stücke abgeschnitten werden, d. h.: Die Abschnitte auf der Linie AB (gezählt von dem Anfangspunkte A) sind proportional den Aichungsgraden, also proportional der Stromstärke. Einem nach Graden beobachteten Ausschlag des Galvanometers $= \alpha^0$ entspricht auf AB eine Strecke $= t$. Nun ist aber der Zahlenwert des

Bruches t/r die sogenannte trigonometrische Tangente des Winkels α ($t/r = \tan \alpha$).

Bewirkt nun ein Strom von der Stärke J eine Ablenkung $= \alpha^0$, so ist die zugehörige Strecke auf $AB = t$ und ist der Stromstärke proportional; desgleichen auch der Bruch t/r (da der Halbmesser r einen unveränderlichen Wert hat). Also ist die (trigonometrische) Tangente des Winkels α^0 ($\tan \alpha = t/r$) ein Maß für die Stromstärke.

$$\text{Stromstärke } J = k \cdot \tan \alpha^0,$$

wo k ein konstanter Faktor ist, der u. a. von den Dimensionen des Apparates abhängt und der Reduktionsfaktor¹⁷⁾ der Bussole genannt wird. Diese selbst können wir daher Tangentenbussole (oder Tangensbussole) nennen. (Pouillet 1837.)

Reduktions-
faktor der
Tangenten-
bussole.

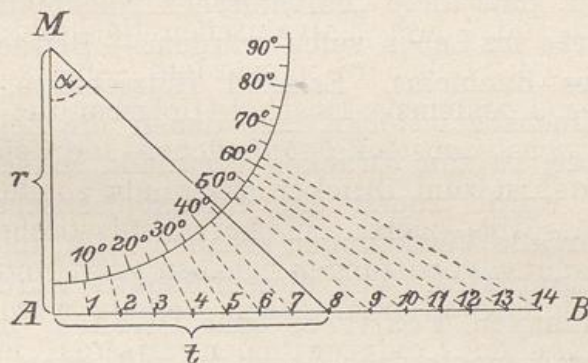


Fig. 55.

Beziehung zwischen der Gradskala und der Aichungsskala bei der Tangens-Busssole.

Genauere Messungen zeigen nun, daß für Galvanometer dieser Art thatsächlich die (trigonometrischen) Tangenten der Ausschlagswinkel den betreffenden Stromstärken proportional sind, aber nur dann, wenn die Magnetnadel sehr klein ist im Vergleich zum Durchmesser des Leitungsringes. Das ist nun bei unserem Apparat in einer für unsere Zwecke genügenden Weise der Fall, indem die Länge der Magnetnadel kaum den 10. Teil des Ringdurchmessers beträgt — daher die gute Übereinstimmung in der Länge der einzelnen Abschnitte auf AB , Fig. 53 (vergl. Anh. 9).

* * *

¹⁷⁾ Für $\alpha = 45^0$ wird $\tan \alpha = 1$, also $J = k$, d. h. der Zahlenwert des Faktors k giebt die Stromstärke an, welche an dem betreffenden Galvanometer die Ablenkung von 45^0 hervorruft.

IV. Da liegt unsere Kupferplatte noch auf der Wage! Ich Galvanoplastik. nehme sie und biege sie hin und her; bald hören Sie ein leises Knistern und — siehe da! eine feine Kupferhaut löst sich ab, d. h. die eben niedergeschlagene Kupferschicht läßt sich stellenweise abziehen und zeigt mit photographischer Treue einen Abdruck der massiven Kupferplatte; nur sind alle Erhabenheiten auf der Kupferhaut vertieft und alle Vertiefungen erhaben.

Diese Beobachtung, welche zuerst von de la Rive (1836) bekannt gemacht wurde, brachte fast gleichzeitig Jacobi in Rußland und Spencer in England auf den Gedanken: auf galvanischem Wege metallische Abdrücke von verschiedenen Gegenständen, wie Medaillen u. a., herzustellen, was auch gelang. Jacobi nannte dieses Verfahren Galvanoplastik (1838), ahnend, daß diese „galvanischen Nachbildungen“ eine neue Industrie ins Leben rufen würden! — Betrachten Sie die Figuren dieses Büchleins. Es sind Holzschnitte, aber kein einziger der Buchsbaumstöcke, auf denen die Zeichnung geschnitten wurde, ist zum Drucken verwandt, sondern von den Holzschnitten wurde zuerst ein galvanoplastischer Abdruck hergestellt, der alle Vertiefungen erhaben zeigt und daher das Negativ genannt wird. Von diesem Negativ wurden die zum Drucken bestimmten Positive, oder Clichés, in mehreren Exemplaren galvanoplastisch erzeugt, und zwar aus Kupfer (oder, nach einem besonderen Verfahren, aus Zink). — Da nun eine Metallplatte ungleich mehr Abdrücke zu machen gestattet als ein Stück Holz und von dem Negativ jederzeit beliebig viele Positive von genau gleicher Güte hergestellt werden können, so wird Ihnen der Vorteil dieser Erfindung einleuchten. — Die Kupferplatten, vermittelt welcher früher die geographischen Karten gedruckt wurden, erforderten sehr viel Kosten und Zeit und lieferten doch nur eine geringe Anzahl guter Abdrücke. Jede neue Platte verursachte dieselben Kosten, wobei die genau gleiche Wiedergabe unmöglich war. Jetzt wird eine einzige Platte, wenn auch mit doppelten Kosten und doppeltem Zeitaufwand, in dem definitiven Charakter der Karte, möglichst scharf und genau, entworfen und dann ein Negativ hergestellt, von welchem die zum Druck Galvanotypie. bestimmten positiven Abzüge (Clichés oder Galvanotypen) in beliebiger Zahl und in völlig gleicher Güte gemacht wer-

den. Daher bekommen wir jetzt auch Schulatlasse von vorzüglicher Güte bei unglaublich niedrigem Preise. — Auch läßt man — um ein drittes Beispiel anzuführen — solche Bücher, deren Inhalt keine Änderung erleidet, wie z. B. die Logarithmentafeln, einmal setzen, revidiert den Satz auf das Sorgfältigste und stellt dann galvanotypische Abdrücke des Satzes her. So ist für weitere Auflagen ein fehlerfreier Druck gesichert (Stereotypen-Druck) und die teuren Lettern können sofort auseinandergenommen und wieder verwandt werden, wodurch auch Zeit erspart wird. — Bekannt ist Ihnen, daß man jetzt die verschiedensten Gebrauchsgegenstände galvanisch versilbert, vergoldet oder vernickelt, teils um ihnen ein gefälligeres Aussehen zu geben, teils um sie vor dem Verrosten zu schützen.

* * *

V. Da wir gerade bei der technischen Anwendung der elektrischen Ströme sind, so möge hier eine der interessantesten und wichtigsten Erfindungen des 19. Jahrhunderts gleich mit erwähnt werden: der Fernschreiber oder Telegraph.

Das Bedürfnis, wichtige Nachrichten möglichst schnell von einem Orte zum anderen gelangen zu lassen, hatte zur Konstruktion der optischen Telegraphen geführt, die bis zum Jahre 1837 im Gebrauche blieben und noch jetzt im Kriegsdienst oder bei wissenschaftlichen Expeditionen Verwendung finden. Die Langsamkeit der Zeichengebung, sowie die Unsicherheit des Betriebes, der z. B. durch dichten Nebel ganz unterbrochen wird, ließen es wünschenswert erscheinen, die elektrischen Wirkungen zum Telegraphieren zu verwenden; und so sehen wir denn auch, nach jeder auffallenderen Entdeckung auf dem Gebiete der Elektrizität, die praktischen Versuche eine neue Richtung einschlagen.

Der Genfer Lesage stellte (1774?) ein Telegraphenmodell Geschichtliches. zusammen, das aus 24 Drähten bestand, die (an beiden Enden) mit je einem Buchstaben bezeichnet und mit Hollundermark-Pendelchen versehen waren. Das Telegraphieren geschah, indem die betreffenden Drähte mit dem Konduktor einer Reibungs-Elektrismaschine in Verbindung gebracht wurden, wodurch die Pendelchen an den Enden divergierten.

Dieser Versuch erscheint mehr als eine interessante Spielerei und fand keine praktische Verwendung. Ebenso wenig glücklich waren Andere, die den Entladungsfunken der Leydener Flasche zur Zeichengebung benutzen wollten. Der hohe Elektrisierungsgrad dieser Elektrizitätsquellen erfordert eine so vorzügliche Isolierung der Leitungsdrähte, wie sie für Versuche im großen gar nicht erreichbar ist, daher sind auch alle diese Experimente mit der statischen Elektrizität bald der Vergessenheit anheimgefallen.

Sömmering's
elektro-chem.
Telegraph.

Da anfangs (bis 1820) nur die chemischen Wirkungen des galvanischen Stromes (die Wasserzersetzung) bekannt waren, so kann es uns nicht wundernehmen, daß der erste elektrische Telegraph auf diesem Princip begründet war. Sömmering in München stellte (1809) den ersten wirksamen elektrischen Telegraphen her, indem er beide Stationen durch 35 Leitungsdrähte verband, deren Enden (Platin-Elektroden) in einen mit angesäuertem Wasser gefüllten Glaskasten (von unten) geführt waren. Sobald nun — vermittelt einer Klaviatur, die mit Buchstaben und Ziffern versehen war — durch je 2 dieser Drähte ein elektrischer Strom geleitet wurde, stiegen in den entsprechenden Drahtenden kleine Blasen von Knallgas auf und markierten so die betreffenden Zeichen. — Aus dem Gesagten wird Ihnen einleuchten, daß dieser elektro-chemische Telegraph an Schnelligkeit der Zeichengebung hinter dem optischen Telegraphen zurückstehen mußte, und in der That hat er keine praktische Verwendung gefunden.

Kaum hatte Oersted (1820) seine im Jahre vorher gemachte Entdeckung der Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom bekannt gemacht, so schlug Ampère vor, die Platin-Elektroden am Sömmering'schen Apparat durch Magnetnadeln zu ersetzen, stellte aber selbst keine praktischen Versuche an. Die vielen Leitungsdrähte hätten auch bei einer Ausführung im großen die Kosten sehr bedeuend gemacht.

Erster elektro-
magnetischer
(Nadel-)
Telegraph.

Den ersten brauchbaren elektro-magnetischen Telegraphen konstruierte (1832 oder zu Anfang des Jahres 1833) Baron Paul Schilling von Cannstadt in St. Petersburg, ein Estländer von Geburt, der mit Sömmering befreundet war, und durch dessen Apparat angeregt wurde (Anh. 10). Fast gleichzeitig, und

völlig unabhängig davon, stellten (1833) Gauß und Weber in Göttingen einen elektro-magnetischen Telegraphen zwischen der Sternwarte und dem physikalischen Kabinett, also den ersten Telegraphen im großen, her. Sie benutzten übrigens nicht den galvanischen Strom, sondern den magnet-elektrischen Induktionsstrom (s. d. nächsten Vortrag).

Fig. 56 giebt eine Gesamtansicht des ersten Schilling'schen Telegraphen, der noch jetzt in dem Museum des Haupt-

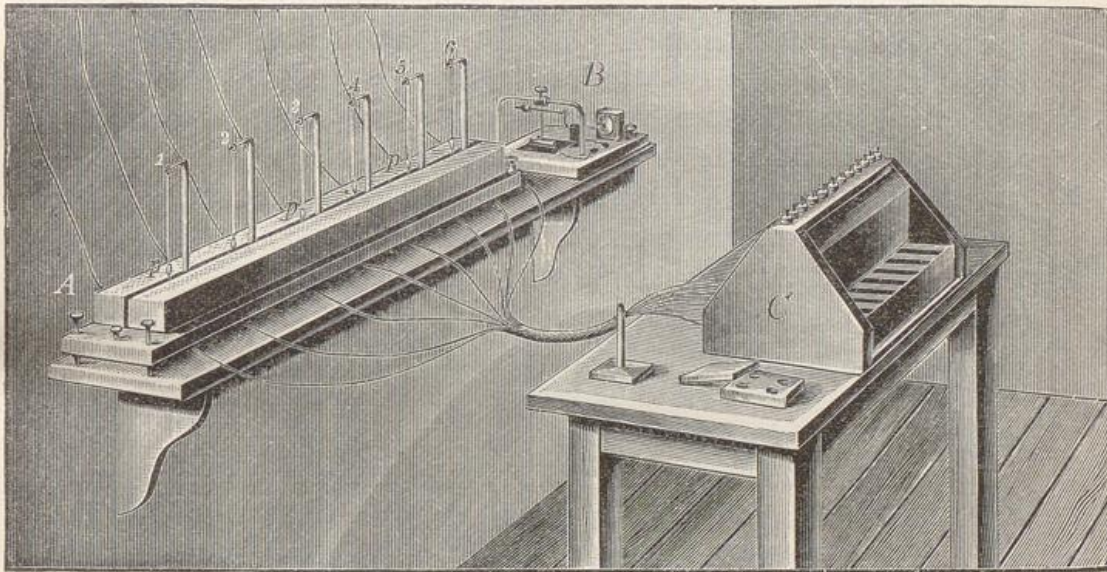


Fig. 56.

Erster elektro-magnetischer Nadel-Telegraph; konstruiert von Schilling 1832/33. B² der Anruf-Apparat. [Aus O. Chwolson, Popul. Vorlesungen über Elektr. (russ.) S. 200.]

Telegraphenamts zu St. Petersburg aufbewahrt wird. Sechs an Seidenfäden hängende Magnetnadeln waren mit Multiplikatorwindungen versehen. Diese und ein Anruf-Apparat (B) wurden durch 8 Drähte, von denen einer für die Rückleitung bestimmt war, verbunden. Eine Klaviatur (C) diente zum Schließen des betreffenden Stromkreises. Markiert wurde die Bewegung der Nadeln durch kleine Kartonscheiben (p). Diese waren an den Haken befestigt, an welchen die Nadeln hingen. Im Ruhezustande kehrten diese Kartonscheiben dem Zuschauer die scharfe Kante zu, bei der Ablenkung dagegen die eine (weiße) oder die andere (schwarze) Seite. — In der Folge (1835 oder 1836) konstruierte Schilling einen Telegraphen mit nur einer Nadel. Aus der Ablenkung nach Ost oder

West sollten Zeichen für die Buchstaben vereinbart werden, doch war es dem Erfinder nicht vergönnt, diese Idee praktisch zu verwerten, da er bald darauf starb (1837).

Wichtig für die praktische Ausführung der Telegraphen war die Entdeckung v. Steinheil's in München (1838), daß man bei Telegraphenleitungen den zweiten Draht ersparen könne, wenn man die Erde selbst als Rückleitung¹⁸⁾ benutzt, indem man an die Enden der Drähte starke Kupferplatten lötet und diese in feuchtes Erdreich (oder in Wasser) versenkt.

Wheatstone suchte (1840) bei seinem Zeigertelegraphen die Unbequemlichkeit besonderer, vereinbarter Zeichen zu vermeiden. Der durch einen Elektromagnet bewegte Zeiger markierte durch seine Stellung die am Rande der Scheibe befindlichen Buchstaben und Ziffern. Dieser Apparat wirkte langsam und unsicher.

Morse's
Schreib-
telegraph.

Die elektro-magnetischen Telegraphen fanden bald Eingang, wurden aber, mit Ausnahme der unterseeischen Telegraphen (s. w. u.), in kurzer Zeit durch den elektro-magnetischen Schreibtelegraphen verdrängt, den der Amerikaner Morse (1835) erfand und dem Robinson im wesentlichen die noch jetzt gebräuchliche Form gab.

Von dem Morse'schen Telegraphen zeige ich Ihnen hier (Fig. 57) ein Modell, bei welchem alle Nebenteile fortgelassen sind. Wird durch den Elektromagnet (M) durch Herabdrücken des Kontaktschlüssels (S) ein Strom geleitet, so zieht er den

¹⁸⁾ Dies ist nicht in dem Sinne zu verstehen, als ob der Strom tatsächlich in der Erde von der einen Station zur anderen fließt, sondern die Erde wirkt hier wie ein (für die von uns erzeugten Elektrizitätsmengen) unendlich großes Reservoir, wohin aller Überschufs abfließen, oder von wo jeder Mangel ersetzt werden kann, ohne daß sein elektrisches Niveau merklich geändert wird. Um sich das klar zu machen, denken Sie sich am Meeresufer eine Pumpstation, die das Meerwasser in eine Röhrenleitung befördert, von der es an einer anderen Stelle sich wieder ins Meer ergießt. Hierbei ist es nun durchaus nicht erforderlich, daß dieselben Wasserteilchen, welche ins Meer flossen, nach der Pumpstation zurückkehren, also im Meere einen Strom hervorrufen. Besonders einleuchtend wird Ihnen das erscheinen, wenn Sie in Gedanken die Pumpstation auf die Landenge von Panama versetzen, wo sie aus dem Großen Ocean das Wasser in eine Röhrenleitung befördert, durch welche das Wasser bis in den Atlantischen Ocean geleitet wird. Hier kann von einer „Rückströmung“ des Wassers keine Rede sein.

Eisenanker(a), der an einem Hebel(h) befestigt ist an. Hierdurch drückt das am anderen Ende befindliche Rädchen (r), welches in der Ruhelage in eine geeignete Farblösung taucht, gegen den Papierstreifen (p), während dieser über eine [bei den gebräuchlichen Telegraphen durch ein Uhrwerk getriebene] Walze sich bewegt. Der Abstand der beiden Rollen (w w) ist in Fig. 57 der Deutlichkeit wegen zu groß gezeichnet. Sie berühren sich. Schließt man den Strom nur auf einen Moment, so drückt der Farbschreiber einen sehr kurzen Strich („Punkt“) auf das Papier, während bei etwas längerem Stromschluss ein „Strich“ entsteht. Aus Punkten und Strichen setzt sich das Morse'sche Alphabet, sowie alle Zeichen für Ziffern, Inter-

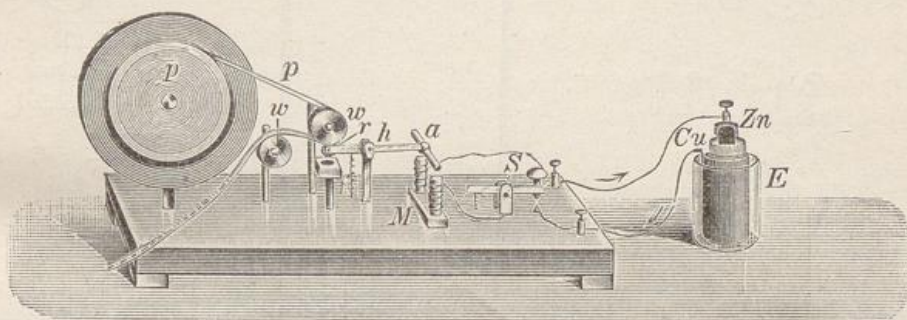


Fig. 57.

Modell des Morse'schen Schreibtelegraphen. $\frac{1}{10}$ natürl. Gröfse. M Elektromagnet; h Hebel mit dem Anker (a) und der kleinen Schreibrolle (r), die in der Ruhelage in die Farbschale (f) taucht; p Papierrolle, von der der Papierstreifen über die Walzen (w w) geführt ist; S der Kontaktschlüssel.

punktionen u. a. zusammen. Hierbei sind diejenigen Buchstaben, welche am häufigsten vorkommen, durch die kürzesten Zeichen wiedergegeben, z. B. *e* durch 1 Punkt, *i* durch 2 Punkte, *t* durch 1 Strich u. s. w.

In der folgenden Skizze (Fig. 58) sehen Sie eine Telegraphenanlage schematisch dargestellt. Bei A ist die Abgangstation, von welcher nach B telegraphiert wird. Durch Niederdrücken des Schlüssels (S_1) wird die Lokalbatterie (B_1) geschlossen und umkreist den Elektromagnet der Empfangsstation, deren Batterie (B_2) bei der Ruhestellung des Schlüssels (S_2) außer Thätigkeit gesetzt ist. Zur Kontrolle des Vorhandenseins des Stromes dienen die Galvanoskope ($G_1 G_2$).

So sehr der Morse'sche Schreibtelegraph den Nadeltelegraphen an Schnelligkeit und Sicherheit der Zeichengebung

noch übertrifft — ganz verdrängen konnte er ihn nicht, denn die Kraft, welche erforderlich ist, um einen Hebel in Bewegung zu setzen, ist natürlich viel größer, als die zur Ablenkung der Magnetnadel eines Multiplikators nötige Kraft. Daher werden in solchen Fällen, wo nur schwache Ströme angewendet werden können, oder wo der Strom durch den sehr großen Widerstand des Leiters zu sehr geschwächt wird, die Nadeltelegraphen vorzuziehen sein. Das ist z. B. bei den unterseeischen Telegraphenleitungen, den Kabeln, der Fall. Da

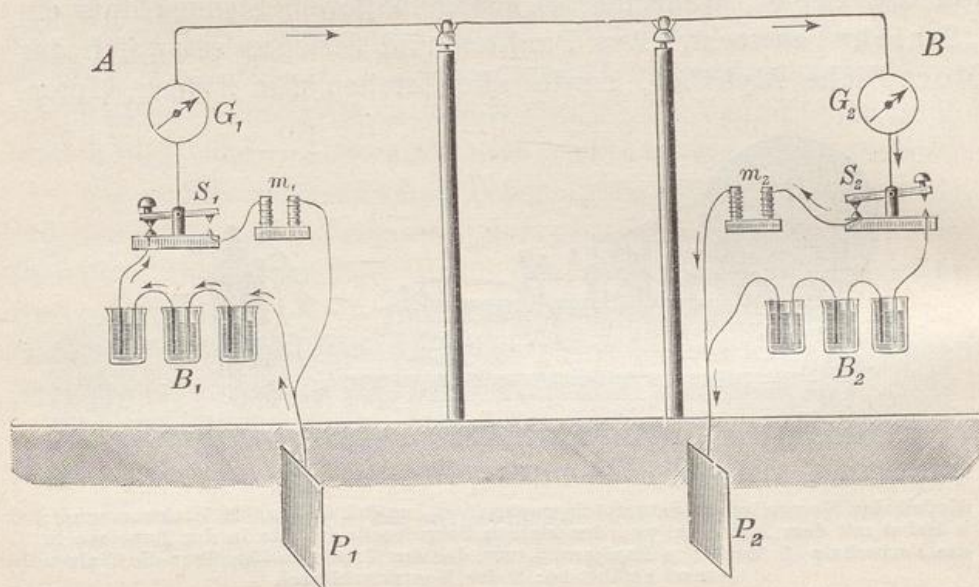


Fig. 58.

Schematische Darstellung einer Telegraphenanlage. A Abgangs-, B Endstation; Schlüssel bei A Stromschluss, bei B Ruheschluss; B Batterie (in A geschlossen, in B ausgeschaltet) G Galvanometer zum Nachweis des Stroms; $P_1 P_2$ Kupferplatten der Erdleitung.

die hier auftretenden Erscheinungen und die verwendeten Apparate sehr kompliziert sind, so können wir nicht näher darauf eingehen, ohne die Grenzen dieses Büchleins zu überschreiten.

* * *

Nachdem wir die Anwendung des elektrischen Stromes in der Telegraphie etwas ausführlicher besprochen haben, wollen wir unsere Aufmerksamkeit wieder auf Wirkungen des Stromes richten und zwar auf die Erscheinungen, welche außer der Erwärmung des Leiters oder der sogenannten „Wasserzersetzung“ in einem flüssigen Leiter auftreten können.

VI. Den positiven Pol eines großen Chromsäure-Elements (E, Fig. 59) verbinde ich durch einen Draht (d_1) mit der einen Platinelektrode eines Knallgas-Voltameters (vergl. S. 100) und zugleich durch einen abgezweigten Draht (d'_1) mit dem Galvanometer. Von hier führt ein Draht (d_2) zu einer Klemmschraube des Quecksilbernäpfchens. Ein Stahldraht ist hakenförmig gebogen und so auf dem Holzklötzchen des Näpfchens befestigt, daß er nahe über der Quecksilberfläche schwebt, aber durch einen leichten Druck zum Eintauchen gebracht werden kann. In gleicher Weise ist der von dem zweiten Pole des Elements kommende Draht (d_3) angebracht, während der Verbindungsdraht der zweiten Platinelektrode des Voltameters (d_4) beständig eintaucht.

Nun lege ich den Zeigefinger auf den Haken des Drahtes d_3 (A, Fig. 59) und drücke ihn nach unten, wodurch der Strom geschlossen wird und durch d_1 , das Voltameter (von links nach rechts), d_4 und d_3 fließt, während das Galvanometer ausgeschaltet ist (die unterbrochene Leitung ist in Fig. 59 punktiert angegeben).

Wenn ich nun den Draht d_3 emporschnellen lasse und sofort mit dem Mittelfinger den Haken von d_2 eintauche, so ist das Element ausgeschaltet, dagegen ein geschlossener Kreis zwischen dem Voltameter und dem Galvanometer hergestellt (B, Fig. 59). — So! Sehen Sie — das Galvanometer giebt einen Ausschlag, ohne mit dem Element verbunden zu sein! Ein Blick auf die Magnetnadel zeigt Ihnen, daß der nordsuchende Pol nach Westen ausschlug, also der (positive) Strom über der Nadel nach Norden, *mithin im Voltameter von rechts nach links, d. h. in umgekehrter Richtung fließt*, wie während der Verbindung mit dem Element.

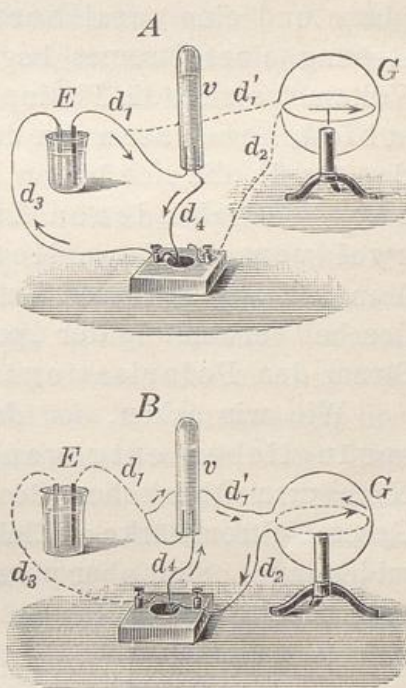


Fig. 59.

Galvanische Polarisation. $\frac{1}{15}$ natürl. Gr.
A Element (E) und Voltameter (v) verbunden. B Voltameter und Galvano (G) verbunden. (Die nicht geschlossene Stromleitung ist punktiert angeführt.)

Dieselbe Erscheinung beobachten wir, wenn wir statt des Voltameters ein Glasgefäß nehmen, wo die Platin-Elektroden in eine Lösung von salpetersaurem Silber tauchen. Hier wird an der einen Platte Silber niedergeschlagen; es stehen also nicht mehr zwei gleiche Platinplatten, sondern eine reine Platinplatte und eine versilberte in der Flüssigkeit. Da ist die Entstehung eines Stromes begreiflich. Aber auch beim Knallgas-Voltameter sind die Platinplatten durch die Berührung mit verschiedenen Gasen (an der einen Wasserstoff, an der anderen Sauerstoff), die sich bilden, in einen äußerlich nicht wahrnehmbaren verschiedenen Zustand versetzt, sodaß sie wie zwei verschiedene Metalle elektromotorisch wirken. Man bezeichnet diesen Zustand als Polarisation und nennt den bei Verbindung der „polarisierten“ Elektroden auftretenden Strom den Polarisationsstrom (Ritter 1803).

Wie wir sahen, ist der Polarisationsstrom dem ursprünglichen entgegengesetzt, muß ihn also schwächen. Nach dem Ohm'schen Gesetz hatten wir für feste Leiter das Gesetz: Stromstärke = Elektromotor. Kraft des Elem./Gesamtwiderstand. Sind aber polarisierbare Leiter in einer Flüssigkeit eingeschaltet, so lautet das Gesetz:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Elektrom. Kraft d. Elem.} - \text{Elektrom. Kraft d. Polarisation}}{\text{Gesamtwiderstand}}.$$

Unter der galvanischen Polarisation haben wir also eine solche Veränderung der Oberfläche von Leitern (die in eine geeignete Flüssigkeit tauchen) zu verstehen, durch welche ein dem ursprünglichen Strome entgegengesetzter Strom, der „Polarisationsstrom“ oder „sekundäre Strom“, erzeugt wird, welcher den primären Strom schwächt. Wie die Versuche zeigen, hängt die elektromotorische Kraft des Polarisationsstromes von der chemischen Natur der eintauchenden Metallplatten und der betreffenden Flüssigkeit ab, sowie teilweise auch von der elektromotorischen Kraft des primären Stromes. Es zeigt sich nämlich, daß bei einer allmählichen Steigerung der elektromotorischen Kraft des primären Stromes die des Polarisationsstromes anfangs der ersteren gleich ist, bis ein gewisser Wert erreicht ist, von

dann ab bleibt die elektromotorische Kraft des Polarisationsstromes konstant. So liegt das Maximum für Platinelektroden in destilliertem Wasser etwa bei 2,03 Daniell (2,17 Volt), dagegen bei angesäuertem Wasser bedeutend niedriger, etwa bei 1,6 Daniell (1,8 Volt). Wird der primäre Strom weiter verstärkt, so tritt die sichtbare Wasserzersetzung ein¹⁹⁾. Kupferplatten in Lösung von Kupfervitriol zeigen nur eine schwache, und amalgamierte Zinkplatten in Zinkvitriollösung gar keine Polarisation. Daher benutzten wir diese bei unserem Stromdämpfer (S. 73).

Die „sekundären Elemente“, wie man die zur Stromerzeugung dienenden Polarisationsapparate auch nennt, haben natürlich ein Maximum von elektromotorischer Kraft, das nicht überschritten werden kann. In neuerer Zeit haben sie in der Technik Verwendung gefunden. Nach einem Vorschlage von Sinsteden (1854) stellte Planté (1859) sekundäre Batterien aus Bleiplatten her, die — von einander isoliert — in verdünnter Schwefelsäure standen. Wird eine solche Batterie „geladen“, d. h. mit einer Stromquelle verbunden, so wird an der Platte, wo der (positive) Strom eintritt, eine chemische Verbindung von Blei und Sauerstoff (Bleisuperoxyd) gebildet, während die andere Platte sich mit Wasserstoffbläschen bedeckt oder, wenn sie oxydiert war, eine Schicht von schwammigem, metallischem Blei ansetzt, indem das Oxyd reduziert wird.

Wird der primäre Strom unterbrochen und eine leitende Verbindung zwischen den Bleiplatten hergestellt, so fließt durch den Leiter ein Strom von nahezu konstanter elektromotorischer Kraft (etwa 2 Volt) und anfangs hoher, aber rasch und stetig abnehmender Stromstärke. Die Richtung des sekundären Stromes ist natürlich die entgegengesetzte, wie die des ladenden primären, d. h. die mit Bleisuperoxyd bedeckte Platte bildet den positiven Pol.

¹⁹⁾ Da die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elements 1,1 Volt beträgt, so hätten wir die sogen. Wasserzersetzung mit einem solchen nicht erreicht. Ebenso hätte die Parallelschaltung Daniell'scher Elemente zu einer Batterie nicht geholfen, da dadurch wohl die Stromstärke (d. i. die Elektrizitätsmenge) vergrößert, die elektromotorische Kraft aber unverändert geblieben wäre.

Eine wesentliche Verbesserung erfuhren die sekundären Elemente durch Faure (1881) u. a. dadurch, daß statt der schweren Bleiplatten Gitter aus Blei angewandt wurden, deren Oberfläche mit einer Schicht Mennige (einer Sauerstoffverbindung des Bleis) bedeckt war. Diese wird am positiven Pol direkt in Bleisuperoxyd übergeführt und am anderen Pol in sehr lockeres metallisches Blei reduziert, wodurch das Laden wesentlich erleichtert und beschleunigt wird. Die Menge des gebildeten Bleisuperoxyds ist ein Maßstab für die Menge der aufgespeicherten elektrischen Energie. Daß diese nie größer sein kann als die zum Laden verwandte, braucht wohl kaum besonders betont zu werden. In Wirklichkeit tritt ein Verlust von 30—40 % an elektrischer Energie auf, der in Zukunft durch bessere Konstruktion dieser Apparate, die Akkumulatoren (Ansammler) genannt werden, wohl vermindert, aber nicht ganz aufgehoben werden kann. Ein Übelstand der Akkumulatoren liegt darin, daß das Bleisuperoxyd beim Stehen aus der Schwefelsäure Wasserstoff aufnimmt und sich zu Bleioxyd reduziert, womit ein Verlust an der aufgespeicherten elektrischen Energie verbunden ist.

Da der Akkumulatoren-Strom von kürzerer Dauer ist als (bei Anwendung von galvanischen Elementen) der Ladungsstrom, so ist die Stromstärke, wenigstens anfangs, größer. Wurden die Akkumulatoren bei paralleler Schaltung geladen, so kann durch Schaltung hintereinander ein (schwächerer) Strom von großer elektromotorischer Kraft erhalten und nach Bedarf (z. B. zur elektrischen Beleuchtung etc.) verwandt werden. Die Akkumulatoren bilden so ein transportables Magazin elektrischer Energie.

* * *

Wir haben bisher ausschließlich galvanische Elemente zur Erzeugung des elektrischen Stromes benutzt. Jetzt wollen wir uns nach anderen Elektrizitätsquellen umsehen.

Wie wir sahen, ist die Ursache des elektrischen Stromes die Erzeugung einer elektrischen Niveaudifferenz an einer beliebigen Stelle eines (geschlossenen) Leiters. Wird diese Niveaudifferenz (wie es durch die chemische Wirkung bei galvanischen

Elementen der Fall ist) dauernd erhalten, so ist auch der elektrische Strom ein dauernder.

Hier sehen Sie (A, Fig. 60) einen Bügel aus Kupferblech (Cu) auf einem flachen Wismuthstabe (Bi) festgelötet und innerhalb dieses geschlossenen Metallrahmens eine Magnetnadel auf einer Stahlspitze schwebend angebracht. Ich bringe den Bügel in den magnetischen Meridian und erwärme die nördliche Lötstelle an einer Spiritusflamme — sofort sehen Sie das Ihnen zugekehrte Nordende der Nadel nach Osten ausschlagen, mithin ist ein elektrischer Strom aufgetreten, der über der Nadel nach Süden, also an der erwärmten Lötstelle

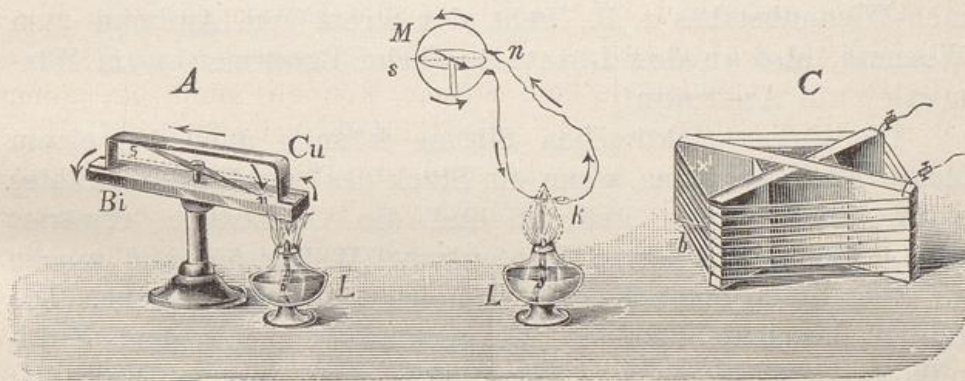


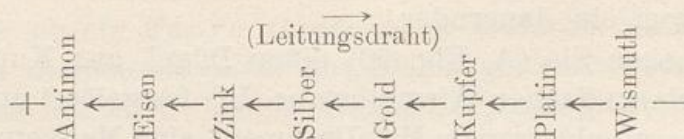
Fig. 60.

- A Thermo-Element nach Seebeck. $\frac{1}{5}$ natürl. Gröfse.
 B Thermo-elektrischer Strom bei gerecktem und erwärmtem Draht. $\frac{1}{10}$ natürl. Gröfse.
 C Thermosäule nach Magnus aus hartem, stellenweis geglühtem Messingdraht.
 $\frac{1}{3}$ natürl. Gröfse.

vom Wismuth zum Kupfer geht. Das Umgekehrte ist der Fall, wenn ich dieselbe Lötstelle durch Anlegen eines Stückes Eis abkühle. Diese durch Erwärmung hervorgerufenen elektrischen Ströme wurden von Seebeck (1823) entdeckt und thermo-elektrische Ströme genannt. Den kleinen Apparat (A, Fig. 60) können wir als thermo-elektrisches Element, oder kurz als Thermoelement bezeichnen.

Versuche, die man mit den verschiedensten Metallen anstellte, ergaben, dafs man sie so in eine Reihe ordnen kann, dafs bei Erwärmung der Lötstelle der Strom immer von dem in der Reihe tieferstehenden zu dem höherstehenden fließt. In Analogie zu der uns bekannten elektrischen Spannungsreihe (I. Bd. S. 13) nannte man diese Reihenfolge der Metalle die

Thermo-elektrische Reihe:



Auch hier kann man beobachten, daß zwei Glieder der Reihe eine um so größere elektrische Niveaudifferenz zeigen, je weiter sie in der Reihe auseinanderstehen. Von obigen Metallen wird also ein Antimon-Wismuth-Element am wirksamsten sein. [Das Zeichen + und — giebt die Art der Elektrizität an den freien Polen an. In dem Verbindungsdraht, eines Antimon-Wismuthstabes z. B., geht der Strom vom Antimon zum Wismuth, also an der Lötstelle (beim Erwärmen) vom Wismuth zum Antimon!]

Die thermo-elektrischen Ströme können auch bei einem Metall allein auftreten, wenn ein Stück des betreffenden Drahtes stark gereckt oder gedreht und die Grenzstelle erwärmt wird. Ich nehme einen Kupferdraht (B, Fig. 60) und mache an einer Stelle einen Knoten, den ich recht fest anziehe. Die Enden des Kupferdrahtes (d) verbinde ich mit dem Multiplikator (M), der mehrere Windungen aus starkem Draht hat (vergl. Fig. 62, S. 125). Sobald ich in der Nähe des gereckten Drahtstückes eine Spiritusflamme halte, zeigt die Magnetnadel einen Strom an.

Auch das stellenweise Ausglühen eines Drahtes stört seine Homogenität. Ich nehme einen langen harten Messingdraht, wickele ihn vorläufig auf ein Holzkreuzchen (C, Fig. 60) und bezeichne die Mitten der kurzen Seiten mit schwarzem Lack (Schellacklösung mit Kienrufs). Darauf wickele ich den Draht wieder ab, glühe die Zwischenräume abwechselnd aus und wickele den Draht wieder auf. Jetzt stehen die Grenzstellen übereinander. Verbinde ich die Enden wieder mit dem Multiplikator, so genügt schon die Annäherung der Hand an die eine Grenzstelle ($x'b$), um eine Ablenkung zu erhalten. Da hier die Wirkung mit der Anzahl der Grenzstellen wächst, so kann man einen solchen Apparat eine Thermo-Säule nennen.

Mittelst einer geeigneten Thermo-Säule und einem ent-

sprechenden Multiplikator lassen sich sehr geringe Temperaturdifferenzen nachweisen, sodaß ein solches Instrument als ein höchst empfindliches Differential-Thermometer verwandt werden kann. Ebenso können stärkere, hartgelötete Thermo-säulen, die eine längere Erhitzung an einer Flamme vertragen, benutzt werden, um konstante Ströme zu erzeugen, die sich statt der galvanischen verwenden lassen. Eine nähere Beschreibung derselben würde uns jedoch zu weit führen.

Damit wollen wir für heute schließen. Das nächste Mal, wo wir unseren Kursus beenden, werden Sie die mächtigste Elektrizitätsquelle kennen lernen — die magneto-elektrische Induktion!