



Einführung in die Elektricitätslehre

Vorträge

Dynamische Elektricität

Kolbe, Bruno

Berlin, 1895-

Anhang (Ergänzungen und praktische Winke): 1. Diamagnetismus. - 2. Volta's Gesetz der Spannungsreihe. - 3. Recept für Chromsäurelösung. - 4. Lamettafäden, ihr Ersatz. - 5. Zur Entdeckung der ...

[urn:nbn:de:hbz:466:1-80924](#)

A n h a n g.

(Ergänzungen und praktische Winke.)

1. Durch Anwendung sehr starker Elektromagnete gelang s. 1.
es Faraday (1845) nachzuweisen, dass alle Körper magnetische
Eigenschaften zeigen, aber nicht in gleicher Weise. Während
nämlich Eisen, Nickel, Kobalt u. e. a. von beiden Magnetpolen
angezogen werden, ist bei anderen Körpern, wie Antimon,
Wismuth, Zink und den meisten übrigen, das Umgekehrte der
Fall, d. h. sie werden von beiden Magnetpolen abgestossen.
Die erste Gruppe von Körpern, deren typischer Vertreter das
Eisen ist, nannte Faraday paramagnetisch, die andere
diamagnetisch. Die Verbindungsline der Pole eines Magnets
heisst die magnetische Achse, eine in ihrer Mitte senkrecht
gezogene Ebene der Aequator. Hängt man nun ein para-
magnetisches Stäbchen zwischen die Polschuhe eines starken
Elektromagnets, so stellt es sich in Richtung der magnetischen
Achse (axial), d. h. den magnetischen Kraftlinien parallel. Ein
diamagnetisches Stäbchen dagegen stellt sich zur magnetischen
Achse senkrecht (äquatorial), d. h. senkrecht zu den Kraft-
linien. Weber erklärte dieses durch die Annahme, dass in
den diamagnetischen Körpern durch die Einwirkung der Mag-
nete molekulare Ströme von entgegengesetzter Richtung
induziert würden, was auch bei dielektrischen Köpern statt-
finden könne; und in der That erweisen sich Glas und andere
Nichtleiter als stark diamagnetisch.

2. Der sogenannte „Volta'sche Fundamentalversuch“ s. 30.
besteht in dem Nachweise, dass zwei Platten aus verschie-
denen Metallen, die an isolierenden Handgriffen mit den frisch
gereinigten Flächen zur Berührung gebracht und (in möglichst
paralleler Haltung) wieder von einander entfernt werden, eine

elektrische Niveaudifferenz (Potentialdifferenz) zeigen, welche nur von der Natur der verwandten Metalle, aber nicht von der Gröfse der Berührungsfläche abhängig ist. Die Ursache dieser „durch blofse Berührung“ entstandenen Elektrisierung der beiden verschiedenen Metallplatten nannte Volta die elektromotorische Kraft (Kontakttheorie). Bei Anwendung einer Zink- und einer Kupferplatte zeigt das Zink + E, das Kupfer — E (also umgekehrt, wie beim gleichzeitigen Eintauchen in angesäuertes Wasser, an den herausragenden Enden, oder direkt so wie die Metallteile innerhalb der Flüssigkeit). Ähnlich, wie die festen Körper in Bezug auf ihr elektrisches Verhalten beim Reiben (I. Bd. S. 13), lassen sich auch die Metalle und Kohle so in eine Spannungsreihe ordnen, dass jedes Metall durch Berührung mit dem Folgenden elektropositiv geladen wird.

Volta's Spannungsreihe:

+	Zink	Blei	Zinn	Eisen	Kupfer	Silber	Gold	Kohle	Graphit	Braunstein	—
---	------	------	------	-------	--------	--------	------	-------	---------	------------	---

Hierbei findet folgendes von Volta gefundene Gesetz statt: Die elektromotorische Kraft zwischen zwei beliebigen Gliedern der Reihe ist gleich der Summe der elektromotorischen Kräfte der zwischenliegenden Kombinationen, z. B. Zink / Kupfer = Zink / Zinn + Zinn / Eisen + Eisen / Kupfer, oder auch: Zink / Kohle + Kohle / Kupfer = Zink / Kupfer u. s. w. Da sich die flüssigen Leiter dem Gesetz der Spannungsreihe nicht fügen, so nannte Volta die Metalle (und die Kohle) „Elektromotoren erster Klasse“, und die flüssigen Leiter „Elektromotoren zweiter Klasse“. Diese Unterscheidung ist umso mehr berechtigt, als die Metalle vom elektrischen Strom nur erwärmt werden, während bei den Elektromotoren der zweiten Klasse stets zugleich eine chemische Zersetzung (die wir für die Ursache der elektromotorischen Kraft annahmen, s. o. S. 29) stattfindet. Flüssigkeiten, welche nicht durch den elektrischen Strom zersetzt werden, wie Vaselinöl, Alkohol und sogar chemisch reines Wasser, leiten den Strom nicht!

3. Bei den Chromsäure-Elementen wird meist eine Lösung s. 31. von doppelchromsaurem Kali benutzt, welche durch das Ausscheiden von Chromalaun sehr lästig ist. Weit zweckmässiger ist die Anwendung von doppelchromsaurem Natrium, da die Alaunausscheidung fast ganz fortfällt. Folgende Mischung, die Sie sich am besten vom Apotheker herstellen lassen, hat sich gut bewährt: 100 Gewichtsteile Wasser, 25 Teile rohe Schwefelsäure, 12 Teile Natriumbichromat. Der fertigen Lösung kann man etwas schwefelsaures Quecksilber (oder Quecksilberoxyd) zusetzen (3—4 Gramm auf 1 Liter Flüssigkeit), wodurch die Zinkplatte stets amalgamiert und blank erhalten wird.

4. Lametta heißen die flachen, aus gewalztem Metall s. 43, 51, 98. geprefsten Fäden, welche u. a. zur Verzierung der Weihnachtsbäume verwandt werden. Die gewellte Sorte ist vorzuziehen. Zu dem sehr anschaulichen Versuch (Fig. 34, S. 57) kann man auch je 2 oder 3 Lamettafäden zugleich einspannen. In Ermangelung solcher ist ein schmaler Streifen aus recht dünner Zinnfolie (Stanniol) von 2—3 mm Breite und 50 cm Länge recht gut brauchbar.

5. In dem Werke: „Essay théorique et expérimentale sur s. 54. le galvanisme“, par Jean Aldini, Paris An XII.—MDCCCVI (1804) [mit der Widmung: A Bonaparte, citoyen, premier consul et président], findet sich S. 340 die Bemerkung: „*M. Romaguesi, physicien de Trente, qui a reconnu, que le galvanisme faisait décliner l'aiguille aimantée.*“ — [Diese litterarische Notiz verdanke ich dem Herrn Prof. Dr. O. Chwolson in St. Petersburg.]

6. Beim Fleeming'schen Normal-Element, [welches auch s. 65. durch das kleine Element (Fig. 17, S. 35) ersetzt werden kann] taucht der Zinkstab in eine Lösung von 55,5 Teilen Zinksulfat in 44,5 Teilen Wasser (spec. Gew. = 1,2 bei 20° C.) und der Kupferstab in eine Lösung von 16,5 Teilen Kupfersulfat in 83,5 Teilen Wasser (spec. Gew. = 1,1 bei 20° C.). Der Zinkstab muss, wenn er nicht chemisch rein ist, gut amalgamiert sein. Das Glasgestell (Fig. 38) kann aus einem Stück bestehen. Da aber die eingeschliffenen Glas-Hähne teuer sind, kann man den Apparat auch aus einzelnen Teilen zusammensetzen, die durch Gummischläuche mit Ebonit-Hähnen (oder Quetsch-Hähnen) verbunden sind. — Zu allen messenden Versuchen können nur

konstante Elemente benutzt werden. Damit sie während des Gebrauches möglichst gleichmässig wirken, lässt man sie nach dem Zusammenstellen etwa 10 Minuten unter „Kurzschluß“ arbeiten, d. h. man verbindet die Polklemmen durch einen kurzen, dicken Kupferdraht, damit sich im Inneren des Elementes ein gewisser Gleichgewichtszustand herstellt.

s. 67. 7. Bei unserer Versuchsanordnung (Fig. 39) steht die Galvanometernadel unter dem Einfluß zweier Richtkräfte: der des Erdmagnetismus und der beiden Stabmagnete. Ersterer sucht der Magnetnadel eine nord-südliche Richtung zu geben, letztere eine ost-westliche; daher nimmt die Nadel eine gewisse mittlere Richtung ein (Resultante). Je näher die beiden Magnete zur Bussole geschoben werden, umso mehr überwiegt ihre Richtkraft die des Erdmagnetismus, d. h. der Winkel, den die Galvanometernadel mit dem magnetischen Meridian bildet, wird immer grösser. Da nun die Magnetstäbe stark magnetisiert und genügend lang sind (40 cm), so ist ihr magnetisches Feld im mittleren Teile, welcher von der (kurzen!) Galvanometer-nadel eingenommen wird, homogen, d. h. die Intensität ist (fast) konstant und die Kraftlinien sind hier parallel. Hierauf beruht (für eine nicht zu lange Magnetnadel) die Zulässigkeit der von uns benutzten Graduierungsmethode.

Beim Graduieren (Aichen) des Galvanoskopos wurde die Stromstärke, welche eine Ablenkung $\alpha_1 = 14^\circ$ ergab, als (willkürliche) Einheit der Stromstärke angenommen. Zur Herstellung der bleibenden Aichungsskala empfiehlt es sich, die Resultate der Graduierung graphisch darzustellen, indem man auf quadriertem Millimeter-Papier als Abscissen (horizontal) in 1 cm Abstand die Stromstärken (0, 1, 2, 3 . . .) und als Ordinaten (vertikal) die beobachtete Anzahl der (Bogen-) Grade, die auf Zehntel genau abzulesen sind, aufträgt und die erhaltenen Punkte zu einer Kurve verbindet. Diese Kurve kann bei genaueren Messungen als Hülfsmittel zur Reduktion der Gradskala in Aichungsgrade dienen und benutzt werden, um die nicht beobachteten Bruchteile der Aichungsskala (Halbe oder Zehntel) einzutragen, auch giebt ihr Verlauf ein gutes Merkmal ab für die Güte der Messung.

Näheres über das Graduieren in der „Zeitschrift für den

phys. u. chem. Unt.“ (in Bezug auf das Elektrometer IV, 1891, S. 293, das Galvanometer VII, 1894, S. 122).

8. Die Glühlampe ist von Heinrich Göbel, einem nach s. 98. New-York ausgewanderten Hannoveraner, bereits 1855 erfunden. Göbel wurde von der Gesellschaft zur Ausbeutung der Edison'schen Erfindungen 1881 engagiert und seit der Zeit erschienen die sogenannten Edison'schen Glühlampen auf dem Markt. [Elektrotechn. Zeitschr. 1892, H. 7, nach El. Eng. vom 25. Jan. 1892.]

9. Wird bei unserem Demonstrations-Galvanometer s. 107 (vergl. Fig. 37, S. 64), bei vertikaler Stellung des Ringes (R), durch diesen ein konstanter Strom von genügender Stärke geleitet, um einen Ausschlag von etwas über 45° hervorzurufen, so lässt sich — durch Neigen des Ringes — immer ein Ausschlag = 45° erzielen! — In diesem Falle hat der Apparat seine größte Empfindlichkeit. [Bei einer gewöhnlichen Bussole kann man einen Winkel höchstens auf $\frac{1}{5}$ Grad genau ablesen (bei der unsrigen, die einen großen Teilkreis hat, höchstens auf $\frac{1}{10}$ Grad). Für kleinere Winkel macht das einen merklichen Bruchteil des Ablenkungswinkels aus, wodurch (bei 25° , resp. 5°) der Fehler in der Stromstärke 1, resp. 4% betragen kann. Andererseits ändern sich bei größeren Winkeln (über 60°) die Tangenten sehr rasch (die Aichungsgrade werden bedeutend kleiner), weshalb der Ablesungsfehler das Resultat wieder stark beeinflusst. Daher sucht man eine Ablenkung = 45° zu erzielen, da hier der Einfluss des Fehlers am wenigsten wirksam ist]. — Unser Galvanometer ist in seinem Fußgestell drehbar. Man kann also, wenn durch einen Strom eine gewisse Ablenkung bewirkt ist, die Bussole der Nadel nachdrehen, bis diese wieder auf Null einsteht! In diesem Falle ist die Stromstärke proportional dem Sinus des Drehungswinkels (δ) der Bussole ($J = k' \cdot \sin \delta$, wo k' einen konstanten Faktor bedeutet). Für eine solche Messung wird das Instrument zuerst so aufgestellt, daß die Zeiger der Magnetnadel in der Ruhelage und das Visier (v, Fig. 37) genau auf Null einstehen. Da das Visier die Drehung der Bussole nicht mitmacht, kann man durch es an der Gradskala den Drehungswinkel ablesen. Dieses Galvanometer ist daher zugleich eine Sinus-Bussole.

Die Handhabung einer solchen ist, des Nachdrehens wegen, zeitraubender als die der Tangens-Bussole, dafür hat die Länge der Nadel keinen fehlerhaften Einfluß auf das Resultat, weil die Nadel bei der Ablesung wieder in der Ringebene liegt. Daher wird die Sinus-Bussole (erfunden von Pouillet 1837) vorzugsweise zur genaueren Messung schwacher Ströme verwandt. Wir haben uns, um rasch experimentieren zu können und nicht durch Rechnungen aufgehalten zu werden, des graduierten Galvanometers bedient, dessen Angaben der Stromstärke direkt proportional sind ($J = k'' \cdot A$, wo A die Anzahl der Grade an der Aichungsskala bedeutet). Dafs die erreichbare Genauigkeit der Messungen von der Zuverlässigkeit der Aichungsskala abhängt, ist wohl selbstverständlich.

S. 110.

10. Schilling's Priorität in Bezug auf die Erfindung des magneto-elektrischen Telegraphen wurde schon von Munke (in Gehler's Wörterbuch 1838, IX, S. 111—115) anerkannt. In neuerer Zeit auch von Zetzsche (Geschichte der Telegraphie, Berlin 1877, S. 66) und Netoliczka (Illustrierte Gesch. der Elektricität, Wien 1886, S. 174—176). — Auffallender Weise haben die deutschen Lehrbücher davon keine Notiz genommen.

S. 125.

11. Das leicht herstellbare Universalgestell, welches wir als Ampère'sches Gestell (Fig. 23) und als Modell eines Multiplikators (Fig. 35, 36) kennen lernten, kann — wenn man auf die Benutzung eines besonderen, graduierten Galvanometers verzichtet — zu sämtlichen in der Schulphysik erforderlichen Versuchen mit galvanischen Strömen dienen. [Die Herstellung ist beschrieben in d. Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unt. VIII, S. 155]. Um es als brauchbares Modell einer Tangensbussole zu verwenden, benutzt man zweckmäßig eine kurze Magnetnadel (z. B. eine von der Form Fig. 35, B, deren Länge von einer Biegung zur anderen 3 cm beträgt). Dann genügt ein darüber geschobener Ring aus starkem Draht von 20 cm Durchmesser vollständig. — Stellt man den Ring in einem Abstande von 5 cm (d. h. $\frac{1}{4}$ des Ringdurchmessers) vom Mittelpunkt der Magnetnadel auf, so sind die Tangenten der Ausschlagswinkel den Stromstärken direkt proportional (unabhängig von der Nadellänge). Diese Form der Tangentenbussole wurde von Helmholtz und Gaugain angegeben. — Für thermo-elektrische Ströme oder zum Nachweis der magnet-elektrischen

Induktion werden zwei Doppelrahmen und eine astatische Nadel (Fig. 62) angewandt, wodurch der Apparat zu einem sehr empfindlichen Galvanometer wird, dessen Nadel, durch die Kupferdämpfung, fast momentan sich einstellt, wodurch viel Zeit erspart wird. Noch wirksamer, als bei Anwendung der angegebenen Kupferhülsen von 4 mm Dicke (Cu, Fig. 62) ist die Dämpfung, wenn man — nach einem Vorschlage des Mechanikers G. Lorenz (O. Haase) in Chemnitz — die 4 Rahmen, auf welche die mit Seide umspogenen Kupferdrähte gewickelt werden, aus dicken Platten von elektrolytischem Kupfer ausfräst und die Seitenränder aus Ebonit herstellt. Zur Anfertigung der Magnetnadeln eignen sich dicke Klaviersaiten oder dünne Tangenten-Speichen der Fahrräder sehr gut, da sie zäh sind und sich kalt biegen lassen, was die Selbstanfertigung der astatischen Nadel wesentlich erleichtert. Das Härteln der bis auf das Magnetisieren fertig hergerichteten Nadeln geschieht, indem man sie auf einem Stück Blech über einer Spiritusflamme erhitzt, bis sie blau anlaufen; dann lässt man sie in ein Gefäß mit Vaselinöl fallen. Die Hälfte der Nadel, welche den Südpol erhalten soll, wird nachher mit feinem Schmirgelpapier abgeschliffen.

Jede Einzelrolle ($R_1 R_2 R_3 R_4$, Fig. 62) hat 50 Windungen von 1 mm dickem Kupferdraht. Bei Anwendung der astatischen Nadel muss die Verbindung der Drähte eine solche sein, dass der Strom in den beiden oberen Drahtrollen in umgekehrter Richtung kreist, wie in den beiden unteren Rollen! Oft ist es wünschenswert, den Rollenwiderstand dem Widerstand der Stromquelle (Thermo-Element oder Induktionsrolle) möglichst anzupassen; das kann in einem gewissen Grade durch eine verschiedene Schaltung der Rollen erreicht werden. Zur leichteren Orientierung sind die Drahtenden jeder Rolle, durch welche der Strom eintreten soll, mit *roter* Seide bewickelt, während die anderen grün sind. Alle 8 Drahtenden sind an vernickelte Blechstücke mit Ausschnitten gelötet (vergl. Fig. 42, S. 71). Durch einige kleine Presklemmen werden die Drähte nach Bedarf unter sich verbunden. Die freien Enden werden zu den an den Schlitten befindlichen Doppelpresklemmen $K_1 K_2$ geführt (in Fig. 62 sind K_1 u. K_2 leider als gewöhnliche Schraubenklemmen gezeichnet).

Ist der Widerstand jeder einzelnen Rolle = W , so können wir den Rollenwiderstand in folgender Weise modifizieren: 1) Alle 4 Rollen hintereinander geschaltet (in Fig. 62 angedeutet); der Widerstand = $4W$. 2) Die oberen und die unteren Rollen parallel geschaltet (d. h. man verbindet K_1 mit den beiden roten Drähten seiner Rollen, K_2 in gleicher Weise mit den grünen Drähten der zugehörigen Rollen, dann die oberen und die unteren Rollen unter sich); der Widerstand = $2W/2 = W$, also nur $\frac{1}{4}$ des vorigen. 3) Alle 4 Rollen parallel geschaltet (d. h. K_1 wird mit allen 4 roten, K_2 mit allen 4 grünen Drähten verbunden); der Widerstand = $W/4$, also 16 mal kleiner als bei der Schaltung hintereinander!

Sind die Rollen so geschaltet, daß der Strom in allen in gleicher Richtung kreist, so darf die astatiche Nadel — wenn der Widerstand und die Windungszahl der Einzelrollen gleich ist — keinen Ausschlag zeigen! Schaltet man nun z. B. in den Stromkreis der oberen Rollen einen Draht, dessen Widerstand geprüft werden soll, und in den Stromkreis der unteren Rolle bekannte Widerstände, bis der Ausschlag = 0 wird, so läßt sich, auch bei Verwendung eines wenig konstanten Elementes, die Widerstandsbestimmung sehr genau ausführen (da beide Leiterzweige gleichzeitig von demselben Strom durchflossen werden). In ähnlicher Weise kann man auch die Stromstärke zweier galvanischer Elemente mit einander vergleichen, doch würde ein näheres Eingehen darauf hier zu weit führen.

Wendet man statt der astatichen Nadel eine solche an, die aus zwei gleichgerichtet parallelen Magnetstäbchen besteht, so erhält man bei Anwendung der Doppelrollen einen empfindlichen gewöhnlichen Multiplikator, aber mit Kupferdämpfung. Natürlich muß in diesem Falle der Strom in allen 4 Rollen gleiche Richtung haben. Diese Nadel hat vor der astatichen den Vorzug, daß sie sich sehr energisch in den magnetischen Meridian einstellt. Die oben erwähnten Widerstandsvergleichungen können mit diesem Apparat ebenfalls (wenn auch weniger genau) angestellt werden; zum Nachweis der thermo-elektrischen Ströme oder der Induktionsströme (Fig. 63—65) reicht die Empfindlichkeit aber nicht aus.

Zum Nachweis sehr schwacher Ströme kann an der asta-

tischen Nadel statt des Zeigers ein Spiegel (S. Fig. 62) eingesetzt werden, der das durch einen Spalt fallende und von einer Cylinderlinse von großer Brennweite (etwa 100 cm) konzentrierte Licht auf einen horizontalen Stab wirft, der mit Millimeterpapier beklebt ist, sodass ein scharfes Bild des Spaltes auf der Skala entsteht. Hierdurch werden die kleinsten Schwankungen der Magnetnadel sichtbar. Hierbei muss das Galvanometer durch einen Schutzkasten vor Luftzug geschützt werden. (Da diese Versuchsanordnung ein gut verdunkeltes Zimmer erfordert, so haben wir sie nicht benutzt.)

12. Die Wechselströme zeigen Eigenschaften, welche sie von den gewöhnlichen oder den intermittierenden gleichgerichteten Strömen wesentlich unterscheiden. Sie können weder am Galvanometer noch am Voltmeter gemessen werden, da die in rascher Folge und entgegengesetzter Richtung erfolgenden Stromstöße sich in ihrer Wirkung aufheben, und es sind zu ihrer Messung besondere Apparate erforderlich, auf die wir nicht eingehen können. Auch die Selbstinduktion im Leiter, besonders wenn dieser lockenförmig gebogen ist, ist so bedeutend, dass der Widerstand einer Drahtspule größer sein kann als der einer kurzen Luftstrecke in einem geraden Leiter. Der Widerstand eines Leiters für Wechselströme wird also wesentlich durch seine Form beeinflusst (das war bei den gleichgerichteten Strömen nicht der Fall). Daher gilt das Ohm'sche Gesetz auch *nicht* für Wechselströme! Bei gleichgerichteten Strömen ist die Leistungsfähigkeit gleichlanger Drähte aus demselben Material der Fläche des Querschnitts proportional (vergl. S. 90). Das ist nun bei den Wechselströmen von hoher Wechselzahl nicht mehr der Fall; es scheint vielmehr, als ob sie — bildlich gesprochen — nicht das Innere des Drahtes durchsetzen, sondern nur längs der Oberfläche dahingleiten! — Die Wechselströme der magnet-elektrischen Maschinen oder gar der für Wechselstrom eingerichteten dynamo-elektrischen Maschinen zeichnen sich durch ihre intensive physiologische Wirkung aus und können, durch den menschlichen Körper geleitet, den Tod zur Folge haben. Im Widerspruch hierzu scheinen die Versuche von Tesla zu stehen, wonach Ströme von sehr hoher Wechselzahl (bis 300 000 in der Sekunde) und großer elektromotorischer Kraft

s. 143, 152.

(60 000 Volt und darüber) durch den menschlichen Körper geleitet werden können, ohne daß die betreffende Person ein Unbehagen verspürt. (Im Jahre 1893 wurden diese Versuche von Prof. Jegorow im phys. Kab. der militär-med. Akademie in St. Petersburg vor einem großen Zuschauerkreise wiederholt und bestätigt.) — Wie Sie wissen, strahlt ein glühender Körper Licht von sehr verschiedener Wellenlänge aus. Unser Auge nimmt davon nur diejenigen wahr, welche 400—800 Billionen Schwingungen in der Sekunde haben. Für die übrigen ist unser Auge gänzlich unempfindlich. Wir können uns nun denken, daß unsere Nerven ebenfalls nur für gewisse, verhältnismäßig langsame Schwingungen abgestimmt sind und daher von den zu schnell erfolgenden Schwingungen der Tesla-schen Ströme nicht mehr erregt werden können.