

A.

Beschaffung, Messung und Regulirung des Stroms.

Die Stromquellen.

Als Stromquellen kommen vier in Betracht: galvanische Elemente, Accumulatoren, Thermosäulen und Dynamomaschinen. Von diesen ist gewöhnlich eine galvanische Batterie am leichtesten zu beschaffen, dafür aber ein ziemlich unvollkommenes Hilfsmittel. Wesentlich angenehmer sind Accumulatoren, sowohl was die Constanz des Stromes, als auch die Sauberkeit in der Behandlung anbetrifft. Wer einmal mit Accumulatoren gearbeitet hat, wird nur im äussersten Nothfall zu Elementen zurückgreifen. Gespeist werden die Accumulatoren entweder von einer Dynamomaschine oder durch eine Thermosäule. Die letztere Stromquelle, welche schon in Misscredit gekommen war, gewinnt durch eine verbesserte Construction neuerdings wieder an Bedeutung und ist für kleinere Versuche und analytische Zwecke recht empfehlenswerth, wo Leuchtgas zur Verfügung steht. Eine kleine Dynamomaschine ist die geeignetste Stromquelle für allerhand Betriebsversuche.

Die rationelle Bearbeitung eines electrochemischen Problems wird damit beginnen, dass man zunächst mit Hilfe einer aus galvanischen Elementen oder Accumulatoren zusammengestellten Batterie die vortheilhaftesten Arbeitsbedingungen für das Verfahren ermittelt und dann auf Grund der gesammelten Beobachtungen und Erfahrungen einen kleinen Probetrieb mit Hilfe der Dynamomaschine einrichtet. Bei diesem zweiten Stadium des Versuchs werden sich abermals Mängel herausstellen, welche gewöhnlich constructiver Natur sind. Erst nachdem man diese beseitigt hat und die kleine Versuchsanlage zur Zufriedenheit functionirt, schreitet man zur Berechnung einer definitiven Betriebsanlage.

Nachdem so die eingangs erwähnten Stromquellen hinsichtlich ihrer Verwendungsart im allgemeinen charakterisirt sind, mögen dieselben nun etwas näher beschrieben werden.

Galvanische Elemente.

Galvanische Elemente, welche als Stromquelle für electrochemische Versuche dienen sollen, müssen einen kräftigen, constanten Strom liefern können. So viele Constructionen auch existiren, so werden doch die genannten Anforderungen von keiner Form völlig erfüllt, es hat daher auch keinen Zweck, dieselben alle aufzuzählen oder gar zu beschreiben. Es mögen hier nur zwei ihren Platz finden: das Bunsen-Element und das Daniell-Element.

Das Bunsen-Element besteht aus der Combination Zink-Kohle und ist gewöhnlich so ausgeführt, dass in einem cylindrischen Glasgefäß ein den negativen Pol darstellendes, amalgamirtes, cylinderförmig gebogenes, starkes Zinkblech steht, in dessen Mitte sich eine poröse

Thonzelle befindet mit einem Prisma aus möglichst harter, dichter Retortenkohle. Die Thonzelle ist gefüllt mit concentrirter Salpetersäure, der ringförmige Raum im Glasgefäss mit verdünnter Schwefelsäure (1 : 20). Da die Salpetersäure unter der Einwirkung des Stroms reducirt wird und Dämpfe von Untersalpetersäure ausstösst, so muss die Batterie in einem guten Abzug untergebracht werden. Zum Theil lässt sich dieser Uebelstand dadurch beseitigen, dass man von Zeit zu Zeit etwas Chromsäure oder Kaliumbichromat in die Thonzelle wirft. Die electromotorische Kraft des Bunsen-Elements ist 1,8 Volt. Der Strom ist anfangs sehr kräftig, lässt aber nach einigen Stunden bedeutend nach. Man bedient sich dieser Elemente, wenn man für kürzere Zeit einen möglichst kräftigen Strom braucht, ferner wo es sich um Erzeugung hoher Spannungen handelt. Für tagelang währende Versuche eignen sie sich nicht.

Beim Gebrauch der Bunsen'schen Batterie beobachte man folgende Punkte:

Das Zink muss stets gut amalgamirt sein, sonst tritt eine lebhaftere Wasserstoffentwicklung ein, welche zur raschen Zerstörung des Zinks führt. Das Amalgamiren geschieht in der Weise, dass man die Zinkeylinder in ganz verdünnte Schwefelsäure taucht, dann etwas Quecksilber darauf giesst und dieses mit einer Bürste gleichmässig vertheilt. Die Thonzelle darf nicht so porös sein, dass viel Salpetersäure zum Zink gelangt. Man füllt beim Zusammenstellen des Elements zuerst die Schwefelsäure ein, und erst nachdem die Thonzelle von dieser durchnässt worden ist, giebt man die Salpetersäure in die Zelle. Was die Kohlen anbetrifft, so sind die Prismen aus natürlicher Retortenkohle denjenigen aus gepresster Kohle vorzuziehen. Damit sie nicht im Innern Salpeter-

säure aufsaugen und dann die Klemmschrauben zerstören, erwärmt man sie stark, taucht die Enden einige Zeit in geschmolzenes Paraffin und wischt sie dann wieder gut ab. Die Klemmschrauben müssen an den Flächen, welche sich an die Batteriepole anlegen, metallisch blank sein, alle übrigen Seiten werden mit Asphaltlack überzogen zum Schutz gegen die Säuredämpfe. Die Zuleitung des Stromes von der Batterie nach dem Versuch geschehe durch genügend starken Kupferdraht (nicht unter 1 mm Durchmesser), ein Aufrollen desselben zu Spiralen — wie man merkwürdigerweise schraubenförmig gewickelte Drähte nennt — hat nur da Zweck, wo er eine gewisse Beweglichkeit haben soll, ist aber sonst durchaus überflüssig.

Von grösserer Constanz, wenn auch geringerer Kraft, ist das Daniell-Element: amalgamirtes Zink in verdünnter Schwefelsäure, Kupfer in gesättigter Kupfervitriollösung, beide getrennt durch eine Thonzelle. Das als positiver Pol dienende Kupferblech ist cylinderförmig zusammengebogen, mehrfach perforirt, und trägt einen angelötheten Kupferdraht. Vortheilhaft bringt man im oberen Theil einen Siebboden an, auf welchen man Krystalle von Kupfervitriol wirft, um die Lösung immer concentrirt zu erhalten. Die Combination: Zink aussen, Kupfer in der Thonzelle ist wirksamer, als die umgekehrte Anordnung. Die Spannung beträgt ca. 1,05 V. Sehr wesentlich für die Güte des Elements ist die Beschaffenheit der Thonzelle. Ist dieselbe zu dicht, so hat das Element einen hohen inneren Widerstand, ist sie zu porös, so dringt Kupferlauge zum Zink und überzieht dieses mit Kupferschlamm, wodurch die Wirkung des Elements sehr beeinträchtigt wird. Zur Prüfung einer Thonzelle füllt man dieselbe in lufttrockenem Zustand

mit Wasser; sie soll dann binnen wenigen Minuten durchtränkt sein, aber nur ausserordentlich langsam das Wasser durchfliessen lassen. Thonzellen, an deren Aussenfläche bald nach der Durchfeuchtung das Wasser in Tropfen austritt und herabläuft, verwirft man.

Eine etwas andere Ausführung des Daniell-Elements, welche für dauernde Benutzung berechnet ist, ist folgende. Als Zinkpol dient kein Blech, sondern ein gegossener Hohleylinder, welcher nicht amalgamirt wird; er steht in starker Zinkvitriollösung. In der Thonzelle befindet sich ein Kupfereylinder in Kupfervitriollösung. Sobald die letztere infolge des Gebrauchs hell geworden ist, ersetzt man sie durch frische und reichert die entfernte durch Vitriolkrystalle wieder an zu erneuter Verwendung. Von Zeit zu Zeit zieht man etwas von der Zinklösung ab und giesst dafür die gleiche Menge Wasser nach, damit kein Zinkvitriol auskrystallisirt. Wöchentlich ein oder zwei Mal wird der Zinkcylinder ausgehoben und gesäubert. Diese Ausführungsart zeichnet sich durch sehr geringen Zinkverbrauch aus, hat jedoch etwas mehr inneren Widerstand und nur 0,9—0,95 V. Spannung.

Das lästige Ausblühen von Salzen aus den Zellen lässt sich dadurch vermindern, dass man Thonzellen mit glasirtem Rand verwendet, oder dass man den aus der Flüssigkeit herausragenden Theil derselben mit Paraffin tränkt. Ganz vermeiden lässt sich dieser Uebelstand jedoch nicht.

Soll die Batterie ausser Thätigkeit gesetzt werden, so sind die Kohlen und die Thonzellen, letztere in angesäuertem Wasser, gut zu waschen und dann in trockenem Zustand aufzuheben. Unterlässt man das Waschen, so werden die Zellen durch auskrystallisirende Salze zersprengt oder doch mindestens beschädigt.

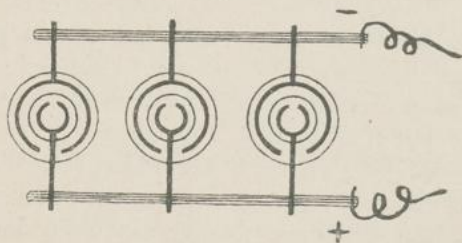
Bei erneuter Zusammenstellung eines Elements wird die Zelle erst mit der Zinkvitriollösung durchtränkt, dann die Kupferlösung eingegossen. War die Zelle nicht trocken, sondern mit Wasser getränkt, so hat dies den Erfolg, dass das Element so lange einen sehr schwachen Strom giebt, bis durch Diffusion sich die Zellwand mit der besser leitenden Vitriollauge gefüllt hat.

Schaltung der Elemente.

Hat man eine Anzahl Elemente, so kann man diese in dreifacher Weise miteinander verbinden, nämlich

- a) durch Parallel- oder Nebeneinander-Schaltung: einerseits werden alle Zinkpole, andererseits alle Kupferpole mit einander verbunden. Fig. 1.

Fig. 1.



- b) Durch Säulen- oder Hintereinander-Schaltung: jeder Zinkpol wird mit dem Kupferpol des nächsten Elements verbunden. Fig. 2.

Fig. 2.



- e) Durch Gruppen- oder gemischte Schaltung:
bei dieser verbindet man zunächst je gleichviel
Elemente zu Gruppen und verfährt bez. der
weiteren Schaltung dieser Gruppen wie mit ein-
zelnen Elementen. Die Ausführung ist etwas
verschieden, je nachdem man innerhalb der
Gruppe die Schaltung a) Fig. 3, oder b) Fig. 4,
wählt. Die erstere ist vorzuziehen, weil hierbei
kleine Fehler der einzelnen Elemente weniger
stören.

Fig. 3.

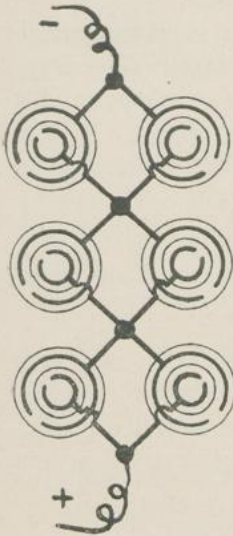
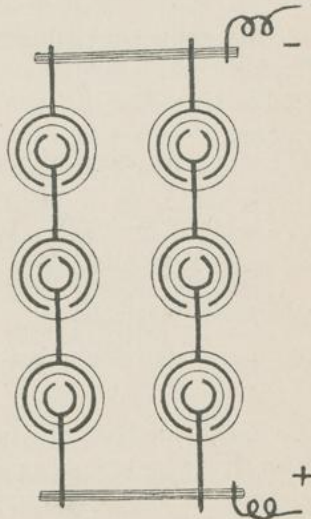


Fig. 4.



Wann ist nun die eine und wann die andere Com-
bination am Platze?

Zur Beantwortung dieser Frage gehen wir von folgenden Sätzen aus:

1. Die Maximalleistung einer Batterie wird dann erzielt, wenn der Widerstand im äusseren Stromkreis gleich dem Gesamtwiderstand der Batterie ist.

2. Bei der Parallelschaltung von Elementen wird die electromotorische Kraft der Batterie nicht verändert, aber der innere Widerstand vermindert sich direct mit der Anzahl der Elemente.

3. Bei der Säulenschaltung addiren sich sowohl die Spannungen als auch die Widerstände der einzelnen Elemente.

Bezeichnet man demnach mit e die electromotorische Kraft eines Elements, mit w seinen inneren Widerstand, so hat eine Batterie von n parallel geschalteten Elementen

die electromotorische Kraft e
den inneren Widerstand $\frac{w}{n}$.

Dagegen eine Batterie von n hintereinander geschalteten Elementen

die electromotorische Kraft $n \cdot e$
den inneren Widerstand $n \cdot w$.

Liegt eine Batterie vor aus n hintereinander geschalteten Gruppen von je a parallel verbundenen Elementen, so herrscht in jeder Gruppe

die electromotorische Kraft e
der innere Widerstand $\frac{w}{a}$,

also in der ganzen Batterie von n solchen Gruppen

die electromotorische Kraft $n \cdot e$
 der innere Widerstand $n \cdot \frac{w}{a}$

Nach dem Ohm'schen Gesetz ist die in einem Stromkreis herrschende Stromstärke gleich der electromotorischen Kraft dividirt durch den gesammten Widerstand. Der letztere setzt sich zusammen aus dem inneren Widerstand W_i der Batterie und dem Widerstand W_a des äusseren Stromkreises, so dass die Stromstärke J durch die Formel ausgedrückt wird

$$J = \frac{E}{W_i + W_a}$$

Diese Formel ergibt eine doppelte Möglichkeit, die Stromstärke zu erhöhen: nämlich entweder durch Vergrösserung des Zählers oder durch Verkleinerung des Nenners. Das erstere würde eine Hintereinander-Schaltung von Elementen bedeuten (Vergrösserung der electromotorischen Kraft), das letztere eine Parallel-Schaltung (Verminderung von W_i). Welcher Weg der richtige ist, hängt davon ab, ob W_a gross oder klein ist im Verhältniss zu W_i . Einige Beispiele werden zeigen, dass bei grossem Aussenwiderstand eine Hintereinander-Schaltung von Elementen richtig ist, bei geringem Aussenwiderstand dagegen eine Parallelschaltung.

Beispiele.

Electromotorische Kraft eines Elementes 1,05 V.
 innerer Widerstand eines Elementes 0,5 Ω .
 a) äusserer Widerstand 10 Ω .

Stromstärke bei verschiedenen Combinationen:

1 Element: $J = \frac{1,05}{0,5 + 10} = 0,10 \text{ Amp.}$

$$2 \text{ Elemente hintereinander } J = \frac{2 \cdot 1,05}{2 \cdot 0,5 + 10} = 0,19 \text{ Amp.}$$

$$4 \quad \text{ " } \quad \text{ " } \quad J = \frac{4 \cdot 1,05}{4 \cdot 0,5 + 10} = 0,35 \quad \text{ "}$$

Dagegen:

$$2 \text{ Elemente parallel } J = \frac{1,05}{\frac{0,5}{2} + 10} = 0,102 \quad \text{ "}$$

$$4 \quad \text{ " } \quad \text{ " } \quad J = \frac{1,05}{\frac{0,5}{4} + 10} = 0,104 \quad \text{ "}$$

$$b) \text{ äusserer Widerstand } = 0,1 \Omega.$$

Stromstärke bei verschiedenen Combinationen:

$$1 \text{ Element } J = \frac{1,05}{0,5 + 0,1} = 1,75 \text{ Amp.}$$

$$2 \text{ Elemente hintereinander } J = \frac{2 \cdot 1,05}{2 \cdot 0,5 + 0,1} = 1,91 \quad \text{ "}$$

$$4 \quad \text{ " } \quad \text{ " } \quad J = \frac{4 \cdot 1,05}{4 \cdot 0,5 + 0,1} = 2,0 \quad \text{ "}$$

Dagegen:

$$2 \text{ Elemente parallel } J = \frac{1,05}{\frac{0,5}{2} + 0,1} = 3,0 \quad \text{ "}$$

$$4 \quad \text{ " } \quad \text{ " } \quad J = \frac{1,05}{\frac{0,5}{4} + 0,1} = 4,67 \quad \text{ "}$$

Wenn man einige Zeit electrochemisch gearbeitet hat, wird man bald beurtheilen lernen, ob man es bei einem Versuch mit hohem oder geringem Widerstand zu thun hat, und wie man demnach die Batterie schalten muss. Bis man sich diese Erfahrung angeeignet hat,

bleibt das einfachste Mittel — probiren! Man schaltet zwischen Batterie und Versuchszelle noch ein Messinstrument ein und variirt die Schaltung so lange, bis man ein Strommaximum erreicht hat. Die gemischte Schaltung wird man vorzugsweise dann brauchen, wenn die vorhandenen Elemente entweder infolge ihrer geringen Grösse oder aus anderweiten Ursachen viel inneren Widerstand haben. Es wirken dann mehrere parallel geschaltete so wie ein grösseres Modell derselben Art.

In den Laboratorien findet man noch vielfach Meidinger-Elemente. Dieselben eignen sich jedoch nur für analytische Zwecke, wo man meist sehr geringe Anforderungen an die Stromstärke stellt; für alle übrigen electrochemischen Versuche sind sie unbrauchbar, denn man müsste eine zu grosse Anzahl derselben gruppenweise schalten, um über einigermaßen starke Ströme verfügen zu können.

Accumulatoren.

Während die galvanischen Elemente in ihrer Handhabung alle mehr oder weniger unbequem sind und in der Regel keine starken Ströme liefern, besitzen wir in den Secundär-Batterien oder Accumulatoren* eine ausgezeichnete Stromquelle für die verschiedensten electrochemischen Versuche.

Die Accumulatoren bestehen aus einer Anzahl Bleiplatten, welche mit sogen. „activer Masse“ ausgefüllt bez. überzogen sind. Diese ist auf den als Anode die-

*) Eine klare, gedrängte Zusammenstellung über Wirkung und Behandlung der Accumulatoren findet sich in Elbs, Die Accumulatoren. Leipzig 1893. Ausführlicher, auch die geschichtliche Entwicklung, behandelt dieselben Hoppe, Die Accumulatoren. II. Aufl. Berlin 1892.

nenden positiven Platten Bleisuperoxyd, bei den negativen Platten, den Kathoden, Bleischwamm. Als Füllung dient reine verdünnte Schwefelsäure. Die Accumulatoren sind demnach galvanische Elemente, welche zunächst infolge Mangels jeden Diaphragmas einen verschwindend geringen inneren Widerstand haben, und welche ferner die Eigenschaft besitzen, dass man sie nach ihrer Erschöpfung nicht auseinander zu nehmen und mit frischen Chemikalien zu füllen braucht, sondern welche man durch Verbindung mit einer stärkeren Stromquelle direct wieder „laden,“ d. h. in gebrauchsfähigen Zustand zurückversetzen kann.

Die verschiedenen im Handel befindlichen Typen von Accumulatoren sind ziemlich gleichwerthig, jede Fabrik übernimmt eine zweijährige Garantie. Zu den besten gehören die von Tudor und von Correns. Man hat stationäre und transportable Accumulatoren, welche sich dadurch unterscheiden, dass die letzteren allseitig geschlossene Gefässe besitzen, so dass sie transportirt werden können, ohne dass man ein Verschütten von Säure zu befürchten hat.

Unter der Capacität eines Accumulators versteht man seine Leistung in Ampèrestunden. Sobald die höchste zulässige Stromstärke, welche für die einzelnen Typen verschieden ist, nicht überschritten wird, ist es gleichgültig, in welcher Weise man die aufgespeicherte Electricitätsmenge verwendet, ob man kurze Zeit einen starken oder längere Zeit einen schwächeren Strom entnimmt. Ein Accumulator von 100 Ampèrestunden Capacität mit 10 Amp. Maximalstrom kann entladen werden

mit 10 Amp. während 10 Stunden, oder

„	5	„	„	20	„
„	1	„	„	100	„

u. s. w.

Obgleich die meisten Fabriken genaue Anweisung geben, wie ihre Accumulatoren behandelt werden sollen, mögen doch hier die allgemeinen Regeln für ihren Gebrauch kurz angeführt werden. Die kleineren Typen, andere kommen für den vorliegenden Zweck nicht in Betracht, werden fertig montirt versandt. Man reinigt das Glasgefäß, ohne die Platten herauszunehmen, sorgfältig von allem Verpackungsmaterial und füllt dann soviel kalte, verdünnte reine Schwefelsäure von 1,15 sp. Gew. ein, dass die Platten völlig davon bedeckt werden. Die Reinheit der verwendeten Säure ist wesentlich, namentlich soll ein Gehalt von Arsen oder Salpetersäure schädlich wirken. Steht ganz reine Schwefelsäure nicht zur Verfügung, so leitet man ein Weilchen Schwefelwasserstoff durch die verdünnte Säure, filtrirt die abgeschiedenen Schwefelmetalle ab und entfernt den noch absorbirten Schwefelwasserstoff durch Einblasen von Luft. Nach beendeter Füllung schreitet man zum Laden. Die braunen + Platten werden mit der + Leitung der Dynamomaschine (bez. der Thermosäule) verbunden, die grauen — Platten mit dem — Pol, und nun wird ein Strom von der Stärke hindurch geschickt, welche von der Fabrik für das betr. Modell vorgeschrieben ist. Diese erste Ladung dauert gewöhnlich sehr lange, einen Tag und darüber, denn während derselben werden die Platten erst auf ihre normale Beschaffenheit gebracht. Der Strom wird anscheinend vollständig vom Accumulator aufgenommen, die + Platten ändern ihre Farbe allmählich in schwarzbraun, die — Platten in hellgrau. Endlich beginnt zuerst an den positiven, dann auch an den negativen Platten eine immer stärker werdende Gasentwicklung („die Säure kocht“). Erst nachdem diese Gasentwicklung an sämtlichen Platten eine Stunde lang

gleichmässig stattgefunden hat, ist die erste Ladung als beendet zu betrachten. Die Spannung ist jetzt pro Zelle auf 2,5 V. gestiegen, das spec. Gewicht der Säure von 1,15 auf 1,18—1,20; alle active Masse ist an den positiven Platten vollständig oxydirt, an den negativen vollständig reducirt worden. Hierauf wird das erste Mal entladen und zwar ebenfalls mit der vorgeschriebenen Stromstärke. Die Spannung sinkt dabei rasch auf 2,0 V. und bleibt dann lange constant. Sobald sie weiter bis auf 1,85 V. gefallen ist, muss man das Entladen unterbrechen. Man ladet hierauf ein zweites Mal, bis die Spannung wieder auf 2,5 V. gestiegen ist und an sämtlichen Platten gleichmässige Gasentwicklung auftritt, und kann den Accumulator nunmehr in Benutzung nehmen.

Um demselben eine lange Dauer zu sichern, muss man

1. ihn vor Kurzschluss bewahren,
2. die von der Fabrik angegebene Maximalstärke des Entladungsstromes nicht überschreiten,
3. nicht weiter als bis 1,85 V. entladen,
4. den Accumulator nicht lange in entladendem Zustand stehen lassen; braucht man ihn längere Zeit nicht, so wird er zuvor geladen.
5. Es ist gut, ihn hin und wieder einmal zu überladen, d. h. die Ladung, wenn auch mit schwächerem Strom, einige Stunden fortzusetzen, nachdem das „Kochen“ eingetreten ist.
6. Macht es sich aus irgend einem Grunde einmal nöthig, eine Platte aus der Säure herauszuheben, so lässt man sie nicht an der Luft trocken werden, sondern stellt sie sofort in verdünnte Säure.

Auch heftige Erschütterungen sind zu vermeiden, weil sie das Ausfallen der activen Masse befördern.

Beobachtet man diese Regeln, so wird man seine Accumulatoren lange Zeit in tadellosem Zustand erhalten, besonders wenn man nicht darauf ausgeht, den höchsten Nutzeffect zu erzielen, sondern lieber einmal zu oft als einmal zu wenig ladet.

Ist nach längerer Zeit der Flüssigkeitsspiegel unter den oberen Rand der Platten gesunken, so füllt man reines Wasser nach. Man notirt sich das spec. Gewicht der Säure nach beendeter Ladung und Entladung und kann dann jederzeit nach dem Stand des Aräometers bemessen, wie weit die Ladung ungefähr aufgebraucht ist. Stellt sich im Lauf der Zeit nach beendeter Ladung nicht mehr das anfangs für diesen Zustand beobachtete spec. Gewicht ein, so ist dies ein Zeichen, dass die Säure durch Verspritzen und dergleichen an Gehalt verloren hat. Man ersetzt dann einige Male das verdunstete Wasser durch verdünnte Säure, bis der Fehler wieder beseitigt ist.

Die Accumulatoren haben sich sowohl für analytische als auch für Versuchszwecke vorzüglich bewährt. Man kann mittelst derselben Stromstärke und Spannung einer zur Verfügung stehenden Elektrizitätsquelle in der verschiedensten Weise abändern. Es stehe z. B. eine kleine Dynamomaschine von 5 V. und 30 Amp. zur Verfügung sowie 6 Accumulatoren von je 10 Amp. Maximalentladung.

Da die Maschine nur $\frac{5}{2,5} = 2$ Accumulatoren in Säulenschaltung zu laden gestattet, so schaltet man je 3 Stück parallel zu Gruppen und spannt diese beiden Gruppen

hintereinander an die Maschine. Nach beendeter Ladung kann man folgende Gruppierungen vornehmen:

1 bis 6 hintereinander liefern	2—12 V. und	10 Amp.
1 „ 6 parallel	„ 2 „ „	10—60 „
2 × 3	„ 4 „ „	30 „
3 × 2	„ 6 „ „	20 „

Der raschen Verbreitung der Accumulatoren in den Laboratorien stand bisher der Umstand hindernd im Wege, dass nur wenige derselben die zum Laden nothwendige Dynamomaschine nebst Antrieb besitzen. In neuerer Zeit sind mit bestem Erfolg Thermosäulen zum Laden benutzt worden,* es steht daher der allgemeinen Benutzung von Accumulatoren nichts mehr im Wege.

Thermosäulen.

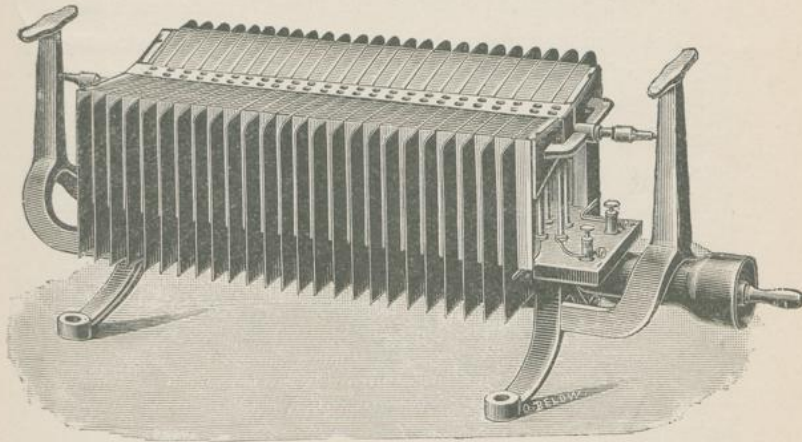
Die Thermosäulen, welche gestatten, Wärme in Electricität umzuwandeln, würden die bequemste Stromquelle für Laboratorien sein, wenn es gelänge, dieselben in einer genügend dauerhaften Form herzustellen. Die älteren Constructionen von Noë und Clamond liessen leider in dieser Beziehung viel zu wünschen übrig, sie erforderten eine sehr aufmerksame Bedienung sowie constanten Gasdruck und brachten es trotzdem nur selten zu einer längeren Lebensdauer. Die neuere Construction von Gülcher**, welche 1891 auf der Frankfurter electricischen Ausstellung zum Betrieb von medicinischen Apparaten und Laden von Accumulatoren zu sehen war, scheint gegen die vorgenannten Ausführungen wesentliche Fortschritte aufzuweisen, denn die Urtheile, welche über dieselben bekannt

*) Elbs, Chem.-Ztg. 1893, 66.

**) D. R.-P. No. 44146.

geworden sind, lauten im allgemeinen günstig. Diese Thermosäulen (Fig. 5) werden von der Firma Julius Pintsch,

Fig. 5.



Berlin O., in drei Grössen in den Handel gebracht. Das grösste Modell, welches stündlich 170 L. Gas verbraucht, entwickelt eine electromotorische Kraft von 4 V. bei einem inneren Widerstand von 0,6—0,7 Ω . Der Preis stellt sich auf 190 \mathcal{M} . Die kleineren Modelle verbrauchen 130 bez. 70 L. Gas, haben 3 bez. 1,5 V. Spannung und kosten 160 bez. 85 \mathcal{M} . Will man mit dem grössten Modell Accumulatoren laden, so muss man diese alle parallel schalten, es resultirt dann eine Stromstärke von 2—3 Amp. Für mässige Ansprüche genügt demnach eine solche Thermosäule. Ihre Hauptanwendung findet sie gegenwärtig in Laboratorien zu electrolytischen Analysen, in Verbindung mit Accumulatoren lässt sie sich für viele Zwecke verwenden.

Dynamomaschinen.

Für alle solchen Versuche, welche längere Zeit hindurch und mit stärkerem Strom betrieben werden sollen, ist die einzig richtige Stromquelle eine Dynamomaschine.

Die Wirkung einer Dynamomaschine beruht bekanntlich darauf, dass in einer geschlossenen Drahtwicklung electriche Ströme inducirt werden, wenn dieselbe in einem magnetischen Felde, d. h. zwischen den Polen eines Magnets, bewegt wird. Den bewegten Theil nennt man den Anker oder Inductor. Er hat äusserlich entweder die Gestalt eines flachen Ringes — Ringanker, Flachringmaschine —, oder die Gestalt eines Cylinders — Trommelinductor, Trommelmaschine. Die Magnete, zwischen denen sich der Anker bewegt, sind nicht permanente, sondern Electromagnete, welche durch einen Theil des von der Maschine producirtes Stromes erregt werden. Die im Anker auftretenden einzelnen Stromimpulse werden in dem Commutator oder Collector gesammelt und durch die Bürsten an die äussere Stromleitung abgegeben.

Man unterscheidet zunächst zwei grosse Gruppen von Dynamomaschinen: Gleichstrommaschinen und Wechselstrommaschinen. Bei den ersteren haben je zwei auf einander folgende Stromimpulse die gleiche, bei den letzteren entgegengesetzte Richtung. Für electrochemische Zwecke haben wir es nur mit Gleichstrommaschinen zu thun.

Ferner unterscheidet man bezüglich der Bewickelung: Hauptstrommaschinen, Nebenschlussmaschinen und Compoundmaschinen. Bei den Hauptstrommaschinen geht der im Anker producirt Strom zunächst um die Electromagnete, dann durch den äusseren Stromkreis und zurück zum Anker. Bei den Nebenschlussmaschinen wird der

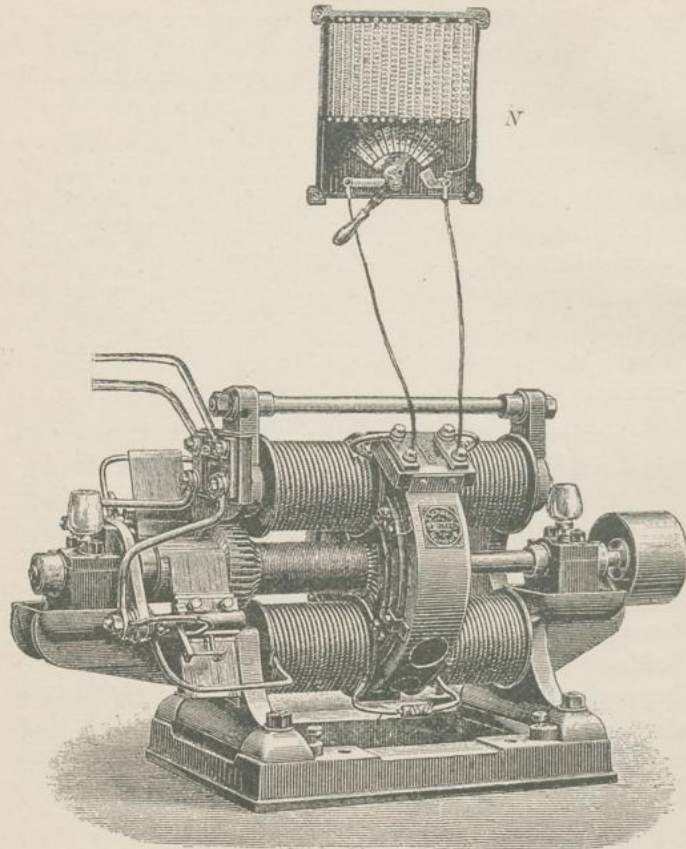
im Anker auftretende Strom getheilt: der kleinere Theil läuft um die Electromagnete, der grössere durch den äusseren Stromkreis. Bei der gemischten oder Compound-Bewickelung liegt ein Theil der Electromagnete im Nebenstrom, der andere Theil im Hauptstrom.

Uns interessiren hier ausschliesslich die Nebenschlussmaschinen, weil sie die wichtige Eigenschaft besitzen, dass sich bei ihnen nicht infolge irgend welcher Betriebsstörungen die Pole umkehren können. Diese sollen daher etwas näher betrachtet werden, wobei als Typus die bekannte Schuckert'sche Flachringmaschine zu Grunde gelegt sein soll, deren Construction Figur 6 darstellt.

Der im äusseren Stromkreis circulirende Strom wird kurz der Hauptstrom, der die Magnete umfliessende Antheil der Nebenstrom der Maschine genannt. Dieser Nebenstrom ist an einer Stelle unterbrochen zur Einfügung des „Nebenschlussregulators“ N, welcher dazu dient, die Klemmenspannung der Maschine zu verändern. Schaltet man nämlich mit Hülfe dieses Regulators Widerstand in die Magnetwicklung ein, so fliesst durch dieselbe weniger Strom als vorher, infolge dessen wird der Magnetismus, also auch das magnetische Feld der Maschine, schwächer, und die Spannung sinkt. Bei geeigneter Bewickelung des Nebenschlussregulators kann man die Spannung in ziemlich weiten Grenzen variiren.

Ein anderes Mittel, die Spannung zu verändern, besteht in der Aenderung der Tourenzahl. Bei höherer Tourenzahl steigt die Spannung der Maschine, bei niederer sinkt sie. Man wird jedoch zu diesem Mittel nur dann greifen, wenn es sich um aussergewöhnliche Fälle handelt, sonst wird man möglichst die von der Fabrik als normal

Fig. 6.



vorgeschriebene Tourenzahl innehalten. So lieferte z. B.
eine Maschine bei einem äusseren Widerstand von $0,068 \Omega$:

	bei 500 Touren	125 Amp.	bei 8,5 V.
„	800	215	14,7
„	1000	280	19,0

Die Dynamomaschinen werden für die verschiedensten Stromstärken und Spannungen gebaut. Für chemische Zwecke handelt es sich besonders um starke Ströme, die Spannungen sind relativ gering. Die Abmessungen dieser sogenannten „chemischen Dynamos“ schwanken daher in der Regel von 4—20 Volt, 100—500 Ampères. Für die electrische Beleuchtung sind die gebräuchlichsten Spannungen 65 und 110 V., dagegen beträgt die Stromstärke meist unter 100 Amp.

Das Product aus Volt und Ampère bezeichnet die Arbeitsleistung der Maschine; die Zahl der Volt-Ampère ist demnach direct ein Massstab für die von der Dynamomaschine in jedem Augenblick abgegebene mechanische Kraft.

Lässt man eine chemische Dynamomaschine „leer laufen“, d. h. ohne sie mit einem Stromkreis zu verbinden, so wird sie alsbald die Spannung zeigen, welche ihr bei der herrschenden Tourenzahl zukommt. Man nennt diese Spannung die „Klemmenspannung“, sie ist stets grösser, als die Spannung während des Betriebs, kurz auch „Betriebsspannung“ genannt. Verbindet man nunmehr einen Drahtwiderstand oder dergl. mit den beiden Polklemmen der Maschine, so wird sie sofort einen Strom liefern, der sich aus dem Ohm'schen Gesetz berechnen lässt. Nach dem letzteren ist die Stromstärke J:

$$J = \frac{\text{Electromotorische Kraft}}{\text{Summe der Widerstände}}$$

Die electromotorische Kraft ist die Spannung der Maschine, als Widerstand hat man ausserhalb der Maschine den Widerstand W, innerhalb derselben den Widerstand des Ankers A und den Widerstand der Magnetwicklung M. Letztere beiden Widerstände sind, weil die

Maschine eine Nebenschlussmaschine ist, parallel geschaltet, sie betragen zusammen also $\frac{A \cdot M}{A + M}$, für die Stromstärke ergibt demnach die Rechnung

$$J = \frac{E}{W + \frac{A \cdot M}{A + M}}$$

Verringert man den Aussenwiderstand, so steigt die Stromstärke, die Spannung fällt, das Produkt aus Spannung und Stromstärke, also die Arbeitsleistung der Maschine, nähert sich einem Maximum. Vermindert man den Aussenwiderstand noch weiter, so nimmt die Spannung weiterhin stetig ab, die Stromstärke nimmt erst noch eine Weile zu, dann jedoch ebenfalls ab, bis sie beim Aussenwiderstand Null, also Kurzschluss der Maschine, ebenfalls auf 0 sinkt: die Maschine ist stromlos. Die Zahl der Volt-Ampère ist hierbei von ihrem Maximalwerth natürlich ebenfalls rasch bis auf 0 gefallen.

Dieses Verhalten hängt mit dem Stromabfluss nach den Magnetschenkeln zusammen. So lange der Aussenwiderstand gross ist gegen den Widerstand der Magnetarmatur, so lange wird ein grosser Theil des Stroms den bequemen Weg um die Electromagnete wählen, diese kräftig erregen und eine hohe Spannung erhalten. Nimmt der Aussenwiderstand immer mehr und mehr ab, so fliesst immer weniger Strom um die Schenkel, das magnetische Feld der Maschine wird immer schwächer, damit natürlich auch ihre Leistung, und wenn endlich der Aussenwiderstand beim Kurzschluss auf 0 gesunken ist, fliesst gar kein Strom mehr um die Magnete: die Maschine hört auf zu wirken.

Die Maximalleistung einer Dynamomaschine tritt dann ein, wenn der Aussenwiderstand ein wenig grösser ist,

als der innere Widerstand der Maschine. Diese Bedingung liegt der von der Fabrik angegebenen Normalleistung einer Dynamomaschine zu Grunde.

Kleinere, zu Versuchszwecken bestimmte Dynamomaschinen baut man wohl auch als Modelle „mit zwei Stromabgebern.“ Diese tragen auf dem Anker eine doppelte Wickelung. Die Hauptwickelung mit geringem Widerstand liefert ihren Strom durch die Hauptbürsten an den äusseren Stromkreis ab, die andere Wickelung besitzt einen grösseren Widerstand, und der darin erzeugte Strom wird durch die Nebenbürsten lediglich an die Magnete abgeliefert. Es sind also Maschinen mit separater Magnet-erregung. Kommt bei diesen Maschinen durch irgend eine Unvorsichtigkeit ein Kurzschluss vor, so ist der einzige Widerstand im ganzen Stromkreis die Hauptankerwickelung, die ganze von der Maschine gelieferte Energie wird dann dazu verbraucht, diesen Widerstand zum Glühen zu bringen: der Anker „brennt durch,“ wie man zu sagen pflegt, und die Maschine ist ruiniert. In gleicher Weise werden auch Hauptstrommaschinen und Compoundmaschinen durch Kurzschluss beschädigt, nur die reine Nebenschlussmaschine ist unempfindlich.

Wer sich entschliesst, für Versuchszwecke eine kleine Dynamomaschine anzuschaffen, wird natürlich den Wunsch hegen, dass dieselbe für alle möglichen Zwecke geeignet sein soll. In vollem Masse ist dieses Verlangen freilich nicht zu befriedigen, vor allen Dingen fordere man nicht, mit einer und derselben Maschine sowohl Electrolysen als auch Schmelzungen im Flammenbogen vornehmen zu können, denn wie schon einmal erwähnt, verlangt der erstere Zweck niedrige Spannung und hohe Stromstärke, der letztere umgekehrt hohe Spannung und mässigen Strom. Immerhin ist es gut, eine reichliche Spannung

zur Verfügung zu haben, denn verringern lässt sich die Spannung leicht, vergrößern aber nur schwierig. Die wenigsten Electrolysen dürften über 5 V. Spannung benöthigen, eine solche wäre demnach für weitaus die meisten Fälle ausreichend, doch empfiehlt sich zu möglichst vielseitiger Verwendung der Maschine der doppelte Betrag aus folgendem Grunde.

Bei allen technischen Versuchen muss stets die Frage im Auge behalten werden: Wie arbeitet man im Grossen? Nun kann aber die Leistung einer Dynamomaschine in doppelter Weise gesteigert werden: entweder durch Vergrößerung der Stromstärke oder durch Vergrößerung der Spannung. Das letztere ist aus später zu erörternden Gründen vorzuziehen. Um die höhere Spannung aber auszunutzen, muss man die electrolytischen Bäder hintereinander anordnen, analog wie bei galvanischen Elementen. Bei dieser Hintereinanderschaltung zeigen sich aber öfter Erscheinungen, die man bei einem einfachen Bad noch nicht wahrnahm. Hat nun die Maschine 10 V. Spannung, so kann man selbst bei 5 V. Badspannung noch Säulenschaltung probiren. Von Bädern mit geringerer Spannung kann man natürlich entsprechend mehr hinter einander schalten.

Eine Maschine von 10 V. Spannung und 70—100 Amp. Strom wird demnach selbst weitgehenden Ansprüchen genügen, die man an eine Dynamomaschine für electrochemische Versuche stellen kann. Der Kraftbedarf stellt sich dabei auf $1\frac{1}{2}$ —2 Pferdestärken.

Einige Regeln für die Aufstellung und den Betrieb kleiner Dynamomaschinen.

Die Maschine soll auf einem genügend festen Fundament aufgestellt sein, welches durch den Antrieb nicht

in Schwankungen geräth. Wo es möglich ist, wird dieses Fundament als Sockel von etwa $\frac{1}{2}$ m Höhe ausgeführt, die Beobachtung und Bedienung der Bürsten wird dadurch wesentlich erleichtert. Sehr angenehm ist es, wenn die Maschine auf sog. Fundamentschienen steht, so dass man sie in der Richtung des Antriebsriemens verschieben kann. Eine solche Verschiebung ist das einfachste und bequemste Mittel, einen schlaff gewordenen Riemen anzuspinnen, welchen man sonst kürzer schneiden und frisch nähen müsste. Die Einrichtung wird auf Wunsch zu jeder Dynamomaschine geliefert.

Die Transmission wird am besten mit einem dreifachen Stufenvorgelege versehen, so dass die mittlere Stufe die normale Tourenzahl liefert; die beiden anderen eine etwas höhere und eine etwas geringere. Gekreuzte Riemen sind zu vermeiden.

Die Lager der Maschine sind stets gut zu ölen, bez. die Selbstöler immer gefüllt zu halten.

Die Bürsten sollen stets leicht aber sicher anliegen. Durch zu festes Anpressen wird der Collector unnöthigerweise abgeführt und erwärmt. Um dem Collector eine lange Dauer zu sichern, soll dieser aus möglichst harter Bronze, die Bürsten aus weichem Kupfer bestehen. Nach den Erfahrungen des Verf. haben sich Blechbürsten besser bewährt als solche aus geradem oder geflochtenem Draht. Sie bestehen aus etlichen Lagen papierdünnem, federhart gewalztem Kupferblech, welches auf der ganzen Breite des Collectors schleift. Infolge ihrer grossen Elasticität und des Fehlens jeglicher Spitzen arbeiten solche Bürsten funkenlos und erhalten den Collector sehr lange glatt.

Neue Bürsten lässt man bei leer laufender Maschine sich erst dem Collector anpassen, hervorragende Spitzen,

die sich durch Abnutzung gebildet haben, schneidet man glatt, da sie sonst durch Funkenbildung den Collector rasch schädigen. Die Bedienung der Bürsten während des Ganges erfordert überhaupt grosse Aufmerksamkeit; sie sind, sobald sich Funken zeigen, nach Lockerung der Befestigungsschrauben so lange zu verschieben, bis sich der Uebelstand gehoben hat. Man hüte sich, bei diesem Reguliren während des Ganges die Bürsten vom Collector abzuheben; ausser einem blendenden Funken kann ein kräftiger Schlag infolge des entstehenden Inductionsstromes die Folge sein. Ueberhaupt muss man beim Abstellen des Hauptstroms vermeiden, die Leitung durch Auseinanderziehen mit beiden Händen zu unterbrechen, so dass der menschliche Körper in die Leitung eingeschaltet wird; dies verursacht stets kräftige Schläge. Im Uebrigen kann man die Leitungen einer chemischen Dynamomaschine während des Ganges jederzeit berühren, ohne irgend welche Empfindung zu verspüren.

Ist der Collector rauh geworden, so presst man zur Glättung bei abgehobenen Bürsten ein Stück feines Smirgelpapier dagegen; bei stärkerer Abnutzung hilft man mit einer Schlichtfeile nach oder lässt den Collector geradezu an einer scharfen Feile wieder rund laufen.

Infolge der Abnutzung sowohl der Bürsten als auch des Collectors bildet sich feiner Metallstaub, der sich auf den verschiedensten Theilen der Maschine ablagert. Er muss oft entfernt werden; von den weniger zugänglichen Theilen mit Hülfe eines Blasebalges, aus den Bürsten durch vorsichtiges Klopfen. Namentlich darf sich auch kein Kupferstaub auf dem Collector und dessen Verbindungen mit dem Anker ansammeln, wodurch Kurzschlüsse einzelner Segmente eintreten könnten.

Die Stromleitung nach den Bädern geschieht am besten durch Flachschienen von genügendem Querschnitt, da diese bequemer Abzweigungen ermöglichen als runde Stangen. Die Verbindung derselben mit der Maschine bewirkt man zweckmässig durch zwei Stücke Kupferseil, damit die Maschine ihre Beweglichkeit bewahrt zu Verschiebungen auf den Fundamentschienen.

Strommessung.

Zur Messung der Stromstärke stehen zwei Wege offen: man benutzt entweder die chemische Wirkung des electrischen Stromes (Voltameter) oder die magnetischen Wirkungen eines von ihm durchflossenen Leiters (Bussole, Galvanometer). Will man die Stromstärke messen, welche in irgend einem Stromkreis, also etwa bei einem Versuch, herrscht, so muss man eines dieser Messinstrumente in den zu messenden Stromkreis einfügen, mithin stets den Kreislauf: Batterie-Versuch-Messinstrument-Batterie inne halten. Ganz falsch wäre es, die Reihenfolge: Batterie-Messinstrument-Batterie herzustellen und anzunehmen, dass die so gefundene Stromstärke identisch sei mit der bei der Reihenfolge Batterie-Versuch-Batterie herrschenden.

Da die electromagnetischen Messapparate sämmtlich empirisch geaicht werden mit Hülfe von Voltametern, so mögen zuerst diese letzteren beschrieben werden. Die Voltameter gründen sich auf das Faraday'sche Gesetz, welches besagt, dass die gleiche Strommenge in gleichen Zeiten äquivalente Mengen chemischer Verbindungen zersetzt. Als solche Verbindungen wählt man Silbernitrat,

Kupfersulfat oder verdünnte Schwefelsäure und bestimmt die in einer gemessenen Zeit abgeschiedenen Mengen Silber, Kupfer oder Knallgas. Man unterscheidet hiernach Silbervoltmeter, Kupfervoltmeter und Knallgasvoltmeter. Bei jedem hat man einige Vorsichtsmaassregeln zu beobachten, um genaue Resultate zu erhalten.

Silbervoltmeter.

Das Silbervoltmeter wird allgemein für das genaueste angesehen, einmal weil der Strom keinerlei Nebenreactionen ausführt, dann aber auch, weil bei dem hohen Aequivalentgewicht des Silbers selbst durch schwache Ströme beträchtliche Silbermengen abgeschieden und daher Wägefehler auf ein Minimum reducirt werden. Als Nachtheil muss hervorgehoben werden, dass das Silber grosse Neigung hat, sich in Krystallen abzuscheiden, welche nur lose an der Kathode haften. Man kann daher keine grösseren Strommengen durch das Instrument hindurch schicken, ohne ein Abfallen des Silbers befürchten zu müssen. Will man starke Ströme mit dem Silbervoltmeter messen, so muss man für genügend grosse Oberfläche der Electroden sorgen und ausserdem den Strom nur ganz kurze Zeit, 1—2 Minuten, hindurch gehen lassen.

Gewöhnlich führt man das Silbervoltmeter so aus, dass man als Kathode eine Silber- oder Platinschale benutzt, welche die mässig concentrirte neutrale Silbernitratlösung aufnimmt, und als Anode einen Stift von Feinsilber eintauchen lässt. Der letztere ist mit einem Leinwandbeutelchen umhüllt, damit nicht Theilchen vom Stift in die Schale fallen und deren Gewicht fälschlicherweise vermehren können.

Eine wesentlich bequemere Form gewinnt das Silbervoltmeter, wenn man ein kleines Becherglas mit der Silberlösung füllt und einerseits ein Feinsilberblech als Anode, andererseits ein Platinblech als Kathode einhängt. Während der Benutzung ist die Flüssigkeit mit einem Glasstabe umzurühren. Zum Schluss wird das Platinblech herausgenommen, abgespült, getrocknet und gewogen. Sind nach einigen Versuchen die Silberkrystalle so gross geworden, dass sie abzufallen drohen, so reinigt man das Platinblech durch Einstellen in Salpetersäure.

Der Strom von der Stärke 1 Ampère scheidet

pro Secunde 0,001118 g Ag,

pro Minute 0,06708 g Ag

ab.

Kupfervoltmeter.

Beim Kupfervoltmeter benutzt man zwei gleich grosse Kupferbleche als Electroden, ein dickeres als Anode, ein dünneres als Kathode, welche in eine Kupfervitriollösung eintauchen. Auch hier muss die Lösung während des Gebrauchs durch Rühren gut gemischt werden. Das abgeschiedene Kupfer muss von hellrother Farbe und fest haftend sein, es wird erst in Wasser, dann in Alkohol getaucht und über einer Flamme getrocknet. Bei starken Strömen ordnet man zu beiden Seiten der Kathode je eine Anode an.

Die seitherigen Angaben besagen, dass man als Füllung eine nahezu gesättigte, völlig neutrale Kupfersulfatlösung benutzen soll. Eine solche verleiht dem Voltmeter aber einen hohen Widerstand, infolge dessen bei seinem Gebrauch eine relativ hohe Spannung verbraucht wird. Ausserdem erhält man bei schwachen Strömen auch zu hohe Resultate, weil alsdann das Kupfer oxydul-

haltig ausfällt. Wie Verf. gezeigt hat,* erhält man für Stromdichten von 0,06—1,5 Amp. pro qdm Kathodenoberfläche, also für einen ganz ausserordentlich grossen Spielraum, völlig exacte Werthe, welche mit dem Silbervoltmeter übereinstimmen, wenn man folgende Lösung verwendet:

15 g kryst. Kupfervitriol,
5 g conc. Schwefelsäure,
5 cem Alkohol,
100 cem Wasser.

Die Spannung ist nur halb so gross, als die für neutrale Füllung erforderliche, nämlich 0,1—0,5 V.

Diese Ausführung des Kupfervoltmeters empfiehlt sich für die meisten praktischen Bedürfnisse, weil es richtige Werthe ergiebt, billig zu beschaffen und leicht zu handhaben ist, ausserdem beliebig lange Zeit in den Stromkreis eingeschaltet werden kann. Es kann ausserdem vortheilhaft als Ampèrestundenzähler verwendet werden (s. S. 45).

Durch 1 Amp. werden
pro Minute 0,0197 g Cu,
pro Stunde 1,181 g Cu
abgeschieden.

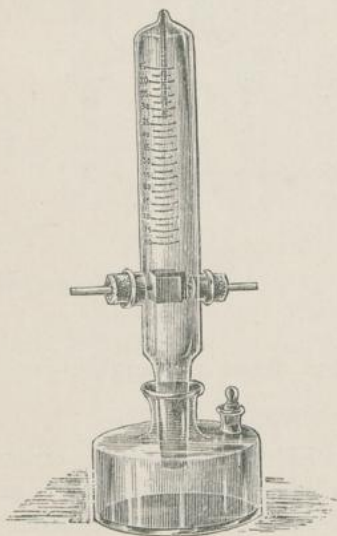
Knallgasvoltmeter.

Beim Knallgasvoltmeter zersetzt man zwischen zwei Platinblechen verdünnte Schwefelsäure (spec. Gewicht 1,15—1,2) und misst das entwickelte Knallgas. 1 Amp. liefert pro Minute 10,44 cem Knallgas (0° C und 760 mm Druck). Das Knallgasvoltmeter ist dadurch bequem,

*) Chem.-Ztg. 1893, 543.

dass man jede Wägung erspart — die Reduction des Gasvolumens kann man Tabellen entnehmen — und der Apparat nach wenig Augenblicken für eine neue Messung bereit ist. Dieser Annehmlichkeit gegenüber fällt jedoch ein Nachtheil schwer in's Gewicht, das ist die hohe Spannung, welche das Knallgasvoltmeter erfordert. Diese schwankt je nach der Grösse des Instruments zwischen 1,7—2,5 V. Um demnach mittelst Knallgasvoltmeter die Stromstärke bei einem Versuch zu ermitteln, welcher für sich 4 V. Spannung verlangt, ist eine Stromquelle von ca. 6 V. Spannung nöthig!

Fig. 7.



Will man durchaus ein Knallgasvoltmeter benutzen, so empfiehlt sich die Construction von Kohlrausch (Fig. 7), bei welcher das Eudiometergefäss durch Umdrehen des Apparates gefüllt wird. Auch aus

dem Schmitt'schen Stickstoffeudiometer lässt sich ein praktisches Knallgasvoltmeter construiren (Fig. 8), wenn man die Electroden durch den Gummistopfen einführt. Die Messbürette wird während des Gebrauchs etwas vom Gummistopfen aufwärts geschoben,

beim Ablesen auf diesen aufgesetzt und mit dem beweglichen Niveaurohr Gleichgewicht im Druck hergestellt.

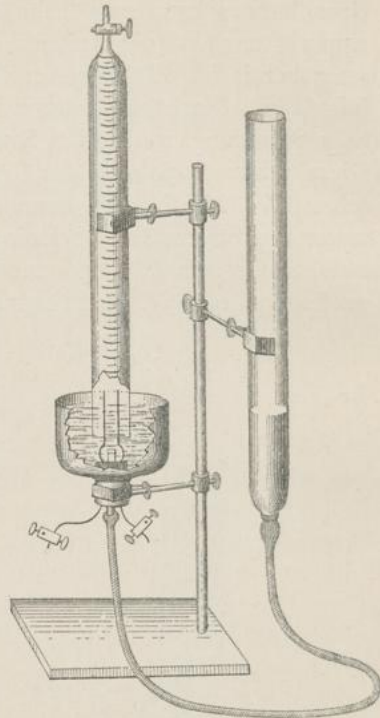
Die genannten Voltmeter eignen sich nur in seltenen Fällen zur dauernden Einschaltung in den Stromkreis behufs Messung der Stromstärke, weil ihre Ablesung gewöhnlich eine Unterbrechung des Versuchs nöthig macht, und weil sie ferner den Gesamtwiderstand des Stromkreises in unerwünschter Weise vermehren. Diese beiden Uebelstände werden vermieden bei den Messapparaten, die auf electromagnetischer Grundlage beruhen, und welche nachstehend beschrieben werden sollen.

Das einfachste Instrument dieser Gattung ist die

Tangentenbussole.

Sie besteht aus einem kreisförmig gebogenen, starken Kupferdraht, in dessen Mittelpunkt eine an einem Coconfaden hängende Magnetnadel über einer Kreistheilung schwingt. Die Ringebene wird in den Meridian gestellt, also in die Richtung der Nadel. Die letztere soll kurz

Fig. 8.



sein im Verhältniss zum Ringdurchmesser, nicht über $\frac{1}{6}$; die Stärke ihres Magnetismus ist ohne Einfluss auf die Messung. Um trotz kurzer Nadel eine grosse Kreistheilung und damit bessere Ablesung zu erzielen, ist an derselben ein leichter, langer Zeiger befestigt.

Wird die Nadel um α^0 aus dem Meridian abgelenkt, so ist die Stromstärke

$$J = c \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

wobei c eine für jedes Instrument constante Grösse bedeutet.

Um diese Constante c der Bussole zu bestimmen, schaltet man die letztere nebst einem der besprochenen Voltameter in den Stromkreis einer constanten Electricitätsquelle. (Reihenfolge also: Batterie-Voltameter-Bussole-Batterie.) Man schliesst den Strom auf einige Minuten, notirt den mittleren Nadelausschlag und berechnet aus der Angabe des Voltameters die Stromstärke in Ampère. Ergab sich bei α^0 Ablenkung die Stromstärke J Amp., so ist die gesuchte Constante

$$c = \frac{J}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

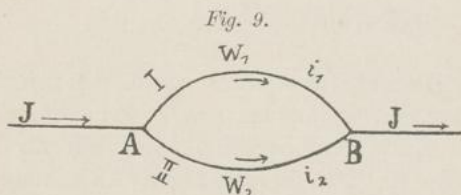
Man stellt mehrere solche Versuche bei verschiedenen Stromstärken an, nimmt aus den so erhaltenen Werthen von c das Mittel und berechnet sich ein für alle Mal eine Tabelle für die verschiedenen Ablenkungen. Um die Stromstärke zu verändern, schaltet man entweder ein Element mehr zu, oder man fügt in die Leitung einen Neusilberdraht als Widerstand ein.

Eine Abänderung der Tangentenbussole rührt von Gaugain her. Bei dieser schwingt die Magnetnadel nicht im Mittelpunkt des Ringes, sondern sie ist um $\frac{1}{4}$ seines Durchmessers aus der Ringebene herausgerückt. Bei

dieser Anordnung kann die Länge der Nadel wesentlich grösser sein, als bei der gewöhnlichen Ausführung, ehe eine Abweichung vom Tangentengesetz eintritt.

Hat man sich für die Bussole eine Tabelle angefertigt, so wird man bald ansehen, dass zwischen 60° und 90° die Messungen unsicher werden, weil pro Grad Ablenkung der Stromzuwachs immer grösser wird. Ueber 65° sollte man nicht gehen. Will man auch solche Stromstärken messen, welche über dieser Grenze liegen, so bleiben zwei Wege offen: entweder man benutzt eine zweite Bussole, welche bei der gleichen Nadellänge einen grösseren Ringdurchmesser hat, oder man bringt einen sogen. Nebenschluss an.

Verbindet man zwei Punkte in einem Stromkreis nicht durch einen einzigen Draht, sondern durch zwei Drähte von verschiedenem Widerstand, so verhalten sich die Stromstärken in beiden Drähten umgekehrt wie deren Widerstände. Wenn also der Strom J zwischen den Punkten A und B (Fig. 9)



die beiden Drähte I und II vorfindet mit den Widerständen W_1 bez. W_2 , so theilt er sich in die beiden Componenten i_1 und i_2 , zwischen welchen die Beziehungen gelten

1. $i_1 + i_2 = J$,
2. $i_1 : i_2 = W_2 : W_1$.

Ist z. B. der Widerstand W_1 ein Drittel von W_2 , so fliesst durch ihn 3 Mal soviel Strom als durch jenen, oder, auf J bezogen, ist : $i_1 = \frac{3}{4} J$ und $i_2 = \frac{1}{4} J$. Schaltet man demnach in einen Stromkreis eine Bussole ein und verbindet die Klemmschrauben derselben ausserdem noch durch einen Draht, so hat man es durch den Widerstand des gewählten Drahtes in der Gewalt, den grösseren Theil des gesammten Stroms durch diesen Nebenschluss und nur einen beliebigen Bruchtheil durch die Bussole zu leiten, wodurch das Messbereich der letzteren entsprechend vergrössert wird. Hat der Nebenschluss gleichen Widerstand wie die Bussole, so bekommt diese nur die Hälfte des Gesamtstroms, ihre Angaben sind demnach zu verdoppeln. Ist allgemein der Widerstand des Nebenschlusses $\frac{1}{n}$ von dem der Bussole, so sind die Angaben zu multipliciren mit $n + 1$; will man andererseits $\frac{1}{n}$ des Gesamtstroms durch die Bussole leiten, so muss man $\frac{1}{n - 1}$ ihres Widerstandes als Nebenschluss anlegen. Ist der Nebenschlusswiderstand nicht genau bekannt, so ermittelt man die neuen Angaben der Bussole durch erneute Aichung mit einem Voltameter. Den als Nebenschluss benutzten Draht darf man nicht geradlinig ausspannen, weil der ihn durchfliessende Strom sonst die Nadel beeinflusst, sondern er muss bifilar aufgewickelt werden. Was die Aufstellung einer Bussole anbetrifft, so ist stets darauf zu achten, dass sie nicht durch nahe gelegene Stromleitungen beeinflusst wird; man verbindet sie daher mit der Hauptleitung durch zwei längere Drähte, welche dicht nebeneinander liegen, so dass ihre Inductionswirkungen vernachlässigt werden können.

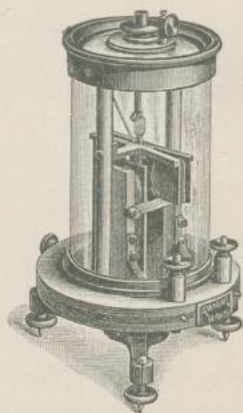
Durch die Anwendung eines Nebenschlusses wird es

möglich, sehr empfindliche Bussolen mit vielen Drahtwindungen, sogen. Multiplicatoren oder Galvanometer, zur Strommessung zu benutzen. Die Angaben eines solchen Instruments können nicht durch eine einfache Formel berechnet werden, sondern man muss dasselbe in seinem ganzen Messbereich mittelst Voltmeter aichen (s. S. 98).

Torsionsgalvanometer.

Ein ausserordentlich feines und für exacte Messungen fast unentbehrliches Instrument ist das Torsionsgalvanometer von Siemens & Halske (Fig. 10). Ein mit Kupfer-

Fig. 10.



dämpfung versehener Glockenmagnet befindet sich zwischen zahlreichen Multiplicatorwindungen und hängt an einer Feder, durch deren Drehung man die Ablenkung des Magnets compensiren und ihn in die Anfangsstellung zurückführen kann. Die Grösse des Torsions-

winkels ist demnach ein Maass für den das Instrument durchfliessenden Strom. Die Abmessungen sind so gewählt, dass die Drahtwindungen genau 1Ω Widerstand besitzen und 1° Ablenkung $0,001$

Amp. entspricht. Bei einem Nebenschluss von $\frac{1}{9} \Omega$ ist

die Angabe zu verzehnfachen, d. h. 1° entspricht $0,01$ Amp., analog bedeutet bei einem Nebenschluss von

$$\frac{1}{99} \Omega : 1^\circ = 0,1 \text{ Amp.},$$

$$\frac{1}{999} \Omega : 1^\circ = 1 \text{ Amp.}$$

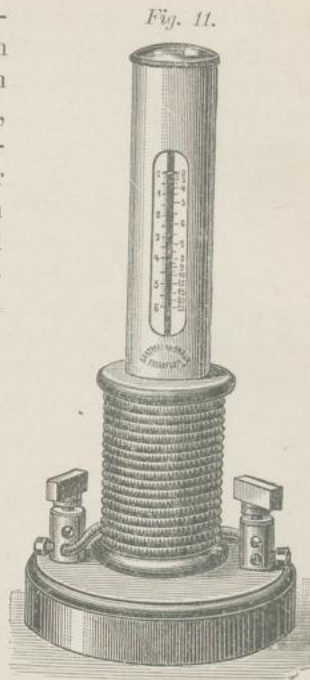
Da der grösste Torsionswinkel 170° beträgt, kann man mit einem solchen Torsionsgalvanometer und den genannten drei Nebenschlusswiderständen Ströme von 0,001—170,0 Amp. messen, gewiss ein ausserordentlich weiter Spielraum.

Technische Messapparate.

Diese tragen eine empirisch angefertigte Scala, welche die Stromstärke direct in Ampère abzulesen gestattet. Man baut dieselben für alle Stromstärken, meist ist jedoch nicht das ganze Messbereich mit gleicher Genauigkeit ablesbar, sondern die ersten Theilstriche sind gedrängt, ihre Angaben daher weniger zuverlässig. Diese technischen Messapparate, „Ampèremeter“ genannt, sind zur Ueberwachung eines Betriebes ganz unentbehrlich, da sie in jedem Augenblick die jeweilige Stromstärke in Amp. angeben. Sie werden stets in den Hauptstrom eingeschaltet, also in die Leitung, welche von der Stromquelle nach den Bädern führt. Da die meisten Ampèremeter unabhängig von der Richtung des durchfliessenden Stromes sind, so ist es gleichgültig, ob sie in den positiven oder negativen Theil der Leitung eingefügt werden.

In der Hauptsache werden zwei Erscheinungen zu ihrer Construction benutzt: 1. eine vom Strom durchflossene Drahtspule, ein sogen. Solenoïd, sucht einen Eisenstab in seine Mitte hineinzuziehen, oder 2. ein Solenoïd zieht ein excentrisch gelagertes Eisenblech nach der Peripherie hin. Beiden Anziehungskräften wird entweder durch die Schwerkraft oder durch Federwirkung entgegen gearbeitet. Aus der grossen Anzahl von Constructionen mögen als Typen nur die zwei nachstehenden herausgegriffen werden.

Das Feder-Galvanometer von Kohlrausch (Fig. 11) besteht aus einem senkrecht stehenden Solenoïd, in welches ein an einer Zugfeder hängender Hohleylinder von Eisenblech ragt. Beim Durchgang des Stromes wird dieser so weit in die Drahtspule hineingezogen, bis durch die Ausreckung der Feder Gleichgewicht erzielt ist. Das Instrument besitzt Luftdämpfung, indem sich der eingezogene Blecheylinder über einen Holzkern schiebt. Durch die Ausdehnung der Feder wird ein Zeiger auf einer senkrechten Scala verschoben. Dieses Ampèremeter wird von der Firma Hartmann & Braun,



Frankfurt a. M., für Messungen bis zu 6000 Amp. ausgeführt, es empfiehlt sich besonders durch seine compendiöse Form.

Das Dosen-Ampèremeter von Hummel, Fig. 12, (Vertrieb von Schuckert & Co., Nürnberg) ist eine der besten, wenn auch ältesten Constructionen. Ein horizontal liegendes Solenoïd trägt excentrisch ein ebenfalls horizontal in Spitzen gelagertes, gebogenes dünnes Eisenblech, welches mit einem langen, vor einer Scala spielenden Zeiger versehen ist. Das Gewicht des Eisenblechs ist durch den Zeiger nahezu ausbalancirt, so dass die

Fig. 12.



Empfindlichkeit des Instruments eine ziemlich grosse ist. Die Abwesenheit von Magneten und Federn, sowie die bequeme und sichere Einstellung des Instruments auf den Nullpunkt beim Montiren erwecken dem Hummelschen Ampèremeter von vornherein ein gewisses Vertrauen. Die Ausführung ist solid und die Theilung gewöhnlich zuverlässig.

Ampère-Stundenzähler.

Die wenigsten electrolytischen Processe verlaufen quantitativ nach einer einzigen Reaction, in weitaus den meisten Fällen spielen sich secundäre Vorgänge ab, welche mehr oder weniger grosse Arbeitsverluste repräsentiren. Es ist demnach für jeden electrolytischen Process von der grössten Bedeutung, die „Stromausbeute“ zu bestimmen, d. h. das Verhältniss des im gewünschten Sinne thätigen Stromes zur gesammten, die Versuchszelle passirenden Strommenge. Hierzu braucht man eine Einrichtung, durch welche man die Strommenge messen kann, welche in einer gewissen Zeit durch den Stromkreis geflossen ist, und die unabhängig davon ist, ob die Stromstärke während der Beobachtungsdauer geschwankt hat oder ob geradezu Ruhepausen eintraten.

Zur Erreichung dieses Zieles bieten sich wieder zwei Wege: die electromagnetische und die chemische Wirkung des Stromes. Die erstere kommt zur Anwendung bei dem registrirenden Ampèremeter von Aron. Von zwei synchron gehenden Uhren hat die eine ein

gewöhnliches Pendel, während das der anderen durch einen Electromagneten beeinflusst wird. Während des Stromschlusses entsteht infolge dessen eine Zeitdifferenz in der Angabe beider Uhren, aus der sich die Strommenge berechnen lässt, welche das Instrument passirt hat. Der Aron'sche Zähler ist weit verbreitet zur Ermittlung des Stromverbrauchs bei electricischen Beleuchtungsanlagen.

Das Kohlrausch'sche Ampèremeter lässt sich als Ampèrestundenzähler umbauen, wenn man an dem Zeiger einen Farbstift anbringt und diesen auf einen Papierstreifen schreiben lässt, welcher von einem Uhrwerk vorübergeführt wird. Hier werden demnach sämtliche Schwankungen des Stromes notirt. Die vom Stift umfahrene Fläche repräsentirt die Ampèrestunden.

Einfach und billig kann man sich einen Ampèrestundenzähler herstellen aus dem S. 35 beschriebenen Kupfervoltmeter, welches man in den gehörigen Dimensionen ausführt und dauernd in den Stromkreis einschaltet. Als Gefäss benutzt man einen Trog aus Glas oder Steingut, als Anoden Kupferplatten von 3—10 mm Stärke, als Kathode dünnes Kupferblech, welches vor und nach dem Versuch auf einer Tafelwaage gewogen wird. 1,18 g Kupfer entspricht 1 Ampèrestunde. Sorgt man für gute Bewegung der Lauge während des Versuchs, so kann man pro 100 qcm bestrahlte Kathodenfläche bis zu $2\frac{1}{2}$ Amp. rechnen. Die stete Bewegung der Lauge erzielt man entweder durch ein kleines Rührwerk oder man leitet aus einem Entwicklungsapparat einen Strom Wasserstoff ein. Einblasen von Luft ist weniger zu empfehlen, weil lufthaltige Schwefelsäure Kupfer auflöst, und demnach die Resultate ungenau ausfallen würden.

Spannungsmessung.

Nach dem Ohm'schen Gesetz $E = J \cdot w$ kann man jede Spannungsmessung auf eine Strommessung zurückführen. Will man die Spannung E ermitteln, welche in den Punkten A und B eines Stromkreises herrscht, so legt man an diese beiden Stellen einen Nebenschluss an vom Widerstand w und bestimmt die Stromstärke, welche in dieser Abzweigung herrscht. Hauptbedingung hierbei ist, dass die durch den Nebenschluss fließende Strommenge nur einen ausserordentlich geringen Bruchtheil des Hauptstroms beträgt, w muss demnach sehr gross sein im Verhältniss zu dem Widerstand des Hauptstromkreises zwischen den Punkten A und B . Der Grund hierfür ist leicht einzusehen. Durch die Anlegung des Nebenschlusses wird der Leitungswiderstand zwischen den Punkten A und B verringert, weil der Strom nunmehr zwei Wege vorfindet. Je kleiner der Widerstand des Nebenschlusses ist, um so mehr wird auch der gesammte Widerstand AB vermindert. Um aber die alte Stromstärke in dem neuen, kleineren Widerstande hervorzubringen, genügt eine geringere Spannung als früher, es ist demnach durch die Anlegung des Nebenschlusses die Spannung verändert, und zwar verringert worden, oder mit anderen Worten: mit Hülfe eines Nebenschlusses von relativ geringem Widerstand findet man zu niedrige Spannungen. Je grösser man den Widerstand des Nebenschlusses macht, um so weniger wird der gesammte Widerstand zwischen A und B verändert, um so genauer wird also die Spannung ermittelt.

Ein Spannungsmesser oder Voltmeter (nicht zu verwechseln mit Voltmeter) ist demnach ein Ampèremeter für sehr schwache Ströme, welches entweder selbst einen hohen Widerstand besitzt, oder welchem ein hoher Widerstand vorgeschaltet ist. Die — empirisch durchgeführte — Theilung entspricht nicht den Stromstärken, welche die einzelnen Ablenkungen hervorrufen, sondern dem Producte aus diesen Stromstärken und dem gesammten Widerstand des Instruments, also $J \cdot w$, welches nach dem eingangs citirten Ohm'schen Gesetz die Spannung, ausgedrückt in Volt, bezeichnet.

Jedes empfindliche Galvanometer kann man sich unter Vorschaltung eines möglichst grossen Widerstandes empirisch als Voltmeter aichen (s. S. 102). Das Messbereich jedes Voltmeters kann man auf das doppelte bringen, wenn man noch einen Widerstand vorschaltet, der gleich dem des Instruments ist. Infolge dieses verdoppelten Widerstandes geht gegen früher nur noch die halbe Strommenge durch, und die neuen Angaben sind dann zu verdoppeln. Durch Vorschalten des doppelten Widerstandes kann man das Messbereich auf das dreifache ausdehnen u. s. f.

Alle die Methoden der Spannungsmessung, welche darauf beruhen, die unbekannte electromotorische Kraft durch Vergleichung mit der bekannten eines Normallements zu bestimmen, mögen hier übergangen werden, sie sind sämmtlich zu umständlich. Der Electrochemiker muss sich bei seinen Versuchen in wenigen Augenblicken durch den Ausschlag einer Nadel oder ein anderes einfaches Merkmal über Spannung und Stromstärke orientiren können, nur so kann er sich rasch seinen Zielen nähern und jederzeit die Versuche übersehen.

In dem Torsionsgalvanometer haben wir bereits früher ein vorzügliches Instrument für Strommessungen kennen gelernt; dasselbe lässt sich auch zu Spannungsmessungen verwenden, wenn man verschiedene Widerstände vorschaltet. Wie bereits erwähnt, besitzt das Instrument einen inneren Widerstand von 1Ω , und 1° Ablenkung repräsentirt eine Stromstärke von $0,001$ Amp. Will man Spannungen messen, so ist $1^\circ = 0,001 \cdot 1 = 0,001$ Volt. Bei Vorschaltung von 9Ω ist der Gesamtwiderstand des Apparats 10Ω , also 10 Mal so gross als früher, 1° Ablenkung entspricht dem zehnfachen Betrag, wie dies auch aus der Ohm'schen Formel hervorgeht: $E = 0,001 \cdot 10 = 0,01$ V.

Bei Vorschaltung von 99Ω ist der Gesamtwiderstand 100Ω , 1° Ablenkung entspricht $0,001 \cdot 100 = 0,1$ V.

Bei Vorschaltung von 999Ω wächst der Gesamtwiderstand des Apparats auf 1000Ω , 1° Ablenkung entspricht $0,001 \cdot 1000 = 1$ Volt.

Die drei Widerstände von 9 , 99 und 999Ω sind zum bequemen Gebrauch in einer Büchse untergebracht und können durch Einstecken je eines Stöpsels eingeschaltet werden. Um den Apparat nicht durch starke Ströme zu schädigen, stöpselt man bei Ermittlung einer unbekanntenen Spannung zunächst den grössten Widerstand und führt so die geringste Empfindlichkeit herbei. Die Pole sind so anzulegen, dass der Magnetzeiger verkehrt zur Theilung ausschlägt. Durch Drehung der Torsionsschraube im Sinne der Theilung bringt man den Magnetzeiger wieder auf Null zurück und liest den Torsionswinkel ab. Ist dieser zu klein, so entlastet man zunächst die Torsionsfeder durch Zurückdrehen auf Null, stöpselt die nächst grössere Empfindlichkeit und verfährt

wie angegeben, bis sich ein Ablenkungswinkel von passender Grösse ergeben hat.

Die Constructionsprincipien sämtlicher Ampèremeter des Handels lassen sich natürlich auch zu Voltmetern verwenden, diese sind daher in vielen Abarten und für die verschiedensten Messbereiche käuflich. Sie sind äusserlich den Ampèremetern ähnlich, unterscheiden sich aber von diesen durch die viel grössere Anzahl Drahtwindungen und den hohen Widerstand.

Alle Ampère- und Voltmeter, welche Spiral- oder Zugfedern enthalten, sind von Zeit zu Zeit auf die Richtigkeit ihrer Angaben zu controliren, besonders wenn sie zu dauernder Einschaltung in den Stromkreis benutzt werden.

Stromregulirung.

Nachdem in den vorhergehenden Kapiteln die Erzeugung des Stroms und seine Messung nach Intensität und Spannung besprochen wurden, sollen nachstehend die Einrichtungen erwähnt werden, welche es gestatten, denselben innerhalb beliebiger Grenzen zu verändern.

Aus dem Ohm'schen Gesetz $J = \frac{E}{\Sigma w}$ folgt ohne weiteres, dass es zwei Möglichkeiten zur Veränderung von J giebt: Veränderung der Spannung bei gleich bleibendem Gesamtwiderstand oder Veränderung des Gesamtwiderstandes bei gleichbleibender Spannung.

A. Veränderung der Stromstärke durch Aenderung der Spannung.

Die Spannung lässt sich bei Verwendung von galvanischen Elementen oder Accumulatoren variiren, indem man eine grössere oder geringere Anzahl derselben hintereinander schaltet. Bei Elementen, welche in der Regel verhältnissmässig hohen Widerstand besitzen, ist bereits früher erwähnt worden, dass mit jeder in die Batterie eingeschalteten Zelle auch eine nicht unwesentliche Aenderung in dem Ausdruck Σw herbeigeführt wird.

Bei Anwendung von Dynamomaschinen kann man, ohne die Construction der Maschine anzutasten, die Spannung verändern durch Aenderung der Tourenzahl oder durch Aenderung des Widerstands der Magnetwicklung. Seite 26 ist bereits ein Beispiel angeführt, wie mit Erhöhung der Tourenzahl die Klemmenspannung steigt, ebenso wurde schon erwähnt, dass man bei Aufstellung einer Dynamomaschine für Versuchszwecke gut thut, zum Antrieb ein Stufenvorgelege zu benutzen, so etwa, dass die mittlere Stufenscheibe die normale Tourenzahl bewirkt, während durch die beiden anderen Scheiben eine höhere und eine niedere Tourenzahl herbeigeführt werden kann. Bleibt man hierbei etwa innerhalb 20 % Abweichung nach oben oder unten, so braucht man keine Schädigung der Maschine zu befürchten, um so mehr, als es sich bei einer Versuchsmaschine nicht um dauernde, sondern um vorübergehende Beanspruchungen unter aussergewöhnlichen Verhältnissen handelt.

Der andere Weg, die Spannung zu verändern, ist der, mittelst des Nebenschlussregulators Widerstand in die Magnetschenkel einzuschalten (S. 25). Der Gebrauch des Nebenschlussregulators gestattet nur eine Verminde-

rung der Spannung. Sollte der von der Fabrik gelieferte Regulator zu wenig Abstufung gestatten, so bespannt man ihn mit grösseren Widerständen.

B. Veränderung der Stromstärke durch Aenderung des Gesamtwiderstands.

Auch hier lassen sich zwei specielle Fälle unterscheiden. Eine Vergrösserung der Stromstärke lässt sich erreichen:

1. Durch Verminderung des inneren Widerstands der Stromquelle. Dies bezieht sich namentlich auf Elemente. Der innere Widerstand derselben lässt sich verringern durch Parallelschalten mehrerer oder durch Wahl eines grösseren Modelles der gleichen Art. Von Accumulatoren gilt dasselbe, nur mit dem Zusatz, dass sich dieser Fall infolge des an und für sich geringen inneren Widerstandes der genannten Stromquelle nur selten nöthig machen wird. Er dürfte nur dann vorkommen, wenn die bei einem Versuch benötigte Stromstärke grösser wäre als die stärkste Stromentnahme, welche für die betr. Type zulässig ist.

Bei Dynamomaschinen ist eine Verminderung des inneren Widerstandes nicht möglich.

2. Verminderung des Aussenwiderstandes. Hier kommen zunächst die Zuleitungsdrähte in Betracht, welche bei allen electrolytischen Versuchen möglichst kurz und nicht zu schwach gewählt werden sollten. Gute Kupferdrähte von 2 mm Durchmesser werden bei kleineren Versuchen stets genügen. Man rechnet pro qmm Kupferquerschnitt etwa 2—3 Amp.

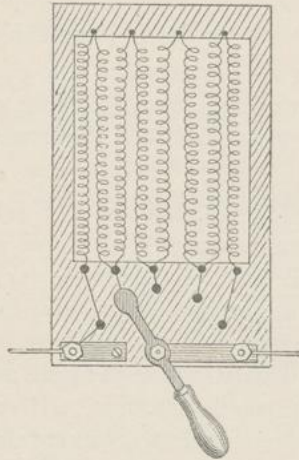
Der Widerstand der Versuchszelle oder des „Bades,“ wie man gewöhnlich sagt, lässt sich vermindern:

1. durch Vergrößerung der Electrodenflächen,
2. durch Verringerung ihres Abstandes von einander,
3. durch Verbesserung der Leitungsfähigkeit des Electrolyts,
4. durch Verwendung einer dünneren oder poröseren Membran, wenn das Bad überhaupt einer solchen bedarf.

Steht eine Electricitätsquelle von reichlicher Spannung und geringem inneren Widerstand zu Gebote, wie z. B. eine Dynamomaschine oder eine Anzahl Accumulatoren, so wird man oft genöthigt sein, Stromstärke und Spannung bis zu einem beliebigen Werth herabzudrücken. In solchen Fällen hilft man sich dadurch, dass man Widerstände in den Stromkreis einführt. Hierzu benutzt man Neusilberdrähte verschiedener Stärke, wie Nickelin oder Rheotan, welche man, zu Spiralen aufgewickelt, zickzackförmig auf einen Holzrahmen spannt. In geeigneten Abständen sind kurze starke Kupferdrähte angelöthet und in Quecksilbernäpfchen geführt. Fügt man diesen Widerstandsrahmen in den Stromkreis ein, so muss der Strom sämtliche Drahtabtheilungen durchlaufen; will man den Widerstand vermindern, so schaltet man eine oder mehrere Abtheilungen dadurch aus, dass man die entsprechenden Quecksilbernäpfe mit einem \square förmig gebogenen Kupferdraht verbindet. Die einzelnen Drähte an Metallklötze anzuschrauben und durch Einstecken von Stöpseln einzelne Abtheilungen auszuschalten, ist weniger zu empfehlen, weil sich die Metallklötchen gewöhnlich bald lockern und dann die Stöpsel nicht mehr passen, ausserdem bleiben derartige Stöpselcontacte in der Atmosphäre

des Laboratoriums nicht lange blank. Besser sind schon die sog. Kurbelwiderstände (Fig. 13), bei welchen die

Fig. 13.



einzelnen Widerstandsabtheilungen nach Metallknöpfen geführt sind, über welche eine Kurbel hinweggleitet.

Die Widerstände der einzelnen Drahtabtheilungen bemisst man entweder in ähnlicher Weise, wie bei einem Gewichtssatz: 1, 2, 2, 5, 10, 20, 20, 50 etc. Ω oder durch Verdoppelung jedes Werthes: 1, 2, 4, 8, 16 . . . Ω . Auf letztere Weise kommt man mit der gleichen Anzahl Abtheilungen weiter, doch ist die Anordnung weniger übersichtlich.

Der Widerstand eines Drahtes ist um so grösser, je dünner er ist; man könnte demnach glauben, es sei am vortheilhaftesten, einen recht dünnen Draht zu nehmen, weil man bei einem solchen mit dem geringsten Quantum Draht auskommt. Dies wäre jedoch ein Trugschluss.

Die durch einen Widerstand vernichtete electricische Energie wandelt sich in Wärme um; schiebt man einen einigermaßen starken Strom durch einen sehr dünnen Widerstandsdraht, so kann sich die Erwärmung bis zum Glühen und Schmelzen des Drahtes steigern. Man muss daher bei der Berechnung seines Stromregulators auch noch die Stärke des durch die einzelnen Abtheilungen fließenden Stromes berücksichtigen. Nachstehend sei eine mit Nickelindrähten (von Dr. Geitner's Argenta-fabrik, Auerhammer in Sachsen) ausgeführte Versuchsreihe mitgetheilt, welche sich bei Berechnung von Regu-latoren nützlich erweisen dürfte.

Durch-messer mm.	Widerstand pro 1 m Länge Ω	Das Glühen be- ginnt bei Amp.
0,2	13	1,7
0,4	3,2	4
0,6	1,41	7
0,8	0,79	$9\frac{1}{2}$
1,0	0,51	$14\frac{1}{2}$
1,25	0,33	20
1,50	0,23	32
1,75	0,16	40
2,0	0,13	45

Da durch das Glühen die Widerstandsdrähte leicht beschädigt werden, so dürfen die oben angeführten Strom-stärken nicht erreicht werden (s. S. 107). Für starke Ströme, wie sie von Dynamomaschinen geliefert werden, reicht die Anwendung von Drähten nicht mehr aus, weil die Abkühlung eines Drahtes mit zunehmender Dicke

immer ungünstiger wird. Man nimmt dann besser schmale Streifen aus dünnem Nickelblech, welche bei gleichem Querschnitt wie ein Draht viel stärkere Ströme vertragen können, ohne glühend zu werden.

Einem Circular der oben erwähnten Firma ist nachstehende Tabelle entnommen:

Nickelstreifen von 0,3 mm Dicke:

Breite mm.	Widerstand pro 1 m Länge Ω .	Maximal- belastung Amp.
10	0,133	40
15	0,0889	60
20	0,0667	80
25	0,0533	95
30	0,0444	110
35	0,0381	130
40	0,0333	145
45	0,0296	160
50	0,0267	175

„Vorstehende Maximalbelastungen sind so bemessen, dass die Streifen bei normalen Abkühlungsverhältnissen nicht bis zum Glühen kommen. Ein Durchschmelzen erfolgt erst bei der 2—3fachen Stromstärke. Die Verbindung mehrerer Streifen geschieht durch Hartlöthen oder durch Verschraubung.“