Realgymnasium in Halberstadt.

Der Anschluss unseres physikalischen und chemischen Unterrichtszimmers an das städtische Elektrizitätswerk

von

Professor Dr. Nordmann.

Beigabe zum Jahresbericht 1907—1908.

Halberstadt.
Louis Koch, Druckerei.

Ostern 1908, Nr. 333

Bei der Niederschrift der folgenden Zeilen habe ich vorzugsweise an die späteren Fachlehrer der Physik und Chemie an unserem Realgymnasium gedacht, die das Werden unseres elektrischen Anschlusses nicht mit erlebt haben und doch eine genaue Kenntnis dieser Einrichtung nicht missen können. Auch für die Schüler der obersten Klassen ist ein amtliches „Schwarz auf Weiß" über unsere Quelle elektrischer Energie und die Art daraus zu schöpfen von Wichtigkeit, selbst wenn ein wirklicher Gebrauch hier nur ausnahmsweise in Frage kommen kann. Für diesen oder jenen Fachkollegen an anderen Schulen ist meine Darlegung vielleicht ebenfalls von einigem Interesse, und wäre es auch nur als schätzbares Material für eine noch zu schreibende „Kritik ausgeführter Konstruktionen", eine Kritik, die ich selbst — in einem etwas anderen Sinne des Wortes — bemüht gewesen bin nach Möglichkeit unparteiisch auszuüben.

Durch den im vorigen Jahre fertig gestellten Anbau an das bisherige Gebäude des Realgymnasiums wurde es möglich, einem langjährigen empfindlichen Mangel der Schule abzuhelfen und dem physikalischen und chemischen Unterricht ausreichende und würdig ausgestattete Räumlichkeiten zuzuweisen.

Für den physikalischen Unterricht stand bisher — abgesehen von einem kleinen durch den Flur getrennten Zimmerchen, dem früheren Amtszimmer des Direktors, das einen Glasschrank und einige sperrige Apparate beherbergte — nur ein einziges dreifenstriges Zimmer im Erdgeschoß zur Verfügung. Dasselbe enthielt außer drei Glasschränken und vier Pultbänken mit etwa 24 Sitzplätzen einen gewöhnlichen Tisch „vom Fichtenstamme" mit vier massiven Beinen und drei offenen Schubkästen, der als Werk-, Vorbereitungs- und Experimentiertisch zugleich diente und bei den jeweiligen Revisionen der Schule mit verächtlichen Blicken gemustert wurde. Die Gaseinrichtung bestand in einem über dem Tische im Kugelgelenk hängenden Doppelarm mit zwei Schnittbrennern und einem Schlauchansatz für einen Bunsenbrenner. Wasserleitung war im Zimmer keine, aber in einem benachbarten winzigen Gelaß, das einen kleinen Spültisch und eine Bunsenbatterie von 12 Elementen enthielt, deren Poldrähte an dem oben erwähnten Gasarm endigten. Ein Heliostat war trotz der vollen Südlage des Zimmers nicht vorhanden, doch konnten die Fenster durch zurückschlagbare Holzläden notdürftig verfinstert werden. Ein hölzerner Schieber in dem mittleren Laden ließ ein Lichtprisma von ziemlichem Querschnitt hindurch, das vor dem Gebrauch durch allerhand Spiegel erst beschnitten und gegängelt werden mußte, während der Rest das Zimmer in zweckwidriger Weise erhellte.

Der chemische Unterricht mußte sich im Verhältnis noch kümmerlicher behelfen. Auch hier diente nur ein einziger Raum gleichzeitig als Vorbereitungs-, Unterrichtszimmer und Laboratorium. Dieser ziemlich niedrige Raum war ein Teil des Kellers, hatte einen eiskalten Asphaltfußboden und war durch vier kleine Fenster nur spärlich erleuchtet, sodaß fast immer Licht gebrannt werden mußte. Wasserleitung und Spültisch, Gaseinrichtung, Digestorium und Gebläse waren vorhanden, aber keine Abzugsvorrichtung, und die Entwickelung von Chlor, Schwefeldi- und -trioxyd, Chlor- und Schwefelwasserstoff und ähnlichen Körpern war trotz der geöffneten Türen und Fenster fast ein Ding der Unmöglichkeit und nicht ohne Gefahr. Dazu stand der große, aller Hilfsvorrichtungen bare „Experimentiertisch" in der Mitte des gar nicht großen Raumes, sodaß überhaupt nur Stehplätze vorhanden waren, und der Tisch auch auf der Lehrerseite von den schaulustigen Schülern belagert war — gerade keine Annehmlichkeit.

Dieser Notbetrieb gehört nun, zum Heile der Anstalt, der Vergangenheit an. In einer vor mehr als Jahresfrist abgehaltenen Konferenz, bei welcher die städtischen Behörden durch Herrn Stadtbaurat Köhler, die Schule durch den Direktor und die beiden ältesten Fachlehrer vertreten waren, wurden die Hauptpunkte über die Beschaffung und Ausstattung der neuen Räume festgestellt, und den Wünschen der Schule in weitgehender Weise Rechnung getragen. Die Schule weiß den städtischen Behörden und deren ausführenden Organen Dank für das verständnisvolle und opferwillige Entgegenkommen und die nicht immer ganz einfache Ausführung des Arbeitsplanes. Es ist, das kann man wohl sagen, geschehen, was nach Lage der Dinge, d.h. in dem nun einmal gegebenen alten Gebäude geschehen konnte. Auch mit der Ausstattung der neuen Unterrichtsräume ist nicht gegeizt, dieselben sind mit allen zeitgemäßen Unterrichtsmitteln in zweckdienlicher Weise ausgerüstet.

Ich beabsichtige nicht eine umfassende Beschreibung der hier in Frage kommenden baulichen Veränderungen und Neueinrichtungen zu geben und beschränke mich auf einen Teil der letzteren, einen Teil freilich, der für den physikalischen Unterricht wenigstens als Schlußstein und Krönung des Neuen und Guten erscheint, wenn er gleich auch dem chemischen Unterricht in wichtigen Zweigen, z.B. der Elektrolyse zu gute kommt, das ist der Anschluß unserer Unterrichtsräume an das Beleuchtungsnetz des städtischen Elektrizitätswerkes. Es ist wohl überflüssig, die außerordentlichen Vorteile dieses Anschlusses für den Unterricht noch einmal einzeln aufzuzählen. Wir älteren Lehrer, die wir Jahrzehnte lang mit Bunsenelementen oder mit den ehemals empfindlichen und weniger zuverlässigen Akkumulatoren arbeiten mußten, empfinden gerade diesen Punkt als eine ganz besondere Wohltat; die Ersparnis an verdrießlicher Vorbereitungszeit, die zu den wenigen Minuten des Experimentes oft in gar keinem Verhältnis stand, kommt nun dem eigentlichen Unterricht mit Wucher zu gute.

Schon vor mehreren Jahren war der Anschluß des Realgymnasiums an die städtische Centrale in Aussicht genommen. Meine Vorschläge waren damals folgende: 1) Abgesehen von der Erleuchtung der Unterrichts- und Sammlungszimmer und von der besonderen Einrichtung für die Projektions-

laterne, wird der zu allen Unterrichtszwecken im physikalischen und chemischen Zimmer nötige Strom einer gemeinschaftlichen festen Sammlerbatterie von 20 Zellen entnommen. Beide Unterrichtszimmer entnehmen ihren Strombedarf aus dieser alleinigen Quelle durch einen Pachytropen und bewegliche Vorschaltwiderstände; die Ladung der Sammlerzellen geschieht durch ein einfaches Schaltbrett im physikalischen Zimmer. 2) Das physikalische Zimmer erhält noch eine besondere Anschlußmuffe für eine transportable Bogenlampe (den Projektionsapparat). Dieser Vorschlag bezw. ein Kostenanschlag der elektrischen Centrale fand die Billigung des Kuratoriums und des Magistrates; die Centrale bestellte Sammlerzellen und Meßapparate und entwarf zum Laden (und Entladen) der Batterie ein Schaltbrett mit einem festen und einem Regulierwiderstand, Sicherung, Strommesser, Spannungsmesser mit Umschalter für Kabelnetz und Batterie, Hauptschalter und Minimalausschalter. Die Ausführung dieses Planes mußte jedoch wegen des bevorstehenden Neubaues vertagt werden.

Mittlerweile hatten sich Bedenken erhoben ob der Zweckmäßigkeit dieses Anschlußplanes, u.a. die noch immer bestehende Empfindlichkeit der Sammlerzellen bei längeren Ruhepausen, namentlich aber die Benutzung der einen und einzigen Stromquelle in zwei getrennten Räumen und durch drei Lehrer, deren Stunden sich noch dazu zeitlich decken konnten. Infolgedessen entwarf ich, nach Rücksprache mit den Fachkollegen, einen neuen Anschlußplan, der neben der Rücksicht auf die schon beschafften Sammlerzellen auch eine unmittelbare Stromentnahme aus dem Kabelnetz vorsah, zugleich aber beide Unterrichtszimmer von einander unabhängig machte. Die leitenden Fachleute des elektrischen Werkes, Herr Direktor Aumann und Herr Ingenieur Vogel, hatten die Güte, den Plan zu prüfen und einen Kostenanschlag aufzustellen, den ich nach Fertigstellung des Neubaues meinem erneuten Antrag an das Kuratorium beifügen konnte. Der Anschlußplan wurde auch vom Magistrat genehmigt und im Frühsommer vorigen Jahres, zugleich mit der sonstigen Einrichtung der neuen Unterrichtsräume, durch die städtische Centrale ausgeführt. Der Verwaltung des elektrischen Werkes, im besonderen Herrn Ingenieur Vogel sei hiermit namens der Schule bestens gedankt für die werktätige Hilfe bei Ausgestaltung und Ausführung unseres Anschlußplanes, sowie für sein stets freundliches Entgegenkommen. Auch Herr Monteur Discher hat uns durch praktische Ratschläge und bereitwilliges Eingehen auf unsere Wünsche zu Danke verpflichtet.

1. Der Anschluss des chemischen Unterrichtszimmers.

Die Anschlüsse des chemischen wie des physikalischen Unterrichtszimmers entspringen demselben Hausanschluß an das Dreileiternetz (Außenleiter—Mittelleiter = 220V) hinter einer gemeinschaftlichen Hauptsicherung und einem desgl. Wattstundenzähler, sind aber sonst völlig unabhängig und nach Stockwerken getrennt.

Die eigentliche Einrichtung des chemischen Unterrichtszimmers besteht aus einer Sammlerbatterie von 12 Zellen von je 8 Ampere Entladestromstärke und 24 Amperestunden Kapazität, einem Pachytropen, einem festen Vorschaltwiderstande, einem Strommesser, einem Schalter und den zugehörigen Leitungen und Sicherungen.

Die Sammlerzellen stehen zu je sechs in einem verdeckten Gestell unter den Trägern des Abzugsschrankes. An der Seitenwand desselben befindet sich der von der Firma Max Kohl in Chemnitz gelieferte Walzen-Pachytrop, der es gestattet, mit einem Handgriff die Batterie auf 2, 4, 8, 12 und 24 Volt zu schalten, also zu einem 12-fachen Element zu machen oder als 2 sechsfache, 4 dreifache, 6 doppelte und 12 einfache Elemente hintereinander zu schalten. Zum Schutze gegen Staub und unbefugte Berührung ist der Pachytrop mit einem abnehmbaren Holzgehäuse verdeckt, das nur den Griff und die Stirnfläche der Walze mit den Zahlen frei läßt. Die Pole des Pachytropen können durch Drehung des Schalters entweder mit dem Außenleiter (+) und Mittelleiter (—) des Kabelnetzes, oder mit den beiden Messingschienen verbunden werden, die im Blatte des (Kohl'schen) Experimentiertisches versenkt liegen, und an je 12 Punkten durch Stöpsel zugänglich sind.

Der einfache Schalter mit Ebonitgriff (10A 250V, 6A 500V) ist an der (nördlichen) Zimmerwand befestigt. Steht der Griff senkrecht (Richtung der eingeritzten Pfeile), so wird die Batterie geladen (Fig. 1, der Pachytrop ist weggelassen). Hierbei ist die Walze des Pachytropen stets auf 24 Volt zu stellen, also auf Reihenschaltung sämtlicher Zellen. Der Ladestrom von 220 V Spannung passiert hierbei noch den über dem Schalter eingebauten festen Vorschaltwiderstand. Derselbe besteht aus zwei hintereinandergeschalteten Doppelwiderständen von je 14,4Ω und 7A Höchstbelastung. Die senkrecht stehenden Spulen bestehen aus verzinktem Eisendraht, sind auf ausgekehlte Chamotte-Dreikante gewickelt und nochmals in durchbrochene Schwarzblechgehäuse eingeschlossen. Diese Widerstände sind auf dem hiesigen Elektrizitätswerk gebaut und zeichnen sich durch gute Luftkühlung vorteilhaft aus.

Der Strommesser zwischen Schalter und Vorschaltwiderstand mit weithin sichtbarer Nadel ist von Siemens u. Halske und hat einen Meßbereich von 0—12A.

Im Wege des Ladestromes liegen endlich noch zwei Sicherungen von je 10A zum Schutze der Bleiplatten vor allzuhohen Stromstärken. Bei normalem Betriebe kann dieser Fall nicht eintreten, denn man hat bei Reihenschaltung sämtlicher Zellen, da die Ladespannung einer Zelle anfangs 2,1V beträgt,

$$i = \frac{220 - 12 \cdot 2{,}1}{28{,}8} = 6{,}76\text{A},$$

welcher Wert wegen der Zuleitungsdrähte und Kontaktstellen nicht voll erreicht wird. Gegen das Ende der Ladung wächst die Ladespannung infolge der Konzentration der Schwefelsäure (bis auf 2,65A) und die Stärke des Ladestroms geht dann noch etwas herunter. Von einem (fest eingebauten) Spannungsmesser konnte abgesehen werden, da die Beendigung der Ladung ohnehin am „Kochen" der Zellen erkennbar ist.

Dreht man den Griff des Schalters (rechts herum!) in die wagerechte Stellung (Figur 2), so sind die Pole der Batterie (des Pachytropen) mit den Messingschienen des Experimentiertisches verbunden; die Schiene in der Lehrerseite des Tisches ist der positive Pol. Ein in der Schul-

sammlung vorhandenes Taschen-Voltmeter gestattet durch Anlegen an die Federn des Pachytropen eine Prüfung jeder einzelnen Zelle auf ihren jeweiligen Ladungszustand. Auch in den Weg des Entladestromes ist eine Sicherungskapsel eingebaut, die mit verschiedenwertigen Stöpseln beschickt werden kann. Bei dem sehr kleinen inneren Widerstande der Sammlerzellen kann man sonst unfreiwillig gewaltige Ströme erhalten, bis zur Zerstörung der stromgebenden Bleiplatten (vergl. S. 16).

Die bisher gemachten Erfahrungen ergaben trotz langer Ruhepausen der Zellen völlige Brauchbarkeit der Einrichtung; so gelang die Elektrolyse der wässerigen Lösungen von Zinkchlorid und Zinnchlorür vorschriftsmäßig (s. z. B. Lüpke, Grundzüge der Elektrochemie, 4. Aufl., 1. Abschnitt).

2. Der Anschluss des physikalischen Unterrichtszimmers.

a) Beleuchtung und Verdunkelung.

Die Beleuchtung des physikalischen Unterrichtszimmers ist lediglich elektrisch und besteht aus 4 110-voltigen Sirius-Kolloidlampen zu je 50 Normalkerzen. Davon hängen 2 über dem (Kohl'schen) Experimentiertisch und 2 über den Schülerplätzen. Die Lampen sind der Netzspannung entsprechend paarweise hintereinandergeschaltet; ein Kronenschalter neben der Tür des Hilfszimmers bewirkt je nach Stellung entweder die Erleuchtung des Tisches allein, oder des ganzen Zimmers, oder der Schülerplätze allein, oder endlich völlige Dunkelheit. Die Abzweigung der Lichtleitung erfolgt oberhalb der Schalttafel hinter einer doppelten Lampensicherung.

Zu dieser höchst zweckmäßigen Beleuchtungseinrichtung gehört als wesentliche Ergänzung und Kehrseite die Möglichkeit der Verfinsterung des Zimmers bei Tage. Die Verdunkelungsvorrichtung ist von M. Kohl-Chemnitz hergestellt und besteht aus Rouleaux von schwarzem Filztuch, die durch eine Winde mit Sperrvorgelege von einer gemeinschaftlichen eisernen Welle herabgelassen werden können. Die Rouleaux laufen mit geringem Spielraum in seitlich angebrachten, 12 cm übergreifenden, innen geschwärzten hölzernen Führungen, und auch der untere durch einen Eisenstab gespannte Rouleauteil taucht in eine entsprechende 10 cm tiefe Nute, sodaß in einer halben Minute die Fensterwand lichtdicht verschlossen ist und die Finsternis einer photometrischen Kammer herrscht. Wenn die Motten sich nicht an dem Filz vergreifen, eine wahrhaft ideale Zimmerverdunkelung! Hierdurch ist nun der Boden bereitet für die objektive Vorführung einer Schar von optischen und elektrischen Versuchen, die bisher entweder nur beschrieben oder doch nur „subjektiv" vorgeführt werden konnten, da die Verdunkelung durch die ehemaligen Holzläden meist nicht ausreichte, zumal die Projektionslaterne mit einem Auerstrumpf betrieben werden mußte. Der Unterricht in der geometrischen, physikalischen und physiologischen Optik z.B. bekommt jetzt durch den neuen Mauerheliostaten und die elektrisch betriebene Projektionslaterne ein ganz neues Gesicht, und die Anschauung in der großen „camera obscura" wird vieles mühelos mit einem Schlage zeigen, was früher — bestenfalls! — auf Umwegen gelernt werden mußte. Doch auch der Unterricht in der eigentlichen Elektrizitätslehre ist ja kaum ohne völlige Zimmerverdunkelung denkbar, man denke nur an die Beleuchtung stroboskopischer Vorrichtungen durch die Entladung von Leidener Flaschen, an

feste und rotierende Geißler'sche Röhren, überhaupt an die Entladungserscheinungen in verdünnten Gasen bis zu den Kathoden- und Röntgenstrahlen hinauf!

Zur Beleuchtung im weiteren Sinne, nämlich des verdunkelten Zimmers, sind noch zu rechnen der Heliostat und die Projektionslampe.

In der Verlängerung des Experimentiertisches, 25 cm höher als die Tischfläche, ist in der Fenstermauer (genaue Südwand!) eine wagerechte cylindrische Durchbohrung von 10 cm Durchmesser mit dem Heliostatenansatz. Der Heliostat mit allem Zubehör wie bei Weinhold, physikalische Demonstrationen, 4. Aufl., S. 11 und 353, stammt von M. Kohl-Chemnitz (Preisliste 21, Nr. 20125). Als Schirm dient ein quadratischer Holzrahmen von 1,60 m Seite, der mit weißem Shirting bespannt ist. Er sitzt beim Gebrauch auf zwei Pflöcken eines vierbeinigen hölzernen Bockes und kann so bequem in den Weg der direkten oder gebrochenen Sonnenstrahlen gebracht werden. Der gleiche Schirm dient auch als Empfänger der Lichtstrahlen aus der Projektionslampe.

Die Projektionslampe ist ein älterer Apparat von Dr. Stöhrer u. Sohn in Leipzig, mit einem Kondensor von 10 cm Durchmesser, das Geschenk eines alten Schülers, des Kaufmanns Aron Hirsch, ehemals zu Halberstadt. Dieser Apparat (Weinhold, Phys. Dem., 4. Aufl., S. 46 u.f.) war ursprünglich für Petroleumbeleuchtung eingerichtet, wurde aber bald für Gasglühlicht umgearbeitet und hat in dieser Gestalt, seinen Kräften entsprechend, dem Unterricht seine Dienste geleistet. War die Lichtquelle auch zu schwach für viele „objektive" Versuche, so erwies sich doch die Optik des Projektionskopfes stets als recht brauchbar, d.h. frei von gröberen Fehlern in Zeichnung und Färbung der Bilder ebener Objekte. Infolgedessen wurde auch jetzt von der Beschaffung eines neuen Projektionsapparates abgesehen, und eine vortrefflich passende Bogenlampe mit 4-facher Handregulierung von Ferd. Ernecke-Berlin (Projektionen mit dem Schulprojektionsapparat NOR, 3. Aufl., Nr. 516) in das alte Blechgehäuse eingestellt, nachdem dieses durch einen schwarzen Holzkasten zweckentsprechend nach rückwärts verlängert war. Mit 6—8 Ampere, also einer Lichtstärke von 400—500 Normalkerzen betrieben, ist unser alter Hausrat nunmehr zu jeder Leistung befähigt.

b) Die sonstige unmittelbare Stromentnahme aus dem Leitungsnetz.

Abgesehen von der Beleuchtung im engeren Sinne geschieht alle weitere Stromentnahme im physikalischen Zimmer (auch für die Projektionslampe und zum Laden der Sammlerzellen) durch eine Experimentier-Schalttafel der Elektrizitätsgesellschaft Gebr. Ruhstrat in Göttingen (Preisliste 11, Schalttafel Nr. 168), konstruiert und angezeigt von H. Professor Behrendsen in der Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, 18. Jg., Heft 6, November 1905. Es waren am angeführten Orte zwei verschiedene Modelle von Schalttafeln der genannten Firma beschrieben, eines für 110 und ein zweites für 220V Centralenspannung. Der Unterschied der beiden Modelle bestand (nach der Beschreibung) vor allem darin, daß die großen Schieberwiderstände der ersten Tafel je 23Ω, die der zweiten (220-voltigen) Tafel dagegen 40Ω Widerstand besaßen. Beide Tafeln gestatteten die gleichzeitige Abnahme von Schwachströmen (0—1,5A) und Starkströmen

(1,5—15A); außerdem war noch eine Anschlußdose für eine Lichtleitung (Stöpsel mit Kabel) vorhanden, die eine (oder mehrere) Glüh- oder Nernstlampen zu speisen vermochte. Da die 3 Ströme (Schwachstrom, Starkstrom, Lichtleitung) infolge der Tafelkonstruktion von einander völlig unabhängig waren, da die Anordnung sämtlicher besonderen Apparate auf der Tafel sehr übersichtlich und zugänglich war, da endlich der Preis nur 250 M. betrug gegenüber anderen etwa gleichwertigen Schalttafeln, z.B. der Kohl'schen Tafel für 450 M., so war die Wahl nicht schwer. Bei der vor etwa Jahresfrist erfolgten Bestellung mußte auf einen der genannten Vorzüge leider verzichtet werden, der theoretisch und didaktisch wertvoll war, nämlich auf die völlige Unabhängigkeit der drei Ströme. Die Firma Gebr. Ruhstrat fabrizierte nur noch das schwächere Modell zum Anschluß an 110V, dem für 220V Netzspannung ein Ballastwiderstand vorgeschaltet werden mußte. Durch diesen vor der Hauptverzweigungsstelle anzubringenden Widerstand ist die theoretische Unabhängigkeit der Zweige aufgehoben. Indessen beträgt der Unterschied gegen die „idealen" Zweigströme des 220-voltigen, ohne Ballastwiderstand zu betreibenden Modelles nur wenige Prozente. Der Ballastwiderstand besteht aus 3 in Reihe geschalteten Spulen von je 2,45Ω Widerstand und 15—18A Belastung, und beträgt demnach 7,35Ω. Er ist ebenfalls auf dem hiesigen Werk gebaut und von gleicher Konstruktion wie die auf S. 6 erwähnten Widerstände im chemischen Laboratorium.

Die Einrichtung unserer Schalttafel erhellt aus der Betrachtung der Figuren 3 bis 5. Figur 3 ist entworfen in Anlehnung an die Zeichnung, die der eben erwähnten Veröffentlichung der Ruhstratschen Widerstands-Schalttafeln beigegeben ist (Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, 18. Jg. 1905, S. 379); jedoch ist unsere Figur in größerem Maßstabe gezeichnet und noch mehr schematisiert, vor allem aber sind die Verhältnisse der wirklich gelieferten Tafel zu Grunde gelegt, die in Konstruktion und Anordnung der Teile mehrfach von dem ursprünglichen Plane abweicht. Figur 4 und 5 gewähren eine noch schnellere Uebersicht.

Die Marmortafel von 600×750 mm² zeigt oben bei +A und —A die Anschlußklemmen, rechts und links am unteren Rande zwei Abnahmestellen für Starkstrom, und zwar rechter Hand Klemmen, linker Hand Stöpsel. Die Stöpselkontakte links sind durch fest eingebaute Leitungen dauernd mit einer Anschlußdose der südlichen Zimmerwand, neben dem Heliostatenansatz, verbunden, ein cylindrischer Ebonitstöpsel (die angefeilte Ebene nach oben!) mit Doppelkabel vermittelt von hier aus die Speisung der Bogenlampe, deren Strahlen in der gleichen Richtung längs des Experimentiertisches streichen, wie die Strahlen des Heliostaten. Die Klemmen zur rechten sind ebenfalls durch fest eingebaute Leitungen (unter dem Fußboden hindurch) mit den versenkten Messingschienen des (Kohl'schen) Experimentiertisches verbunden und an je 12 Punkten durch Stöpsel zugänglich; die Lehrerseite des Tisches trägt die positive Schiene*). Die beiden Klemmen

*) Anmerk. Diese Schienen bilden eine wertvolle Ergänzung unserer Schalttafel. Der Starkstrom kann zwar alle Werte von 1,5—15 A annehmen, die Spannung desselben muß sich aber in ziemlich

in der Mitte des unteren Tafelrandes bilden die Abnahmestelle für den Schwachstrom, der mit besonderen beweglichen Drähten der Verbrauchsstelle zuzuführen ist. Etwas unter der Mitte des rechten Tafelrandes ist noch eine Anschlußdose für eine Lichtleitung (Stöpsel mit Kabel) angebracht, die unabhängig vom Betriebe des Stark- und Schwachstromes eine Glüh- oder Nernstlampe (oder einige parallelgeschaltete dergl.) zu speisen vermag. Dieser Steck-Kontakt ist u.a. die Stromquelle für eine bewegliche Skalenlampe, deren gerader Faden auch in der Optik gute Dienste leistet, als „Gegenstand" in der geometrischen Optik, als „Spalt" bei spektroskopischen und Interferenzversuchen usw.

Der Starkstrom.

Was zunächst das Starkstromsystem anbetrifft, so geht der Strom (blaue Linie in Fig. 3 bis 5) vom Außenleiter+A durch die große Sicherung S (15A, 250V), sodann durch den Momentausschalter (Hauptschalter) in die Stöpselschaltung rechts unten. Diese besteht aus 6 kleineren quadratischen, und 2 größeren, rechteckigen vernickelten Messingplatten, zwischen denen 9 schwach konische Bohrungen für Stöpselkontakte ausgespart sind; diese Löcher sind mit den Zahlen 1 bis 6 und 8 bis 10 bezeichnet. Die acht Messingplatten sind nun mit den vier Doppelwiderständen (von je 22Ω bei 7A Belastung) in der Mitte der Tafel derart verbunden (s. die Figur 3), daß durch geeignete Stöpselung die Widerstände sämtlich hintereinander, oder paarweise hintereinander und diese Paare parallel („halbparallel"), oder endlich alle vier parallel geschaltet werden können.

Der Starkstrom, der von den großen Schieberwiderständen zur Stöpselschaltung zurückgekehrt ist, geht von hier zu den positiven Abnahmestellen am unteren Tafelrande, dann durch den zu betreibenden Apparat (Bogenlampe, Motor, Elektromagnet), von da durch die negative Klemme (den negativen Stöpsel) in das rechte quadratische Feld (15A) der dreiteiligen Stöpselschaltung für den aperiodischen Strommesser, und von hier endlich zur negativen Anschlußklemme —A am oberen Tafelrande. Wird das rechte Loch der eben erwähnten Stöpselschaltung gestöpselt, so geht ein Zweig des Starkstromes durch die mittlere rechteckige Platte zum Strommesser und von da zur Klemme —A und zum Mittelleiter zurück. Der Starkstrom kann nun gemessen werden; die Angaben des Instrumentes sind mit 10 zu multiplizieren. Das Loch im rechteckigen Mittelfelde der Stöpselschaltung (0A) ist kein Kontakt, vielmehr lediglich ein Aufenthalt für den Stöpsel, wenn der Strommesser außer Betrieb gesetzt werden soll. Stöpselt man dagegen das linke Loch, zwischen

---

engen Grenzen bewegen. Schaltet man den Starkstrom allein ein, so ist der Spannungsabfall 220V. Schaltet man den Schwachstrom dazu parallel, und zwar mit möglichst wenig Widerstand, so beträgt der Spannungsabfall in den parallelen Zweigen immer noch etwa 180V, wie eine kurze Rechnung lehrt. An einer Unterbrechungsstelle (Funkeninduktor) würde dieser plötzlich auftretende Spannungsabfall empfindliche Kontakte gefährden. Bildet man aber, während der Starkstrom allein im Betriebe ist, durch einen Regulierwiderstand von etwa 10Ω Höchstwert eine Brücke zwischen den Schienen, so kann man nun die Unterbrechungsstelle parallel zu dieser Brücke legen und bei nur wenig verringerter Stromstärke den Spannungsabfall auf der Unterbrechungsstrecke (und der Brücke) leicht auf ein Dutzend Volt und noch weiter herunterbringen.

dem Mittelfelde und der linken quadratischen Platte (1,5 A), so ist der Strommesser in den Schwachstrom (im Nebenschluß) eingeschaltet (s. u. S. 13) und zeigt unmittelbar die Stromstärke an.

1) Stöpselt man in der Stöpselschaltung für den Starkstrom die Löcher 1, 2, 3, so sind die Doppelwiderstände in Reihe geschaltet und bilden einen Widerstand von 4 . 22 = 88Ω, zusammen mit dem Ballast einen Gesamtwiderstand von 88 + 7,35 = 95,35 Ω. Die Stromstärke beginnt also, wenn der Widerstand der äußeren Leitung nicht nennenswert ist, mit 220 : 95,35 = 2,31A und kann durch Hinaufziehen der Schieber gesteigert werden. Wegen der hohen Wattzahl der vernichteten Energie (220V Netzspannung!) empfiehlt es sich nicht den Widerstand voll, also mit 7A zu belasten, auch nicht bei Versuchen von kürzerer Dauer; bei stundenlangem ununterbrochenem Betriebe (Laden der Sammlerzellen) ist nach unseren Erfahrungen 3,5A die äußerste Belastungszahl (der Fabrikant läßt 4A zu bei 9Ω Ballastwiderstand).

2) Wird ein stärkerer Strom gewünscht, so werden durch Stöpselung der Löcher 2, 4, 6, 8, 10 die großen Schieberwiderstände halbparallel geschaltet, und ein Widerstand von 22Ω, mit dem Ballast also ein Widerstand von 29,35Ω erzielt. Die Anfangsstromstärke (Kurzschluß in der äußeren Leitung!) ist jetzt 220 : 29,35 = 7,5A, die man bei Versuchen von kurzer Dauer auf 10—12A anwachsen lassen darf. Das theoretische Strommaximum wäre jetzt, wo zwei parallele Strombahnen zur Verfügung stehen, 14A, doch empfiehlt sich auch hier ein angemessener Abstand von der Grenze. Bei der erstmaligen Ladung der frischen Sammlerzellen (15. 8. 07) waren dieselben (6 Stück) hintereinander, die Schieberwiderstände halbparallel geschaltet, der Strommesser zeigte 6,5A, nach Ausweis der geaichten Normalien des elektrischen Werkes (von Hartmann und Braun) etwas zu wenig. Die Belastung eines Einzeldrahtes betrug demnach $3^1/_4$ bis $3^1/_2$ Ampere. Nach 3 Stunden waren die Widerstände sengend heiß und gelblich bis schwärzlich angelaufen, die Gummiisolierungen an den Tafeldurchbohrungen, wo die Luftkühlung fehlt, rochen und bildeten braune Höfe um die Durchbohrungsstellen, und die Marmortafel war so warm wie ein Kachelofen. Die Öffnung des benachbarten Fensters milderte diese Erscheinungen in ganz auffallender Weise.

3) Will man Ströme von 10—15A verwenden, so werden die Löcher 4, 5, 6, 8, 9, 10 gestöpselt. Die vier Doppelwiderstände sind jetzt parallel geschaltet und zu einem Widerstande von 5,5Ω vereinigt. Der Gesamtwiderstand ist 7,35 + 5,5 = 12,85Ω; der Strom würde also bei Kurzschluß im äußeren Leiter mit einem Mindestbetrage von 220 : 12,85 = 17,1A einsetzen und damit bereits über die Leistungsfähigkeit der Tafel (Strommesser bis 15A!) hinausgehen. Hierzu ist erstens zu bemerken, daß man Ströme von 10—15A und 220V Spannung nicht durch widerstandslose Leiter zu jagen pflegt. Dann aber ist bei Anschluß an eine Starkstromanlage wie auch beim Gebrauch von Sammlerzellen ein besonderer transportabler Regulierwiderstand unerläßlich und in jede Apparatenzusammenstellung so wie so einzubauen.. Schaltet man also z.B. zur Tafel noch 10Ω hinzu, so ist der Gesamtwiderstand 22,85Ω und die Anfangsstromstärke 220 : 22,85, also knapp 10A; dieselbe kann nun durch Hinaufziehen der Schieber an der Schalttafel oder durch Verkleinerung des Regulierwiderstandes leicht bis zur Grenze von 15A gesteigert werden.

Der Regulierwiderstand in Verbindung mit Schaltung 2 füllt ersichtlich auch die Lücke zwischen den 5—6A Höchststrom von Schaltung 1 und den 7,5A Mindeststrom von Schaltung 2 ohne weiteres aus, sodaß in einem „normal" ausgerüsteten Unterrichtszimmer der Tafel tatsächlich Starkstrom von 2,31—15A lückenlos entnommen werden kann.

Zu bemerken ist noch, daß bei Schaltung 1 die Schieber der Doppelwiderstände nacheinander allmählich auf „Stark" gestellt werden können. Bei Schaltung 2 muß mit je 2 Schiebern gleichmäßig vorgegangen werden u. zwar mit den Schiebern des rechten und linken Doppelpaares; bei Schaltung 3 sind sämtliche Schieber zugleich in die Höhe zu rücken. Anderenfalls würden die beiden Zweige der Schaltung 2, oder die vier Zweige der Schaltung 3 nicht mehr widerstandsgleich sein und deshalb verschieden starken Strom führen, sodaß für den höchstbelasteten Zweig die kritische Belastungszahl von 7A erreicht werden könnte, ohne daß der Gesamtstrom der vorschriftsmäßigen Schaltung widerspricht. Hätte man z.B. bei Schaltung 3 unter Hinzuschaltung eines passenden äußeren Widerstandes eine Anfangsstromstärke von 12A und man würde einen Schieber allein ganz hinaufziehen, so hätte dieser Zweig den Widerstand Null, die drei anderen zusammen den Widerstand 22 : 3 = 7,3Ω. Der Gesamtstrom würde dann durch den ersten Zweig hindurchfließen und dieser eine Draht alsdann mit 12A belastet sein statt mit 3A, siehe Figur 6. Die stromleitenden obersten Windungen des ersten Doppelwiderstandes würden sich hierbei bis zur Weißglut bezw. bis zum Abschmelzen erhitzen. Auch bei Schaltung 2 würde man noch mindestens eine Lockerung der höchstbelasteten Spulen durch übermäßige Erhitzung und nachträgliche Verziehung zu befürchten haben (Fig. 7).

Bei einer Netzspannung von 110V kann man der Tafel, die dann keines Ballastwiderstandes bedarf, nach Angabe der Fabrik, äußerstenfalles Sröme von 10—20A entnehmen. Hierbei ist jedoch der Strommesser der Tafel auszuschalten, was durch Wegnahme des Stöpsels geschieht. Es ist aber dann zur Kontrolle ein besonderer Strommesser mit höherem Meßbereich in die Strombahn einzuschalten, da die Stromstärke von 20A keinesfalls überschritten werden darf. Die Starkstromleitung ist in diesem Falle durch Auswechseln des Schmelzstöpsels und der Kontaktschraube höher zu sichern (für gewöhnlich 15A bei 220V). Da bei der Halberstädter Netzspannung von 220V bei gleicher Stromstärke die doppelte Wärmemenge im Leiter erzeugt wird, so wird es gut sein, solche Kraftproben zu unterlassen.

Selbstverständlich hat die Stöpselung der Tafel behufs Entnahme von Starkstrom, sowie jede Änderung der Stöpselung stets bei geöffnetem Hebelausschalter zu geschehen!

Der Schwachstrom und die Lichtleitung.

Der Schwachstrom ist insofern unabhängig vom Starkstrom, als der Hebelausschalter für den Starkstrom hinter der in Frage kommenden Verzweigungsstelle, der großen Sicherung (S) angebracht ist (Figur 4). Es ist also für die bloße Möglichkeit des Schwachstroms gleichgiltig, ob der Hauptstrom im Betriebe ist oder nicht, bezw. ob der Hebelausschalter geschlossen oder geöffnet ist. Wäre der der Gesamttafel vorgeschaltete Ballastwiderstand nicht, wären also die großen

Rheostaten entsprechend stark gebaut, so würden sich Starkstrom und Schwachstrom auch in der Stärke nicht beeinflussen, und es wäre für jeden der beiden Ströme völlig gleichgiltig, ob der andere im Betriebe ist oder nicht; der Strommesser, der ja mit Leichtigkeit in jeden der beiden Ströme (ohne deren Unterbrechung!) eingeschaltet werden kann, würde das Ergebnis der Theorie sofort bestätigen. Dies wäre erst die „ideale" Schalttafel, die auch ursprünglich geplant war, denn die Anzeige in der Poskeschen Zeitschrift, Jg. XVIII, 1905, S. 379, berücksichtigt ausdrücklich ein besonderes Modell für 220V Netzspannung mit Doppelwiderständen von je 40Ω. Die „Anpassung" des 110-voltigen Modelles an 220V durch einen Ballastwiderstand ist ein theoretischer und pädagogischer Fehler unserer Schalttafel, der für die Praxis freilich nicht viel verschlägt, da die Abweichungen von den berechneten „Idealwerten" der Zweigströme nur wenige Prozente betragen (vergl. S. 9). Es ist bedauerlich, daß die Herstellung des stärkeren Modelles wirtschaftlich nicht lohnend gewesen oder erschienen ist, denn hier war eine treffliche Gelegenheit zum Nachweis der theoretischen Forderung, daß die Stromstärke in jedem Zweige unabhängig davon ist, ob und in welchen parallelen Zweigen noch außerdem elektrischer Verkehr ist, sobald der Widerstand des Hauptstromes gegen den seiner Zweige vernachlässigt werden kann (Telegraphieren auf mehreren Linien mit derselben Batterie).

Die Schwachstromleitung (rote Linie in Fig. 3 bis 5) — die Stöpselschaltung des Strommessers ist jetzt links, bei 1,5A zu stöpseln — entspringt aus der der großen Sicherung S unmittelbar benachbarten kleinen Sicherung s (6A bei 250V) und geht zunächst durch einen Lampenwiderstand von 3 parallel geschalteten Lampen L, L_1, L_2. Diese Lampen von je 32 N K bei 220V Spannung, also von je 440Ω Widerstand können durch einen Kronenschalter (K, über dem Hebelausschalter für den Starkstrom) angeschlossen und ausgeschaltet werden. Nachdem der Strom die Lampen (die mittlere, oder alle drei, oder die beiden seitlichen) passiert hat — größte Stromstärke bei Einschaltung aller drei Lampen —, geht er in den quergestellten Verzweigungswiderstand. Die Drahtwindungen dieses Widerstandes von 75Ω und 2A Höchstbelastung führen einerseits direkt zur negativen Anschlußklemme (— A) der Tafel, andererseits zum Lampenwiderstand; der Schieber (die Verzweigungsstelle) ist dagegen mit dem positiven Pol der Abnahmestelle für den Schwachstrom, in der Mitte des unteren Tafelrandes, verbunden. Der Strom geht von hier in den zu betreibenden Apparat und von da zur negativen Anschlußklemme und zum Mittelleiter. In die zuletzt genannte Stromstrecke ist der Strommesser durch einen Nebenschluß eingeschaltet, wenn der Stöpsel in die linke Öffnung (1,5A, s. S. 11) gesteckt wird.

Hinter der kleinen Sicherung (s), aber vor dem Lampenwiderstand, zweigt vom Schwachstrom noch eine Lichtleitung (grüne Linie in Fig. 3 bis 5) ab, die am rechten Tafelrande, oberhalb der großen Stöpselschaltung, eine Anschlußdose Li (6A bei 250V) passiert und dann zur negativen Anschlußklemme der Tafel abgeleitet ist. Durch einen Stöpsel mit Doppelkabel können eine oder mehrere Glüh- oder Nernstlampen, oder auch eine der neuen Liliput-Bogenlampen mit der Anschlußdose verbunden und gespeist werden. Die auf S. 10 erwähnte Skalenlampe wird gleichfalls aus

diesem Steckkontakte gespeist. Die Lichtleitung ist unabhängig vom Schwach- (und Stark-) Strom, sofern nur die Möglichkeit des gleichzeitigen Betriebes ins Auge gefaßt wird; der vorgeschaltete Ballastwiderstand bewirkt aber hier, wo die Widerstände der Zweige von gleicher Größenordnung sind, eine erhebliche gegenseitige Beeinflussung der Lichtleitung und der eigentlichen Schwachstromleitung i. e. S., sodaß diese Zweige am besten einzeln betrieben werden.

Um ein Bild von der Stärke des nutzbaren Schwachstromzweiges zu gewinnen, mögen einige Sonderfälle herausgegriffen werden.

a) Starkstrom und Lichtleitung ausgeschaltet, vom Lampenwiderstand die mittlere Lampe eingeschaltet, der Schieber ganz rechts, Apparat und Tafelzweig (Leerlauf) widerstandsfrei, siehe Figur 8. Der Gesamtwiderstand ist $7{,}35 + 440 + 75 + 0 = 522{,}35\Omega$, die Maßzahl des Schwachstromes ist $i = 220 : 522{,}35 = 0{,}42 = 2/5$ A. Nutzstrom (i_1) und Leerlaufstrecke (i_2) sind wegen des gleichen (verschwindend geringen) Widerstandes der beiden Zweige einander gleich, also $i_1 = i_2 = \frac{1}{2}\, i = 1/5$A.

b) Starkstrom und Lichtleitung außer Betrieb, alle 3 Lampen eingeschaltet, Schieber des Rheostaten ganz links, der Apparat widerstandsfrei, siehe Figur 9. Der Gesamtwiderstand ist $7{,}35 + \frac{440}{3} + \frac{75 \,.\, 0}{75 + 0} = 154{,}02\Omega$, der gesamte Schwachstrom also $i = 220 : 154{,}02 = 1{,}43$ A. Ebenso stark ist der durch den Apparat fließende Nutzstrom i_1, denn es ist

$$i_1 + i_2 = 1{,}43$$

$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{0}{75} = 0$$

$$i_2 = 0$$

$$i_1 = i - i_2 = i = 1{,}43\text{A}.$$

Dies ist für unsere Tafel der theoretische Höchstwert des nutzbaren Schwachstromzweiges.

c) Starkstrom und Lichtleitung außer Betrieb, eine Lampe vorgeschaltet, Schieber in der Mitte, Apparat widerstandsfrei, Figur 10. Der Gesamtwiderstand ist

$$7{,}35 + 440 + \frac{75}{2} + \frac{75/2 \,.\, 0}{75/2 + 0} = 484{,}85\Omega,$$

der gesamte Schwachstrom ist also $i = 220 : 485 = 0{,}45$A, der nutzbare Zweig $i_1 = i \frac{w_2}{w_1 + w_2} = 0{,}45 \frac{75/2}{75/2 + 0} = 0{,}45$A, also eben so groß, wie auch unmittelbar aus dem Gesamtwiderstand Null der beiden Zweige zu erkennen ist.

d) Hat der Apparat einen merkbaren Widerstand, der parallele Nebenschluß (der Leerlauf) nur einen geringen oder unmerklichen Widerstand, wie im Falle a, so kann die Maßzahl des nutzbaren Zweigstromes durch alle Werte bis zur Null herabsinken, wie die Kirchhoffschen Regeln ohne weiteres erkennen lassen.

Man kann also je nach dem Widerstande der Nutzleitung von unserer Tafel Schwachströme von 0 bis 1,43A entnehmen. Die Lücke zwischen diesem Höchstbetrage des Schwachstromes (1,43A) und dem Mindestbetrage des Starkstromes (2,31A, s.o.) ist durch Einschaltung eines besonderen Regulierwiderstandes in den Starkstrom (Stöpselung 1, 2, 3) leicht auszufüllen, sodaß durch Zuzug eines besonderen Regulierwiderstandes der Tafel in der Tat Ströme von 0—15A entnommen und gemessen werden können. Die Spannung aller dieser (Einzel-) Ströme ist die gleiche von 220V; über die Entnahme von schwächer gespannten Strömen ist schon oben (S. 9/10 Anmerkung) gehandelt.

c) Die mittelbare Stromentnahme.

Die beiden Starkstromklemmen am unteren Rande der Schalttafel, rechter Hand, sind für gewöhnlich mit den versenkten Schienen des Experimentiertisches verbunden u.zw. die positive Klemme mit der „Lehrer"-Seite des Tisches. Dieselben Klemmen führen nun auch nach den Polen der Sammlerbatterie. Dieselbe besteht aus 6 Zellen von je 8A Entladestromstärke und 24 Amperestunden Kapazität, und steht in einem Holzgestell mit Staubdeckel in der benachbarten Fensternische. Zwischen der Batterie und den genannten Anschlußklemmen ist ein (Kohl'scher) Pachytrop eingeschaltet, der unmittelbar unter dem Schaltbrett fest eingebaut ist, und dessen Walze es erlaubt, mit einem Griffe die Batterie auf 2, 4, 6 und 12 Volt zu schalten. Ein Gehäuse schützt auch hier den Apparat vor Staub und ungewollten Berührungen, der Griff ist natürlich trotzdem zugänglich. Das Schaltungsschema ist aus Figur 11 ersichtlich, in welcher der Pachytrop zur besseren Übersicht weggelassen ist. Die Starkstromleitung entläßt gleich hinter den Abnahmeklemmen eine Zweigleitung zu den Polen der Batterie (des Pachytropen). Der positive Zuleitungsdraht ist für gewöhnlich durch einen Schalter unterbrochen, dessen Hartgummigriff unter dem Pachytropen angebracht ist; der Griff steht in diesem Falle senkrecht zur Axe der Pachytropenwalze. Bei dieser Stellung des Schaltergriffes ist die Sammlerbatterie vom Leitungsnetz abgestellt und es kann nun nach Wahl, entweder aus der Tafel hochgespannter Starkstrom an den Schienen des Experimentiertisches abgenommen werden, wie oben beschrieben, oder aber schwachgespannter Starkstrom aus der Sammlerbatterie (s. gl. u.). Dreht man den Schaltergriff (rechts herum) um 90° (Fig. 12), so ist die Batterie an das Leitungsnetz angeschlossen und wird geladen. Die Batterie ist hierbei stets auf 12V zu schalten und der Ladestrom durch die Schalttafel auf höchstens 6—7A zu normieren (s. u.). Eine besondere Sicherung für den Ladestrom der Batterie ist durch die Tafel entbehrlich gemacht. Öffnet man nach Vollendung der Ladung (Kochen der Zellen, Probe mit dem Taschen-Voltmesser) durch eine abermalige Rechtsdrehung den Schalter, so kann man nun ohne weiteres aus einem besonderen Klemmenpaar, an der Lehrerseite des Tisches, den Entladestrom der Batterie entnehmen (die positive Klemme rechts). In den Weg des Entladestromes ist dicht neben den Abnahmeklemmen auch hier eine Sicherungsdose eingebaut, die mit verschiedenen Stöpseln beschickt werden kann. Dies fordert der äußerst geringe innere Widerstand der Batterie,

die bei Kurzschluß im Apparat durch Ströme von 100A und mehr Selbstmord verüben kann (s. S. 7). Als unverbrüchliche Regel gilt trotzdem: beim Arbeiten mit den Sammlerzellen stets 10Ω Widerstand und Strommesser in die Strombahn einbauen und dann hinaufgehen bis zur zulässigen Stromstärke!

Da unserer Batterie kein besonderer Ladewiderstand vorgeschaltet ist, so ist dieser Widerstand der Schalttafel zu entnehmen. Die Netzspannung beträgt 220V, die Gegenspannung der in Reihe geschalteten Zellen ist anfangs 6 . 2,1 = 12,6V, der maßgebende Überschuß also 220—12,6 = 207,4V. Da die Ladung je nach der Stromstärke u. U. viele Stunden lang dauert (24 Amperestunden Kapazität!), so darf ein einzelner Widerstandszweig höchstens mit 3 bis $3\frac{1}{2}$A belastet werden (s. S. 11). Für die Schaltung 1 (Stöpselung 1, 2, 3, S. 11) ergibt sich z.B. für 3A Ladestromstärke

$$3 = \frac{207,4}{7,35 + w},$$

woraus

$$w = 61,78 = 62\Omega.$$

Die Schieber brauchen also nur um $\frac{1}{3}$ hinaufgezogen zu werden, die Ladung dauert etwa 9 Stunden. Das Anwachsen der Gegenspannung der Batterie am Ende der Ladung verringert die Stromstärke noch etwas. Es schadet natürlich durchaus nicht, wenn man den gesamten Widerstand (95,35Ω) der Schaltung 1 vorschaltet; man hat dann einen Ladestrom von 207,4 : 95,35 = 2,2A und die Ladung dauert dann 11 Stunden, was zwar langweilig ist, aber der Batterie gut bekommt.

Die Schaltung 2 (Stöpselung 2, 4, 6, 8, 10, S. 11) liefert nach der Gleichung

$$i = \frac{220 - 12,6}{22 + 7,35} = 7,07$$

einen Strom von 7,07 A, der wegen der Zuleitungsdrähte und der vielen Kontakte nicht voll erreicht wird. Da jetzt zwei parallele Strombahnen zur Verfügung stehen, so kommen auf jeden Zweig nicht ganz 3,5 A, was noch eben zulässig erscheint. Die Ladung wird jetzt gegen 4 Stunden Zeit erfordern; die starke Erwärmung der Tafel ist durch kräftige Ventilation zu mäßigen (S. 11). Es ist in jedem Falle geboten, die Ladung von Zeit zu Zeit zu kontrollieren und deshalb lieber über Tage zu laden.

Der Vergleich mit der Ladung der Sammlerzellen durch zwei große Bunsenelemente liegt nahe. Die E M K der parallel geschalteten Zellen ist beim Beginn der Ladung 2,1V, der Widerstand dauernd winzig klein. Die E M K der beiden hintereinander geschalteten Bunsenelemente ist bei frischen Säuren, sauberen Kohlenstäben etc. 2 . 1,9 = 3,8V, der innere Widerstand bei guten Tonzellen anfangs etwa 0,1Ω. Später, wenn die Salpetersäure schwächer wird, sinkt die E M K der Bunsenelemente auf 2 . 1,8 = 3,6V, während der innere Widerstand auf ca. 0,2Ω anwächst. Da auch die Gegenkraft der Sammlerzellen auf etwa 2,6V ansteigt, so hat man bei

kurzen Zuleitungen für die Ladestromstärke zuerst

$$i = \frac{2 \,.\, 1{,}9 - 2{,}1}{2 \,.\, 0{,}1} = \frac{3{,}8 - 2{,}1}{0{,}2} = \frac{1{,}7}{0{,}2} = 8{,}5\text{A},$$

und gegen den Schluß der Ladung

$$i = \frac{2 \,.\, 1{,}8 - 2{,}6}{2 \,.\, 0{,}2} = \frac{3{,}6 - 2{,}6}{0{,}4} = \frac{1{,}0}{0{,}4} = 2{,}5\text{A},$$

also ganz ähnliche Zahlen wie bei Schaltung 2 und 1.

Hier wie nach dem Laden mit der Schalttafel gewinnt man fast den gesamten „verbrauchten" Strom (97 %) zurück, und auf diesen Entladestrom bezieht sich die Angabe von „24 Amperestunden Kapazität". Faßt man die bei der Entladung freiwerdende Energie (die Wattstunden) ins Auge, so ist die Sache nicht so günstig, man erhält nur 80% der beim Laden verbrauchten Energie. Der Grund ist die erheblich geringere Entladespannung, 1,95 — 1,85V statt 2,1 — 2,6V Ladespannung. Der Unterschied ist darauf zurückzuführen, daß die Bleiplatten während der Ladung mit Schichten von Wasserstoff und Sauerstoff belegt sind. Im ersten Augenblick der Entladung werden diese Schichten zu Wasser und es tritt die kleinere Spannung der eigentlichen Platten in Wirksamkeit.

Da es sich hier um Versuche handelt, die in stets gleicher Weise wiederkehren, so sei hier anhangsweise der Bogenlampe noch einmal gedacht (vergl. S. 8). Für unser Unterrichtszimmer reicht eine Stromstärke von 6—8A für alle Versuche, auch für die objektive Vorführung von Strahlengängen, Interferenzerscheinungen usw. vollständig aus, da man in diesem Spielraum für jedes Ampere etwa 70 Normalkerzen rechnen kann. Beträgt der Abstand der Kohlenspitzen 2—3 mm, so ist der wahre Widerstand des Lichtbogens etwa 1Ω, die elektromotorische Gegenkraft = 50V (s. z.B. Benischke, die wissenschaftlichen Grundlagen usw., Berlin 1907, S. 473). Für eine Stromstärke von 6A folgt demnach aus der Gleichung

$$6 = \frac{220 - 50}{7{,}35 + w + 1}$$

der Wert

$$w = 20\Omega$$

Da die Stromstärke 6A der Belastungsgrenze eines Drahtes schon zu nahe kommt, so ist Schaltung 2 zu wählen und der Tafelwiderstand von 22Ω ein wenig zu verringern. Man kann hier schon eher einmal — vorausgesetzt, daß die Condensorlinsen es aushalten — bis 7 und 8A hinaufgehen, da hier der Verlauf der Versuche so wie so Pausen mit sich bringt, und auch die Gesamtdauer der Tafelbeanspruchung nicht entfernt an das Laden der Sammler heranreicht. —

Ein abschliessendes Urteil über unsere elektrische Einrichtung im allgemeinen und über die Schalttafel im besonderen ist nach so kurzer Zeit noch nicht möglich, namentlich noch nicht über die Lebensdauer und Leistungsfähigkeit der beiden Sammlerbatterien, doch steht wohl folgendes bereits fest.

Die Vorschaltung eines Ballastwiderstandes vor ein Modell, was als solches zum Anschluss an 110V dienen soll, an Stelle der restlosen Verteilung einer gleichwertigen Ohmzahl auf die drei Zweige (Starkstrom, Schwachstrom, Lichtleitung) ist zweifellos ein theoretischer und pädagogischer Mangel

der Tafel und wohl nur durch das eherne Lohngesetz diktiert (vergl. S. 13). Einen anderen Mangel könnte man darin finden, daß die Spannung der aus der Tafel zu entnehmenden Ströme entweder glatt 220V oder (bei gleichzeitigem Betriebe) doch nicht wesentlich niedriger ist. Wie dieser Umstand durch einen Regulierwiderstand im Nebenschluß (etwa 10Ω bei 10A Belastung) leicht gehoben werden kann, ist S. 9—10 (Anmerkung) dargetan. Würde ein solcher Regulierwiderstand, der etwa 35 M. kostet, ausschliesslich zu diesem Zwecke gebraucht, so müsste man sagen: die Tafel hat nicht 250 M., sondern 285 M. gekostet! Ein grösserer Regulierwiderstand ist aber so wie so unentbehrlich, und mit Hilfe der Schienen des Experimentiertisches kann die Spannung des Nutzstromes, ohne wesentliche Verringerung der Stromstärke, auf jeden vorgeschriebenen Wert herabgesetzt werden.

Ein wirklicher Mangel der Tafel versteckt sich hinter der mehrdeutigen Benennung „Experimentierschalttafel", unter der sie zum Kaufe angeboten wird. Meint man damit lediglich „Experimente" während der Lehrstunde, so ist vom praktischen Standpunkte aus kein Vorwurf zu erheben. Bei stundenlanger ununterbrochener Beanspruchung (Projektionen, Laden von Sammlerzellen) ist die Tafel für 220V Netzspannung zu schwach gebaut. Der Vorschaltwiderstand, der nach Ankunft der Tafel zu unserer nicht sehr freudigen Überraschung hinzu extemporiert werden musste, wurde nach durchschnittlichen Belastungswerten auf 7—8Ω eingeschätzt und mit 7,35Ω ausgeführt. Dieser Widerstand ist zu klein; aber auch der Ballastwiderstand von 9Ω, den der Fabrikant zugibt, genügt nicht. Erst ein Gesamtwiderstand von 12Ω (und natürlich 15—18A Belastung), der mit der Tafel in Reihe geschaltet wird, gestattet es mit voller Seelenruhe zu arbeiten und die Tafel auch bei Dauerbelastungen stundenlang sich selbst zu überlassen. Auch die unmittelbare Benutzung der Schaltung 3 (S. 11) — ohne nochmaligen Zuzug eines Regulierwiderstandes — wäre alsdann möglich, denn man hat theoretisch

$$i = \frac{220}{12 + 5{,}5} = 12{,}6\text{A},$$

die man auf 4 parallelen Zweigen eine ganze Weile laufen lassen kann.

Diesen Mängeln steht eine Reihe großer Vorzüge gegenüber. Zieht man noch einen Regulierwiderstand hinzu, so können der Tafel Ströme von 0—15A in allen Stärken und Spannungen entnommen werden. Die Stark- und Schwachströme können der Tafel gleichzeitig entnommen und abwechselnd, ohne sie zu unterbrechen, mit demselben Strommesser gemessen werden. Es kann ausserdem noch gleichzeitig eine transportable Schwachstromlampe (Glühlampe, Nernstlampe, Liliput-Bogenlampe) gespeist werden. Ein weiterer Vorzug ist darin zu erblicken, daß Unbefugten nur der Schwachstrom zugänglich ist, solange die Stöpsel unter Verschluß gehalten werden. Denn auch der Steckkontakt für die Lichtleitung hat zweierlei Löcher und ist deshalb für gewöhnliche Kabelstöpsel unbrauchbar. Sehr wesentlich für den Unterricht ist die ebenmäßige und raumersparende Anordnung der einzelnen Tafelglieder. Alle „nebensächlichen" Verbindungen liegen verdeckt auf der Rückseite der Tafel, dagegen sind die sämtlichen Widerstände, Draht- und Lampenwiderstände,

sichtbar und werden vor den Augen der Schüler in Betrieb gesetzt und abgestuft; das Umstecken eines Stöpsels verrät augenblicklich die Verkehrsstärke in jedem der beiden Hauptzweige.

Wenn sich, was nach der ganzen Aufmachung zu erhoffen steht, zu den genannten Vorzügen noch eine recht lange Lebensdauer der Tafel und ihrer Einzelteile gesellt, dann ist der vielseitige und zweckmässige Apparat nicht teuer gewesen, und wir haben für den Kampf gegen die physikalische Unwissenheit einen starken, allezeit kampfbereiten Bundesgenossen gewonnen, dessen beredte und eindringliche Sprache ihre Wirkung nicht verfehlen wird.

Einrichtung des chemischen Unterrichts- und Arbeitszimmers.

Von Mich. 1883 bis Juli 1907 ist der chemische Unterricht in einem Kellerraume erteilt worden, der nach Aussage eines die Anstalt revidierenden Vorgesetzten als durchaus unzureichend und gänzlich unwürdig bezeichnet wurde. Es fehlte in diesem Raume an jedweder Sitzgelegenheit für die Schüler, an hinreichender Ventilationsvorrichtung, an den meisten für Experimentalunterrichtung notwendigen Geräten und Einrichtungen, bis 1890 an Wasserleitung, ja sogar am allernötigsten Tageslicht, sodaß stets bei Gasbeleuchtung unterrichtet werden mußte. Nachdem ich fast sechs Jahre genötigt war, in jenem Kellerraume unterrichten zu müssen, empfinde ich es als eine wahre Erlösung, jetzt über ein Unterrichtszimmer verfügen zu dürfen, das allen Schulanforderungen genügt und das nach eignen, auf Unterrichtserfahrung beruhenden Angaben eingerichtet ist.

Der früher als Zeichensaal benutzte Raum von 8,90×7,60 qm und 5,5 m Höhe wurde durch Einrichtung eines neuen Zeichensaales frei und ist zum chemischen Unterrichtszimmer umgebaut worden. Um den Raum besser ausheizen zu können, wurde eine Decke eingeschaltet, die die Höhe auf 4 m herabmindert, ferner wurden die 3 nach Norden gerichteten Fenster zugemauert bis auf eine 0,90×0,40 qm grosse, durch ein einflügeliges Fenster verschliessbare Öffnung, unter der ein Spül- und Ausgußbecken angebracht ist. Durch eine Rabitz-Querwand ist der Gesamtraum in 2 Zimmer geteilt, ein größeres von 6,5×7,6 qm Fläche mit 2 nach Westen gerichteten Fenstern, und ein kleineres von 6,5×2,4 qm Bodenfläche mit einem ebenfalls nach Westen liegenden Fenster; eine Tür verbindet beide Zimmer. Das kleinere birgt vier Schränke für Chemikalien, Glasgefäße, Apparate etc., einen Schrank mit 10 Schubladen, 2 größeren für Glasröhren, Fließpapier etc. und 8 kleineren für eine Mineraliensammlung, die besonders diejenigen Erze und Mineralien enthält, die für die anorganische Chemie von Wichtigkeit sind. Ferner sind ein Arbeitstisch mit Schraubstock, Amboss, Werkzeugbrett etc., sowie ein Schreibtisch mit einem Regal aufgestellt, in dem eine Reihe Lehr- und Handbücher für Chemie und Mineralogie Platz finden. In der südwestlichen Ecke steht auf starkem, von eisernen, in die massive Wand eingelassenen Konsolen getragenem Eichenbrett die Präzisionswage. Durch die Art ihrer Aufstellung ist sie Erschütterungen nicht ausgesetzt. Einige Regale für allerlei Utensilien vervollständigen die Ausstattung des kleinen

Zimmers, das eben seiner ganzen Einrichtung nach als Vorbereitungs- und Arbeitszimmer dienen soll. Die Beleuchtung, sowie die Heizung geschieht durch Gas.

Das grosse Zimmer von rund 50 qm Bodenfläche ist in erster Linie Unterrichtszimmer und dementsprechend seine Ausstattung. Um den verhältnismässig geringen Raum so vorteilhaft wie möglich auszunützen, habe ich vier 4 m lange Bänke mit schmalen Pultbrettern, ähnlich wie sie sich an Kirchenbänken finden, so aufstellen lassen, dass von der Südwand ausgehend jede folgende 15 cm niedriger ist als die vorhergehende. Auf diese Weise lassen sich auf 11,6 qm Grundfläche bequem 36 Schüler unterbringen, und infolge des nur 4 m betragenden Abstandes der höchsten Bank vom Experimentiertische können sämtliche Schüler alle Versuche gut beobachten. Parallel den Bänken, in meterweitem Abstande von ihnen, ist der Experimentiertisch aufgestellt, von der Firma Max Kohl in Chemnitz geliefert. Auf eine Beschreibung desselben glaube ich verzichten zu können, weil er der üblichen Konstruktion entspricht, wie sie in Bild und Wort im Verkaufskataloge jener Firma beschrieben ist. An der Mitte der Nordwand steht der Abzug, ebenfalls von der genannten Firma bezogen; der Abstand zwischen ihm und dem Experimentiertische beträgt 1 m, in ihm sind Chlor- und Schwefelwasserstoff-Entwicklungsapparate, sowie ein Sandbad untergebracht. Rechtsseitig unmittelbar neben ihm sind die in der vorstehenden Arbeit des Herrn Prof. Dr. Nordmann eingehend beschriebenen elektrischen Apparate wandständig befestigt. Weiter rechts steht ein geräumiger Schrank für Chemikalien und Glasgefässe, sowie ein offenes Standregal für große Wasser-, Säure- und Vorratsflaschen. Linksseitig vom Abzuge steht ein zweiter Schrank für die zum Unterricht nötigen Lösungen, Säuren, Laugen etc., neben ihm ein Spültisch mit kleinem Gestell für trockene Schalen und Glasgeräte. Unmittelbar rechts an dem oben erwähnten kleinen Fenster ist eine von der Firma Hugershoff in Leipzig (Katalog 1904 Nr. 7505 Seite 198) gekaufte Wasserstrahlluftpumpe so angebracht, daß das Wasserzuleitungsrohr die direkte Fortsetzung der Leitung zum Spülbecken ist und das Abflussrohr das Wasser in das Ausgußbecken leitet. Die Rohrleitung für Saug- und Pressluft führt zum Experimentiertische; es sind gewöhnliche Bleirohre verwendet, das Saugluftrohr ist gelb, das für Preßluft grün gestrichen.

Vor der Fensterwand ist ein 6 m langer starker Kiefernholztisch aufgestellt, der den Schülern als Experimentiertisch dient; es sind 6 Arbeitsplätze vorgesehen, zu jedem gehört eine geräumige Schublade unter dem Tische, ein Regal für die Standgefäße, Gasrohr mit Hahn, Reagensglasständer und Filterhalter. Die gebräuchlichen Glasgefäße und kleineren Geräte haben sich die Schüler auf eigene Kosten (ca. 10 M.) zu beschaffen. Die Standgefäße von 300 ccm Inhalt sind mit eingebrannter, weißer Aufschrift versehen, Flasche und Stöpsel sind gleich numeriert, dieselbe Nummer zeigt der Platz für das Gefäß im Regal. Diese Einrichtung soll einer Vertauschung der Flaschen vorbeugen, sowie die Schüler an Ordnung gewöhnen, dadurch daß jedes Gefäß stets an den ihm bestimmten Platz gestellt werden muß.

Die nordwestliche Ecke, zwischen Spülbecken und Schülerarbeitstisch füllt ein Ablauf- und Wandbrett aus, das mehrere Reihen Pflöcke, sowie ein Konsolbrett trägt, auf ihm stehen einige

Bunsenelemente, Mensuren etc. und ein Behälter von 9 l Inhalt für destilliertes Wasser, das durch Quetschhahn, Hahn und Schlauch abgelassen und zum Nachspülen gereinigter Gefäße verwendet werden kann. Große Porzellangefäße, eins mit roher Salzsäure, das andere mit Lauge zum Reinigen der gebrauchten Glasgeräte haben unter dem Spül- und Arbeitstische Platz gefunden.

Neben der Eingangstür ist in dem durch den vorspringenden Schornstein gebildeten Winkel ein Eckregal aufgestellt, das einen großen lackierten Blechbehälter von ca. 40 l Inhalt für destilliertes Wasser trägt, außerdem große Standgefässe für die am meisten gebrauchten Chemikalien, von denen ein grösserer Vorrat nötig ist. Ferner werden in diesem Regal allerlei Apparate, wie große Gasbrenner, Hempel'scher Ofen, Wasserbad, Metallretorten u. a. aufbewahrt, die oft gebraucht werden und deshalb leicht erreichbar sein müssen. Große Abdampf- und Reibschalen, sowie große Korkringe und Platten haben hier ebenfalls ihren Platz.

Rechtsseitig neben der höchsten Bank steht auf einer Wandkonsole eine Wage zum Gebrauch für die Schüler, die für Wägungen bis auf 0,01 g genau ist.

Zur Heizung dient ein großer Füllofen, der selbst in den kalten Dezember- und Januartagen 1907/08 vollständig ausgereicht hat. Um das Einfrieren der Wasserleitung und der Abflußrohre zu verhindern, mußte während der Weihnachtsferien im Nebenzimmer sowie im darunterliegenden physikalischen Lehrzimmer der Gasofen brennen, um die Temperatur über 0° zu erhalten.

Die Beleuchtung geschieht durch Gas. Über dem Experimentiertische brennen zwei Hängeglühlichtlampen, mit schwarzem Blechschirm umgeben, der das Licht auf die Tischplatte wirft. Die drehbaren Schirme tragen einen 2,2 cm breiten und 8 cm langen senkrechten Ausschnitt, durch den die an der Vorderwand des Abzuges verschiebbare Wandtafel gut belichtet wird. Über den Bänken hängen zwei, über dem Arbeitstische vier Gaslampen mit gewöhnlichen Auerbrennern.

Die Ventilation des Raumes besorgen zwei der oberen, um eine wagerechte Axe drehbare Fensterflügel (nach Patent Hesemann eingerichtet) und eine Ventilationsklappe mit Lockflamme an der Zimmerdecke. Außerdem wirken auch die Abzugsöffnung im Experimentiertische und der Abzug selbst, in dem die Lockflamme beständig brennt.

Professor Dr. Wedde.

Bunsenelemente, Mensur t für destilliertes Wasser, das durch Quetschhahn, Hahn und pülen gereinigter Gefäße verwendet werden kann. Große Po das andere mit Lauge zum Reinigen der gebrauchten Glasger tische Platz gefunden.

Neben der Eing enden Schornstein gebildeten Winkel ein Eckregal aufgestellt, r von ca. 40 l Inhalt für destilliertes Wasser trägt, außerdem gebrauchten Chemikalien, von denen ein grösserer Vorrat nöt l allerlei Apparate, wie große Gas- brenner, Hempel'scher O fbewahrt, die oft gebraucht werden und deshalb leicht erreic nd Reibschalen, sowie große Kork- ringe und Platten haben

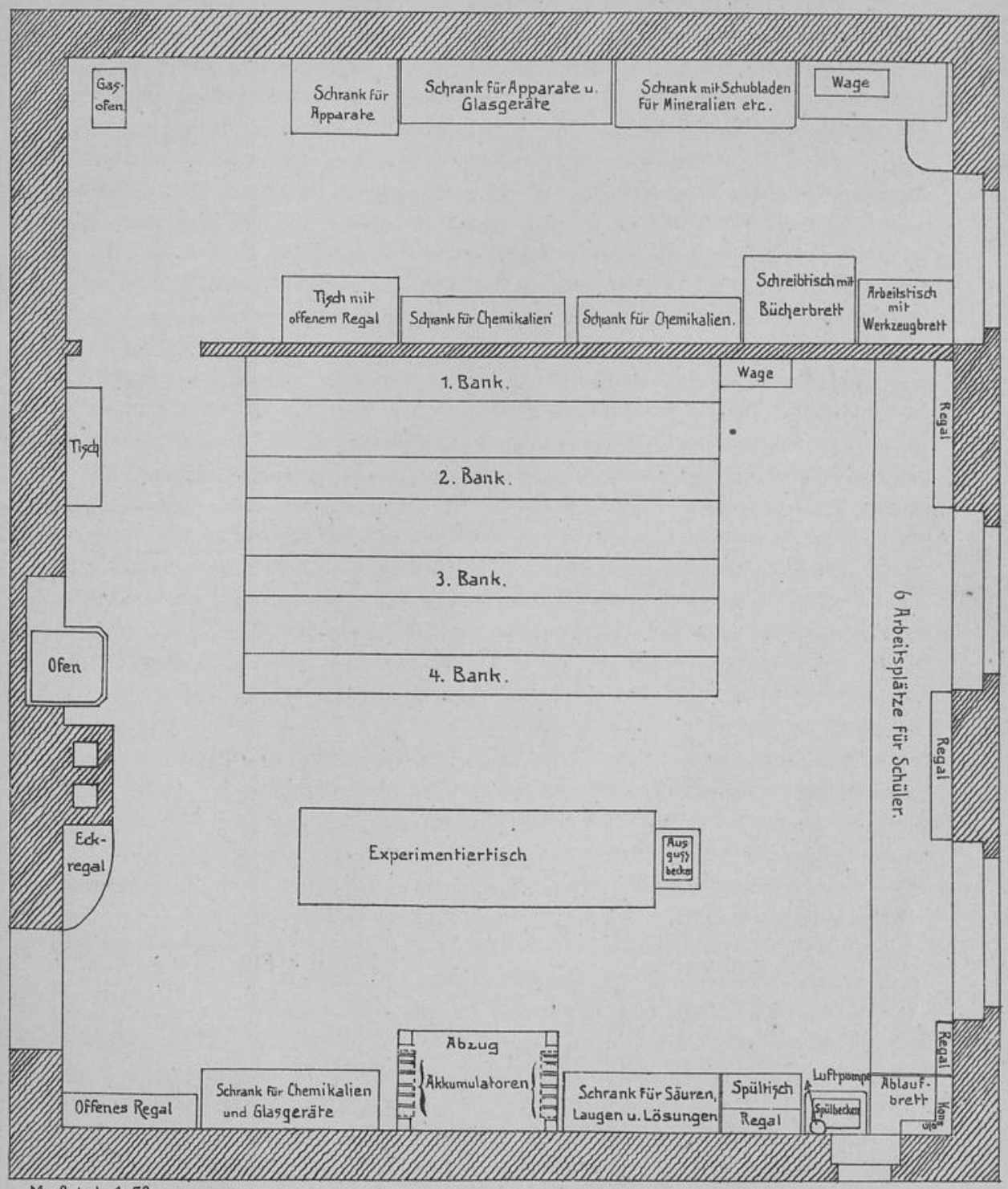
Rechtsseitig nebe ndkonsole eine Wage zum Gebrauch für die Schüler, die für

Zur Heizung die kalten Dezember- und Januartagen 1907/08 vollständig ausge sserleitung und der Abflußrohre zu verhindern, mußte währ mmer sowie im darunterliegenden physikalischen Lehrzimme atur über 0° zu erhalten.

Die Beleuchtung imentiertische brennen zwei Hänge- glühlichtlampen, mit schw icht auf die Tischplatte wirft. Die drehbaren Schirme tragen krechten Ausschnitt, durch den die an der Vorderwand des belichtet wird. Über den Bänken hängen zwei, über dem A lichen Auerbrennern.

Die Ventilation d um eine wagerechte Axe drehbare Fensterflügel (nach Patent tilationsklappe mit Lockflamme an der Zimmerdecke. Außer im Experimentiertische und der Abzug selbst, in dem die

Professor Dr. Wedde.



Maßstab 1:50.

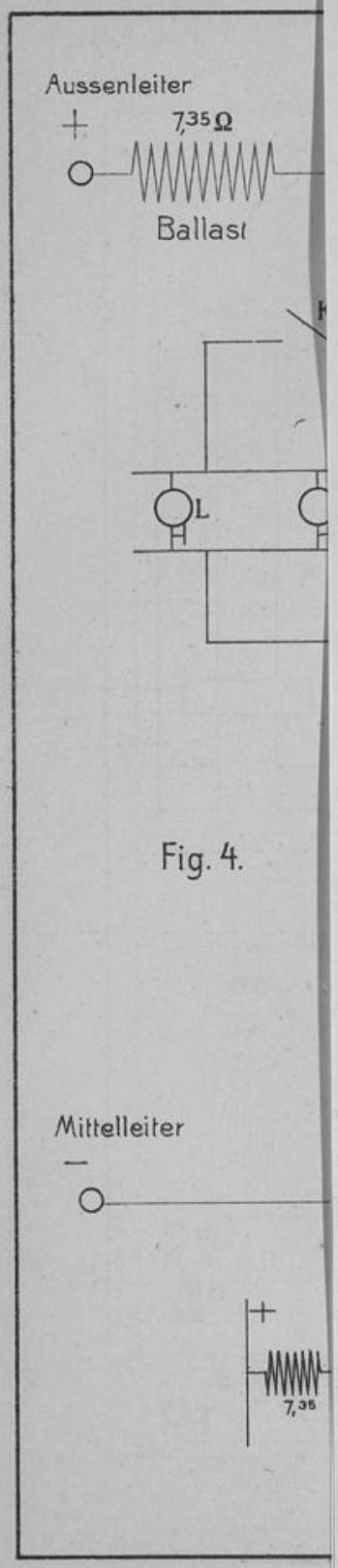


Fig. 4.

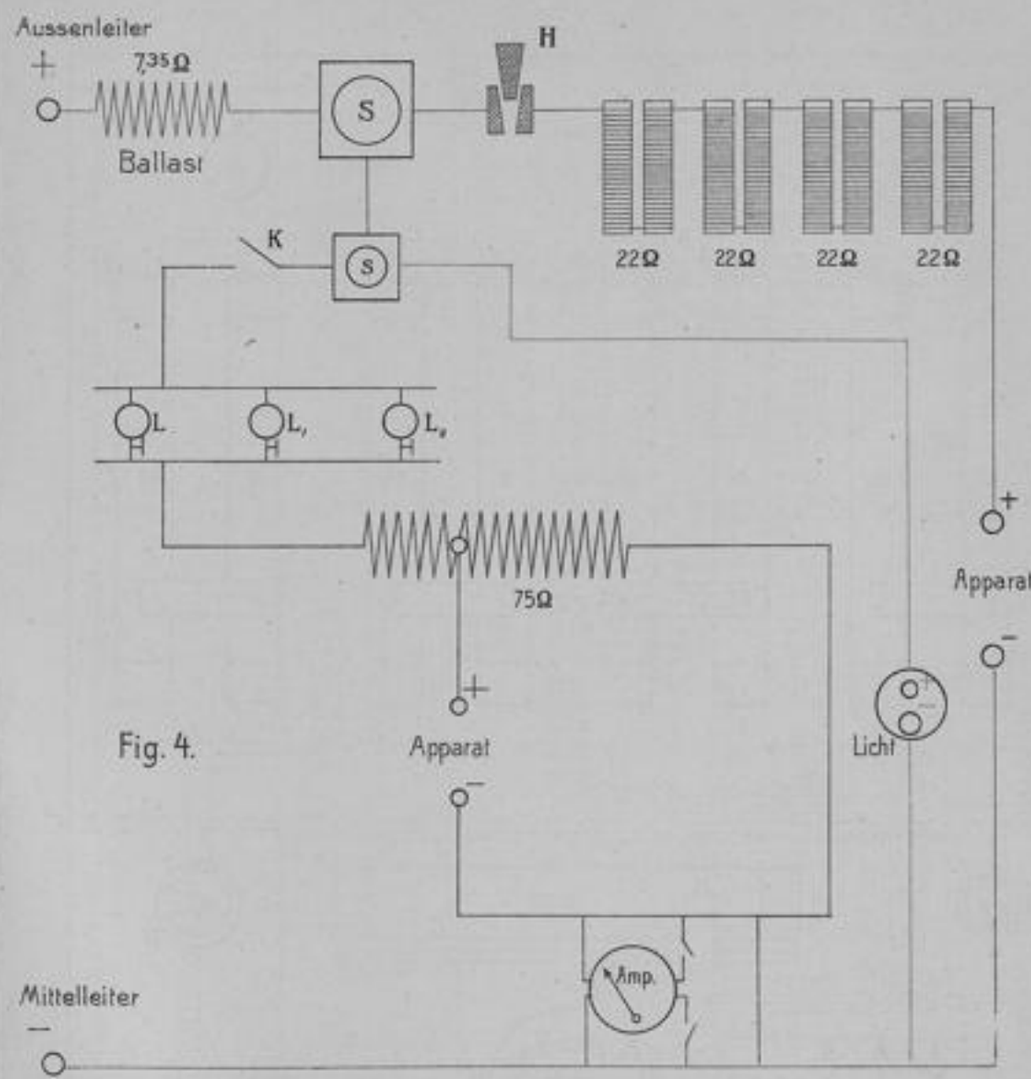


Fig. 4.

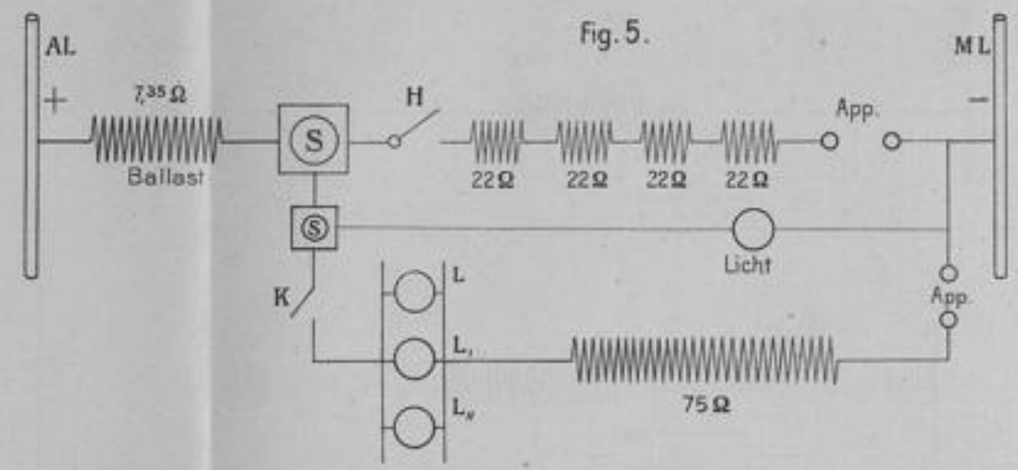


Fig. 5.

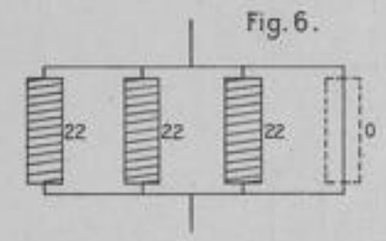


Fig. 6.

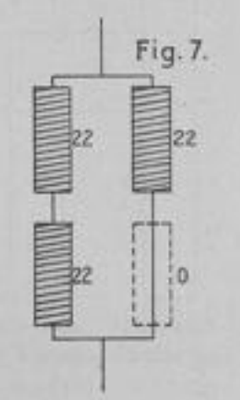


Fig. 7.

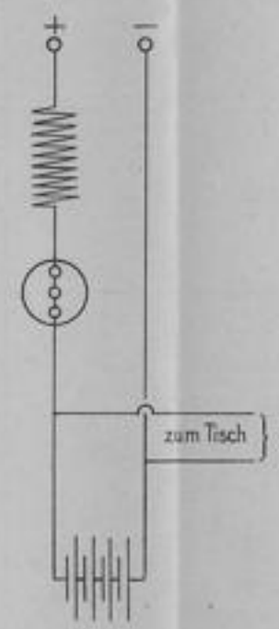


Fig. 1.

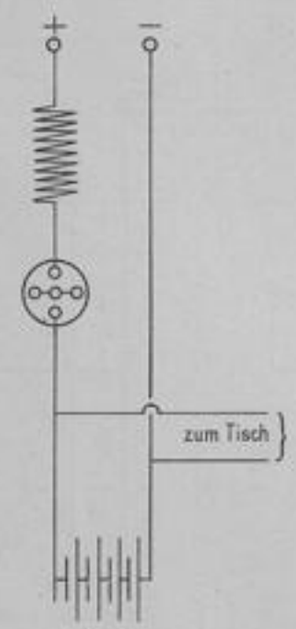


Fig. 2.

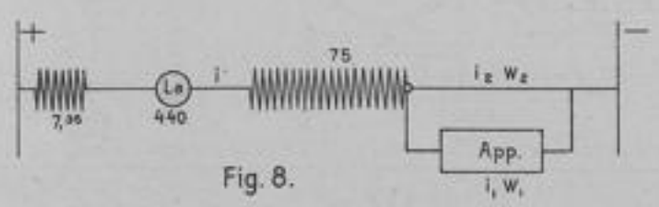
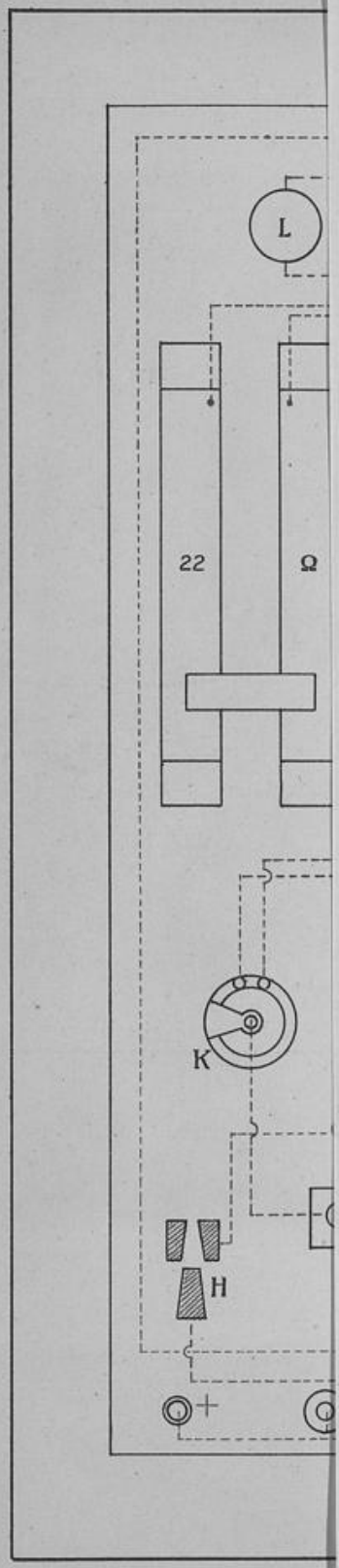


Fig. 8.



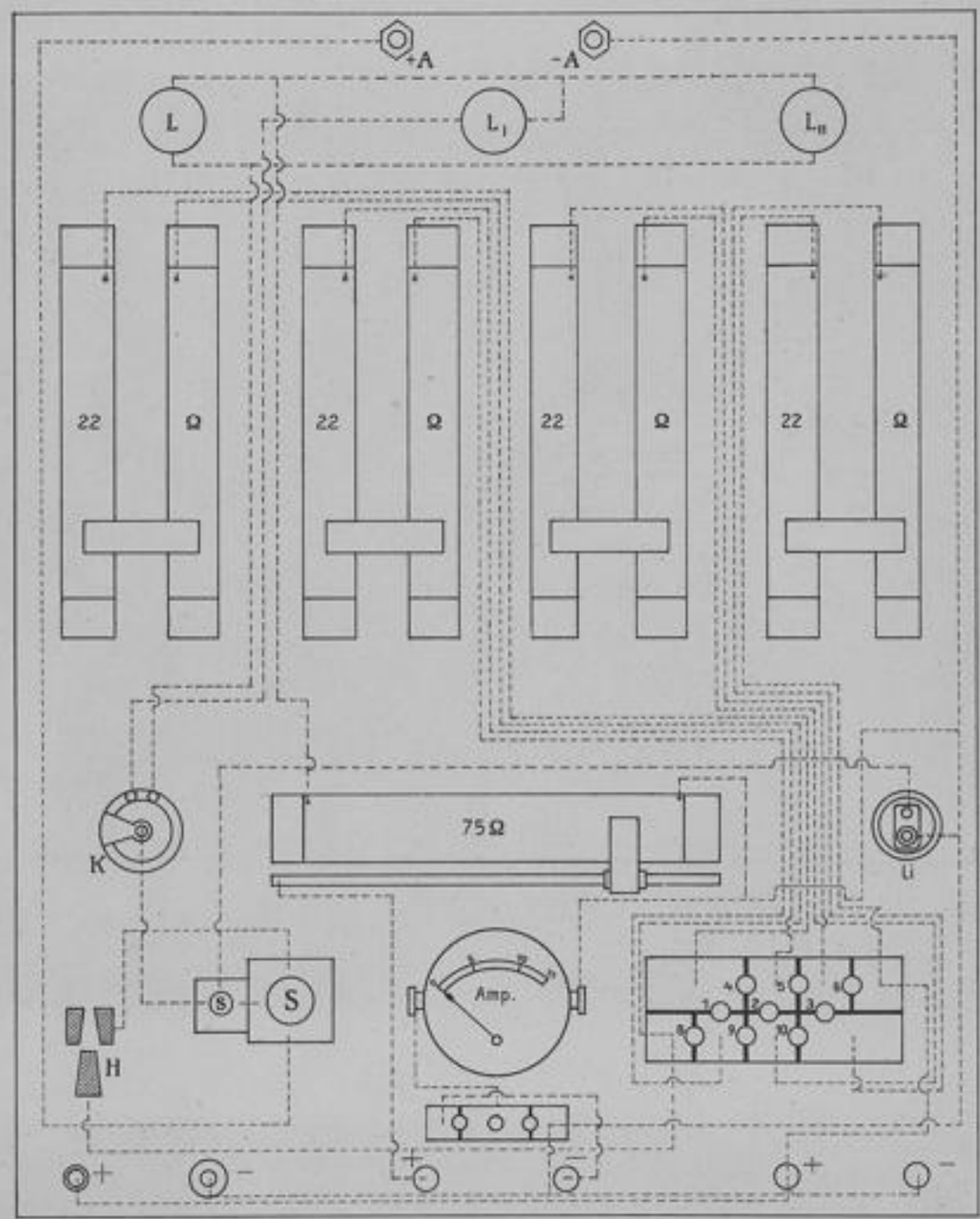


Fig. 3 (1:4)

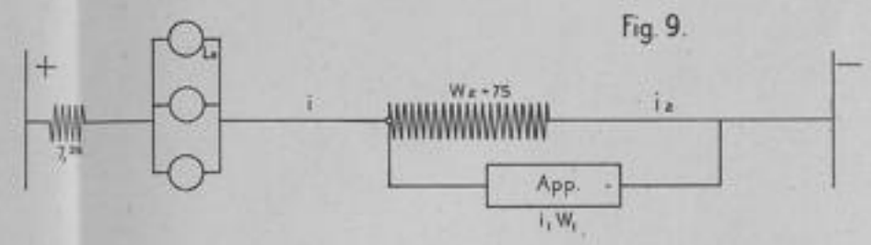


Fig. 9.

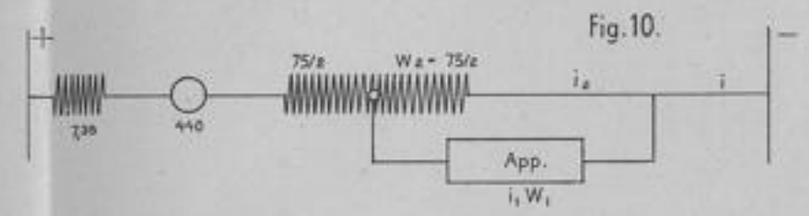


Fig. 10.

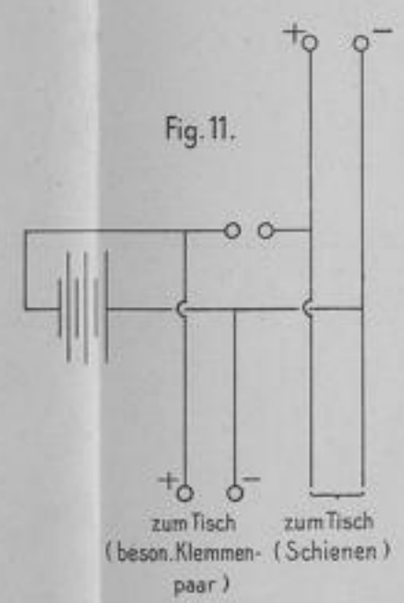


Fig. 11.

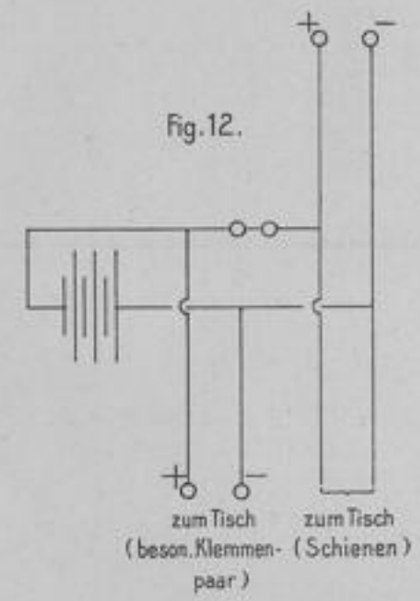


Fig. 12.