



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

### **Usage guidelines**

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

### **About Google Book Search**

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



## Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

## Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

- + *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
- + *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
- + *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
- + *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

## Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter <http://books.google.com> durchsuchen.

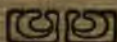


B 429367

Praktischer Leitfaden  
der  
**ELEKTROTECHNIK**  
zum  
Selbststudium und Unterricht

von

Oskar Hoppe



Zweite, sehr vermehrte  
und verbesserte Auflage



G. D. Baedeker, Verlagshandlung • Essen







**Berthold, Adolf**, Dr. phil., Chemiker am Rheinisch-Westfälischen Kohlensyndikat in Essen. **Probenahme und Untersuchung von Koks, Kohlen und Briketts**, Taschenbuch für Chemiker, Hütteningenieure, Koksereibetriebsführer, Laboranten insbesondere Kohlen- und Zechenlaboratorien und Gasanstalten.

Inhalt: Vorwort. Einleitung. I. Abschnitt: Untersuchung von Koks. Probenahme von einem Koksbrände, von mehreren Koksbränden, von den Wagen. Qualität des Koks. Probenahme betr. Wassergehalt. Bestimmung des Rhein.-Westf. Kohlensyndikates. Allgemeines über die Zerkleinerung der Probestücke, Gefäße für die Proben. Die erste Zerkleinerung, für einfache Proben, für gemeinschaftliche Proben, Schiedsprobe. Verarbeitung der Koksprobe im Laboratorium für die Wasserbestimmung, für die Aschenbestimmung: Mörsern, Einwiegen und Veraschen. Mögliche Differenzen. Probenahme und Berechnung bei grösseren Koksensendungen. Probenahme und Berechnung bei Zechen mit zwei Wäskchen: a) die Kohlenqualitäten werden getrennt verkocht, b) die Kohlenqualitäten werden gemischt verkocht, Ausrechnungsbeispiel. Probenahme und Beurteilung von Kleinkoks, Brechkoks und Siebkoks, Giesserei- und Hochofenskoks. Über die Härtegrade des Koks: Beschreibung und Handhabung des Apparates zur Härtebestimmung von Koks, Einflüsse auf den Härtegrad. Methode zur Bestimmung der Starzfestigkeit von ganzen Koksstücken. Zweck der Aschen- und Wasserbestimmung im Koks. II. Abschnitt: a) Untersuchung von Kohlen, Koks- und Koksprobe, Probenahme speziell für die Aschen- und Wasserbestimmung. Probenahme von Nusskohlen und Stückkohlen, von Förderkohlen und Untersuchung und von Waschbergen. Verarbeitung der Kohlenproben im Laboratorium für die Wasserbestimmung, für die Aschenbestimmung; Einwiegen und Veraschen. Berechnung bei Untersuchung von Waschbergen. b) Untersuchung von Briketts, Probenahme, Verarbeitung im Laboratorium. c) Bestimmung der flüchtigen Bestandteile, Tiegelprobe und Ofenprobe, Beziehung zwischen Aschengehalt der Kohle und dem des Koks, Ausführung der Ofenprobe: Kohlenprobe, Koksprobe, Ausrechnungsbeispiel für die Ofenprobe. Berechnung des Aschengehaltes des Koks aus dem der Koks- und Kohleprobe. Bestimmung des Schwefelgehaltes in Kohle und Koks, Gesamtschwefel nach Eschika, Flüchtiger Schwefel nach Eschika, Modifikation der Eschikamethode und gleichzeitige Bestimmung der Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ). Über das Mischen von Probegut.

Mit 37 Figuren im Text. Preis: geb. in Ganzleinen Mk. 2.—.

Deutsche Kohlenzeitung: Über Analyse der Brennmaterialien und ihre heitscheinische Bewertung sind schon viele Bände geschrieben worden. Dagegen findet man über Entnahme von Proben zur analytischen Untersuchung nur wenige Notizen in den wissenschaftlichen Werken. Es gereicht daher dem Verfasser zum besondern Verdienst, wenn er sowohl den Laboranten als dem Nichtchemiker eine genaue, in der Praxis erprobte Marschroute bei Probenentnahmen vorschreibt. Er tut dies unter Veranschaulichung der einzelnen Stadien beim Analysieren. Manche Prozesse würden vermieden werden, wolte man bei der Probenentnahme ebenfalls schrittweise und sachdienlich vorgehen. Das Büchlein bildet als erstes Anleitungsmitel eine gute Ergänzung zu chemischem Gebiete.

**Goetzke, Wilhelm**, Doktor der Staatswissenschaften. Wichtiges Werk zur Kenntnis und Beurteilung des Rheinisch-Westfälischen Kohlensyndikats:

**Das Rheinisch-Westfälische Kohlen-Syndikat und seine wirtschaftliche Bedeutung**. Mit 3 mehrfarbigen Tafeln. — Preis: gebettet Mk. 8.—, gebunden in Ganzleinen mit Goldtitel Mk. 9.50.

Inhalt: Einleitung; Geschichte und Organisation des Syndikats. I. Bedeutung für seine Mitglieder: a) die technischen Verhältnisse, b) die wirtschaftlichen Verhältnisse, c) eigene Urteile der Mitglieder. II. Bedeutung des Syndikats für die ausserstehenden Zechen: a) die im Syndikat nicht vertretenen Zechen des Ruhrbezirks, b) die Zechen der übrigen deutschen Bezirke, c) die ausserdeutschen Zechen. III. Bedeutung des Syndikats für die Arbeiter: a) Verbraucher, b) als Erzeuger der Arbeit, IV. Bedeutung des Syndikats für die Abnehmer: a) die unmittelbar kaufenden Verbraucher, b) die unmittelbar kaufenden Händler, c) die mittelbar kaufenden Verbraucher und Händler und deren Unterabnehmer. V. Die zukünftige Entwicklung des Syndikats, Anhang. — Das Buch bringt neben vorurteilsloser Würdigung der wirtschaftlichen Bedeutung und Wirkung des Rheinisch-Westfälischen Kohlensyndikats in seiner Gesamtheit ein reiches Material über Preise, Absatz, finanzielle Lage der Syndikatszechen, Beteiligungsziiffer, Abnehmer usw. usw. Es ist sonach, da auch der Wortlaut des neuen Syndikatsvertrages und der neuen Syndikatsatzungen hinzugefügt ist, das beste Nachschlagewerk für alle, die sich für das Kohlensyndikat interessieren.

Die „Kölnische Zeitung“ schreibt: Die vorliegende Arbeit ist unseres Wissens die erste, die es unternimmt, eine wirklich erschöpfende und umfassende Darstellung der Geschichte der Organisation des Kohlensyndikats zu geben und zugleich dessen wirtschaftliche wie soziale Wirkungen zu untersuchen. Sie stützt sich dabei durchweg auf authentisches Material und befreit sich ausserordentlich von subjektiven Urteilen. Sie darf für einen der wertvollsten Beiträge zum Verständnis der Kohlenindustrie angesehen werden. Die Goetzkesche Arbeit hebt nicht nur aus den dokumentarischen Verhandlungen über die Kartelle, sondern auch aus den Berichten des Kohlensyndikats und der Bergwerks-Gesellschaften alles heraus, was für die Beurteilung des Syndikats und seiner Entwicklung von bleibender Bedeutung ist. Sie untersucht zugleich die Wirkung des Syndikats auf die ihm angehörenden wie auf die ausserstehenden Zechen, auf die Abnehmer und auf die Arbeiter. Ein Ausblick auf die künftige Entwicklung des Syndikats bildet den Schluss der Arbeit, der als Anhang die Syndikatsverträge und ein Verzeichnis der Syndikatszechen mit den ihnen zustehenden Beteiligungsziiffern beigefügt sind. Die übersichtliche Anordnung und die klare und sichere Darstellung des massenhaften und verwickelten Stoffes leitet die Goetzkesche Arbeit einen dauernden Platz in der wissenschaftlichen Literatur ein. Wer sich praktisch oder wissenschaftlich mit dem Kohlensyndikat beschäftigen will, kann an ihr nicht vorbeigehen.

# Sulzer Hochdruck- Centrifugal- Pumpen

Grand Prix: Paris 1900  
D. R. P.

Wasserversorgungen jeglicher Art  
Wasserhaltungen in Bergwerken



**Billigste und ökonomischste Pumpe**  
*besonders für grosse Fördermengen und grosse Förderhöhen*

**Sulzer - Abteufpumpen**  
D. R. P.

# Gebrüder Sulzer

Winterthur und Ludwigshafen a. Rh.

*Alexander Ziwet*

Praktischer Leitfaden  
der  
**Elektrotechnik**  
zum  
**Selbststudium und Unterricht**

von

**Oskar Hoppe,**

Professor an der Königl. Preuß. Bergakademie zu Clausthal.

Anhang:

1. Die elektrische Gewinnung von Metallen und Metallverbindungen (Borchers, Aachen).
2. Die Elektro-Chemie und ihre physikalischen Grundgesetze (Danneel, Friedrichshagen).

---

Mit über 140 Abbildungen.

---

Zweite, sehr vermehrte und verbesserte Auflage.

---

**Essen,**

G. D. Baedeker, Verlagshandlung.

1907.

Prof. W. J. Zwart  
gt.  
2-27-1923

# Vorwort

zur zweiten Auflage.

Bei der Bearbeitung des Leitfadens bin ich von der Überzeugung ausgegangen, daß Elektrotechniker und Maschinentechniker die gleiche Vorbildung, also die Mechanik (mit Einschluß der Physik) als gemeinschaftliche Grundlage nötig haben, erstere auch mit der Maschinentechnik und beide mit den Bedürfnissen der technischen Betriebe im weitesten Umfange tunlichst vertraut sein müssen.

Die Aussichten für den reinen Elektrotechniker sind und bleiben schlecht, dagegen dauernd gut für den Elektro-Maschinentechniker, der die Anforderungen nicht nur des Beleuchtungswesens, sondern auch der Industrie und Gewerbe, insbesondere des Berg- und Hüttenwesens, gründlich kennen und mit seinen Hilfsmitteln zu befriedigen lernt.

Unter dieser Anschauung ist schon meine im Jahre 1885 für den vom Oberberghauptmann Exzellenz Huyßen gegründeten und herausgegebenen Berg- und Hütten-Kalender bearbeitete kleine Elektrotechnik entstanden, die aber erst seit 1887 wiederholt, den Fortschritten entsprechend, zur Aufnahme gelangte, weil der Bergmann von damals annahm, daß die Elektrotechnik für ihn nicht Bedeutung genug habe. Später wurde die Elektrotechnik in nuce, erweitert, als 1. Auflage meines Leitfadens der Elektrotechnik veröffentlicht.

Die gegenwärtige 2. Auflage, ein vollständig neues, den heutigen Ansprüchen sich anschmiegendes, gemeinverständlich gehaltenes Lehr- und Lesebuch leitet ein mit einem tunlichst weiten geschichtlich-sachlichen, allgemeinen Überblick, baut dann I. auf der Elektro-Mechanik (Lehre von den Zustandänderungen im weitesten Sinne) auf und behandelt hierauf II. die Elektro-Physik, als Lehre von den Zuständen und Vorgängen der Reibungs-, Berührungs- und Induktions-Elektrizität. Dann wurde aus der Physik noch besonders III. der Elektro-Magnetismus herausgeschält, um geschlossen auf die hervorragende Bedeutung der charakteristischen Wechselwirkungen zwischen elektrischen und magnetischen Strömen hinzuweisen, ohne welche die Erforschung und das Verständnis der Gesetze des heutigen Dynamomaschinenstromes unmöglich ist. Durch diese ungewöhnliche Einteilung glaubte ich am einfachsten und übersichtlichsten eine geschichtlich-sachliche Behandlung des Gegenstandes zu ermöglichen.



Hierauf folgt IV. die Elektro-Maschinentechnik mit ihren Dynamomaschinen, Transformatoren, Akkumulatoren nebst Pufferbatterien, Leitungen und Vorkehrungen zur Kraftübertragung und -Verteilung im allgemeinen und im besonderen auf dem elektrotechnischen Gebiete und im innigen Anschluß hieran „Die technische Verwertung des elektrischen Stromes“ mit der elektrischen Beleuchtung, -Wasserwältigung, -Wetterwirtschaft, -Förderung mit Einschluß der elektrisch angetriebenen Krane. Den Schluß bilden die elektrisch betriebenen Gesteinsbohrmaschinen, die magnetische Aufbereitung (mit einem kurzen Überblick über die mechanische Aufbereitung) und die drahtlose (oder Funken-) Telegraphie.

In einem besonderen Anhang wurde bearbeitet:

1. Die elektrische Gewinnung von Metallen und Metallverbindungen durch Borchers (Aachen),
2. Die Elektro-Chemie und ihre physikalischen Grundgesetze durch Danneel Friedrichshagen-Berlin).

Herzlicher Dank und volle Anerkennung gebührt den hochgeschätzten Mitarbeitern, die trotz ihrer vielseitigen Beanspruchung bezw. durch Rektorats- und laufende Lehr- und literarische Tätigkeit sich gern bereitfinden ließen, unseren Leitfaden durch ihre wertvollen Beiträge wesentlich zu bereichern.

Um die einzelnen Kapitel tunlichst in sich abzurunden und selbständig zu machen, mußte hier und da das Wichtigste, wenn auch in anderem Kleide und Beispiele wiederholt werden. Dagegen ist überall versucht, die Elektrotechnik mit den anderen technisch-naturwissenschaftlichen Zweigen in innigste Beziehung zu bringen. Zum Beispiel ist das Zustandekommen der Wellen der Induktionsströme (nach Faradays Auffassung durch Schneiden von magnetischen Kraftlinien erklärt) an den Bewegungsvorgängen der dem Techniker wohlbekannten Kurbelschleife zu veranschaulichen versucht und nachgewiesen, daß das Grundgesetz der heutigen „Drehstrom-Maschinen“ für alle längst bekannten „Drillings-Maschinen“ gilt (S. 54). Durch die Selbstinduktion des elektrischen Wechselstromes wurde eine gewisse Trägheit der Elektrizität [Äthers] (S. 39), aus Beobachtungen am Blitzstrahle dessen Beharrungsvermögen nachzuweisen versucht (S. 38). Die Formel:

$$N = \frac{P \cdot v}{75} = \frac{PRn}{71620} = \frac{GH}{75} = \frac{ei}{736}$$
 ist als Grundgleichung der Elektro-Maschinentechnik aufgestellt (S. 41, 160). Zirkularpolarisation (49), Phasenverschiebung (50) Wattloser Strom (51) sind durch bekannte Vorgänge der Mechanik, die Beziehungen zwischen e und q an einem Wassergefälle erklärt (84). Die Kraftlinien sind als Solenoide aufgefaßt (107). Die Steifigkeit im Seile ist mit der Hysteresis im Eisen verglichen (112). Das Gesetz für alle Fernwirkungen ist abgeleitet auf den Seiten 100 und 212. Und dergleichen mehr.

Überzeugt davon, daß die Gegenwart und Zukunft nur versteht, wer die Vergangenheit kennt, und daß das, was irgendwo als Wahrheit erkannt, überall — also auch für die Elektrotechnik — gilt, war ich auch nach Kräften bestrebt, durch Wort und Bild das schöne Geibelsche Wort zu erfüllen:

Das schwerste klar und faßlich sagen,  
Heißt aus gediegenem Golde Münzen schlagen.

Deshalb ist, soweit der enge Rahmen unseres Leitfadens es gestattete, auf die Entwicklungsgeschichte und die universelle Bedeutung der wichtigsten einschlägigen Gesetze und Vorgänge hingedeutet.

Neu ist der Versuch, die elektrischen Ausdrücke (Ohm, Volt, Ampère, Coulomb, Farad, Watt . . .), Vorgänge (Gleichstrom, Wechselstrom) und Gesetze (Ohm, Kirchhoff, Joule, Faraday . . .) auf längst bekannte Dinge der Bewegungslehre (Mechanik) zurückzuführen und womöglich durch allbekannte Vorgänge im täglichen Leben zu erklären, um bei jedermann, der ein gutes Denk- und Vorstellungsvermögen hat, für unsere Wissenschaft Interesse zu erregen.

Umfassende Vorkenntnisse aus Physik und Mechanik sind nicht vorausgesetzt. Die hier erforderlichen grundlegenden physikalischen und mechanischen Gesetze sind hervorgehoben, erklärt und womöglich gemeinverständlich veranschaulicht.

Unser Leitfaden kann deshalb von jedem Anfänger auf der technischen Laufbahn, der mit genügendem Anschauungsvermögen begabt ist, mit Erfolg benutzt werden. Und nach dem Umfange und dem Einflusse, den die Elektrotechnik gewonnen hat, erscheint es überhaupt zweckmäßig, ja notwendig, daß nicht nur der Techniker im Anfange seines Berufstudiums, sondern jedermann, dem auf Schritt und Tritt die Elektrotechnik „entgegenleuchtet“, recht früh befähigt wird, „elektrisch zu denken“.

Als wesentliche Stütze dienen anschauliche Figuren, die systematisch entweder den Zusammenhang ganzer Gebiete veranschaulichen (Figg. 1, 2, 32 usw.), oder in logischer Aufeinanderfolge (Figg. 3, 4, 5; 10, 11, 12; 14—17; 19—22 usw.) vom leichten zum schwereren hinüberleiten sollen; auch Vergleiche, womöglich am eigenen Körper angestellt (Seite 31, 37, 45, 46 usw.). Für solchen Vergleich ein Beispiel für viele: Durch die Muskel-Kraft des Brustkastens läßt sich die in diesem durch Verschließen von Mund und Nase eingeschlossene Luft in gewisse Spannung versetzen. Wird nun eine der Öffnungen freigegeben, so entsteht ein Luftstrom, dessen Menge  $i$  abhängt von der erzeugten Spannung  $e$  und dem Widerstande  $w$  in den Leitungen. Das Stromgesetz würde dem Ohmgesetz entsprechend in mathematischer Form heißen:  $i = \frac{e}{w}$ . Die Muskelkraft hier entspricht der elektromotorischen Kraft beim elektrischen Strome. Die Vorgänge in den Strom-Verzweigungen an Mund und Nase erinnern an die Kirchhoffschen Sätze. (Nähere Begründung ist auf S. 31 zu finden.)

Die Notwendigkeit aber, daß ein Lehr- und Lesebuch über Elektrotechnik, welches am liebsten der Gesamttechnik tatsächlich nützen möchte, diese nicht nur streifen darf, sondern in deren wichtigste Gebiete tief hineingreifen muß, mag die angestrebte, allerdings durch den engen Rahmen unseres Leitfadens begrenzte Gründlichkeit des Teiles mit der Überschrift: „Technische Verwertung des elektrischen Stromes“ (S. 209) entschuldigen.

In diesem Teile ist besonders auch nachzuweisen versucht, in welcher Weise die Elektrotechnik in Zukunft berufen und befähigt ist, die technischen Betriebe und nicht zum mindesten des Berg- und Hüttenwesens wirtschaftlicher zu gestalten.

Er behandelt deshalb nicht nur vorhandene bewährte Einrichtungen, sondern versucht an diesen anzudeuten, wie auf Grund längst feststehender Erfahrungssätze wohl die Möglichkeit zu deren Verbesserung vorhanden ist.

Solcher Hinweis bezweckt auch den weniger eingeweihten Leser zu eigener Prüfung anzuregen. In diesem Sinne sind die Überschriften zu deuten: Die elektrische Beleuchtung der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft (S. 209). Ein derartiges Selbständigmachen im Prüfen und Überlegen auf Grund längst bekannter, unzweifelhaft gültiger Erfahrungssätze ist von unschätzbarem Werte und fördert den strebsamen jungen Mann auf seinem Werdegange mehr als nur das bloße Anhören und Durchlesen von Beschreibungen vorhandener Einrichtungen. Auch ist nach meinen Erfahrungen der werdende immer dankbar für solche Anregung.

In obigem Sinne ist deshalb auch besonders eingehend behandelt der Entwicklungsgang der elektrischen Schacht-Fördermaschinen, die unter den technischen Einrichtungen dem elektrischen Antriebe mit seinen verschiedenen Schaltungen, Reguliervorrichtungen (Leonardschaltung, Ilgner Umformer, Wendepolen) wohl mit die größten Schwierigkeiten bereitet haben (S. 314).

Um nun auch auf kleinem Raume eine möglichst große Anzahl von bewährten technischen Einrichtungen doch ziemlich vollständig aufnehmen und übersichtlich anordnen zu können, wurde die Stammbaum-Form gewählt.

Auch die drahtlose (oder Funken-) Telegraphie durfte nicht zu kurz kommen. Steht sie doch gegenwärtig in dem Vordergrund des allgemeinen Interesses.

Zum Schlusse danke ich noch verbindlichst allen Firmen, die mit großer Liebenswürdigkeit durch Klischees, Flugblätter und sonstige Mitteilungen mich unterstützt haben, sowie auch der Verlagshandlung, die unermüdlich bestrebt war dem Buche ein würdiges Aussehen zu geben.

Nun wandere in die Welt und beweise, ob du gerechte Anforderungen erfüllen kannst!

Glückauf!

Clausthal, Oktober 1906.

O. Hoppe.

# Inhalt.

	Seite
<b>Vorwort.</b>	
<b>Einleitender allgemeiner Überblick . . . . .</b>	<b>1</b>
<b>Bedeutung und Stellung der Elektrotechnik unter den technischen Wissenschaften . . . . .</b>	<b>1</b>
Einige kurze geschichtliche Aufzeichnungen. Elektromaschinentechnische Aufgabe der Jetztzeit. Zweck aller Maschinen. Einteilung aller Maschinen. Übersichtspläne. Erläuterung zu den Plänen. Hervorragende Bedeutung der elektrischen Leitung.	
<b>Wirkungen, d. h. Arbeitsleistungen des elektrischen Stromes . . .</b>	<b>10</b>
<b>Allgemeine Bemerkungen über Kraft-Übertragung und -Verteilung, sowie über Messung des Stromes . . . . .</b>	<b>13</b>
<b>I. Elektro-Mechanik . . . . .</b>	
<b>20</b>	
Stoff, Kraft, Zeit, Raum. — (1. Trägheit; 2. Reibung; 3. Wechselwirkung; 4. Unabhängigkeit der Wirkungen.) Naturgesetz. Funktion und Diagramm. Maßeinheiten. Wichtige Maßeinheiten des CGS-Systemes. Tab. I Maßeinheiten der Mechanik. Tab. II Technische und CGS-Einheiten. Tab. III Maßeinheiten der Elektrotechnik. Tab. IV Vergleich zwischen einigen praktischen elektrischen und anderen gebräuchlichen Einheiten. Tab. V Einheitswerte zur Ermittlung von Stromstärken und elektrolytischen Vorgängen.	
<b>Grundgesetz der Ströme, sowohl aller mechanischen, als auch des elektrischen Stromes . . . . .</b>	<b>28</b>
Volt, Ohm, Ampère. Watt. Coulomb. Kapazität. Farad.	
<b>Mechanische Kraftübertragung durch Gleichstrom. Wirkungsgrad.</b>	<b>33</b>
<b>Mechanische Kraftübertragung durch Wechselstrom. Impedanz. Resistanz. Resonanz . . . . .</b>	<b>34</b>
<b>Trägheit (Selbstinduktion); Reibung (Hysteresis) und Arbeit . . . . .</b>	<b>37</b>
<b>Gesetz von der Wechselwirkung . . . . .</b>	<b>45</b>
<b>Gesetz von der Unabhängigkeit der Wirkungen. (Bruchstücke aus der Wellenlehre im allgemeinen und in bezug auf die elektrischen Wechselströme)</b>	<b>46</b>
1. a) Fortlaufende Schwingungen und Wellen. b) Stehende Schwingungen. 2. Schwingungen auf einer Fläche. — 3. Schwingungen in Körpern. Anmerkung. Zirkularschwingungen. Wirbelbewegung. Zirkularpolarisation.	
<b>Phasen-Verschiebung. Leer-Strom. (Wattloser Strom) . . . . .</b>	<b>50</b>
Leistungsfaktor ( $\cos \varphi$ ). Effektive Werte von $e$ und $i$ .	
<b>Veranschaulichung des Induktionsgesetzes (Faradays) mittels des Kurbelschleifengetriebes . . . . .</b>	<b>52</b>
Zwilling- oder Zweiphasen-Maschine. — Drilling- oder Dreiphasen-Maschine.	

	Seite
<b>II. Elektro-Physik</b> . . . . .	56
(Reibungs-, Berührungs-, Induktions-Elektrizität.)	
Allgemeine grundlegende Bemerkungen über Elektrizität und Magnetismus . . . . .	56
Herkunft der Elektrizität.	
<b>A. Reibungs- (oder statische) Elektrizität</b> . . . . .	58
Glas (+) und Harz (–) Elektrizität, Fundamentalgesetz. Gute und schlechte Leiter. Dielektrika und Dielektrizitätskonstante.	
Kondensatoren. Leydener Flasche, Franklins Tafel. Dichte. Kapazität . . . . .	63
Dichte D. Kapazität F, Spitzenwirkung.	
Das Grundgesetz der Elektrostatik von Coulomb (1736–1806). . . . .	65
<b>B. Berührungs- oder dynamische Elektrizität (Galvanismus, besser Volta-Elektrizität)</b> . . . . .	66
Der elektrische Strom (Volta 1745–1827) . . . . .	66
Richtung des Stromes. Elektromotorische Kraft (EMK). Klemmenspannung. Innere und äußere Widerstände im Stromkreise. Kommutator oder Stromwender. „Gleichstrom“. „Wechselstrom“. Polarisation. Konstante Elemente.	
Elektromagnetische Entdeckung Oersteds (1777–1851). . . . .	69
Galvanoskop. Galvanometer von Deprez-d'Arsenval (Weston). Biot-Savart-Gesetz. Ampère-Windungen.	
Elektrodynamische Gesetze und Regeln von Ampère (1775–1836) . . . . .	72
Elektro-Dynamometer. Solenoide. Molekular-Magnete. Koerzitivkraft. Remanenz. Hysteresis-Arbeit.	
Davy . . . . .	76
Thermoelektrizität. (Seebeck, Peltier). Thermoelektrische Spannungsreihe . . . . .	76
Das Grundgesetz des elektrischen Stromes von Ohm (1787–1854) . . . . .	77
Berechnung der Leitungen. Spezifische elektrische Leitungswiderstände (Tabelle). Regulier-Widerstände (Rheostate). Parallel- und Reihen- (Serien-) Schaltung. Kurzschluß. Bleisicherungen.	
Michael Faradays Induktions-Gesetze. (Grundgesetze der Elektro-Technik) . . . . .	85
Lenz-Gesetz . . . . .	87
Joule-Wärme. Joule-Gesetz der Wärme und Arbeit (1850) . . . . .	88
Tabelle. Mechanische, Kalorische, Elektrotechnische Einheiten.	
Kirchhoff-Sätze über Strom-Verzweigung (oder Verteilung) . . . . .	90
Messen der Ströme. Strom-Stärke (i). Widerstand (w). Spannung (e). Wheatstone-Brücke.	
<b>Anhang</b> . . . . .	93
Wesen der Elektrizität. Untersuchungen und Entdeckungen von Maxwell, Hertz, Tesla usw. Sonnenspektrum.	
<b>III. Elektro-Magnetismus</b> . . . . .	98
Einleitende Bemerkungen Magn. Meridian. Deklination. Inklination. Isogonen. Isoklinien. Isodynamen. Ober- und unterirdische magnetische Wirkungen. Magnetische Beobachtungen in Clausthal, Bochum, Beuthen.	
Magnetische Fundamentalsätze. Dyn. Kraftfeld. Kraftlinie. Feldmagnet. Einheitspol. Gesetz aller Fernwirkungen. Kraftlinien des Erdballes. Elektrotechnik und Festigkeitslehre . . . . .	99
Anzahl der Kraftlinien. Faradays Kraftlinien.	
Die Faradayschen Kraftlinien in der Nähe durchflossener Leiter bezw. Solenoide . . . . .	107
Kraftlinien-Wirbel. Die Kraftlinie als Solenoid aufgefaßt. Permeabilität. Ampère-Windungen (AW). Licht- und magnetische Strahlen. Beziehungen zwischen Ampère-Windungen und magnetischen Linien.	
Magnetisierungskurven für Luft, Dynamo-Stahl, Schmiedeeisen, Gußeisen. „Sättigung“. Permeabilitäts-Koeffizient . . . . .	108

	Seite
Die magnetischen Eigenschaften des Eisens . . . . .	112
Permeabilitätskurve. Jungfräuliche Induktionskurve. Remaneuz. Koerzitivkraft. Hysteresis-Arbeit. Vergleich zwischen der molekularen und magnetischen Tragkraft P eines Eisenstabes.	
<b>IV. Die Elektro-Maschinentechnik . . . . .</b>	
A. Die Dynamom. (Generatoren und Elektromotoren). B. Die Transformatoren. C. Die Akkumulatoren. D. Die elektrischen Leitungen. E. Die elektrische Kraftübertragung und Verteilung.	
A. Die Dynamom. (DM) bzw. Elektromotoren (EM) . . . . .	117
Einteilung: 1. Wechselstrom-DM (Alternator). a) Einphasenstrom-M. b) Mehrphasenstrom-M. 2. Gleichstrom-DM.	
Bestandteile der normalen Dynamom. (auch Elektromotoren) . .	118
1. Magnetschenkel. 2. Anker. 3. Bürsten; a) Schleifring, b) Kommutator. 4. Schalttafel. Feststellung des Begriffes „Dynamomaschine“.	
Die „magneto-elektrische“ Maschine oder der Magnet-Induktor als Vorläufer der Dynamo-Maschine . . . . .	121
Magneto-Elektrische Wechselstrom-Maschine. Beziehungen zwischen EMK und Stromstärke. Magneto-Elektrische Gleichstrom-Maschine. Strom-Richtung. Fingerregel der rechten Hand (Fleming). Das „Funken“.	
I. Die Magnetwicklung . . . . .	126
Die Dynamo-Elektrische Maschine oder kurz die „Dynamomaschine“. Dynamo-elektrisches Prinzip. Selbsterregung. Hauptstrom-Dynamomaschine (Siemens 1866). Nebenschluß-Dynamomaschine (Wheatstone). Verbundmaschine. Geschichtliche Bemerkungen. Hauptstrom-Maschine. Nebenschluß-Maschine. Verbund-Maschine.	
Eigenschaften und Verwendbarkeit der verschiedenen Dynamomaschinen . . . . .	127
a) Wechselstrommaschine. b) Hauptstrom- oder Serienmaschine. c) Nebenschlußdynamomaschine. d) Compoundmaschine. Die Wechselzahl der Maschinen. Einschränkung der Anker-Umdrehungszahl n durch Vergrößerung der Wicklungs- und der Pol-Zahl.	
II. Die Ankerwicklung . . . . .	133
1. Die offene Wicklung. (Dreiphasenstrom. Sternschaltung. Dreieckschaltung. Null-Leiter. Phasenspannung.)	
2. Die geschlossene Wicklung. (Verbesserung der Ankerwicklung. Wicklungsschritt. Schablonenwicklung. Schleifen- und Wellen-Wicklung. Kurzschlußanker.	
Der Elektromotor . . . . .	139
Einleitende Bemerkungen. Die Stromrichtung. Die Fingerregel der linken Hand. Anlassen und Regulieren.	
Der Gleichstrom-EM. . . . .	141
Nebenschluß- und Hauptstrom-Anlasser. Gleichstrom-EM. mit Fremderregung. Hauptstrom- oder Serien-EM. Umsteuerung. Berechnung eines Lift. Nebenschluß-EM. mit Vorschalt- oder Nebenschluß-Widerstand.	
Der Wechselstrom-EM. . . . .	144
Beziehungen zwischen Magnet- und Ankerwicklungssystem: Fälle I. II. III. (Schaltschema der elektr. Anlage zum Antriebe des Pochwerkes auf Schacht „Hülfe Gottes“, Harz.) Ideelles Bild der Drillingstrom-Fördermaschine der Zeche Preußen II, Westfalen. Dreiphasenstrom-Kraftübertragung. Stator, Rotor. Umsteuerung für Aufzüge und Fördermaschinen. Der EM. in den praktischen Betrieben. Unterschied zwischen Generator und Elektromotor (Frage 1. 2. 3).	
Nutzleistung N. Güteverhältnis (Wirkungsgrad) $\eta$ eines Hauptstrom-EM., abhängig von seiner Geschwindigkeit v . . . . .	152
Schaulinie, welche die Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Geschwindigkeit darstellt.	
Charakteristik der Dynamomaschinen und Elektromotoren . . .	155
Schaulinien (Charakteristiken) einer Siemens-Hauptstrom-Dynamomaschine. Besprechung.	

	Seite
Berechnungen der wesentlichsten Bestandteile der Dynamomaschinen und Elektromotoren . . . . .	158
Einleitende Bemerkungen. Grundgleichungen der Elektromechanik und Maschinentchnik im Zusammenhange mit denen der Elektrotechnik:	
$N = \frac{P_v}{75} = \frac{P \cdot R \cdot n}{71620} = \frac{QH}{75} = \frac{ei}{736}$ Pferdekräfte . . . . .	160
Berechnung des Ankers, des Magnetsystemes. Bestimmung von $\mathfrak{R}$ . Zusammenstellung der Ergebnisse. Bedeutung der Buchstaben $\mathfrak{S}$ , $\mathfrak{F}$ , $\mathfrak{H}$ .	
Anforderungen an den Maschinenbau . . . . .	167
Parallelschalten von Dynamomaschinen . . . . .	167
<b>B. Die Transformatoren</b> . . . . .	170
Einleitende Bemerkungen. Der Rhumkorffsche Funkeninduktor. Wechselstrom- und Dreiphasenstrom-Transformatoren. Aufstellung und Schutzmittel. Anwendung und Berechnung.	
<b>C. Die Akkumulatoren und Pufferbatterien. (Sekundär-Batterien).</b> . . . . .	174
Allgemeines. Wartung. Aufstellung.	
Anwendung und Nutzen der Akkumulator-Batterien in großen Lichtzentralen . . . . .	177
Schaulinie. Regulierung beim Laden und Entladen. Berechnung. Zellen-schalter. Zusatz-Dynamomaschine.	
Die Pufferbatterie . . . . .	184
1. Zweck und Vorteile der in der Leitung zwischen Arbeits- und Kraftmaschine eingeschalteten Pufferbatterie. 2. Geschichtliche Bemerkungen. 3. Kurze Zusammenstellung der wesentlichsten Vorteile einer Anlage mit Pufferbatterie vor den bisherigen elektromaschinentechnischen Betrieben und der Anforderungen, welchen sie zu genügen hat. Die Pufferbatterie in elektr. Schacht-Anlagen.	
Ergänzung. Umformer. Elektromotor-Generator . . . . .	194
1. Umformer („Converter“). 2. Elektromotor-Generator.	
Rückblick über die Art und Wahl der verschiedenen Ströme . . . . .	194
A. Gleichstrom. B. Wechselstrom.	
<b>D. Die Leitungen</b> . . . . .	196
Einleitende Bemerkungen. Zweileiter-, Dreileiter-Systeme. Spannungsteiler (Drosselspule). Kurze Zusammenstellung einiger der verschiedenen gebräuchlichen Arten von Leitungen. Elektrische Beanspruchung (Belastung) der Leitungsdrähte. Tabelle.	
<b>E. Elektrische Kraft-Übertragung und Verteilung</b> . . . . .	201
1. Vergleich der verschiedenen zur Kraftübertragung benutzten Mittel in systematischer Aufeinanderfolge. 2. Hochgespannte Preß-Wasser, Preß-Luft, Wasserdämpfe als Übertragungsmittel. 3. Umwandlung der hydraulischen Wasserwältigung des Kaliwerkes Aschersleben in eine elektrische Anlage. 4. Vorteile der elektrischen Kraftübertragung. 5. Zahlenbeispiele zum Nachweis des Vorteiles hoher Spannungen in systematischer Aufeinanderfolge.	
<b>Technische Verwertung des elektrischen Stromes</b> . . . . .	209
<b>Die elektrische Beleuchtung.</b>	
Lichteinheiten.	
Vergleich der Normal-Flammen verschiedener Länder. Vergleich verschiedener Lichtstärken. Angenäherte Preise für 1 HK-Stunde in Pfennigen. Kraftverbrauch in Pferdekräften. Praktische Winke für Beleuchtungsanlagen mit Glüh- und Bogen-Lampen. Allgemeine grundlegende Bemerkungen über Beleuchtung und alle sog. Fernwirkungen (Strahlung) überhaupt (Photometrie; Lumen, Lux, Strahlung, Einheitspol). Allgemeine grundlegende Bemerkungen über Glüh- und Bogen-Lampen. (Anzustrebende Verbesserungen, Schaltungen, Kurzschluß-Sicherungen, 6 für jede Lampe wichtige Größen, Wärme-, Arbeitsverbrauch).	
Die Glühlampe . . . . .	217
Vorbereitende Bemerkungen. Einführung, Herstellung und Eigentümlichkeiten der heutigen Kohlen-Glühlampen. „Ökonomie“ oder Wattverbrauch für je 1 HK. Lampenzahl auf je 1 Pferdekraft. HK-Zahl auf je 1 Pferdekraft. Tabellen (221). Berechnungen. Lichtabnahme. Lebensdauer. Wechselstrom-Glühlampe. Prüfung der Lampen. Kohlenfaden. Luftverdünnung.	



	Seite
Verbesserungen der Glühlampen bis auf die Neuzeit . . . . .	225
Nernst-Lampe. Osmium- oder sog. Auer-Oslampe. Tantal-Lampe.	
Die Bogen-Lampe . . . . .	229
Einleitende Bemerkungen. Kohlenstäbe. Lichtstärke und Temperatur. Gleichstrom-Bogenlampe. Wechselstrom-Bogenlampe. Regelung und Schaltung der Bogen-Lampen (1. Hauptstrom-, 2. Nebenschluß-, 3. Differential-Lampe). Krizik-Differential-Lampe.	
Technische Verwertung der Bogen-Lampen . . . . .	235
Gleichstrom-B.L. Tabellen. Schaulinie. Wattverbrauch. — Wechselstrom-B.L. Tabellen. Wattverbrauch.	
Verbesserungen der Bogenlampen bis auf die Neuzeit . . . . .	241
1. Die Dauer-B.-L. — „Regina“-L. — Liliput-B.-L. (Tabelle). Die neueste SSW-Spar-B.-L. — 2. Die Flammen-B.-L. (Bremer-Licht). „Exzello“-B.-L. (Lichtstärke, Tabelle).	
Gefährlichkeit und Schutzmittel elektrischer Beleuchtungsanlagen . . . . .	246
1. Chemische, 2. physiologische, 3. magnetische, 4. Wärme-Wirkungen des elektrischen Stromes. Versuche und Schutzmittel für Schlagwettergruben (248).	
Die elektrische Wasserwältigung . . . . .	251
Allgemeines. Geschichtliches. Wahl des Systems.	
1. Die Kolben-Pumpen . . . . .	252
Eigenart der Pumpen (Anm. Ventileinrichtung). Ausführung des elektr. Teiles. Aufstellung der Maschine. Regelung der Umlaufzahl. Vergleich zwischen Dampf- und elektr. Wasserwältigung. Die Betriebssicherheit. Die Wirtschaftlichkeit. Das Güteverhältnis. Die Betriebskosten.	
2. Die Kreisel-Pumpen (Allgemeines über Kreisel-Pumpen) . . . . .	256
Bewährte Ausführungen elektrisch angetriebener Wältigungspumpen . . . . .	259
a) Hochdruck-Kreisel pumpen.	
Verzeichnis einiger von Gebr. Sulzer ausgeführter Hochdruck-Zentrifugalpumpen (Tabelle). Hochdruck-Kreiselpumpe (von Gebr. Sulzer) auf Zeche Viktor bei Rauxel (Westfalen). Tabelle über die Übergabe-Versuche.	
b) Elektrisch angetriebene Kolben-Pumpen . . . . .	265
1. Wasserhaltungsanlage zu Bockswiese bei Lautenthal.	
2. Elektrisch betriebene Wasserwältigung, ausgeführt für das Stahlwerk Hösch, Zeche Kaiserstuhl II . . . . .	265
Begründung. Bedingungen. Ausführung: 1. Kessel; 2. Dampfmaschine; 3. Generator; 4. Zweiter Generator; 5. Pumpenkammer; 6. Pumpe; 7. Asynchroner-Dreiphasenstrom EM (Bedingungen. Die Schlüpfung. Stator-Wicklung. Rotor-Wicklung); 8. Mechanische Konstruktion des EM; 9. Schmierung der Lager; 10. Dimensionen des Gehäuses und Gewicht des EM; 11. Messungen am EM in der Werkstatt; Verluste durch Reibung und Ventilation; 13. Erwärmung des Eisens bei Leerlauf; 14. Messung am EM bei normaler Belastung; 15. Das maximale Drehmoment.	
3. Sole-Pumpwerk mit elektr. Kraftübertragung zu Plömnitz bei Bernburg . . . . .	270
(In Tabellen-Form.)	
4. Die elektrisch angetriebene Wasserhaltungsanlage für die Grube der Zeche Rheinpreußen in Homberg a. Rhein . . . . .	271
(In Tabellen-Form.)	
5. Elektrisch angetriebene Wasserhaltungsanlage auf Grube Altenwald der Königl. Berginspektion V, Sulzbach . . . . .	272
(In Tabellen-Form.)	
6. Elektrisch angetriebene Wasserhaltungsanlage, erbaut von den Siemens-Schuckert-Werken . . . . .	273
(In Tabellen-Form.)	
7. Elektrisch angetriebene Pumpen, erbaut von Klein, Schanzlin u. Becker . . . . .	274
(In Tabellen-Form.)	
8. Elektrisch angetriebene Plungerpumpen, erbaut von Ehrhardt u. Sehmer (Saarbrücken) . . . . .	275
(In Tabellen-Form.)	
Elektrische Wetterwirtschaft (Bewetterung, Ventilation) . . . . .	276
Einleitende Bemerkungen. Wetterofen. Ventilatoren. Elektrischer Antrieb für veränderliche Wettermengen.	

	Seite
Die elektrisch angetriebene Ventilatoranlage auf dem Rammelter Wetterschacht Saarbrücken . . . . .	283
Beschreibung. Berechnung. Stammbaum der Anlage. Primäranlage. Fernleitung. Sekundäranlage. Der Elektromotor. Lagerung im Gehäuse. Anlassen des Ventilators. Versuchsergebnisse (Tabelle). Bedienung der Anlage. Umbau. Ventilatoranlagen (Tabelle).	
<b>Die elektrische Förderung . . . . .</b>	<b>292</b>
<b>A. Die elektrische Strecken-Förderung . . . . .</b>	<b>293</b>
a) Die elektrische Strecken-Förderung mit Lokomotive . . . . .	295
Gruben-Lokomotive. Geschichtliches. Die elektrische Grubenbahn des Rosenhöfer Reviere bei Clausthal (Stammbaum-Form). Die heutige normale Gruben Lokomotive. Elektrische Straßenbahn mit Schlitzkanal zu Ofen und Pest. Dreiphasen-Gruben-Lokomotive des Kaliwerkes Herzynia bei Vienenburg (Harz).	
b) Die elektrische Strecken-Förderung mit „Seil ohne Ende“ Diedenhofen . .	308
Allgemeine Bemerkungen. Primärstation. Kraftübertragung. Sekundärstation. Erforderlicher Seilzug und Nutzleistung. Kostenberechnung.	
Kurze Zusammenstellung einiger Anlagen elektrischer Förderungen . . .	307
c) Die einschienige Schwebebahn (Syst. Langen) . . . . .	309
d) Geleislose elektrische Bahn für Personen und schwere Lasten . . . . .	309
Anhang zur Strecken-Förderung . . . . .	312
a) Auf wagerechten Bahnen. b) Auf geneigten Bahnen.	
<b>B. Die elektrischen Schacht-Fördermaschinen . . . . .</b>	<b>314</b>
Einleitende Bemerkungen.	
Möglichst kurze Zusammenstellung der wichtigsten Einrichtungen der neuesten elektr. angetriebenen Schacht-Fördermaschinen für Last- und Menschen-F.	315
a) Die Bewegungs- und Sicherheitsvorrichtungen; b) Nur ein Steuerhebel;	
c) Kraftmaschine tunlichst gleichförmig belastet (1. Pufferbatterie; 2. Ilgner Anlaßmaschine; 3. Kombination der Anlaßmaschine ohne Schwungrad mit Pufferbatterie). Steuerung. Elektr. Bremse. Mechan. Bremse. Sicherheitsvorrichtungen. Wendepole. Beste Stromart für Fördermaschinen. Beste Reguliermittel für elektrisch angetriebene Fördermaschinen.	
Kurze Zusammenstellung der im voranstehenden begründeten fünf Anforderungen an unsere zukünftigen großen Schacht-Fördermaschinen . . . . .	320
I. Direkte Kuppelung; II. Ausgleicher; III. Steuerung; IV. Verlustlose Regulierung der Umdrehungs-Zahl und Richtung des Förder-Elektromotor-ankers; V. Die doppelte Garantieleistung.	
Kurze Entwicklungs-Geschichte der neueren elektrisch angetriebenen Fördermaschinen mit „direkter Kuppelung“ . . . . .	322
Einleitende Bemerkungen. 1. Die Thiederhaller Maschine; 2. Die Fördermaschine für Schacht Zollern II, Gelsenkirchen; 3. Die Fördermaschine für die Zeche Friedrich Franz (bei Lüthteen in Mecklenburg); 4. Die Fördermaschine für Zeche Preußen II der Harpener Bergbau-A.-G.; 5. Die Ilgner-Fördermaschine; 6. Die Fördermaschine auf dem Ottiliae-Schacht, Clausthal.	
Übersichts-Plan. Die elektr. Förderanlage mit Pufferbatterie und direkter Kuppelung der A.-G. Thiederhall bei Braunschweig (Tabelle) . . . . .	329
Elektrisch angetriebene Hauptschacht-Fördermaschine für Schacht I der Zeche Preußen II der Harpener Bergbau-A.-G. Dortmund (Tabelle) . . . . .	335
Einige elektrisch betriebene Fördermaschinen, System Ilgner-Siemens-Schuckert (Tabelle) . . . . .	336
Elektrische Förderanlage der Schächte III und IV der Gewerkschaft Matthias Stinnes in Carnap bei Essen a. R. . . . .	337
Der elektrische Kran . . . . .	341
Allgemeine Bemerkungen. Einteilung der Kran-Vorrichtungen. Stromart, Schaltung und Steuerung.	
Die Motorwinde . . . . .	345
Zusammenstellung einiger Ausführungen von elektrisch angetriebenen Kranen . .	346
1. El. angetr. Laufkran; 2. El. angetr. Portal-Drehkran; 3. Fahrh. el. Portalkran; 4. El. angetr. Hammer-, Turm- oder Pyramiden-Kran; 5. Chargier- oder Beschickungskran für Martinöfen.	

	Seite
Schlußbemerkungen . . . . .	352
Generator. Elektromotor. Wechselstrom, Gleichstrom. „Wendepole“. „Leonard-Schaltung“. Kurze Entwicklungsgeschichte der Gichtgasmaschinen. Dampfkesselbetrieb eines Dampfmaschinen-Gebläses erfordert etwa 3 mal soviel Gichtgase als ein Gichtgasmaschinen-Gebläse. Elektrisch angetriebene Arbeitsmaschinen großer Eisenhüttenwerke.	
<b>Die elektrisch betriebenen Gesteinsbohrmaschinen . . .</b>	<b>356</b>
Einleitung, Einteilung.	
A. Stoßbohrmaschinen . . . . .	357
Geschichtliches. Solenoidbohrmaschinen von Siemens, von Depoele, Thompson Houston, Marvin und der Union-A.-G.	
Kurbelstoßbohrmaschine von Siemens & Halske.	
B. Drehbohrmaschinen . . . . .	364
<b>Die elektro-magnetische und elektro-statische Scheidung . .</b>	<b>368</b>
(Aufbereitung.)	
Einleitung (Grundsätze für die magnetische und hydraulische Aufbereitung). Anwendung. A. Wagerechte Ablenkung aus der lotrechten Fallbahn; B. Anheben des Materiales und seitliches Versetzen. — Kreuzband-Type. Walzen-Apparate.	
<b>Drahtlose Telegraphie . . . . .</b>	<b>375</b>
Einleitende Bemerkungen.	
Aufgabe, praktische Hilfsmittel, kurze Entwicklungsgeschichte der drahtlosen Telegraphie . . . . .	380
1. Sender oder Geber; 2. Empfänger. Praktische Hilfsmittel (A. Stromerzeuger; B. Induktoren und Transformatoren; C. Kondensatoren; D. Luftleiterdrähte oder Antennen; E. Detektoren). Geschichtliche Entwicklung. Anmerkung (Der natürliche Blitz als Funkenstrecke, seine elektrischen Wellen und „Antennen“).	
Die Einrichtung der drahtlosen (Funken-) Telegraphie in betriebsbereitem Zustande . . . . .	387
1. Demonstrations-Apparat für Funken-Telegraphie.	
2. Die tragbaren Stationen der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. Berlin.	
Schlußbemerkungen über die Abstimmung funkentelegraphischer Sender nach Slaby.	
<b>Anhang . . . . .</b>	<b>397</b>
1. Elektrische Gewinnung von Metallen und Metallverbindungen. Bearbeitet von Borchers (Aachen).	
1. Natrium; 2. Magnesium; 3. Calcium; 4. Aluminium; 5. Kupfer; 6. Silber; 7. Gold; 8. Zink; 9. Zinn; 10. Blei; 11. Antimon; 12. Chrom; 13. Nickel; 14. Eisen; 15. Metallkarbide; 16. Silizide.	
2. Elektro-Chemie und ihre physikalisch-chemischen Grundgesetze; Elemente und Akkumulatoren. Von Danneel . . . . .	401
Energiebegriff 401. Physikalische Chemie: Chemisches Gleichgewicht 402. Arbeitsberechnung 402. I. und II. Hauptsatz der Wärmetheorie 403. van't Hoff'sche Energiegleichung 404. Osmotischer Druck 405. Dissoziations-theorie 407. Massenwirkungsgesetz 409. Leitfähigkeit: spez. Leitfähigkeit 410. Ionenleitfähigkeit 412. Äquivalentleitfähigkeit 412. Dissoziationsgrad 414. Dissoziationskraft 415. Feuerflüssige Elektrolyte 415. Überführungsmessungen 415. Stromerzeugung und chemische Energie: Berechnung der Arbeit 417. Nernst'sche Formel 418. Elektrolytisches Potential 420. Konzentrationsketten 421. Normalelektroden 422. Sekundärelemente 423. Normalelemente 423. Primärelemente 424. Elektrolyse: Polarisation und Zersetzungsspannung 424. Faradays Gesetz 426. Elektrochemische Reaktionen 428. Akkumulatoren: Bleiakкумуляtor 431. Formation 431. Chemischer Vorgang 432. EMK 433. Ladung und Entladung 434. Erholung. Sulfatisierung, Verunreinigungen, Kapazität 435. Nichtbleiakumulatoren 436.	



## Einleitender allgemeiner Überblick.

### Bedeutung und Stellung der Elektrotechnik unter den technischen Wissenschaften.

Wer ein weitverzweigtes Gebiet erforschen und anderen zugänglich machen will, sollte zunächst von einem erhabenen Standpunkte aus einen allgemeinen Überblick über das weithin sich ausdehnende Gesamtgebiet zu gewinnen suchen und dann erst in die Tiefen hinabsteigen, um die einzelnen Gebietsteile aus unmittelbarer Nähe gründlich kennen zu lernen. Bei dem Rundblicke schon wird ein Gesamtbild gewonnen, das Wesentlichste vom Unwesentlichen sich abheben, aber auch manche Frage auftauchen, die erst später beim Nähertreten beantwortet werden kann. Ein solcher weiter Blick gleichsam in die unbegrenzte Zukunft ist ja keinem Forscher erspart, der auf technisch-wissenschaftlichem Gebiete Pionierarbeit treibt.

Unter dieser Vorstellung ist unsere Einleitung, sind dann die einzelnen, in sich selbständigen, abgerundeten Abteilungen entstanden, die, soweit es möglich war, stets von Grund aus in tunlichst gemeinverständlicher Darstellung aufbauen, deshalb aber auch Grundlegendes wiederholen mußten, immerhin aber von „einseitiger Fachsimpelei“ sich freizuhalten suchten.

Unser Leitfaden möchte nicht nur unterrichten und leiten, sondern — ich hoffe, selbst den Laien — zu eigenem Nachdenken anregen. Zu den Laien aber zähle ich jeden Gebildeten, der sich gern mit unserer Sache befaßt, wiewohl er nicht „Elektro-Maschinentechniker“ ist. Und sind nicht von solchen „nichtgeschulten“, vorurteilsfrei denkenden Laien die genialsten Erfindungen gemacht?

Die Elektrizität im allgemeinen, die elektrische Kraft-Übertragung und Verteilung im besonderen, kurz die Elektrotechnik mit ihren kaum noch übersehbaren Verzweigungen und mit ihren Befruchtungen der Gesamttechnik, läßt sich heute schon wohl allen und nicht zum mindesten den berg- und hüttenmännischen Gewerbe- und Industrie-Zweigen mit Erfolg dienstbar machen.

**Einige kurze geschichtliche Aufzeichnungen.** Wer die Gegenwart verstehen will, muß die Vergangenheit kennen. In den engen Grenzen, die unserem Leitfaden gesteckt sind, darf jedoch nicht eine eingehende Geschichte der Elektrizität und des Magnetismus erwartet werden, aus deren Eigentümlichkeiten und Wechselwirkungen in Verbindung mit der Maschinentechnik sich die heutige Elektrotechnik entwickelt hat. Vielmehr wollen wir uns damit begnügen, einen flüchtigen Überblick zu geben, um das Geburtsjahr der Elektrotechnik, sofern von einem solchen überhaupt geredet werden darf, festzustellen.

Möchte dieser Versuch doch nicht als müßige Arbeit verworfen werden, weil er zwang, Literatur und Technik eingehend zu durchforschen, sondern zeigen, wie nach diesem Jahre hin gleichsam Kraftlinien von den beteiligten Forschern, Entdeckern, Erfindern, Konstrukteuren zusammenfließen und wie dann von hieraus wiederum bestimmte, sicher festgelegte Strahlen bis in unsere Zeit hinein sich erstrecken, andere an sich ziehen und um sich herum verdichten.

Bis zu diesem Jahre hin waren schon alle maßgebenden, grundlegenden Entdeckungen und Gesetze festgelegt. Sie harrten nur der fleißigen Ingenieurarbeit, die sie aus den Lehrsälen und Büchern hervorholte, verkörperte, zum Segen der Menschheit verwertete.

Von diesem Jahre dringt die Elektrotechnik in kleinen Anfängen, aber schon mit sicheren Schritten in die Wohnhäuser, Werkstätten und Betriebe über und unter der Erde, entstehen selbständige elektrotechnische Zeitschriften, um die gesammelten Erfahrungen größeren Kreisen mitzuteilen, wachsen die elektrotechnischen Anlagen in ihren einzelnen Teilen und in der Gesamtheit. Mit ungewöhnlicher Schnelle ist aus dem Kinde der reife Mann geworden, der sich sehen lassen darf und mit seinesgleichen den Wettkampf nicht zu scheuen braucht. So entstehen die elektrotechnischen Ausstellungen und Kongresse. Heute ist aus dem Manne ein Riese geworden von einer Stattlichkeit, die keiner von uns sich hat träumen lassen, die an seiner Wiege standen. Aber er ist nicht ungefügt und unbeholfen, sondern vollendet im Ebenmaß der Formen und in der Beweglichkeit der Glieder und nützlich überall da, wo er eingreift.

Fragen wir uns nach dem Hauptgrunde dieser ungewöhnlichen Entwicklung der Elektrotechnik, so gibt es nur die eine Antwort: Anlehnung an die Maschinentechnik. Der Riese verdient darum heute den Doppelnamen: Elektro-Maschinentechnik.

Unser Leitfaden hat deshalb, neben der eigentlichen Elektrotechnik, welche in Schwachstromtechnik, d. i. Bewegungsübertragen durch schwache elektrische Ströme (Telegraphie, Telephonie) und Starkstromtechnik, d. i. Kraftübertragung durch starke elektrische Ströme zerfällt, auch die Maschinentechnik gebührend zu berücksichtigen, darf aber auch die grundlegenden Wissenschaften: Elektro-Mechanik, Elektro-Chemie, Elektro-Physik nicht vernachlässigen.

Wiewohl schon im Jahre

1600 Gilbert die Lehre von der Elektrizität und dem Magnetismus begründete,  
1785 Coulomb das dem Newtonschen Gravitationsgesetze entsprechende Grund-

gesetz der Elektro-Statik  $\left( P = k \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \right)$  aufstellte,

1800 Volta den elektrischen Strom erzeugte und bald darauf Carlisle und Nicholson die chemische Wirkung des neuentdeckten Stromes feststellten,

1820 Oerstedt dessen Einwirkung auf die freischwebende Magnetnadel zeigte, Biot-Savart und Ampère unmittelbar darauf ihre elektrodynamischen Regeln und Gesetze aufstellten,

1821 Davy den elektrischen Lichtbogen der Bogenlampen zeigte,

1822 Seebeck die Thermo-Elektrizität nachwies,

1827 Ohm sein berühmtes Grundgesetz der Elektro-Dynamik  $(i = e/w)$  aufstellte,

1831 Faraday durch Entdeckung und gründliche Erforschung der magnetischen Induktion, sowie 1833 des elektrolytischen Gesetzes den breitesten Grund zur heutigen Elektrotechnik legte,

1833 Gauß und Weber in Göttingen zum ersten Male einen elektrischen Telegraphen zwischen dem magnetischen Observatorium und dem physikalischen Kabinet einrichteten und mit durchschlagendem Erfolge benutzten,

- 1834\*) Lenz sein Gesetz aussprach, welches auch für die elektro-magnetische Induktion das allgemeine Naturgesetz: „Die Natur folgt nur dem Zwange“, bestätigt,  
1843 Grove,  
1854 Sinsteden und  
1860 Planté das Akkumulator-Prinzip erkannten,  
1861 Ph. Reis das Telephon erfand,  
1866/67 Werner Siemens die für die heutige Elektrotechnik unentbehrliche dynamoelektrische Maschine herstellte,  
1871 Gramme seine erste Dynamomaschine baute,  
1872 v. Hefner-Alteneck den Trommel-Anker angab,  
1876 Jablokoff seine Kerze erfand,  
1877 Graham Bell das heutige Telephon einführte,

ist die Geburt, oder doch der Beginn der bahnbrechenden Entwicklungsperiode der Elektrotechnik mit ihren wichtigen Eingriffen in das Maschinenwesen der Berg- und Hüttentechnik wohl auf das Jahr 1879/80 zu verlegen.

Denn am 31. Mai des Jahres 1879 führten Siemens und Halske die erste betriebsgemäß arbeitende, elektrisch angetriebene Gruben-Lokomotive, den Vorläufer der elektrischen Straßenbahnwagen und ähnlicher Verkehrs- und Bewegungsmittel, auf einer 300 m langen Rundbahn der Berliner Ausstellung vor.

- 1879 entstand die Siemenssche erste Gesteinsbohrmaschine (Solenoidbohrmaschine), vom Erfinder „elektrischer Hammer“ genannt,  
1879 führte v. Hefner-Alteneck die nach ihm benannte Differenziallampe ein,  
1879 wurden mit dem Telephon von Bell zum ersten Male auf einer längeren Strecke (Paris-Tours) Versuche angestellt,  
1879 wurde von Edison durch Einführung des Bambus-Kohlenfaden im Glühlicht anstatt der Metalldrähte, das Problem der unbegrenzten Verteilung des Lichtes praktisch gelöst, und die Elektrotechnik sozusagen in die Familien getragen und damit zum Gemeingut gemacht.

Auch die elektrotechnischen Zeitschriften beginnen in dieser Zeit. Vom Jahre 1878 habe ich noch keine elektrotechnische Fachzeitschrift auffinden können. Die bekanntesten, bedeutendsten Zeitschriften dieser Art sind, der Zeitfolge nach geordnet, wie folgt erschienen:

1879 The Electrician. London. — 1879 L'Electricité. Paris. — 1879 Zeitschrift für Elektrizitätslehre. München. — 1880 Elektrotechnische Zeitschrift. Berlin. — 1881 L'Électricien. Paris. — 1883 Elektrotechnisches Jahrbuch. Halle. — 1883 Der Elektrotechniker. Wien. — 1883 Electrical Review. New-York. — 1883 La lumière électrique. Paris. — 1884 Kalender für Elektrotechniker. Uppenborn. München. — 1885 wurde das Jahrbuch für Elektrotechniker, ein praktischer Notizkalender von der Redaktion des Elektrotechnikers, Wien, herausgegeben. — 1887 wurde ein kurzer (bereits 1885 vorbereiteter) Abriß der Elektrotechnik für Berg- und Hüttenleute im Berg- und Hüttenkalender von mir veröffentlicht, der auch der 1898er Auflage des gegenwärtigen Leitfadens als Grundlage diente.

---

\*) Die Techniker erinnere ich daran, daß in der Zeitperiode Ohm-Lenz 1827 bis 1834 auch auf anderen Gebieten Erfindungen und Erfolge ermöglicht wurden, ohne welche die heutige Technik undenkbar wäre: 1829 am 6. Oktober wurde durch den Sieg der Stephenson-Booth-Lokomotive „Rocket“ der öffentliche Eisenbahn-Verkehr eröffnet. In den Jahren 1827—1834 erfand Albert zu Clausthal die Drahtseile, welche seit 1834 einzig und allein in Clausthal nach Alberts Methode angefertigt, besonders durch die Vermittelung Englands über den ganzen Erdkreis verbreitet wurden.



(In Strecker „Fortschritte der Elektrotechnik“, 1. Jahrgang 1887, sind unter Erklärungen und Abkürzungen außer dem bereits oben genannten „The Electrician“, London, vor Seite 1 nur noch erwähnt: The Electrician and electrical engineer, New York. — Elektrotechnischer Anzeiger, Berlin. — L'Electricita, Mailand. — Elektrotechnische Rundschau, Frankfurt a. M. 1884, 1. Jahrg. — The telegraphic journal and electrical review. 1884, London. — The electrical World, New York. — Revue internationale d'électricité et de ses applications, Paris. — Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien.)

Mit dem Jahre 1881 beginnen die elektrotechnischen Kongresse und Ausstellungen.

Auf den Pariser Kongressen (1881 und 1884) wurden die schon vorher von Gauß und Weber (1834) vorgeschlagenen, von der British Association beschlossenen Grundmaße: Zentimeter, Gramm-Maße, Sekunde (mittlere Sonnenzeit) des CGS-Systemes als sog. Kongreß-Einheiten eingeführt.

Die erste elektrotechnische Ausstellung wurde in Paris im Jahre 1881 veranstaltet; dann folgten: 1882 die Münchener, 1883 die Wiener, 1891 die Frankfurter, 1902 die Düsseldorfer. Letztere war zwar eine „Industrie- und Gewerbe-Ausstellung für Rheinland, Westfalen und benachbarte Bezirke, verbunden mit einer Deutsch-nationalen Kunstausstellung“, auch nicht von allen hervorragenden elektrotechnischen Firmen vertreten, zeigte aber die für die technischen Betriebe erforderliche Verquickung der Elektrotechnik mit der Maschinentechnik, wie keine Ausstellung vorher, selbst die internationalen nicht angenommen.

1882 erforderten Glüh- und Bogenlampen noch getrennte Dynamomaschinen und Leitungen. 1884 (auf der Turiner Ausstellung) wurden die Gaulard und Gibbschen mit der Übersetzung 1, 1885 die Zippernowsky-Dèry-Blathyschen Transformatoren mit beliebiger Übersetzung eingeführt. 1883 wurde von Edison in New-York, 1885 von Siemens und Halske in Berlin das erste Elektrizitätswerk angelegt. 1888 entdeckte Hertz die elektrische Wellen-Bewegung in der Luft und damit den innigen Zusammenhang der Bewegungsvorgänge beim Licht und dem elektrischen Strome, den Maxwell durch seine elektromagnetische Lichttheorie bereits nachgewiesen hatte. Seit dieser Zeit wurde nun auch die Leistungsfähigkeit der einzelnen Dynamomaschinen erheblich (über 50 Kilowatt) gesteigert und durch Vergrößerung der Ankerdurchmesser und Polzahl die Umdrehungszahl so herabgemindert, daß Anker- und Dampfmaschinenwelle zusammengekuppelt werden konnten (Helios, Köln). 1891 zeigte die „Internationale elektrotechnische Ausstellung zu Frankfurt am Main“ zum ersten Male in großem Maßstabe und in durchaus gelungener Ausführung die für die Gesamttechnik so überaus wichtige rationale Ausnutzung der Naturkräfte durch die „elektrische Kraftübertragung“ auf größere Entfernungen, nämlich eines Wassergefälles bei Lauffen am Neckar von 300 Pferdekraften nach dem 175 km entfernten Ausstellungsgebäude in Frankfurt am Main.

Umgekehrt aber sahen sich auch die Maschinentechniker durch die vorteilhaften hohen Umdrehungszahlen der Dynamomaschinen genötigt, ihre Betriebsdampfmaschinen zu Schnellläufern auszubilden, wodurch zugleich nicht nur eine bessere Ausnutzung der Betriebskraft, sondern auch eine Vervollkommnung und Verfeinerung des Maschinenbaues und seiner Bestandteile erwuchs.

Wir schließen unsere kurzen geschichtlichen Aufzeichnungen mit einem flüchtigen Hinweis auf die Gegenwart.

Heutzutage bereitet es den größeren elektrotechnischen Firmen keine unüberwindlichen Schwierigkeiten, in jedem Stromsysteme (Wechselstrom, Gleichstrom) Dynamomaschinen von  $\frac{1}{10}$  Kilowatt KW (nahezu 1 Menschenkraft oder  $\frac{1}{8}$  Pferdekraft) bei 65 Volt oder anderen Spannungen und  $n = 2000$  Umdrehungen in 1 Minute bis 5000 Pferdekraften und Gleichstrom-Elektromotoren sogar bis  $\frac{1}{100}$  Pferdekraft herab zu bauen; ferner große Dreiphasen- (sog. Drehstrom-) Maschinen unmittelbar für Spannungen bis 20000 Volt herzustellen. Der

innige Zusammenhang dieser Maschinengattung mit den dem Maschinentechniker längst bekannten Drillingsmaschinen wird später begründet.

Besonders wichtig für die Bergwerkstechnik aber ist es, daß die Elektrotechnik imstande ist, 1000 pferdige und stärkere Gleichstrom-Elektromotoren mit den geringsten Umlaufzahlen zu bauen, was für die unmittelbare Kuppelung mit der Schacht-Fördermaschine von großem Werte ist.

Auch Dreiphasen-Elektromotoren, welche für solchen langsamen Lauf bei den bislang üblichen 50 Perioden fast unmöglich schienen, kuppelt man heute mit der Fördermaschine.

Wie weit abwärts man mit der Umlaufgeschwindigkeit bei Gleichstrom-Elektromotoren kommen kann, hat die Firma Siemens und Halske (Siemens-Schuckert-Werke A.-G.) zum ersten Male durch die 1899 dem Betriebe übergebene Thiederhall-Fördermaschine mit direkter Kuppelung und Pufferbatterie bewiesen. (Näheres wird später unter Fördermaschinen angegeben.)

Die von den Elektrotechnikern viel gerühmte Anpassungsfähigkeit der Elektrotechnik ist dem Berg- und Hüttenmanne bewiesen durch die Elektromotoren als Antriebsmaschinen für die Hauptschacht-Fördermaschinen und größten Walzwerke mit ihren ungewöhnlichen Bewegungs- und Kraftschwankungen.

**Elektro-maschinentechnische Aufgabe der Jetztzeit.** Die Aufgabe, welche die Techniker der Jetztzeit sich gestellt haben und von deren zufriedenstellender Lösung zum ersten Male die oben erwähnte Kraft-Übertragung (Lauffen-Frankfurt 1901) ein rühmliches Zeugnis ablegte, lässt sich in Kürze folgendermaßen zusammenfassen:

Es wird an der billig oder sonst vorteilhaft gebotenen Kraftquelle (Wasserkraft, Steinkohlengrube, Hochofen, Koksöfen, Braunkohlenschwälerei, Torfstich) durch Dynamomaschinen ein elektrischer Strom von möglichst hoher Spannung erzeugt, durch dünne, also billige Leitungsdrähte auf große Entfernung bis zu einer im Industriebezirke (Stadt, Bergwerk, Hüttenwerk, Fabrikanlage) eingerichteten Zentralstelle fortgeleitet, hier durch Transformatoren in einen für den betreffenden Zweck erforderlichen Strom von niedriger Spannung heruntertransformiert, erforderlichenfalls durch Akkumulatoren aufgespeichert bzw. geregelt und auf diese Weise ganz dem Bedürfnisse entsprechend Elektrizität für Licht- und Kraft-Verteilung zur Verfügung gestellt.

Mit der elektrischen Kraft-Verteilung ist neben der Kraft-Übertragung eine nicht minder bedeutsame Errungenschaft genannt, deren Wesen darin besteht, den an der Zentralstelle erzeugten oder gesammelten elektrischen Strom nun auch zweckmäßig auf beliebig viele verschiedene Arbeitspunkte zu verteilen, um ihn hier in die zweckentsprechenden Arbeitsformen (Licht, Wärme, mechanische Arbeit, chemische Arbeit) zu verwandeln.

### Zweck aller Maschinen.

Bei allen natürlichen und künstlichen Bewegungs-Vorgängen (mechanischen, chemischen, physikalischen, elektrotechnischen) aber, mögen sie

1. eine Ortsveränderung oder
2. eine Formveränderung

oder beides bezwecken, muß längs eines Weges oder Zeitabschnittes ein gewisser Widerstand überwunden oder geäußert, also eine Arbeit verbraucht bzw. erzeugt, kurz eine Wirkung geäußert werden. Künstliche (auch natürliche) mechanische Vorrichtungen zum Zwecke solcher bestimmter Arbeitsleistung in bestimmten Bahnen und Zeiten sollen Maschinen im weitesten Sinne genannt werden.

Nach dieser ungewöhnlich weitgehenden Auffassung würden hierher gehören alle (künstlichen) Hilfsmittel, durch welche eine mechanische Arbeit unter bestimmten, vorgeschriebenen Bewegungen so übertragen wird, daß die bezweckte Wirkung (Orts- oder Formveränderung) erscheint, auch z. B. die Vorrichtungen zur elektrolytischen Metallgewinnung, zur Lichterzeugung.

Der Techniker hat nun dafür zu sorgen, alle solche Bewegungen auf die sicherste, einfachste, billigste, zweckmäßigste, kurz die vorteilhafteste Weise in ihre richtigen Bahnen zu lenken.

### Einteilung aller Maschinen.

Bei jeder Maschinenanlage, also auch einer „elektrischen Fernwirkung“ (Arbeits-Übertragung) sind systematisch geordnet, folgende wesentliche Bestandteile zu unterscheiden:

I. die Kraft- oder Betriebs-Maschine (der sog. Motor) Tier-, Wasser-, Wind-, Wärme-Kraftmaschine;

II. die Zwischen-Maschine, welche abgesehen von den erforderlichen Stangen-, Hebel- und Räderwerken ohne oder mit elastischen, biegsamen, nachgiebigen Zwischengliedern (Riemen, Seilen, Ketten, Flüssigkeiten) zerfällt in:

a) die Dynamomaschine I (Stromgeber, „Generator“, Stromerzeuger, Primär-Maschine) der Primärstation, welche die mechanische Arbeit der Kraftmaschine (Motors) in elektrischen Strom verwandelt;

b) die Leitung, welche (ohne oder mit Hilfe von Transformatoren und Akkumulatoren) den Strom überführt zur Arbeitsstelle (elektr. Lampe, elektr. Bade), meist aber erst zu einer zweiten elektrischen Maschine, nämlich:

c) der Dynamomaschine II (Stromempfänger, „Elektromotor“, Sekundärmaschine) der Sekundärstation;

III. die Arbeitsmaschine oder Lastmaschine:

a) zur Ortsveränderung	}	1. Fördermaschinen aller Art (Bewegung fester Körper),
		2. Wasserhaltungsmaschinen (Bewegung flüssiger Körper),
		3. Wind- und Wettermaschinen (Bewegung gasförmiger Körper);

b) zur Formveränderung, deren Zahl und Mannigfaltigkeit ungeheuer groß ist; über die aber trotzdem einen kurzen systematischen Überblick zu geben, in dem folgenden „Ersten Plane“ versucht ist.

a und c unter II können wesentlich dieselbe Einrichtung haben. c wird durch den von a her empfangenen Strom bewegt und verwandelt so wieder Elektrizität in mechanische Arbeit.

Zur besseren Übersicht über unsere drei zusammenhängenden Gebiete: Mechanik, Maschinentechnik, Elektrotechnik, und um unzweifelhaft und bestimmt die Stellung zu kennzeichnen, welche die Elektrotechnik in unseren Maschinenanlagen einnimmt, sind die folgenden allgemeingültigen, systematischen Übersichtspläne entworfen. Wie leicht sich dann selbst die verwickeltesten Maschinenanlagen nach Muster unserer Übersichtspläne so veranschaulichen lassen, daß sie fast mit einem Blick überschaut werden können, soll besonders durch den „Zweiten Übersichtsplan“ über einzelne ausgeführte Anlagen angedeutet werden, in welchem











eine der ältesten bergmännischen Maschinen, der Berghaspel, obenangestellt ist, weil sie zugleich die einfachste ist. Ich bemerke ausdrücklich, daß das Beispiel einer elektrisch angetriebenen Förder- und Wasserhaltungs-Anlage erst späteren Kapiteln angehört, aber schon hierher gesetzt wurde, weil es in der gebotenen, vom Einfachsten beginnenden systematischen Anordnung wohl am leichtesten überblickt werden kann. Beim Durchstudieren unseres Leitfadens mag es deshalb erst durchgesehen werden, wenn das betreffende Kapitel an die Reihe kommt.

### Erläuterungen zu den Plänen.

Die Pläne zeigen, daß an jeder vollständigen Maschinenanlage die drei Hauptteile: Kraft-, Zwischen-, Arbeits-Maschine meist deutlich hervortreten. Es ist oben auch versucht, die Telephon- und Telegraphen-Einrichtung in unser System einzureihen. Besser noch zeigt sich in der „Fortsetzung“ unseres „Zweiten Planes“, daß für die elektrotechnischen

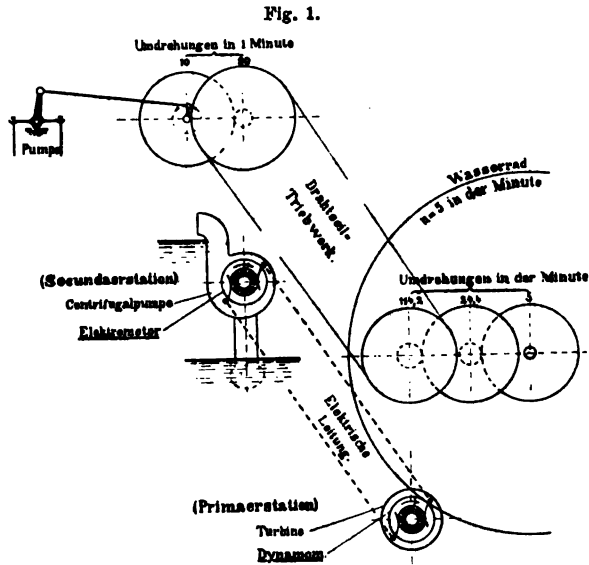
vollständigen Maschinenanlagen die Trennung sich gut ausführen läßt. In bezug auf den zweiten Plan a sei noch folgendes bemerkt.

Beim einfachen bergmännischen Förderhaspel (als Arbeitsmaschine), mittelst Kurbel durch den Arbeiter (als Kraftmaschine) gedreht, tritt die zur Kraftübertragung (besser gesagt: Arbeitsübertragung) dienende Kurbel als eine Zwischenmaschine der einfachsten Gestalt auf.

Ist dagegen (wie beispielsweise bei der Hubkunanlage auf dem Polsterberge bei Claustal\*) Fig. 1 die Bewegung eines Wasserrades unten im Tale auf eine mehr denn 100 m entfernte Hubpumpe dort auf dem Berge zu übertragen, so tritt die erforderliche Zwischenmaschine schon weit mehr hervor in Gestalt eines

1. langen festen Gestänges (Feldgestänges wie früher), oder einer
2. Drahtseiltransmission (wie heute). Man könnte aber auch (abgesehen von der Zweckmäßigkeit) anstatt des Drahtseiles ein anderes Zugmittel, auch ein
3. sog. hydraulisches Gestänge, selbst
4. gepreßte Luft oder
5. gepreßtes Wasser und schließlich den
6. elektrischen Strom zur Herrichtung der Zwischenmaschine wählen.

\*) Über diese eigenartige, in historischer, bergtechnischer und maschinentechnischer Hinsicht nicht uninteressante Anlage, deren zeitliche Entwicklung mich auch zu der den obigen Plänen eigentümlichen Einteilung angeregt hat, sind nähere Angaben zu finden in: O. Hoppe, „Die Bergwerke, Aufbereitungswerkstätten, Hütten usw. des Ober- und Unterharzes“, S. 228. Ferner: „Berechnungen im Maschinenwesen I.“ S. 8.



Den verschiedenen Mitteln entsprechend würden dann aber auch die maschinentechnischen Vorrichtungen entsprechend andere sein müssen. Im letzteren Falle würde man durch das Wasserrad oder wie die Figur andeutet besser noch durch eine schnelllaufende Turbine, unmittelbar den Anker einer Dynamomaschine (sog. Generator) drehen, den erzeugten Strom durch einen Leitungsdraht auf die vor die Arbeitsmaschine (Pumpe) gelagerte Dynamomaschine II (sog. „Elektromotor“) wirken lassen und durch den hierdurch in Drehung versetzten Anker des letzteren mittelst eines passend gewählten Triebwerkes eine schnell laufende Schleuder-Pumpe bewegen. Die figürliche Darstellung zeigt deutlich, daß an die Stelle der Seilscheiben die beiden Dynamomaschinen I und II, bezw. die Dynamomaschinen mit der Leitung und mit den zur Erzielung der vorteilhaftesten Geschwindigkeiten erforderlichen Triebwerken an Stelle der einfachen Kurbel unseres ersten Beispiels getreten sind. Und dennoch ist die anscheinend umständliche elektrische Kraftübertragung, die, wie in unserer Maschinenanlage, meist nur als Zwischenmaschine auftritt, und oft noch umfangreicher wird durch die Notwendigkeit von „Transformatoren“ und „Akkumulatoren“ in vielen Fällen nicht nur in praktischer, sondern sogar auch ökonomischer Hinsicht von größtem Vorteile, zumal wenn der elektrische Strom zur „Übertragung“ der Leistung großer Wasserkräfte auf weit entfernte „Zentrale“ benutzt, aus diesen dann in Teilströmen entnommen, in die verschiedensten Energieformen (Licht, Wärme, elekt., chem., mech. Energie) umgewandelt wird.

Häufig schrumpfen unsere Kraft-, Zwischen- und Arbeitsmaschinen aber auch zu einer einzigen einfachen Vorrichtung zusammen, so daß sie ohne Künstelei einzeln nicht mehr deutlich zu unterscheiden sind und nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche das Ganze noch nicht einmal als Maschine erklärt wird. Ich erinnere an das später besprochene Daniellsche Kupfer-Zinkelement, welches zugleich als gedrängteste Vorkehrung zur Rein-Metall-Gewinnung angesehen werden könnte, und an die tragbare elektrische Grubenlampe, welche, abgesehen von der Zweckmäßigkeit, auch alles enthalten müßte, was zur Lichterzeugung im kleinen erforderlich ist.

### **Hervorragende Bedeutung der elektrischen Leitung.**

Ganz verkehrt aber wäre es, wollte man aus der räumlichen Ausdehnung der Elektrotechnik in unseren beiden Plänen auf deren Bedeutung schließen. Schon der scheinbar unbedeutendste Teil, die Leitung, belehrt uns eines besseren. Die Leitung mit ihren Isolatoren ist es, die besonders bei einer Übertragung auf große Entfernungen die hervorragendste Rolle spielt, sie hat den Technikern die größten Schwierigkeiten bereitet, an ihr kann wesentlich gespart werden, und was das Wichtigste ist, gerade ihre Eigentümlichkeiten haben die Elektrizität erst so wertvoll für die Technik, insbesondere den Bergbau mit seinen meist engen, verwickelten Bauen und seinen gefährlichen Arbeiten gemacht.

Wir werden zwar späterhin in besonderen Fällen noch mehrfach auf die Leitung zurückkommen müssen, es sollen jedoch schon hier einige allgemeine, kurze, das Wesentlichste treffende Bemerkungen über deren hervorragende Bedeutung vorangeschickt werden.

Wie die Dampfmaschinentechniker mehr und mehr dahin strebten, höher gespannten Dampf anzuwenden, um gedrängte Maschinen und billige Kraft zu erzielen und gegenwärtig sich nicht scheuen, einen Dampfstrom von mehr denn 12 Atmosphären Überdruck zu erzeugen und auszunutzen (wohingegen man zu Watts Zeiten kaum 0,5 Atm. Überdruck anzuwenden wagte); so haben die Elektrotechniker der Neuzeit besonders und mit dem besten Erfolge sich bemüht, elektrische

Ströme von ungeheurer Spannung zu erzeugen und nutzbar zu machen (Siemens und Halske erzeugte auf der Intern. elektr. Ausstellung zu Frankfurt a. M. sogar Ströme von mindestens 30000 Volt). Ströme von 10000 Volt, an deren Ausnutzung man früher kaum dachte, werden heute ohne Bedenken in den Dienst gezogen und die Erzeugung von Strömen von über 100000 Volt bietet keine Schwierigkeit mehr.

Erst durch die Möglichkeit, hochgespannte elektrische Ströme zu erzeugen und in dünnen Drähten fortzuleiten mit der damit im innigen Zusammenhange stehenden Anwendung der vorzüglichsten Isolatoren, Transformatoren und der als sog. Dreiphasen- oder Drehstrom-Maschine bekannt gewordenen Wechselstrom-Maschine sowie der in erster Linie den Fabriken von Siemens u. Halske (Berlin), Felten u. Guilleaume (Mülheim a. Rh.) und dem Land- und Seekabelwerke (Cöln) zu dankenden Ausbildung der Leitungskabel, ist die elektrische Arbeitsübertragung auf große Entfernungen vorteilhaft und annehmbar geworden. Denn aus den Zeiten sind wir glücklich heraus, in welchen bei einer Besprechung im Franklin-Institute (in den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts), ob die Kraftübertragung des Niagarafalles auf mehrere Hundert Meilen möglich sei, ein amerikanischer Elektrotechniker behaupten konnte, daß hierzu mehr Kupfer erforderlich sein würde, als in dem großartigen Lager am Oberen-See vorhanden sei.

Dank der Fortschritte der Elektrotechnik ist die obige Frage mit „Ja“ beantwortet. Nach der Zeitschr. Deutsch. Ing. vom 19. Dez. 1896, S. 1496, wurde am 16. November d. J. die elektrische Kraftübertragung von den Niagara-Fällen bis zu dem 48 km entfernten Buffalo zum ersten Male in Betrieb gesetzt. Sie ist wohl die erste der großartigen Betriebsanlagen ihrer Art, verdient deshalb hier hervorgehoben zu werden. Die Klemmspannung der Wechselstrom-Dynamomaschinen von 2400 Volt wird durch Transformatoren auf 11000 Volt erhöht und in Buffalo wieder auf 400 Volt vermindert. Im ganzen werden 1000 Pferdekraften übertragen; es soll aber bereits ein Bedarf von 10000 Pferdekraften angemeldet sein.“

Heute werden bereits durch 5000 pferdige Turbinen-Dynamomaschinen 50000 Pferdekraften übertragen.

Der wesentlichste Vorteil der elektrischen Kraftübertragung erwächst aus der leichten Leitungsführung, welche drei andere Vorteile einschließt:

1. Die Möglichkeit, die elektrische Arbeit z. B. in der Grube auf engen, winkligen Wegen fast bis zu jedem beliebigen Punkte „vor Ort“ zu leiten, ohne daß selbst bei größeren Entfernungen, Verzweigungen und Abweichungen aus der geraden Linie erhebliche Verluste entstehen oder unangenehme Störungen durch die zu verlegende Leitung auftreten.

2. Wegen der außerordentlichen Biegsamkeit und Nachgiebigkeit der Leitung, die Möglichkeit einer beweglichen Aufstellung der elektrisch angetriebenen Arbeitsmaschine (Gesteins-Bohrmaschine, Gesenkpumpe) am Arbeitsorte.

3. Die Möglichkeit sowohl der fast grenzenlosen Verteilbarkeit, das ist der sofortigen Licht- und Kraftentnahme an einer beliebigen Stelle der Leitung bis zur geringsten Stärke hinab (Beleuchtung), als auch einer stetigen Fortbewegung der Arbeitsmaschine (Lokomotive, elektr. Wagen) längs der Leitung, die dann blank sein muß.

Man darf wohl sagen, gerade die Leitung mit ihren Eigentümlichkeiten hat die elektrische Kraftübertragung so wertvoll für den Bergbau gemacht und diesen technisch und wirtschaftlich unterstützt und gefördert, wie kein anderes Übertragungsmittel vorher.

Wie außerordentlich schnell ein regelrecht eingerichtetes Elektrizitätswerk nach einer Feuersbrunst wieder betriebsfähig gemacht werden kann, wenn für genügende Reserveteile gesorgt wird, beweist folgendes Beispiel (nach Electrical World and Engineer). „Ein Blitz, der angeblich am 29. Januar 1902, um 10 Uhr

45 Minuten nachts in die Verbindungsbrücke zwischen dem Kraftthause I und dem Transformatorenthause der Elektrizitätswerke der Niagara-Falls Power Co. einschlug, welche mit ihren 15000 Pferdekräften die Stadt Buffalo mit Kraft und Licht versorgen, hatte die dort verlegten 52 mächtigen Leitungskabel getroffen und in dem leicht entzündlichen Isoliermaterial derselben reichlich Nahrung gefunden. Durch Zerstörung der Kabel waren stromlos geworden Buffalo mit seinen Beleuchtungs- und Trambahn-Anlagen, zahlreichen industriellen Unternehmungen, Getreideelevatoren, großen Geschäftshäusern, alle Anlagen in Tonowanda und Lockport, die International Railway mit allen ihren Linien. Auch das Kraftwerk II mußte während des Feuers eingestellt werden. Schon eine Stunde nach Löschen des Feuers konnte der Strom für den Betrieb der Trambahn und der elektrischen Beleuchtung wieder geliefert werden. Nach 16 Stunden waren die schweren Kabel von neuem verlegt und die Anschlüsse soweit wieder hergestellt, daß der Betrieb wieder aufgenommen werden konnte. Nach 24 Stunden waren alle Mängel provisorisch behoben. Der rasche Ersatz war der Vorsicht der leitenden Gesellschaft, die für einen reichlichen Vorrat an Reserven gesorgt hatte und der ungemein leichten Verlegbarkeit elektrischer Leitungen überhaupt zu danken.“

Auch beim Schiffsbau ist die Einführung der Elektrizität wesentlich den Vorzügen der Leitung, insbesondere der Teilbarkeit und leichten Verlegbarkeit aber nicht minder auch dem Umstande zu danken, daß sie nicht wie die Dampfleitungen durch ihre Wärmeausstrahlung belästigt. In „Stahl und Eisen“ (16. Jahrg., Nr. 14, 15. Juli) 1896 heißt es auf S. 531, in dem vor der Institution of Naval Architects in Charlottenburg am 11. Juni über „Entwickelung der Entwürfe und des Baues der deutschen Kriegsschiffe“ vom Wirkl. Geh. Admiralitätsrat, Chefkonstrukteur der kaiserl. Marine A. Ditrich gehaltenen Vortrage da, wo besonders über die Erhitzung der Schiffsräume durch die selbst mit den besten Isoliermitteln umwickelten Dampfleitungsrohre geklagt wird: „So haben alle die im Bau befindlichen deutschen Schiffe elektrischen Antrieb für Ventilation, für das Drehen der leichten Geschütztürme, für Munitionsheber, für Boots- und Kohlenwinden usw. Für das Drehen und Munitionsheben der schweren Geschütze ist zunächst noch hydraulischer Druck beibehalten; die Stawermaschine, deren elektr. Antrieb Schwierigkeiten bot, und die Ankerspills, welche je verhältnismäßig nur wenig gebraucht werden, haben bis jetzt noch Dampftrieb und bei dem Versuchsschiffe „Ägir“, das überhaupt nur elektrische Einrichtung erhält, ist auch der Steuerapparat und das Ankerspill versuchsweise mit elektrischem Antriebe versehen“.

Heute schon werden durch den elektrischen Strom u. a. auf dem von der Stettiner Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft Vulkan erbauten Schnelldampfer der Hamburg-Amerika-Linie „Deutschland“ 2550 Glühlampen und 23 Elektromotoren zu verschiedenen Zwecken und auf S. M. S. „Prinz Heinrich“ außer elektrischen Lampen und Scheinwerfern noch Elektromotore für Schwenkwerke, Aufzüge, Kohlenwinden, Ventilatoren gespeist.

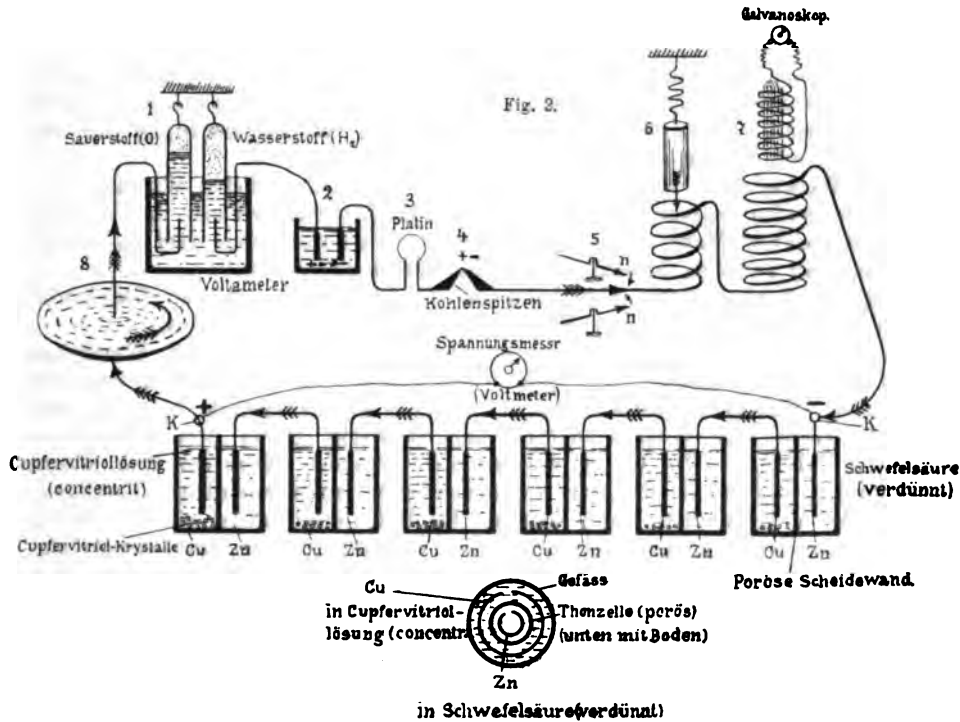
#### Wirkungen, d. h. Arbeitsleistungen des elektrischen Stromes.

Nach den vorangeschickten ganz allgemein gehaltenen, Stellung und Bedeutung der Elektrotechnik in der Technik andeutenden Bemerkungen, soll nun auch auf die Wirkung des elektrischen Stromes selbst eingegangen werden. (Wir werden auch hier um einen möglichst umfassenden Überblick zu geben, mancherlei nur kurz andeuten, was später gründlich erörtert wird.)

Ist infolge des Ausgleich- (Fall-) Bestrebens zwischen zwei Punkten verschiedener Zustände (Spannungen) ein (Wasser-, Luft-, Wasserdampf-, elektrischer-, magnetischer) Strom zustande gekommen, so äußert er sich durch gewisse Wirkungen (Arbeitsleistungen).

Der Wasserstrom treibt Räder- und Kolbenmaschinen, der Luftstrom setzt Windmühlen und Preßluft-Maschinen in Bewegung, der Dampfstrom bewegt Dampfturbinen und Kolbenmaschinen und kann allenfalls zur Erwärmung von Bädern und Lufträumen verwendet werden. Der durch Verbrennung der Hochofen- und anderer Gase erzeugte Strom wird zum Betriebe von Gasmaschinen ausgenutzt. Aber in allen genannten Stromkreisen ist das unmittelbare Wirkungsgebiet eng und einseitig begrenzt.

Wie ungemein mannigfaltig und verschiedenartig dagegen die Wirkungen des elektrischen Stromes in ein und demselben „Stromkreise“ sind, und wie leicht, fast unbeschränkt, er sich fortleiten läßt, soll auf kleinem Raume die beistehende Figur 2 mit den hinzugefügten kurzen Erläuterungen veranschaulichen, die aller-



dings mancherlei nur andeuten müssen, was erst später erklärt werden kann. Zugleich gibt die Figur, mit ihren durch die laufenden Zahlen 1 bis 8 bezeichneten Vorrichtungen, gewissermaßen in Bruchstücken einen gedrängten, wenn auch nur flüchtigen Überblick über den Inhalt unseres Buches auf kleinstem Raume.

Die Wirkungen des in der Pfeilrichtung fließenden elektrischen Stromes, der durch eine Batterie von 6 „hintereinander geschalteten“ Daniellschen Becherelementen\*) erzeugt wird, an deren beiden Enden (Elektroden-Polen) K K der Leitungsdraht festgeklemmt ist, sind:

\*) In den 6 zu einer Batterie zusammengestellten kastenförmigen Elementen ist je eine poröse Scheidewand gedacht, welche die verdünnte Schwefelsäure mit der Zink(Zn)-Platte von der konzentrierten Kupfervitriollösung mit der Kupfer(Cu)-Platte trennt. In Wirklichkeit gibt man dem Gefäße Zylinderform, wie die Kreise der unteren Figur andeuten. Daniell: Zink (+ Elektrode) in verdünnter Schwefelsäure (1:10), Kupfer (- Elektrode) in konz. Kupfervitriollösung. Poröse Tonzelle trennt die beiden Flüssigkeiten. (Nähere Angaben über die Batterien werden später gemacht.)

A. im Strome selbst:

I. chemische Bewegungsvorgänge (1, 2),

II. Wärme- und Licht-Erscheinungen (3, 4),

B. außerhalb des Stromes:

III. magnetische und elektrische Äußerungen (5, 6, 7, 8),

IV. mechanische Arbeitsleistungen (1 bis 8),

V. physiologische (zuweilen tödliche) Erschütterungen des tierischen Körpers.

Die Richtung des Stromes läßt sich aus den Bewegungsvorgängen an den Vorrichtungen 1, 2, 4, 5, 8, deutlich erkennen, ist für diese deshalb nicht gleichgültig, was aus späteren Auseinandersetzungen hervorgeht. Auch die Vorrichtungen 6 und 7, Andeutungen an die Dynamomaschinen, zeigen eine bestimmte magnetische „Polarität“, die bei Richtungs-Wechsel des Stromes entsprechend wechselt. Imhinein wird sowohl 6, ein Zylinder aus weichem Eisen, als auch 7, eine geschlossene Spule mit einem Bündel aus weichen Eisendrähten als Kern, in das Innere der darunter befindlichen Spulen hineingezogen, wenn letztere vom Strome durchflossen sind. Ganz bedeutungslos dagegen ist die Stromrichtung für den „Glühlicht“ und Wärme spendenden Apparat 3.

Bei Wechselstrom zeigen 1, 2, 5, 6, 7, 8 scheinbar keine Wirkung, weil die zu bewegenden „trägen“ Massen dem raschen Richtungswechsel des Wechselstromes in gleichem Maße nicht folgen können. Hierdurch schon wird ein inniger Zusammenhang zwischen Mechanik und Elektrizität angedeutet.

Die bei 5 angedeutete Ablenkung der Magnetnadel durch den Gleichstrom wird später bei Besprechung der Ampèreschen Regel näher angegeben.

Daß unser elektrischer Strom wie jeder andere auf seiner Wanderung mechanische Arbeit leistet, zeigen alle Vorrichtungen ohne Ausnahme, am deutlichsten der Wasserzersetzungsvorrichtung 1 und die Zersetzungszelle 2, dann auch 5, 6, 7. Ließe man Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff (O) in dem Volumenverhältnis (2 Vol  $H_2$ , 1 Vol O), in welchem sie durch den Strom aus dem Wasser ausgeschieden werden, in ein Rohr zusammenfließen, so würde dieses „Knallgas“-Gemisch beim Entzünden unter heftiger Explosionserscheinung sich wieder in Wasser verwandeln. Diese Erscheinung zeigt uns mittelbar die vorherige Arbeitsleistung des Stromes. Auch gibt sie uns ein einfaches Mittel, die Stromstärke zu messen. So ist man übereingekommen, diejenige Stromstärke, bei welcher in 1 Sekunde an Knallgas 0,0933 Milligramm = 0,1740 Kubikzentimeter (bei 760 mm Druck und 0° Celsius) ausgeschieden werden, als Einheit (1 Ampère) anzunehmen. (Nähere Angaben erfolgen später).

In der Zersetzungszelle 2 wird durch den Strom das in dem flüssigen Metallsalz (Elektrolyten) enthaltene Metall stets nach dem (—) Pol (Kathode) hin transportiert. (Z. B. 1,118 Milligramm Silber in 1 Sekunde bei einer Stromstärke = 1 Ampère).

Bei 4 höhlt sich die (+) Kohlenspitze kraterförmig aus, weil durch den Strom hier die weißglühenden Kohlentheilchen losgelöst und an den negativen, rechten Kohle-Pol geschleudert werden. Die größte Lichtmenge wird deshalb vom (+) Pol ausgesandt, was bei Boden- oder Decken-Beleuchtung zu berücksichtigen ist. Bei Wechselstrom findet gleichmäßige Abnutzung beider Spitzen statt. Unsere Vorrichtungen, besonders 1, 2, 5 und 6, 7, äußern auch die Größe der Stromleistung und sind ausgezeichnete Hilfsmittel, aus diesen Wirkungen den Strom nach Menge oder Stärke (Ampèremeter oder Strom-Stärke-Messer) und Spannung (Voltmeter oder Spannungs-Messer) zu messen. Bei dem eben gesagten soll daran erinnert werden, daß in einem ununterbrochenen, unverzweigten Stromkreise die Strom-Stärke in jedem Querschnitte der Leitung genau dieselbe ist (siehe später das Äquivalenzgesetz von Faraday), daß dagegen die Spannung (das Gefälle) nur

den Unterschied zwischen den Zuständen an zwei verschiedenen Punkten der Leitung bedeutet, und deshalb auch an verschiedenen Stellen des Stromkreises sehr verschieden sein kann. Dasselbe gilt ja von jedem unverzweigten Strome: Durch jeden Querschnitt fließt dieselbe Menge, dagegen das Gesamt-Gefälle, welches die Strömung veranlaßt, kann über die einzelnen Strom-Abschnitte sehr verschieden verteilt sein. Der Gesamt-Spannungs-Unterschied, welcher durch die Batterie erzeugt wird, und zwischen den Klemmen K K sich im eingeschalteten Spannungsmesser (Voltmeter) äußert, muß so groß sein, daß er den Strom durch alle Widerstände des äußeren Stromkreises, nicht nur in den einzelnen Apparaten 1 bis 8, sondern auch im äußeren Leitungsdraht zu treiben vermag. Die gesamte treibende, bewegende, („elektromotorische“) Kraft muß noch größer sein, weil sie den Strom auch durch die inneren Widerstände der Batterie zu treiben hat. Wie eine Wasserströmung durch den Höhenunterschied zwischen zwei Punkten, ein sog. Gefälle veranlaßt und gefördert, dagegen durch den Widerstand in der Leitung gehemmt wird und man das Gefälle mittelst einer Längeneinheit, z. B. das Meter, mißt, so benutzt man beim elektrischen Strome als Einheit des Spannungs-Unterschiedes zwischen zwei Punkten der Leitung das „Volt“ (V).

Auch für den Leitungs-Widerstand hat man eine Einheit, das „Ohm“ eingeführt. Es ist der Widerstand, welchen ein Quecksilberfaden von 1 qmm Querschnitt und 106,3 cm Länge dem elektrischen Strome entgegengestellt.

Ein Daniell-Element unserer Batterie äußert an den Enden des äußeren Leitungsdrahtes etwa 1 Volt. Würde der Leitungsdraht so gewählt, daß er den Widerstand 1 Ohm gibt, so flöse durch den Stromkreis ein elektrischer Strom von 1 Ampère. Mittelst dieses Vergleiches könnte der Anfänger sich schon jetzt, wenn auch nur eine oberflächliche Vorstellung von dem innigen Zusammenhange der genannten 3 Einheiten machen, den das später behandelte Hauptgesetz des elektrischen Stromes, das als Ohm-Gesetz bekannt ist, ausdrückt durch die mathematische Form:

$$1 \text{ Ampère} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}}$$

## Allgemeine Bemerkungen über Kraft-Übertragung und -Verteilung, sowie über Messung des Stromes.

Die Kraft-Übertragung und -Verteilung sind Naturvorgänge und technische Aufgaben allgemeinsten Art.

Die Natur überträgt von der Sonne aus, der vornehmsten aller „Primär-Kraftstationen“ durch deren Strahlen mittelst der feinsten Kraft- und Stoffmittel, unermessliche Wirkungen verschiedener rätselhafter Art, nach allen Seiten, auch nach unserer Erde, der für uns wichtigsten „Sekundär-Kraftstation“, auf welcher die Strahlen nun die mitgebrachte Kraftwirkung tagtäglich verteilen und äußern und bereits seit Jahrtausenden für unseren heutigen Gebrauch im Überfluß anhäufen.

Die Steinkohlen, Braunkohlen und sonstigen Brennstoffe sind „verdichtete Sonnenstrahlen“, und noch heute unsere unentbehrlichen natürlichen Kraft-„Akkumulatoren“ (accumulare ansammeln) neben den ebenfalls durch Sonnenwirkung in Kreislauf versetzten „Wassern“ und Winden.

Der Techniker überträgt von altersher, von einer Kraftmaschine auf eine Arbeitsmaschine zwangsläufig in bestimmten erwünschten Richtungen Kräfte und Bewegungen durch Ketten, Seile, Gestänge, Preßwasser, Preßluft, Dampf und Gas.

Der Elektrotechniker denkt heute bei seinen Arbeitsübertragungen und Verteilungen durch den in Kreislauf versetzten elektrischen Strom meist an größere Kraft- und Licht-Wirkungen (Starkstrom), als bis dahin in Telegraphen- und Tele-

phon-Anlagen (Schwachstrom) und in neuester Zeit durch „drahtlose“ Übertragung ermöglicht werden. Immerhin aber sind die letzteren ebenfalls zu den Kraftübertragungen zu rechnen.

Wenn schon der ungewöhnlich geringe Beschleunigungswiderstand (Trägheit), sowie die außerordentlich große Geschwindigkeit des Bewegten im elektrischen Strome diesen besonders geeignet machen, Kräfte auf große Entfernungen zu übertragen, so ist noch die andere bereits mehrfach hervorgehobene Eigentümlichkeit des elektrischen Stromes, die Teilbarkeit nicht minder wertvoll. Schon die Möglichkeit an einer beliebigen Stelle eines blanken Leiter-Drahtes den fortgeleiteten elektrischen Strom durch bloße Berührung abzunehmen, wie bei den elektrischen Bahnbetrieben, erleichtert wie bei keiner anderen Kraftquelle die Verteilung und Anwendung.

Während sonst überall sogar vor „Zersplitterung der Kraft“ gewarnt wird, z. B. bei Anwendung der Dampfkraft „Zentralisieren“ aus wirtschaftlichen Gründen geradezu empfohlen werden muß, erwächst aus der Anwendung des elektrischen Stromes der größte Vorteil dadurch, daß er sich unbeschadet in die kleinsten, ganz dem jeweiligen Kraftbedarf und der Örtlichkeit angepaßten Teilströme zerlegen läßt, um an einzelnen oft weit voneinander getrennten Verbrauchsstellen, zu sehr verschiedenen Zwecken verwendet zu werden (oberirdische, unterirdische Beleuchtung, Wasserwältigung, Förderung, Elektrolyse usw.).

Die beistehenden Figuren sollen schematisch von Stufe zu Stufe andeuten, wie die einzelnen wichtigsten Teile einer elektrischen Kraftübertragung miteinander zusammenhängen und voneinander abhängen, besonders aber auch veranschaulichen, was unter jener gerühmten Teilbarkeit zu verstehen ist. Die erste der drei Figuren ist in der zweiten mit eingeschlossen. Sie enthält das allernotwendigste und wurde so einfach gewählt, um für die zweite Figur vorzubereiten. Nachdem die zweite Figur verstanden ist, kann es nicht schwer fallen, auch die scheinbar sehr verwickelte dritte Figur zu verstehen, die dann aber auch angenähert alle wesentlichsten Bestandteile enthält, die in einer elektrischen Kraft-Übertragungs- und Verteilungs-Anlage auftreten können. (Die dritte Figur ist übrigens nur der Vollständigkeit wegen schon hier hergesetzt; sie gehört einem späteren Kapitel an und wird vom Anfänger dann besser verstanden werden.)

Um unsere Betrachtungen wieder auf bekannte Darstellungen aufzubauen, denken wir uns unter dem in den Figuren als Dynamomaschine bezeichneten Dinge zunächst eine rotierende Preßpumpe (Zentrifugal- oder Schleuder-Pumpe) Fig. 10, deren Flügelrad durch irgend eine geeignete Kraftmaschine (Turbine, Dampfmaschine, Gaskraftmaschine) in Drehung versetzt wird, und unter den dicken und dünnen Linien Leitungen von größerem und kleinerem Querschnitte.

Durch die wasserbewegende (hydromotorische\*) Kraft der gleichförmig arbeitenden Pumpe wird vor und hinter derselben ein Überdruck, eine Spannungsdifferenz, kurz „Spannung“ erzeugt, die einen ununterbrochenen gleichförmig fließenden Strom (Gleichstrom) derart durch die Leitung treibt, daß derselbe, nach rechts hin durch die weite Hauptleitung fortgedrückt, in Figur 3 durch die eine gleich weite Querleitung, dagegen in den Figuren 4 und 5 durch die parallel laufenden weiten und engen Leitungen nach der links liegenden Hauptleitung herübergepreßt und dann durch die Pumpe von links wiederum aufgenommen, gleichsam aufgesaugt, einen Kreislauf bildet. In den Querleitungen (Parallel-Leitungen) sind die Vorrichtungen (beim elektrischen Strome, die Lampen, Elektromotore, elektrischen Zersetzungszellen, Akkumulatoren) zu denken, welche vom Strome gespeist und betrieben werden sollen.

---

\*) Diese Ausdrucksweise wurde gewählt, um einen deutlichen Vergleich mit der Spannung erzeugenden „elektromotorischen“ Kraft, von der später die Rede sein wird, zu ermöglichen.



Fig. 3.

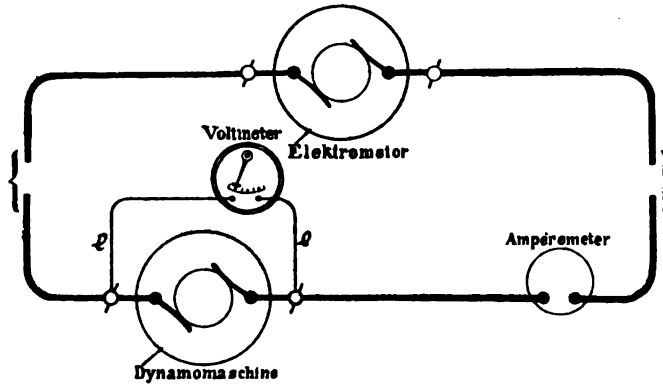


Fig. 4.

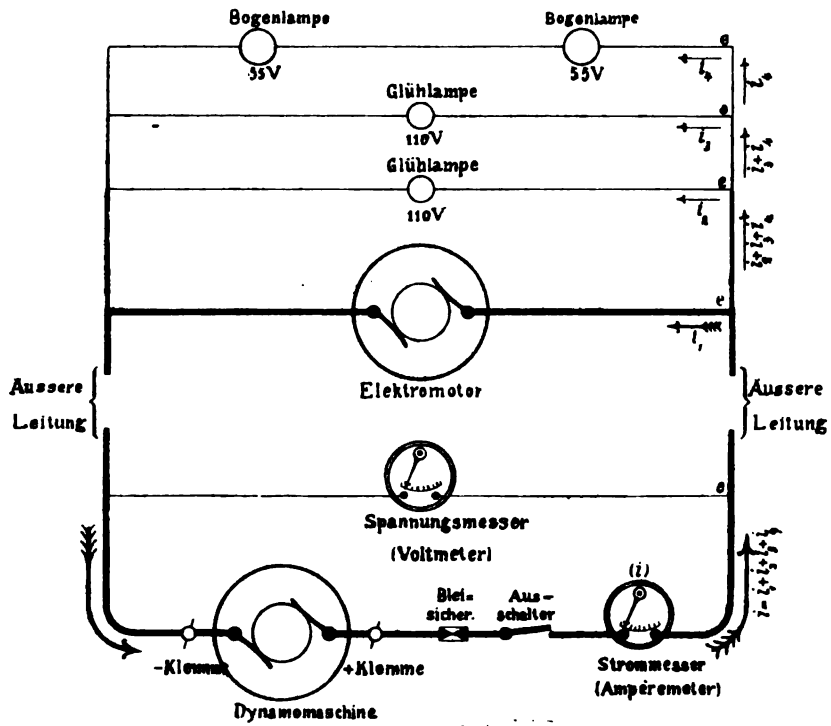
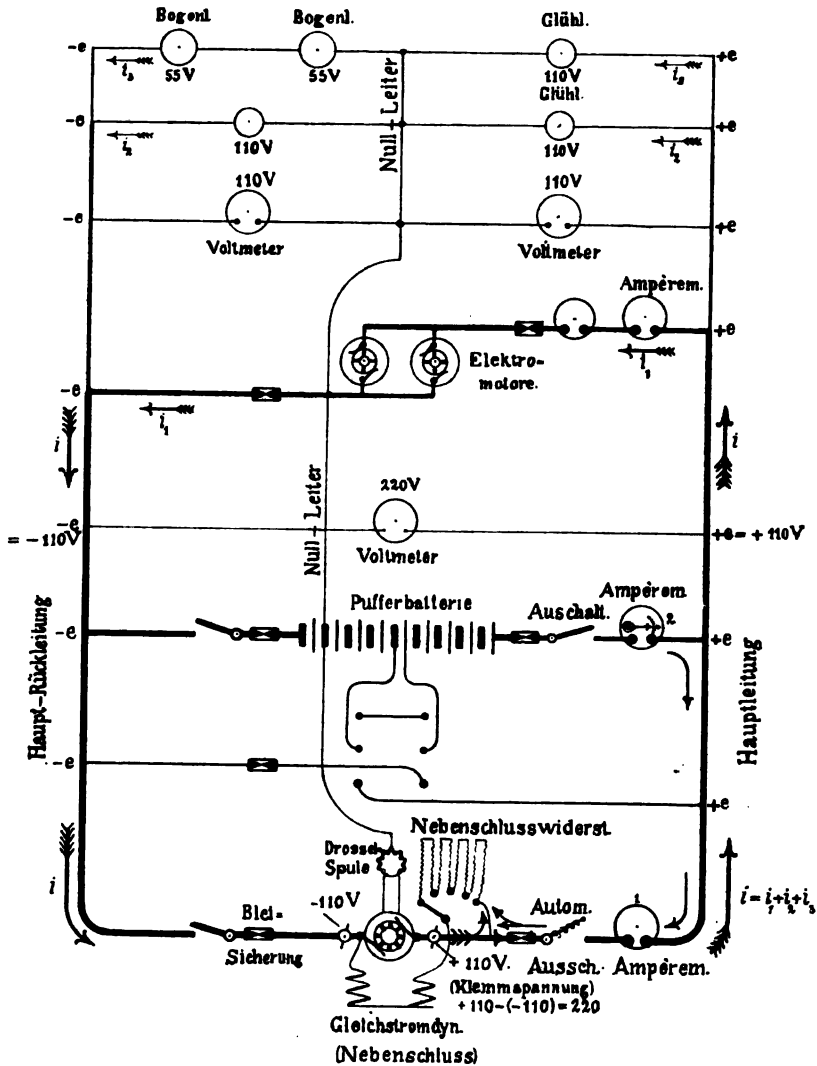


Fig. 5.



Nach dieser Schilderung ist unzweifelhaft dreierlei klar, daß

1. durch den Spannungsunterschied ( $e$ ) vor und hinter der Pumpe die Stromstärke  $i$  (die Strömung) bewirkt wird,
2. die den Spannungsunterschied bewirkende (hydromotorische) Kraft mindestens so groß sein muß, daß sämtliche Widerstände ( $w$ ) in der Stromleitung und auch in der Pumpe selbst überwunden werden,
3. die (hydromotorische) Kraft und damit der Spannungsunterschied, und folglich auch die Stromstärke  $i$  (die Strom-Menge) wächst mit der Steigerung der Umdrehungszahl ( $n$ ) des Flügelrades der Pumpe.

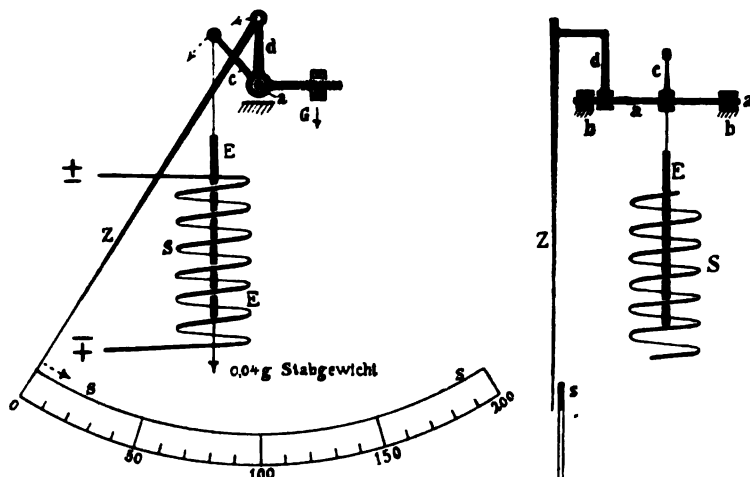
Was hier von der Pumpe und dem Kreislauf in den Leitungen gesagt wurde, läßt sich wörtlich auch auf die Bewegungsvorgänge an der Dynamomaschine und der elektrischen Leitung übertragen.

Vorstehende Betrachtungen führten uns naturgemäß ganz von selbst darauf, daß bei dem Wasserströme, wie bei jedem anderen Strome ohne Ausnahme der Druckunterschied oder die Spannung (das Gefälle)  $e$  und die Strom-Stärke  $i$  die Leistung des Stromes bestimmen, deshalb besonders gemessen werden müssen.

**Strom-Messung.** Wir wollen deshalb versuchen, eine allgemein gültige und allgemein verständliche Vorstellung von einer Strom-Messung zu gewinnen, die sich an das anschließt, was für den elektrischen Strom gilt,

Oben wurde durch Nr. 6 in Fig. 2 der bildlichen Zusammenstellung der Wirkungen des elektrischen Stromes angedeutet, daß eine vom Strome durchflossene Spule (Solenoid, solenoides röhrenförmig) magnetisch wird und infolgedessen einen Eisenkern um so mehr an- und in ihr Inneres hineinzieht, je größer die Stromstärke ist. Würde der Eisenkern also in passender Weise derart mit einem Zeiger verbunden, daß man aus der Zeigerstellung auf die Stromstärke schließen könnte, so hätten wir zunächst im Grundprinzipie einen Strom-Stärke-Messer (Ampèremeter).

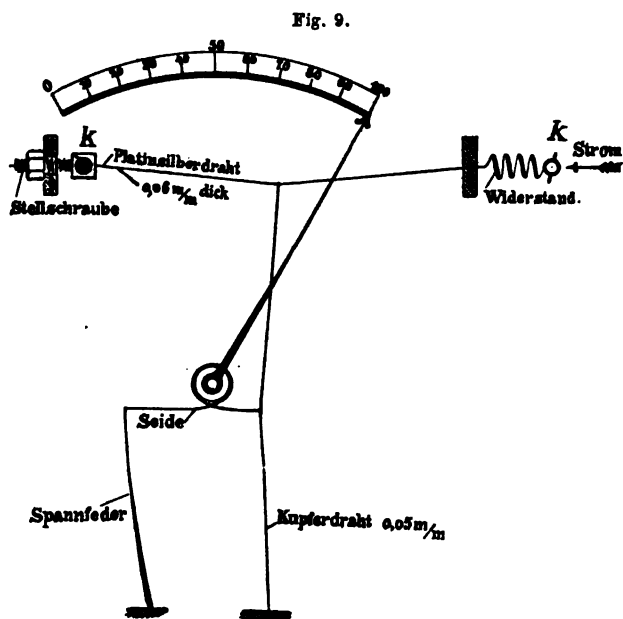
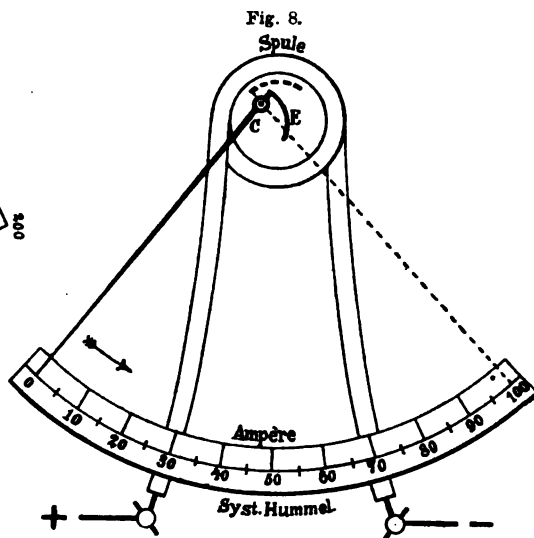
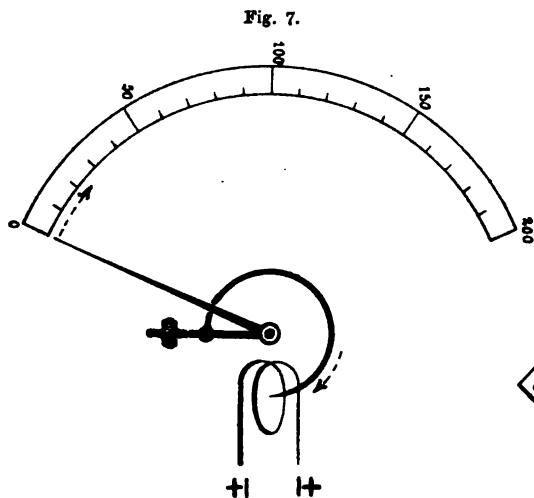
Fig. 6.



Mit Hilfe der beistehenden, für die beliebtesten Ampèremeter entworfenen einfachen Linien-Skizzen möchten Einrichtung und Wirkungsweise der Instrumente, schon jetzt im Anfange unseres Leitfadens verstanden werden. Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin gibt ihren Ampèremetern die durch Fig. 6 skizzierte Einrichtung. Der nur 0,04 Gramm schwere Eisenstab EE wird in die stromdurchflossene Spule S (bei jeder Stromrichtung  $\pm$ ) eingezogen und bewegt mittelst Hebel c die bei bb gelagerte Welle a, von der aus durch d der Zeiger Z über den Bogen ss verschoben wird. Die Zahlen bedeuten durch Eichen mit einem Normalinstrument bestimmte Ampère (oder Volt). G ist nur ein Ausgleichsgewicht. Siemens-Halske (Berlin) erreichen den Zweck auf sehr einfache Weise (Fig. 7) dadurch, daß sie den Eisenstab krümmen und derart mit einer Drehachse verbinden, daß er in die stromdurchflossene Spule hineingezogen wird und die Drehung des Zeigers veranlaßt. Schuckert (Nürnberg) (Fig. 8) lagert die Zeigerwelle exzentrisch in der Spule, die vom Strome durchflossen das Eisen E

an die innere Wandung zieht. Die äußerste Stellung ist durch punktierte Linien angegeben.

Die genannten Instrumente können auch für Wechselströme benutzt werden, zeigen aber dann nicht so genau wie das von Hartmann & Braun A.-G. Frank-



furt a. M. gebaute Hitzdraht-Ampère (oder Volt) -Meter Fig. 9, bei welchem nur die Wärmewirkung des elektrischen Stromes ausgenutzt wird.

Der vom Strom (gleichgültig in welcher Richtung und mit welcher Wechselzahl) durchflossene dünne Platindraht dehnt sich infolge der Erwärmung aus.

Mit der Mitte des Drahtes ist ein Kupferdraht verbunden, von dessen Mitte aus ein über eine Rolle geschlungener Seidenfaden nach dem Ende einer Spannfeder führt. Mit der Rolle ist der Zeiger verbunden, der in der Figur am weitesten nach rechts ausgewichen ist, infolge der stärksten Stromerwärmung, für welche das Instrument geeicht ist. Bei K K werden die Leitungsdrähte eingeklemmt. Hört der Strom auf, so zieht der Platindraht wieder sich zusammen und damit den Zeiger in die Nullstellung zurück.

Wir schalten je ein solches Ampèremeter nicht nur in die Hauptleitung (Fig. 3), sondern auch in eine Nebenschlußleitung (Nebenschluß) ee ein, die aber zunächst denselben Durchgangswiderstand wie die Hauptleitung bieten mag. Dann wird durch die elektromotorische Kraft des Stromerzeugers durch beide Zweige, also auch durch jedes Ampèremeter die Hälfte des erzeugten Stromes getrieben.

Nun aber soll der Durchgangs-Widerstand im Ampèremeter des Nebenschlusses mehr und mehr vergrößert werden, bis schließlich kein nennenswerter Strom mehr durch dieses Ampèremeter hindurchfließt. Dann wäre das ursprüngliche Ampèremeter in einen Meßapparat übergegangen, der nicht mehr eine Stromstärke, sondern nur noch den Spannungs-Unterschied zwischen den Endpunkten des Nebenschlusses, also gewissermaßen nur die Strom-Ursache mißt.

Ein solcher Apparat ist damit zu einem reinen Spannungs-Messer (Voltmeter) geworden. Nach dieser Auffassung können wir ein Voltmeter als ein Ampère-Meter mit sehr großem Widerstande ansehen. Während also das Ampère-Meter in der Hauptleitung liegt und seine aus dicken Drähten bestehende Spule vom Strome durchflossen wird, liegt das Volt-Meter in einer dünnadrätigen Nebenschlußleitung und seine Spule aus sehr vielen Windungen dünnen Drahtes wird von einem Strome geringster Stärke durchflossen.

Was hier für den elektrischen Strom gesagt ist, würde entsprechend für jeden Strom gelten. Z. B. könnte man die Dampfmenge bestimmen aus dem Volumen, welches der vom Dampfe angetriebene Kolben im Zylinder während des Dampfzutrittes (Admission) beschreibt und wird die Stärke eines Wasserstromes durch die sog. Wasser-Uhr gemessen, welche vom Wasserstrome angetrieben, dessen durchgegangenes Volumen an einem Uhrwerk ablesen läßt. Die bis zum Stillstand gebremste Wasseruhr würde dann nur den Wasser-Überdruck hinter und vor dem Apparate messen. Man erreicht aber in der Technik schon längst die Überdruck-Messung beim Wasser-Dampf, Gas einfacher durch ein sog. Manometer. Jedenfalls wäre es sehr zu wünschen, daß auch für die Dampfmaschine Vorrichtungen erfunden würden, welche die Leistung eines durch eine Dampfmaschine fließenden Stromes jederzeit und in derselben Einfachheit und Vollkommenheit abzulesen gestatteten, wie solches mittelst des Ampèremeters und Voltmeters für den elektrischen Strom ermöglicht ist. Die Hauptschwierigkeiten aber liegen hier in den beiden Natureigenschaften, des gesättigten Wasserdampfes, der leichten Kondensier- und Expandierbarkeit. Vielleicht treten wir der Lösung näher, wenn die Einführung des überhitzten Wasserdampfes allgemeiner wird.

Hiermit schließen wir unseren Gesamt-Überblick über die Bedeutung und Stellung der Elektrotechnik unter den technischen Wissenschaften, der uns noch besonders darauf aufmerksam gemacht hat, daß gerade die mechanischen Bewegungsvorgänge mittelbar und unmittelbar eine wichtige Rolle in der Elektrotechnik spielen. Wir wenden uns deshalb im folgenden zunächst zur „Elektromechanik“.



Kräfte, auch die elektrischen, können deshalb nicht ohne Zwischenmittel in die Ferne wirken (Schwerkraft, „Induktionserscheinungen“, drahtlose Telegraphie).

Das innere Wesen des Stoffes und der Kraft bleibt uns ewig verborgen. Nur auf Grund ihrer Eigenschaften und Wirkungen können wir deren Zustände (statisch) und Veränderungen (dynamisch) nach unseren Erfahrungen, Beobachtungen und mittelst Versuchen miteinander vergleichen, schätzen, messen, um sie uns dienstbar zu machen, für uns arbeiten zu lassen.

Unter allen Umständen aber müssen wir annehmen, daß überall in der Natur dieselben Gesetze und Regeln gelten. Danach hat der Forscher die Aufgabe, seine Entdeckungen und Beobachtungen mit den erkannten und bekannten Naturgesetzen und Vorgängen in Einklang zu bringen und sich mehr und mehr von der Wahrheit zu überzeugen, daß das, was einmal und irgendwo eine Eigenschaft der Natur ist, sich, wenn auch nicht gleich auffallend, doch immer und überall wiederfindet.

Es zeichnen sich aus:

1. der Stoff durch die Menge oder Masse (m)
  - Güte (Festigkeit, Elastizität, Härte; Leitungsfähigkeit für Wärme, Elektrizität, Magnetismus usw.)
  - Lage (der Fasern eines auf Biegung, Verdrehung, Zerknickung beanspruchten Balkens zur Schwerpunkts-Achse; der Ankerdrähte in bezug auf die Kraftlinien des magnetischen Feldes, eines Punktes im Kristall, auf dem Schmetterlingsflügel, einer Wellenlinie in bezug auf die Ruhelage, worüber später besonders gehandelt wird, usw.)
2. die Kraft (P) durch
  - Größe
  - Richtung
  - Lage
 }, bildlich dargestellt durch eine Gerade (Vektor.)

Die Kraft P (Ursache) wird gemessen durch die Wirkung (Beschleunigung) p, welche an der widerstehenden trägen Masse m hervorbringt.

Diese Beziehung wird nach Newton (1642—1726) durch die Gleichung

$$p = \frac{P}{m},$$

Beschleunigung (Stärke der Bewegungsänderung oder Strömung) =  $\frac{\text{bewegende Kraft}}{\text{widerstehende Masse}}$   
oder kürzer:

$$\text{Wirkung} = \frac{\text{Ursache}}{\text{Widerstand}},$$

ausgedrückt, welche man als Grundgleichung für alle Kraftwirkungen (Bewegungsänderungen) ansehen muß.

Es sei vorgreifend hier im Zusammenhange erwähnt, daß wir diesem Gesetze später das für die Elektrotechnik wichtige Ohm-Gesetz gegenüberstellen werden:

$$i = \frac{e}{w},$$

$$\text{Elektrische Stromstärke (Ampère)} = \frac{\text{elektromotorische Kraft (Volt)}}{\text{Widerstand (Ohm)}}.$$

Beide Gesetze zählen zu den wichtigsten auf ihren Gebieten und sind im Grunde genommen nur besondere Formen des allgemein gültigen Satzes von der Ursache und Wirkung in der Natur.

(Wie schon im Vorwort hervorgehoben ist, bezweckt der Leitfaden, mit Hilfe allbekannter natürlicher Vorgänge und der Lehren der technischen Mechanik ein gemeinsames Band um die technischen Wissenschaften mit besonderer Berücksichtigung der Elektrotechnik zu schlingen. Es ist deshalb schon im Anfange und dann fortgesetzt überall in der mechanischen Abteilung, wo es nur irgend tunlich und vorteilhaft schien, so wie hier, bereits auf die Gesetze, Regeln und Vorrichtungen der Elektrotechnik hingedeutet. Genauere Aufklärungen folgen dann erst in späteren Kapiteln, nachdem die erforderlichen Vorkenntnisse gewonnen sind.)

Soweit unsere Beobachtungen reichen, sind es deshalb zunächst zwei Grundgesetze, die das Weltall regieren:

1. Das Gesetz von der Erhaltung (Umwandlung) des Stoffes (trägen Masse),
2. das Gesetz von der Erhaltung (Umwandlung) der Kraft (mechan. Arbeit).

Nach diesen Gesetzen können Stoff und Kraft wohl Wandlungen erfahren, aber weder neu geschaffen noch vernichtet werden. Denn eine Kerze kann wohl vollständig aufbrennen, aber in den aufgefangenen Verbrennungsgasen fand Lavoisier (1743—1794) die Bestandteile der Kerze ungeschmälert wieder und man darf behaupten, daß vorher kaum eine Zunge eine Wahrheit von größerer Tragweite verkündet hatte, als die Zunge der Wage des (am 8. Mai 1794 von seinen Pariser Mitbürgern dem Fallbeile überlieferten) für alle Zeiten berühmten Chemikers Lavoisier.

Ein bewegter Körper kann wohl durch Reibungswiderstand gehindert zur Ruhe kommen, aber die ursprüngliche Molarbewegung (lebendige Kraft der bewegten Masse) ist der Natur erhalten durch Verwandlung in einen nach Robert Meyers Äquivalenzgesetz (1842) bestimmbar, nach Joules Versuchen (1850) als vollständig gleichwertig gefundenen Betrag von Bewegung kleinster Teilchen (lebendige Kraft der in Schwingung versetzten Körper- oder Äther-Moleküle in Form von Wärme, Elektrizität, Magnetismus u. dergl.). Vorgreifend sei hier nur hingewiesen auf die später besprochene Erzeugung der Reibungselektrizität, des Magnetismus im Eisen und Stahl und des Induktionsstromes durch gewaltsames Schneiden der Kraftlinien. Und sollte irgend jemand, irgendwo, heute und in Zukunft, selbst mit den überzeugendsten Worten sein „Perpetuum-mobile“ und wenn es aus Radium-Strahlen zusammengebaut wäre, vorführen, so wissen wir doch: Nach des Heilbronner Arztes Entdeckung des Äquivalenzgesetzes ist es ein Unding.

Außer auf die beiden genannten Gesetze werden wir im folgenden die Elektrotechnik noch zu stützen haben auf die mechanischen Gesetze der:

1. Trägheit,
2. Reibung,
3. Wechselwirkung,
4. Unabhängigkeit der Wirkungen.

Da wir aber nicht forschen können ohne zu vergleichen und zu messen müssen wir zuvor eingehen auf die allgemeingültigen Maßeinheiten, die allen mechanisch (technischen) Gesetzen zugrunde liegen.

### Naturgesetz. Funktion und Diagramm. Maßeinheiten.

Gesetze, das sind Angaben, wie die bei einer Erscheinung auftretenden, konstanten (oder bekannten) und variablen (oder unbekanntem) Größen voneinander abhängen, lassen sich auf zweierlei Weise darstellen:

1. Durch eine Gleichung (Funktion) z. B.  $ax - by = 0$ , oder  $y = ax/b$ ,
2. durch eine Schaulinie (Diagramm), durch einzelne Punkte angedeutet oder vollständig durch bestimmte Vorrichtungen (Registrierapparate) selbsttätig aufgezeichnet.

Die Schaulinie besonders ist ein für unsere Betrachtungen höchst wertvolles Hilfsmittel, weil sie die Abhängigkeit der Größen nebeneinander darstellt und damit den gesetzmäßigen Verlauf der ganzen Erscheinung übersichtlich vor unseren Augen aufrollt. Für fortlaufende Vorgänge auf irgend einem Gebiete (Akustik, Optik, Elektrizität, Magnetismus, Meteorologie, Erdbebenlehre oder Seismographie) bilden sie meistens aus einer Aufeinanderfolge von Schwingungen hervorgegangene mehr oder weniger regelmäßig auf- und absteigende Wellenlinien, auf die wir später zur Erklärung des Wechselstromes, der in allen Dynamomaschinen, also auch den Gleichstrom-Maschinen erzeugt wird, näher eingehen müssen.



### Wichtige Maßeinheiten.

Um alle Größen bestimmen zu können, mit denen Techniker und Theoretiker auf allen Gebieten, auf denen gemessen und gewogen wird, insbesondere auch auf dem Gebiete der Elektrotechnik zu tun haben, sind erforderlich nicht mehr, nicht weniger als drei Maßeinheiten; nämlich zum Messen:

- |   |   |   |
|---|---|---|
| 1. des Raumes, die Längen-Einheit<br>(aus dem Erdumfang abgeleitet)                   | { | das Centimeter cm*) . . . . = C,<br>„ Meter m = 100 cm = 10 <sup>2</sup> C,<br>„ Millimeter mm = 1/100 cm = 10 <sup>-2</sup> C. |
| 2. des Stoffes, die Massen-Einheit<br>(aus der Volumeneinheit des Wassers abgeleitet) | { | das Gramm g**) . . . . = G,<br>„ Kilogr. kg = 1000 g = 10 <sup>3</sup> G,<br>„ Milligr. mg = 1/1000 g = 10 <sup>-3</sup> G.     |
| 3. der Zeit, die Zeit-Einheit   | { | die Sekunde Sek. . . . S = 1/86400<br>eines mittl. Sonnentages,<br>„ Minute Min. = 60 Sek.<br>„ Stunde Std. = 60 Min.           |

Aus diesen Grundeinheiten des von Gauß und W. Weber entwickelten und 1833 vorgeschlagenen, auf dem Kongreß zu Paris 1881 eingeführten, sog. „absoluten“ oder Zentimeter-Gramm-Sekunden (abgekürzt C-G-S) Systemes lassen sich nun leicht die Einheiten aller anderen Größen (Fläche, Volumen, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft, Arbeit, Leistung, Wärme); ebenso auch die in der Elektrotechnik für den elektrischen Strom gesetzlich bestimmten sogenannten praktischen Einheiten: das Volt, das Ampère, das Ohm und Watt; sowie auch das Coulomb; ferner das Farad und das Henry ableiten.

Diese praktischen Einheiten, welche der seitherigen Ausdrucksweise der Technik sich anschließen, unterscheiden sich von den obigen, den Technikern längst geläufigen Zentimeter-Gramm-Sekunden Einheiten durch nichts anderes als durch Vervielfachung mit Potenzen von 10.

Es sollen schon deshalb hierunter der Vollständigkeit und Übersichtlichkeit wegen die gesetzlichen Größen zusammengestellt werden, auf deren praktische Anwendung wir aber erst später eingehen können.

Das Reichsgesetz, betreffend die elektrischen Maßeinheiten vom 1. Juni 1898 bestimmt für diese (aus dem elektromagnetischen absol. Maßsysteme) abgeleiteten Größen\*\*\*) folgendes:

§ 1. Die gesetzlichen Einheiten für elektrische Messungen sind das Ohm, das Ampère und das Volt.

§ 2. Das Ohm ist die Einheit des elektrischen Widerstandes. Es wird dargestellt durch den Widerstand einer Quecksilbersäule von der Temperatur des schmelzenden Eises, deren Länge, bei durchweg gleichem, einem Quadratmillimeter gleich zu achtendem Querschnitt, 106,3 cm und deren Masse 14,4521 g beträgt.

§ 3. Das Ampère ist die Einheit der elektrischen Stromstärke. Es ist dargestellt durch den unveränderlichen elektrischen Strom, welcher bei dem Durchgange durch eine wässrige Lösung von Silbernitrat in 1 Sek. 0,001118 g Silber niederschlägt.

\*) 1 Zentimeter = 1/100 des in Paris aufbewahrten Normal-Maßstabes bei 0° Celsius. [10° Zentimeter sind nahezu gleich der Länge des Erdquadranten.]

\*\*) 1 Gramm ist der 1000. Teil eines in Paris aufbewahrten Platin-Stückes (Kilogramme des archive) und enthalten in 1 Kubikzentimeter Wasser bei 4° Celsius.

\*\*\*) Die Bedeutung dieser Größen für die technischen Wissenschaften kann erst später gegeben werden. Ihre Beziehungen zu einander sind bereits oben bei Erwähnung des Ohm-Gesetzes wenigstens kurz angedeutet.

§ 4. Das Volt ist die Einheit der elektromotorischen Kraft. Es wird durch die elektromotorische Kraft dargestellt, welche in einem Leiter, dessen Widerstand 1 Ohm beträgt, einen elektrischen Strom von 1 Ampère erzeugt.

Bestimmungen zur Ausführung des Gesetzes betreffend die elektrischen Maßeinheiten (6. Mai 1901).

- a) Die Elektrizitätsmenge, welche bei einem Ampère in einer Sekunde durch den Querschnitt der Leitung fließt, heißt eine Ampèrsekunde (Coulomb), die in einer Stunde durchfließende Elektrizitätsmenge heißt eine Ampèrestunde.
- b) Die Leistung eines Ampère in einem Leiter von einem Volt Endspannung heißt ein Watt.
- c) Die Arbeit von einem Watt während einer Stunde heißt eine Wattstunde\*).
- d) Die Kapazität eines Kondensators, welcher durch eine Ampèrsekunde auf ein Volt geladen wird, heißt ein Farad.
- e) Der Induktionskoeffizient eines Leiters, in welchem ein Volt induziert wird durch die gleichmäßige Änderung der Stromstärke um 1 Ampère in 1 Sekunde, heißt ein Henry.

Anmerkung. Alle „abgeleiteten“ Einheiten unterscheiden sich nach obigen Andeutungen von den Zentimeter-, Gramm-, Sekunden-Einheiten der Mechanik nur durch gewisse Exponenten der absoluten Einheiten, welche sich aus geometrischen oder mechanischen Beziehungen ergeben.

Beispiele: Die „absolute“ Einheit der Länge ist wie wir wissen C; da eine Fläche sich nach zwei „Dimensionen“ ausdehnt (so zu sagen nach Länge und Breite), so ist die („abgeleitete“) Einheit der Fläche C<sup>2</sup>; da ein Körper sich nach drei Dimensionen ausdehnt, ist die („abgeleitete“) Einheit des Raumes C<sup>3</sup>. Nach den Lehren der Mechanik \*\*) ist die Geschwindigkeit oder der Weg in der Zeiteinheit =  $\frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$ ; da der Weg durch die Längeneinheit C, die Zeit durch die Zeiteinheit S ausgedrückt wird, so ist die („abgeleitete“) Einheit der Geschwindigkeit = C/S = CS<sup>-1</sup>.

Die Beschleunigung ist die Zunahme an Geschwindigkeit in der Zeiteinheit, oder: Beschleunigung =  $\frac{\text{Geschwindigkeit}}{\text{Zeit}}$  also die („abgeleitete“) Einheit der Beschleunigung =  $\frac{CS^{-1}}{S} = CS^{-2}$ . Die Kraft ist Beschleunigung × Maße; also, da die Masseneinheit = G; ist die („abgeleitete“) Einheit der Kraft CS<sup>-2</sup>G = CGS<sup>-2</sup>.

Die mechanische Arbeit = Kraft · Weg, also ihre („abgeleitete“) Einheit CGS<sup>-2</sup> · C = C<sup>2</sup>GS<sup>-2</sup>. Die Leistung ist die Arbeit in 1 Sekunde also ihre („abgeleitete“) Einheit  $\frac{C^2GS^{-2}}{S} = C^2GS^{-3}$ .

Wie schon angedeutet wurde, bedeutet nach Kohrausch (Lehrbuch der prakt. Physik. IX. Aufl. 1901 S. 542) der Exponent von C, G, S die „Dimension“ der Größensart bezüglich Länge, Masse oder Zeit, was sich z. B. für die Kraft ohne weiteres verständlich folgendermaßen ausdrücken läßt: „Die Kräfteinheit hat bezüglich der Massen- und Längen-Einheit die Dimension + 1, bezüglich der Zeiteinheit die Dimension - 2. Man setzt auch wohl den Teil für das Ganze und sagt, daß die Kraft von der Dimension CGS<sup>-2</sup> sei.

In Tabelle I sind die allgemeinen, oben abgeleiteten Ausdrücke für die „Maßeinheiten der Mechanik“, in Tabelle II die „Technischen und CGS-Einheiten“, in Tabelle III die „Maßeinheiten der Elektrotechnik“, in Tabelle IV „Vergleichswerte“ zusammengestellt.

(Ergänzungen zum Verständnis der Tabellen folgen unmittelbar auf dieselben.)

\* Der Techniker rechnet gern mit Kilowatt-Stunden (KW/Stde.), also einer Leistung von 1000 Watt 1 Stunde lang.

\*\*) Diese einfachsten Formeln der Mechanik können als bekannt vorausgesetzt werden.

Tabelle I.  
Maßeinheiten der Mechanik.

	Dimension	Bedeutung	Ableitung
Fläche . . .	$C^2$	= 1 qcm	
Volumen . . .	$C^3$	= 1 ccm	
Geschwindigk.	$CS^{-1}$	= Weg von 1 cm in 1 Sek.	Geschw. = Weg/Zeit = $C/S$
Beschleunig. .	$CS^{-2}$	= Geschwindigkeitszunahme von 1 cm in 1 Sek.	Beschl. = Weg/Zeit <sup>2</sup> = $C/S^2$
Kraft(Dyn.)*	$CGS^{-2}$	erteilt der Masse eines Gramm die Beschl. 1 cm/sec <sup>2</sup>	Kraft = Masse × Beschl. = $G \times CS^{-2}$
Arbeit(Erg)**	$C^2GS^{-2}$	= 1 Zentimeter-Dyn.	Arbeit = Weg × Kraft = $C \times CGS^{-2}$
Effekt . . .	$C^2GS^{-3}$	= 1 Erg in 1 Sek.	Effekt = Arb./Zeit = $C^2GS^{-2}/S$

Tabelle II.  
Technische und CGS-Einheiten.

	Technische	CGS	CGS	Technische
	Einheiten		Einheiten	
Kraft	1 kg (Gew.)	$9,81 \cdot 10^5$ Dyn	1 Dyn	1,019 Milligramm
Arbeit	1 mkg	$9,81 \cdot 10^7$ Erg	1 Erg	1,019 cm . mg
Effekt	1 mkg Sek.	$9,81 \cdot 10^7$ Sek. Erg	1 Erg Sek.	1,019 cm . mg . Sek.
1 Pferd (Wärme)	75 mkg Sek. 1 Calorie od. 424 mkg =	$736 \cdot 10^7$ Sek. Erg  $424 \cdot 9,81 \cdot 10^7$ Erg		

Erläuterung zu Tabelle II: Nach dem obigen ist allgemein:

Kraft = Beschleunig. in der Sek. × Masse  
 1 kg (Gewicht) = 9,81 Meter in der Sek. × 1 kg Masse  
 1 kg = 981 Cm-Sek. × 1000 G Masse  
 1 kg = 981 000 (Gramm-Zentim.-Sek.), also  
 1 kg = 981 000 Dyn\*\*\* =  $9,81 \cdot 10^5$  Dyn,  
 1 kg (rund) = 1 Million Dyn. Oder  
 1 Dyn = 1 Milligramm.  
 1 Pferdekraft = 75 mkg/Sek. (Gewicht)  
 = 75.981 mkg Sek. (Masse)  
 = 736

(Siehe auch später unter „Mechan. Arbeit“.)

\*)  $\delta \nu \nu \alpha \mu \iota \varsigma$  = Kraft.

\*\*\*)  $\epsilon \rho \gamma \omega \nu$  = Arbeit. — Das Erg ist diejenige Arbeit, welche das Dyn (die CGS-Krafteinheit) längs des Weges 1 cm verrichtet.

\*\*\*\*) Da 1 Dyn diejenige Kraft (Einheit) ist, welche 1 Gramm Masse die Beschl. von 1 Zent. (in 1 Sek.) erteilt (siehe Tabelle I).

Der millionenfache Wert ( $10^6$ ) der Einheiten im absoluten Maßsystem wird durch Vorsetzen von „Mega“, der millionte Teil ( $10^{-6}$ ) dagegen durch Vorsetzen von „Mikro“, ausgedrückt, demnach ist rund 1 kg Kraft (Gewicht) = rund 1 Megadyn.

Nach den oben angeführten absoluten mechanischen Einheiten sind auf Grund magnetischer und elektrischer Erscheinungen und Gesetze auch die magnetischen und die elektromagnetischen (CGS) Maßeinheiten gefunden. Für „praktische“ elektrische Messungen benutzt man jedoch (um unförmige Zahlen zu vermeiden) nicht diese (CGS) Einheiten selbst, sondern folgende, durch Multiplikation mit Potenzen von 10 erhaltenen Werte:

Tabelle III.

Maßeinheiten der Elektrotechnik.

	Praktische Einheiten	Absolute CGS-Einheiten (Pariser Kongresse 1881, 1884)	Erklärungen
<b>i</b> Stromstärke	1 Ampère = <b>A</b>	$= 10^{-1} C^{1/2} G^{1/2} S^{-1}$ $= 10^{-1}$ (CGS) Einh.	<b>A</b> scheidet 1,118 mgr Silber in 1 Sek.*) aus
<b>w</b> Widerstand	1 Ohm = <b>Ω</b>	$= 10^9 CS^{-1}$ $= 10^9$ (CGS) Einh.	<b>Ω</b> = Widerstand, welchen der elektr. Strom in einer Quecksilbersäule von 106,3 cm Länge und 1 qmm Querschnitt bei 0° Celsius erfährt.
<b>e</b> Elektrom. Kraft, bezw. Spannungsdifferenz, Potentialdiff.	1 Volt = <b>V</b>	$= 10^8 C^{1/2} G^{1/2} S^{-2}$ $= 10^8$ (CGS) Einh.	<b>V</b> erzeugt 1 Ampère in einem Ohm.
Elektrizitätsmenge	1 Coulomb = <b>Cb</b> (1 Ampèresekunde)	$= 10^{-1} C^{1/2} G^{1/2}$ $= 10^{-1}$ (CGS) Einheiten.	<b>Cb</b> = Elektrizitätsmenge, welche bei einem Strome von 1 Amp. in 1 Sek. durch den Querschnitt der Leitung fließt.
Kapazität**) Elektr. Effekt	1 Farad = <b>F</b>	$= 10^{-9} C^{-1} S^2$	<b>F</b> = $Cb/V$ ist die Kapazität eines Leiters (Kondensators usw.), bei welcher <b>Cb</b> die Spannung <b>V</b> hervorbringt. (Siehe Seite 33.)
	1 Voltamp. (VA) od. 1 Watt (W)	$= 10^7 C^2 G S^{-3}$	
1 Kilowatt = 1,36 Pferde	1000 VA = 1 Kilowatt (KW) 736 VA = 1 elektr. Pferdekraft = 75 mkg/Sek. 9,81 VA = 1 mkg/Sek.		

\*) Auf Grund dieses Beobachtungswertes läßt sich mittels eines Silbervoltameters die Anzahl der Ampère eines Stromes genau ermitteln. Ausführlichere Angaben bringt die Tabelle V.

\*\*) Da im allgemeinen **F** un bequem groß ist, benutzt man zuweilen als Einheit der Kapazität das Mikrofarad =  $10^{-16}$  (CGS) Einheiten.

Tabelle IV.

Vergleich zwischen einigen praktischen elektrischen und anderen gebräuchlichen Einheiten.

Stromstärke.	A = 1 Weber*) (BA)** = 0,8 $\frac{\text{Daniell}}{\text{Siemens}}$ (angenähert)	1 Weber = 1,00 A 1 $\frac{\text{Daniell}}{\text{Siemens}}$ *** = 1,25 A (angenähert)	
	Nach Perry ist die Stromstärke im gewönl. Telegraphendraht " " " " " " atlantischen Kabel	= 0,003 A = $10^{-6}$ A	
Widerstand.	$\Omega$ = 1,063 Siemens-Einh. (S.E.) † = 1,0136 Brit. Assoc.-Einh. = 49 m Kupferdraht von 1 mm Dicke = 49 Jacobi-Einheiten = 0,1 km = 0,014 deutsche Meile eisern. Telegraphendraht von 4 mm Dicke	1 S. E. = $\frac{100}{106,3}$ = 0,9407 $\Omega$ 1 Brit. Ass.-Einh. = 0,9866 $\Omega$ 1 m Kupferdraht von 1 mm Dicke = 0,022 $\Omega$ d mm " = 0,022d <sup>2</sup> $\Omega$ 1 km Telegraphendraht = 9,5 $\Omega$ 1 Meile " = 71,0 $\Omega$	
	Widerstand (innerer) eines 20 cm hohen	Daniell-Elementes = 2,8 $\Omega$	
	" " " " "	Grove- " = 0,7 $\Omega$	
	" " " " "	Bunsen (gewönl.) = 0,24 $\Omega$	
	" " " " "	" (Chromsäure) = 0,7 $\Omega$	
	" " " " "	Leclanché = 5,0 $\Omega$	
	" " " " "	Meidinger = 9,0 $\Omega$	
	" " eines guten Telegraphenisolators (Porzellan)	= 4,10 <sup>12</sup> $\Omega$	
	Elektr. Kraft, resp. Spannungsdifferenz.	V = 1 Daniell (rund) = 0,5 Bunsen = 0,5 Grove = 0,67 Leclanché = 0,7 Clark = 0,7 Hellekens Trockenelement = 8 Noë Thermoelemente = 17 Markus "	1 Daniell = 1,08 bis 1,12 V 1 Bunsen u. Grove = 2,0 V 1 Bleiakкумуляtor = 2,0 V 1 Leclanché = 1,5 V 1 Clark bei 15° = 1,433 ††) V 1 H. Trocken-E. = 1,4 V 1 Noë †††) = 0,125 V 1 Markus †††) = 0,06 V

\*) Nicht zu verwechseln mit der von Gauß und Weber eingeführten Einheit der Stromstärke. Gauß-Weber hatten zugrunde gelegt als Grundeinheiten: Millimeter, Milligramm, Sekunden. In bezug auf diese Gauß-Webersche Einheit wäre  
1 Ampère = 10 Gauß-Webersche Einheiten, bzw. 1 Gauß-Webersche Einheit = 0,1 A.  
Dieser Zusatz wurde auch gemacht, um die beiden verdienstvollen Männer, die sich um denselben Gegenstand (das absolute Maßsystem) schon etwa 1833 mit Erfolg bemühten, nicht unerwähnt zu lassen.

\*\*\*) Abkürzung für British Association Einh., beliebt in England und den Verein. Staaten.

\*)\*) D. h. schließt man ein Daniell-Element mittels eines Leitungsdrahtes, der den Widerstand einer Siemens-Einheit bietet, so fließt durch diese Leitung ein Strom von 1,25 Ampère, wenn der Widerstand im Elemente selbst verschwindend klein ist.

†) 1 Siemens Einheit ist der Widerstand, den eine Quecksilbersäule von 100 cm Länge und 1 qmm Querschnitt bei 0° Celsius dem Strome entgegenstellt.

††) Gegenwärtig wird allgemein die elektromotorische Kraft eines Latimer Clark-Elementes, bei 15° zu 1,433 V festgesetzt, als Eichmaß (Etalon) benutzt.

†††) Bei stärkster zulässiger Erhitzung (v. Waltenhofen).

Tabelle V.

**Einheitswerte zur Ermittlung von Stromstärken und elektrolytischen Vorgängen.**

(F. Kohlrausch, „Lehrb. der prakt. Physik“ 1901 Seite 596.)

1 Ampère scheidet aus nach F. u. W. Kohlrausch:				
	in der			Bemerkungen:
	Sekunde	Minute	Stunde	
Milligramme				
Äquivalente	0,01036	0,6215	37,39	Die Silberwerte sind die Fundamentalwerte, aus denen die übrigen (für Kupfer, Zink, Knallgas) sich berechnen lassen.
Silber . . .	1,118	67,08	4025	
Kupfer . . .	0,3294	17,76	1186	
Wasser . . .	0,0933	5,6	335,9	

oder in Kubikzentimetern:

Knallgas . . | 0,174 | 10,44 | 626,40 | bei 760 mm Druck u. 0° Celsius.

1 Amp. scheidet von einem Körper, dessen Äquivalentgewicht  $a$  (Sauerstoff =  $16/2 = 8$ ) die Menge  $a \cdot 0,0001036$  g/Sec aus.

Wasserzersetzung verlangt etwa 3 V,

also mindestens 2 Akkum.-Zellen,

2 Bunsen- „ „

2 Grove- „ „

3 Daniell- „ „

Bemerkung. Zeitweilig war das Ohm definiert als sog. „legales Ohm“ = 1,060 m Quecksilbersäule von 0° Cels.

Es verhalten sich (nach F. Kohlrausch):

Ohm : leg. Ohm : Brit. Assoc.-Einh. : Siemens-Einheit  
= 1,068 : 1,060 : 1,0487 : 1,000.

In internationalen Einheiten ausgedrückt ist demnach:

1 leg. Ohm = 0,9972      1 Siemens-Einh. = 0,9407  
1 Brit.Ass.-E. = 0,9866.

**Grundgesetz der Ströme, sowohl aller mechanischen, als auch des elektrischen Stromes.**

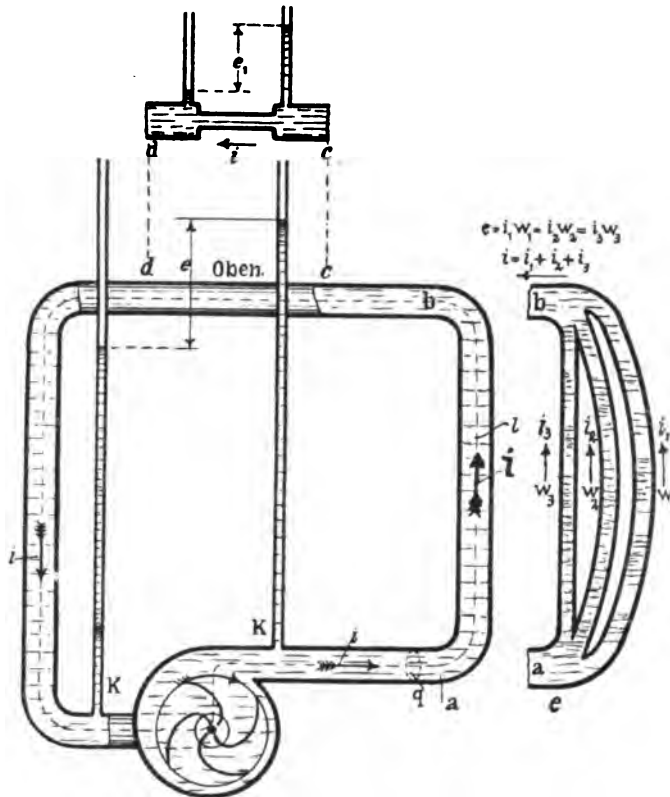
Wir wollen schon jetzt versuchen, eine gemeinverständliche Vorstellung von den für jeden Strom wichtigen Größen und Gesetzen auf Grund allbekannter mechanischer Vorgänge zu gewinnen, weil damit am überzeugendsten der Zusammenhang zwischen der Elektrotechnik mit der Mechanik und den übrigen technischen Wissenschaften dargetan und für das Verständnis des wichtigsten Gesetzes des elektrischen Stromes, das Ohm-Gesetz vorbereitet wird.

Wir müssen dann zunächst die beiden Stromarten: Gleichstrom, Wechselstrom voneinander unterscheiden.

Zu dem Zwecke ist für den Gleichstrom die bereits oben benutzte Fig. 10 (siehe S. 29) entworfen, welche darstellt, wie durch ein Flügelrad (Schleuderrad) in einer Leitung ein in sich zurücklaufender Wasserstrom  $i$  erzeugt wird, indem das Wasser am Umfange des in Umdrehung versetzten Rades fortgeschleudert, nach rechts fortgedrückt, von links her an der Achse wieder angesaugt wird. Die ganze Leitung mitsamt dem Radgehäuse ist vollständig mit Wasser angefüllt und kann als in wagerechter Ebene liegend angenommen werden, weil dann das Wassergewicht weniger in die Wagschale fällt, auf das überhaupt keine Rücksicht genommen werden soll.

Zunächst soll das Rad stillstehen (statischer Zustand). Dann ist auch kein Strom vorhanden und in den beiden unmittelbar vor und hinter dem Rade aufgestellten Standrohren (Manometerrohren) KK stehen die Flüssigkeitsspiegel gleich hoch. Auch stellen sich die Spiegel wiederum auf gleiches Niveau ein, wenn man durch Nachgießen von Wasser in die beliebig hoch gedachten Standgläser die Flüssigkeitsspiegel auf ein höheres „Niveau“ brächte. Allerdings ist dadurch der Wasserdruck oder die „Spannung“ in dem Wasser (und beiläufig gesagt auch in den Rohrwandungen) größer geworden, Ständen jetzt z. B. die Wasserspiegel 10 m höher als vorher, so würde die Spannung um 1 Atmosphäre (1 kg auf 1 qcm) erhöht sein. Ich habe das letztere nur erwähnt, um zwischen

Fig. 10.



„Spannung“ und einem Spannungs-Unterschiede, den man beim elektrischen Strom meistens kurzweg auch nur „Spannung“ nennt, streng zu unterscheiden. Wollte man noch gründlicher sein, so müßte man noch von dem Gewichte, bezw. der Schwerkraft reden, welche die Spannung verursacht.

Das Rad wird jetzt in der Pfeilrichtung gedreht (dynamischer Vorgang). Sofort stellte sich ein Druck-Unterschied vor und hinter dem Rade ein, der durch den Höhen-Unterschied  $e$  der Wasserspiegel sichtbar wird. Diesen Druck-, bezw. Höhen-Unterschied, den man auch wohl Gefälle nennen könnte, wollen wir in der Folge, mit dem gleichsam „neutralen“ Namen Spannung  $e$  bezeichnen.

Es ist nun klar, daß durch jeden senkrecht zur Strömung gerichteten Querschnitt  $q$  der unverzweigten Leitung genau dieselbe Wassermenge  $i$  in der Zeiteinheit fließen muß, oder, wie man sich auch kurz ausdrückt, daß in jedem Querschnitte einer unverzweigten Leitung dieselbe **Strom-Stärke  $i$**  vorhanden ist. Dasselbe gilt nicht in demselben Maße von der Spannung.

Wäre z. B. in unserer Leitung auf der Strecke  $cd$  eine Einschnürung, so müßte unmittelbar vor und hinter derselben ein Unterschied, wie er durch die Spannung  $e_1$  sichtbar gemacht ist, vorhanden sein, um die Flüssigkeit durch diesen Widerstand zu treiben. In dem Augenblicke, in welchem der Widerstand, der durch die Einschnürung entsteht, verschwindet, d. h. die Leitung hier wieder den normalen Querschnitt  $q$  annimmt, würde auch der Unterschied  $e_1$  verschwinden, wenn auf den geringen Widerstand im kurzen Leitungsstück zwischen den dicht beieinander stehend gedachten Standrohren keine Rücksicht genommen wird. Denn der Widerstand, der sich dem Strome in der Leitung überall entgegenstellt und hauptsächlich als Reibung der Flüssigkeit, aber auch als Trägheitswiderstand bei Richtungs- und Querschnittveränderungen angesehen werden kann, wächst mit  $l$ , der Länge des Rohres, die durch die punktierte Mittellinie angedeutet ist. Mit dem **Widerstande  $w$**  ist nun auch die dritte Größe genannt, die neben  $i$  und  $e$  bei jeder Strömung zu berücksichtigen ist. Aber zugleich haben wir auch einsehen lernen, in welcher Beziehung die drei Größen zueinander stehen.

Denn wollten wir  $i$  vergrößern, so müßten wir  $e$  vergrößern, indem wir die Umlaufzahl des Rades und damit die wasserbewegende (hydromotorische) Kraft\*) vergrößern. Wir würden auch  $i$  vergrößern, wenn wir  $w$  verkleinern, indem wir  $l$  verkleinern, den Querschnitt  $q$  vergrößern und ein Rohrmaterial wählen, welches an sich einen geringen Leitungswiderstand bietet. Man spricht hier von einem spezifischen Leitungswiderstande  $s$  und versteht darunter einen Leitungswiderstand auf die Längeneinheit. Z. B. würden unter sonst gleichen Verhältnissen Leitungen mit glatten oder rauhen Wänden offenbar ein verschiedenes  $s$  aufweisen. Eine tabellarische Zusammenstellung der entsprechenden Werte für die elektrischen Leiter ist später gegeben.

So werden wir z. B. später beim elektrischen Strome hervorheben, daß unter übrigens gleichen Verhältnissen Kupfer einen etwa 7 mal geringeren spezifischen elektrischen Leistungswiderstand  $s$  hat als Eisen.

Wenn wir unsere Erläuterungen am Wasserstrome in das Gewand einer Gleichung kleiden, so würde diese nur heißen können:

$$\text{Stromstärke } (i) = \frac{\text{Spannung } (e)}{\text{Widerstand } (w)}$$

Oder, da nach unserer Schilderung der Widerstand ausgedrückt ist durch die Bezeichnung:

$$w = s \cdot \frac{l}{q},$$

so würde unsere Gleichung, die für den Strom gilt, heißen müssen:

$$i = \frac{e}{w} = \frac{e}{s \cdot l/q} = \frac{e q}{s l}$$

So hat unsere Figur und die daran geknüpfte, dem Techniker naheliegende Überlegung uns auf eine allgemein gültige Beziehung zwischen den bei jeder Strömung auftretenden Größen, sei es des Wassers in Rohren und Kanälen, der

\*) Es ist hier absichtlich von „hydromotorischer“ Kraft gesprochen (Hydor, Wasser; motor, Bewegter), um schon auf die in der Elektrizitätslehre bekannte „elektromotorische“ Kraft (abgekürzt: EMK) hinzuweisen, als die Verursachung der Spannung und damit des Stromes.



Luft und des Dampfes in Leitungen, der Gase in den Feuerzügen und Schornsteinen, der Grubenwetter in den Grubenräumen (und richtig gedeutet sogar des Blutes und des Atems durch Adern und Kehle\*) gebracht, die später der Form nach als Grundgleichung des elektrischen „Gleichstromes“ unter dem Namen **Ohm-Gesetz** näher besprochen wird.

Hat aber unsere auf das Ohm-Gesetz hinauslaufende Schilderung allgemeine Gültigkeit, so muß sie sich auch auf verzweigte Ströme anwenden lassen. Ersetzen wir das Stück a, b der Fig. 10 durch das daneben verzeichnete mit den drei Stromzweigen und den Widerständen  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$ , ohne daß durch diesen Ersatz irgend etwas am Hauptstrom  $i$  geändert wird, so ist zunächst klar, daß sowohl für den Eintritts-Punkt des Hauptstromes  $i$  in die Verzweigungen, als auch beim Zurücktritts-Punkt der drei Zweigströme  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  in die Hauptleitung gelten muß:

$$1. i = i_1 + i_2 + i_3; \text{ oder } i - (i_1 + i_2 + i_3) = 0,$$

ferner für die Strom-Zweig-Strecken:

$$2. e = i_1 w_1 = i_2 w_2 = i_3 w_3; \text{ oder } i_1 : i_2 : i_3 = 1/w_1 : 1/w_2 : 1/w_3.$$

Wörtlich:

1. Die Zweigströme haben zusammen die Stärke des Hauptstromes.

2. Der Strom teilt sich im umgekehrten Verhältnisse der Widerstände.

Sollten diese in der Elektrizitätslehre als die beiden „Kirchhoffschen Gesetze“ bekannten Ausdrücke nicht sofort klar sein, so schicke man den Atem durch Kehle und die drei Verzweigungen: 2 Nasenzweige, 1 Mund. Dann verändere man die Widerstände in dem einen oder anderen dieser Zweige durch Verengung, um sich auch von der Allgemeingültigkeit des zweiten Satzes zu überzeugen. Durch diesen derben Vergleich wollte ich zugleich meine Leser zum Nachdenken darüber anregen, daß der Schöpfer in unserem eigenen Körper Einrichtungen zusammenggebaut hat, an denen wir die vornehmsten Naturgesetze, derb ausgedrückt, fühlen können.

Denken wir uns, anstatt der Stromzweige, Kraftlinien (Vektoren), die an einem Punkte angreifen, so wissen wir nach einem der einfachsten Sätze aus der Mechanik, daß beim Gleichgewicht jede Kraft gleich ist der umgekehrt genommenen Resultierenden aus den anderen Kräften. Diesem Gleichgewichtssatze entspricht der erste Kirchhoffsche Satz. Der zweite Kirchhoffsche Satz ist ein besonderer Fall der vielfach bestätigten Wahrheit, daß die Natur den Weg des kleinsten Widerstandes sucht.

Auch das Joulesche Gesetz, von dem später gehandelt wird, läßt sich unschwer aus dem Ohm-Gesetz ableiten.

**Volt. Ohm. Ampère\*\*).** Was durch den sichtbaren Wasserstrom vor das leibliche Auge geführt wurde, gilt nun auch für die unsichtbare elektrische Strömung, die gerade durch unser Bild veranschaulicht werden sollte: Es ist

\*) Die eingeklammerten Strömungen leiten schon zum Wechselstrom hinüber, der nach dem Gleichstrom behandelt wird.

\*\*\*) Da meine in dem vorliegenden „mechanischen Teile“ des Leitfadens gewählten Darstellungen, so auch die vorangeschickten Schilderungen der Bewegungsvorgänge am Wasserstrom ganz besonders den Zweck verfolgen, die meistens zwischen Mechanik und Elektrotechnik gezogenen scharfen Grenzen zu verwischen, also durch allbekannte mechanische Vorgänge tunlich gemeinverständlich auf die Elektrotechnik vorzubereiten, so habe ich mich nicht bedacht, das Folgende hierher zu setzen, um schon im Anfange unseres Leitfadens zum Nachdenken über elektrische Begriffe und Vorgänge anzuregen und hoffe auf diese Weise selbst dem Nichtfachmanne möglichst zu nützen. Heutzutage ist Jedermann von allen Seiten derart von elektrotechnischen Dingen umgeben, daß er gar nicht früh genug anfangen kann, ich möchte sagen, elektrotechnisch zu denken. Der angehende Techniker aber muß sehr früh alle die hier besprochenen Dinge kennen lernen, wenn er von seinem praktischen Lehrjahre, mit dem er seine Laufbahn beginnt, recht viel Erfolg haben will. Es sind ja nur wenige Begriffe, die bei logischem Aufbau bald beherrscht werden. Und Volt, Ohm und Ampère sind tatsächlich nur besondere Namen für längst bekannte Begriffe der Mechanik.

das Volt die Einheit der Spannung, (entsprechend einem Wassergefälle),  
 „ Ohm „ „ des Widerstandes (entsprechend den Widerständen in einer  
 Wasserleitung),  
 „ Ampère „ „ der Strom-Stärke (entsprechend der Menge in Litern, welche  
 ein Wasserstrom führt).

Und die Gleichung hieße dementsprechend wie schon oben gezeigt ist:

$$1 \text{ Ampère} = \frac{e \text{ Volt}}{w \text{ Ohm}}$$

Wenn wir uns auch jetzt noch nicht auf die Bestimmung der Spannung durch das Voltmeter, der Stromstärke durch das Ampèremeter näher einlassen wollen, aber voraussetzen dürfen die Bekanntschaft des später besprochenen Daniell-Elementes, das auch in der Figur 2 verwendet wurde, welche die verschiedenen Wirkungen des elektrischen Stromes andeuten soll, so könnten wir doch sagen:

Das zum Betriebe elektrischer Klingeln geeignete Daniell-Element hat nahezu die elektromotorische Kraft von 1 Volt, und würde nahezu die Strom-Stärke 1 Ampère, geben, wenn der Widerstand des Leitungsdrahtes mit Apparat 1 Ohm, d. i. soviel wie in einem Quecksilberfaden von  $q = 1$  qmm Querschnitt und 1,063 Meter Länge bei 0° Celsius betrüge.

Zahlenbeispiele. Es werden verwendet bei Beleuchtungs-  
 betrieben meist 110 Volt,  
 bei großer Ausdehnung derselben 220 „  
 neuerdings vielfach 440 „  
 bei elektrischen Straßenbahnen meist 500 „  
 bei elektr. Kraftübertragungen (z. B. Ilseder Hütte-Peine) 10000 „

Die gewöhnliche 16kerzige Kohlenfaden-Glühlampe verbraucht etwa 0,5 Ampère bei der vielfach in den Leitungen vorhandenen Spannung von 110 Volt. Nach unserer Gleichung wäre danach der Widerstand in dem glühenden Kohlenfaden

$$w = \frac{110 \text{ Volt}}{0,5 \text{ Ampère}} = 220 \text{ Ohm,}$$

d. h. so groß wie in einem 220 . 1,063 = 233,86 Meter langen Quecksilberfaden von 1 Quadratmillimeter Querschnitt bei 0° Celsius;  
 oder in einem 23 386 Meter langen Quecksilberfaden von 100 Quadratmillimeter Querschnitt.

**Watt.** Das Produkt 1 Volt . 1 Ampère drückt die elektrische Arbeitsleistung oder den Arbeits-Verbrauch\*) in 1 Sekunde aus und heißt 1 Volt-Ampère oder 1 Watt; 1000 Watt nennt man 1 Kilowatt (1 KW).

Unsere obige Lampe verbraucht hiernach 110 . 0,5 = 55 Watt in 1 Sekunde.

Auch der Begriff des Coulomb ist nun leicht aus dem des Ampère abzuleiten:

**Coulomb.** Diejenige Elektrizitäts-Menge, welche bei 1 Ampère Strom-Stärke in 1 Sekunde durch den Querschnitt der Leitung fließt, ist:

$$1 \text{ Ampère} \text{ — Sekunde} = 1 \text{ Ampère} \cdot 1 \text{ Sekunde} = 1 \text{ [Coulomb.]}$$

Ebenso spricht

$$\begin{array}{l} \text{man von } 1 \text{ „ — Minute} = 1 \text{ „} \cdot 60 \text{ „} = 60 \text{ „} \\ \text{und von } 1 \text{ „ — Stunde} = 1 \text{ „} \cdot 60 \cdot 60 \text{ „} = 3600 \text{ „} \end{array}$$

\*) Von einem Elektromotor pflegt man zu sagen: Er „verbraucht“ so und soviel Kilowatt Strom und „leistet“ so und soviel Pferdekkräfte. Dieselbe Ausdrucksweise war schon immer Gebrauch bei Wasserrädern, Dampfmaschinen usw.: sie „gebrauchen“ Strom und „leisten“ Arbeit.

**Kapazität. Farad.** Durch die Begriffe Coulomb und Volt läßt sich nun auch der Begriff Farad erklären.

Man spricht im gewöhnlichen Leben von dem Fassungsvermögen oder der „Kapazität“ eines Gefäßes und sagt z. B.: Ein Gefäß faßt 10 Liter oder 10 Kilogramm Wasser. Wenn sich das Wasser aber stark verdichten ließe, so würde man zu jener Angabe noch den Druck oder die Spannung hinzufügen müssen, weil dann unter höherem Drucke derselbe Fassungsraum eine größere Stoff-Menge fassen würde. In einer Formel ausgedrückt, würden deshalb die drei Größen in folgender Beziehung stehen:

$$\text{Menge} = \text{Kapazität} \times \text{Spannung};$$

oder

$$\text{Kapazität} = \frac{\text{Menge}}{\text{Spannung}}$$

In der Elektrizitätslehre würde es hier heißen müssen:

$$\text{Kapazität} = \frac{\text{Anzahl der Coulomb}}{\text{Volt}}$$

Als Einheit der Kapazität gilt:

$$1 \text{ Farad} = \frac{1 \text{ Coulomb}}{1 \text{ Volt}} = \text{Cb/V (Tab. III S. 26)}.$$

Später werden die voranstehenden Begriffe nochmals geklärt und erweitert. Aber es sollte schon hier der Beweis erbracht werden, daß jemand, der etwas technisch-mechanisch denken, mit Zentimetern, Gramm, Sekunden rechnen gelernt hat, alle jene Begriffe sich sehr leicht klar machen kann, die meistens immer nur als spezifisch elektrische aufgefaßt zu werden pflegen.

### Mechanische Kraftübertragung durch Gleichstrom. Wirkungsgrad.

Die nebenstehende Figur 11 ist ohne weiteres verständlich. Sie gilt zunächst zwar nur für Wasser, läßt sich aber ohne weiteres auch auf den elektrischen Strom übertragen und liefert uns dazu ein allgemein gültiges Gesetz für die „Güte“ aller unserer wirtschaftlichen Einrichtungen. Sie stellt eine Kraftübertragung durch Gleichstrom dar. Die Leitung ist bis zum Fuße des Standrohres vollständig mit Wasser gefüllt. Das angetriebene Flügelrad rechts (Zentrifugal-Pumpe, Dynamomaschine) erzeugt den Strom, das Flügelrad links (Turbinen-Rad, Elektromotor) verbraucht ihn und setzt die damit verbundene (verkuppelte) Arbeitsmaschine irgend welcher Art, deren Widerstand durch die Bandbremse (Bremscheibe mit darüber gelegten belasteten Bänder) versinnlicht ist, in Bewegung. (Beiläufig bemerkt würde das linke Rad auch als Dampfturbine aufzufassen sein, wenn ein Wasserdampf-Strom unmittelbar verwendet werden soll, wie es neuerdings vielfach in den technischen Betrieben der Fall ist.)

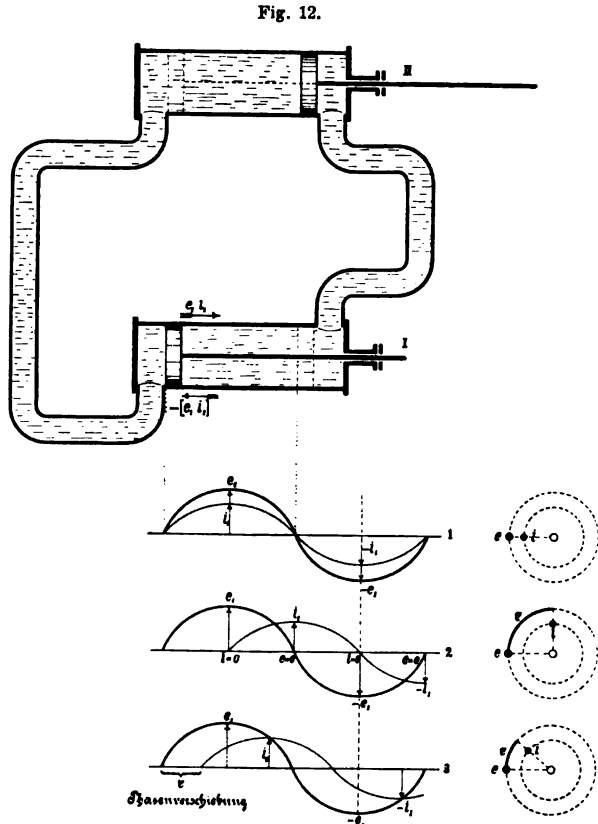
Denken wir uns zunächst die Bandbremse unbelastet, also „Leerlauf“, dann würde die Spannung  $h_0$  ( $e_0$ ) der Leerlaufarbeit entsprechen, also derjenigen Verlustarbeit, die auf Bewegung des „Maschinen-Aggregates“ allein ohne Nutzarbeit erforderlich ist.

Bei belasteter Bremse also im Vollbetriebe ist die Spannung  $h_0 + h$  erforderlich. Je kleiner  $h_0$  ist, oder, je größer  $h$  gegenüber  $h_0$  ist, desto vollkommener arbeitet die Maschinen-Anlage. Es ist deshalb das „Güteverhältnis“ oder der „Wirkungsgrad“ ausgedrückt durch die Gleichung:

$$\eta = \frac{h}{h + h_0}$$



die auf den ersten Blick zugleich die Umkehrbarkeit zeigt, durch die sich mehr oder weniger alle Maschinen auszeichnen. Jeder der beiden Kolben kann zum treibenden gemacht werden, dann ist der andere der getriebene. Ferner sind wir nicht darüber im Zweifel, daß die hydromotorische Kraft bezw. die Spannung  $e$  und die dadurch bewirkte Stromstärke  $i$  in den beiden Endstellungen (Totlagen) der Kolben gleich Null, bei der Kolbenbewegung durch die Mitte des Zylinders ihre Höchstwerte besitzen, kurz in beständigem Wechsel zwischen Null und den Höchstwerten begriffen sind, was wir an den starken Schwankungen der Spiegel in den Standrohren, die der Einfachheit wegen fortgelassen sind, deutlich wahrnehmen würden. Wenn wir diese veränderlichen Werte als Ordinaten auf einer Geraden gleich dem Kolbenhube als Abszisse auftragen und berücksichtigen, daß der Rückgang das Entgegengesetzte vom Vorwärtsgange ist, so bekommen wir zwei Wellenlinien, in denen die betreffenden Höchstwerte mit  $e_1$   $i_1$  und  $-e_1$   $-i_1$  bezeichnet sind, wie die Figuren zeigen. Die Mittelwerte sind  $e = 0,707 e_1$  bzw.  $i = 0,707 i_1$ , daß sie größer als  $0,5 e_1$  bzw.  $0,5 i_1$  sein müssen, läßt unsere Figur ohne weiteres erkennen. Auch die Widerstände müssen im allgemeinen hier größer sein als beim früher besprochenen Gleichstrom. Denn es muß:



1. der Widerstand, den wir oben mit  $w$  bezeichneten (wir wollen ihn den Ohmschen nennen), überwunden werden,  
 2. die „träge“ Masse des Triebwerkes (Kolben usw.) und des Wassers zwischen Null und der Höchst-Geschwindigkeit beschleunigt, dann wieder verzögert werden und das bei jedesmaligem Kolbenhube (sog. „Wechsel“). Das würde schon gelten für den „Leerlauf“, d. h. wenn der getriebene Kolben nur mitgenommen würde. Hätte der getriebene Kolben nun aber mittelst seiner Kolbenstange noch nach außen hin Bewegungen, welche stark wechseln, zu übertragen und damit entsprechend wechselnde Widerstände zu überwinden, so würden  
 3. hierdurch noch Stoßwirkungen herbeigeführt, die einen entsprechenden Widerstand veranlassen.

Unter 3 würde alles das zu rechnen sein, was man unter „Mitschwingen“ oder „Resonanz“ (der Musik entlehnt) begreift. Ich erinnere hier an das In-

schwingungsetzen einer Schaukel durch Bewegungen des Körpers des auf der Schaukel stehenden, die dem Pendeln der Schaukel genau angepaßt werden müssen, oder bei den Schiffen an die Resonanz zwischen Umlauf der Triebmaschine und Schiffsschwingung, die bekanntlich in den letzten Jahren den Erbauern unserer großen Schiffe viel Not gemacht hat, bis diese gelernt haben, die Schwingungen der trägen Massen auf dem Schiffe örtlich und zeitlich richtig zu regeln.

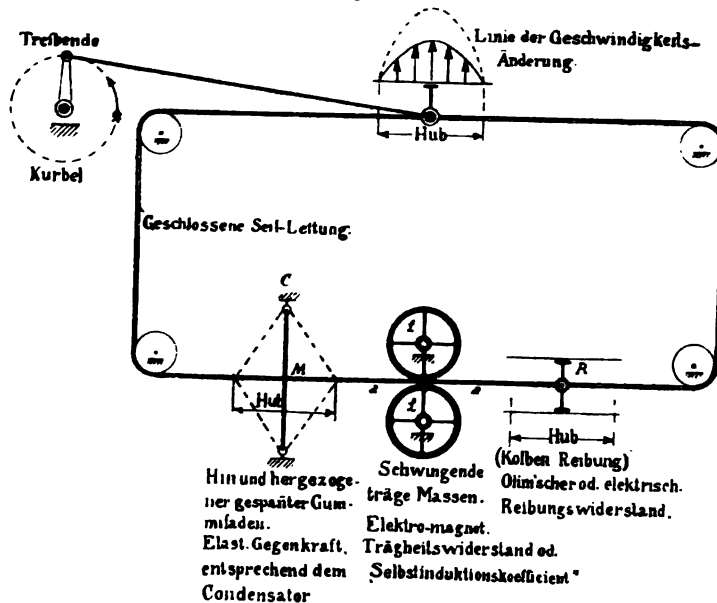
Aus dem Gesagten geht hervor, daß in der Gleichung für den Wechselstrom

$$i = \frac{e}{W}$$

der gesamte „scheinbare Widerstand“ (sog. „Impedanz“, impedire hindern)  $W$  jedenfalls größer ist als der Ohm-Widerstand  $w$  (sog. „Resistanz“) beim Gleichstrom und dazu ein zusammengesetzter Wert sein muß.

In nebenstehender Figur 13\*) soll das Gesagte veranschaulicht werden. Würde das endlos über die vier Rollen geführte Seil nach ein und derselben Richtung

Fig. 13.



bewegt, so wäre damit der Gleichstrom versinnlicht. Wird aber, wie es durch die Figur tatsächlich ausgedrückt ist, das Seil durch ein Kurbelgetriebe in Hin- und Her-„Schwingungen“ versetzt, so treten die Erscheinungen des Wechselstromes auf. Die Geschwindigkeitsänderungen sind durch die ausgezogene, und bei rascherem Wechsel, die stärker gekrümmte punktierte Linie veranschaulicht. Die Reibung  $R$  (in der Figur rechts) soll den Ohm-Widerstand des Gleichstromes darstellen\*\*). Dann kämen beim Wechselstrom noch hinzu der Trägheitswiderstand der Räder  $L$ , deren Massen durch das Seil in Hin- und Her-Schwingungen versetzt werden müssen und schließlich noch die Beeinflussung durch die Spannungs-

\*) Siehe auch ETZ 1897 S. 60 Fig. 8 im Aufsatz von Dr. C. Heinke „Mechanische Hilfsvorstellungen“.

\*\*) Wir wollen uns hier nochmals daran erinnern, daß wir mit weiser Einschränkung das Ohm-Gesetz als ein für alle Strömungen ganz allgemein gültiges ansehen können und daß gerade zur Befestigung dieser Behauptung unsere mechanischen Bilder und Schilderungen entworfen sind.

Veränderungen in dem gespannten Gummifaden, der in die punktierte Lagen versetzt, abwechselnd hindernd und treibend wirkt („Mitschwingen“ oder „Resonanz“). Die figürliche Darstellung zeigt ohne nähere Erläuterungen, daß unter sonst gleichen Verhältnissen der Widerstand des Wechselstromes größer ist als der des Gleichstromes (was oben behauptet wurde). Demnach muß also bei gleicher Arbeitsleistung der bewegenden „motorischen“ Kraft an der Kurbel zur Hervorbringung eines Gleich- bzw. Wechsel-Stromes der Wirkungserfolg (Wirkungsgrad, Güteverhältnis) beim Wechselstrom kleiner sein.

Es darf also nicht wundernehmen, daß die beiden Bestandteile, welche die Stromwirkung ausmachen: sowohl die „mittlere (effektive) Stromstärke  $i$ , als auch die „mittlere“ (effektive) Spannung  $e$  beim Wechselstrom kleiner als beim Gleichstrom ausfallen, obwohl die Maximalwerte  $i_1$  und  $e_1$  größer sind.

Trotz dieser Arbeitsvergeudung kann für ausgedehnte Fernübertragungen der Wechselstrom billiger ausfallen als der Gleichstrom-Betrieb, weil er, was bereits vorhin angedeutet wurde und später näher begründet wird, höhere Spannung und infolgedessen dünnere, also billigere Leistungen zuläßt. Und die heutige drahtlose Telegraphie wäre ohne Wechselstrom-Stöße undenkbar.

### Trägheit (Selbstinduktion); Reibung (Hysteresis) und Arbeit.

An die beiden Grundgesetze von der Erhaltung des Stoffes und der Kraft schließen sich innig an das Trägheitsgesetz und der Arbeitsbegriff, als die wichtigsten in den Naturwissenschaften und für die Praxis.

Aber die „Trägheit“ der Wissenschaft und der Technik ist keineswegs der Gegensatz zur Arbeitslust, entspricht durchaus nicht jener Untugend, die man wohl die „Großmutter der Armut“ genannt hat, weil sie von altersher Menschen und Völkern zugrunde richtete, sondern es ist der Beschleunigungs- bzw. Verzögerungs-Widerstand, das „Beharrungsvermögen“, d. i. jene „Gegenwirkung“ des Stoffes gegen jegliche Bewegungs-Veränderung der Geschwindigkeit und der Richtung, durch deren Erkenntnis im Jahre 1638 Galilei (1564—1642) die Grundlage zu den technischen Wissenschaften legte. Denn ohne diese Gegenwirkung ist kein Vorgang in Natur und Technik, kein Wasser-, Luft-, elektrischer, magnetischer Strom denkbar. Kämen wir unversehens an dem Rande eines Wassergrabens mit großer Geschwindigkeit ( $c$ , also mit der in unserer Körpermasse  $m$  angehäuften „lebendigen Kraft“  $mc^2/g$ ) an und sträubten uns, so würde die Trägheit unserer Körpermasse uns doch zwingen, das unfreiwillige Wasserbad zu nehmen; hätten wir uns dagegen nicht gesträubt, so würde gerade dieselbe Trägheit trotz Erdanziehung und Luftwiderstand uns an das nicht zu ferne jenseitige Ufer befördert haben. Umgekehrt würde die Trägheit es verhindern, „aus dem Stande“, d. h. ohne Anlauf, den Graben zu überspringen. So erfahren wir an dem eigenen Körper, daß die Trägheit nicht nur hindernd, sondern, was ganz besonders zu beachten ist, auch fördernd wirkt.

Die Bewegung (Strömung) wird durch die Trägheit aufgehalten beim Beginn, dagegen verstärkt am Schlusse. So ist der elektrische „Unterbrechungsfunke“ stärker als der „Schließungsfunke“. Ihretwegen wird bei jedem Anlaufe (Beschleunigungsperiode), sei es eines Bahnzuges, Geschosses, Schwungrades, sei es eines Dynamomaschinen-Ankers, zwar Arbeit verbraucht, letztere aber in der trägen Masse des Bewegten aufgespeichert und beim Endlauf wieder herausgegeben.

Daß der „Beharrung“ auch bei jedem Wechsel eines elektrischen Stromes selbst eine große Bedeutung zuzuschreiben ist, läßt sich schon aus den bereits geschilderten mechanischen Vorgängen vermuten, soll aber durch die folgenden Betrachtungen noch etwas näher gebracht werden.

Wenn die Geschwindigkeit einer Wasserströmung durch Schließen eines

Schiebers vermindert wird, so sucht die träge Wassermasse die Bewegung dennoch fortzusetzen und erzeugt damit eine Wirkung, die oft weit größer ist als die des ursprünglichen Stromes. Diese Wirkung ist bei übrigen gleicher Stromstärke um so heftiger, je größer die bewegte Wassermenge, d. h. je größer die träge Masse ist und mit je größerer Geschwindigkeit sie sich bewegt.

Anmerkung. Dem Verfasser ist aus seiner Praxis ein Fall bekannt, daß durch solchen Wasserstoß (sog. „hydraulischen Widder“) infolge des Bewegungshindernisses, welches einer bewegten Wassersäule plötzlich dargeboten wurde, die 40 Millimeter dicke Wandung der Leitung einer Wassersäulen-Maschine wie Glas zersprengt wurde und ein handgroßer Gußeisensplitter noch die benachbarte Schachtzimmerung beschädigte. Ich will es dahingestellt sein lassen, ob es unrecht war, bei dieser Beobachtung an den Ruhmkorffschen Funkeninduktor, überhaupt an die Induktionserscheinungen zu denken, die auch nur Wirkungen in der Nachbarschaft sind.

Wird dagegen die Strömung eingeleitet, indem man den Schieber öffnet, so widersteht auch jetzt die träge Masse der Bewegungsänderung und vermindert die beabsichtigte Strömung.

Auch wenn die Richtung einer Wasserströmung verändert wird, indem man ihren Stromweg krümmt, macht sich die Trägheit der Masse geltend, weil letztere die geradlinige Bewegung anstrebt und dabei ebenfalls auf die eigene Leitung ihre Wirkung äußert (Reaktion, Gegenwirkung der Zentrifugalkraft). Wie sehr der Trägheitswiderstand sich bei Richtungsveränderungen kreisender Massen äußert, beweist folgendes Zahlenbeispiel:

Eine Masse vom Gewichte . . . . .  $G = 1 \text{ kg}$   
 wird im Kreise vom Halbmesser . . . . .  $r = 1 \text{ m}$   
 in je 1 Minute herumgedreht . . . . .  $n = 2000 \text{ mal}$ ,

alsdann äußert sich eine Gegenwirkung der Zentrifugalkraft

$$P = \frac{1}{1000} G \cdot r n^2 = 4000 \text{ kg}^*);$$

d. h. unsere Masse, die ruhend infolge der Schwerkraft nur mit 1 kg auf die Unterlage drückt, würde derart im Kreise herumgeschleudert, einen Druck von 4000 kg nach außen hin ausüben. Man denkt hier unwillkürlich daran, wie die sich mit ungeheuer großer Geschwindigkeit fortbewegende Elektrizität in den Solenoidwindungen wirken müßte. Wir werden später auch die Mittel kennen lernen, die man anzuwenden hat, um die Ankerwickelungen der Dynamomaschinen gegen die Wirkung der Zentrifugalkraft zu schützen.

Diese Gegenwirkung der Trägheit nutzt man in vielen Fällen der Technik, um Druckdifferenzen zu erzeugen, z. B. Steighöhen mittelst der Kreiselpumpen, neuerdings, mehrere Hundert Meter; hohe Drücke zur Trennung nach spezifischem Gewichte oder nach dem Agratzustande mittelst „Zentrifugen“ (Milchzentrifugen in den Molkereien). Hierher gehört auch die Trennung durch Bodensatzbildung, sowohl in der Erzaufbereitung, als auch neuerdings bei der Reinigung der Hochofen-Gichtgase vor Verwendung in den Gaskraftmaschinen.

Die Formel zeigt zugleich durch ihr  $n^2$  den großen Einfluß der Geschwindigkeit. Dürfen wir also dem elektrischen Strome ein gewisses Beharrungsvermögen beimessen, so ist ohne weiteres der erhebliche Widerstand erklärt, den der Strom in den „Solenoid-Spulen“ auch „Drosselspulen“ erfährt, die er, wie wir später sehen, zu durchlaufen hat.

Anmerkung. Von dem Beharrungsvermögen im Blitzstrahl glaube ich mich u. a. durch folgende besondere Beobachtung überzeugt zu haben. Der fragliche Blitz hatte auf seinem Wege die Nagelreihe verfolgt, welche bei einem Staketen-Zaune zur Befestigung der Staketen mit der Latte dienten, die wagerecht nicht weit von dem Erdboden von Zaunsäule zu Zaunsäule verlief. Der Blitz hatte mit voller Regelmäßigkeit jeden folgenden Nagel getroffen und gezeichnet, auch die betreffenden Staketen vom Nagelloch aus (wahr-

\*) Mech. I. S. 117.



scheinlich infolge Wasserdampfbildung) gespalten. Aber an der Stelle, an welcher der Zaun mit dem sich daran anschließenden einen Winkel bildete, war der Blitz geradeaus in den Boden geschlagen. Deshalb empfehle ich seit jenen und ähnlichen bestätigenden Beobachtungen, die darauf auch in dem hiesigen Elektrizitätswerke gemacht sind, die Blitzableitungen möglichst schlank, jedenfalls mit Vermeidung jeglicher Kniee zu verlegen. Die meisten Blitzableiterausführungen berücksichtigen nicht diese Regel.

Also auch beim elektrischen Strome beobachten wir eine „Gegenwirkung“ bei jeder Strom-Änderung nach Geschwindigkeit und Richtung.

Diese Gegenwirkung, welche sowohl das Anwachsen der Stromstärke bei Strom-Schluß verzögert, als auch die Stromwirkung verstärkt bei Strom-Unterbrechung, welche also veranlaßt, daß der Unterbrechungs-Funke stärker erscheint als der Schließungs-Funke, hat man „Selbst-Induktion“ genannt, weil sie eine Wirkung ist, die der Hauptstrom auf den von ihm selbst durchflossenen Leiter ausübt. Diese Wirkung wird dann noch wesentlich verstärkt durch Ablenkung aus der Richtung (Induktions-Spulen; Drossel-Spulen; Spulen in Blitzableitern, die wir später kennen lernen).

Es möchte die Behauptung deshalb nicht zu gewagt sein, daß die Äußerungen der „Trägheit“ bei mechanischen Vorgängen hinweisen auf die „Selbst-Induktion“ beim elektrischen Strome.

Und wenn wir auch hier die Wahrheit des früher ausgesprochenen Grundsatzes gelten lassen, daß das, was irgendwo eine Eigenschaft der Natur ist, sich überall wiederfindet, so müssen wir aus der Selbstinduktion auf ein gewisses Trägheitsvermögen des Etwas (Äthers) schließen, was im elektrischen Strome sich bewegt. Denn ihres Erfolges wegen sind offenbar „Trägheit“ und „Selbst-Induktion“ vergleichbar: Beide Eigenschaften wirken in einer stromführenden Leitung auf ihre eigenen Bahnen, und zwar stets der Bewegungs-Änderung entgegen.

Aber die „Trägheit eines elastischen Körpers (z. B. einer Stimmgabel) wirkt nicht nur auf die eigene Masse (Eigenschwingung), sondern auch durch Vermittelung der Umgebung, selbst durch die bloße Luft hindurch meist stoßend, auf andere Körper (Ohr). Ich will nur an den einen Versuch erinnern, welcher zeigt, wie die Stöße einer schwingenden elastischen Stimmgabel nur durch die elastische Luft hindurch eine in der Nachbarschaft aufgestellte, auf gleichen Ton gestimmte Stimmgabel in Mittönen versetzt. Die Tonhöhe ist durch die Schwingungszahl und diese durch die träge Masse der Gabel und die Elastizität des Stahles bestimmt, worauf später näher eingegangen wird.

Kleiden wir das Trägheitsgesetz ganz allgemein in die Worte:

Bei jeder Veränderung in der Lage, Bewegungs-Richtung und Geschwindigkeit (oder Bewegungs-Stärke) einer Körper-Masse äußert sich der Trägheits-Widerstand, und vergleichen es in dieser Fassung mit dem später behandelten Faradayschen Induktions-Gesetz, dem Grundgesetze der Elektrotechnik, in der Form:

Bei jeder Veränderung in der Lage, Richtung und Stärke eines elektrischen Stromes oder eines Magneten inbezug auf einen benachbarten Leiter, äußert sich in letzterem elektrische oder magnetische Induktion, so erkennen wir eine gewisse Verwandtschaft zwischen den beiden Gesetzen und schließen, daß das Trägheitsgesetz als das Grundgesetz der Naturwissenschaften und der Technik angesehen werden muß, was auch schon oben behauptet wurde.

Und wir wiederholen es: Auch die drahtlose (Wellen- oder Funken) Telegraphie verdankt ihre Wirkung auf größere Entfernung der Selbstinduktion, des elektrischen Stromes, der durch künstliche elektrische Mittel (Kondensatoren) kondensiert, plötzlich in großen Arbeitsmengen entfesselt, die elektrischen Wellen veranlaßt, die gewaltsam in den Raum hinausgestoßen werden. Ob die hierbei schwingenden Gruppen kleinster elektrischer Teilchen (Elektronen?) als masselos anzunehmen sind, ist für unsere Betrachtungen belanglos. Jedenfalls ist der Erfolg

der hier sich vollziehenden Bewegungsvorgänge derselbe, den wir schwingenden elastisch-trägen Massen zuzuschreiben pflegen.

Ich möchte nicht unterlassen hier im Zusammenhange mit dem Voranstehenden ausdrücklich hervorzuheben, daß mit der Trägheit der ebenfalls bei jeder Bewegung auftretende Reibungswiderstand durchaus nichts gemein hat, weil er eben stets der Bewegung entgegenwirkt und auch bei jeder Bewegungsart, also auch bei gleichförmiger Bewegung sich äußert, wogegen die „Trägheit“ nur während ungleichförmiger Bewegungen sich geltend macht. Und gerade aus diesem Grunde wurde für letztere die Bezeichnung „Beschleunigungswiderstand“ eingeführt, um sie schon äußerlich von dem Reibungswiderstande zu unterscheiden.

Nach unserer Schilderung dürfen wir z. B. die später besprochenen „Hysteresis-Erscheinungen“ am magnetischen Eisen weniger als eine Folge des „Beharrungsvermögens des Magnetismus“ auffassen, sondern müssen sie wohl vorzugsweise auf Reibungsarbeit zurückführen.

Auf die Frage, was wird aus der durch die Reibung vernichteten Bewegung, antwortet der „Satz von der Erhaltung der Kraft“. Sie wird in Wärme oder in Reibungs-Elektrizität verwandelt, die dann aber meist für unsere Zwecke verloren gehen. Jedenfalls müssen wir an der Vorstellung festhalten, daß die Reibung jede Bewegung zu hindern sucht. Sie hindert sowohl das Eintreiben als auch das Wiederherausziehen des Nagels, des Erdpfahles, und lassen uns nicht irre machen, wenn wir sehen, daß der auflaufende Treib-Riemen die Scheibe in Bewegung versetzt. Denn hier gilt das später besprochene Gesetz von der Wechselwirkung.

Wir wenden uns jetzt zunächst zur Besprechung des Gesetzes von der „mechanischen Arbeit“.

**Mechanische Arbeit.** Überall in der Natur, selbst da, wo wir bei oberflächlicher Betrachtung oder mit unseren unvollkommenen Beobachtungsmitteln arbeitslose Ruhe vermuten, „fließt die Arbeit“. Wo in der Natur und Technik auch nur der geringste Unterschied: Höhen-Unterschied, oder Gefälle, Druck-, Spannungs-Wärme-, elektrischer-, magnetischer- Unterschied vorhanden ist, und das ist überall der Fall, da ist auch die Bedingung zum Zustandekommen eines (oft für uns nicht wahrnehmbaren) Stromes vorhanden, wird mechanische Arbeit und, ich möchte nicht unterlassen, hervorzuheben, nach dem Wechselwirkungsgesetz, noch eine Gegenarbeit geleistet.

Die Arbeit (A) ist stets zusammengesetzt aus 2 Größen. Denn bei jeder Arbeit muß eine  $\boxed{\text{Kraft } P \text{ kg}}$  längs eines  $\boxed{\text{Weges } s_m}$  wirken, um einen Widerstand, der sich der Bewegung entgegenstellt, zu überwinden.

Der mathematische Ausdruck für diese Wahrheit ist deshalb:

Arbeit = Kraft  $\times$  Weg in der Richtung der Kraft; oder

$$A = (Ps) \text{ Meterkilogramm (mkg) oder Kilogramm meter (kgm).}$$

Für die Technik hat jedoch dieser allgemein gehaltene Ausdruck ohne Zeitbestimmung keine Bedeutung, weil alle unsere Vorkehrungen derart einzurichten sind, daß sie in bestimmten Zeiten, z. B. in je einer Sekunde, eine bestimmte Arbeit verrichten können. Unsere Wasserhaltung muß die in einer bestimmten Zeit (Sekunde) zugehenden Wasser mindestens wältigen, wenn die Gruben nicht versaufen sollen. Die Eisenbahnen müssen lebende und tote Güter in ganz bestimmten Zeiten zur Stelle befördern, wenn das Verkehrsleben nicht stocken, Entwertung und Unheil verhütet werden sollen. Ventilatoren für Schlagwettergruben, Feuerspritzen müssen für eine Mindest-Leistung in einer Sekunde eingerichtet sein, wenn sie zurzeit der Gefahr mit dem gewünschten Erfolge arbeiten sollen.

Bezeichnen wir nun mit Leistung (Effekt)  $L_{mkg}$  die Arbeit in einer Sekunde und mit  $v_m$  den Weg in einer Sekunde, so ist damit die Zeit als dritte Größe

hinzutreten und es ist:  $L = P_{kg} \cdot v^{m/Sek}$  die Leistung in 1 Sekunde in Meterkilogrammen und, wenn, um größere Zahlen zu vermeiden, je 75 mkg/Sek als 1 Pferdekraft zusammengefaßt werden:

$$N = \frac{P_{kg} \cdot v^{m/Sek}}{75 \text{ mkg/Sek}} \text{ die Leistung in 1 Sekunde in Maschinen-} \boxed{\text{Pferdekraften}}.$$

Diese Gleichung gilt als Grundgleichung für alle Leistungen auf allen Gebieten und würde nur in besonderen Fällen z. B. für die Ausdrucksweise der Elektrotechnik umzuformen sein, was jetzt geschehen soll.

In unserer Gleichung gilt nach dem noch heute bei den Maschinenteknikern gebräuchlichen Maßsysteme als Kräfteinheit das Kilogramm als Gewicht eines Kubikdezimeters reinen Wassers von 4° Celsius am Meeresspiegel und im Breitengrade von Paris.

Diese Kräfteinheit ist somit für dieselbe konstante Masse eines Körpers eine mit der Beschleunigung des Beobachtungsortes veränderliche Größe, d. h. ein relativer unbestimmter Wert. Denn ein und dieselbe Masse auf eine Federwaage gelegt, würde auf dem höchsten Berge am Äquator das kleinste, an den Polen am Meeresspiegel das größte Gewicht, unter sonst gleichen Verhältnissen an der Sonnenoberfläche etwa ein 27 mal größeres Gewicht als an der Erdoberfläche zeigen.

Die neueren Einheitswerte und Formeln der Elektrotechnik unterscheiden sich nun von den älteren der Mechanik und Maschinenteknik nur dadurch, daß man die  $\boxed{\text{konstante Kilogr.-Masse (m)}}$  anstatt des veränderlichen Kilogr.-Gewichtes (G) eingeführt hat.

Da nun aber nach der Newton'schen Beschleunigungsgleichung

$$\text{Masse} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Beschleunigung}} = \frac{\text{(Erd-) Gewicht}}{\text{Erd-Beschleunigung}}$$

$$m = \frac{P}{p} = \frac{G}{g},$$

so ist, wenn man im Mittel  $g = 9,81$  Meter/Sek. setzt:

$$m = \frac{G}{9,81}.$$

Es tritt deshalb an Stelle der alten Maschinenpferdekraft 75 (Gewichts) kgm die neue Maßeinheit  $75 \cdot 9,81 = 736$  (Massen) kgm und unsere obige Grundformel müßte für Massen-Kilogramme, anstatt der Gewichtskilogramme, heißen:

$$\boxed{N = \frac{P \cdot v}{736}}$$

Bei Benutzung dieser Arbeits-Formel darf nie übersehen werden, daß die Kraft (P) und der Kraft-Weg immer in ein und derselben Richtung zu nehmen sind. Handelte es sich z. B. um ein vertikal herabfallendes Gewicht (Wasser) Qkg in einer Sekunde, so müßte als Weg das Gefälle H eingeführt werden.

Für eine Wasserkraft würde deshalb entsprechend unsere Grundformel

$$N = \frac{P \cdot v}{75}$$

entweder  $N = \frac{Q \cdot H}{75}$  Pferdekraften sein, wenn Q als Gewichtskilogr.

oder  $N = \frac{Q \cdot H}{736}$  „ „ „ Q als Massenkilogr.

eingeführt werden.

In diesen Formeln, von denen die erste meistens benutzt wird, um die Leistung einer „Wasserkraft“ (Wasserkraftmaschine) zu ermitteln, aber auch

geeignet ist, um die erforderliche Leistung (Arbeitsverbrauch) einer Wasserhebe-  
maschine (Pumpe) zu berechnen, ist  $Q \cdot H$  an Stelle von  $P \cdot v$  getreten.

Man nennt in allen diesen Fällen  $Q$  auch wohl die Strom-Stärke.

Im folgenden soll noch an einigen aus den verschiedensten Gebieten der  
Technik herausgegriffenen Beispielen gezeigt werden, wie innig überall hier der  
Zusammenhang ist und daß unsere Grundformel für alle Fälle auch aus dem Ge-  
biete der Elektrotechnik gilt. Der Einfachheit wegen kümmern wir uns nur um  
den Ausdruck  $P \cdot v$  im Zähler der Formel.

1. In dem Rohre der Abbildung 14 sei eine feste Druckfläche, vielleicht als  
Scheibenkolben einer Wasserdruck-Maschine gedacht, welche mit der Geschwindig-  
keit  $v_m$  ausweicht; dann ist, wenn mit  $\gamma$  kg das Gewicht der Kubikeinheit (1 cbm)

Fig. 14.

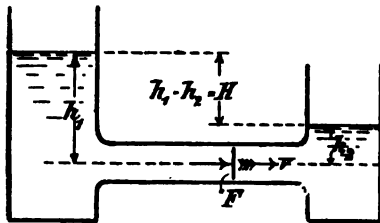
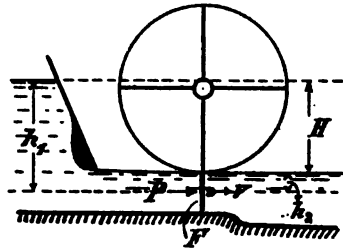


Fig. 15.



der Flüssigkeit bezeichnet wird, der Überdruck auf diese Fläche, den man auch  
als Spannungsdifferenz bezeichnen könnte:

$$P = \gamma F (h_1 - h_2) = \gamma F H \text{ kg}$$

und die Arbeitsleistung an dieser Stelle:

$$P \cdot v = \gamma F H \cdot v = (\gamma F v) \cdot H = Q \text{ kg H m / Sek.}$$

Darauf, daß man in Wirklichkeit der Kolbenfläche eine kleinere Geschwin-  
digkeit geben wird, wurde keine Rücksicht genommen.

2. Wenn nun unsere Kolbenfläche als die Schaufelfläche eines Wasserrades  
aufgefaßt würde (Fig. 15), so ergäbe sich, was ohne weiteres einzusehen ist, derselbe  
Rechnungsgang wie vorhin.

Fig. 16.

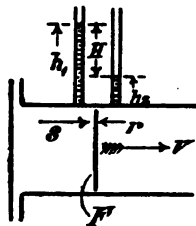
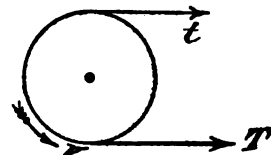


Fig. 17.



3. Ist nach Figur 16 bei einer Kolben-Dampfmaschine die Spannungsdifferenz  
hinter dem Kolben  $s - r$ ,  $F$  die gedrückte Kolbenfläche,  $v$  die Geschwindigkeit,  
mit der sie ausweicht, so folgt:

$$P \cdot v = F v (s - r) = Q (h_1 - h_2) = Q \cdot H,$$

wenn man die mittleren Drücke  $s$  und  $r$  durch die Manometersäulen  $h_1$  und  $h_2$   
ersetzt. Wiewohl also der Wasserdampf und Wasser ihrem inneren Wesen und  
ihren Eigenschaften nach ganz verschiedene Körper sind, mußte doch für  $P \cdot v$   
dieselbe Formel zum Vorschein kommen, wenn von Erfahrungswerten abgesehen

und auf Reibung, Wärme und etwaige Dampf-Expansion oder Kondensation keine Rücksicht genommen wird.

4. Bei einem gewöhnlichen Riemen- oder Seiltriebe (Fig. 17) sei die Spannungsdifferenz  $T - t$  Kilogramme auf die Querschniteinheit des Zugmittels bezogen,  $F_{qm}$  der Querschnitt,  $v_m$  die Geschwindigkeit desselben (Weg in 1 Sek.), so ist:

$$P \cdot v = F (T - t) \cdot v = (F \cdot v) \cdot (T - t) = Q \cdot H;$$

so aufgefaßt, sehen wir im Geiste das Material des Zugmittels (Riemens, Seiles) infolge der Spannungsdifferenz gleichsam dahinfließen, wie die Flüssigkeit in einer Leitung, einem Bache.

Damit beim Arbeiten das Gleiten (Schlüpfen, Schlupf) zwischen Riemen und Scheibenumfang innerhalb zulässiger Grenzen bleibt, müssen die Kräfte  $T$  und  $t$  genügende Größe haben. Wäre die Anzahl der Minuten-Umdrehungen der Scheibe ohne Gleiten (beim Leerlauf) . . . . .  $n = 500$   
während des Arbeitens . . . . .  $n = 475$

so betrüge die Schlüpfung . . . . .  $\frac{500 - 475}{500} = 5\%$

Die letzte Betrachtung wurde noch angestellt, weil man in entsprechender Weise auch vom Schlüpfen des Ankers eines Elektromotors in bezug auf das magnetische Feld spricht, wovon später die Rede ist.

5. Wie wir bei allen vorher besprochenen Arbeitsleistungen der verschiedensten Art immer auf das Produkt aus einer Stromstärke  $Q$  und einem Gefälle  $H$ , einer Spannungsdifferenz oder kurz Spannung kamen, so ist auch beim elektrischen Strome die Leistung

$$L = \text{Stromstärke} \cdot \text{Spannung} \\ = i \cdot e$$

oder: 
$$N = \frac{i \cdot e}{75 \cdot 9,81} = \frac{i \cdot e}{736} \text{ Pferdekraften in 1 Sekunde,}$$

aber die Bezeichnungen der Einheiten sind hier andere. Wie bereits früher festgestellt ist, heißt:

- Die Einheit der Stromstärke  $i$  das Ampère (A)
- „ „ „ Spannung  $e$  „ Volt (V)
- „ „ des Produktes  $i \cdot e$  „ Voltampère (VA) oder Watt (W).

Vergleicht man die beiden Werte:

$$\boxed{75 \cdot 9,81 \text{ Massen Kilogramm-Meter} = 736 \text{ Voltampère oder Watt,}}$$

so darf man mit einem gewissen Vorbehalt doch wohl sagen, daß 1 VA, oder 1 W der Elektrotechnik nichts anderes als 1 Sekunden-Massen-Kilogramm-Meter der Mechanik ist und daß auch hier der innige Zusammenhang zwischen unseren drei Wissenschaften: Mechanik, Maschinenteknik und Elektrotechnik besteht, welcher der gemeinschaftlichen Grundlage entsprechen muß.

#### Zahlenbeispiele.

Noch einige möglichst einfache, in systematischen Zusammenhang gebrachte Zahlenbeispiele aus der Mechanik, der Maschinenteknik und der Elektrotechnik sollen die Behauptung bestätigen:

1. Stiegen wir bei  $Q = 75$  kg Körpergewicht auf einem steilen Wege oder einer steilen Leiter („Fahrt“) in die Höhe, so daß senkrecht, also in der Richtung des Gewichtes unsere Geschwindigkeit (Weg in 1 Sekunde)  $H = 1$  m betrüge, so würden unsere Beinmuskeln zu leisten haben:

$$N = \frac{75 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m}}{75} = 1 \text{ Pferdekraft/Sekunde.}$$

2. Würde die Leiter zu einem Rade gekrümmt und durch eine Verarmung mit einer Drehachse verbunden, so würde das so gebildete (Sprossenrad) „Steigrad“

unter unseren Füßen sich drehen, während wir, scheinbar mit 1 m Geschwindigkeit vertikal aufwärts steigend, unseren Ort nicht verändern. Auf diese Weise würde auf das durch unser Körpergewicht ( $Q = 75$  kg) gedrehte Rad ebenfalls  
1 Pferdekraft/Sekunde

übertragen.

3. Hätte das Rad anstatt der Leitersprossen Wasserzellen, in welche von oben her ununterbrochen 75 kg (75 Liter) Wasser in jeder Sekunde einfallen und verließe dann das Wasser unser Wasserrad erst nachdem es in demselben in vertikaler Richtung 10 m zurückgelegt hat, so würde das Wasser durch sein Gewicht

$$N = \frac{75 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m}}{75} = 10 \text{ Pferdekraft/Sekunden}$$

auf Drehung des Rades übertragen. Man würde 10 m das Wassergefälle im Rade (Nutzgefälle) nennen. Das Gesamtgefälle ist im allgemeinen größer.

4. Setzen wir uns am unteren Teile des „Sprossenrades“ auf einen Sitz, gegen dessen Lehne wir fest unseren Rücken legen können, treten nun mit unseren Füßen abwechselnd, aber ununterbrochen gegen die Sprossen tangential zum Rade mit 75 kg Kraft und nimmt dabei das „Tretrad“ (an der getroffenen Stelle) eine Umfangsgeschwindigkeit 1 m an, so würden wir tretend durch unsere Beinmuskeln wieder

$$N = \frac{75 \cdot 1}{75} = 1 \text{ Pferdekraft/Sekunde}$$

auf das Tretrad übertragen.

5. Ist der Zähndruck in einem zusammenarbeitenden Räderpaare oder der Zug im Riemen, im Seile, in der Kette eines Triebwerkes, oder die Zugkraft der Pferde an den Strängen eines Wagens, oder der Dampf- bzw. elektrischen Lokomotive an der Zugstelle 150 kg und die Geschwindigkeit der Fortbewegung in der Richtung der Zugkraft 2 Meter, so würde in allen Fällen die Leistung dieser Kraft betragen

$$N = \frac{150 \cdot 2}{75} = 4 \text{ Pferdekraft/Sekunde.}$$

6. Wären für eine Schachförderung  $P = 7500$  kg als Nutzlast mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von  $v = 10$  m zu heben, so würden dafür erforderlich sein

$$N = \frac{7500 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m}}{75} = 1000 \text{ Nutzpferdekraft/Sekunde.}$$

7. Wird die Fördermaschine durch einen elektrischen Strom angetrieben, dessen Spannung  $e = 500$  Volt beträgt, so wäre zur Hervorbringung jener 1000 Pferdekraft eine Stromstärke  $i$  erforderlich, die sich aus folgender Gleichung ergibt:

$$N = 1000 = \frac{i \cdot 500}{75 \cdot 9,81} = \frac{i \cdot 500}{736}$$

$$i = \frac{1000 \cdot 736}{500} = 1472 \text{ Ampère.}$$

Der „Verbrauch“ der Antrieb-Dynamomaschine (des Elektromotors) zur Leistung der 1000 Pferdekraft ist aber ein noch größerer, weil auch noch die Nebenarbeit (oder Leerarbeit) zur Überwindung der Reibung, der Stöße usw. zu verrichten ist. Angenommen es wären hierzu 20% Mehrverbrauch erforderlich, so müßten an den Elektromotor aus dem Leitungs-„Netz“ (welches von der Dynamomaschine, oder von der Akkumulator-Batterie gespeist wird) abgegeben werden:

$$1472 + \frac{1472}{100} \cdot 20 = 1766 \text{ Ampère.}$$

Hiermit habe ich schon wieder meinen nachsichtigen Leser unversehens aus dem mechanischen Gebiete in das elektrische „hinübergearbeitet“ und höre den Vorwurf „daß es ihm wie ein Mühlenrad im Kopfe herumgeht“. Aber ich wußte nicht, wie ichs besser machen sollte, um die betreffenden Wissenschaften „unter einen Hut“ zu bringen.

### Gesetz von der Wechselwirkung.

Dasselbe ist im Grunde genommen auch schon im Trägheitsgesetz enthalten.

Die Natur folgt nur dem Zwange. Differenzen müssen gewaltsam erzeugt werden, die Natur sucht sie wieder auszugleichen. Mögen wir Wasser heben, Elektrizität durch Reiben, Magnetismus durch Streichen erzeugen, die Natur setzt jeder Wirkung einen Widerstand, eine Gegenwirkung entgegen, die nur den Namen wechselt in den Bezeichnungen der Menschen; hier sich als Beschleunigungswiderstand (Trägheit, Beharrung) und Reibungswiderstand, dort bei allen Dynamomaschinen als sog. „elektromotorische“ (Elektrizität bewegende) Gegenkraft („Induktionswiderstand“) äußert.

Ganz verkehrt aber wäre es, wollte man diese Gegenwirkung, besonders die uns nahestehende, eben genannte, später behandelte, elektromotorische Gegenwirkung als Verlust, als ein unvermeidliches notwendiges Übel ansehen, welches man in allen Fällen und mit allen möglichen künstlichen Hilfsmitteln aus der Luft schaffen müßte. Sie tritt vielmehr meist als derjenige Widerstand auf, dessen Überwindung die Nutzleistung ausmacht.

Wer gern der Sache auf den Grund geht, wird folgende Beispiele, die zur Anregung dienen sollen, nicht für überflüssig halten:

Die Drehung des Wellbaumes eines Aufzughaspels erscheint uns beim „Leerlauf“, also solange wir „Hängeseil“ aufwickeln, mühelos, aber sozusagen auch überflüssig. Erst wenn der am unteren Ende des Seiles hängende beladene Förderkorb von der Sohle abgehoben wird, beginnt mit dieser Gegenkraft unsere Nutzleistung.

Eine Hand-Dynamomaschine läßt sich spielend drehen. Erst wenn die eingeschaltete Glühlampe zu glühen beginnt, sehen und fühlen wir, entsprechend dieser entstehenden und allmählich zunehmenden, widerstehenden Gegenkraft, daß wir etwas nützliches zu „leisten“ haben.

Lassen wir gleichsam den Arbeitsstrom eines Treibriemens über eine Trieb-scheibe sich ergießen, so ist es gerade die der Bewegung sich widersetzen- de Reibung zwischen Scheibenumfang und Lederriemen, welche die nützliche Arbeit überträgt. Ohne Reibung würde der Riemen wirkungslos über die Scheibe „schlüpfen“.

Der „Anlauf“, „Beharrungszustand“ und „Endlauf“ eines großen Dampfschiffes sollen uns das Gesagte noch besser veranschaulichen und auf später zu besprechende Vorgänge, die nicht minder wichtig sind (z. B. bei allen Fördermaschinen im Schacht und auf der Eisenbahn), vorbereiten.

Wir stehen am Kiel des Schiffes. Die Betriebsmaschine wird angelassen. Das Schiff kommt in Bewegung.

In dieser „Beschleunigungsperiode“, dem „Anlauf“, sind zuerst der Beschleunigungswiderstand, die „Trägheit“ des Schiffskörpers selbst und die Reibung zwischen Schiff, Wasser und Luft, dann auch bald die ebenfalls aus Reibung und Trägheit erwachsende, deutlich sichtbare, sich noch äußernde Gegenkraft zu überwinden, mit welcher das am Kiel sich auftürmende Wasser die Bewegung des Schiffes zähmt und regelt.

Während des „Beharrungszustandes“ besteht die nützliche Arbeit der Betriebsmaschine darin, den geschilderten Zustand dauernd aufrecht, gleichsam „im

Fluß“, zu erhalten. Das Schiff „fließt“ dahin unter dem Einflusse dieser Gegenkräfte, die sämtlich selbstregelnd ausgezeichnet dessen Bewegung beeinflussen.

Würde jetzt, um den „Endlauf“ herbeizuführen, die Betriebsmaschine plötzlich abgestellt, so würde (wenn das Schiff masselos, also ohne Beharrung wäre) die Gegenkraft seitens des Wellenberges das Schiff rückwärts treiben und auch auf diese Weise deutlich ihre Wirkung äußern.

Hörte umgekehrt während des Beharrungslaufes des Schiffes die Summe der Gegenkräfte plötzlich zu wirken auf, so würde die Betriebsmaschine mit voller Kraft, wie ein entfesselt mutiges Pferd „durchgeben“, immer und immer schneller dahinrasen, und sich selbst zerstören. So erkennen wir bei weiterem Blick, daß die Gegenkraft überall vorhanden ist, nötig und nützlich wirkt.

Entsprechendes gilt auch für das „elektrische Bremsen“ die Selbstregelung der später behandelten Dynamomaschinen.

Auch erinnern die oben berührten Wechselbeziehungen zwischen Wasserberg und Schiffskiel unwillkürlich an die Vorgänge der Sekundärbatterien (Akkumulatoren), die vorläufig hier nur kurz und bruchstückweise geschildert werden können. Durch eine gewisse Triebkraft, die „Scheidkraft“ genannt werden mag, wird eine Druckdifferenz zwischen den Elektroden (Bleiplatten) und dem Elektrolyt (verdünnter Schwefelsäure) geschaffen, welche den elektrischen Strom veranlaßt, der dann aber, wenn die erforderlichen Bedingungen erfüllt werden, sich in den Gegenstrom (Polarisations-Strom) umkehrt. In diesem Falle nützen wir tatsächlich nur die mit Fleiß erzeugte und aufgespeicherte (accumulare, anhäufen) Gegenkraft (Polarisation) aus und denken an die treibende Kraft des Wasserberges am Schiffskiel. Schon aus diesem Grunde glaubte ich dieses uns noch etwas fernliegende Beispiel hierherzusetzen zu dürfen. Die Akkumulatoren werden später gründlich behandelt.

### Gesetz von der Unabhängigkeit der Wirkungen.

Bruchstücke aus der Wellenlehre im allgemeinen und in bezug auf die „elektrischen Wechselströme“.

Kleine Badegäste am Strande spielen mit einem Schiffchen. Unzufrieden, daß es regungslos auf der spiegelglatten Fläche ruht, werfen sie in dessen Nähe Steine ins Wasser. Nun hebt es sich über den Wellen, die von sämtlichen Steinwürfen in immer größeren Ringen aus Berg und Tal, „selbständig und unabhängig“ voneinander, sich ausbreiten und summieren, wo ihre Wellenberge zusammenfallen. Zugleich kommen noch andere Wellenringe heran, von links her große, veranlaßt bei der Durchfahrt eines Dampfers, von rechts her die kleinen Wellenzüge eines Ruderbootes. Selbst die fortlaufende Wellenkrause, welche eine Möve erregte, indem sie im Vorüberfliegen mit dem Schnabel einen der vorhandenen Wellenberge ritzte; wird dem Beobachter sichtbar. Auch sie verbreitet sich vom Erregungsorte und bildet im Verein mit den anderen auf der Meeresfläche ein buntes Wellendurcheinander, dessen Wellenzüge aber durch den scheinbaren Wirrwarr hindurch dennoch unabhängig voneinander verfolgt werden könnten. Alle Wellen ziehen unter dem Schiffchen her, lassen es auf- und niedertanzen und zeigen so die „transversalen“, also senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung der fortschreitenden Wellen ausgeführten, aus Einzelschwingungen zusammengesetzten, Schwingungen der ursprünglich ruhenden Wasserteilchen.

Von dem bewegten Bilde nach allen Seiten hin ausgesandte Lichtstrahlen (transversale Ätherschwingungen) treffen die vor Freude glänzenden Augen der Kinder. Mit Blitzesschnelle teilt der Sehnerv (ebenfalls wohl durch Transversalschwingungen) den Eindruck der Zentralstelle des Empfindens im Gehirn mit. Von hier aus wird sofort nach Kehlkopf und Brustkasten telegraphiert und ein heftiger



Luftstrom aus der Lunge setzt die straffgespannten Stimmbänder in Transversal-schwingungen. Von diesen dann breiten sich, jetzt aber „Longitudinal-Schwingungen und Wellen der Luftteilchen durch die Luft bis zu den Ohren der Nachbarinnen kugelförmig aus, behämmern hier derart die Trommelfelle, daß aus dem hellen, vereinten Kinder-Jauchzen jede Mutter am Badestrande das einzelne Stimmchen ihres Lieblings heraushört nach Stärke, Höhe und Klang mittelst des größten Wunderwerkes der Schöpfung. Sogar dem Ohre des daheimgebliebenen Vaters würde mit Hilfe einer Fernsprecheinrichtung (Telephon) auf größere Entfernung sich die Kinderstimme zu erkennen gegeben haben.

Kommt da dem Beobachter nicht der Gedanke, daß die auf dem Trommelfelle und den Stahlplatten der Telephone liegenden Lufthämmerchen, jene wohl so bearbeiten müßten, daß sie im Kleinen eine abwechselungsreiche wellenförmige Gestalt annehmen, die an jenes gesetzmäßige Durcheinander der Meeresfläche erinnert; zumal wenn er die Arbeit eines Phonographen, der die Töne aufzeichnet, beobachtet? Und fügen wir nun noch zur Ergänzung die mannigfaltigen Wellenbewegungen der „drahtlosen Telegraphie“ hinzu, so dürfen wir wohl sagen, daß alles in der Natur wallt und welt.

Nach diesem allgemeinen Überblick über die Wellenbewegung müssen wir nun noch etwas gründlicher auf die Einzelheiten dieser für die Dynamomaschinen, besonders aber auch für die eben genannte „drahtlose Telegraphie“ wichtigen Vorgänge eingehen. Denn jede Dynamomaschine, auch die Gleichstrom-Dynamomaschine, ist ursprünglich eine Wechsel-, oder wie man ebensogut sagen könnte, eine Wellen-Dynamomaschine.

1. a) Fortlaufende Schwingungen und Wellen. Bringen wir den einen Endpunkt A eines straff gespannten, elastisch biegsamen Seiles (oder Gummischlauches) durch einen kurzen Stoß aus der Gleichgewichtslage, so werden hier die erschütterten Teile in pendelartig hin- und hergehende Schwingungen um die ursprüngliche Gleichgewichtslage versetzt. Diese Schwingungen pflanzen sich in rascher Aufeinander-Folge, also nacheinander von Teil zu Teil durch das Seil fort und erzeugen durch ihr Auf- und Nieder-Wallen eine vom Erschütterungspunkte A nach B fortlaufende Welle (Wellenlinie, Sinuslinie), welche, nun an dem anderen Endpunkte gleichsam brandend, die ursprünglich an A abgegebene Arbeitsleistung auf den um die Seillänge entfernten Punkt B überträgt und hier nun sich als „Fernwirkung“ äußert.

Wir haben hier einen der einfachsten Fälle der durch Wellenbewegung eines festen Mittels bewirkten Kraftübertragung oder Fernwirkung nach einer bestimmten Richtung.

Und hierbei erinnern wir uns noch an zweierlei: einmal, daß die einzelnen Massenteilchen senkrecht (transversal) zur Fortpflanzungsrichtung um ihre Gleichgewichtslage auf verhältnismäßig kleinen Bahnen (kleiner Amplitude) schwingen (Transversalschwingungen) und zweitens, daß nicht etwa die Massenteilchen von A nach B fortschreiten; denn das, was auf selbst große Entfernung mit der Geschwindigkeit  $c$  fortschreitet, ist nur ein Bewegungszustand, veranlaßt durch die schnelle Aufeinander-Folge der kleinen Schwingungen um eine feste Gleichgewichtslage.

b) „Stehende“ Schwingungen sind das notwendige Ergebnis regelmäßig wiederholter, fortlaufender Wellen und lassen sich deshalb in unserem Seile leicht schon dadurch erzeugen, daß man in regelmäßiger Aufeinanderfolge von A aus Wellen aussendet. Diese treffen dann mit den bei B reflektierten und zurückkehrenden Wellen zusammen. Das Zusammentreffen (Interferenz, interfere zusammentragen) veranlaßt feststehende „Knotenpunkte“, die als scheinbare Ruhepunkte (Durchgangspunkte entgegengesetzt gerichteter, gleich großer Schwingungsanstöße) die „Wellenbäuche“ voneinander trennen. Knotenpunkte und Bäuche

sind deutlich und leicht am Seil sichtbar zu machen, ebenso leicht auch an jeder schwingenden Klaviersaite und zeigen sich ganz von selbst in unzähligen Fällen des gewöhnlichen Lebens und der Technik dem aufmerksamen Beobachter.

Beim Begießen meiner Topfgewächse beobachte ich, daß der austretende glatte Wasserstrahl an seinem Umfange sofort „stehende“ Wellenringe an der Stelle zeigt, an welcher er aufschlägt oder man ihn gegen eine feste Fläche (Handfläche) treten und hier reflektieren läßt. Aber auch der freierunterfallende Wasserstrahl zeigt am unteren Ende solche Ringe, die zuletzt als Tropfen sich zusammenziehen. Sehr schön zeigen sich Knoten und Bäuche bei einer kräftig angestrichenen Baßsaite, in den Fäden der Spinnmaschinen beim Ausfahren des Spindelwagens.

Das Meer zeigt wohl auch seine stehenden, in den Sand eingegrabenen Schwingungen dem bei eben eingetretener Ebbe über den Meeresboden wandelnden Badegaste. Jeder musikalische Ton ist das Ergebnis „stehender Schwingungen oder Wellen“. Auch die Erscheinungen und Wahrnehmungen bei Licht und der „drahtlosen Telegraphie“ sind auf „stehende“ Schwingungen und Wellen zurückzuführen.

Die Welle (von der Länge  $l$ ), bestehend aus einem positiven Teile (Wellenberg) und einem negativen (Wellental), veranschaulicht zugleich die an den einzelnen Stellen augenblicklich herrschenden veränderlichen Spannungen  $e$ . Die größten Spannungen  $e = E$ , welche den Scheiteln der „Wechsel“ entsprechen und die kleinsten Spannungen  $e = 0$ , welche mit den augenblicklichen Durchgangspunkten der Welle durch die ursprüngliche Gleichgewichtslage zusammenfallen, stehen stets um  $\frac{1}{4}$  Wellenlänge voneinander ab, was wir uns für folgende Betrachtungen (Zirkularpolarisation, Wirbelbewegung, wattlosen Strom) schon hier merken wollen.

Auf sehr einfache Weise kann man solche Wellenlinien noch auf die verschiedenartigste Weise erzeugen.

Zieht man unter einem Schreibstift, der sich von einem Punkte A aus auf und niederbewegt, senkrecht dazu einen Papierstreifen gleichmäßig (durch ein Uhrwerk) fort, so beschreibt der schwingende Stift auf dem Papier eine Wellenlinie. Praktisch ermittelt man auf ähnliche Weise, z. B. auch die Schwingungszahl einer Stimmgabel. Nur mit dem Unterschiede, daß man den schwingenden Zinken der angeschlagenen Stimmgabel, den Stiel nach vorn gehalten, über eine berußte Glasfläche so hinzieht, daß der Zinken eben seine Schwingungsbewegung in die Rußhaut einzeichnet. Auch beruhen auf diesem Vorgange alle Registrier-Apparate, zu denen man auch den Wattsehen Indikator rechnen könnte\*). Die Bewegung des Stiftes kann, anstatt in einer geraden, auch in einer Kreislinie, z. B. dem Warzenkreise einer Kurbel, oder auch in einer Ellipse erfolgen.

2. Denken wir uns den Endpunkt B des straff gezogenen Seiles um A als Mittelpunkt in horizontaler Lage herumgedreht, so beschreibt hierbei das Seil eine horizontale Kreisfläche vom Halbmesser A B.

Die Erschütterung des Punktes A pflanzt sich jetzt in dieser straff gespannten Fläche (Trommelfell, Stahlplatte im Telephon) strahlenförmig (radial) nach allen Richtungen in dieser Ebene fort und veranlaßt Kreisring-Wellen, die von A aus in immer größeren konzentrischen Kreisen nach außen verlaufen. Derartige Wellen laufen über eine ursprünglich spiegelglatte Wasser-Oberfläche, in welche wir bei A einen Stein werfen. Im letzteren Falle haben wir eine Fernwirkung in einem tropfbar-flüssigen Mittel und auch hier würde ein auf der Wasseroberfläche schwimmendes Holzstückchen belehren, daß nicht ein Fortfließen des Wassers, sondern des Bewegungsvorganges stattfindet, wie bereits oben hervorgehoben wurde.

\*) Seit kurzem wird von der Firma Siemens und Halske ein Registrier-Apparat (Oscillograph) gebaut, der ähnlich dem Wattsehen Indikator die Eigentümlichkeiten jeder Dynamomaschine aufzeichnet.

Noch deutlicher wird ein derartiges Fortfließen des Bewegungszustandes in einem vom Winde bewegten Ährenfelde oder einer Grasfläche veranschaulicht, wo wir ja ganz deutlich sehen, wie die einzelnen Ähren nacheinander auf ihren Halmen dieselbe pendelartige hin- und herschwingende Bewegung ausführen und auf diese Weise den Eindruck der fortfließenden Wellen hervorrufen.

3. Denken wir uns von A aus radiale Strahlen nach allen Richtungen, so stellen sie als Gebilde eine homogene Kugel vom Halbmesser AB dar.

Die Erschütterungen im Mittelpunkte A pflanzen sich jetzt in dieser gedachten elastischen gleichartigen Kugelmasse strahlenförmig nach allen Richtungen im Raume in konzentrischen Kugelschalen-Wellen mit wachsenden Radien fort.

Eine derartige Fortpflanzung einer ursprünglichen Bewegungsänderung (Erschütterung) durch periodisch aufeinanderfolgende Transversalschwingungen kleinster Teile nehmen wir im sog. Äther für die strahlenförmige Ausbreitung des Lichtes und der Elektrizität bezw. des Magnetismus, also auch bei der „drahtlosen Telegraphie“ an.

Nach dem Gesetz der Unabhängigkeit der Wirkungen werden durch Zusammenwirken einzelner Schwingungen und Wellen neue zusammengesetzt, von denen einige besonders wichtige im folgenden besprochen werden müssen.

Hierbei aber ist nach ganz allgemein geltenden Regeln der Mechanik zu beachten, daß:

1. bei gleichartigen Wellen, d. h. nur für Spannungswechsel  $e$ , oder nur für Stromstärkewechsel  $i$ , die gleichzeitigen Werte von  $e$  oder von  $i$  für sich einfach zu addieren sind, wenn sie in derselben Ebene, oder nach dem Parallelogramm-Gesetz zusammensetzen sind, wenn sie in verschiedenen Ebenen liegen;
2. bei ungleichartigen, z. B. für  $e$  und  $i$ -Wellen dagegen, entsprechend dem Begriff der Arbeitsleistung (Kraft mal Weg in der Richtung der Kraft) die gleichzeitig in derselben Richtung vorhandenen Anteile von  $e$  und  $i$  zu multiplizieren (nicht zu addieren) sind. Wie das zu verstehen ist, wird aus den folgenden Betrachtungen noch besser hervorgehen.

Anmerkung. Zirkularschwingungen. Wirbelbewegung. Zirkularpolarisation.

Es ist (ganz allgemein für alle Strahlen, also auch die elektrischen, und alle Mittel, also auch die „magnetischen Felder“, in denen die Strahlen und magnetischen Kraftlinien sich ausbreiten) anzunehmen, daß in einem gleichartigen (homogenen) Mittel ein „gewöhnlicher“ Strahl sich fortpflanzt, d. h. ein solcher Strahl, in welchem die getroffenen Teilchen nicht in bevorzugten Ebenen, sondern nach allen Richtungen ihre transversalen Schwingungen ausführen. Dagegen müssen in einem ungleichartigen (unhomogenen) Mittel, das also in bestimmter Weise ausgezeichnet ist, sich „polarisierte“ d. h. Strahlen ausbilden, in welchen die einzelnen Teilchen, zwar auch noch transversal, aber vorwiegend nur in bestimmten (meist senkrecht zu einander stehenden) Ebenen schwingen. Nun liegt es auf der Hand, daß durch verschiedenartiges Zusammenwirken (Interferenz) solcher eigentümlichen Strahlen auch mannigfaltige Wirkungen hervorgebracht werden müssen.

Erfolgt in solchen polarisierten Strahlen die Schwingung in zwei senkrecht zu einander stehenden Ebenen und wäre der Wellenzug in der einen Ebene gegen den in der anderen Ebene um  $\frac{1}{4}$  Wellenlänge verschoben (Phasen-Verschiebung), so würde durch Zusammensetzen der beiden Wellen sich eine schraubenförmig gewundene Welle ergeben, d. h. die gleichzeitig von beiden Wellenzügen getroffenen Ätherteilchen würden nicht mehr durch die ursprüngliche Gleichgewichtslage schwingen, sondern in ihrer Aufeinanderfolge jetzt auf einer Schraubenlinie liegen, die um die ursprüngliche Gleichgewichtslage (Strahlrichtung) als Achse verläuft. Anstatt der obigen (durch die Sinuslinie veranschaulichten) Wellenbewegung ergibt sich eine Art Wirbelbewegung um den Strahl.

Man kann auf die allereinfachste Weise aus der einfachen Schwingungsbewegung eines Oscillationspendels (eines an einem Faden hängenden, durch die Gleichgewichtslage schwingenden Messers, Schlüssels) eine derartige Kreisel-Bewegung des sog. konischen oder Zentrifugalpendels machen, wenn man dem (Messer, Schlüssel am) Oscillationspendel in dem Augenblicke, in welchem es um  $\frac{1}{4}$  Schwingung aus seiner Gleichgewichtslage sich entfernt, also die größte Schwingungsweite (Amplitude) hat, einen senkrecht zur

Schwingungsebene gerichteten Anstoß gibt. Der am Faden hängende Körper (Messer, Schlüssell) wirbelt jetzt um die ursprüngliche Gleichgewichtslage herum, ohne dieselbe während der Schwingung jemals wieder einzunehmen. Hebt oder senkt man den Aufhängepunkt unseres konischen Pendels, so beschreibt der schwingende Punkt obige Schraubenlinie und wir gewinnen durch diesen einfachen rohen Versuch eine Vorstellung von der oben geschilderten Wirbelbewegung.

Diese Schilderung möchte zum Nachdenken anregen über die Zirkularpolarisation des Lichtes, die nur in unhomogenen Kristallen und die Wirbelbewegung des elektrischen Stromes (Foucault- oder Wirbel-Stroms), die nur im unhomogenen „magnetischen Felde“ zustande kommen kann. Unwillkürlich denkt man hierbei auch an das „rotierende magnetische Kräftefeld“, welches jeder elektrische Strom in seiner Umgebung erzeugt und das auf der Abbildung 2 durch Eisenfeilspäne veranschaulicht ist. Auch Wirbelwind (Zyklon), Wasser- und Windhose mögen hier noch erwähnt werden.

### Phasen-Verschiebung. Leer-Strom. (Wattloser Strom.)

Die Phasen-Verschiebung zwischen Spannung  $e$  und Stromstärke  $i$  ist eine dem Elektrotechniker wohl bekannte, die Untersuchungen des Wechselstromes wesentlich erschwerende, aber, wie wir bald einsehen werden, eine allgemeine bei jeder Bewegungs-Änderung (nach Geschwindigkeit und Richtung) infolge der „Trägheit“ eintretende Erscheinung.

Auf fester, glatter wagerechter Fläche steht ein schwerer Wagen auf sehr leicht drehbaren Laufrädern.

Ist derselbe in Bewegung gesetzt, so möchte die Kraft eines Kindes ausreichen, seine Bewegung dauernd in derselben Richtung zu erhalten. (Gleichstrom.)

Ganz anders gestaltet sich der Vorgang, wenn wir versuchen, den Wagen in rascher Aufeinanderfolge in hin- und hergehende Schwingungen zu versetzen (Wechselstrom). Wir würden wohl nicht instande sein, die „träge“ Masse in je einer Sekunde um 1 m vorwärts und rückwärts zu schwingen.

Was uns aber zweitens noch besonders hierbei auffallen muß, ist, daß die erzeugte Bewegung zeitlich stets hinter der erzeugenden Anspannung unserer Kraft zurückbleibt; kurz gesagt, die Bewegung zeitlich gegen die Spannung um so mehr verschoben ist, je größer die zu beschleunigenden Massen sind.

Was vom Wagen gilt, muß mehr oder weniger auffallend bei jedem Bewegungs-Wechsel ohne Ausnahme der Fall sein. Der Elektrotechniker würde beim Wechselstrom sagen, es findet eine Verschiebung zwischen Spannung  $e$  (Ursache) und Strom  $i$  (Wirkung) statt (infolge von Selbstinduktion)\*).

Wenn wir diese für alle Fälle geltende Beobachtung wieder durch die betreffenden Wellenlinien darstellen, so finden wir daß eine seitliche Verschiebung in der Phase, „Phasen-Verschiebung“ eintritt, denn es fallen weder die Nulllagen, noch die Höchstwerte zusammen.

Um das bildlich klarzustellen, denkt man hierbei an eine Kreisbewegung. Betrüge also z. B. die Phasenverschiebung  $\frac{1}{4}$  der ganzen Wellenlänge (Fig. 12) so wären  $e$  und  $i$  um  $\frac{1}{4}$  Kreis gegeneinander verschoben zu zeichnen und die Phasenverschiebung (man möchte sagen: der Verzögerungswinkel) wäre  $90^\circ = \varphi = \pi/2$ .

1. In der Figur 12, 1 ist keine Phasenverschiebung gedacht, also  $\varphi = \text{Null}$ .

Dieser Fall kann nur eintreten bei Gleichstrom, aber auch bei Wechselstrom angenähert, wenn der Strom der bewegenden Kraft nur unerhebliche Beschleunigungs-Widerstände (Bewegungs- und Richtungsveränderungen) entgegenstellt. Der Elektrotechniker spricht dann von einem induktionsfreien Widerstande, wie solchen u. a. Glühlampen entgegenstellen.

2. In Figur 12, 2 sind  $e$  und  $i$  um den Winkel  $\varphi = 90^\circ$  gegeneinander verschoben.

\*) Auch hier begegnen wir wieder der Verwandtschaft zwischen „Trägheit“ in der Mechanik und „Selbstinduktion“ in der Elektrotechnik.

Da aber  $e$  und  $i$  nach dem Arbeitsbegriff  $e \cdot i$  in derselben Richtung genommen werden müssen, ist es erforderlich, entweder  $i$  auf die Richtung von  $e$ , oder  $e$  auf die Richtung von  $i$  zu projizieren, Figur 18, um als Leistung das Produkt

$$e \cdot (i \cos \varphi) \text{ oder } i \cdot (e \cos \varphi), \text{ also in beiden Fällen}$$

$$L = \cos \varphi \cdot e \cdot i \text{ Watt}^*)$$

zu erhalten.

Der Ausdruck lehrt, daß die Leistung (der Effekt) von dem Werte  $\cos \varphi$ , dem sog. „Leistungsfaktor“ (Phasenfaktor) abhängt.

Für  $\varphi = 0$  hat  $L = e i$  seinen größten Wert, dagegen für  $\varphi = 90^\circ$  wird  $\cos 90^\circ = \text{Null}$ , also

$$L = \text{Null Watt (Figur 12, 2).}$$

Man spricht im letzten Falle vom „Leerstrom“ oder „wattlosen Strom“.

Daß der Begriff, wenn auch nicht die Bezeichnung in der Mechanik längst bekannt ist, zeigt folgendes Zahlenbeispiel:

Stellte man sich

unter  $e$  eine Kraft  $P = 100 \text{ kg}$

„  $i$  einen Weg  $s = 50 \text{ m}$  vor und schloßen Kraft und Weg den Winkel

$\varphi = 30^\circ$  ein, so wäre, da  $\cos \varphi = 0,866$  ist, die Kraftleistung:

$$L = 0,866 \cdot 100 \cdot 50 = 433,0 \text{ mkg};$$

für  $\varphi = 90^\circ$ , da  $\cos \varphi = 0$ , wäre dagegen:

$$L = 0 \cdot 100 \cdot 50 = \text{Null mkg}.$$

Beispiele aus der Mechanik: Bei horizontalen Bewegungen ist die Leistung der vertikal gerichteten Schwerkraft gleich Null.

Bei Kreisbewegungen verrichtet die radial gerichtete Zentripetalkraft die mechanische Arbeit Null, weil auch in diesem Falle Kraft- und Wegrichtung jederzeit einen Winkel  $\varphi = 90^\circ$  mit einander einschließen, also  $\cos \varphi = \text{Null}$  ist.

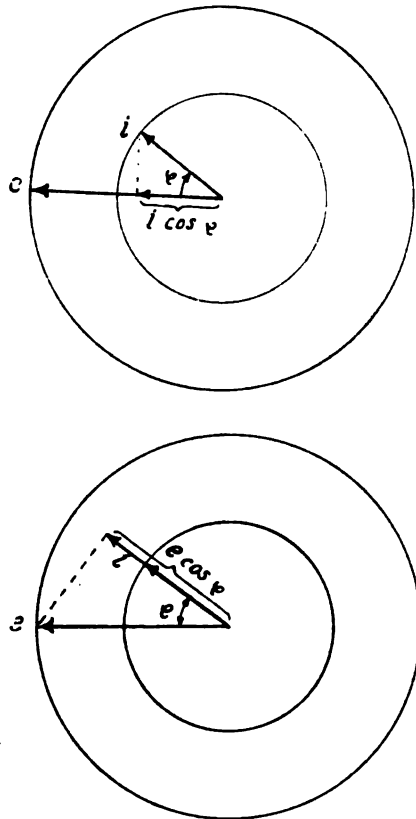
Bemerkung. Wir dürfen aber bei den obigen Auseinandersetzungen nicht unbeachtet lassen, daß nach der Natur eines jeden (mechanischen und elektrischen) Wechselstromes Spannung und Stromstärke zwischen Null und ihren Maximalwerten  $e_1, i_1$  veränderlich sind, daß deshalb die in obiger Leistungs-(Effekt) Formel eingeführten Werte  $e$  und  $i$ , die sog. „Effektiven“\*\*) sein müssen. Dieselben stehen zu den Maximalwerten in einer bestimmten Beziehung, nämlich:

$$e = \frac{e_1}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot e_1 \quad i = \frac{i_1}{\sqrt{2}} = 0,707 i_1.$$

\*) Daß das Watt dem Sekunden-Massen-Kilogramm der Mechanik entspricht, wurde bereits oben in dem Absatz, der von „mechanischer Arbeit“ handelt, angedeutet.

\*\*) Die Bezeichnung „effektiv“ ist 1889 auf dem Pariser Kongress angenommen.

Fig. 18.



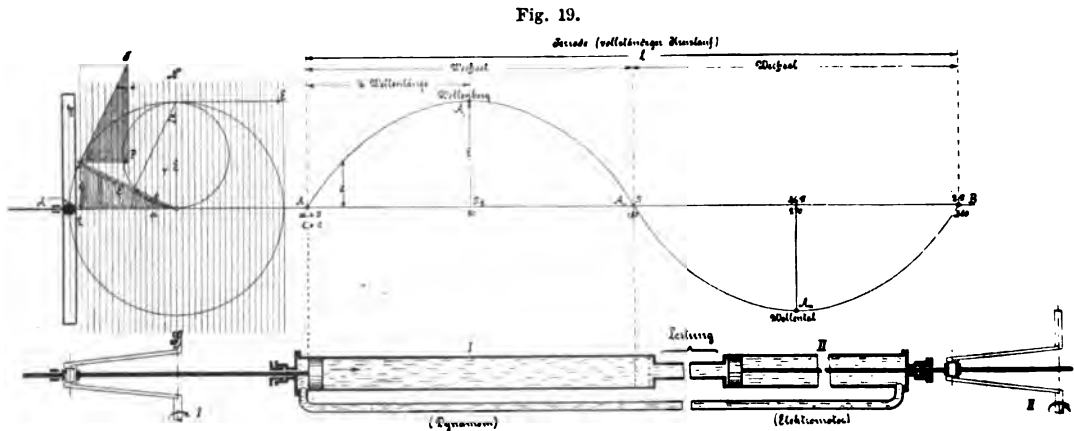
Für  $\cos \varphi = 0,8$ ,  $e_1 = 1000$ ,  $i_1 = 100$ , wäre dann nach unserer Formel die Leistung:

$$L = 0,8 \cdot 0,707 \cdot 1000 \cdot 0,707 \cdot 100 = 39987,92 \text{ Watt} = \frac{39987,89}{736} = \text{etwa } 54 \text{ Pferdekräfte.}$$

**Veranschaulichung des Induktionsgesetzes (Faraday) mittels des Kurbelschleifen-Getriebes.** (Zustandekommen des Induktionsstromes (Wechselstromes) der Dynamomaschinen.)

Die Entstehung einer Welle läßt sich noch leicht veranschaulichen mit Hilfe eines maschinentechnischen Getriebes, welches als „Kurbelschleife“, besonders bei kleinen Dampfkessel-Speisepumpen und anderen Übertragungen einer Kreisbewegung in eine geradlinige, Verwendung findet und bezweckt die Anwendung einer Schubstange zu umgehen (Fig. 19).

Gerade die Kurbelschleife ist noch aus einem anderen Grunde gewählt. Denn die an ihr auftretenden Bewegungs- und Kraftverhältnisse sollen uns hinüberleiten auf die Erzeugung des Induktions-Stromes (Wechselstromes) in den Dynamomaschinen nach der von Faraday herrührenden und heutzutage wohl von den



meisten Elektrotechnikern angenommenen Auffassung. Hiernach wird ein elektrischer Strom in Leitern (Drähten und Spulen oder sog. Solenoiden) dadurch erzeugt („induziert“), daß diese Leiter „Kraftlinien“, von denen später unter dem Faradaygesetz gehandelt wird, (senkrecht) schneiden, welche zwischen magnetischen Nord- und Süd-Polen gezogen gedacht, ein „magnetisches Feld“, einen magnetischen Kraft-Strom veranschaulichen. Diese Kraftlinien sind natürlich bildlich aufzufassen, ebenso wie z. B. die Faserspannungen in unseren Baumaterialien oder wie die „Stromfäden“, durch die man die Bewegungsrichtung der einzelnen Wasserteilchen eines Wasserstromes auszudrücken und durch Linien zu veranschaulichen sucht.

Das Faradaysche Gesetz möchte ich deshalb nach den vorangeschickten Erläuterungen in möglichster Kürze folgendermaßen ausdrücken:

Ein elektrischer Strom wird durch Schneiden eines magnetischen Stromes in den schneidenden Strom-Leitern „induziert“\*).

\*) Dieser nur des Zusammenhanges wegen in kürzester Form hergesetzte Satz bedarf der Vervollständigung und Begründung, die später erfolgen.

Doch nun zu unserer „Kurbelschleife“. Wird die Warze A in dem Kurbelwarzenkreise mit der Tangentialkraft  $T = E$  in der Pfeilrichtung herumgeführt, so gleitet sie in dem Schlitz der Kurbelschleife entlang, erst aufwärts nach rechts, dann abwärts, nach links wieder zurück, auf und nieder. Hierbei drückt sie zugleich mit einer Kraft P senkrecht gegen die Schleifenbahn, welche durch die Linie L dargestellt ist. Beim Rückgange tritt Umkehr der Kraftrichtung ein.

Ist die Kurbelwarze um den Bogen  $\alpha$  aus der „Totlage“ A nach rechts aufwärts gedreht, so ist

$$P = T \sin \alpha$$

d. h. bei konstanter Tangentialkraft T ist die veränderliche Kraft P proportional  $\sin \alpha$  und wechselt zwischen

$$P = 0 \text{ für } \alpha = 0 \text{ und}$$

dem Höchstwerte:

$$P = T \text{ „ } \alpha = \pi/2 (= 90^\circ);$$

oder nach Ähnlichkeit der gestrichelten rechtwinkligen Dreiecke:

$$e = E \sin \alpha,$$

d. h. bei konstantem Halbmesser E des Warzenkreises ist ebenfalls e proportional  $\sin \alpha$  und wechselt zwischen

$$e = 0 \text{ für } \alpha = 0 \text{ und}$$

$$e = E \text{ „ } \alpha = \pi/2 (= 90^\circ).$$

Trägt man auf dem gestreckten Kurbelwarzenkreise als Abscisse AB, die den einzelnen Bogenwerten  $\alpha$  entsprechenden Werte e als Ordinaten auf und verbindet deren Endpunkte, so erhält man die Wellenlinie A A, A,, A,,, B (Sinuslinie).

Stellt man sich die Kurbelschleife, beziehungsweise die gedrückte Linie L in allen aufeinanderfolgenden unzähligen Lagen dar, wie es die vertikalen Linien andeuten, so scheint die Kurbelwarze bei ihrer Bewegung im Warzenkreise diese Linien zu durchschneiden, und zwar senkrecht in der Richtung P während gleicher aufeinanderfolgender Zeiten in um so größerer Zahl, je mehr sie sich aus der Totlage entfernt, bzw. je mehr sie sich der höchsten Lage nähert, welche von ersterer um den Bogen  $\alpha = \pi/2 (= 90^\circ)$  absteht. In der Totlage selbst bewegt sich die Warze hier parallel den Linien L, schneidet sie also nicht.

In demselben Maße ändert sich die in die Kurbelwarze gleichsam eingeführte („induzierte“) Spannung e, herrührend von dem Widerstande der Schleifen-Bahn L. D. h. je mehr Linien L in der Zeiteinheit geschnitten werden, desto größer ist e oder P (für E oder T). Stellt man sich jetzt bei N einen magnetischen Nord-, bei S einen magnetischen Süd-Pol, unter den Linien-Lagen L die Faradayschen magnetischen Kraftlinien, unter der Kurbelwarze einen Leitungsdraht oder eine Reihe paralleler Leitungsdrähte vor, die auf dem Anker aus weichem Eisen in ihrer Aufeinanderfolge Solenoïde bilden, so gilt:

Die Einwirkung e (Induktion) auf den Draht (die Solenoïde) wächst von A nach N entsprechend der Anzahl der in der Zeiteinheit geschnittenen Kraftlinien LL.

Wichtig für das spätere sind noch folgende Andeutungen:

Die Spannung e in der Kurbelwarze wird durch die Kurbelschleife, die Kolbenstange, den Kolben in Wasserströmung i umgesetzt, so zwar, daß die Stromstärke (Wirkung) i proportional der Spannung (Ursache) e ist. Da e und i sich zu einander verhalten wie Ursache und Wirkung, wird auch e als elektromotorische Kraft (EMK) bezeichnet.

Der Wasserstrom wird durch die Leitung auf die „Sekundär“-Pumpe II übertragen, die dann wie aus der Figur hervorgeht die Kurbelwelle II in Drehung versetzt. Um die Ähnlichkeit zwischen unserer Kraftübertragung und einer elektrischen Kraftübertragung mittelst einphasigen Wechselstromes anzudeuten, sind unter die Pumpen I und II in Klammern die Namen „Dynamomaschine“ und

„Elektromotor“ hinzugefügt. Übrigens spricht die Figur für sich und läßt u. a. auch die erforderlichen Rückleitungen deutlich erkennen.

In Gang gebracht arbeiten I und II „synchron“ (syn gleich, chronos Zeit) d. h. übereinstimmend. Aber wegen der Totlagen läuft das Getriebe nicht von selbst an. Dasselbe gilt von den einfachen elektrischen Einphasen-Wechselstrom-Maschinen\*).

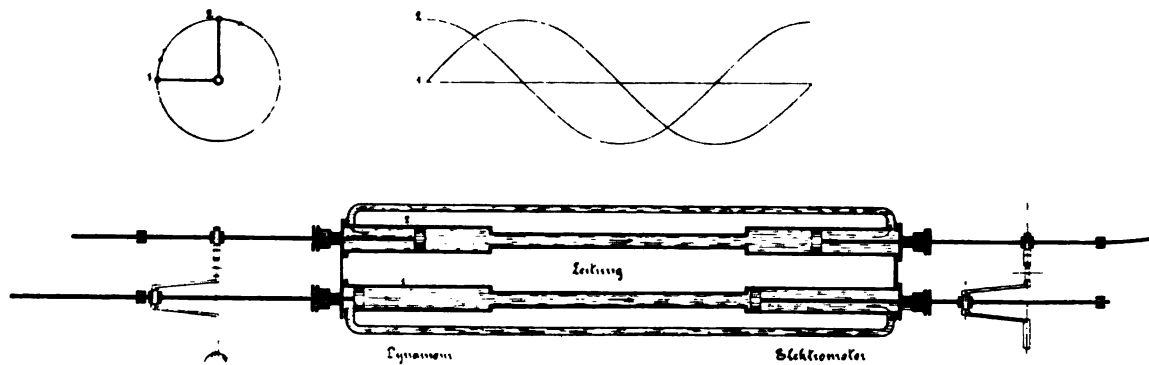
Um über die Totlagen hinwegzuhelfen, wendet der Techniker die Zwilling- und Drilling-Anordnung an.

**Zwilling- oder Zweiphasen-Maschine.** Es werden, wie Figur 20 zeigt, zwei der obigen ganz gleiche Einrichtungen (Maschinen) so miteinander verbunden, daß ihre Kurbelwarzen um eine „Phase“ von  $\alpha = 90^\circ$  ( $\pi/2$ ) gegen einander verschoben sind.

Bei den Dynamomaschinen sind die Ankerspulen um diesen Phasenwinkel gegeneinander verschoben, was auch durch die dazu gehörigen Sinus-Linien ausgedrückt ist. Es muß noch hervorgehoben werden, was auch aus der Figur ohne weiteres hervorgeht, daß vier Leitungen (zwei Hin- und zwei Rück-Leitungen) erforderlich sind. Unsere Zweiphasen-Maschine (Elektromotor) läuft von selbst an.

Fig. 20.

Zwilling- (zweiphasen) Stromnetz



**Drilling- oder Dreiphasen-Maschine.** Wie Figur 21 darstellt, werden jetzt drei Einrichtungen derart miteinander verbunden, daß ihre Kurbelwarzen um je eine Phase von  $\alpha = 120^\circ$  gegeneinander verstellt sind.

Bei den Dynamomaschinen sind die Ankerspulen um dieselben Phasenwinkel gegeneinander verschoben.

Weil nun wegen der Aufeinanderfolge der Stromwirkungen im Kreise herum nun auch die magnetischen Wirkungen sich im Kreise gleichsam herumdrehen, haben die Elektriker auf Vorschlag des Oberingenieur Dolivo von Dobrowolsky, der sich um die Einführung dieser Maschinengattung besondere Verdienste erworben

\*) Daß Einphasen-Wechselstrom-Maschinen durch Kompensations-Einrichtung für den Großbetrieb brauchbar gemacht werden können, beweist die durch die Siemens- und Schuckertwerke erbaute, seit dem Anfang des Jahres 1905 regelrecht betriebene „Einphasen-Bahn“ zwischen Murnau und Oberammergau. Sie ist in Deutschland die erste größere Ausführung ihrer Art und bislang im regelrechten Betriebe.

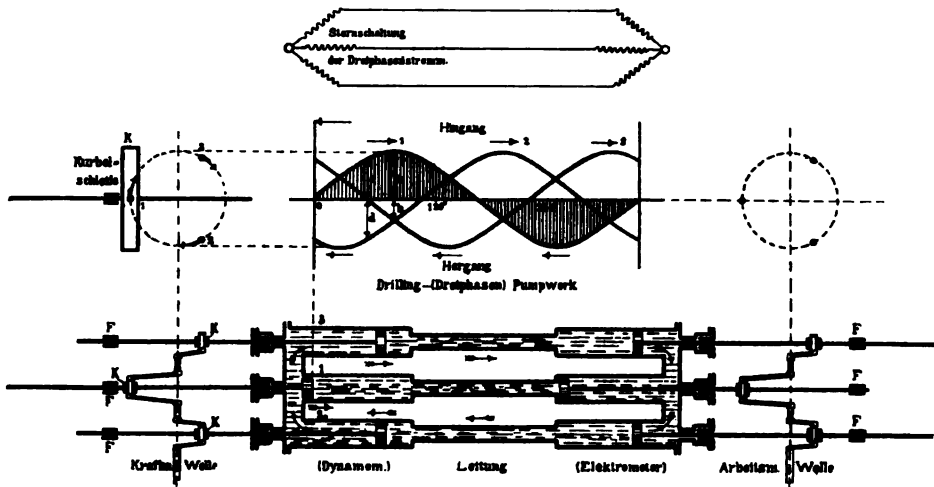
Auch die Schwedische Staatseisenbahn stellt seit der Mitte des Jahres 1905 auf der Strecke Tomtebodavärtan bei Stockholm Versuche mit Einphasen-Vollbahn-Lokomotiven (20 000 Volt, 25 Perioden) an, welche von den Siemens-Schuckertwerken gebaut sind, und beabsichtigt den elektrischen Betrieb auf allen Bahnlinien einzurichten, falls diese Versuche günstiges Ergebnis liefern.



hat, den Namen „Dreh-Strom“ eingeführt. Andere ziehen den Namen „Mehrphasen-Strom“ vor. Nach der obigen systematischen Schilderung handelt es sich hier im Prinzip um ein längst bekanntes Maschinensystem, welches auf die Bezeichnung elektrischer „Drilling-Strom“ hinweist.

Auch das Grundgesetz der heutigen sogen. „Drehstrom-Maschinen“, daß die „Summe aller drei Ströme beständig Null“ ist, habe ich bereits Mitte der siebziger Jahre als Grundgesetz für alle Drillings-Maschinen bei Behandlung der Wassersäulenmaschinen-Pumpen im Königin-Marienschacht bei Clausthal gefunden und veröffentlicht in der ministeriellen Zeitschrift für das Berg-Hütten- und Salinenwesen im preußischen Staate. 1879. Bd. XXVII S. 222 und 223.

Fig. 21 u. 22.



Die nebenstehende Figur zur Darstellung des Drilling-Gesetzes entworfen, zeigt, daß wir nicht sechs Leitungen nötig haben, sondern schon mit dreien auskommen, weil die einzelnen Leitungen abwechselnd als Rückleitung dienen, was sich ohne weiteres aus der Figur ergibt. Wie sich aus der gezeichneten Stellung ergibt, bewegt sich Kolben 3 mit derselben Geschwindigkeit nach rechts, wie 2 nach links, 1 steht auf der Totlage, ruht also augenblicklich. Die algebraische Summe der Bewegungen ist demnach Null, wenn man den Rückwärtsgang mit dem (—) Zeichen einführt. Entsprechendes gilt für jede andere Stellung. Näher auf die vorliegenden Fälle einzugehen erlaubt nicht der enge Rahmen unseres Leitfadens. Einige Ergänzungen werden übrigens noch später unter den elektrischen Wechselstrommaschinen gebracht.

## II. Elektro-Physik.

### Allgemeine grundlegende Bemerkungen über Elektrizität und Magnetismus.

**Herkunft der Elektrizität.** Wir wissen, und haben es oben freimütig zugestanden, daß die Grundursache aller Dinge uns Geheimnis bleibt. Aber in jedem Forscher hat sich nun einmal die Natur des Kindes erhalten, dessen erste Frage ist, woher kommt das? Deshalb dürfen und müssen wir sogar, soweit es in unserer Macht steht, den Ursachen nachspüren, auch vergleichen und Schlüsse ziehen. Und wir können es auf Grund allgemein gültiger Gesetze, vor allem des Gesetzes von der Gleichwertigkeit (Äquivalenzgesetz vom Heilbronner Arzt Robert Mayer 1842), dem alle Verwandlungen, z. B. die chemischen Wirkungen in Wärme-, elektrische und magnetische und dieser in mechanische Wirkungen und umgekehrt, sowie auch das „Perpetuum mobile“ in seinen phantastischen Formen und das vielbesprochene „Radium“ gehorchen.

Die nächste Frage für uns wäre deshalb, woher kommen Elektrizität und Magnetismus und in welchem Zusammenhange stehen sie mit den anderen Naturerscheinungen.

Für uns Erdbewohner gilt die Sonne als Urquell aller Kraft, die Erde als der Inbegriff alles Stoffes, der eine Wirkung empfangen und äußern kann, bilden Sonne und Erde bis auf den heutigen Tag das einzige seit Jahrtausenden unausgesetzt arbeitende Perpetuum mobile.

Sonnenwärme und Erdschwere bilden in ihrer Wechselwirkung die bewegende („motorische“) Kraft, welche den nicht versiegenden Strom der Gewässer in Kreislauf bringt.

Die Sonnenwärme hebt unausgesetzt die Wasser aus dem Meere auf die Berge, die Erdschwere zwingt die gewältigten Wassermengen, wieder ins Meer talabwärts zu fallen. Auf diesem Wege zwingen wir das Wasser mittelst Wasserkraftmaschinen, die wir ihm in den Weg stellen, durch das Produkt seiner beiden Arbeitswerte: Gefälle ( $Hm$ ) und Menge ( $Qkg$ ) für uns zu arbeiten, um einen winzigen Bruchteil des Arbeitsvorrates in jener gewaltigen kreisläufigen Wechselströmung der Gewässer zum Betriebe unserer elektrischen und anderer Maschinen auszunützen. Selbst jene Strahlen, mit welchen seit ungezählten Jahren die Sonne verschwenderisch ihre Tochter überschüttete, sind nicht verloren gegangen, liegen für uns aufgespeichert als Brennstoffe in den Vorratskammern des Erdinnern, bereit, unseren Wärme-Kraftmaschinen den lebendigen Odem einzublase bis auf den heutigen Tag. Sonnenstrahlen sind es, die im Winde unsere Wind-Kraftmaschinen betreiben, aber auch im Orkane Bäume knicken, Bauwerke verwehen und auf dem gepeitschten Meere die größten Schiffe zum Spielball machen. Die

Sonne lockt die Pflanzen aus der Erde, sprengt die Knopsen, reift die Früchte zur Nahrung für Menschen und Tiere um sie stark zur Arbeit zu machen, schmückt jedes Ding mit seiner Farbe und versieht es noch mit jenen ungezählten winzigen unsichtbaren Strahlen, die mit vereinten Kräften „chemisch“, magnetisch, elektrisch im „Felde der Erde“ gewaltiges leisten.

Deshalb möchte wohl jederzeit zugleich mit den leuchtenden, erwärmenden und belebenden Sonnenstrahlen durch den luftleeren aber mit dem alles durchdringenden sog. Äther angefüllten Himmelsraum von der Sonne auf die Erde auch der Bewegungszustand (Wellenbewegung) übertragen werden, dem wir das verdanken, was wir mit den Namen Elektrizität und Magnetismus bezeichnen, und die dann, im Großen durch Blitz aus Gewitterwolken, feuerspeienden Bergen und im Nordlicht; im kleinen in unzähligen Zuständen und Vorgängen, hier auf Erden als ursprüngliche Sonnenwirkung sich äußern.

Elektrizität und Magnetismus sind überall hier anzutreffen und auf die leichteste Weise ohne besonders kunstvolle Hilfsmittel spielend hervorzubringen, umzuwandeln und zu erkennen. Wenn ich im geeigneten Anzuge und bei geeigneter Zimmerluftbeschaffenheit mich auf den Boden meines Studierzimmers niederlege, dann nach dem vollständigen Aufstehen den eisernen Zimmerofen mit dem Fingerknöchel berühre, so nehme ich mit meinen Beobachtern durch Auge und Ohr deutlich den überspringenden Funken als Blitz im Kleinen wahr, so oft ich will und würde, wenn zwangläufig bewegt, als Elektrisiermaschine angesehen werden müssen. Bei genügend günstigen Verhältnissen nehme ich abends in vollständiger Finsternis beim Abstreifen des wollenen Unterzeuges deutlich einen hellen Schein und Knistern wahr. Eine oberflächliche Prüfung der später behandelten elektrischen und magnetischen Grundgesetze, daß Gleichnamiges sich abstößt, Ungleichnamiges sich anzieht, kann ein aufmerksamer Beobachter mit den einfachsten Mitteln unschwer vornehmen.

Die mit gutem trockenem Kautschukkamme bearbeiteten trockenen Haare in trockener Zimmerluft werden einzeln gleichnamig elektrisch, stoßen sich ab und sträuben sich infolgedessen. Nähert man den Kamm, so werden die Haare nach ihm hingezogen, Kamm und Haare sind ungleichnamig: der Kamm (—), die Haare (+) elektrisch. Oder ein auf trockener nicht metallischer Fläche liegendes angewärmtes, trockenes Papierblatt (Pappe) mit Gummi oder mit der trockenen Hand gerieben, scheint beim Abheben von der Unterlage an dieser festzukleben infolge der ungleichen Elektrizitäten an den beiden Berührungsebenen. Hält man nun die Papierfläche über kleine auf dem Tisch liegende Papierschnitzelchen, so werden dieselben schon aus gewisser Entfernung beeinflusst, angezogen und, nach kurzer Berührung „geladen“ mit der Elektrizität des Papierblattes, heftig wieder abgestoßen.

Jede Stahlfeile, jedes Stahl-Feilspänchen ist (wenn unausgeglüht) magnetisch. Jedes stählerne Werkzeug, die stählerne Taschenmesserklinge zeigt magnetische Eigenschaften, zieht unmagnetische Feilspänchen von weichem Eisen an und hält sie dann fest (stößt sie nicht ab, wie vorhin die elektrischen Körper).

Jeder Schürhaken von weichem Eisen zeigt stets an dem nach Norden gekehrten, schräg nach unten geneigten Ende Nordmagnetismus, der durch den Erdmagnetismus in ihm eingeführt „induziert“ ist und stößt infolgedessen den Nordpol einer genährten freischwebenden Magnetnadel ab. Am oberen Ende des Schüreisens wird das Süden der Magnetnadel abgestoßen. Umkehrung des Stabes hat Umkehr seiner magnetischen „Polarität“ zur Folge, zumal, wenn man durch leichte Hammerschläge seine Moleküle erschüttert und lockert. Welches Ende des Stabes auch nach unten gekehrt wird, er zeigt infolge der Beeinflussung durch den Erdmagnetismus immer denselben Magnetismus: unten und nördlich einen Nord-Pol, oben einen Süd-Pol. Solche grundlegenden Beobachtungen sollte

jeder, auch der Laie, der sich für die Sache interessiert, eigenhändig anstellen. Sie nutzen und regen oft mehr an als von Experimentatoren mit künstlichen Hilfsmitteln vorgemachte Versuche. Die bei den oben geschilderten Versuchen angegebenen Hilfsmittel, z. B. die Magnetnadeln sind als beliebte Uhrgehänge, meist leicht zu beschaffen. Für die Praxis hat die Reibungselektrizität zwar keine hervorragende Bedeutung, aber die bei ihr auftretenden Erscheinungen und die hieraus abgeleiteten Gesetze sind grundlegend geworden, sollen deshalb auch in unserer Elektrotechnik nicht übergangen werden. Wir sprechen deshalb später im Zusammenhang mit der sog. Berührungselektrizität und dem Magnetismus, für welche entsprechende Gesetze gelten, von der selbst im gewöhnlichen Leben täglich zu machenden Beobachtung, daß alle Körper mehr oder weniger elektrisch oder magnetisch gemacht werden können. Dann wird gehandelt von der Annahme, daß es 2 Arten von Elektrizitäten und Magnetismen, eine positive (+) und eine negative (—) gibt, die in gewöhnlichen Körpern bereits vorhanden sind, aber in gleichen Mengen, sich also, weil sie sich anziehen, neutralisieren, gleichsam im Schach halten, so daß keine frei für sich nach außen hin sich äußern kann. Ferner ist hervorzuheben, daß diese beiden Arten durch Reiben oder Streichen, also durch mechanische Arbeit, oder wie später ebenfalls hervorgehoben wird, durch chemische, auch Wärme-Arbeit, ja schon durch Wellenbewegung, Beeinflussung aus der Ferne (Influenz, Induktion) getrennt werden, und daß Elektrizität und Magnetismus durch bloße Berührung sich auf einen anderen Körper überführen lassen. Schließlich müssen wir die elektrischen Hauptgesetze kennen lernen, daß Gleichnamiges sich abstößt, Ungleichnamiges dagegen sich anzieht; im Körper in gleichen Mengen vereinigt, diesen wieder unelektrisch bzw. unmagnetisch nach außen erscheinen lassen und daß, wie bei allen sog. Fernwirkungen (Newton), die anziehenden und abstoßenden Kräfte, mit welchen zwei elektrische bzw. magnetische Massen aufeinander einwirken, abnehmen, mit dem Quadrate ihrer Entfernungen voneinander.

### A. Reibungs- (oder statische) Elektrizität.

Bernstein (das griechische „Elektron“) bekommt durch Reiben mit Wolle, die schon den Griechen des Altertums (Thales von Milet 600 v. Chr.) bekannte Eigenschaft, leichte Körperchen (wollene Fasern, Papierschnitzel) an sich zu ziehen, dann aber nach kurzer Berührung wieder von sich zu stoßen und veranlaßt deshalb, einen mit derartigen Vorgängen verbundenen („gespannten“) Zustand, welchen der Engländer Gilbert\*) auch bei einer großen Reihe von

\*) Dr. William Gilbert (1544—1603), der Leibarzt und weise Berater der für Wissenschaft und Kunst begeisterten Königin Elisabeth von England (1558—1603), gründete mit seinem für alle Zeiten höchst bedeutsamen Werke: „De Magnete, magneticisque corporibus et de magno magnete tellure, Physiologia nova, plurimis et argumentis (Beispielen) et experimentis (Versuchen) demonstrata 1600“ die Lehre nicht nur vom Magnetismus, sondern auch von der Elektrizität durch sorgfältig ausgeführte Versuche. Auf Grund dieser Versuche unterschied er zwischen Bernstein und Magnet, lehrte, wie man Stahl durch Streichen mit dem „Magnetstein“ magnetisiere, braucht er zuerst die Bezeichnung „vis electra“ („elektrische Kraft“), erfand die Fadenaufhängung und das Elektroskop, entdeckte die Inklination und deren Veränderlichkeit mit dem Orte und verglich die Erde selbst mit einem großen Magneten und stellte deren magnetische Wirkung mittelst magnetisierter Stahlkugeln dar und auch die Tatsache fest, daß der magnetische Nordpol am geographischen Südpol liegen müsse. Auch behandelte er die magnetische Umdrehung der Erdkugel und machte einheitliche Vorschläge in der Benutzung des Kompasses. Außerdem mag Gilbert auch wohl noch in kultureller Beziehung, mehr als die Geschichte berichtet, durch seine Einwirkungen auf die Maßnahmen der Königin von großer Bedeutung geworden sein. Einer dieser Maßnahmen der Königin mag ein kleines Plätzchen hier vergönt sein, weil sie schließlich auf die Einführung der Eisenbahnen führte und damit auf die Entwicklung des Weltverkehrs von unberechenbaren Folgen wurde. Die Königin richtete ihren praktischen Blick auch besonders auf die Gewinnung der unterirdischen Schätze Englands und

anderen Körpern (u. a. Harz, Schwefel, Glas, Seide) nachwies, genauer untersuchte und beschrieb (1600) „elektrisch“ zu nennen, sowie den Sammelnamen „Elektrizität“. Alle anderen Körper, vor allem die Metalle, nannte man damals noch unelektrische.

Außer Gilbert erwarb sich später besonders der Ingenieur und Bürgermeister von Magdeburg Otto v. Guericke\*) (1602—1686) große Verdienste um die Erforschung der Reibungselektrizität. Er konstruierte die erste brauchbare Elektrisiermaschine, deren Hauptbestandteil eine Schwefelkugel war, welche beim Drehen um eine Achse durch Reiben mittelst der darauf gelegten trockenen Hand, elektrisch gemacht wurde und wies, was besonders wichtig war, im Jahre 1672 ausdrücklich auf die elektrische Abstoßung hin.

Später 1729, also über ein Jahrhundert nach Gilbert, stellte Gray fest, daß gerade auch die Metalle durch Reiben elektrisch werden, aber nicht, wie die andere oben erwähnte Körpergruppe, die Elektrizität an derjenigen Stelle festhalten, an welcher sie hervorgebracht wurde, sondern dieselbe infolge der gegenseitigen Abstoßung und des dadurch auf der Oberfläche herbeigeführten gespannten Zustandes auf ihrer Oberfläche nach dem Erdballe hin fortleiten, wenn man den elektrisch gemachten Körper in den bloßen Händen hält und auf diese Weise durch den ebenfalls gutleitenden menschlichen Körper, oder durch einen Metalldraht mit der Erde leitend verbindet\*\*). Damit war zugleich festgestellt, daß die Elektrizität durch bloße Berührung sich leicht auf einen „guten Leiter“ übertragen läßt.

Aus unserer Schilderung wollen wir uns besonders merken und nicht wieder vergessen, daß die (freie) Elektrizität infolge ihrer gegenseitigen Abstoßung und der dadurch herbeigeführten Spannung sich nur auf der Oberfläche des Körpers ansammelt, also massive Körper als Ansammler (Konduktoren) nicht erfordert, vielmehr bestrebt ist, den Leiter zu verlassen und in dessen Umgebung z. B. in die Luft einzudringen\*\*\*), insbesondere auch das Bestreben hat, nach dem Erdballe hin abzufließen und auf dessen ungeheuer großer Oberfläche sich auszubreiten, um auf Null sich zu entspannen. Faraday hat bei seinem Aufenthalt im Innern eines mit Elektrizität stark geladenen Metallkäfigs nirgends im Innern Elektrizität nachweisen können; also zugleich ein derartiges Metallnetz als Schutzmittel gegen hochgespannte Elektrizität nachgewiesen.

Bei der Fortleitung, dem Fortfließen der Elektrizität in ihren Leitern, denkt man unwillkürlich an ein Wassergefälle, bei welchem das Wasser von einem höher gelegenen Punkte auf einen niedriger gelegenen, schließlich ins Meer abfließt; oder an ein künstlich gespanntes (komprimiertes) Gas, welches bestrebt ist, die vom Außenraume abschließenden, isolierenden Gefäßwände zu durchdringen und wo es

---

ließ deshalb vom Harze, der damaligen Pflanzstätte des deutschen Bergbaues, Bergleute kommen. Diese führten außer anderen wichtigen Neuerungen auch die hölzernen Gestängebahnen auf den unterirdischen Strecken und oberirdischen Wegen ein, die man später, als das Gußeisen niedrig im Preise war, aus gegossenem Eisen herstellte. Diese Eisenbahnen wurden dann zuerst nach dem Harze hin verpflanzt. So beförderte im Jahre 1806 die erste Eisenbahn des Kontinentes die Erze von der damaligen Grube Dorothee nach der Dorotheer Erzwäsche bei Clausthal. Und es wird erzählt, daß während der „westfälischen Zeit“ König Gerome und seine Gemahlin bei ihrem Besuche der Harzer Werke sich auf dieser Bahn, der Neuheit der Sache wegen, in bergmännischen Erzwagen (Hunten) fahren ließen.

\*) Beiläufig sei daran erinnert, daß Otto v. Guericke 1650 auch die Kolben-Luftpumpe (Vakuumpumpe) erfand, seine denkwürdigen Versuche mit den luftleer gepumpten „Magdeburger Halbkugeln“ auf dem Reichstage zu Regensburg 1654 ausstellte und unter den ersten genannt zu werden verdient, welche die Erfindung der Kolben-Dampfmaschinen vorbereiteten.

\*\*) Oder „erdet“, wie heute der Techniker sagt.

\*\*\*) Diese Eigenschaft der Luft und anderer später unter den „schlechten Leitern“ aufgeführten Stoffe, der Elektrizität das Eindringen bezw. das Durchdringen mehr oder weniger zu erschweren, hat den Namen „Dielektrikum“ veranlaßt.

irgend möglich ist, in die gewöhnliche Atmosphäre abzufließen und hier beim Ausgleich in dieser bis auf Null Überdruck sich zu entspannen.

Beim Wasser spricht man von Gefälldifferenz zwischen zwei Orten, bei der Luft von Spannungsdifferenz. Auch Potentialdifferenz ist dafür eingeführt. Diese Ausdrücke sind, wie schon früher angedeutet wurde, verwertet, um die Bewegungsvorgänge der Elektrizität anschaulich auf etwas Bekanntes zurückzuführen. Wie man nun auch gewohnt geworden ist, beim Fallen des Wassers an die Erdschwere als Ursache der Bewegungsänderung zu denken, so bezeichnet man die Verursachung der Spannung und jeder Spannungsdifferenz in der Elektrotechnik als Elektrizität bewegende, oder Elektro-Motorische-Kraft (abgekürzt EMK). Und wie die Meeresoberfläche sozusagen schließlich die „Null-Potentialfläche“ für das Gefälle bildet, d. h. diejenige Fläche, in welcher das Wasser verläuft, nachdem es seine ganze Gefällwirkung hergegeben (eingebüßt) hat, so bildet die Gesamt-Erdoberfläche die Nullfläche für die elektrische Spannung. Hier gleicht die Natur die Differenzen aus, welche die Technik durch künstliche Zwangsmittel schuf. Die Wissenschaft gebraucht den Ausdruck: „Das elektrische Potential (die Wirkungsfähigkeit) an der Erdoberfläche“ oder kürzer das „Potential der Erde ist Null“. Wenn wir später den wichtigen Begriff „Isolator, oder Dielektrikum“ besprechen, wohin auch die gewöhnliche atmosphärische Luft zu rechnen ist, wird uns der Vergleich kommen, daß dieser für die Elektrizität etwa dasselbe bedeutet, wie die Gefäßwände für das gespannte Gas.

**Glas (+) und Harz (-) Elektrizität, Fundamental-Gesetz.** Fast zu derselben Zeit (1730—1834) stellten Dy Fay und Symmer ihre sog. dualistische Hypothese auf, nach der man bis auf den heutigen Tag die elektrischen Erscheinungen zu erklären pflegt. Hiernach nimmt man zwei entgegengesetzte elektrische „Fluida“ Flüssigkeiten, eine positive (+) und eine negative (-) an, die in jedem natürlichen Körper bereits enthalten sind, aber denselben unelektrisch erscheinen lassen, wenn sie in gleichen Mengen (+ -) vorhanden sind, dagegen positiv, oder negativ elektrisch machen, je nachdem das (+) oder (-) Fluidum vorherrscht.

Ein Glasstab wird (+) el. durch Reiben mit einem wollenen Lappen, der dann (-) el. wird,

Ein Harzstab wird (-) el. durch Reiben mit demselben wollenen Lappen, der jetzt (+) el. wird.

Man spricht deshalb auch wohl von Glas (oder +) und Harz (oder -) Elektrizität.

Um die Fundamentalversuche zu machen, bedarf es nur

1. eines Glas- oder Porzellan-,
2. eines Harz- oder Kautschukstabes,
3. eines Lappens von reiner Wolle und
4. zweier hohler Papierkugeln oder Korkkugeln, aufgehängt an seidenen (schlecht leitenden) Fäden.

Alle Teile müssen während des Versuches möglichst trocken sein.

Teilt man nun beiden Kugeln nur

Glas-Elektrizität durch Berühren mit der geriebenen Glasstange,  
oder nur Harz- „ „ „ „ „ „ Harzstange  
mit, so stoßen sie sich gegenseitig ab, wie sehr man sie auch zu nähern sucht.  
Teilt man dagegen den durch Berühren mit dem Finger wieder „entladenen“  
Kugeln nun ungleichnamige Elektrizitäten:

der einen Kugel nur Glaselektrizität

„ anderen „ „ Harzelektrizität

mit, so zeigen sie sichtlich gegenseitige Anziehung, wenn man sie in nicht allzu-große Entfernung voneinander gebracht hat.

Diese Fundamentalversuche, welche Jedermann, der sich für die Sache interessiert, leicht ausführen kann und auch ausführen sollte, führen uns auf das Hauptgesetz der Elektrizität, welchem dann später ein genau entsprechendes für den Magnetismus an die Seite gestellt wird und welches lautet:

Gleichnamige Elektrizitäten stoßen sich ab,  
Ungleichnamige „ ziehen „ an.

Franklin nahm nur eine Art von Elektrizität an, die, in normaler Menge vorhanden, den Körper unelektrisch, dagegen bei Überfluß oder Mangel entweder + oder - elektrisch erscheinen lassen.

Um die zur Erklärung der elektrischen Erscheinungen aufgestellten wichtigsten Hypothesen bis auf den heutigen Tag zu vervollständigen, sei folgendes noch angedeutet:

Clausius und Arrhenius erklären die elektrolytischen Vorgänge durch die Annahme, daß in jedem Moleküle eines zusammengesetzten Körpers (z. B. des Kochsalzes Na Cl) von vornherein die Atome mit entgegengesetzten Elektrizitäten, u. zw. das Metall stets mit (+), der Rest mit (-) Elektrizität geladen sind, und daraus nun in dem elektrolytischen Bade (Elektrolyten) die Wanderung der Atome (Ionen) zwischen den Polen (Elektroden) beim Stromdurchgange. (Nähere Angaben gehören in spätere Kapitel, die vom elektrischen Strome und von der Elektro-Chemie handeln.)

**Gute und schlechte Leiter.** Man unterschied nun nach Grays Ermittlung bis auf den heutigen Tag die Körper in

„gute Leiter“ und  
„schlechte Leiter“

der Elektrizität und zählt je nach ihrem Leitungsvermögen zu den

guten Leitern: Metalle (am gebräuchlichsten in der Elektrotechnik das Eisen und Kupfer\*); Kohle (in den Lampen und Bürsten); den tierischen Körper; den Erdball; feuchte und heiße Luft; Säuren, Salzlösungen; zu den

schlechten Leitern\*\*): Glas, Porzellan, Glimmer, viele Metalloxyde (z. B. Zirkoniumoxyd als Glühstäbchen in der Nernstlampe); alle Harz- und Gummi-Arten (z. B. Bernstein, Siegellack, Schellack, Hartgummi, Kautschuk, Guttapercha), Tier-Wolle, Seide, Haare; reine Baumwolle (als beliebtes Isoliermittel der Drähte); trockenes (womöglich paraffiniertes) Holz und Papier; Wachs-Taffet (Seide);

\*) Da der elektrische Strom das Bestreben hat, an der Oberfläche des Leiters entlang zu gleiten, wird unter sonst gleichen Verhältnissen, also bei demselben metallischen Querschnitte, ein aus feinen Drähten zusammengesetztes Kupferseil besser leiten als ein Kupferdraht. Dagegen leiten schlecht dicht aneinander geschichtete Metallkörner, wie solche z. B. im „Kohaerer“ oder „Fritter“ der später behandelten drahtlosen Telegraphie verwendet werden. Nach den Versuchen von R. Thöldte (Annalen der Phys. Bd. 17. S. 964. 1905) soll der Widerstand eines Fritters sinken unter der Bestrahlung eines Radium-Präparates (0,5 g Radiumbromid) und der Ionisation zuzuschreiben sein; deshalb die Leitfähigkeit eines Fritters eine Funktion nicht nur der elektrischen Schwingungen, sondern auch der Ionisation sein. (Elektrotechn. Zeitschrift 1905, Heft 48, S. 1098.)

\*\*) Die Ambroin-Werke G. m. b. H. Berlin-Pankow, Wollank-Straße 41, empfehlen ihr (Patent Kleinsteuber) „Ambroin“ (aus „recent fossilen Kopalen und Silikaten, mit den Kopalen durchtränktes, dann unter hohem Druck gepreßtes, gleichmäßiges, festes Gemisch“) als den „besten und billigsten Ersatz für Hartgummi, Celluloid, Stabilit, Vulkanfiber, Schiefer, Ebenholz etc.“. Ambroin hat 1,4 bis 1,8 spez. Gewicht, kann hergestellt werden „vollkommen funkensicher, feuersicher, für dauernde Erwärmung bis 100° C, bis 1000 Volt bei 80° C, säurefest für Akkumulatorkasten, amagnetisch für Erwärmung bis 80° C, alkalienfest und ist verwendbar zur Herstellung von elektrischen Isolationskörpern jeder Art, für Dynamomaschinen, Elektromotoren, Transformatoren, Straßenbahn-Isolatoren, Kontakttafeln (mit eingepreßten Kontaktlöchern), Funkenisolatoren, Bleisicherungen, Schalter-Grundplatten (auch zu säurefesten Gefäßen für die chemische Industrie). Die Wasseraufnahme soll betragen unter sonst gleichen Verhältnissen nach Gewicht: Ambroin AF 0,32 %, Stabilit 1,41 %, Vulkanbest 4,80 %, Vulkanfiber 24,5 %. — Eine 5 mm starke Ambroinplatte (AF) wurde nach mehrtägigem Liegen in einem Zimmer von 95 % Luftfeuchtigkeit bei 36000 Volt nicht durchgeschlagen. („Nach Versuchen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.“)

Schwefel; Asche; die meisten Fette und Öle; kalte trockene Luft und Gase.

In dieser Zusammenstellung sind die für die Elektrotechnik wertvollsten Stoffe enthalten, die wir zusammenfassen können in drei Gruppen:

1. elektrisch gut leitende Körper (Metalle, z. B. reines Kupfer, Eisen),
2. magnetisch gut leitende Körper (vor allem das weiche schwedische Holzkohlen-Eisen, Dynamostahl),
3. elektrisch schlecht leitende Körper (von denen einige der gebräuchlichsten oben hervorgehoben wurden).

**Isolatoren.** Die schlechten Leiter der Elektrizität heißen auch „Isolatoren“, weil sie die in Leitern angehäuften Elektrizität von der Erde oder von anderen guten Leitern abhalten („isolieren“).

**Dielektrika und Dielektrizitätskonstante.** Die Isolation wächst im allgemeinen mit der Dicke des Isolators, ist aber, was sich vermuten läßt, auch von der Eigenart der Körper abhängig, die in gewisser Weise das Eindringen der Elektrizität mehr oder weniger erschwert. Faraday, der, wie wir später sehen werden, auf allen Gebieten der Elektrotechnik bahnbrechend gewesen ist, unterschied deshalb (1837) die Isolatoren noch bezüglich ihrer von der materiellen Beschaffenheit abhängigen (für die elektrischen Maschinen und Vorrichtungen, insbesondere für die elektrischen Kondensatoren und unterseeischen Leitungskabel wichtigen) elektrischen Durchlässigkeit und nannte sie deshalb „Dielektrika“, und „Dielektrizitätskonstante“ denjenigen Zahlenwert, welcher angibt, wie vielmal der betreffende Isolator (bei gleicher Dicke) besser isoliert, als der luftleere Raum, bzw. trockene kalte Luft.

Folgende Zahlen können (nach Kohlrausch-Lehrbuch der praktischen Physik IX. Aufl. S. 597 und Warburg. Physik IV. Aufl. S. 296) als Mittelwerte angesehen werden.

Vakuum . . . . .	1,000
Trockene Luft bis 0° Cels., 760 mm Druck (auch sonstige Gase)	1,0006 (bis 1,07)
Kohlendioxid . . . . .	1,00095
Petroleum . . . . .	2,2
Terpentinöl . . . . .	2,2
Paraffin (fest) . . . . .	2,3
Guttapercha . . . . .	2,5
Schwefelkohlenstoff . . . . .	2,5
Frucht-Öle (Rübsamen, Mohn, Oliven) etwa . . . . .	3
Kautschuk . . . . .	3,0
Ebonit . . . . .	3,2
Schellack . . . . .	3,7
Schwefel . . . . .	3,8
Porzellan . . . . .	4,4
Quarz . . . . .	4,5
Ricinusöl . . . . .	4,7
Glas (Optische Gläser bis 10) . . . . .	4 bis 7
Anilin . . . . .	7,2
Glimmer (Mica) nach Klemencie . . . . .	6,6
„ „ nach Bouty . . . . .	8
Paraffiniertes Papier für Kondensatoren (v. Waltenhofen. Die intern. Maße III. Aufl. S. 173) . . . . .	8
Kalkspat . . . . .	8, 8,5
Äthylenchlorid . . . . .	10,8
Amylalkohol . . . . .	15,5



Aceton . . . . .	21
Äthylalkohol . . . . .	25
O-Nitrotoluol . . . . .	27,8
Metylalkohol . . . . .	33
Nitrobenzol . . . . .	36
Ameisensäure . . . . .	60
Wasser . . . . .	81

Leiter erster und zweiter Klasse. Um nun auch die Einteilungen der Leiter, zu denen die Forscher zur Erklärung der elektrischen Erscheinungen sich veranlaßt sahen, bis zur Jetztzeit zu vervollständigen, sei folgendes zur Ergänzung hinzugefügt:

Man unterscheidet noch Leiter erster und zweiter Klasse.

Die Leiter der ersten Klasse (Metalle und ihre Legierungen, die Kohle und einige andere nicht zusammengesetzte Stoffe) werden durch Elektrizitätsbewegung nur erwärmt (Joule).

Die Leiter zweiter Klasse (sog. Elektrolyte: Salze im gelösten und geschmolzenen Zustande, wässrige Lösungen von Säuren und Basen und dergl. zusammengesetzte Stoffe) vermögen eine Elektrizitätsbewegung nur auf die Weise zu vermitteln, daß in ihnen zugleich eine chemische Veränderung vorgeht. (Ostwald. Grundriß.)

### Kondensatoren. Leydener Flasche, Franklins Tafel. Dichte. Kapazität.

Im Jahre 1745, also etwa 15 Jahre nach den Arbeiten von Dy Fay und Symmer erfanden v. Kleist in Kammin in Pommern und Muschenbrock in

Fig. 24.

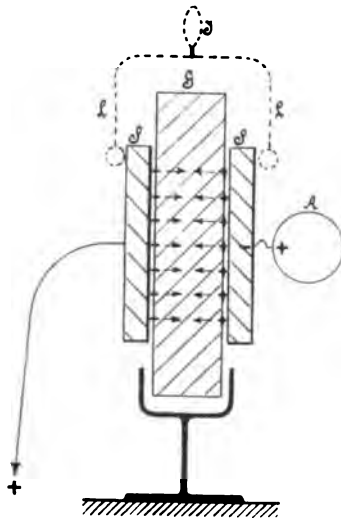
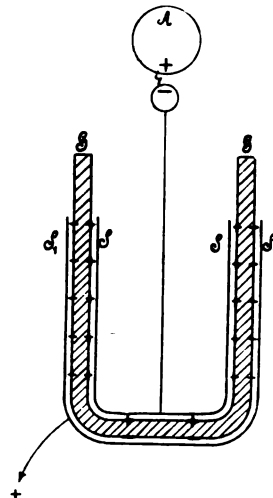


Fig. 23.



Leyden (auch Cunnæus wird genannt) fast gleichzeitig die allgemein bekanntgewordene „Leydener Flasche“ (Fig. 23), von deren Wirksamkeit Franklin 1747 die richtige Erklärung gab, indem er dieselbe durch eine nach ihm benannte, auf beiden Seiten mit dünnem Staniol SS belegte dünne Glastafel (Fig. 24) er-

setzte, deren freigelassenen Rand er „firnißte“. Indem man nun die eine Belegung mit einer Elektrizitätsquelle, dem Konduktor A einer Elektrisiermaschine in leitende Verbindung bringt und die auf der anderen Seite der Glasplatte befindliche Belegung mit dem Finger ableitend berührt, werden, wie die Figur andeutet, die beiden Belegungen mit um so größeren Mengen entgegengesetzter Elektrizitäten geladen, je dünner die Glasplatte (das Dielektrikum) ist, und je besser sie isoliert, also je kleiner ihre Dielektrizitätskonstante ist. Die kleinen Pfeile veranschaulichen die Kräfte, mit welcher die (+) und (-) Elektrizitäten infolge ihres Vereinigungsbestrebens in die Oberfläche des Glases (Dielektrikums) einzudringen suchen. Je größer dieses Bestreben ist, also je näher die entgegengesetzten Elektrizitäten einander sind, desto mehr verdichten sie sich, indem sie gleichsam auf der Glasoberfläche sich gegenseitig im Schach halten. Beim Entladen werden die beiden entgegengesetzten Belegungen durch eine metallische Leitung L, den mit isolierendem Handgriff J versehenen „Entlader“, in leitende Verbindung gebracht. Die Leydener Flasche kann als eine zylinderförmige Franklinsche Tafel aufgefaßt werden. Sie ist noch heute die beliebteste, und bei der „drahtlosen Telegraphie“ unentbehrliche Vorrichtung, Elektrizität in großer Menge anzusammeln und zu „verdichten“, was durch biegsame und zusammenfaltbare Kondensatoren, besonders auch durch Verbinden mehrerer Flaschen zu einer elektrischen Batterie ermöglicht wird.

Wählt man zwischen den dünnen Stanniol-Belegungen des Franklinschen Kondensators als Dielektrikum, anstatt der dünnen Glasplatte schlecht leitendes dünnes Papier, Paraffin oder, wie es neuerdings bei den Vorrichtungen der drahtlosen Telegraphie geschieht, Hartgummiplättchen, so läßt sich der nun unzerbrechliche Kondensator (für hohe elektrische Dichte D) in passender Weise zusammenfalten und trotz großer Flächenausdehnung (Fassungsvermögen F) auf kleinem Raume unterbringen. Diese Pakete sind unentbehrlich u. a. beim „Funkeninduktor“ (Ruhmkorff). Zwei parallel einander gegenübergestellte Metallplatten mit dazwischen befindlicher, sehr gut isolierender, dünner Luftschicht bilden einen einfachen wirksamen, in der Technik viel angewandten Kondensator. Der letzte Kondensator hat noch den wesentlichen Vorteil, daß ein bei Überspannung die isolierende Luftschicht durchschlagender Funke den Kondensator nicht zerstört. Bei den anderen Kondensatoren muß deshalb solche Überspannung vermieden werden; u. a. dadurch, daß man eine Unterbrechung (Funkenstrecke) vorschaltet, die den Ausgleich bei zu hoher Spannung veranlaßt.

**Dichte D.** Es möchte hier der Platz sein, nochmals auf den Zusammenhang zwischen Spannungsdifferenz (kurz: Spannung)  $e$  und zwei anderen in der Elektrotechnik wichtigen hierhergehörigen Begriffen: der Dichte oder Dichtigkeit  $D$  und dem Fassungsvermögen  $F$ , oder der sog. Kapazität hinzuweisen. Die Dichtigkeit  $D$  der Elektrizität auf einem beliebig gestalteten Leiter ist die Menge oder Quantität  $Q$  der Elektrizität, welche auf der Flächeneinheit ( $qcm$ ) z. B. eines Kondensators, einer Akkumulatorplatte (Elektrode) angehäuft ist. In demselben Sinne hält man einen Faden, ein Gewebe, Holz, Nebel, Wasserdampf, gepreßtes Gas um so dichter, je größer die Stoffmenge ist, welche auf die Einheit kommt.

**Kapazität F, Spitzenwirkung.** Da man wegen der gegenseitigen gleichförmigen Abstoßung der Elektrizität die Spannung  $e$  auf allen Flächeneinheiten des geladenen Leiters denselben Wert hat, so muß die Dichtigkeit an den Flächenteilchen kleinster Ausdehnung, d. i. an den scharfen Kanten und Spitzen am größten sein, deshalb die Elektrizität hier vom Leiter abströmen und infolgedessen die Spannung auf der Gesamtoberfläche des Leiters sich gleichmäßig herabsetzen (Spitzenwirkung des Blitzableiters).

Die Menge  $Q$  irgend eines Stoffes (z. B. eines Gases), welchen man in

einem Behälter unterbringen kann, ist um so größer, je größer der Fassungsraum (Kapazität)  $F$  des Gefäßes ist und in je größere Spannung  $e$  man den Stoff beim Hineinpressen versetzt. Das heißt auf die Elektrizität übertragen:

Elektrizitätsmenge ( $Q$ ) = Kapazität ( $F$ )  $\times$  elektrische Spannung  $e$ , oder:

$$F = \frac{Q}{e}$$

Mit Hilfe dieser Gleichung:

$$\text{Kapazität} = \frac{\text{Menge}}{\text{Spannung}}$$

läßt sich im gegebenen Falle jede der drei Größen bestimmen, wenn die anderen beiden bekannt sind. (Man vergleiche hiermit, was früher im mechanischen Teile in bezug auf ein beliebiges Gefäß unter „Kapazität und Farad“ gesagt ist.)

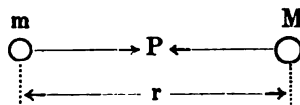
### Das Grundgesetz der Elektrostatik von Coulomb (1736—1806).

Bisher ist versucht nur durch die Annahme, daß gleichnamige Elektrizitäten sich abstoßen, ungleichnamige sich anziehen, die elektrischen Erscheinungen zu erklären. Über die Größe dieser Wechselwirkung aber haben die sorgfältigen Versuche Coulombs Aufschluß gegeben, der im Jahre 1785 das nach ihm benannte, dem Newtonschen Gravitationsgesetze entsprechende Gesetz, in die Gleichung kleidete:

$$P = \pm K \frac{m \cdot M}{r^2}$$

welche durch nebenstehende Fig. 25 dargestellt, in Worten lautet:

Fig. 25.



„Zwei elektrische Massen  $m$   $M$  ziehen sich an, bzw. stoßen sich ab mit „einer wechselseitig wirkenden Kraft  $P$ , welche proportional ist dem Produkte „dieser Massen und umgekehrt proportional dem Quadrate ihrer Entfernungen  $r$ .

Für  $m = 1$ ;  $M = 1$ ;  $r = 1$ , wäre  $P = K = 1$  **Dyne** (Krafteinheit), etwa gleich 1 Milligramm.

Man nennt  $m = M = 1$  auch wohl die „elektro-statische Einheit“ der Elektrizitätsmenge. Später beim Ohmschen Gesetze, dem Grundgesetze der Elektrodynamik, wird auf die entsprechende „elektro-dynamische Einheit“, das **Coulomb**“ hingewiesen, über das übrigens bereits im „mechanischen Teile“ des Leitfadens wichtige Angaben gemacht sind.

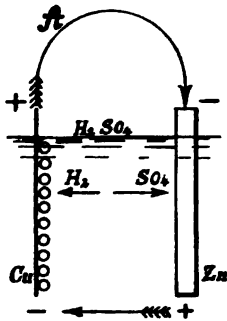
Da das Gesetz auch für magnetische Massen gilt, soll es später unter Magnetismus näher besprochen und dann auch tunlichst auf alle sogenannte Fernwirkungen (z. B. Licht und Wärme) bezogen werden.

## B. Berührungs- oder dynamische Elektrizität (Galvanismus, besser, Volta-Elektrizität).\*)

### Der elektrische Strom (Volta 1745—1827).

Das verflossene Jahrhundert sollte man das des „elektrischen Stromes“ also der ununterbrochen „fließenden“ Elektrizität nennen. Denn im Anfange des Jahres 1800 erzeugte Volta, angeregt durch die bekannten, 1786 an Froschschenkeln gemachten zufälligen Beobachtungen Galvanis, zum ersten Male den „elektrischen Strom“, den er durch das von ihm erfundene, aber häufig irrtümlich nach Galvani benannte „Volta-Element (Fig. 26) nach Wunsch verstärken konnte (Volta-Säule, Batterie).

Fig. 26.



Durch Voltas Entdeckung wurde erst die Möglichkeit geboten, den elektrischen Strom wissenschaftlich zu untersuchen und technisch zu verwerten, also der feste Grund zu einer Elektro-Dynamik und damit ein sicherer Grundstein für die heutige Elektrotechnik gelegt.

In dem Erfindungsjahre schon entdeckten Carlisle und Nicholson mit Hilfe dieser neuen Elektrizitätsquelle, die chemische Wirkung des elektrischen Stromes und legten damit den Grund zur Elektrolyse (*λύσις*, *lūsis*, Lösung, Trennung), die heute schon eines der wichtigsten Gebiete der Chemie ausmacht und besonders dazu berufen erscheint, Ursache und Entstehung des elektrischen Stromes aufzuklären. Heute noch spielt das Volta-Element (Zelle), allerdings in wesentlich anderer Zusammensetzung in den technischen Betrieben eine sehr wichtige Rolle in den später behandelten elektrischen Akkumulatoren und Pufferbatterien, welche

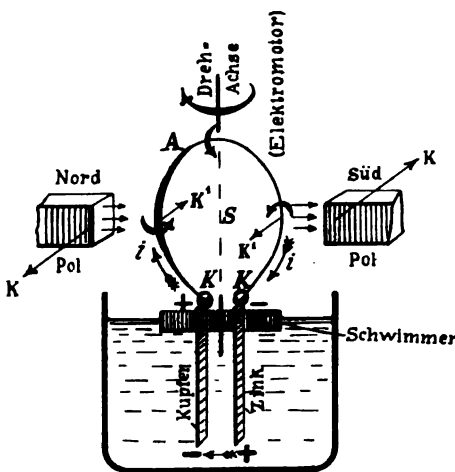
mittels ungleicher Metallplatten (Bleiplatten) und der dazwischen befindlichen, geeigneten Flüssigkeit (verdünnter Schwefelsäure  $H_2SO_4$ ) im großen zu Betriebszwecken, elektrische Wirkung (Energie) in chemische und umgekehrt chemische Wirkung in elektrische verwandeln.

Diese Umkehrbarkeit ist für die Technik von großer Bedeutung geworden, weil sie ermöglicht, in Zeiten des Kraftüberflusses Arbeitsvorrat in den Batterien aufzuspeichern und jederzeit zum augenblicklichen Gebrauch zur Verfügung zu stellen.

Bei dem Volta-Trog- oder Becherelement (Fig. 26), dem in der Fig. 27 eine besondere Form gegeben ist, um es für verschiedene Betrachtungen geeignet zu machen, stehen

in einem Gefäße (Becher) mit verdünnter Schwefelsäure ( $H_2SO_4$ ) als Elektrolyten (Leiter zweiter Klasse), einander ziemlich nahe gegenüber als Elektroden (Leiter erster Klasse) eine Zink-Platte als Anode, und eine Kupfer-Platte als Kathode

Fig. 27.



\*) Im Folgenden ist, soweit die sachliche Darstellung es gestattete, eine Entwicklungsgeschichte der hierher gehörigen Gesetze und Entdeckungen versucht.

(Odos Weg; kata hinab; ana hinauf). Bei Verbindung der Platten außerhalb des Elektrolyten mittelst eines Leiters A, meist Kupferdrahtes, fließt ein elektrischer Strom auf seinem Kreisläufe innerhalb der Flüssigkeit vom Zink zum Kupfer (hinab, kata), außerhalb durch den Leiter A vom Kupfer zum Zink. Es bildet deshalb den positiven Pol, außerhalb der Flüssigkeit, die Kupferplatte, innerhalb der Flüssigkeit, die Zinkplatte.

**Richtung des Stromes.** Bei einem Wasserstrom bezeichnet man als Richtung unzweifelhaft diejenige, in welcher infolge des „Gefälles“ die Wassertheilchen fortfließen, bzw. auf oder in demselben schwimmende Gegenstände mitgerissen werden, und veranschaulicht sie durch einen Pfeil. Entsprechend pflegt man allgemein als Richtung des elektrischen Stromes diejenige anzunehmen, in welcher das im Elektrolyten sich niederschlagende Metall wandert.

**Elektromotorische Kraft (EMK). Klemmen-Spannung. Innere und äußere Widerstände im Stromkreise.**

Wie jede Zustandänderung, also auch jede Bewegungsänderung (z. B. die Fallbewegung, die Wärmebewegung, der Körper-Blutlauf) eine Ursache, eine bewegende Kraft (Schwerkraft, Wärmekraft, Herzmuskelkraft), aber auch die Erfüllung einer gewissen Bedingung, einen „Unterschied“ (Höhen-, Temperatur-, Druck-Unterschied) oder wie man allgemein zu sagen pflegt, ein „Gefälle“ („Potentialgefälle“) verlangt, so ist eine „elektromotorische Kraft“ als Ursache und ein Spannungsunterschied (Differenz), kurz „Spannung“ erforderlich, um die Bewegungshindernisse (Reibung, Trägheit) zu überwinden und auf diese Weise das Strömen der Elektrizität, den elektrischen Strom zu bewirken.

Der kupferne Leitungsdraht wird an den Polen (Enden der Elektroden) durch Schrauben k k festgeklemmt, man spricht deshalb hier und in ähnlichen Fällen der Elektrotechnik von einem Spannungsunterschiede an den Pol-Klemmen, oder mit einem Worte von einer „Klemmen-Spannung“.

Die Klemmen-Spannung ist hier kleiner als die EMK, weil erstere nur die Widerstände im „äußeren Stromkreise“, die letztere aber auch noch die „inneren Widerstände“ in der Stromquelle (Becher) zu überwinden hat.

Gerade das Umgekehrte wäre der Fall, wenn der Strom von einer „fremden“ Stromquelle (Dynamomaschine) käme. Es müßte dann die Klemmen-Spannung größer sein, weil sie den Strom nicht nur durch den äußeren Widerstand, sondern auch noch durch den inneren Widerstand der Zelle zu treiben hat. Dieser Fall tritt tatsächlich ein beim „Aufladen“ einer Akkumulatorenbatterie. Im ersteren Falle wäre die Zelle mit einer Kraftmaschine, im letzteren Falle eher mit einer Arbeitsmaschine zu vergleichen.

**Kommutator oder Stromwender. „Gleichstrom“. „Wechselstrom“.**

Um den im Leitungsdrahte A fließenden Gleichstrom in einen seine Richtung verändernden „Wechselstrom“ zu verwandeln, hätte man nur eine Vorrichtung, einen sog. Stromwender oder Kommutator anzubringen, auf den wir hier nicht näher eingehen wollen. Heute jedoch erzeugt man „Gleichstrom“ und „Wechselstrom“ für die technischen Betriebe nur durch Dynamomaschinen, von denen später ausführlich gehandelt wird. Es wurde der sog. Wechselstrom hier nur erwähnt, um einen gewissen Zusammenhang mit späteren Betrachtungen anzudeuten.

**Polarisation.** Aus dem Volta-Elemente, dessen anfangs starker Strom bald abnimmt, sind die sog. „konstanten“ Elemente hervorgegangen.

Die Schwächung des Elementes ist folgendermaßen zu erklären und zu mindern:

Durch den Strom, dessen Richtung der gefiederte Pfeil der Figuren 26 und 27 angibt, wird das angesäuerte Wasser (verdünnte Schwefelsäure  $H_2SO_4$ ) in seine

Bestandteile (+ H<sub>2</sub> und — SO<sub>4</sub>) zerlegt. Die negative SO<sub>4</sub> wandert an den Zinkpol, dessen amalgamierte (mit Quecksilber überzogene) Oberfläche nur wenig verändert wird. Dagegen wird die ursprünglich negative Kupferplatte durch den auf ihr sich in Bläschen ablagernden positiven H<sub>2</sub> stark + elektrisch. Dadurch tritt ein den Hauptstrom schwächerer entgegengesetzter Strom, der sog. „Polarisationsstrom“ ein.

**Konstante Elemente.** Daniell (1836) trennte deshalb die Zink- und Kupferplatte durch eine poröse Scheidewand aus gut gebranntem Ton und umgab die Kupferplatte mit konzentrierter Kupfervitriollösung (CuSO<sub>4</sub>) (Fig. 2 unten). Jetzt scheidet sich aus dieser Lösung metallisches Kupfer ab, wandert an die Kupferplatte und bildet hier einen dichten, an allen Stellen gleichdicken homogenen Überzug. So bleibt jetzt auch die Kupferelektrode und damit der ursprüngliche Strom auf längere Zeit unverändert.

Auf die Vorgänge im Daniell-Element, durch welches auch ein fremder Strom geleitet werden kann, sind zurückzuführen:

- die Galvanoplastik (Jacobi 1838) zur Herstellung kupferner Überzüge von Gegenständen, um hiervon eine Kopie zu erhalten;
- die Galvanographie und Galvanographie zur Herstellung von Druckplatten (Typen, Galvano, Klisches);
- die Galvanostegie zum Zweck des Schutzes oder der Verschönerung des überzogenen Gegenstandes;
- die Galvanochromie zwecks Färbung der Metalle;
- das „Elmore-Verfahren“ der „Deutschen Elmore-Werke“ zu Schladern an der Sieg, zur Herstellung von Kupferrohren jeder Wandstärke und Größe, welches in der Hauptsache darin besteht, die auf einem Dorn elektrolytisch erzeugten Kupferschichten mittelst eines glatten Achatstückes dicht zu pressen, welches ähnlich um das Rohr geführt wird, wie der Schneidstahl auf der Drehbank.

Zusammenstellung einiger der bekanntesten konstanten Elemente.

Zunächst mag hervorgehoben werden, daß die in Volt gemessene EMK (e Volt\*) eines Elementes nicht von der Größe der Gefäße und Platten (Elektroden), sondern nur von der Natur der verwendeten Leiter (1. und 2. Klasse) abhängt. Dagegen läßt sich die durch die EMK erzeugte Klemmen-Spannung (Volt) durch Hintereinanderschalten gegebener Elemente zu einer Batterie erhöhen, wie in Figur 2 gezeigt ist.

Andererseits kann die Stromstärke (i Ampère) wesentlich vergrößert werden durch Vergrößerung der Platten und Verminderung des Zwischenraumes zwischen den Platten, weil dadurch eine Verminderung des inneren Widerstandes (w Ohm\*) erreicht wird.

Nebeneinanderschalten mehrerer Elemente hat denselben Erfolg wie die Vergrößerung der Platten.

Daniell. Zn, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; CuSO<sub>4</sub>, Cu —  $\left\{ \begin{array}{l} \text{EMK} = 1,08 \text{ bis } 1,12 \text{ (also etwa } 1 \text{ Volt,} \\ \text{W} = 0,6 \text{ „ } 0,3 \text{ ( „ „ } 0,5 \text{ Ohm,} \\ \text{Stromstärke} = 2,0 \text{ Ampère.} \end{array} \right.$

Nach Kittler gibt reines amalgamiertes Zink, verdünnte Schwefelsäure von 1,075 spez. Gewicht oder 11% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; konzentrierte Kupfersulfatlösung von 1,2 spez. Gewicht, reines Kupfer, welches letztere vom Strome selbst gebildet wird, — 1,18 Volt. Die Temperatur hat geringen Einfluß. Nach der Zusammensetzung pflegt die EMK anfangs etwas kleiner zu sein.

\*) Siehe die betr. Angaben in der Elektro-Mechanik.

Bunsen oder Grove.	Zn, $H_2SO_4$ ; $HNO_3$ , C oder Pt — EMK = 1,9 Volt; W = 0,2 bis 0,1 Ohm.
Chromsäure-Element.	Zn, $H_2CrO_4$ , C — EMK = 2,0 Volt.
Braunstein- „	Zn, Lösung von $NH_4Cl$ , zerkleinerter Braunstein, Kohle (Leclanché), EMK nimmt ab mit wachsender Stromstärke, Spannung (stromlos) = 1,5 Volt.
Smee.	Zn, $H_2SO_4$ , Pt oder Silber mit Platinmohr überzogen.
Normal-Elemente.	Nicht zur Stromerzeugung, sondern zum Messen anderer Spannungen, sowie Strommessungen sind folgende Elemente bestimmt:
Clark-Element.	Reines Quecksilber, Quecksilberoxydul; Zinksulfat ( $ZnSO_4$ ), reines Zink. Die EMK = 1,433 Volt bei $15^\circ C$ , ist zwar sehr konstant, aber sehr abhängig von der Temperatur.
Cadmium-Element.	Wie das vorige Element. Nur ist Cadmium und Cadmiumsulfat anstatt Zn und $ZnSO_4$ zu setzen.
Kalomel-Element.	von Helmholtz. Zn, 5 bis 10% $ZnCl_2$ Lösung; fein gepulverter Kalomel, Quecksilber, gibt schwache Ströme lange Zeit hindurch sehr konstant und zwar etwa 1 Volt bei $ZnCl_2$ Lösung von 1,4 spez. Gewicht.

(Nachzulesen Kohlrausch. Lehrbuch d. prakt. Phys. IX. Aufl. 1901 S. 349.)

### Elektro-magnetische Entdeckung Oersteds (1777—1851).

Im Jahre 1819 stellte der Kopenhagener Gelehrte Hans Christian Oersted die bis dahin unbekannte Wechselwirkung zwischen einem vom Strome durchflossenen Leiter und einem Magneten fest und wies das wichtige Gesetz nach: Der elektrische Strom sucht eine Magnetnadel senkrecht zu seiner Richtung zu stellen.

Um auf das hierunter besprochene Biot-Savart-Gesetz vorzubereiten, möchte ich dem Oersted-Gesetz noch die etwas umfassendere Deutung geben:

Ein stromdurchflossener Leitungsdraht sucht einen frei für sich gedachten Magnetpol senkrecht zu derjenigen Ebene, welche durch Draht und Pol bestimmt ist, seitlich fortzudrücken, so daß bei ununterbrochenem Strom-Verlaufe der Pol gezwungen wird, den durchflossenen Draht zu umkreisen, wie es die spätere Figur 32 zur Darstellung der „Faraday-Kraftlinien“ andeutet.

Durch seine Entdeckung legte Oersted den ersten Grundstein zu dem heutigen Elektro-Magnetismus und zu allen jenen unzähligen Vorkehrungen, durch welche die Ablenkung von Magneten durch den elektrischen Strom, und umgekehrt, bezweckt wird (Zeichengeber, Meßapparate).

Schweigger und Poggendorff verstärkten 1821 die Wirkung, indem sie den durchflossenen Leiter in mehreren Windungen (Multiplikator) um die Magnetnadel legten, Nobili 1824 erhöhte die Empfindlichkeit durch die Anwendung der Doppelmagnetnadel (astatische Nadel) anstatt der einfachen.

Mit der in der Gelehrtenwelt großes Aufsehen erregenden Beobachtung Oersteds wurde zum ersten Male der Beweis geliefert, daß ein vom elektrischen Strome durchflossener Leiter einen Magnetpol, oder da auch hier das Wechselwirkungsgesetz gilt, daß umgekehrt ein Magnetpol einen vom Strome durchflossenen Leiter seitlich fortzudrängen sucht. Damit ist der Grundgedanke einiger wichtiger Galvanoskope und Galvanometer, sowie des später behandelten „Elektromotors“ ausgesprochen. Überhaupt beruhen auf der Oerstedschen Entdeckung von der

Wechselwirkung zwischen Elektrizität und Magnetismus fast alle elektrischen Maschinen unserer heutigen Betriebe. Ich glaube die Oerstedsche Entdeckung besonders hervorheben zu müssen, weil dieselbe selbst in größeren Lehrbüchern der Elektrotechnik neben viel weniger wichtigen Dingen ganz vergessen ist, und weil es unzweifelhaft wahr ist, daß nur die richtige Erkenntnis und Würdigung der Vergangenheit befähigt, die Gegenwart klar zu verstehen und wahr einzuschätzen.

**Galvanoskop.** Durch Figur 28 ist ein für Hörsäle sehr beliebtes Galvanoskop mit vertikalem Zeiger zum Nachweisen sehr schwacher Ströme angedeutet. Der Magnet AA ruht bei a auf einer Schneide, trägt den Zeiger b und die kleinen verstellbaren Gewichte c zum feinen Einstellen. Bei CC werden die Leitungsdrähte des zu beobachtenden Stromes festgeklemmt. Je nach der Richtung des Stromes, der nun durch die Multiplikatorwindungen fließt, wird die Nadel nach rechts oder links abgelenkt. Die Form des Magneten bezweckt nur den Schwerpunkt des beweglichen Teiles unter den Unterstützungspunkt zu bringen (Stabiles

Fig. 28.

Vertikal-Galvanoskop.

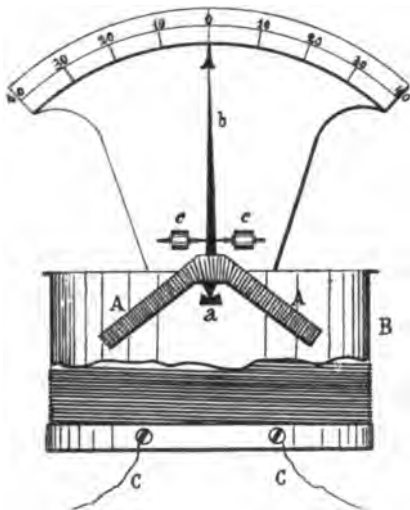
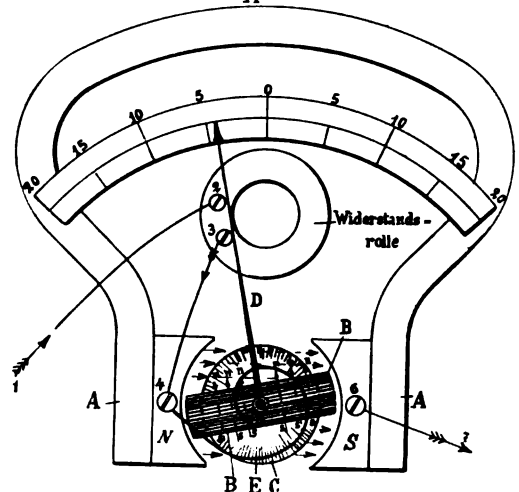


Fig. 29.

Deprez d'Arsonval (Weston) Galvanometer.



Gleichgewicht der Wagen). Galvanometer sind Galvanoskope, welche genaue Strommessung ermöglichen. (Hierher können auch gerechnet werden die Tangenten- und Sinus-Busssole, von denen Abbildungen und Gebrauchsanweisungen in jedem physikalischen Lehrbuche zu finden sind).

Man kann sich leicht eine Vorstellung von den hierbei in Frage kommenden Gesetzen mit Hilfe eines gewöhnlichen Lotes machen:

Ist die das Lot ablenkende Kraft  $J$  senkrecht zur Lotrichtung  $H$  gerichtet und  $a$  der Ablenkungswinkel, so ist nach dem als bekannt vorauszusetzenden Parallelogramm-Satze:

$$J = H \tan a.$$

Ist dagegen  $J$  senkrecht zu dem abgelenkten Faden gerichtet, so ist

$$J = H \sin a.$$

Den Übergang zur Tangenten- und Sinusbusssole zu suchen, darf ich meinen Lesern wohl überlassen.

**Galvanometer von Deprez-d'Arsonval (Weston).** Fig. 29. A ist ein Hufeisen-Magnet mit dem Nordpol N und dem Südpol S, B eine drehbare Spule



mit dem Eisenkern C und dem Zeiger D, E eine Spiralfeder, welche Spule und Zeiger in die Mittellage (Null) drängt und zugleich als Stromzuleitung zur Spule dient.

Der Strom wird durch die Spule auf dem Wege 1 2 3 4 5 6 7 geführt, auf dem Wege 2 3 durch die Widerstandsrolle abgeschwächt. Auf dem Wege 5 6 geht er durch die Windungen der Spule und bewirkt eine Drehung, Ablenkung derselben aus der Nord-Süd Linie des feststehenden Magneten, bzw. des Zeigers nach rechts oder links je nach der Richtung des Stromverlaufes durch die Spule.

Auf demselben Prinzip beruhen auch die Präzisions Ampère- und Volt-Meter von Siemens und Halske, auf die hiermit nur verwiesen werden soll.

**Biot-Savart-Gesetz 1820** (Fig. 30). Bald nach der Oersted'schen Entdeckung stellten Biot und Savart das nach ihnen benannte Gesetz zur Berechnung der Wirkung zwischen einem vom elektrischen Strome durchflossenen Drahte und einem Magnetpol auf.

Weil nach Oersted's Entdeckung Stromwirkung auf Magnetwirkung hinausläuft und das Coulomb-Gesetz die Wechselwirkung zweier Magnete aufeinander ausdrückt, so kommt uns unwillkürlich der Gedanke, daß das Biot-Savart-Gesetz wohl eine Kombination des Oersted- und des Coulomb-Gesetz sein müsse.

Es sei m ein Magnetpol (Nordpol), l ein von einem elektrischen Strome der Stärke i durchflossener Leitungsdraht, der den Winkel  $\alpha$  mit dem Radius r einschließt und mit letzterem in der Bildfläche liegt.

Wäre der Draht ein Magnetpol M, so würden nach Coulomb beide Magnete (ohne Rücksicht auf das Vorzeichen und die Konstante k) aufeinander einwirken mit der Kraft:

$$P = \frac{m M}{r^2}$$

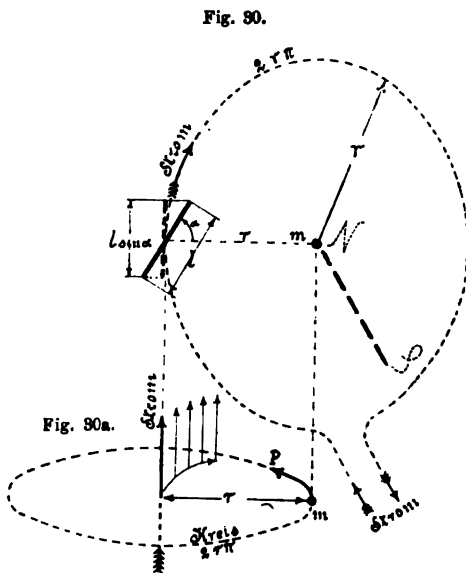
Nun ist aber die magnetische Wirkung des Drahtes um so größer, je größer i und  $l \sin \alpha$  und nach Oersted abhängig von dem rechtwinklig zu r gerichteten Anteile, den die punktierte Linie ( $l \sin \alpha$ ) darstellt. Danach geht die voranstehende Gleichung über in die Form:

$$K = \frac{m \cdot (i l \sin \alpha)}{r^2}$$

welche das **Biot-Savart-Gesetz** ausdrückt, wenn wir, was oben schon hervorgehoben wurde, K senkrecht zu derjenigen Ebene gerichtet annehmen, die durch m und Draht bestimmt ist.

Für  $\alpha = 90^\circ$ , also  $\sin \alpha = 1$ , fällt unsere stromdurchflossene Linie in die punktierte Lage selbst hinein. Dann wäre für den zum vollen Kreise ( $l = 2 r \pi$ ) ergänzten Draht die Kraft:

\*) Es darf nicht übersehen werden, daß die Kraft bei dem Coulomb-Gesetze in der Richtung der Verbindenden r, dagegen nach Oersted-Biot-Savart senkrecht zu dieser Verbindenden wirkt, d. h. der Strom i mit dieser Kraft den Magnetpol m seitlich fortdrängt.



$$K = \frac{m \cdot i \cdot 2 r \pi}{r^2} = \frac{m i 2 \pi}{r}$$

Hätten wir  $z$  vom Strome durchflossene Windungen anstatt der einen Windung  $2 r \pi$ , so wäre die Kraft

$$K = z \cdot \frac{m i 2 \pi}{r} = \frac{m (z i) 2 \pi}{r}$$

(Multiplikator, Solenoid oder Drahtspule).

**Ampère- (oder Strom-) Windungen.** Da nach der Formel die magnetische Wirkung der Drahtspule (Solenoides) von dem Produkte  $z \cdot i$  abhängt und es gleichgültig ist, ob man  $z$  groß und  $i$  klein oder umgekehrt wählt, so hat man diesem für die elektrotechnischen Apparate und Maschinen sehr wichtigen Produkte, auf das die folgenden Betrachtungen führen, den Namen „Ampère-Windungen“ beigelegt.

Wäre  $m$  der Nordpol, der nach unserer Annahme in der Mitte des Kreises liegt und dürften wir die bald besprochene Ampère-Schwimmregel als bekannt voraussetzen, so würde der durch die punktierte Linie NS veranschaulichte Magnet nach links, senkrecht zur Kreisebene sich bewegen, bis seine Mitte mit der Mitte des Kreises zusammenfällt und in dieser Lage gewissermaßen die symmetrisch zur Kreisfläche liegende Achse bildet. Wir kommen auf diese gleichsam saugende Wirkung, welche vom Strome durchflossene Solenoide auf Magnet- und Eisenstäbe ausüben, zurück bei Besprechung der Ampère-Gesetze, die nun folgen soll.

Zur Vervollständigung und im Hinweis auf die Vorgänge in den elektrischen Maschinen soll noch folgendes angedeutet werden.

Steht der stromdurchflossene Leiter fest (Fig. 30a), so dreht sich der Magnetpol  $m$  in der Krafrichtung und Größe  $P$  um den Leiter in dem punktierten Kreise vom Halbmesser  $r$  herum. Stände umgekehrt der Magnetpol  $m$  fest, so müßte nach dem Wechselwirkungsgesetz der durchflossene Leiter parallel zu seiner

Lage sich um  $m$  herum drehen, wie die zart gezeichneten parallelen Pfeile andeuten.

Später bei der Besprechung der Dynamomaschinen und Elektromotoren werden wir sehen, daß die mechanische Kraft  $K$  (Fig. 27, 31), welche nach dem Oersted-Biot-Savart-Gesetz aus der Wechselwirkung zwischen elektrischen Strömen und Magneten sich ergibt, bei den Dynamomaschinen durch die Kraftmaschine überwunden werden muß, dagegen bei den Elektromotoren die Drehachse des Ankers bzw. der Arbeitsmaschine antreibt, wie es, für den letzten Fall, die Figur 31 andeutet, in welcher der durchflossene Bügel sich unter dem Einfluß der feststehenden Magnetpole NS in der Richtung des Uhrzeigers

sich dreht. Auch diese Bewegungsvorgänge lassen sich durch die Ampère-Schwimmregel, die im folgenden besprochen wird, erklären.

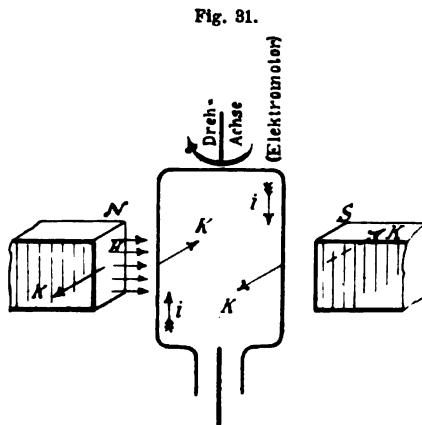


Fig. 31.

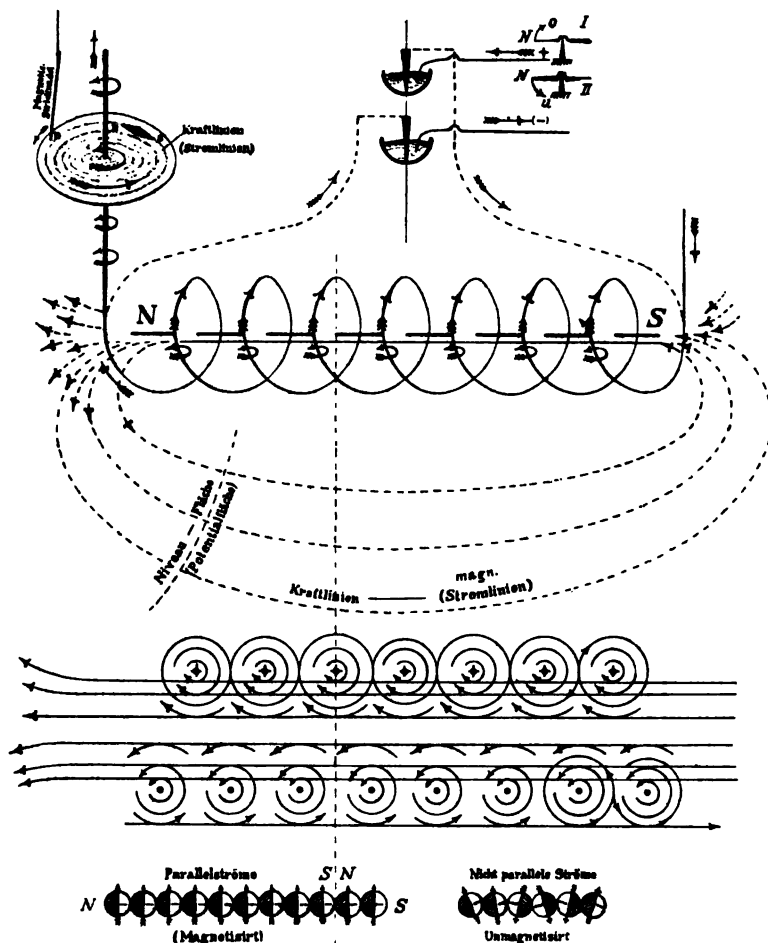
## Elektrodynamische Gesetze und Regeln von Ampère (1775—1836).

Schon am 18. Sept. 1820, also nicht lange nach Oersteds Beobachtung veröffentlichte der französische Physiker Ampère, wie Arago berichtet, eine Reihe von Nutzenwendungen dieser Beobachtung und dazu neue Entdeckungen und

Aufklärungen über die Wechselwirkung zwischen elektrischen Strömen und der bewirkten Bewegungsvorgänge, die für die Wissenschaft und praktische Elektrotechnik von großem Werte waren. Am bekanntesten wurde die auf die Oersted'sche Entdeckung bezügliche Ampère-Schwimmregel: Schwimme mit dem  $+$  Strome und siehe nach der Magnetnadel, so zeigt der Nordpol (N) eine Ablenkung nach links.

In der Figur 32 welche zugleich für die Besprechung einer Anzahl von anderen im Zusammenhange stehenden wichtigen Gesetzen entworfen ist, auch

Fig. 32.



für die später behandelten Faradayschen Kraftlinien gelten soll, wurde die Schwimmregel oben rechts veranschaulicht. Der Schwimmer müßte auf dem Rücken schwimmen, wenn er nach der oberen (I), auf dem Bauche, wenn er nach der unteren Nadel (II) sehen wollte. Die Ampèresche Regel ergibt dann die eingezeichneten Ablenkungen o und u. Man beachte noch, daß der ankommende Strom ( $+$ ) sowohl, wie der abfließende Strom ( $-$ ), die dazwischenliegende Magnetnadel (II) in derselben Weise ablenkt. Auch wollen wir nicht vergessen, daß nach dem allgemeinen Gesetze der Wechselwirkung das Ampère-Gesetz in folgen-

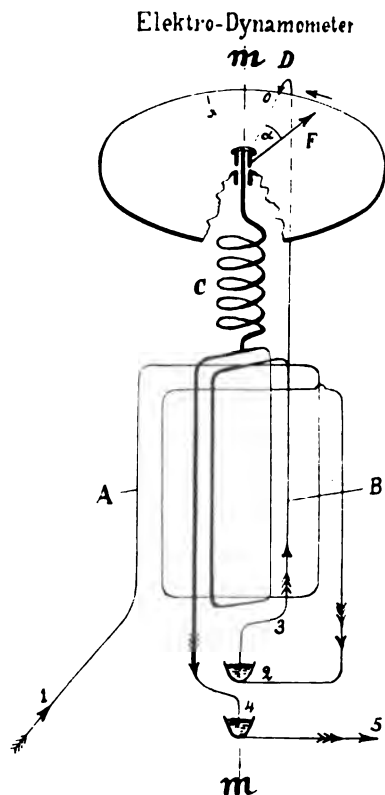
der Weise zu ergänzen wäre: Wäre der Magnet fest und der Leitungsdraht beweglich, so würde letzterer vom Nordpol nach **rechts** fortgedrückt.

Ferner ist die Ablenkung des nach unten hängenden n-Poles der Stricknadel in derselben Figur links, nach Ampères Schwimmregel, leicht zu bestimmen: Der frei gedachte n-Pol würde in der Richtung des gefiederten Pfeiles den durchflossenen Leitungsdraht umkreisen. (Vorgreifend sei bemerkt, daß in diesem Teile der Figur später auch auf die Faradayschen Kraftlinien hingewiesen wird, die dadurch veranschaulicht werden, daß man Eisenfeilspäne auf das wagerechte Kartenblatt streut, durch dessen Mitte der durchflossene Leitungsdraht geführt ist. Hiervon wird später eingehender gesprochen.

Ampère stellte auch feste Regeln auf für die Anziehung und Abstoßung elektrischer Ströme. Diese ließ er durch rahmenförmig gebogene Kupferdrähte fließen, welche in praktisch konstruierten „Ampèreschen Gestellen“ frei schwebend in ähnlicher Weise aufgehängt waren, wie das Solenoid der Figur 32, auf welches im folgenden näher eingegangen wird. Seine Entdeckungen lauten:

Zwei parallele Schließungsdrähte  
ziehen einander an, wenn sie von gleichgerichteten Strömen,  
stoßen sich ab, wenn sie von entgegengesetzten Strömen  
durchflossen werden.

Fig. 33.



Diese Gesetze sind im Gegensatz zu Oerstedts Entdeckung als elektro-dynamische anzusprechen, weil bei ihnen nur Ströme, nicht Magnete eine Rolle spielen.

Wollte man diese Ampère-Gesetze mit den vor Ampère aufgestellten oben aufgeführten elektrischen Gesetzen von der Anziehung ungleichartiger und der Abstoßung gleichartiger elektrischer Massen vergleichen, so könnte man sagen:

Gleich elektrisierte Körper stoßen sich ab, gleichgerichtete Ströme ziehen sich an,

Entgegengesetzt elektrisierte Körper ziehen sich an, entgegengesetzt gerichtete Ströme stoßen sich ab.

Danach würden die Solenoidwindungen unserer Figur 32 durch die parallelen Ströme angezogen, so daß sich das Solenoid längs der Achse zu verkürzen sucht. Auf dieses Streben einander benachbarter, von sehr starken Strömen durchflossener Windungen muß der Techniker bei Verlegung und Befestigung der Leitungsdrähte Rücksicht nehmen.

**Elektro-Dynamometer (Fig. 33).** Auf dem vorhin ausgesprochenen Gesetze von der Wechselwirkung zwischen zwei vom elektrischen Strome durchflossenen Leitern beruht das von W. Weber 1846 angegebene, von Siemens und Halske für die praktische Anwendung geeignete Elektro-Dynamometer, welches

zur Messung der später besprochenen Wechselströme dient.

Der Strom durchfließt auf dem Wege 1 2 3 4 5 eine feste (A) und eine um die Mittellinie *mm* drehbare (B) Spule. Die senkrecht zu einander stehenden

Spulen umschließen einander. Welche Spule als innere angenommen wird, ist an sich gleichgültig. In der Figur ist die bewegliche (B) die umschließende. Sie wird durch die Spiralfeder C in eine bestimmte Gleichgewichtslage gedrängt und ist mit dem Zeiger D verbunden. Stromlos stehen die beiden Spulen um  $90^\circ$  gegeneinander verstellt; F und D einander gegenüber auf Null. Durchflossen suchen die beiden Spulen ihre Ströme parallel zu stellen. Stromwechsel, und wenn sie auch sehr rasch aufeinander folgten, ändern nicht die Richtung des Ausschlages.

Durchflossen vom Strome  $i$  weicht die Spule B und damit D nach links aus vielleicht bis  $x$ . Durch Drehen des Zeigers F nach rechts bringt man dann D wieder genau auf Null. Dann schließen bewegliche und feste Spule wieder den Winkel  $90^\circ$  ein, der Winkel  $\alpha$  gibt den Verdrehungswinkel der Spiralfeder C an und der Strom  $i$  ist proportional der Quadratwurzel aus  $\alpha$ , also  $i = k \sqrt{\alpha^*}$ , wenn  $k$  die sog. Konstante des Instrumentes ist.

**Solenoid.** Auch machte Ampère die wichtige Entdeckung, daß schwebend aufgehängte vom Strome durchflossene Leiter, besonders wenn sie in mehreren Windungen nebeneinander röhrenförmige Drahtspulen, sog. Solenoide (solenoides röhrenförmig) bilden, mit ihren geometrischen Achsen wie Magnete in den magnetischen Meridian (Nord- Süd-Richtung) sich einstellen (Figur 32).

Wie die punktierten Linien andeuten, ist das Solenoid mittelst der in einer Lotlinie liegenden Spitzen aufgehängt, die sich auf den Boden von Quecksilbernapfchen stützen, in welche ebenfalls die vom Strome durchflossenen Leitungsdrähte tauchen.

Die geometrische Achse der Windungen des Solenoides ist durch die dicke Linie NS angedeutet, die zugleich die „Polarität“ des Solenoides nach Ampères Schwimmregel angibt. Wer nach den Pfeilrichtungen in den Solenoidwindungen schwimmt und nach jener Achse sieht, hat immer den N-Pol zur Linken. Umkehr des Stromes bewirkt deshalb auch Umkehr der Polarität des Solenoides. Daß diese „magnetische“ Kraft weit stärker wird, wenn man in das Innere des Solenoides einen Stab von weichem Eisen einführt, wird später unter den „Elektromagneten“ näher besprochen. Aus der Figur läßt sich noch eine für spätere Betrachtungen nützliche Regel ableiten, die man sich an der Taschenuhr klar machen und merken kann. Man schreibe auf deren Glas ein S, Südpol, der hier entstehen müßte, wenn die Uhr im Sinne des Uhrzeigers vom Strome umkreist würde.

**Molekular-Magnete. Koerzitivkraft. Remanenz. Hysteresis-Arbeit.** Deshalb hielt schon Ampère (später auch Weber und Ewing) alle magnetischen Erscheinungen für Wirkungen elektrischer Ströme, jedes Eisenmolekül, auch im unmagnetischen Zustande, von elektrischen Strömen umflossen, die aber regellos in beliebigen Ebenen kreisten. Durch den Magnetisierungsvorgang würden dann diese Molekülmagnete gewaltsam so gedreht, daß ihre Molekularströme gleiche Richtung annähmen. Dem widerspricht nicht die andere unter den Forschern vertretene Annahme, daß jedes Eisenmolekülchen ein fertiger Magnet mit Nord- und Südpol sei und daß diese wirr durcheinanderliegenden Magnete durch die Arbeit des Magnetisierens so gedreht würden, daß die kleinen Magnetchen nun ihre Nordpole nach derselben Richtung kehrten und die Polwirkung des Gesamtmagneten das Ergebnis (Resultierende) der Polwirkung der einzelnen Molekülmagnete sei. Sättigung entspräche dem Grenzzustande der Magnetisierung.

Koerzitivkraft (con arceo ich halte zusammen) wäre hiernach der Widerstand gegen diese Drehung während des Magnetisierens und während des Ent-

\*) Die Kraft (das Torsionsmoment), womit die beiden Spulen auf einander einwirken, ist proportional dem Quadrate der Stromstärke  $i$ . Der Verdrehungswinkel  $\alpha$  der Spiralfeder proportional der Kraft.

magnetisierens infolge der Molekular-Reibung, die am größten beim härtesten Wolfram-Stahl, am kleinsten beim weichsten, besten schwedischen Eisen sei, und veranlasse sowohl die Remanenz (remaneo, ich bleibe zurück), als auch die Hysteresis-Arbeit) (*ὑστέρω*, hystereo, ich komme zu spät). (Siehe auch oben unter Elektro-Mechanik und später unter „Magnetismus“).

Elektromagnete, in der Elektrotechnik, insbesondere bei den Dynamomaschinen unentbehrlich, sind anzusehen als stromdurchflossene Solenoide mit einem Kern aus weichem Eisen. Letzteres verliert den Magnetismus um so schneller und vollkommener mit Aufhören des magnetisierenden Solenoidstromes, je weicher (reiner) das Eisen ist. Hufeisenförmige Elektromagnete sind weit kräftiger als die stabförmigen, weil die die beiden Pole trennende Luftschicht kleiner ist. (Näheres später unter den „Faradayschen Kraftlinien“).

Wichtig ist noch die Tatsache, daß die magnetische Wirkung des vom Strome durchflossenen Solenoides wesentlich verstärkt wird, nicht nur durch die Güte des eingeschobenen Kernes von weichem Eisen, sondern auch durch die Stromstärke (*i*) und die Anzahl der Windungen. Nach Kenntnisnahme der Faradayschen Induktionsgesetze werden wir auf diese beiden Punkte unter „Permeabilität“ und „Ampère-Windungen“ zurückkommen.

Ein durchflossenes Solenoid zieht weiches Eisen in sich hinein, und zwar am stärksten, wenn das Ende des Stabes in der Mitte des Solenoides sich befindet. Der Gleichgewichtslage entspricht das Zusammenfallen der Mitte des Stabes und des Solenoides. Liegt das Eisenstück exzentrisch, so wird es an die nächst liegende innere Spulenwand angezogen (Hummel). Solche Solenoide mit im Innern verschiebbaren Eisenmassen bilden einen wesentlichen Bestandteil der früher besprochenen Volt- und Ampère-Messer und der später behandelten Hefner v. Altenck- und der Krizik-Differentiallampen, sowie auch bei der sog. „Solenoid Gesteinsbohrmaschine“.

### Davy (1778—1829)

(von dem auch die nach ihm benannten Sicherheitslampen herrühren) zeigte im Jahre 1821 den Lichtbogen der elektrischen Bogenlampen, und machte auf elektrolytischem Gebiete die bedeutungsvolle Entdeckung, die Oxyde der Alkalien und alkalischen Erden, welche vorher als einheitliche Körper galten, zu zersetzen und die Metalle rein zu erhalten. (Arrhenius Lehrb. der Elektrochemie 1901, S. 17).

### Thermoelektrizität. (Seebeck, Peltier). Thermoelektrische Spannungsreihe.

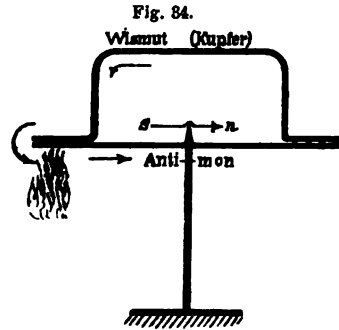
Im Jahre 1822 entdeckte Seebeck, daß, außer durch chemische Wirkung in dem Voltaschen Becherelemente, auch durch bloße Erwärmung der Lötstelle zweier ungleichartiger, zu einem geschlossenen Ringe (Thermoelement) zusammengelöteter Metalle, z. B. Wismut oder Kupfer und Antimon ein elektrischer Strom „Thermostrom“ erzeugt wird, dessen Richtung mittelst freischwebender Magnethadel sich feststellen läßt (Fig. 34).

An der wärmeren Lötstelle fließt der Strom vom Wismut (Kupfer) zum Antimon, an der kälteren zurück. Solche Elemente sind zu Thermosäulen zusammengestellt, die zwar im Gebrauche sehr einfach und handlich sind, aber nur sehr geringe elektromotorische Kraft erzeugen. In der oben aufgenommenen tabellarischen Zusammenstellung der „praktischen elektrischen und anderen gebräuchlichen Einheiten“ sind zwei der älteren zuerst praktisch verwerteten Säulen (Noë, Markus) aufgeführt. Neuerdings hat Gülcher Thermosäulen eingeführt, die aber

auch nur die Spannung von vier hintereinander geschalteten Bunsen-Elementen also  $e = 2$  Volt geben. Nähere Angaben zu machen verbietet der Raum.

Nun soll noch auf die Umkehrbarkeit der Wirkung des Thermoelements hingedeutet werden, die durch Peltier nachgewiesen wurde. Peltier sandte einen von einer anderen Quelle gelieferten Strom durch das Thermoelement und fand, daß diejenige Lötstelle, bei welcher der  $+$  Strom vom Antimon zum Wismut floß, erwärmt wurde (Peltierwärme), dagegen beim Übergange des Stromes vom Wismut zum Antimon eine Abkühlung der Lötstelle eintrat.

Bringt man beide Beobachtungen in Zusammenhang, so würde man sagen können: Würde man den Strom, den man durch Erwärmung erzeugte, in umgekehrter Richtung durch das Element senden, so würde man die mitgeteilte Wärme wiedergewinnen, wenn keine Verluste stattfänden.



Thermoelektrische Spannungsreihe. Die Metalle der folgenden Reihe sind derart zusammengestellt, daß der  $+$  Strom an der erwärmten Lötstelle immer von einem vorhergehenden zu einem darauffolgenden fließen würde:  $(+)$  Wismut, Neusilber, Nickel, Kobalt, Platin, Gold, Messing, Zinn, Aluminium, Blei, Kupfer, Zink, Silber, Kadmium, Eisen, Antimon  $(-)$ .

### Das Grundgesetz des elektrischen Stromes von Ohm (1787—1854).

Im Jahre 1827, also 42 Jahre nach Feststellung des Grundgesetzes der Elektrostatik durch Coulomb, 27 Jahre nach Entdeckung des elektrischen Stromes durch Volta und 7 Jahre nach der Begründung des Elektromagnetismus durch Oersted, Biot-Savart und Ampère, fand der bayerische Professor Georg Simon Ohm das nach ihm benannte Gesetz des elektrischen Stromes, das Grundgesetz der Elektrodynamik, welches die Beziehung zwischen den beim elektrischen Strome auftretenden drei Größen ausdrückt, aber auch für jede Strömung in Natur und Technik gilt.

Bereits im Eingange unserer Elektro-Mechanik ist versucht, die Allgemeingültigkeit des Ohmschen Gesetzes für jeden Bewegungsvorgang insbesondere für Strömungen nachzuweisen.

Wir sahen, daß die „motorische“ Kraft des in Drehung versetzten Flügelrades der Zentrifugalpumpe, die sich nach der Figur 10 durch Ansaugen von links und Fortdrücken nach rechts äußert, einen Spannungsunterschied (Gefälle)  $e$  bewirkte, wodurch der Wasserstrom durch die Widerstände  $w$  der Leitung gewaltsam gepreßt wurde.

Da wir früher mit Fleiß dieselben Buchstaben wählten, welche bei der Formulierung des Ohm-Gesetzes benutzt werden, so kann das folgende als Wiederholung angesehen werden.

Die hierbei erzeugte Stromstärke  $i$  wächst, wie wir sahen, mit  $e$  und nimmt ab mit  $w$ .

Diese für (jeden, auch) den elektrischen Strom geltende Beziehung wurde wiedergegeben durch die Gleichung:

$$i = \frac{e}{w} \quad *)$$

\*) Wollte man ausdrücken, daß mehrere elektromotorische Kräfte  $\Sigma(e)$  sowie mehrere äußere  $\Sigma(w_a)$  und innere  $\Sigma(w_i)$  Widerstände im Stromkreise auftreten, so würde man setzen können:

$$i = \frac{\Sigma(e)}{\Sigma(w_a) + \Sigma(w_i)}$$

welche vollständig und auf die einfachste Weise das Ohm-Gesetz ausdrückt und wörtlich lautet:

$$\text{Stromstärke (i)} = \frac{\text{Spannung (e)}}{\text{Widerstand (w)}}$$

Ebenso gilt:

$$e = i \cdot w,$$

$$w = \frac{e}{i}.$$

Wenn man die nach den oben hervorgehobenen Forschern benannten Maßeinheiten mit zum Ausdruck bringt, so läßt sich das Ohm-Gesetz auch schreiben:

$$\text{Stromstärke (i Ampère)} = \frac{\text{Spannung (e Volt)}}{\text{Widerstand (w Ohm)}}.$$

Oder in den Einheiten selbst durch die Anfangsbuchstaben ausgedrückt:

$$1 \text{ A} = \frac{1 \text{ V}}{1 \Omega}.$$

Als Abkürzung für das Ohm wird meist das griechische  $\Omega$  (Omega) gewählt. (Siehe auch die früher gegebenen Beispiele.)

**Berechnung der Leitungen.** Der Widerstand  $w$  hängt ab:

1. von der Eigenart der Leitung oder dem spezifischen Leitungswiderstande  $s$ ,
2. wächst außerdem mit der Länge des Leitungsweges  $l_m$
3. nimmt dagegen ab mit Zunahme des Leitungsquerschnittes  $q_{\text{qmm}}$

läßt sich deshalb ausdrücken durch die Gleichung:

$$w = s \frac{l}{q}$$

Mit Rücksicht auf diese Gleichung, heißt das Ohm-Gesetz:

$$i = \frac{eq}{sl}, \text{ oder:}$$

$$e = s \frac{il}{q}, \text{ „ :}$$

$$q = s \frac{il}{e} = d^2 \pi / 4 = 0,785 \cdot d^2,$$

wenn  $d$  den Durchmesser des Leiters von kreisförmigem Querschnitte bezeichnet. Die letzte Gleichung ist besonders zur Berechnung der Leitung geeignet.

Elektromotorische Kraft (EMK)  $E$ . Klemmenspannung  $e_k$ . Spannungsverlust  $e_v$ .

Aber nicht nur in der äußeren Leitung, sondern auch im Stromverbraucher (Pumpe, Elektromotor, Lampe, elektrolytisches Bad) ist ein Widerstand  $w_i$  vorhanden, durch welchen ebenfalls der Strom  $i$  gepreßt werden muß, damit er hier gerade seine Nutzarbeit verrichtet.

Die elektromotorische Kraft  $E$ , welche also den Strom  $i$  durch den unvermeidlichen Widerstand  $w$  der Leitung und durch den nützlichen Widerstand  $w_i$  des Stromverbrauchers zu pressen hat, ist demnach ausgedrückt durch die Gleichung:

$$i = \frac{E}{w_i + w}; \text{ oder}$$

$$E = i \cdot w_i + w \cdot i.$$

$$E = e_k + e_v,$$

$$e_k = E - e_v.$$

Die Klemmenspannung  $e_k$  am Verbraucher ist also um den Spannungsverlust in der Leitung  $e_v$  kleiner als die EMK des Erzeugers und „umgekehrt“. (Wie



das für den Stromerzeuger zu verstehen ist, werden meine Leser mit einem einzigen Zeichenwechsel ausdrücken.)

Einfaches Zahlenbeispiel. Für eine Bogenlampe kann man im Mittel annehmen  $i = 8$  Amp.;  $w = 5$  Ohm;  $e = 40$  Volt\*). 5 Bogenlampen also erfordern hintereinander geschaltet  $5 \cdot 40 = 200$  Volt Nutzspannung. Ständen also 220 Volt zur Verfügung, so dürfte die Leitung nur einen Spannungsverlust:

$$e_v = 220 - 200 = 20 \text{ Volt}$$

veranlassen. Weitere ausführlichere Beispiele folgen unten.

Einfluß der Temperatur auf den Leitungswiderstand. Der Leitungswiderstand ändert sich mit der Temperatur des Leiters, und

nimmt meist zu mit der Temperatur bei den meisten Metallen (Eisen) dagegen „er“ ab „ „ „ bei vielen Flüssigkeiten der atmosphärischen Luft, Lampenkohle, und bei den seltenen Erden (Cirkoniumoxyd der Nerustlampe).

Ist  $\alpha$  die Widerstandsänderung (Zu- oder Abnahme) auf je  $1^\circ$  Celsius,  $w_0$  der Widerstand bei der Normaltemperatur  $t_0^\circ \text{C}$  ( $= 0^\circ$  oder  $18^\circ$ ), dann ist für eine beliebige Temperatur  $t^\circ \text{C}$ , der Widerstand  $w$  ausgedrückt durch die Formel:

$$w = w_0 [1 + \alpha (t - t_0)].$$

(welche dieselbe Zusammensetzung hat, wie die für die Ausdehnung von Stäben bei Temperaturzunahme, wenn man unter  $\alpha$  den Ausdehnungskoeffizienten, unter  $w_0$  und  $w$  die Längen versteht).

**Spezifische elektrische Leitungswiderstände  $s$  und Temperaturkoeffizienten  $\alpha$  elektrotechnisch wichtiger Stoffe.**

(Gaskohle, Metalle und Metalllegierungen bei  $18^\circ$  Celsius).

(Zum größten Teil aus Kohlrausch, Lehrb. d. prakt. Physik. IX. Aufl. S. 595.)

Stoffe	Widerstand von $s$ 1 m bei $19^\circ \text{C}$ und $18^\circ \text{C}$ $s$ ( $\Omega$ )	Widerstands- zunahme von $s$ auf $1^\circ \text{C}$ $\alpha$	Stoffe	Widerstand von $s$ 1 m bei $19^\circ \text{C}$ und $18^\circ \text{C}$ $s$ ( $\Omega$ )	Widerstands- zunahme von $s$ auf $1^\circ \text{C}$ $\alpha$
Gaskohle . . . . .	50	0,0008	Stahl . . . . .	0,15—0,50	—
Wismut . . . . .	1,2	0,0042	Eisen . . . . .	0,12	0,005
Quecksilber . . . . .	0,958	0,00091	Zinn . . . . .	0,12	0,004
Konstantan (60 Cu 40 Ni)	0,49	0,00004	Aluminiumbronze . . . . .	0,12	—
Antimon . . . . .	0,45	0,0041	Palladium . . . . .	0,11	0,004
Manganin **) 84 Cu 12 Mn )	0,43	0,00002	Messing . . . . .	0,07—0,09	0,002
4 Ni )			Cadmium . . . . .	0,08	0,004
(Nickelmangankupfer)			Phosphorbronze . . . . .	0,07	sehr gering
Nickelin . . . . .	0,42	0,00023	Zink . . . . .	0,06	0,004
Patentnickel . . . . .	0,33	0,0002	Aluminium . . . . .	0,032	0,004
Neusilber . . . . .	0,30	0,00023	Gold . . . . .	0,023	0,004
Blei . . . . .	0,21	0,004	Siliziumbronze . . . . .	0,02	—
Platinsilber (20% Platin)	0,20	0,0003	Kupfer (käufl.) . . . . .	0,017	0,004
Nickel . . . . .	0,08—0,11	0,004	„ (rein) . . . . .	0,0167	0,0044
Platin (rein) . . . . .	0,11	0,0036	Silber . . . . .	0,016	0,0037
„ (käufl.) . . . . .	0,14	0,003			

\*) Siehe auch hinten unter „Beleuchtung“ die Tabelle über Bogenlampen.

\*\*) Mit dem Manganin ist eine Legierung gefunden, deren Widerstand sehr konstant und wenig von der Temperatur abhängig ist. In den zum Messen der Ohmschen Widerstände be-

Kupfer ist seines großen Leitungsvermögens wegen am geeignetsten für elektrische Leitungen.

Unter Leitungsvermögen sind die umgekehrten Werte von  $s$  zu verstehen. Für käufliches Kupfer ist danach das Leitungsvermögen oder die Leitfähigkeit  $1/s = 1/0,017 = 59$ . Für  $s = 0,0167$  wäre das Leitungsvermögen  $1/0,0167 = 60^*$ . (Siehe hierunter §§ 3, 4).

Nach der Preisliste für Kupferleitungen der Firma Siemens & Halske A.-G. werden alle Kupferleitungen aus bestem elektrolytischem Kupfer angefertigt, dessen Leitfähigkeit bezogen auf Quecksilber von  $0^\circ\text{C}$ , nicht unter  $57^*$ ) beträgt. Diesem Grenzwerte entspricht  $s = 1/57 = 0,0175$  bei  $0^\circ\text{Celsius}$ .

Die Zahlen unter  $s$  ( $\Omega$ ) drücken zugleich die Leitungswiderstände für Drähte (Zylinder) von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt in Ohm ( $\Omega$ ) aus.

Im Mittel wächst  $s$  auf je  $1^\circ\text{Celsius}$  bei den reinen festen Metallen um 0,003 bis 0,005, beim Quecksilber um 0,00091 und beim Nickel-Mangankupfer nur um 0,00002.

Es zeigt Silber den kleinsten Widerstand, dann folgt Kupfer und bald Aluminium, Gaskohle den größten Widerstand und die Eigentümlichkeit, daß derselbe mit der Erwärmung abnimmt, während bei den Metallen das umgekehrte stattfindet.

Nach den Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker heißt es im Anhang B unter „Kupfernormalien d. V. d. Elektrot.“:

§ 1. Der spezifische Widerstand des Leitungskupfers wird gegeben durch den in Ohm ausgedrückten Widerstand eines Stückes von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt bei  $15^\circ\text{Celsius}$ .

§ 2. Als Leitfähigkeit des Kupfers gilt der reziproke Wert des unter § 1 festgesetzten spezifischen Widerstandes.

§ 3. Kupfer, dessen spezifischer Widerstand größer ist als 0,0175, oder dessen Leitfähigkeit kleiner als 57, ist als Leitungskupfer nicht annehmbar.

§ 4. Als Normalkupfer von 100% Leitfähigkeit gilt ein Kupfer, dessen Leitfähigkeit 60 beträgt.

§ 5. Zur Umrechnung des spezifischen Widerstandes oder der Leitfähigkeit von anderen Temperaturen auf  $15^\circ\text{Celsius}$  ist in allen Fällen, wo der Temperaturkoeffizient nicht besonders bestimmt wird, ein solcher von 0,4% für  $1^\circ\text{Celsius}$  anzunehmen.

**Regulier-Widerstände (Rheostate).** Um die Stromstärke ( $i = e/w = eq/sl$ ) beliebig regeln zu können, bringt man mit dem Stromkreise gewisse Draht-

nutzen „Widerstandsnormalen“, „Stöpselwiderständen“, „Kurbelwiderständen“ werden die Widerstandsdrähte bifilar und, damit sie die Temperatur der Umgebung sofort annehmen, in möglichst wenig Lagen aufgewickelt. Die zu genauen Messungen benutzten Widerstandsnormalen werden in allen Größen ausgeführt und in Kasten eingesetzt, die mit Petroleum angefüllt sind. (Genauere Angaben über „Elektrische Messungen und Meßinstrumente“ von Prof. Dr. Aug. Raps — Vortrag am 18. Nov. 1901, Sonderabdruck aus der Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins 1902 Nr. 28 und 29.

\*) Bei der Einführung des Leitungswiderstandes in die Berechnungen empfiehlt es sich um sicher zu gehen, ein Verfahren einzuschlagen, wie es u. a. auch bei Verwendung der Reibungskoeffizienten zu empfehlen ist: Ist ein großes  $s$  günstig, wie z. B. bei „Regulierungswiderständen“, so wähle man gerade den kleinsten Wert ( $s = 0,0167$  für Kupfer); ist dagegen ein kleines  $s$  vorteilhaft, wie z. B. bei den „Leitungen“, so wähle man gerade den größeren Wert ( $s = 0,017$ ). Bei Wechselströmen von hoher Frequenz, wie solche bei der „drahtlosen Telegraphie“ benutzt werden, wird das innere Kupfer der Leitungen nicht benutzt, weil die Elektrizität auf die äußerste Oberfläche des Leiters gedrängt wird. Die Gesellschaft „Telefunken“ Berlin SW, Lindenstr. 3, hat deshalb einen neuen „aus sehr feinen isolierten Einzeldrähten“ hergestellten Kupferleiter eingeführt, der 10mal besser leitet als der übliche massive- oder Litzendraht; hieraus ist ersichtlich, daß in gewissen Fällen nicht das Leitungsmaterial allein, sondern dessen Verteilung im Leiter von Wichtigkeit ist.

längen (aus schlecht leitendem Stoff) derart in Verbindung, daß man durch Drehung einer Kurbel oder eines Hebels, oder durch Herausziehen von Metallstößeln Widerstände ( $w$ ) in den Stromkreis einschaltet. Die „Stößelwiderstände“ werden meistens zu Meßzwecken verwendet. Durch Ziehen eines Stößels wird hier der betreffende Widerstandsdraht eingeschaltet, der „bifilar“ auf einer Rolle aufgewickelt ist, um Selbstinduktion und magnetische Wirkung zu vermeiden. (Zeichnungen sind zu finden in den physikalischen Lehrbüchern: u. a. Warburg 1899, S. 331; Jochmann-Hermes-Spies 1903, S. 388. Man vergleiche auch die Anmerkung zu voranstehender Tabelle).

Bei der „drahtlosen Telegraphie“ wird neuerdings zur Veränderung der Eigenschwingungen bezw. Selbstinduktion des Luftdrahtes die Länge des durchströmten Leitungsdrahtes dadurch verändert, daß man diesen von einer leitenden Rolle auf eine dazu parallel liegende, nicht leitende, in demselben Gestell drehbar gelagerte Rolle aufwickelt, und umgekehrt. Eine ähnliche von Wheatstone angegebene Vorkehrung wurde zu demselben Zwecke früher in den physikalischen Vorträgen als Rheostat benutzt.

### Parallel- und Reihen-(Serien-)Schaltung.

Hiermit berühren wir eine für die Technik sehr wichtige Sache, die sich mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes auch leicht erklären läßt.

Der Widerstand in der Querleitung der Figur 35 sei  $w_a$  und so groß, daß der Widerstand in der übrigen Leitung dagegen vernachlässigt werden kann, dann ist nach Ohm:

$$i = \frac{e}{w_a}$$

Fig. 35.

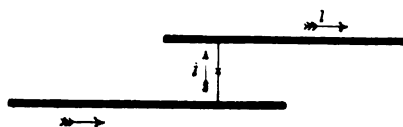
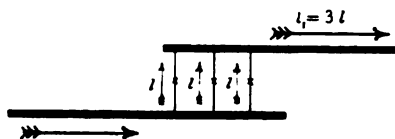


Fig. 36.



Durch Parallelschaltung von z. B. drei Widerständen  $w_a$  (Fig. 36) würde der Gesamtquerschnitt verdreifacht, also der Gesamtwiderstand gedrittelt. Danach würde im letzten Falle unter sonst gleichen Verhältnissen, z. B. ungeänderter elektromotorischer Kraft, die Stromstärke verdreifacht, also

$$i_1 = \frac{e}{w_a/3} = 3 \frac{e}{w_a} = 3i$$

Wir sind hiermit zu dem sehr wichtigen Satze gelangt:

Einschaltung paralleler Widerstände (Lampen, Elektromotoren usw.) vergrößert die Stromstärke  $i$  (ohne daß eine Vergrößerung von  $e$  erforderlich wäre).

Nebeneinanderschaltung von Lampen macht deshalb gleichbleibende Spannung notwendig.

Die Bilder (36 und 37) mit den Pfeilen von verschiedener Größe möchten die Wahrheit dieses Satzes auch ohne weitere erläuternde Worte klären.

In den heutigen elektrischen Betrieben arbeitet man deshalb meistens „auf gleiche Spannung ( $e$ )“; wobei sich dann die erforderlichen Stromstärken:  $i_1$   $i_2$   $i_3$   $i_4$  von selbst einstellen und regeln, wenn die Querschnitte (bezw. Widerstände) der Parallel-Leitungen richtig gewählt sind. (Siehe im Anfange unseres Leitfadens — die Bilder 4, 5, 6).

Zu ganz entgegengesetztem Ergebnis kommen wir, wenn wir dieselben Widerstände nicht parallel, sondern der „Reihe“ nach „hintereinander“ einschalten. Der Gesamtwiderstand ist jetzt verdreifacht (Fig. 37) also:

$$i_2 = \frac{e}{3 w_n} = \frac{1}{3} i.$$

Wollte man die Stromstärke auf die ursprüngliche Höhe bringen, so müßte man die elektromotorische Kraft (Spannung)  $e$  entsprechend erhöhen (verdreifachen). Ergebnis unserer Betrachtung:

Einschaltung von Widerständen (Lampen etc.), die hintereinander liegen, vermindert die Stromstärke: oder macht Erhöhung der Spannung  $e$  erforderlich, wenn eine gleichbleibende Stromstärke (wie in den meisten Fällen) erwünscht ist.

Hintereinanderschalten von Lampen etc. macht deshalb eine gleichbleibende Stromstärke notwendig.

Man macht sich die Vorteile der Parallel- und Reihen-Schaltung in der Technik vielfach zu nutzen, z. B. bei den elektrischen Straßenbahn-Wagen, auch bei den direkt gekuppelten elektrischen Fördermaschinen, indem man dieselben mit zwei Triebmaschinen (Elektromotoren) versieht, die man, je nachdem man die Stromstärke verändern will „hintereinander“ oder parallel schaltet. Nähere Angaben sind später unter diesen Maschinengattungen zu finden. Bei der später besprochenen Fördermaschine des Kalisalz-Bergwerkes Thiederhall werden die beiden auf der Seilkorbwelle sitzenden Elektromotoren hintereinander geschaltet für 3,5 m Seilgeschwindigkeit, die bei Personenförderung vorgeschrieben ist, dagegen parallel für 7 m Seilgeschwindigkeit bei Salzförderung!

Fig. 37.

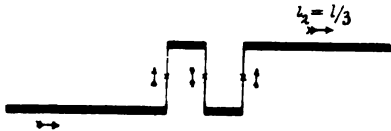
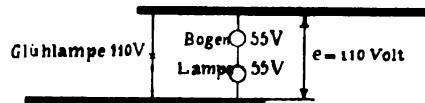


Fig. 38.



(Auch ist bei dieser Förderanlage zum ersten Male eine „Pufferbatterie“, d. i. eine, ohne jegliches Regulierungsmittel (Zellenschalter) unmittelbar mit der Dynamomaschine „parallel“ geschaltete „Akkumulator-Batterie“ angewandt.)

Was im voranstehenden über Parallel- und Reihen- oder Serien-Schaltung von Widerständen gesagt ist, gilt im wesentlichen von Schaltungen der Bogen- und Glühlampen, auch von Elektromotoren, überhaupt von Dynamomaschinen. So sind z. B. (Fig. 38) für den Stromverbrauch unter sonst gleichen Verhältnissen gleichwertig 1 Glühlampe für  $e = 110$  Volt und zwei hintereinander geschaltete Bogenlampen von je  $\frac{110}{2} = 55$  Volt.

Weitere Folgerungen aus dem Ohm-Gesetz nach Figur 10.

Aus unserer zur Veranschaulichung des Ohmschen Gesetzes entworfenen Figur lassen sich noch einige weitere wichtige Folgerungen ziehen.

Der Widerstand ( $w$ ) in der Leitung, den der Strom ( $i$ ) auf seinem Stromwege findet, macht die Druck-Differenz oder Spannung ( $e$ ) an den Anschlußpunkten (Klemmen) zwischen Leitung und Stromerzeuger (Zentrifugalpumpe beim Wasser, Elektromotor bei der Elektrizität) erforderlich. Die Spannung wird veranlaßt bei der Zentrifugalpumpe durch die Zentripetal- bzw. Zentrifugalkraft ( $m r w^2 = m v^2 / r = 0,01 r n^2$ ), d. i. durch den Widerstand der trägen Wassermasse gegen die erzwungene Drehung, bei der Dynamomaschine durch die sogenannte elektromotorische

Kraft. Diese Triebkraft hängt (wie auch die Formeln ausdrücken) von der Umfangsgeschwindigkeit  $v$  des Rades, bzw. von der Umdrehungszahl  $n$  ab.

Wir sind somit zu dem wichtigen Ergebnisse gekommen, daß unter sonst gleichen Verhältnissen durch die Umfangsgeschwindigkeit, bzw. Umdrehungszahl Spannung und Stromstärke sich zu jedem beliebigen Werte müßten steigern lassen, wenn nicht durch eine gleichzeitig entstehende Gegenkraft oder aus anderen z. B. praktischen Gründen dieser Steigerung eine Grenze gesetzt würde.

Aus dem Ohmschen Gesetz in der Form:

$$i w = e$$

ergibt sich durch Vervielfältigen auf beiden Seiten durch  $i$  ohne weiteres die Beziehung:

$$i^2 w = e i, \text{ in welcher das später behandelte}$$

Joulesche Gesetz ausgedrückt ist, welches von der Arbeitsleistung eines Stromes (in Meterkilogrammen in 1 Sek., oder wie man beim elektrischen Strome sagt, in Watt) oder der gleichwertigen Erwärmung in der Leitung handelt. Im gewöhnlichen Leben pflegt man zu sagen, daß das Ergebnis eines Vorganges irgend welcher Art (z. B. eines Geldgeschäftes) Null ist, wenn die Ausgaben oder Abflüsse (— Werte) genau so groß sind als die Einnahmen oder Zuflüsse (+ Werte). Lassen wir nun von irgend einer Stelle  $a$  unserer Hauptleitung sich einige Leitungen abzweigen Fig. 10, so wird sich an dieser Stelle der kommende Strom  $i$  von der Spannung  $e$  auf diese Zweigleitungen entsprechend den Widerständen  $w_1, w_2, w_3$  verteilen. Wenn man die bei  $a$  ankommende Stromstärke mit (+), die von  $a$  abfließenden Stromstärken mit (—) bezeichnet, so müßte man nach der oben ausgesprochenen Auffassung sagen, die algebraische Summe (+—) der Stromstärken an der Verzweigung  $a$  ist Null. Hiermit ist im Prinzip das später besprochene Kirchhoffsche Gesetz ausgesprochen.

Zahlen-Beispiele (Ohm-Gesetz). Bei allen Beispielen mag beachtet werden, daß die Längen in Metern, die Querschnitte in Quadrat-Millimetern vorkommen.

1. Wie groß ist in Ohm ausgedrückt der Widerstand  $w$  eines Kupferdrahtes von  $l = 1$  m Länge und  $d$  mm Durchmesser, bzw.  $q = d^2 \pi / 4 = 0,785 d^2$  qmm Querschnitt?

Nach unserer Gleichung ist:

$$w = \frac{s l}{0,785 d^2} = \frac{0,017 \cdot 1}{0,785 d^2} = 0,022/d^2 \text{ Ohm.}$$

$w$  ist also umgekehrt proportional dem Quadrat des Drahtdurchmessers. Der doppelte Durchmesser führt unter sonst gleichen Verhältnissen auf  $1/4$  des Widerstandes. Oder, man könnte auch sagen, wollte man bei einer Fernleitung die Leiterlänge vervierfachen, möchte aber an den übrigen Verhältnissen nichts ändern, so hätte man nur den Leiterdurchmesser zu verdoppeln.

2. Für eine Kupferdrahtleitung beträgt:

die Gesamtlänge	$l = 3000$ m,
der Querschnitt	$q = 10$ qmm,
der spez. Leitungswid.	$s = 0,017$ .

Wie groß ist der Widerstand  $w$  der ganzen Leitung in Ohm?

$$w = \frac{s l}{q} = \frac{0,017 \cdot 3000}{10} = 5 \text{ Ohm.}$$

Es darf nicht übersehen werden, dass  $l$  meist aus einer Hin- und Rückleitung sich zusammensetzt, so daß bei einem Abstände  $A$  der Verbrauchsstelle von der Erzeugerstelle, für:  $l = 2 A$  einzusetzen ist.

2 a. Am Stromerzeuger (Dynamomaschine) betrage die Spannung 550 Volt; die Stromverbraucher (Elektromotor, Lampen) verlangen 500 Volt. Es sei also zum

Fortschaffen des Stromes allein erforderlich eine Spannung (Verlust)  $e = 550 - 500 = 50$  Volt.

Wie groß ist die erzielte Stromstärke, wenn obige 5 Ohm als Widerstand der Leitung angenommen werden?

$$i = \frac{e}{w} = 50/5 = 10 \text{ Ampère.}$$

2b. Kurzschluß. Bleisicherungen. Träte in dieser Leitung ein „Kurzschluß“, also ein Ausschalten der langen Stromleitung ein, und betrüge auf der nun noch durchflossenen Strecke (Ankerwicklung, Magnetwicklung des Stromerzeugers mit Einschluß der kurzgeschlossenen Leitung) der Widerstand 0,5 Ohm, anstatt 5 Ohm ein, so würde jetzt die Stromstärke sein:

$$i = \frac{550}{0,5} = 1000 \text{ Ampère,}$$

durch welche wohl der gesamte Stromweg verbrennen würde, wenn nicht „Bleisicherungen“ oder entsprechende „Schmelzsicherungen“ in unmittelbarer Nähe der besonders gefährdeten, oder besonders zu schützenden Stellen, eingeschaltet würden. Diese Sicherungen müßten im Querschnitt so bemessen sein, daß sie schon durchschmelzen, ehe der Strom sich über den zu schützenden Teil ergießt.

2c. Welcher Querschnitt  $q$  ist einer Kupferleitung von

der Länge  $l = 3000$  m

dem spez. Leitungswiderstande  $s = 0,017$  zu geben, welche einen

Strom  $i = 10$  Ampère bei

$e = 50$  Volt Spannung (Spannungsverlust)

fortzuleiten hat?

$$q = i l s / e = \frac{10 \cdot 3000 \cdot 0,017}{50} = 10 \text{ qmm.}$$

Wir sind also zu dem in Gleichung 2 gegebenen Querschnitte zurückgekommen.

Sehr deutlich zeigt die letzte für die Berechnung einer Leitung wichtige Gleichung den Zusammenhang zwischen Querschnitt  $q$  und Spannungsverlust  $e$ . Beide kosten Geld. Ersparung an  $e$  muß man durch Kupferverbrauch gleichsam aufwiegen.

Zu derselben Überlegung würde man auch bei der Nutzbarmachung eines natürlichen Wassergefälles kommen. Gibt man der künstlich angelegten Leitung (Rohr, Graben) einen großen Querschnitt  $q$ , so wird das Anlagekapital groß, aber der erforderliche Gefällverlust klein, also für die Wasserkraftmaschine ein entsprechend größeres Betriebsgefälle und damit eine größere wirtschaftliche Leistung erzielt. In allen solchen Fällen sind die Verzinsung des größeren Anlagekapitals einerseits und der Gewinn an größerer Betriebsleistung andererseits vom Ingenieur sorgfältig gegeneinander abzuwägen.

3. Wie schon früher angedeutet ist, wurde zur Zeit der Frankfurter Ausstellung 1891 der Effekt einer Wasserkraft von 300 Pferdekraften von Lauffen am Neckar bis zur Frankfurter Ausstellung, das ist auf eine Entfernung  $A = 175$  Kilometer, also durch eine Leitungslänge

$$l = 2 \cdot 175 \ 000 = 350 \ 000 \text{ m,}$$

übertragen. Es soll der Querschnitt  $q$  der Kupferdrahtleitung berechnet werden. Es sei 1 Pferdekraft etwa  $= 736$  Voltampère oder Watt gerechnet (siehe Tabelle III Seite 27), dann würde durch die Leitung zu übertragen sein die Leistung:

$$\begin{aligned} E &= 300 \cdot 736 = 220800 = e \cdot i \\ &= 300 \text{ Volt} \times 736 \text{ Ampere, oder} \\ &= 736 \text{ „} \times 300 \text{ „} \text{ „} \\ &= 3000 \text{ „} \times 73,6 \text{ „} \end{aligned}$$

Vorausgesetzt, man hätte 736 Volt bei 300 Ampère übertragen wollen und 10% Spannungsverlust angenommen, dann hätte sich ergeben als Spannungsverlust 73,6 Volt, und folglich ein Drahtquerschnitt:

$$q = \frac{0,017 \cdot 300 \cdot 350000}{73,6} = 25000 \text{ qmm,}$$

also der Durchmesser  $d =$  etwa 180 Millimeter als eine **praktische Unmöglichkeit**.

Die Übertragung derselben Energie durch einen Strom von 30000 Volt und 7,36 Ampère führte bei ebenfalls 10% Spannungsverlust auf den viel kleineren Querschnitt

$$q = \frac{0,017 \cdot 7,36 \cdot 350000}{3000} = \text{rund } 15 \text{ qmm,}$$

bezw. Durchmesser  $d = 4,3$  mm, der anzuwenden ist.

Der Querschnitt der kupfernen Leitungsdrähte ist selten größer als 100 bis 120 qmm.

Unser Beispiel zeigt, wie vorteilhaft es ist, auf große Entfernungen die elektrische Energie in Strömen von hoher Spannung und entsprechend geringer Stärke zu übertragen, was noch deutlicher aus den ungefähren Zahlenwerten der folgenden kleinen Zusammenstellung hervorgeht, die mit der Spannung von 100 Volt beginnt, welche in der Kinderzeit der Elektrotechnik üblich war und auch wohl dem früher erwähnten Auspruche des amerikanischen Gelehrten zugrunde liegen möchte. Wir denken hier auch an hoch gespanntes Wasser in langen engen Rohrleitungen.

Spannung Volt	Querschnitt q qmm	Durchmesser d mm	Preis für den Meter M	Preis der ganzen Leitung M
100	1 500 000	1400	13 000	7 000 000 000
1 000	15 000	140	130	70 000 000
10 000	150	14	1,3	7 000 000
30 000	15	4,4	0,3	1 000 000

### Michael Faradays Induktions-Gesetze. (Grundgesetze der Elektro-Technik.)

Es ist hiermit zu vergleichen, was früher unter der Überschrift: „Veranschaulichung des Induktionsgesetzes mittels des Kurbelschleifengetriebes“ am Schlusse der Elektro-Mechanik gesagt ist.

Im Jahre 1831, also nur 4 Jahre nach der Aufstellung des Ohm-Gesetzes, wurde durch Faraday (geboren zu London am 22. September 1791, gestorben zu Hamptoncourt am 25. August 1867) die volta-elektrische und die magneto-elektrische Induktion entdeckt und dann Schritt für Schritt soweit durchgebildet und aufgeklärt, daß spätere Forscher daran nichts Wesentliches zu ändern und hinzuzufügen hatten.

Und es ist gewiß eine wunderbare Fügung, daß im Todesjahre Faradays 25. Aug. 1867 aus der Saat des Forschers die für die heutige Technik unentbehrliche Dynamomaschine Werner v. Siemens (17. Januar 1867) erwuchs, ohne welche die durch Faraday damals gegründete und begonnene Elektro-Maschinentechnik die Bedeutung und Stattlichkeit nicht hätte annehmen können, welche sie heute auszeichnen.

Um Faradays Verdienste ins rechte Licht zu setzen, soll schon hier kurz angedeutet werden, daß er auch zu der heutigen Elektro-Chemie im Jahre 1833

den Grund durch die Entdeckung des hier allgemein gültigen Gesetzes legte. Dieser Erfahrungssatz, welcher als die Grundlage der chemischen Wirkungen und als Hauptsatz der Elektrolyse angesehen werden kann, heißt:

Leitet man denselben elektrischen Strom durch eine Reihe hintereinandergeschalteter Elektrolyte, so sind stets die an den einzelnen Elektroden gleichzeitig ausgeschiedenen Gewichtsmengen

1. proportional der Elektrizitätsmenge (Stromstärke, Intensität),
2. untereinander äquivalent.

Vor Faraday glaubte man, nach dem Newtonschen Gravitationsgesetze, und bestärkt durch Coulombs und Ampères Arbeiten, annehmen zu müssen, daß bei den Fernwirkungen die (Schwer-, magnetischen, elektrischen) Kräfte von Körper zu Körper unabhängig von der Natur des dazwischen liegenden Mittels geradlinig und zeitlos unmittelbar aufeinander einwirken.

Faraday verwarf diese unvermittelten (ich möchte hinzufügen unnatürlichen) Fernwirkungen, zeigte, wenigstens für die magnetischen und elektrischen Körper, den Einfluß des Zwischenmittels und die Äußerungen in demselben (Dielektrikum). Nach ihm kommen die magnetischen und elektrischen Fernwirkungen gerade durch Vermittelung des dazwischenliegenden „polarisierten“ Mittels zustande, sind alle derartigen Vorgänge auf „Spannungszustände“ und deren Änderungen innerhalb des Zwischenmittels zurückzuführen. Sie beruhen auf Zustand-Änderungen, die sich mit endlicher Ausbreitungsgeschwindigkeit von Punkt zu Punkt in der Umgebung, d. i. in dem von „Kraftlinien“ durchsetzten Felde vollziehen und fortpflanzen.

Und wie im Wirkungs-Felde der Erde durch masse-beschleunigende Schwerkraft, das Fallen (also die Zustand- bzw. Lagen-Veränderung) eines Steines veranlaßt wird, bzw. wie während des Fallens (Annäherns an die Erdoberfläche) gewissermaßen andere motorische Kräfte (Gewichte) gleichsam in den Stein induziert werden (Newtons Gravitations-Gesetz), so muß man nach Faraday annehmen, daß im Wirkungs-Felde eines Magneten oder eines vom elektrischen Strome durchflossenen Drahtes oder Solenoides, elektromotorische Kräfte induziert werden, die unter gewissen Bedingungen das Strömen der Elektrizität (Fallen von einem Orte höheren Druckes nach einem Orte geringeren Druckes) bewirken.

Faradays Anschauungen wurden längere Zeit nicht der Beachtung gewürdigt, die sie in so hohem Maße verdienten und sind erst durch Clark Maxwell (1831—1879\*) mathematisch begründet, dann durch die klassischen Versuche und Untersuchungen von Hertz bestätigt und verallgemeinert.

Nach Hertz breiten sich elektrische Bewegungs-Veränderungen wellenförmig\*\*) im Raume aus, lassen sich beim Zustandekommen stehender Wellen, aus der Lage der Knoten und Bäuche die Wellenlänge messen, werden die elektrischen Wellen fortgepflanzt, zurückgeworfen, gebrochen, gebeugt, polarisiert nach denselben Gesetzen wie das Licht, wie auf Seite 94 übersichtlich hervorgehoben ist.

Deshalb sind wir wohl zu dem Rückschluß berechtigt, daß das Newtonsche Gravitations-Gesetz auch nicht für eine unvermittelte, nicht zeitlose Kraft- oder Bewegungsübertragung gelten kann. Man vergleiche hiermit das über „drahtlose Telegraphie“ Gesagte.

Faraday versteht unter „Induktion“ die eigentümliche Erzeugung einer elektromotorischen Kraft durch Bewegung von Stromleitern im Wirkungskreise eines

\*) Eigentümlich, daß mit Maxwells Geburtsjahr die Faradaysche Entdeckung der Induktion (als Vorbedingung der Elektrotechnik) und mit Maxwells Todesjahr (nach unseren früher angegebenen Ermittlungen etwa) das Geburtsjahr der Elektrotechnik zusammenfällt.

\*\*) Siehe oben den kurzen Abriß aus der Wellenlehre unter „Gesetz von der Unabhängigkeit der Wirkungen“.



Magneten oder mit anderen Worten, in einem „magnetischen Felde“, die er (nach Silvanus P. Thompson „Die dynamoelektrischen Maschinen“ 1900 S. 1) in einem Briefe an R. Phillips vom November 1831 durch folgende Worte bezeichnete: „Dann fand ich, daß Magnete wie elektrische Ströme induzieren. Indem ich „Spulen, Drähte und Hülsen auf die Pole von Magneten brachte, wurden darin „elektrische Ströme induziert. . . Diese zwei Arten der Induktion habe ich durch „die Bezeichnung volta\*)-elektrische und magneto-elektrische Induktion unterschieden.“

Von Faraday stammen auch die bereits angedeuteten Bilder von den „Kraftlinien“ und von dem „magnetischen Kraftfelde“, die für die Veranschaulichung der Vorgänge an Dynamomaschinen und anderen elektrischen Vorrichtungen von großer Bedeutung geworden sind und heute wohl von allen Forschern und Technikern, die auf unserem Gebiete mit Erfolg arbeiten, benutzt werden.

Ich habe schon oben am Schlusse der „Elektro-Mechanik“ versucht, diese Faradaysche Auffassung im Zusammenhange mit den daraus gezogenen Folgerungen auf bekannte Vorgänge und Erscheinungen zurückzuführen, werde später unter „Magnetismus“ noch das Gesagte ergänzen und will hier nur noch andeuten, daß diejenigen Versuche und Beobachtungen Faradays, welche die Induktion von elektrischen Strömen in Drahtspulen betreffen, sich in folgender Weise übersichtlich zusammenstellen lassen.

In einem Leiter wird ein elektrischer Strom erzeugt (induziert); wenn in seiner Nachbarschaft an einem elektrischen Strome oder einem Magneten eine Bewegungs- oder Zustandsänderung eintritt, d. h.:

A. Ein benachbarter elektrischer Strom:

I. { 1. geschlossen,    II. { 1. angenähert,    III. { 1. verstärkt,  
     2. geöffnet,        2. entfernt,        2. geschwächt;

B. ein benachbarter Magnetpol:

IV. { 1. angenähert,    V. { 1. verstärkt,  
     2. entfernt,        2. geschwächt

wird.

Kurz: Die Induktion ist bedingt durch die gegenseitige Zustand- und Bewegungsänderung des Leiters und der Kraftlinien, oder wie man noch kürzer sich ausdrückt: durch Schneiden von magnetischen Kraftlinien. (Näheres über Kraftlinien und deren Einwirkung wird unter Magnetismus gebracht.)

### Lenz-Gesetz.

Im Jahre 1834, also bald nach Faradays Entdeckung, veröffentlichte Lenz (1804 Dorpat — 1865) das nach ihm benannte Gesetz, dem man folgende Fassung geben könnte: Der Induktions-Strom hat stets solche Richtung, daß er hemmend auf die Bewegung wirkt, durch welche er erzeugt wurde und umgekehrt. Es ist also ein Aufwand von mechanischer Arbeit erforderlich, um z. B. in Dynamomaschinen die zur Erzeugung des elektrischen Induktions-Stromes erforderlichen Bewegungsvorgänge herbeizuführen und ein Aufwand von elektrischer Arbeit erforderlich, um durch Elektromotore, die elektrische Arbeit in mechanische zurückzuverwandeln. Was hier für Induktionsströme gesagt ist, gilt ganz allgemein für Natur und Kunst, so daß man im Hinblick auf das Trägheitsgesetz und auf den Satz von der Erhaltung der Kraft allumfassender den Lenz-Satz in die schon früher angewandte Fassung bringen könnte: Alles Irdische (Träger, auch der Äther), kurz, die Natur folgt nur dem Zwange.

\*) Es ist bemerkenswert, daß Faraday hier „Volta“ und nicht „Galvani“ sagt.

### Joule-Wärme. Joule-Gesetz der Wärme und Arbeit (1850).\*)

Beim gewaltsamen Reiben der fest aufeinandergepreßten Handflächen, beim schnellen Herabgleiten an einer Kletterstange oder einem Taue, beim Stapellauf der Schiffe, kurz, bei jeder Reibung, auch bei der eines Stromes in dessen Leitung, beim Peitschen des Meeres wird Wärme erzeugt, die derjenigen Arbeit entspricht, welche zur Überwindung der Reibung erforderlich ist.

Kurz, jeder, auch der elektrische Strom, erzeugt Wärme und Arbeit. Wärme-Erzeugung ist erforderlich bei der Beleuchtung (Glüh- und Bogen-Lampen), Zweck bei dem elektrischen Schmelz-, Schweiß-, Löt- und Koch-Verfahren. Wärme-Erzeugung ist möglichst zu verhindern bei allen elektrischen Leitungen, allen Dynamomaschinen und allen übrigen elektrischen Maschinen zur Verrichtung von mechanischer Arbeit, z. B. auch bei den elektrischen Gesteinsbohrmaschinen, Lokomotiven.

Im Jahre 1843, also bald nach der Entdeckung der Gleichwertigkeit zwischen Wärme und Arbeit durch Robert Mayer (1842), begann der Engländer Joule (1818, Salford bei Manchester —1889) seine mustergültigen Versuche zur Bestätigung des Äquivalenzgesetzes im allgemeinen, im besonderen auch für die elektrische Strom-Wärme, die man deshalb, wohl nicht sehr passend, Joule-Wärme zu nennen pflegt, und setzte seine Untersuchungen fort bis etwa 1849.

Das Joule-Gesetz, welches die Beziehung zwischen Strom-Arbeit und -Wärme rechnerisch feststellt, läßt sich nach den Lehren der Mechanik leicht ableiten.

Ein Wasserstrom, dessen Menge  $i$  kg oder Liter in 1 Sek und dessen Gefälle  $e$  m beträgt, äußert die Arbeits-Leistung in Meterkilogrammen (mkg) bzw. Pferdekraften (Pfd), wenn  $1 \text{ Pfd} = 75 \text{ mkg/Sek}$  angenommen wird:

$$ie \text{ mkg} = \frac{ie}{75} \text{ Pfd in 1 Sek.}$$

Da beim elektrischen Strome die Menge  $i$  in Ampère (A), die Spannung  $e$  in Volt (V) ausgedrückt und 1 Voltampère (VA) auch 1 Watt (W) oder 1 Joule (J) genannt wird, beträgt die Arbeitsleistung in Voltampère (VA) bzw. Pferdekraften (Pfd):

$$ie \text{ VA oder W oder auch J} = \frac{ie}{75 \cdot 9,81} = \frac{ie}{736} \text{ Pfd.}$$

Hierbei müssen wir uns nach früheren Besprechungen wieder daran erinnern, daß der Arbeitseinheit „Meterkilogramm“ das Gewichts-Kilogramm, dagegen der Arbeitseinheit „Voltampère“, das Massen-Kilogramm zugrunde liegt und

$$1 \text{ Massenkilogramm} = \frac{1 \text{ Gewichtskilogramm}}{9,81 \text{ m}} \text{ folglich:}$$

$$1 \text{ mkg} = 9,81 \text{ VA oder W bzw.}$$

$$1 \text{ Pferdekraft} = 75 \text{ mkg/Sek.} = 75 \cdot 9,81 = 736 \text{ VA oder W/Sek. ist.}$$

Ebenso wissen wir, daß nach dem Ohm-Gesetz:  $i = e/w$  die Leistung  $i \cdot e$  auch  $= i^2 \cdot w$  ist.

Nun gilt aber ferner nach Robert Mayers Äquivalenzgesetz:

$$424 \text{ mkg}^{**}) = 1 \text{ Kilogramm-Wärmeeinheit (WE) oder 1 Kalorie (Kal.)}$$

d. h. 1 Wärmeeinheit, d. i. diejenige Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 Kilogramm, oder 1 Liter Wasser von  $0^\circ$  auf  $1^\circ$  Celsius zu erwärmen, in Arbeit

\*) Siehe auch den Hinweis auf das Joule-Gesetz oben unter den „Folgerungen“ aus dem Ohm-Gesetz.

\*\*\*) Nach Anderen wird hier die Zahl 425 oder auch 435 gesetzt.

umgesetzt, ist in jedem Stromleiter vom Widerstande  $w$  in  $t$  Sek. entwickelte Wärme:

$$Q = \frac{ei}{9,81 \cdot 424} t = \frac{i^2 w}{4160} t = 0,00024 i^2 w t \text{ Kilogramm-Wärmeeinh. in } t \text{ Sek.}$$

$$Q = \frac{ei}{9,81 \cdot 0,424} = \frac{i^2 w}{4,160} t = 0,24 i^2 w t \text{ Gramm-Wärmeeinh. in } t \text{ Sek.,}$$

also für:

$e = 1$ ,  $i = 1$  und  $t = 1$ , d. i.:

1 Watt (oder 1 Joule) = 0,00024 Kilogramm-Wärmeeinh. in 1 Sek.,

1 W (oder 1 J) = 0,24 Gramm-Wärmeeinh. in 1 Sek.,

1 W = 1/9,81 = 0,102 Meterkilogramm 1 Sekunde,

= 1/9,81 · 75 = 0,00136 Pferdekkräfte 1 Sekunde.

Umgekehrt ist:

$$1 \text{ Kilogramm-Wärmeeinheit} = \frac{1 \text{ Watt/Sekunde}}{0,00024} = 4160 \text{ Watt/Sek. (Joule)},$$

$$= 1,16 \text{ Watt/Stunde};$$

$$1 \text{ Gramm-WE} = \frac{1 \text{ Watt/Sekunde}}{0,24} = 4,16 \text{ Watt/Sek. (Joule)}.$$

Übersicht der Ergebnisse:

#### Mechanische, Kalorische, Elektrotechnische Einheiten.

Leistung	1 mkg in 1 Sek	= 9,81 VA (Watt) = 2,35 g-Kal.	1 VA = $\frac{1}{9,81}$	= 0,102 mkg·Sek.
„	1 Pfd = 75 mkg/Sek	= 736 VA (Watt) = 177 g-Kal.	„ = $\frac{1}{736}$	= 0,00136 Pfd.
„	1 Gramm Kal/Sek	= 4,169 „	„ = $\frac{1}{9,81 \cdot 0,424}$	= 0,24 Gramm-Kal./Sek.
„	1 Kilogr. Kal/Sek	= 1,16 Watt/Stde.		

Ebenso ist:

$$1 \text{ Kilowatt (KW)/Sekunden} = 1,36 \text{ Pferdekkräfte/Sekunden.}$$

Zahlen-Beispiele:

1. Eine Glühlampe von 16 Hefner-Kerzen (HK) erfordert bei einer Netzspannung  $e = 110$  V, eine Stromstärke  $i = 0,5$  A, also:

einen Widerstand  $w = 110/0,5 = 220$  Ohm

und eine Leistung  $ei = 110 \text{ V} \cdot 0,5 \text{ A} = 55 \text{ Watt} = 55/736 = 1/13$  Pfd.

(Siehe auch das später unter Beleuchtung Gesagte.)

2. Mittelst eines elektrischen Kochapparates soll 1 Liter Wasser in 10 Minuten von der Zimmertemperatur  $20^\circ$  Celsius auf die Siedetemperatur  $100^\circ$  Celsius gebracht und dabei 20% Verlust an Joulescher Wärme durch Ausstrahlung nach außen angenommen werden.

Es entsprechen bei 20% Wärme-Verlust:

1 Wärmeeinheit . . . . 1,16 · 1,20 = 1,392 Watt-Stunden,

80 „ „ 80 · 1,392 = 111,36 = rund 0,111 Kilowatt-Stunden.

Nun soll aber die Leistung nicht während 1 Stunde, sondern schon in 10 Minuten =  $\frac{1}{6}$  Stunde verrichtet werden; es ist deshalb erforderlich ein elektrischer Strom von:

$$0,111 \cdot 6 = 0,666 \text{ Kilowatt} = 666 \text{ Watt,}$$

also, wenn die Spannung im „Leitungs-Netz“, aus dem der Strom entnommen wird, 110 Volt beträgt,  $666/110 =$  rund 6 Ampère. Es ist also ein elektrischer Strom von

6 Ampère erforderlich um 1 l Wasser in 10 Minuten um 80° Celsius zu erwärmen, wenn die Strom-Spannung 110 Volt beträgt. Hätte die Erwärmung nicht in 10 Minuten, sondern in 1 Minute erfolgen sollen, so wären dazu unter sonst gleichen Verhältnissen nicht 6, sondern 60 Ampère erforderlich.

Stände die doppelte Spannung, also 220 Volt im „Netz“ zur Verfügung, so würde die halbe Stromstärke ausreichen. Jedenfalls zeigt das Beispiel, daß um so mehr Watts erforderlich sind, in je kürzerer Zeit die Leistung zu verrichten ist, und daß um so mehr Ampère nötig sind, je niedriger die Spannung ist. Wir sehen also auch hier wieder den hohen Wert der hohen Spannung. Dasselbe gilt aber auch bei jedem Arbeitsvorgange.

#### Einfache Kostenberechnung.

Kostet 1 Kilowattstunde aus dem Lichtnetz 50 Pfennige, so würde obige Leistung erfordern:  $50 \cdot 0,111 = 5,55$  Pfennige. Bei größerem Bedarfe würde es sich empfehlen, vom Elektrizitätswerk eine gesonderte Kraftstrom-Leitung mit dem üblichen geringeren Kraft-Strompreise zu verlangen, der etwa 20 Pfennige für die Kilowattstunde beträgt; bei dem also schon für 2,22 Pfennig 1 Liter Wasser von 20° Celsius zum Sieden gebracht wird.

### Kirchhoff-Sätze über Strom-Verzweigung (oder Verteilung).

(Ergänzungen hierzu sind unter den Folgerungen aus dem Ohm-Gesetz und noch früher in der „Elektro-Mechanik“ unter „Gesetz der Ströme“ zu finden.)

Im Jahre 1845, also etwa um dieselbe Zeit, in welcher Joule seine Untersuchungen über Strom-Arbeit und -Wärme ausführte, stellte Kirchhoff (1824 Königsberg — 1887) die nach ihm benannten beiden Sätze der Verzweigung des elektrischen Stromes auf.

Der erste Satz sagt für den Verzweigungs-Punkt aus, daß fürs Gleichgewicht, die in die Zweige abfließenden Teilströme  $i_1, i_2, i_3, \dots$  zusammengenommen gleich dem zufließenden Hauptstrom  $i$  sein müssen (Fig. 10).

Mathematisch ausgedrückt heißt deshalb der erste Kirchhoff-Satz:

$i = i_1 + i_2 + i_3 + \dots$ ; oder  $i - i_1 - i_2 - i_3 \dots = 0$ ,  
oder wenn die algebraische Summe der linken Seite durch das übliche Summationszeichen „ $\Sigma$ “ zusammengefaßt wird:

$$1. \quad \boxed{\Sigma(i) = 0.}$$

Der zweite Satz sagt für die Stärken der Zweigströme  $i_1, i_2, i_3, \dots$  aus, daß sich dieselben zueinander verhalten umgekehrt wie die Widerstände  $w_1, w_2, w_3, \dots$  in den einzelnen Zweigen, oder mit anderen Worten, daß von dem ankommenden Strom derjenige Zweig am meisten durch sich hindurchführen wird, welcher den kleinsten Widerstand bietet. Mathematisch ausgedrückt heißt deshalb der zweite Kirchhoff-Satz z. B. für zwei Zweige:

$$i_1/i_2 = w_2/w_1 = 1/w_1 : 1/w_2, \text{ oder} \\ i_1 w_1 = i_2 w_2, \text{ oder } i_1 w_1 - i_2 w_2 = 0, \text{ oder}$$

allgemein:  $\Sigma(i w) = 0$ .

Mit Rücksicht auf die in den Zweigen der geschlossenen Stromkreise wirkenden elektromotorischen Kräfte  $\Sigma(e)$  ist der zweite Kirchhoffsche Satz in der Form

$$\Sigma(i w - e) = 0, \text{ oder}$$

$$2. \quad \boxed{\Sigma(i w) = \Sigma(e)}$$

eine Verallgemeinerung des Ohm-Gesetzes.

Die beiden Kirchhoff-Sätze gelten auch für Augenblicks-Zustände eines jeden Wechselstromes.

**Messen der Ströme.** Die Gesetze von den Strom-Verzweigungen setzen uns nun auch in den Stand, die Messungen der wichtigsten Bestandteile eines Stromes:  $i$ ,  $w$ ,  $e$  vorzunehmen.

Die im folgenden gewählten Aufgaben beziehen sich auf Messungen von  $i$  und  $w$ ; aus denen dann auch durch Rechnung  $e = i \cdot w$  folgt.

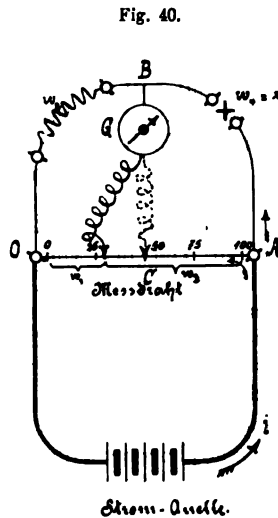
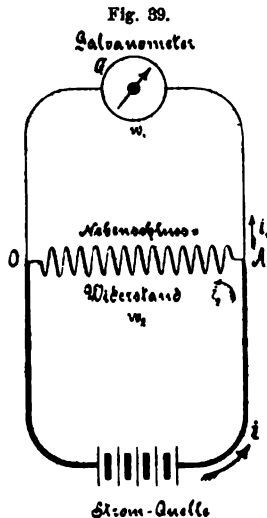
**Aufgabe 1. Strom-Stärke ( $i$ ) Fig. 39.**

Von den beiden Zweigströmen  $i_1$ ,  $i_2$  sind bekannt  $i_1$  und die Widerstände  $w_1$ ,  $w_2$ ; es soll der Hauptstrom  $i$  einer Strom-Quelle ermittelt werden.

Es ist  $i = i_1 + i_2$  nach dem ersten Satz. Folglich ist:

$$i = i_1 \left(1 + \frac{i_2}{i_1}\right)^*, \text{ also:}$$

$$i = i_1 \left(1 + \frac{w_1}{w_2}\right) \text{ nach dem zweiten Satz.}$$



Wäre z. B. der Widerstand des eingeschalteten Nebenschlusses  $w_2 = \left\{ \begin{matrix} 1/9 \\ 1/99 \\ 1/999 \end{matrix} \right\}$  des Widerstandes  $w_1$  des benutzten Galvanometers  $G$  und zeigte letzteres bei einer Messung  $i_1 = 2,31$  Ampère, so wäre für  $w_2 = 1/99$  die gesuchte Stromstärke

$$i = 2,31 \left(1 + \frac{1}{1/99}\right) = 2,31 \cdot 100 = 231 \text{ Ampère.}$$

Zugleich zeigt das Beispiel, daß die Berechnung nach unserer Formel sich wesentlich vereinfacht, wenn man die Vergleichswiderstände  $1/9$  bzw.  $1/99$  oder  $1/999$  wählt, was auch bei den käuflichen Widerstandskasten befolgt wird.

**Aufgabe 2. Messung des Widerstandes ( $w$ ) durch die sog. „Wheatstonesche Drahtkombination“. Wheatstonesche Brücke (1843). Fig. 40.**

Von den beiden Zweigen, in die bei  $A$  der Hauptstrom einfließt und die bei  $O$  wieder zum Hauptstrom zusammenfließen, bildet der eine einen geraden

\*) Der Maschinentechniker denkt hier unwillkürlich an die Formel  $a = r_1 (1 + r_2 \cdot r_1)$ , durch welche der Achsenabstand  $a$  zweier Zahn-Räder bestimmt wird, wenn  $r_1$  der Halbmesser des einen Rades und das Übersetzungsverhältnis  $r_2 \cdot r_1$  zwischen den Rädern vorgeschrieben sind.

blanken Draht (den sog. Meßdraht) aus homogenem Neusilber, der andere enthält zwei Widerstände: den bekannten zum Vergleich dienenden Widerstand  $w_2$ , und den unbekanntem zu messenden Widerstand  $x (= w_4)$ .

Von B, einem Punkte zwischen den beiden Widerständen, ist quer hinüber zu dem Meßdrahte hin ein Draht, die sog. Wheatstonesche Brücke BC derart „geschlagen“, daß das mit einem Zeiger versehene Ende C an dem Meßdrahte entlang leitend geführt werden kann. Die Brücke teilt also unsere beiden Stromzweige in 4 Teile, zwei rechts, zwei links von der Brücke. Das in letzterer eingeschaltete Galvanometer G ist so empfindlich, daß es schon beim geringsten durch die Brücke fließenden Strome ausschlägt. Es mag daran erinnert werden, daß beide Teilströme A dieselbe Spannung  $e_A$ , bei O ebenfalls dieselbe, aber niedrigere Spannung  $e_o$  haben und daß durch den Spannungsunterschied (Gefälle) die Strömung veranlaßt wird.

Der Meßdraht, der auf der ganzen Länge denselben konstanten Leitungs-Widerstand bietet, sei in 100 gleiche Teile (Millimeter) geteilt. Brächte man die Brücke in die punktierte Lage, so daß C mit der Mitte des Meßdrahtes, also mit dem Teilstrich 50 zusammenfällt, so würde sie nur dann stromlos sein können, wenn die Widerstände links und rechts von der Brücke, also  $w_2$  und  $w_4$  genau einander gleich sind. Weil dann die bei A nach dem zweiten Kirchhoffschen Satze sich verzweigenden Teil-Ströme ABO und ACO von A ab bis B bezw. C denselben Spannungsabfall erlitten haben, also in genannten Punkten dieselbe Spannung haben würden, so daß für ein einseitiges Strömen in der Brücke kein Grund vorhanden wäre.

Anders ist es, wenn z. B.  $x (= w_4)$  größer als  $w_2$  gemacht würde. Es würden dann ein Teil des vor  $x$  aufgestauten (also höher gespannten) Stromzweiges nun auf dem Wege ACBO, also über die Brücke fließen. Erst wenn man durch Verschieben des Zeigers C in die nicht punktierte Lage, oder mit anderen Worten, durch Einschalten von Meßdrahtwiderstand, den Strom im Teile AC, also vor der Brücke in demselben Verhältnis aufstaut (also höher spannt) wie bei  $x$ , wird die Brücke wieder stromlos werden.

Wär umgekehrt  $w_2 > w_4$ , so müßte der Brücken-Zeiger C nach der entgegengesetzten Seite verschoben werden, um eine stromlose Brücke zu erhalten.

Bei stromloser Brücke verhalten sich dann:

$$\frac{w_4 = x}{w_2} = \frac{w_3}{w_1} \text{ und der gesuchte Widerstand}$$

ist: 
$$x = w_2 \frac{w_3}{w_1}$$

Stände also der Brückenzeiger auf dem Skalenteile  $w_1 = 40$ , so würde sich verhalten

$$\frac{w_3}{w_1} = \frac{100 - 40}{40} = 3/2$$

und es wäre für  $w_2 = 100$  Ohm

$$x = 1,5 w_2 = 150 \text{ Ohm.}$$

Ist der bekannte Widerstand  $w_2$  regulierbar, so ist es oft am einfachsten, wenn man den Brückenzeiger auf 50 einstellt und nun auf Stromlosigkeit reguliert; dann ist immer:

$$x = w_2.$$

Als Vergleichs-Widerstände  $w_2$  stehen in den Meßbrücken meist

$$1 \quad 10 \quad 100 \quad 1000 \quad \text{Ohm}$$

zur Verfügung.

Im voranstehenden Beispiele wurde Gleichstrom als Stromquelle vorausgesetzt. Bei Wechselstrom ist anstatt des Galvanometers G ein Telephon zu wählen, welches dann bei Stromlosigkeit nahezu verstummt.

Handelt es sich um Bestimmung des Widerstandes  $x$  eines hier eingeschalteten Elektrolyten, so ist Gleichstrom als Durchgangsstrom überhaupt ausgeschlossen, weil dieser den Elektrolyten zersetzen und infolgedessen durch Polarisation den eigentlichen Wert  $x$  verändern würde. Steht eine passende Wechselstrom-Quelle nicht zur Verfügung, so schaltet man an die Gleichstrom-Quelle einen kleinen Induktionsapparat und wendet ebenfalls das Telephon an (Kohlrausch). Auf diese Weise mißt man auch die inneren Widerstände von Elementen, Übergangswiderstände an den Endplatten der Blitzableiter.

Aufgabe 3. Messung der Spannung ( $e$ ).

Die Spannung  $e$  wird entweder aus den gefundenen Werten  $i$  und  $w$  mittelst der Gleichung  $e = i \cdot w$  (Ohm-Gesetz) berechnet oder an geeichten Voltmetern unmittelbar abgelesen.

Bemerkung. Über die Universal-Meßbrücke nach Kohlrausch von Hartmann und Braun, die sich dadurch auszeichnet, daß die Widerstände an einer Skala direkt abgelesen werden können, findet man Zeichnung und kurze, leicht verständliche Gebrauchsanweisung u. a. in Weiler, Wörterbuch der Elektrizität und des Magnetismus unter „Drahtbrücke“. Ebendasselbst sind auch eingehende Angaben über die Universal-Brücke (Universal-Galvanometer von Siemens und Halske. Siehe auch Warburg, Experimentalphysik unter Wheatstonesche Brücke und andere).

## Anhang.

**Wesen der Elektrizität.** Wiewohl das innere Wesen der Elektrizität unbekannt ist, so kann man doch behaupten, daß sie diejenige Bewegungsform ist, die sich am leichtesten in alle anderen bekannten Bewegungsformen umsetzen läßt. Derselbe elektrische Strom äußert, wie früher (Fig. 2) gezeigt wurde, in ein und demselben Stromkreise alle jene hervorragenden Wirkungen, die wir kennen. Und man ist versucht, zu behaupten, daß kaum ein Zustand, ein Vorgang ohne Elektrizität zu denken ist. Und wie Newton aus den Kepler und Huyghensschen Gesetzen von den Krummlinien-Bewegungen der Himmelskörper und aller irdischen Körper das Gesetz der allgemeinen Schwere (Gravitation) ableitete, so wird man dereinst wohl von einem allgemeinen Gesetze sprechen dürfen, welches die elektrischen, magnetischen, Licht-, Wärme-, ferner die sogenannten Kathoden-, Röntgen-, Becquerel- und Radium- (radioaktiven) Strahlen\*) unter seiner Herr-

\*) Hittorf entdeckte 1869, daß von der Kathode (— Pol) eines vom elektrischen Strome durchflossenen nahezu luftleeren Raumes eines Geisler-Crooke-Rohres Strahlen ausgehen, die zwar im Innern des Rohres nicht sichtbar sind, aber das von ihnen getroffene Glas zu starker Phosphoreszenz erregen.

Röntgen fand dann 1896, daß die von den Kathodenstrahlen getroffene phosphoreszierende Stelle besondere Strahlen aussendet, die unter anderen nicht durch die Metalle, wohl aber durch die meisten anderen Körper hindurchgehen, das Knochengerüst des tierischen Körpers weniger leicht durchdringen als die weichen Fleischteile, auch was besonders praktisch verwertbar wurde, auf photographische Platten wirken.

Becquerel, durch Röntgens Entdeckung angeregt, fand 1899 bei Versuchen mit Uran, daß die von Urankaliumsulfat ausgehenden Strahlen ohne vorherige elektrische oder Licht-Einwirkung die Eigenschaften der Röntgenstrahlen zeigten.

Das Ehepaar Curie fand bald darauf, daß noch andere, in der Uran-Pechblende enthaltene von ihnen entdeckte Stoffe, das Polonium und Radium, kurz die hiernach benannten „radioaktiven“ Stoffe Strahlen von ungewöhnlich starker elektrischer Wirkung aussenden. Nach Curie soll sogar das Radium infolge einer gewissen Eigenwärme, die stets über der Umgebung liegt, Wärme und Licht ausstrahlen, ohne sich chemisch oder molekular irgendwie (meßbar) zu verändern. Die Strahlen dieser sog. „strahlenden Materie“ durchdringen die Stoffe wie die Röntgenstrahlen, wirken auf photographische Platten, auch in überraschender Weise elektrisch, erhöhen z. B. die elektrische Leitungsfähigkeit der Luft oder, wie man zu sagen pflegt, „ionisieren“, und wirken deshalb entladend auf angesammelte Elektrizitäten. Gegenwärtig ist man noch gezwungen, mit winzigen Kristallen vom Gewicht weniger Milligramme Versuche anzustellen, da 1 g Radium zu seiner Herstellung 10 t Uranpech erfordern und über 10 000 Mk. kosten würde. In neuester Zeit haben sich die beiden deutschen Forscher Geitel und Elster großes Verdienst auf unserem Gebiete erworben und nachgewiesen, daß die Metalle mehr oder weniger radioaktiv

schaft vereinigt. Denn reiche Erfahrung muß den tiefer denkenden Naturforscher auch hier darauf hinweisen, daß das, was einmal und irgendwo eine Eigenschaft der Natur ist, wenn auch nicht gleich auffallend, immer und überall sich wiederfindet.

Vergleich zwischen Schall-, Licht- und elektrischen Wellen. Nur Bewegtes ist wahrnehmbar! Deshalb ist und muß auch Elektrizität eine Bewegungsform sein. Wir nehmen an, eine Wellenbewegung des Äthers, welche:

1. frei durch die Luft und den luftleeren Raum (nicht so durch Metalle) hindurch in Wellen, die aus transversalen Schwingungen des Äthers hervorgegangen sind, strahlenförmig nach denselben Gesetzen wie das Licht kugelförmig sich ausbreitet;

2. an den Grenzflächen geeigneter Mittel lebendige Kraft (Arbeit) äußert: aufgenommen (absorbiert), zurückgeworfen (reflektiert), gebrochen (refrangiert) und gebeugt wird;

3. auf isolierten Leitern erster Klasse (Metallen, in technischen Betrieben, meist auf Kupfer- und Eisendrähten) und in Leitern zweiter Klasse (leitenden Flüssigkeiten oder Elektrolyten) in bestimmten Richtungen zwangsläufig sich fort-leiten läßt. (Siehe später unter Leitern erster und zweiter Klasse.)

**Untersuchungen und Entdeckungen von Maxwell, Hertz, Tesla u. a.**  
Hinweis auf die „drahtlose Telegraphie“, auf Grund mechanischer und akustischer Versuche und Vergleiche.

Die Bewegungsgesetze der Elektrizität mit deren Transversal- und der Luft mit ihren Longitudinal-Schwingungen sind verwandt. Und im allgemeinen bedingt, soweit unsere Beobachtungen reichen und in der Lehre vom Schall und vom Licht längst festgestellt ist, die Art der Schwingungen und Wellen, gekennzeichnet durch die Weite (Amplitude) bezw. Spannung (die mit der Amplitude wächst), Zahl (Frequenz), Form (Interferenz), die Verschiedenartigkeit der Wirkung auf unsere Sinne (Ohr, Auge, Haut). So beobachten wir z. B. entsprechend an schwingenden elastischen Körpern (Saiten), auch in der Luft, den Unterschied eines Tones nach Stärke (Schwingungsweite, Spannung), Höhe (Schwingungszahl oder Frequenz) und Klangfarbe (Schwingungsform), sowie im schwingenden Äther den Unterschied zwischen Licht-Stärke, -Farbe, -Färbung (Farbenton) und haben durch die mustergültigen theoretischen Untersuchungen eines Maxwell und die praktischen Hertzschen Versuche erfahren von der Verwandtschaft, welche zwischen Licht und Elektrizität besteht und oben in der Zusammenstellung 1 und 2 sowie noch im folgenden kurz gekennzeichnet ist.

Heute ist deshalb zum Verständnis der elektrischen Wechselströme und Wechselstrom-Maschinen und -Apparate, insbesondere aber der drahtlosen Telegraphie, eine gewisse allgemeine Kenntnis der Lehre von den Schwingungen und Wellen unbedingt nötig. Denn wie in einer Kolbenmaschine, z. B. in der Kolben-Pumpe, durch die „motorische“ (bewegende) Kraft (MK) des in raschem Wechsel hin- und hergehenden Kolbens die Flüssigkeit hin- und herbewegt wird, so werden bei jeder Dynamomaschine (auch der Gleichstromm.) durch die Drehung der Ankerwickelungen an den Magneten vorbei, in den Wickelungen entsprechend periodische wechselnde „elektromotorische“ Kräfte (EMK) eingeführt (induziert), die ihrerseits periodisch wechselnde Schwingungen der Elektrizität (des Äthers) und damit elektrische Wellen (Ätherwellen) in dem umgebenden Mittel hervorrufen. (Man sehe oben im mechanischen Teile bei Besprechung des „Gesetzes von der Unabhängigkeit der Wirkungen“, die „Bruchstücke aus der Wellenlehre“, ferner das hierunter Folgende, sowie das später über die „drahtlose“ Telegraphie Gesagte).

sind, ihre Eigenschaft dem Luftmeere mitteilen und dieses nun überall ionisieren (entladend wirken) müsse. (Pierre Curie, geb. 15. Mai 1859 in Paris, wurde daselbst getötet durch einen Lastwagen am 26. April 1906.)



Die Erforschung der elektrischen Schwingungen und Wellen nach Zeit  $t$ , Länge  $l$  und Geschwindigkeit  $c$  haben die auf dem Gebiete hervorragendsten Männer, zuletzt Maxwell (elektromagnetische Lichttheorie), Hertz (elektrische Schwingungen und Wellen von sehr hoher Frequenz), Tesla\*) (elektrische Schwingungen von hoher Spannung) u. a. sich zur Aufgabe gemacht, so daß aus ihrer Saat als reife herrliche Frucht hervorgehen konnte: die heutige zu Wasser und zu Lande, im Kriege und im Frieden nicht mehr zu entbehrende „drahtlose Telegraphie“. Es ist nun zwar hier nicht möglich, auch nicht unserem Leitfaden entsprechend, auf diese sinnreichen Untersuchungen und praktische Verwertung erschöpfend einzugehen; aber es lassen sich jene beim Zustandekommen einer Welle auftretenden drei Größen auf so einfache, leicht verständliche Weise in einer mathematischen Beziehung unterbringen, daß manchem Leser die folgenden grundlegenden Betrachtungen nicht unwillkommen sein werden.

Die Schwingungsdauer ist:

1.  $t$  = Zeit-Periode einer vollen Schwingung (Hin- und Hergang) in Bruchteilen einer Sekunde, oder auch
2. = Zeit-Abschnitt, in welchem die Welle um ihre Länge ( $l$ ) fortschreitet; also
3.  $n = l/t$  die Schwingungs-Zahl, d. i. die Anzahl der Schwingungen in 1 Sekunde oder die Frequenz.

Bezeichnet nun  $c$  die Geschwindigkeit, d. i. die Wegesstrecke, um welche die Welle im Fortpflanzungsmittel während 1 Sekunde fortschreitet, so ist nach einem der einfachsten Sätze der Mechanik:

die Wellenlänge  $l = ct =$  Wegstrecke, um welche der Bewegungsvorgang während einer vollen Schwingung fortschreitet oder  $c = l/t = n l$ .

Hiernach kann ein und derselbe Wert, z. B.  $l = 33$  cm sich in der Akustik und in der Elektrizität ergeben für die entsprechenden Werte von  $c$  und  $t = 1/n$  und wäre andererseits, außer  $t$ , noch die Wellenlänge  $l$  erforderlich, um  $c$  zu berechnen.

Deshalb bestimmte Hertz 1888 mit Hilfe sinnreicher, in der Akustik und Optik bereits dem Prinzip nach bekannter Versuche, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, zunächst die Längen  $l$  der elektrischen Wellen, nicht nur in Leitungsdrähten, sondern, was weit bedeutungsvoller war, in der Luft, und daraus dann deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit  $c$  und fand z. B. für die Wellenlänge  $l = 33$  cm (die übrigens akustisch etwa der höchsten Sopranstimme entspricht\*\*)

$c = n l = l/t = 33/1,1 \cdot 10^{-9}$  Sek. = 30 000 000 000 cm/Sek. = 300 000 km/Sek., also eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit, die mit der des Lichtes im Raume übereinstimmt und schloß daraus, daß der Lichtstrahl ein Strahl elektromagnetischer Kraft, das Licht eine besondere Form der Elektrizität sei. Im allgemeinen aber sind die elektrischen Wellen, welche sich durch ihre bekannten Induktions-Wirkungen auszeichnen, nachweisen und messen lassen, erheblich länger als die Lichtwellen und würden unserem Auge erst als Lichtwellen erscheinen, wenn sie entsprechend kleinere Länge hätten.

Hertz arbeitete in seinem Versuchs-Zimmer mit kurzen elektrischen Wellen

\*) Tesla lud große Leydner Flaschen durch einen großen Funkeninduktor (später erklärt und entlud sie durch die Primärspule eines Transformators, dessen Sekundärspule nun Ströme von sehr hoher Spannung und Frequenz lieferte (Tesla-Transformator). Siehe später unter Transformatoren.

\*\*) Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft nur  $c = 330$  m beträgt, würde diesem Soprantone die Schwingungszahl  $n = c l = 330 / 0,33 =$  rund 1000 Sek. entsprechen, während die Hertzschen elektrischen Schwingungen, wie schon oben hervorgehoben wurde, nach Millionen, die Wärme- und Lichtschwingungen sogar nach Billionen zählen.

von etwa 30 cm bis 6 m Länge, bei denen die Elektrizität nur 50 Millionen Schwingungen in 1 Sek. ausführte, wogegen im Licht mit Billionen zu rechnen ist, Righi (Bologna) suchte später mittelst seines „Oszillators“, bei welchem er zwischen zwei Metallkugeln von gewissem Durchmesser die die Wellen erzeugenden Funken überspringen ließ, kürzere, den Lichtwellen näher kommende, elektrische Wellen zu erzeugen, welche um so kürzer waren, je kleiner er seine Kugeln wählte. Aber es wurde bald erkannt, daß die drahtlose Telegraphie nur mit viel längeren kräftigen Wellen von 100 Meter bis 1000 Meter Länge die heutigen Erfolge erreichen konnte. Daß Tesla durch Zuhilfenahme von Funken-Induktoren, Leydner Flaschen und Transformatoren, Wellen von ungewöhnlich großer Spannung und Frequenz erzielt hatte, wurde schon in der Anmerkung hervorgehoben.

Schon Marconi (Righis Schüler), der 1896 auf dem Landgute seines Vaters seine denkwürdigen Versuche begann und 1897 zum ersten Male die drahtlose Telegraphie praktisch ermöglichte, arbeitete unbewußt mit 150 m langen Wellen, wie später Fleming nachwies, wiewohl er auch den Righischen Oszillator anwendete, um Hertzsche bezw. Righische kurze Wellen zu erzeugen.

Da später die drahtlose Telegraphie in einem besonderen Abschnitte behandelt werden wird, soll hier im logischen Zusammenhange allgemein nur von denjenigen mechanischen, akustischen und Licht-Schwingungen und Wellen gehandelt werden, auf welche alle vor der elektrischen Telegraphie bekannten Erscheinungen zurückzuführen waren und die Forscher auf dem Gebiete zurückgreifen konnten.

Unser Auge ist nur befähigt, Schwingungen zwischen den Grenzen 400 Billionen in 1 Sek. als rotes, bis 800 ( $= 400 \cdot 2^1$ ) Billionen Schwingungen als violettes Licht, wahrzunehmen, hat also sozusagen den Umfang nur einer Oktave und faßte man nach der Ausdrucksweise der Akustik 400 als Grundton auf, so wäre dazu 800 die Oktave, also der erste Oberton.

Wäre das Auge im Verhältnis so umfangreich und fein organisiert wie das Ohr, welches nach Helmholtz mehr denn 11 Oktaven umfaßt, von 16 Schwingungen (Doppel-) in 1 Sek. (Subkontra C der 5 m langen gedachten Orgelpfeife) bis 40 000 ( $= \text{etwa } 16 \cdot 2^{11}$ ) für den höchsten überhaupt wahrnehmbaren Ton, so würden wir außer den Lichtstrahlen (rot, orange, gelb, grün, blau, violett) noch Wärme-, chemische (und elektrische) Strahlen sehen.

Beiläufig bemerkt, unterscheidet unser Ohr von den musikalisch brauchbaren Tönen nach der Tonhöhe (Schwingungszahl) gut noch sieben Oktaven, nämlich zwischen 40 Schwingungen (Kontra E des Kontrabasses im Orchester) mit 8 m Wellenlänge\*) bis 5000 ( $= 40 \cdot 2^7$ ) Schwingungen in 1 Sekunde (Pikkoloflöte) mit 8 cm Wellenlänge und außerdem noch aus einem rauschenden Konzerte (Tonkämpfe, concertare, streiten) jeden Mißton, jedes Kleiderrauschen, jede flüsternde Freundesstimme.

**Sonnenspektrum.** Hierneben skizziertes Sonnenspektrum (Fig. 41) soll den Zusammenhang des Gesagten mit wenigen Linien andeuten. Die bei 1 bzw. n eingeschriebenen Zahlen sind die beobachteten Mittel bzw. Grenzwerte für die Wellenlängen in Millimetern und Schwingungszahlen in 1 Sek.

Die Wellenlängen des sichtbaren Sonnenspektrums liegen zwischen 7 und 4 Zehntausendstel eines Millimeters. Im nicht sichtbaren ultravioletten (rechts) durch chemische Wirkung ausgezeichneten Spektrum sind die gemessenen kleinsten Wellenlängen größer als ein Zehntausendstel eines Millimeters. Im ebenfalls unsichtbaren ultraroten (links) durch Wärmewirkung ausgezeichneten „Wärmespektrum“ beobachtete man Wellenlängen bis 0,02 mm.

\*) Die von Hertz beobachtete größte elektrische Wellenlänge war  $l = 6$  m, wie wir an einer anderen Stelle hervorhoben.

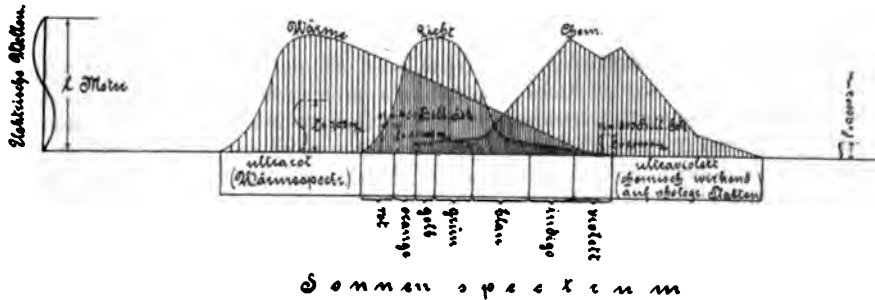
Die kürzesten bekannten elektrischen Wellen sind (Jochmann, Hermes, Spieß) 1897 von Lampa erzeugt und 4 mm lang.

Die Tonwellen-Längen von 8 m für 40 Schwingungen und 8 cm für 5000 Schwingungen sind nicht eingezeichnet, gehören auch nicht in das Sonnenspektrum, weil sie durch Longitudinalschwingungen entstehen, während doch alle hier verzeichneten Wellen aus Transversal-Schwingungen hervorgegangen sind.

Sollte es nun auch, was nicht unwahrscheinlich ist, elektrische Wellen geben, deren Längen noch unter 0,0001 mm hinabgehen, so dürfte die Annahme nicht widersinnig sein, daß die Elektrizität die allgemeine Kraft ist, welche die anderen in sich einschließt, und man dürfte nebenstehendes Spektrum als „elektrisches Spektrum“ ansprechen, welches das Wärme-Licht-chemische Spektrum umfaßt.

Nach den heutigen Anschauungen pflanzen sich die „hochfrequenten“ elektrischen, also auch die durch den Blitz erzeugten Wellen durch die Luft und jeden anderen homogenen schlechten Leiter (Dielektrikum) hindurch gleichmäßig nach allen Richtungen hin fort. Erst da, wo sie einen guten Leiter (Metallplatte,

Fig. 41.



Metalldraht, Baum, Gebäude oder eine andere „Antenne“ treffen\*), werden sie durch diesen von der ursprünglichen Richtung abgelenkt, reflektiert oder gleiten mit derselben Geschwindigkeit an demselben (also längs seiner Oberfläche) entlang. Sie dringen also nicht in dem Maße, wie man bislang annahm, sondern vielmehr um so weniger in dessen Inneres ein, je höher ihre Schwingungszahl (Frequenz) ist. Dem entspricht die Tatsache, daß unserem Körper elektrische Entladungen (Wechselströme) um so weniger schaden, je höher deren Frequenz ist, selbst wenn sie die Spannung der Teilaströme haben. Auch eine freischwebende Magnetnadel bleibt durch den Wechselstrom ungestört, weil dessen Wechsel ( $\pm E$ ) so rasch aufeinander folgen, daß die träge Masse der Nadel nicht imstande ist, zu folgen (gleichsam zu fühlen). Hiernach verhalten sich die „Dielektrika“ (schlechten Elektrizitätsleiter) gegen elektrische Strahlen, wie die durchsichtigen Körper (Glas usw.) gegenüber dem Lichtstrahl, und sind dagegen die guten Leiter den undurchsichtigen Körpern vergleichbar.

\*) Eingehender wird hierüber in dem Kapitel über „Drahtlose Telegraphie“ gehandelt.

### III. Elektro-Magnetismus.

**Einleitende Bemerkungen.** Heute wird in den technisch-wirtschaftlichen Stark-Strom-Betrieben der elektrische Strom niemals durch die im früheren behandelten Elemente, sondern ausnahmslos durch Dynamomaschinen, also durch die gegenseitige Wirkung von Elektro-Magneten hervorgerufen. Auch sind es, nach Maxwells elektro-magnetischer Lichttheorie, elektro-magnetische Vorgänge, die wir als Lichtstrahlen (kleine Wellenlängen) empfinden und in der drahtlosen Telegraphie mit ihren großen Wellenlängen, ferner in unzählig vielen Vorrichtungen (z. B. den Induktoren, Transformatoren) ausnutzen. Wir müssen deshalb dazu übergehen, die wichtigsten gerade hierauf bezüglichen Gesetze kennen zu lernen.

Der „Magnetstein“ (Eisenoxyduloxyd  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) von alters her bekannt und genannt nach der kleinasiatischen Stadt Magnesia, in deren Nähe er gewonnen wurde, hat von Natur die Eigenschaft, Eisenstückchen an sich zu ziehen und mit einer gewissen („magnetischen“) Kraft festzuhalten, oder an einem ungedrehten Faden frei aufgehängt, infolge einer gewissen Richtkraft der Erde immer wieder in eine bestimmte Richtung von Süden nach Norden sich einzustellen, so daß die Reisenden „auf See“ und in der Wüste ihn von alters her als „Leitstein“ zur Bestimmung der Himmelsrichtung benutzen konnten.

Diese Eigenschaften der Steine von Magnesia, welche man auch Eisenstäbchen während bloßer Berührung vorübergehend mitteilen und auf Stahlstäbe durch kräftiges mehrmaliges Streichen (einfacher und doppelter Strich) in der Längsrichtung dauernd übertragen kann und die zuerst wieder Gilbert durch wissenschaftliche Beobachtungen ziemlich erschöpfend aufklärte, veranlaßten die Namen „Magnet“, Magnetismus“.

Ähnlich wie das Eisen verhalten sich Kobalt, Nickel. Alle diese Körper heißen „paramagnetisch“. Im Gegensatz dazu stehen die „diamagnetischen“ Stoffe, wie Wismut, dann besonders Antimon, Zink, Zinn, Blei, Kupfer, Silber, Gold.

Jeder Magnetstab, jede Magnetnadel hat zwei gleich starke „Pole“, einen Nordpol (+), der nach Norden, einen Südpol (—), der nach Süden zeigt, wenn der Magnet oberhalb seines Schwerpunktes derart unterstützt ist, dass er sich in einer horizontalen Ebene ungehindert drehen kann.

**Anmerkung.** Magnetischer Meridian. Deklination. Inklination. Isogonen. Isoklinen. Isodynamen. Ober- und unterirdische magnetische Wirkungen. Magnetische Beobachtungen in Clausthal, Bochum, Beuthen. Man nennt diese Nord-Süd-Richtung, die man durch die Verbindende der beiden Pole des frei schwebenden Magneten erhält, den

„magnetischen Meridian“ des Ortes. Letzterer weicht von dem „astronomischen Meridian“ meist um einen gewissen Winkel ab, welcher als Deklination des Ortes bezeichnet wird. Für den Bergmann (Marscheider), der mit der Magnetnadel (Boussole, Kompaß) die Richtungen seiner horizontalen Grubenräume („Strecken“) zu bestimmen hat, ist zu wissen nötig, daß die Deklination sich verändert nicht nur mit dem Orte, sondern auch im Laufe des Jahres und sogar während der Tagesstunden. Gegenwärtig ist die Deklination eine westliche und beträgt für Clausthal zwischen 10 und 11°, für Bochum in Westfalen zwischen 12 und 13°, für Beuthen in Oberschlesien zwischen 6 und 7°\*). Die täglichen Abweichungen aus dem magnetischen Meridian sind am größten: um 8 Uhr morgens nach rechts, nachmittags gegen 1 Uhr nach links. Außer diesen periodisch wiederkehrenden Abweichungen werden augenblickliche Störungen beim Nordlicht, bei Erdbeben und vulkanischen Ausbrüchen beobachtet. Würde man die Magnetnadel genau in dem Schwerpunkte selbst aufhängen, so würde sie mit ihrem Nordpole nach unten sich neigen (inklinieren). Man nennt den Winkel zwischen dieser Richtung und dem Horizont die „Inklination“ des Ortes. Isogonen bezw. Isoklinen sind diejenigen auf der Erdoberfläche gezogen gedachte Linien, welche Punkte gleicher Deklination bezw. Inklination miteinander verbinden. Isodynamen nennt man die Linien gleicher Intensität.

Alle diese Beobachtungen deuten darauf hin, daß die Erde selbst sich wie ein großer Magnet verhält, der nach allen Richtungen hin strahlenförmig „Kraftlinien“ aussendet und dadurch in dem umgebenden Raume ein „magnetisches Kraftfeld“ bildet, welches auf die in diesem Felde befindlichen magnetischen Körper, die ihrerseits mit entsprechenden magnetischen Feldern umgeben sind, die vorhin geschilderten Wirkungen äußert.

Auf Veranlassung der bekannten Göttinger Professoren F. Gauß und W. Weber sind bis 1846 in einem auf der 13. Querschlagstrecke der Grube Eleonore bei Clausthal, 545 Meter unter Tage eingerichteten magnetischen Observatorium und in dem Clausthaler oberirdischen Observatorium vergleichende Versuche angestellt, welche ergaben, daß die Abweichungen der Magnetnadel unter und über Tage vollständig dieselben waren. (Kurze, auf hiesige Beobachtungen gestützte geschichtliche Bemerkungen über Veränderungen der magnetischen Werte im Laufe der Jahrhunderte und deren Zusammenhang mit den Sonnenflecken, auf die hier einzugehen der Raum verbietet, sind zu finden in Verfassers Buch: „Die Bergwerke, Aufbereitungsanstalten und Hütten im Ober- und Unterharze“ S. 125 u. ff.)

## Magnetische Fundamentalsätze. Dyn. Kraftfeld. Kraftlinie. Feldmagnet. Einheitspol. Gesetz aller Fernwirkungen. Kraftlinien des Erdballes. Elektrotechnik und Festigkeitslehre.

Läßt man zwei Magnete aufeinander einwirken, so beobachtet man ein Gesetz, welches entsprechend auch für die Elektrizität gefunden war :

„Ungleichnamige (N, S) Pole ziehen sich an,“\*\*)

„Gleichnamige (NN, SS) Pole stoßen sich ab.“

Doch besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen den elektrischen und magnetischen Körpern darin, dass ein (+) oder (—) Pol nirgends in der Natur für sich besteht, vielmehr ein magnetischer Körper stets zwei entgegengesetzte Pole besitzt, so daß es unmöglich ist, die Wirkung zweier getrennter Einzelpole aufeinander genau festzustellen.

Dennoch wenden wir mit Coulomb das für alle sog. Fernwirkungen geltende, dem Gravitationsgesetze von Newton entsprechende durch die Figur 25 veranschaulichte Gesetz

$$P = \pm K \frac{M m}{r^2}$$

auch auf zwei gesondert gedachte Magnetpole an, welche die Stärken M und m besitzen und in der Entfernung r voneinander sich befinden. Die entgegengesetzten Vorzeichen bedeuten, daß es sich bei Magnetpolen um eine Anziehung und eine

\*) Genaue mit den Jahren und Monaten wechselnde Beobachtungswerte der Deklinationen an den drei genannten bergmännisch wichtigen Orten bringt alljährlich der Berg- und Hüttenkalender (Essen).

\*\*\*) Dieses Gesetz und die obige Bestimmung, die nach dem Nordpol der Erde gerichtete Magnetnadelspitze als Nordpol zu bezeichnen, setzt im Nordpol der Erde Südmagnetismus voraus.

Abstoßung handeln kann. Das Gesetz entspricht um so mehr der Wirklichkeit, je länger die benutzten Magnete sind, also je weiter die an den anderen Enden liegenden Pole von den einander genäherten (gesondert gedachten) abstehen.

Nur wenn man den Stabmagnet krümmt, würde man es annähernd ermöglichen, daß durch einen Luftzwischenraum voneinander getrennt ein einziger Nordpol einem einzigen Südpol gegenübersteht. Schlösse man den Ring vollständig, so erhielte man einen „pollosen“ Magneten, der als Kern der Dynamomaschinenanker und der Transformatoren in der Elektrotechnik große Bedeutung gewonnen hat.

Betrüge die Stärke  $M = 1 \text{ g}$ ;  $m = 1 \text{ g}$ ; und die Entfernung  $r = 1 \text{ cm}$ , so wäre die Kräfteinheit:

$$P = \pm K \frac{1 \cdot 1}{1^2}$$

$P = K = 1 \text{ Dyne} = \text{dem Gewichte von etwa 1 Milligramm.}$

In Worten würde der Satz heißen:

Ein Einheitspol übt auf einen Einheitspol in der Einheit der Entfernung die Einheit der „Feldstärke“ aus. Was unter „Feld“, unter „Feldstärke“, unter „Kraftlinien“ und den damit zusammenhängenden Dingen zu verstehen ist und wie diese Begriffe noch mehr zu verallgemeinern sind, als Faraday annahm, indem er sie nur für die magnetischen Wirkungen einführte, soll im folgenden gezeigt werden.

Wie man in Theorie und Praxis schon längst ganz allgemein vom Ackerfelde, Schlacht-Felde, überhaupt zutreffend vom Arbeits- oder Wirkungs-„Felde“ einer Tätigkeit spricht, so versteht man in der Wissenschaft unter einem „Kraft-Felde“ einen Raum, in welchem (Erdschwer-, magnetische-, elektrische) Kräfte wirken. Und da man in der Mechanik Kräfte und andere Werte nach Lage, Größe und Richtung durch „Linien“ (Vektoren) veranschaulicht, so hat Faraday besonders zur Veranschaulichung des magnetischen Feldes den für unsere folgenden Betrachtungen sehr wichtigen Begriff „Kraftlinien“ eingeführt, die sich (was später noch deutlicher hervorgehoben werden muß) im „Felde“ des Magneten durch Eisenfeilspäne sichtbar machen lassen. In diesem Sinne nennen wir mit Faraday in der Elektrotechnik die Magnete der Dynamomaschinen kurzweg „Feldmagnete“. Hierdurch will Faraday veranschaulichen, daß bei den sogenannten „Fernwirkungen“ die Kräfte durch den Raum nicht unvermittelt wirken, sondern mittelst eines Zwischenmittels (vielleicht des Äthers) von Teilchen zu Teilchen übertragen werden. Wie nun das Hauptgesetz für alle Fernwirkungen einheitlich sich deuten läßt, mag das folgende etwas derbe Beispiel lehren, für das nur die Bekanntschaft des wichtigen mathematischen Satzes vorauszusetzen ist, daß die Oberflächen  $O_1, O_2$  zweier Kugeln von verschiedenen Halbmessern  $r_1, r_2$  sich zueinander verhalten wie die Quadrate ihrer Halbmesser, also:

$$O_1/O_2 = r_1^2/r_2^2.$$

Bestreicht man die beiden Kugel-Oberflächen mit je einer genau gleichen Farbenmenge (Ursache), so ist der bewirkte Anstrich (Wirkung) auf der größeren Kugel offenbar um so dünner, je größer ihre Oberfläche ist. D. h. die Farben-„Stärken“ (Intensitäten des Feldes) verhalten sich umgekehrt wie die Oberflächen oder umgekehrt wie die Quadrate der Halbmesser.

Entsprechend verhalten sich, die von einem Punkte der Lichtquelle nach allen Seiten hin kugelförmig sich ausbreitenden Bestrahlungen auf die Flächen-Einheit (Licht-Intensitäten) der konzentrischen Innen-Oberflächen, umgekehrt wie die Quadrate ihrer Entfernungen vom Ausgangspunkte.

Demnach muß in der doppelten, dreifachen, zehnfachen Entfernung die Wirkung der Lichtstrahlen („Kraftlin.“)  $1/4$ ,  $1/9$ ,  $1/100$  derjenigen in der einfachen Entfernung betragen.

Dieses Gesetz der Fernwirkungen („Kraftlinien-Wirkung“) gilt allgemein für die Erdschwere, den Schall, das Licht, die Wärme, die Elektrizität, den Magnetismus, kurz für jede Wellenbewegung und ist gekennzeichnet durch den Faktor:  $1/r^2$ .

Genau genommen schließt unser soeben gefundenes Gesetz auch das Universalgesetz von der „Erhaltung der Kraft“ ein: In einer Welle, welche von einem Zentrum aus sich kugelförmig ausbreitet, wird die ursprüngliche „lebendige Kraft“ (Arbeitsleistung, Intensität) auf immer größere Anzahlen von Massenteilchen verteilt. Die Intensitäten der einzelnen Massenteilchen nehmen deshalb im umgekehrten quadratischen Verhältnisse ab. Die ursprüngliche Leistung ist in eine gleichwertige (äquivalente) Summe von Leistungen in den einzelnen auf einer konzentrischen Kugeloberfläche befindlichen Teilchen verwandelt. Entsprechendes gilt für alle Arbeitsformen, oder durch Kraftlinien veranschaulichte Wirkungen. Schrumpfte der Erdball mit allen seinen Eigenschaften bis auf seinen Mittelpunkt zusammen, so würden von diesem Massen-Punkte als Angriffspunkte gleichmäßig über den unermesslichen Welten-Raum verteilt, die unter sich gleichwertigen Kraftlinien in strahlenförmiger (radialer) Richtung ausgehen und auch ein und dieselbe konzentrische Kugeloberfläche nicht nur rechtwinkelig, sondern auch mit gleicher Wirkung („Potential“) „bearbeiten“. Daß letztere für das Folgende wichtige Annahme gültig ist, bedarf wohl keines weiteren Beweises. Man nennt die von den Kraftlinien senkrecht getroffenen Niveauflächen passend auch „Potential-Flächen“ (Flächen gleicher „Arbeitsfähigkeit“, wie z. B. den Meeresspiegel).

**Anzahl der Kraftlinien.** Auch über die Anzahl der Kraftlinien läßt sich leicht eine ganz allgemein, nicht nur für die Lehre vom Magnetismus und der Elektrizität gültige, sehr wichtige Bestimmung treffen, wenn der mathematische Satz als bekannt vorausgesetzt wird, daß die Oberfläche  $O$  einer Kugel gleich dem 4 fachen des größten kreisförmigen Kugel-Querschnittes ist, nämlich  $O = 4 r^2 \pi$ .

Wird  $r = 1$  cm gesetzt, so ist für solche Einheits-Kugel die Oberfläche  $O = 4 \cdot \pi = 12,57$  Quadratcentimeter.

Vom Mittelpunkte oder Kraftzentrum (Pole beim Magneten) müßten demnach  $4 \pi = 12,57$  Kraftlinien (magnetische Kraftlinien) ausgehen, wenn auf je 1 Quadratcentimeter eine einzige Linie entfallen sollte.

Es soll in der Folge Einheitspol (der auch durch die Einheit der „Ampèrewindungen hervorgebracht werden kann) ein solcher genannt werden, welcher  $4 \pi = 12,57$  Kraftlinien

versendet.

Man kann dann (mit Kapp. Elektr. Kraftübertr. 1898 S. 26) sagen:

Der Einheitspol bringt in der Einheit der Entfernung die Einheit der Feldstärke hervor.

Nach obigen Betrachtungen gilt dieser Satz ganz allgemein, und nicht nur für das magnetische Feld, auf das nun etwas näher eingegangen werden muß.

Feldstärke, d. i. die Stärke eines durch eine magnetische Kraft erzeugten magnetischen Feldes, wird durch die Anzahl der Kraftlinien gemessen, welche hier den Raum durchfließen. Hat ein Magnetpol nicht die Stärke Eins, sondern  $m$ , so entsendet er

$4 \pi \cdot m$ -Kraftlinien.

Und würde eine qcm-Fläche nicht von einer Kraftlinie, sondern z. B. von 50 Kraftlinien (KL) senkrecht getroffen. so herrscht an dieser Stelle die gesamte Feldstärke, Kraftlinien-Zahl oder Kraftlinien-Dichte in der Luft

$\oint$  (oder  $H$ ) = 50 auf 1 qcm.

Gleichförmig (homogen) heißt ein Feld mit parallelen Kraftlinien, von denen überall gleichviel auf die Flächeneinheit entfallen.

Später wird ausführlicher auseinandergesetzt, daß weiches Eisen weit durchlässiger (permeabler) für magnetische Kraftlinien ist als die Luft. Ein weicher Eisenstab in die Bahn jener durch die Luft verlaufenden Kraftlinien (z. B. in den inneren Luftraum eines vom Strome durchflossenen Solenoides) Fig. 42 gebracht, „sättigt“ sich gleichsam mit Kraftlinien, so daß jetzt auf je 1 qcm die Zahl der durch ihn hindurch verlaufenden (verdichteten) Kraftlinien oder die

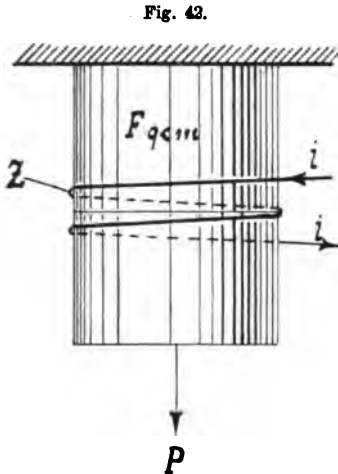


Fig. 42.

„Sättigung“  $\mathfrak{B} (B) = \mu \mathfrak{H} (H)$  beträgt. Wir werden später sehen, daß  $\mu$  etwa die Werte annimmt 200 bis 2000. Also in diesem Verhältnisse ist die Sättigung  $>$  die Feldstärke. Durchschnitte man solchen durch Solenoidströme magnetisierten Eisenstab vollständig, wie die Figur andeutet, so würden die beiden Stücke an der Trennungsfuge in der Richtung der Kraftlinien doch noch zusammenhalten und einer in der Achsenrichtung wirkenden Zugkraft  $P$  einen bestimmten Widerstand gegen Trennung entgegenstellen, welcher in der „Festigkeitslehre“ mit

„Festigkeit“ bezeichnet wird. Es soll auf diesen Zusammenhang zwischen Magnetismus und Festigkeit am Ende des Elektro-Magnetismus durch ein Zahlenbeispiel hingewiesen werden.

**Faradays Kraftlinien.** Bildliche Darstellung der Kraftlinien (KL). Feldstärke. Kraftlinienzahl. Dichte der Kraftlinien in Luft und Eisen. Magnetische Arbeit. Kraftgefälle (Potentialdifferenz).

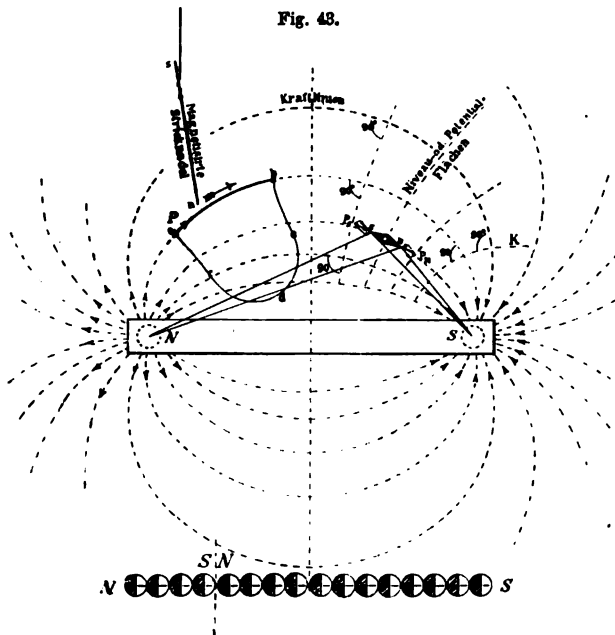


Fig. 43.

Bestreut man ein auf einen geraden Stabmagneten wagerecht gelegtes Papier mit Eisenfeilspänen und setzt diese durch sanftes Anklopfen des Papiers in hüpfende Bewegung, so richten sie sich derart, daß sie vom Nordpole nach dem Südpole des Stabmagneten hin verlaufend krumme Linien bilden, Fig. 43. Die Eisenfeilspäne sind durch Beeinflussung (Induktion) seitens des großen Magneten selbst zu kleinen Magneten geworden, die ihre entgegengesetzten Pole einander zukehren und durch gegenseitige Anziehung derselben, als Glieder einer ununterbrochenen

Kette sich zusammenfügten, wie im unteren Teile der Figur angedeutet ist. Das Bild, welches wir hier vor uns auf ebener Fläche sehen, müssen wir uns



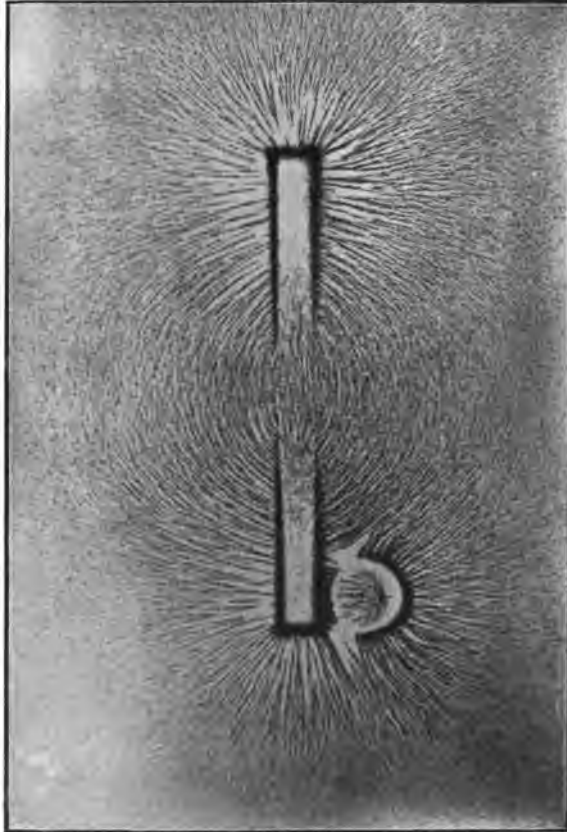
ringsum den Magneten, also räumlich ergänzen. Diese Faradayschen Kraftlinien, die am dichtesten an den Polen sich zusammenziehen, nach außen hin immer weitläufiger den Magnetstab zu umkreisen scheinen, veranschaulichen durch ihre „Dichte“, also Anzahl auf die Flächeneinheit, die Stärke, „Feldstärke“ des unsichtbaren magnetischen sog. Kraft-Stromes (ohne daß wir hierbei an etwas tatsächlich Fließendes denken wollen).

Kurz: Kraftlinienzahl = Stärke des magnetischen Stromes.

Fig. 44.

Der magnetische Kraftstrom fließt außerhalb des Magnetkreises vom Nord- nach dem Südpole, innerhalb des Magneten vom Süd- nach dem Nordpole zurück und bildet so einen vollständig geschlossenen Kreislauf\*), in welchem nach Faradays Annahme für jeden Querschnitt senkrecht zu den Kraftlinien die Gesamtzahl der Stromlinien dieselbe ist. (Auch beim elektrischen Stromkreise nahmen wir in jedem Querschnitte die Stromstärke  $i$  konstant an).

Der Weg der geschlossenen Kurven hängt ab von der magnetischen Leitungsfähigkeit des, man möchte sagen, Strom-Bettes, ist z. B. in der Luft ganz anders als in dem weichen Eisen des an den einen Pol gelegten offenen Ringes der Figur 44 oder in dem Magneten selbst. Auch ist die Verdichtung der Eisenfeilspäne (Kraftlinien) zwischen den durch eine dünnere Luftschicht voneinander getrennten Polen eines Hufeisen-Magneten, Fig. 45, mit einem dazwischen gelegten Ringe\*\*), aus weichem Eisen, offenbar größer, als an den Polen des Stabmagneten. Wie die Kraftlinien von einem Einzelpole radial sich weithin nach außen verbreiten, zeigen die Figuren 46 und 47 mit dem danebenliegenden Ringe. Bringt man zwei gleichnamige Pole nebeneinander, so nimmt man zwischen ihnen Abstoßung der Kraftlinien wahr. Noch mehr würde die KL-Strömung begünstigt, wenn der



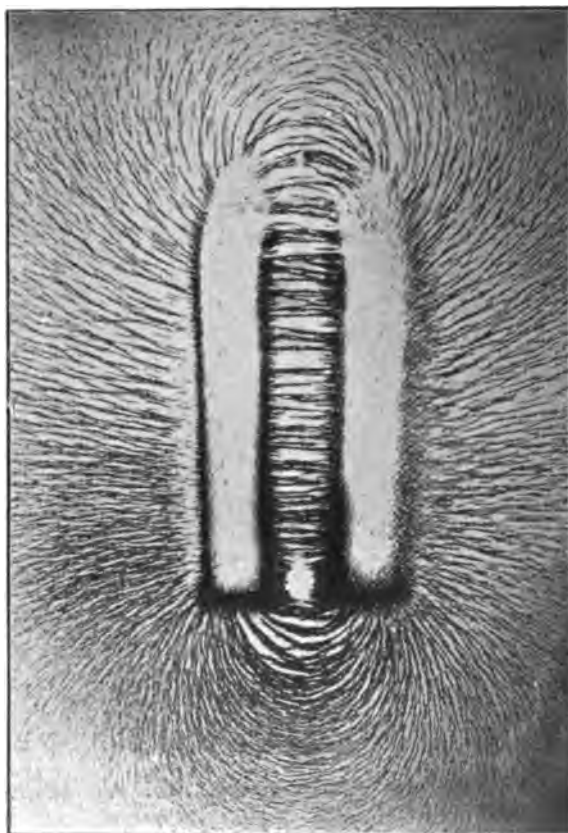
\*) Nach Anmerkung auf Seite 120 müssen wir für den Erdball den entgegengesetzten Verlauf der magnetischen Kraftlinien annehmen: Dieselben fließen am magnetischen Südpol aus, durch die Luft, dann am Nordpol ein und im Erdinnern zum Südpol zurück.

\*\*) Dieses Bild zeigt besonders gut die bekannte „magnetische Schirmwirkung“ des Eisens. Die magnetischen Kraftlinien, welche zwischen Nord- und Südpol besonders dicht verlaufen, treten nicht ins Innere des Eisenringes ein. Ein magnetisches Meßinstrument läßt sich deshalb annähert gegen die Einwirkung eines äußeren magnetischen Poles, auch der Erde, durch eine zweckmäßige Eisenkapsel schützen.

Magnet einen in sich zurücklaufenden „pollosen“ Ring ohne irgendwelchen Luftzwischenraum bildete. Solchen Verlauf der Kraftlinien nur im Eisen streben wir deshalb an bei allen Dynamomaschinen und Transformatoren und suchen auch beim Zusammenbau der Dynamomaschinen die Luftzwischenräume zwischen den feststehenden Magneten und dem gedrehten Anker auf ein Mindestmaß zu beschränken. (Dadurch wird die „Induktion“ der elektromotorischen Kraft in den Ankerdrähten begünstigt, welche bei der Umdrehung die aus den Magnetpolen austretenden magnetischen Linien quer durchschneiden.)

Bringt man in den Kraftlinien-Strom des „magnetischen Feldes“ ein Stück weiches Eisen, so verdichten sich hier die Kraftlinien in auffälliger Weise. Es

Fig. 45.



scheint, als ob der Kraftlinien-Strom in dem Eisen einen viel durchlässigeren („permeabeleren“) Körper gefunden hätte als in der an Stelle des Eisens hier vorher vorhandenen Luft. Man möchte es sich so vorstellen, wie das Strömen des Wassers in der Mitte eines übrigens sehr steinigen Flußbettes, in welchem durch Wegräumen der Steine eine glatte Bahn geschaffen ist und nach welcher sich nun die Wasserfäden schnell von der Seite her hindrängen. Man könnte hier auch an einen Feuer-Rost denken vor und nach der Säuberung. Floß an jener Stelle durch die Luft vielleicht nur 1 magnetische Kraftlinie auf je 1 qcm Querschnittsfläche, so fließen durch das weiche Eisen unter Umständen Tausende von Kraft-Linien.

Die bei unserem Versuche an den Feilspänen beobachtete Richtkraft des magnetischen Feldes läßt sich durch eine kleine magnetisierte in der Mitte an einem ungedrehten Seidenfaden (Kokonfaden) freischwebend aufgehängte Nadel

veranschaulichen, Fig. 43. Überall stellt sich die Naht tangential zu den auf dem Papiere sichtbaren und im Raume über dem Papiere unsichtbaren Kraftlinien derart, daß sie ihren Nordpol dem Südpole des Magneten zukehrt. Da die verhältnismäßig einander sehr nahe liegenden (Nord- und Süd-) Pole der Nadel von den einzelnen Polen des Magnetstabes fast genau so stark abgestoßen als angezogen werden, so wird die Nadel nur gerichtet, nicht fortbewegt.

Denn nach der Konstruktion der kleinen Parallelogramme an den Enden der Magnetnadel in der Figur sind die Kräfte  $P_s$  und  $P_n$  nahezu einander gleich. Wäre dagegen z. B. der n-Pol der Nadel frei, so würde er längs der Kraftlinie nach dem Südpol beschleunigt sich bewegen (fallen). Um den Bewegungs-

zustand (Magnetstrom) längs der Kraftlinien nun doch nachzuweisen, kann man folgenden Versuch anstellen. Man bringe, wie die Figur 43 links zeigt, den Nordpol einer langen magnetisierten Stricknadel, die in lotrechter Lage am oberen Ende (Südpol) befestigt, in wagerechter Richtung frei beweglich ist, in das magnetische Feld, also über eine der Kraftlinien unseres Magneten, so wird dieser N-Pol der Nadel vom N-Pol des Magneten abgestoßen, vom S-Pol angezogen und infolgedessen bei genügender Nachgiebigkeit längs der Kraftlinie in der Richtung des Pfeiles fortgetrieben.

Die mechanische Arbeit, welche hierbei, z. B. von a bis b von der hier herrschenden magnetischen Kraft verrichtet wird, ist gleich dem Produkte:

$$\text{Kraft} \times \text{Weg im Kraftsinne, oder} \\ P \times a b$$

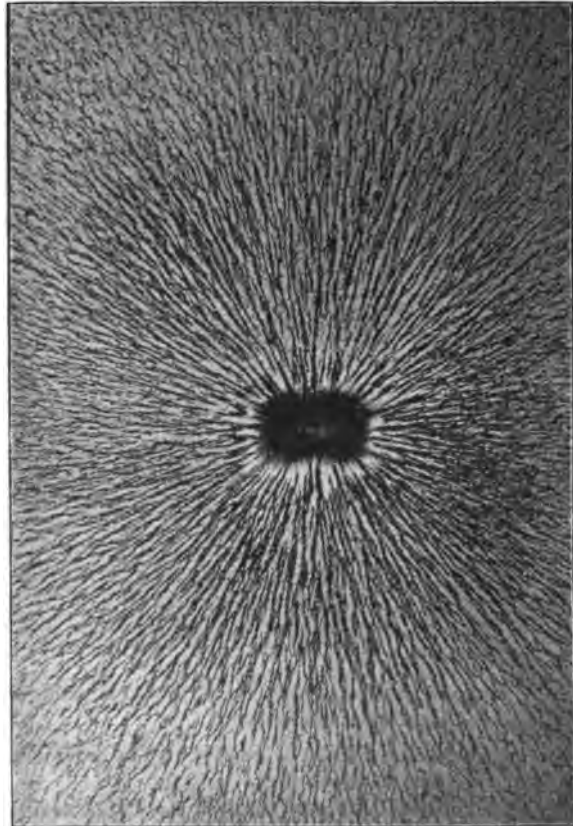
und unabhängig von dem wirklich zurückgelegten, nicht mit a b zusammenfallenden Wege. D. h. würde nicht der Weg a b auf der Kraftlinie, sondern der Umweg a c d e b zurückgelegt, so würde die mechanische Arbeit doch sein  $P \times a b$ , wenn, wie schon vorhin hervorgehoben wurde, P beständig im Sinne der Linie a b wirkt. Es kommt, wie in allen solchen Fällen die Mechanik lehrt, nur auf den Anfangs- und Endpunkt des Weges und auf die Kraft und deren Richtung an. Dasselbe gilt auch für die Bewegung im Felde der Schwerkraft.

Trägt jemand das Gewicht Q kg vom Meeresspiegel (Niveau) bis auf einen Punkt des Berges, dessen Niveau h m über dem des Meeres liegt, so verrichtet er in der Richtung der Schwerkraft die mechanische Arbeit  $Q \cdot h$  mkg, gleichgültig, auf welchem Umwege er das Gefälle h durchläuft. Auf die Nebenarbeit kann dabei keine Rücksicht genommen werden.

Erfolgte die Bewegung stets auf ein- und derselben Niveau-Fläche, also senkrecht zur Krafrichtung, so wäre die Arbeit während der Bewegung, (sei es auf der Meeresfläche, im Felde der Erdschwere oder unseres Magneten) stets gleich Null.

Die Bewegungserscheinungen außerhalb des Magneten erinnern an einen Flüssigkeitsstrom, der infolge eines Kraftgefälles („Potentialdifferenz“) von einem Orte höheren Druckes zu einem Orte niederen Druckes abfließt. Ich habe deshalb oben die Bewegung von a nach b ein „Fallen“ genannt. In der Figur sind einige

Fig. 46.





## Die Faradayschen Kraftlinien in der Nähe durchflossener Leiter bezw. Solenoide.

**Kraftlinien-Wirbel. Die Kraftlinie als Solenoid aufgefaßt. Permeabilität. Ampère-Windungen (A.W.) Licht- und magnetische Strahlen.**

In den Figuren 2 und 32 links ist der durchflossene Leitungsdraht durch die Mitte einer wagerechten Pappe geführt. Die auf diese gestreuten Eisenfeilspäne haben sich bei sanftem Anklopfen bald in konzentrischen Kreislinien um den Draht angeordnet, deren Dichte mit der Entfernung vom Drahte abnimmt. Die kleine Magnetnadel stellt sich in der Richtung dieser Kraftlinien ein. Wären die Pole frei, so würden sie auch hier nach der Ampère-Schwimmregel längs der Kraftlinie um den Draht solange herum sich drehen, als der Strom durch den Leitungsdraht fließt. Durch den über eine Kraftlinie gebrachten N-Pol unserer lotrecht aufgehängten magnetischen Stricknadel läßt sich diese Tatsache veranschaulichen.

Was an dieser Stelle dargestellt ist, gilt naturgemäß für den ganzen Verlauf des Leitungsdrahtes, auch dort, wo er zu einer Spule (Solenoid) aufgewickelt ist. Der Bewegungsvorgang, der durch die Kraftlinien veranschaulicht werden soll, müßte nach unserer Annahme auf einer Schraubenlinie sich vollziehen, die den durchflossenen Leitungsdraht zur Achse hat\*).

Wir hätten demnach nach Faraday jeden vom elektrischen Strome durchflossenen Leitungsdraht von magnetischen, schraubenförmig gewundenen Kraftlinien-Wirbeln umflossen zu denken.

Diese Kraftlinien-Wirbel setzen sich, wie Fig. 32 in dem durch die geometrische Achse des Solenoides gelegten Horizontalschnitt angedeutet ist, zu den magnetischen Kraftlinien zusammen, die hier das Innere des Solenoides vom Süd- zum Nordpole hin gleichlaufend mit dessen Achse durchfließen. Einen entsprechenden Verlauf derselben hatten wir auch bei dem Stahlmagneten angenommen.

Diese Darstellung legt es nahe, jede Kraftlinie aufzufassen als ein vom elektrischen Strome durchflossenes Solenoid, welches mit allen seinen elektromagnetischen Eigenschaften zu einer Linie zusammengeschumpft ist.

Die Ähnlichkeit der Wirkung eines Solenoides mit einem Magnetstabe tritt noch deutlicher hervor, wenn wir einen an sich unmagnetischen Stab von weichem Eisen in das Innere des Solenoides einführen, dessen Mittellinie durch die dicke Linie NS angedeutet ist. Sofort wächst, ohne daß übrigens eine Änderung vorgenommen wird, die magnetische Kraft des Solenoides sehr bedeutend. Die vorher durch den Widerstand der magnetisch schlecht leitenden Luft in dem inneren Raume des Solenoides zurückgehaltenen magnetischen Kraftlinien, die Sinnbilder der magnetischen Kraft, werden jetzt in großer Zahl durch den Eisenkern hindurchgelassen. Der weiche Eisenstab im Innern des Solenoids zeigt seine Durchlässigkeit für magnetische KL oder „Permeabilität“, wie oben der Eisenstab im Felde des permanenten Magnetstabes.

### Beziehungen zwischen Ampère-Windungen und magnetischen Linien.

Wichtig ist es, jetzt darauf aufmerksam zu machen, daß jenes Anwachsen der magnetischen Kraft des Solenoides durch Einführung des Eisenstabes, nicht nur

- I. von dem Querschnitte des Eisenstabes,
- II. von der Durchlässigkeit (Permeabilität) der Eisensorte, sondern was zu erwarten ist, auch

\*) Hiermit zu vergleichen, was früher in der Elektro-Mechanik unter Zirkularpolarisation des Lichtes gesagt ist. So finden wir auch hier Beziehungen zwischen dem Verlauf der Lichtstrahlen und der magnetischen Strahlen (KL).

III. von der Eigenart des Solenoides selbst abhängt, nämlich bedingt ist durch

1. die Stromstärke  $i$  in den Solenoidwindungen, und
2. die Anzahl  $z$  der Solenoidwindungen, welche auf 1 cm Länge der geometrischen Achse des Solenoides, oder auf 1 cm „Kraftlinien-Weg“ kommen. (Ist  $Z$  die Windungszahl des ganzen Solenoides von der Länge  $l$  cm, so ist  $z = Z/l$ .)

Letzteres darf man sagen, weil die Kraftlinien mit der Solenoidachse gleichlaufend sind. Auch braucht nicht eine besondere Stelle im Inneren des Solenoides genannt zu werden, weil von dem einen Ende des Solenoides bis zum anderen dieselbe Anzahl von gleichlaufenden magnetischen Kraftlinien vorhanden ist. Die Wirkung des Solenoides ist deshalb nicht durch  $i$  oder  $z$  allein, sondern, wie wir bereits oben durch das Biot-Savartsche Gesetz feststellten, durch das Produkt:

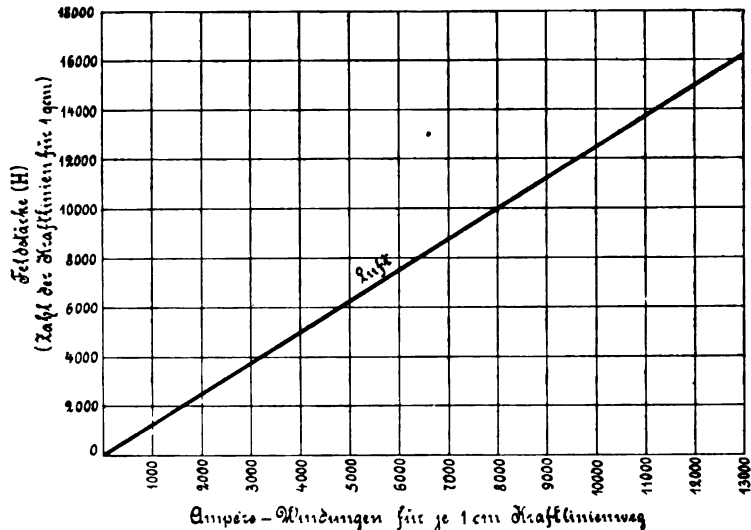
$z \cdot i$  „Ampère-Windungen“ (AW) auf je 1 cm Kraftlinien-Weg bedingt. Wäre z. B. vorhanden:

der Reihe nach  $i = 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad \dots$  Ampère,  
 und entsprechend  $z = 30 \quad 20 \quad 15 \quad 12 \quad \dots$  Windungen auf 1 cm,  
 so wäre in allen Fällen das Ergebnis  $z \cdot i = 60$  AW.

### Magnetisierungskurven für Luft, Dynamo-Stahl, Schmiedeeisen, Gußeisen. „Sättigung“. Permeabilitäts-Koeffizient.

Durch die magnetische Kraft oder Feldstärke, also durch die Zahl der magnetischen Kraftlinien auf 1 qcm Querschnittsfläche des magnetischen Feldes wird die elektromotorische Kraft, bezw. der Strom in den Stromleitern erzeugt, wenn letztere so bewegt werden, daß sie diese Kraftlinien schneiden. Es sind deshalb

Fig. 48.



für alle Dynamomaschinen und Vorrichtungen, bei denen vom Strome durchflossene Spulen eine Rolle spielen, folgende Sätze wichtig.

1. Die Zahl der Kraftlinien in der Luft oder die „Feldstärke“ ist proportional der Ampère-Windungszahl (für 1 cm Kraftlinien-Weg) und daraus bestimmbar.

Die bildliche Darstellung der Fig. 48 veranschaulicht diesen Zusammenhang.

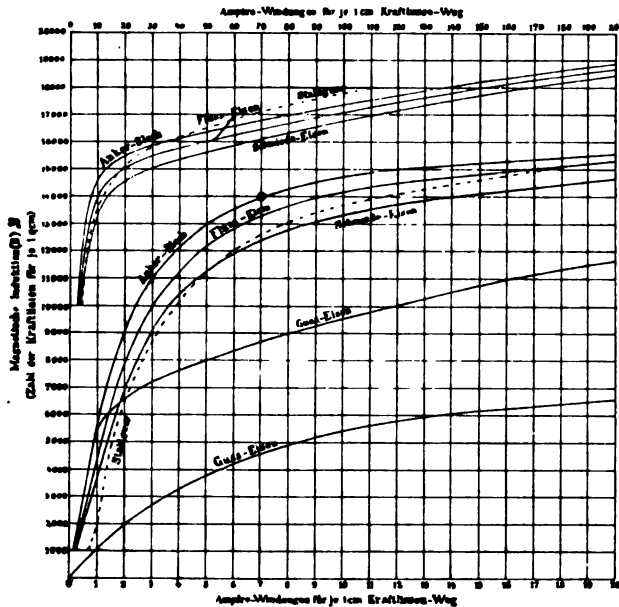
Die Ampère-Windungen sind auf der wagerechten, die dazu gehörigen Kraftlinien in vertikaler Richtung aufgetragen. Der Zusammenhang wird durch die schräglaufende Gerade charakterisiert.

Nach dieser Schaulinie ergibt sich, daß im Mittel die „Zahl der Kraftlinien“ in der eisenleeren (bezw. mit Luft angefüllten) Spule (Solenoid), also die „magnetomotorische Kraft“ (Feldstärke)

$\oint (H) = \frac{5}{4} \cdot z \cdot i$  ist, also 1 AW nur  $1\frac{1}{4}$  Kraftlinien in der Luft hervorruft. Z. B. werden nach der Figur durch 8000 AW 10 000 KL erzeugt.

2. Wesentlich größer ist die durch die AW im Eisen induzierte Zahl der Kraftlinien. Hierüber geben die Schaulinien der Fig. 49 Auskunft. Danach werden schon durch 7 AW 14000 KL im Ankerblech induziert, wie der durch einen kleinen Kreis gekennzeichnete Punkt auf der Ankerblech-Kurve angibt.

Fig. 49.



In den Schaulinien, die der 4. Auflage des Werkes von Kapp über Dynamomaschinen 1904 S. 204 entnommen sind, wurden für jede Eisensorte, (Gußeisen, Schmiedeeisen, Flußeisen, Ankerblech) zwei Kurven gezeichnet. Für die untere Kurven-Reihe gilt die untere Zahlenreihe, die nur bis 20 AW reicht; für die darüber gezeichneten Kurven dagegen die obere Zahlenreihe, die bis 200 AW Auskunft gibt.

3. Bei derselben AW-Zahl (z. B. 7) wird im Ankerblech die größte Zahl von Kraftlinien (d. i. Induktion  $\oint (B)$  14000), in Gußeisen die kleinste Zahl, etwa nur 4600 erzeugt.

\*) Um die magnetomotorische Kraft in absoluten CGS-Einheiten umzuwandeln, sind die Ampère-Windungen zu vervielfältigen durch  $4\pi \cdot 10^{-1} = 1,257$ , oder abgerundet  $\frac{5}{4}$  wie oben; also  $EMK = 1,257 \cdot z \cdot i$  wie oben.

Feldstärke bezw. Induktion bezeichnen mit H bezw. B: Gisbert Kapp, Arnold, Kittler, v. Waltenhofen; dagegen ,  $\oint$  ,  $\oint$ : F. Kohlrausch, Silv. P. Thompson.

Das Flußeisen (Dynamostahl) übertrifft noch das Schmiedeeisen in der Induktion.

Fig. 50.

Magnetisierungskurven für  
Dynamostahl, Schmiede-Eisen, Sufa-Eisen.

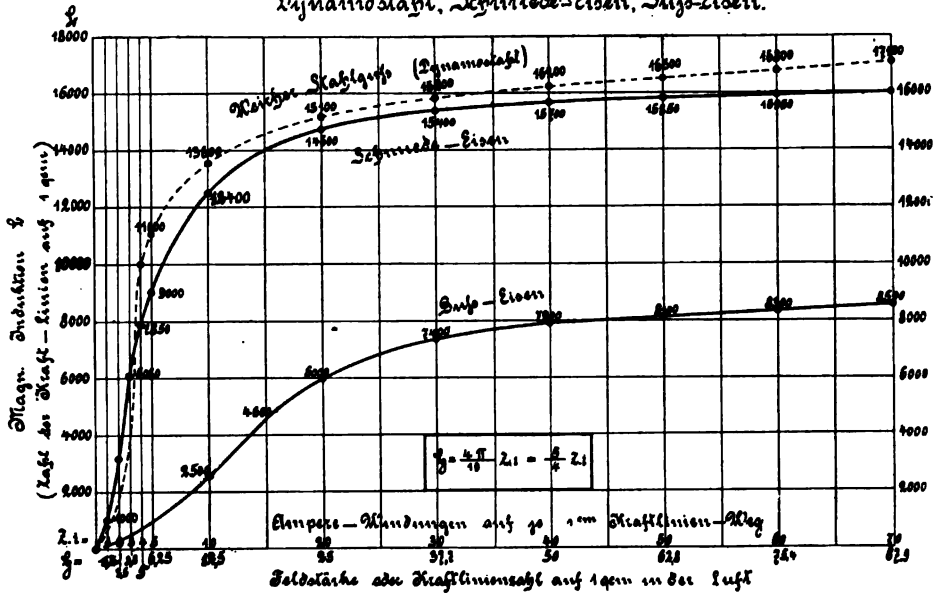
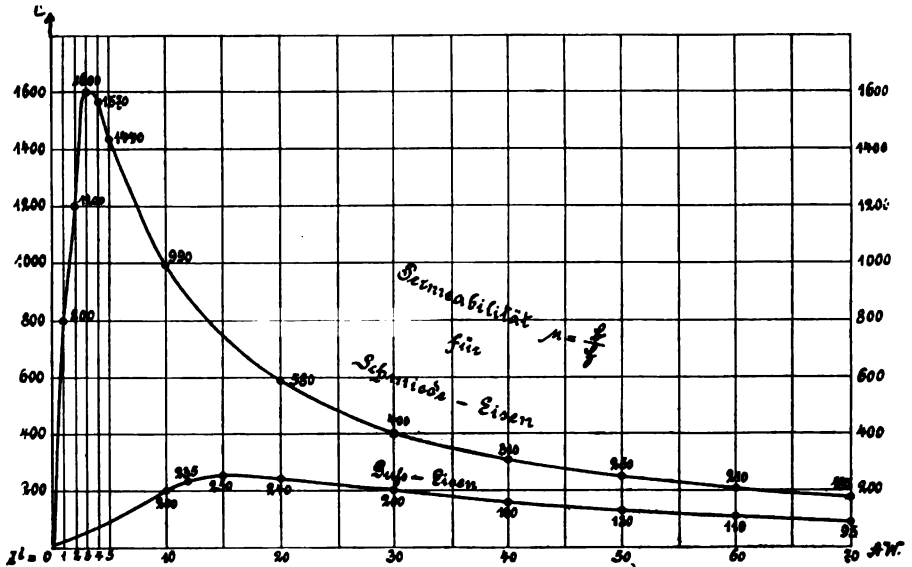


Fig. 51.



Das Anker-Eisen und das Flußeisen (Dynamostahl) sind dem Elektrotechniker deshalb in dieser Beziehung besonders wertvoll.



4. Die „Zahl der Kraftlinien“ im Eisen, die „magnetische Induktion“ oder Sättigung  $\mathfrak{B}$  (B) ist nicht proportional den Ampère-Windungen für je 1 cm Kraftlinien Weg. Die Schaulinien der verschiedenen Eisensorten sind deshalb gekrümmt. Anfangs sind die Kurven steil, weil einer geringen Vergrößerung der AW bzw.  $\mathfrak{H}$  (H) eine beschleunigte Zunahme der induzierten KL entspricht; dann verflachen sie sich. Das letztere würde in Worten heißen: Je mehr die Eisensorte mit Kraftlinien bereits durchsetzt ist, oder je mehr das Eisen mit Kraftlinien „gesättigt“ ist, desto weniger ist es geeignet, noch mehr Kraftlinien in sich aufzunehmen trotz erheblicher Steigerung der AW-Zahl. Auch bei uns vermindert sich mit dem Grade der Sättigung das Aufnahme-Bedürfnis.

Permeabilitäts-Koeffizient  $\mu = B/H$  oder  $= \mathfrak{B}/\mathfrak{H}$ , veranschaulicht durch den Verlauf einer Kurve\*).

Die Figur 50 kann als eine Ergänzung der Figur 49 angesehen werden und eignet sich besonders zur Ermittlung derjenigen Werte, welche bei der Berechnung der Dynamomaschinen wichtig sind, wie wir später erfahren werden.

Es sind auf der Wagerechten die AW (z. i) und die entsprechenden „KL-Zahlen in der Luft“ ( $\mathfrak{H}$ ) übersichtlich nebeneinandergestellt. In den Vertikalen Ordinaten finden wir an den betreffenden Kurven für Gußeisen, Schmiedeeisen, Dynamostahl die dazugehörigen KL-Zahlen ( $\mathfrak{B}$ ) z. B. bei  $\mathfrak{H} = 50$  ist für Schmiedeeisen  $\mathfrak{B} = 15700$ ; daraus ergibt sich als Permeabilitäts-Koeffizient für diese Dynamostahl-Sorte

$$\mu = \frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{H}} = \frac{15700}{50} = 314.$$

Diese Zahl, auf 310 abgerundet, finden wir in der darunter stehenden  $\mu$ -Kurve, Fig. 51; ebenso den Höchstwert\*\*):

$$\mu = \frac{6080}{3,8} = 1600.$$

In derselben Weise sind die übrigen Zahlen der  $\mu$ -Kurven gewonnen. Dieselbe zeigt deutlich die Veränderlichkeit der Permeabilität für dasselbe Material bei den verschiedenen Werten der AW bzw. KL-Zahlen, worauf oben unter 4 bereits hingewiesen wurde.

Unsere Kurve für Schmiedeeisen führt auf folgende Zahlenreihen:

zi =	1	2	3	4	5	10	20	30	40	50	60	70	80	AW-Zahl
$\mathfrak{B} =$	1000	3000	6060	7850	9000	12406	14600	15400	15700	15850	15950	16000	17000	KL in Schmiedeeisen
$\mathfrak{H} =$	1,3	2,5	3,8	5	6,25	12,5	25	37,7	50	62,8	75,4	87,9	100	KL in Luft
$\mu = \frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{H}} =$	800	1200	1600	1570	1440	990	580	400	310	250	210	180	173	Permeabilitäts-Koeffizient

Der Gebrauch dieser Kurvenwerte geht aus einem späteren Beispiele zur Berechnung einer Dynamomaschine hervor.

\*) Mathematisch ausgedrückt ist angenähert die Permeabilität:  $\mu = a + b\mathfrak{B} + c\mathfrak{B}^2 + d\mathfrak{B}^3$ , wenn a, b, c, d Konstante bedeuten. In der Lehre von der ungleichförmigen Bewegung wird der Weg s in der Zeit t ausgedrückt durch die allgemeine Formel:

$$s = a + bt + ct^2 \pm \dots$$

So sehen wir offenbar wieder die Verwandtschaft der Lehren der Mechanik und Elektromaschinentechnik.

\*\*) Der Maximalwert ergibt sich nach den Lehren der Mechanik für die steilste Stelle der Kurve, d. i. für diejenige Stelle, an welcher der konvexe Teil der Kurve in den konkaven übergeht.

Im folgenden sollen im Zusammenhange mit dem Voranstehenden noch weitere für den Bau der Dynamomaschinen wichtige Eigenschaften des Eisens besprochen werden.

## Die magnetischen Eigenschaften des Eisens.

### Permeabilitätskurve. Jungfrüliche Induktionskurve. Remanenz. Koerzitivkraft. Hysteresis-Arbeit.

Einleitende Bemerkungen. Wie überhaupt in der Technik so auch in der Elektro-Maschinentechnik gehört das Eisen vielfachen hervorragenden Eigenschaften wegen zu den nützlichsten aller Stoffe. In der Bautechnik werden besonders geschätzt seine „Festigkeit und Elastizität“, Zähigkeit und Dehnbarkeit, sowie Härte, in der Elektro-Maschinentechnik, seine magnetischen Eigenschaften, seine Leitfähigkeit für den elektrischen und magnetischen Strom, auch seine Koerzitivkraft, mit welcher zusammenhängen die Remanenz (remanere zurückbleiben) und als nicht angenehme Zugabe, die Hysteresis (*ὑστερεω*, hystereo ich komme zu spät, hinke nach).

Der heutige Eisenhüttenmann muß besonders darauf bedacht sein, alle diese Eigenschaften zu studieren, bei der Eisengewinnung zu erzeugen und zu regeln und schließlich auch im fertigen Eisen nachzuweisen und genau zu messen.

Jeder von außen mechanisch beeinflusste (gezogene, gedrückte, gebogene, gedrehte) Körper erfährt in seinem Innern gewisse Veränderungen der Gefüge- und Kraftlinien-Richtungen, von denen uns hier am meisten die gegenseitigen mit Reibung und Erwärmung verbundenen Verschiebungen und Drehungen der kleinsten Teilchen interessieren.

Wir wollen uns derartige auch bei der Magnetisierung eines Eisenstabes gedachte unsichtbare Vorgänge an einem dicken Hanfseile klar zu machen versuchen, aber nicht vergessen, daß jeder Vergleich „hinkt“. Ein noch nie gebogenes Stück eines dicken dichtgechlagenen Hanfseiles (wir nennen es ein jungfräuliches), sei an dem einen Ende fest eingeklemmt. An dem anderen freien Ende fassen wir es und biegen es durch eine veränderliche Kraft  $P$ , welche senkrecht zu seiner vertikal gedachten Lage gerichtet ist. So heißt das zunächst nichts anderes als, wir zwingen durch Aufwand einer mechanischen Arbeit, die einzelnen Hanffasern, gegeneinander reibend sich zu verschieben, bzw. die einzelnen Moleküle, eine gewisse Drehung auszuführen.

Zu Anfang ist in dem vollständig geraden Tause noch alles in Ruhe. Beim Beginn des Biegens müßten wir dann erst den Ruhezustand in einem Bewegungsvorgang versetzen und würden bei sehr verfeinertem Kraftgefühl wahrnehmen, daß die im ersten Augenblicke erzielte Biegung aus der Ruhe heraus etwas mehr Kraftanstrengung erfordert als die nun folgende, die bis zu einer gewissen Grenze nahezu im Verhältnis zur biegenden Kraft stehen wird. Erst wenn das Tau eine gewisse Biegung erlitten hat, zeigt es sich weniger nachgiebig, man möchte sagen, „es hat die Biegung satt“\*), es ist „gesättigt“ mit Biegung.

Wenn wir nun das Tau wieder zurückbiegen (entbiegen)\*), so würden wir bei genauer Schätzung unserer Kraftäußerung die Erfahrung machen, daß es bei demselben rückwärts gerichteten Kraftaufwande nicht dieselbe Entbiegung zeigt\*), „die Biegung bleibt zurück“.

Diese Erscheinung wird deutlich sichtbar, wenn wir das Tau wieder genau in die ursprüngliche gerade Richtung zurückbiegen und dann loslassen. Es wird sich von selbst wieder nach derjenigen Seite hin, nach der wir es zuerst gebogen

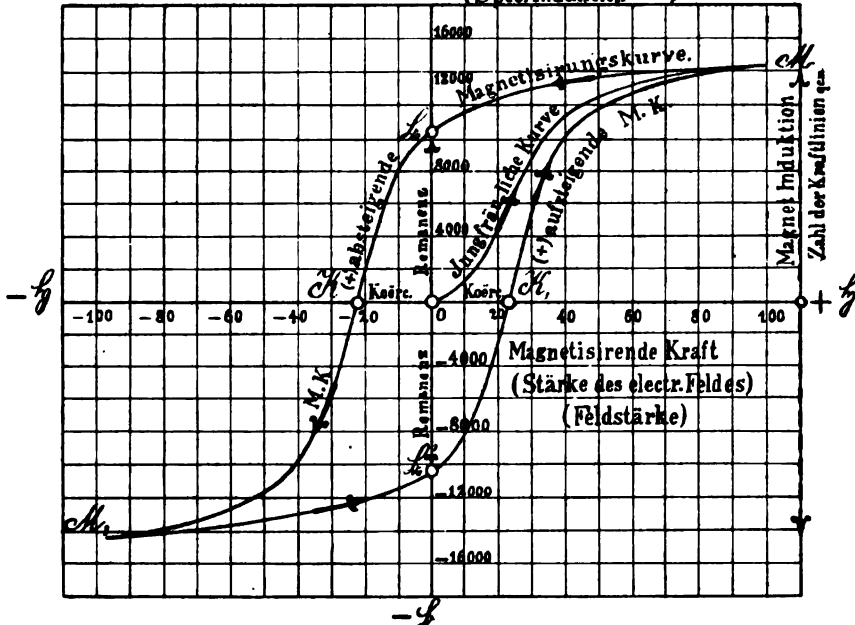
\*) Ich wählte hier die unschönen Worte nur, weil sie uns an ähnliche Worte in der Lehre vom Magnetismus hinüberleiten sollten.

hatten, zurückbiegen. Diese zurückgebliebene Biegung könnte man „Remanenz“ nennen. Die Erscheinung ist hier unschwer durch den Reibungswiderstand zu erklären, den die bei der Biegung gegeneinander verschobenen Fasern der Zurückbiegung in die ursprüngliche gegenseitige Lagerung entgegenstellen. Der Reibungswiderstand hier, den wir im gewöhnlichen Leben mit „Steifigkeit“ des Seiles bezeichnen, kann als eine innere Kraft aufgefaßt werden, welche die Biegung festzuhalten (anderenfalls aber auch zu verhindern) sucht. Um das Taustück wieder genau gerade zu bekommen, wie es anfangs war, müßten wir es durch eine bestimmte Kraft in entgegengesetzter Richtung biegen, um das durch die Reibung veranlaßte Nachhinken (Hysteresis) zu beseitigen bezw. zu überwinden. Der Reibungswiderstand (Steifigkeit) gegen Biegen und Geradestrecken entspricht (figürlich) etwa dem, was man, wie wir gleich sehen werden beim Magneten „Koerzitivkraft“ (con. zusammen, arceo, ich halte in Schranken) nennt. Solches der Hysteresis wegen erforderliche Biegen und wieder Geradestrecken bei einem in technischen

Fig. 52.

Kurve der magnetischen Eigenschaften des Eisens

$$+ \mathcal{H} = \left\{ \begin{array}{l} \text{K.L. Dichte} \cdot \text{Zahl} / \text{qcm} \\ \text{Spec. Induktion} \end{array} \right\} = \text{Induktion}$$



Seil-Betrieben verwendeten Seile erfordert eine (durch eine Fläche darstellbare) Arbeit, die unter Umständen sich durch sehr auffallende Erwärmung des Seiles äußert, jedenfalls als Verlustarbeit und oft unangenehme Beigabe anzusehen und tunlichst zu verhüten ist. Meine Darstellung verfolgte noch den Zweck, hervorzuheben, daß diese „Hysteresis-Arbeit“ wohl nur auf Reibung zwischen den einzelnen Teilchen, nicht aber nur auf „Trägheit“ zurückzuführen ist, was manche Lehrbücher behaupten.

Wir denken uns jetzt ein Solenoid, dessen von der AW-Zahl abhängige Feldstärke  $\mathcal{H}$  (H) wir allmählich durch fortgesetzte Steigerung des entweder nach der einen oder nach der entgegengesetzten Richtung durchgesandten Stromes  $i$  vergrößern können und auf einer wagerechten Linie (Abszisse) vom Anfangspunkte 0 nach rechts und links auftragen wollen. (Fig. 52.)

In das Solenoid schieben wir nun einen Kern von weichem Eisen, welches noch nie magnetisiert war oder durch vorheriges Ausglühen vollständig unmagnetisch gemacht ist. Wir wissen nun aus früheren Betrachtungen, daß durch  $\mathfrak{H}$ , die magnetomotorische Kraft des Solenoides, eine magnetische Kraft  $\mathfrak{B}$  ( $B$ ) in den Eisenstab induziert (hineingeführt) wird. Der Stab wird dadurch zu einem „Elektromagneten“.

Diese nun ebenfalls allmählich anwachsende Induktion wollen wir den jeweiligen Werten von  $\mathfrak{H}$  entsprechend in vertikaler Richtung als Linien (Ordinaten) auftragen und dann die Endpunkte dieser „Ordinaten“ durch eine Linie verbinden, dann erhalten wir die „jungfräuliche Induktionskurve (oder Permeabilitätskurve)  $OM$ , welche durch ihre Krümmung das Gesetz der Magnetisierung unseres Eisenstabes angibt. Damit hätten wir zunächst nur eine Kurve erhalten, wie sie uns schon aus der vorigen Figur bekannt geworden ist.

Die zuerst steile Kurve wird immer flacher und verläuft zuletzt fast waagrecht, d. h. der Magnetstab nimmt trotz Verstärkung des „Feldes“ nur noch wenig Magnetismus auf, zeigt nur noch geringe Durchlässigkeit (Permeabilität), er ist „gesättigt“.

Aber die besonders wichtigen Erscheinungen sind folgende: Wird die Stromstärke  $i$  im Solenoid, also die Feldstärke  $\mathfrak{H}$  in genau demselben Maße allmählich wieder vermindert, wie sie vorhin gesteigert wurde, so wäre zu erwarten, daß die dieser „Entmagnetisierung“ entsprechende Induktionskurve auch genau wieder mit der „jungfräulichen“ Kurve sich deckte. Das ist aber nicht der Fall. Werden die jetzt der Feldstärke  $\mathfrak{H}$  entsprechenden Werte  $\mathfrak{B}$  als Ordinaten aufgetragen, so ergibt sich die Kurve  $M\mathfrak{B}_0$ .

Für  $\mathfrak{H} = 0$ , also obgleich keine magnetisierende Feldstärke wirkt, ist  $B = O B_0$ . Man nennt diesen zurückgebliebenen Magnetismus „Remanenz“.

Um diese Remanenz gleichsam aus dem Magnetstabe gewaltsam hinauszutreiben, muß man die magnetisierende Kraft des Solenoides umkehren, also einen entgegengesetzten Strom  $i$  durch die Solenoidwindungen senden. Dann verschwindet die „Remanenz“ erst für  $(-)\mathfrak{H} = OK$ . Die Kraft, welche den Widerstand gegen Entmagnetisieren überwindet, heißt „Koerzitiv-Kraft“ des Eisens. Sie erweist sich am kleinsten bei dem weichsten schwedischen Holzkohlen-Eisen, und ist am größten bei dem härtesten Wolframstahl.

Steigert man die Stärke des umgekehrten Solenoidstromes, so erscheint die nach unten gekehrte Kurve  $KM_1$ . Wird der noch immer umgekehrte Solenoidstrom nun wieder bis Null abgeschwächt, so entsteht die Kurve  $M_1\mathfrak{B}'_0$  mit der Remanenz  $O\mathfrak{B}'_0$ . Nun wird wieder der Strom in der ursprünglichen Richtung und genau in der ursprünglichen Größe bei Beginn unseres Versuches durch die Solenoidwindungen gesandt und die Kurve  $K_1M$  veranlaßt, wiewohl wir beim ersten Male auf die jungfräuliche Kurve geführt wurden.

Die durch die vier Kurven eingeschlossene Schleifenfläche  $M\mathfrak{B}_0M_1\mathfrak{B}'_0M$  ist die bildliche Darstellung der Arbeitsvergeudung durch Reibung der Moleküle beim jedesmaligen Magnetisieren und Entmagnetisieren. Sie stellt die „Hysteresis-Arbeit“ als Arbeitsverlust dar bei jedem der nach Tausenden zählenden Wechsel der Wechselstrommaschinen und Transformatoren. Das Dichten und Trachten der Hüttenleute und Elektro-Maschinentechniker muß deshalb darauf gerichtet sein, diese Fläche innerhalb zulässiger Grenzen, womöglich recht schmal, d. h. die Koerzitivkraft tunlichst niedrig zu halten. Eine geringe magnetische Remanenz ist bei allen Dynamomaschinen erforderlich. Sie ist gleichsam das Fünkchen, welches beim Ingangsetzen der Dynamomaschine den elektrischen Strom anfacht, der dann mit der regelrechten Umdrehungszahl der Ankerwelle seine regelrechte Stärke erreicht. Eine Dynamomaschine ohne remanenten Magnetismus in den Polkernen wäre unpraktisch.

**Tabellarische Zusammenstellung einiger für die Elektro-Maschinentechnik wichtiger Eisensorten.**

Eisensorte	Arbeitsverlust durch Hystereseis auf 1 ccm	Koerzitiv-Kraft	Magnetische Induktion $\mathfrak{B}$ bei einer Feldstärke $\mathfrak{H} = 25^*$
Gewöhnliches Schmiedeeisen . . .	20 700 Ergs	2,9	14 200 *)
„ Flußeisen . . . . .	14 700 „	2,3	15 400
Kruppscher Dynamo-Stahlguß . .	11 100 „	1,5	15 100
Schwedisches Eisen . . . . .	8 400 „	1,2	14 900

Im Jahre 1889 führte Krupp seinen Dynamo-Stahlguß für Dynamomaschinen-Elektromagnete ein, der nach den Untersuchungen der technischen Reichsanstalt vom 2. Juli 1894 und nach späteren Untersuchungen von Prof. J. A. Ewing in Cambridge vom 7. Februar 1896 eine dem schwedischen Holzkohlen-Eisen ähnliche Güte besitzt, wie vorstehende Zusammenstellung dartut. Nach Ewing ist seine Permeabilität bei niedriger Magnetisierung bemerkenswert hoch, seine Koerzitivkraft ebenfalls besonders niedrig, so daß er eine außerordentlich kleine Hystereseis aufweist.

Die Hystereseis-Fläche, also -Arbeit, kann auf verschiedene Weise bestimmt werden:

1. durch Berechnung nach den mathematischen Regeln derjenigen Flächenbestimmungen, die in das Gebiet der Mechanik fallen;
2. durch Zählen der kleinen Quadrate, welche innerhalb der Fläche liegen, die man auf quadriertem käuflichem Papier aufgezeichnet hat;
3. durch Wägung der ausgeschnittenen Fläche und Vergleichung mit dem Gewichte einer aus demselben Papier ausgeschnittenen bekannten Fläche. Die Flächen verhalten sich dann wie diese ermittelten Gewichte. Diese Annäherungsmethode ist in vielen Fällen empfehlenswert.

Angenähert ist nach Ch. P. Steinmetz A die Arbeitsvergeudung durch Hystereseis für 1 ccm Eisen und einen durch Magnetisierung und Entmagnetisierung bestimmten Zyklus, ausgedrückt durch den Höchstwert der Induktion  $\mathfrak{B}_{\max}$

$$A = \eta \cdot \mathfrak{B}_{\max}^{1,6} \text{ Erg für den Mittelwert } \eta = 0,001 \cdot 5 \text{ bei Dynamo-Blech}$$

$$\text{oder } A = \eta \cdot \mathfrak{B}_{\max}^{1,6} \cdot 10^{-7} \text{ Watt.}$$

Mit dem „Altern“ wächst  $\eta$  infolge Erwärmung. (Genauere Angaben: Kapp, Dynamomasch. 1904 S. 105.)

**Vergleich zwischen der molekularen und magnetischen Tragkraft P eines Eisenstabes.**

Ein in lotrechter Richtung an dem oberen Ende befestigter, am unteren Ende belasteter prismatischer Eisenstab von der Querschnitt-Fläche  $F$  qcm trägt

$$P = BF \text{ Kilogramme,}$$

wenn mit  $B_{kg}$  die Belastung auf einen qcm an der Festigkeitsgrenze bezeichnet wird.

Denken wir uns jetzt den querdurchschnittenen Stab im Innern eines vom elektrischen Strome durchflossenen Solenoides, also zum Elektromagneten gemacht, (Fig. 42), so trägt er an der Schnittstelle die Belastung:

$$P = \frac{\mathfrak{B}^2}{8 \cdot \pi} F \text{ Dynen} = \frac{\mathfrak{B}^2}{8 \pi \cdot 9,81 \cdot 1000} F = \frac{\mathfrak{B}^2}{24 692 720} F = \left( \frac{\mathfrak{B}}{5000} \right)^2 F \text{ Kilogr.}$$

\*) Hiermit zu vergleichen die betreffenden Werte der vorhergehenden Tabelle.

Bildet der Eisenstab einen Hufeisenmagneten mit den Solenoidwickelungen über den beiden Schenkeln (deren beide nach unten gekehrten Endflächen den Schnittflächen unseres ursprünglichen Stabmagneten entsprechen), so würde ein unter die beiden Magnetpolflächen gelegter Anker von weichem Eisen tragen:

$$P = 2 \left( \frac{B}{5000} \right)^2 F.$$

Für  $B = 16\,000$  und  $F = 10$  qcm würde die Tragfähigkeit sein:

$$P = 2 \left( \frac{16\,000}{5000} \right)^2 \cdot 10 = 2 \cdot 10,24 \cdot 10 = 204,8 \text{ kg.}$$

Während dort die Zusammenhangskraft der Eisen-Moleküle den Zusammenhang gewährleistet, sind es beim Elektromagneten die Kraftlinien, welche das Eisen an der „Stoßstelle“ zusammenhalten und sofort mit dem Unterbrechen des Stromes verschwinden. Hierauf beruhen die Lasthebevorrichtungen mit Hilfe der magnetischen Kräfte und das leichte An- und Abhängen der Last.

Ich glaubte aus einem doppelten Grunde dieses lehrreiche Beispiel hierher setzen zu sollen. Er sucht einen wichtigen Vorgang der Elektrotechnik in einem gewissen Zusammenhang mit längst bekannten Dingen der Festigkeitslehre zu bringen und gibt die Grundlage für die Wechselwirkung zwischen Solenoidströmen und den durch sie erzeugten Elektromagneten, welche bei den Dynamomaschinen, der magnetischen Hebevorrichtung, der später behandelten „magnetischen Aufbereitung“ und vielen anderen elektrotechnischen Einrichtungen von der größten Bedeutung sind.

Wie wir hier die einzelnen Kraftlinien eines homogenen Feldes als parallele Kräfte durch eine einzige resultierende  $P$  ersetzen, so können wir naturgemäß auch beliebig viele solcher Kraftfelder ( $P_1 P_2 \dots$ ) von beliebigen Richtungen und Angriffspunkten mittelst des Parallelogramm- oder Polygonsatzes zu einem einzigen Kraftfelde zusammensetzen. (Meinen gegenwärtigen und früheren Hörern möchte hier der Hinweis auf die „Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte“ S. 76 meiner Mechanik willkommen sein. Alles, was dort gesagt ist, gilt auch hier Wort für Wort).

## IV. Die Elektro-Maschinentchnik.

---

Alle Vorkehrungen, welche den für technische Zwecke geeigneten elektrischen Strom liefern, umwandeln, übertragen und verteilen, haben im ersten Übersichtsplane am Anfange unseres Leitfadens ihren Platz zwischen Kraft- und Arbeitsmaschine und können getrennt werden in:

- A. die Dynamomaschinen (Generatoren) und Elektromotoren,
- B. die Transformatoren,
- C. die Akkumulatoren und Pufferbatterien,
- D. die elektrischen Leitungen,
- E. die elektrische Kraftübertragung und Verteilung.

### A.

Die Dynamomaschinen (DM) bzw Elektromotoren (EM) umfassen zwei große Hauptgattungen:

1. Die Wechselstrom-DM\*) (Alternator) mit den beiden Unterabteilungen:
  - a) Einphasenstrom-Maschine,
  - b) Mehrphasenstrom-Maschine\*\*);
2. die Gleichstrom-DM\*\*\*), die als Wechselstrom-DM mit Kommutator, also als eine besondere Art der Wechselstrom-Maschine anzusehen ist.

---

\*) Die Wechselstrom-Maschine ist offenbar einfacher und billiger, und z. B. in Schlagwettergruben und an anderen gefährlichen Örtlichkeiten, auch sicherer als die Gleichstrom-M. Daher das Streben bis auf den heutigen Tag, dieselbe tunlichst einzuführen und dem jeweiligen Zwecke anzupassen, aber auch deren anhaftende Mängel zu beseitigen. Ihre Parallel-Schaltung ist nicht so einfach wie bei den Gleichstrom-M., weil offenbar bei zwei nebeneinandergespannten Maschinen Phasengleichheit vorhanden sein muß, wenn ihr Arbeitserfolg nicht der sein soll, wie bei zwei angespannten Pferden, von denen immer das eine in demselben Augenblicke zurückhakt, wenn das andere anzieht. Auch lassen sich die im elektrischen Großbetriebe unentbehrlichen Akkumulatoren nicht unmittelbar durch sie laden. Andererseits aber läßt sich der Wechselstrom in jeder gewünschten Weise „transformieren“, d. h. auf höhere oder niedrigere Spannung bringen, was von den Gleichstrom-M. nicht gilt.

\*\*) Zu diesen sind auch zu zählen: die Dreiphasenstrom- oder Drehstrom- (Drilling-) Maschine sowie auch der später besprochene Induktions- oder Asynchron-Elektromotor, dessen rotierender Teil (Anker) nicht durch einen in ihn eingeführten Strom, sondern durch Induktion angetrieben wird, also gleichsam als Funkeninduktor mit rotierender Sekundär-Spule aufgefaßt werden könnte, deshalb auch keine Schleifringe nötig hat.

\*\*\*) Als Kombination von 1 und 2 könnten die gegenwärtig öfters genannten „Kollektor-EM“ oder Kommutator-EM (Kapp, Dynam. 1904 S. 556 u. ff.) für einphasigen Wechselstrom (Elihu

**Bestandteile.** Normale Dynamomaschinen (auch Elektromotoren) haben als wesentlichste Bestandteile:

1. die Magnetschenkel oder „Feldmagnete“ (im besonderen Falle auch Schenkelkreuz oder Magnetrad genannt) zur Erzeugung des „magnetischen Feldes“ mit den darin angenommenen, außerhalb der Schenkel von den Nordpolen zu den Südpolen verlaufenden Kraftlinien,
2. den Anker oder Induktor (einen aus geschichteten, voneinander durch Papier oder Wasserglas isolierten, weichen, dünnen Eisenblechen aufgebauten Ring von Pacinotti-Gramme oder Zylinder von Hefner v. Alteneck), mit den Wickelungen, in welchen (wie bald näher angegeben wird) die „elektromotorische Kraft“ und durch diese der Induktions-Strom beim „Schneiden“ der Kraftlinien erzeugt wird,
3. die Bürsten mit
  - a) den Schleifringen beim Wechselstrom,
  - b) dem Kommutator (Stromwender) oder Kollektor (Stromsammler) beim Gleichstrom, der den im Innern des Maschinen-Ankers erzeugten Wechselstrom in Gleichstrom für das äußere Leitungs-Netz umwandelt und sammelt. Als wesentlicher Bestandteil ist ferner anzusehen:
4. die Schalttafel\*), an der alle Meß- und Regulier-Vorrichtungen angebracht sind, durch welche der von der Maschine kommende Strom hindurchgeht, ehe er in die Sammelschienen und von da ins Netz gelangt und mittelst derer der Gang der Maschine beobachtet und geregelt wird. Diese Schalttafel bildet auf diese Weise eine Art Durchgangs-Station (Zentralbureau), von wo aus der ganze elektrische Betrieb geleitet wird.

Thomson 1890) angesehen werden. Auch der „Repulsions-EM“ und mehrere andere sind derartige Kombinationen (Z. d. V. deutsch. Ing. 1904 S. 1385, EM von Winter Eichberg).

Die einfachste und sicherste aller genannten Maschinen möchte wohl der als „Induktions-EM“ bekannte Wechselstrom EM sein, der außer dem rotierenden Anker keine beweglichen Teile auch keine Stellen hat, an welchen „Unterbrechungsfunken“ zu befürchten sind. Derselbe ist u. a. angewandt bei der großen Fördermaschine auf Schacht I Zeche Preußen II der Harpener Bergbau-Aktien-Gesellschaft Dortmund und ist unter den elektrischen Fördermaschinen zu finden (Fig. 79).

\*) Auf der Schalttafel sitzen die ein- und zweipoligen Ausschalthebel zum Ein- und Ausschalten der Maschine und auch des Netzes, vergleichbar den Abperr-Ventilen der Dampfmaschinen; erforderlichenfalls auch die Abschmelzsicherungen zum Schutz gegen zu starke Ströme, vergleichbar den Sicherheitsventilen der Dampfkessel; die aperiodischen Volt- und Ampère-Meter zur Überwachung der Spannung und Stärke des Stromes; ferner, wo es nötig ist, wie z. B. bei Anwendung der Akkumulatoren, die Stromrichtungs-Zeiger, die Hebel zum Umschalten der Stromrichtung, die Minimal-Ausschalter, welche selbsttätig auslösen, wenn die Spannung der Maschine unter die des Akkumulators heruntersinkt. Bei Anwendung der Nebenschluß-Maschinen sind auch die sog. Regulier-Widerstände zum Regeln des Stromes der Magnetschenkel am Schaltbrett angebracht; bei dieser verbreitetsten Maschinengattung führen die an den Bürsten vom Hauptstrome abzweigenden beiden dünnen Leitungsdrähte den Nebenstrom nicht unmittelbar an der Maschine zu den Magnetschenkeln, sondern zunächst zu den Sammelschienen, bezw. jenen Regulierwiderständen, durch letztere wird die Stärke des Nebenstromes, damit das magnetische Feld der Maschine reguliert und hierdurch der Hauptstrom derselben beeinflusst; die beiden dicken Drähte führen den Hauptstrom über die durch Hebeldruck geschlossene Schaltvorrichtung ebenfalls zu den Sammelschienen. So sendet der auf der Kommandobrücke vor der Schalttafel stehende Maschinenführer fast geräuschlos seine Befehle an die Maschine. Bei neueren größeren Einrichtungen ist die Tafel wagerecht angebracht, so daß der Führer von seinem erhöhten Standpunkte aus über die Schalttafel hinweg ungehindert in den Maschinenraum hineinblicken und den Gang der Maschinen beobachten kann. Neuerdings haben die Siemens-Schuckert-Werke aus eisernen Rahmen zusammengesetzte „Normal-Schalttafeln“ eingeführt, die nach allen Richtungen unschwer vergrößert werden können, wenn im Laufe der Zeit der Betrieb sich vergrößert haben sollte. Die Füllungen in diesen Rahmen werden am besten aus Marmortafeln hergestellt, doch genügen bis 250 V Spannung auch die billigeren Schiefertafeln oder auch Eisenplatten.



Da \*) nach dem obigen jede Gleichstrom-Maschine ursprünglich eine Wechselstrom-Maschine ist, liegt es auf der Hand, daß man ihr außer Gleichstrom am Kollektor auch zugleich Wechselstrom irgendwelcher Art („Phasenstrom“), auch Dreiphasenstrom entnehmen kann. Man hätte nur außer dem Kollektor noch die erforderlichen Schleifringe anzuordnen und diese mit den betreffenden Ankerwickelungen in leitende Verbindung zu bringen und durch aufgelegte Bürsten den Strom abzunehmen.

Die Bürsten nebst Zubehör sind als ein notwendiges Übel anzusehen und ganz besonders vor Funkengeben zu bewahren, was besonders in Schlagwettergruben und an ähnlichen Orten zu beachten ist. Damit ein Schneiden der Kraftlinien zustande kommen kann, muß einer der Hauptbestandteile der Dynamomaschine, also entweder der Anker oder die Feldmagnete sich drehen. Der andere steht dann fest. Und gerade wegen dieser unbedingt erforderlichen gegenseitigen Bewegung ist die Bürsteneinrichtung nötig. Bei kleinen Maschinen ist meist der Anker drehbar; dagegen bei den größten Maschinen steht meistens der Anker fest und das „Schenkelkreuz“ ist drehbar (Fig. 60).

In den meisten Fällen kann derjenige Teil als Anker angesprochen werden, in welchem der Strom wechselt. Die Feldmagnete dagegen, auch die der Wechselstrom-Maschinen, müssen stets mit Gleichstrom gespeist werden. Man spricht dann in solchen Fällen, in welchen der Gleichstrom zur Erregung der Feldmagnete nicht aus der eigenen Maschine entnommen wird, von einer Fremderregung. Später unter Wechselstrommaschinen wird diese Angelegenheit ausführlicher behandelt.

Feststellung des Begriffes: „Dynamomaschine“. Jede Dynamomaschine beruht, wie wir wissen, im wesentlichen auf der von Faraday 1831 entdeckten Induktion, wonach elektrische Ströme in Leitern (Drähten) entstehen, welche die Kraftlinien eines magnetischen Feldes schneiden.

Kurze Übersicht über die Vorrichtungen an den Schalt-Tafeln verschiedener Gleichstrom-Dynamomaschinen (GDM) mit und ohne Anwendung von Akkumulatorenbatterien (B).

Apparate	Es erfordern an Apparaten:			
	Eine GDM	Eine GDM mit Batterie	Zwei GDM oder eine DM mit Zusatz DM und Batterie	Eine GDM, eine Zusatz-GDM u. B mit Einfach-Zellenschalter
1. Aperiodisches †) Meßinstrument Volt-Ampère-Messer	2 Stück	3 Stück	4 Stück	3 Stück
2. Einpolige Hebel-Ausschalter . . .	2 „	2 „	2 „	2 „
3. Zweipolige „ „ . . .	—	—	—	1 „
4. Strom-Richtungs-Zeiger . . .	—	1 „	1 „	1 „
5. Spannungs-Umschalter . . .	—	1 „	1 „	1 „
6. Einpoliger Hebel-Umschalter . . .	—	1 „	2 „	1 „
7. Selbsttätiger Minimum-Aussch. . .	—	1 „	2 „	1 „
8. Nebenschluß-Regulierwiderst. . .	—	—	2 „	3 „
a) Sicherungen . . . . .	—	—	6 „	8 „

†) a, nicht; Periode, Schwingung. Die Schwingungen werden auf verschiedene Weise durch „Dämpfung“ mittelst Flüssigkeiten oder Wirbelströme aufgehoben. In der Maschinentechnik haben Vorrichtungen mit Flüssigkeiten, bei denen ein Kolben bei seiner Bewegung durch die ihn umgebende Flüssigkeit, meist Öl oder Luft gehemmt wird, den nicht glücklich gewählten Namen „Katarakte“ (bei Steuerungen und Regulatoren).

Beim Ingangbringen einer elektrischen Zentrale ist im allgemeinen folgendes zu beachten: Nachdem die Antriebmaschine (Dampf-, Turbine, Gasmasch.) auf die normale Umdrehungszahl n gebracht ist, wird durch langsame Nebenschlußerregung die Maschine auf normale Spannung e gebracht. Zuletzt wird das Netz angeschlossen.

\*) Die schon hier vorgreifenden Bemerkungen wird der Anfänger erst später vollständig verstehen.

Bevor wir auf die Einteilung, die einzelnen Bestandteile und die Eigentümlichkeiten der Dynamomaschinen näher eingehen, soll zunächst wissenschaftlich festgestellt werden, was unter einer Dynamomaschine zu verstehen ist, damit Zweck und Wesen dieser wichtigen Maschinengattung uns deutlich vor Augen tritt.

Jede Maschine ohne Ausnahme bezweckt zwangsläufige Arbeitsleistung. Sie soll eine bestimmte Arbeit nicht nur in bestimmter Zeit, sondern auch auf gewünschten, bestimmt vorgeschriebenen Bahnen, ohne Willkür in den Bewegungen der einzelnen Teile, verrichten. Die einzelnen Maschinengattungen werden durch die Wirkungsweise der treibenden Kraft (Kraftmaschinen) oder des zu überwindenden Widerstandes (Arbeitsmaschinen), besonders aber durch die Bewegungsart der Maschinenteile charakterisiert.

Denn ebensowenig wie wir z. B. jede Vorrichtung, durch welche die Wirkungsfähigkeit (Energie) des gespannten Wasserdampfes in mechanische Arbeit umgesetzt wird, nach unseren heutigen Begriffen schon eine Dampfmaschine nennen dürfen, vielmehr zugleich ausdrücklich hervorheben müssen, daß die durch Dampfkraft bewirkte zwangsläufige Hin- und Herbewegung eines Kolbens in einem Zylinder das Merkmal ist, um die bekannte Dampf-, eigentlich Wind-Kugel (Aeolipila des Heron von Alexandrien 120 v. Christi Geb.), das Pulsometer und viele andere Vorrichtungen (auch die Dampfturbine) vom Begriff der Dampfmaschine auszuschließen; ebensowenig dürfen wir eine Dynamomaschine kurzweg schon eine Vorrichtung nennen, durch welche mechanische Arbeit in Elektrizität und umgekehrt umgewandelt wird.

Vielmehr muß eine Dynamomaschine als eine Vorrichtung erklärt werden, welche mechanische Arbeit mittelst zwangsläufiger Drehbewegung eines geeigneten Drehkörpers (Ankers) in einem magnetischen Felde durch elektromagnetische Induktion in Elektrizität verwandelt. Bei den als Elektromotoren bezeichneten Dynamomaschinen wird umgekehrt Elektrizität in die mechanische Drehung eines Ankers verwandelt. Ohne die im voranstehenden gegebene scharfe Begrenzung müßte man die Elektrisiermaschinen, die Telephone, Telegraphenapparate und unzählige andere elektrische Vorkehrungen, bei denen (mittelst oder ohne Rotation) Elektrizität durch mechanische Arbeit hervorgerufen wird und umgekehrt zu den Dynamomaschinen rechnen.

Überall in der Technik ist „Umkehrbarkeit“ Regel. Durch eine äußere Kraft angetrieben, wird das Zellenwasserrad zum Schöpfrade, das unterschlächtige Schaufelrad zum Wurftrade, die Spiral-Turbine zur Zentrifugalpumpe, die Wassersäulenmaschine zur Kolben-Pumpe.

Ebenso wird die Dynamomaschine zu einem sog. „Elektromotor“, wenn man ihr von außen elektrischen Strom aus irgendeiner Quelle (Dynamomaschine, Akkumulator, Leitungsnetz einer elektrischen Anlage) zuführt.

Beispiel. Tatsächlich hat Sulzer (Winterthur) die Zentrifugalpumpen\*), die bis dahin auf höchstens 50 m Höhe hoben, befähigt auf weit größere Höhe zu wältigen, nur dadurch, daß er sie zu einer vervollkommenen Umkehrung der Spiral-Turbine umgestaltete, indem er ihnen am äußeren Umfange den spiralförmigen Leitkurven-Apparat verlieh, dem schon längst die vollkommeneren Turbinen ihren hohen Wirkungsgrad verdanken. Andererseits aber lernen wir aus dem Vergleich zwischen einer mit meist verwickelter Steuerung ausgestatteten Wassersäulenmaschine und der Kolbenpumpe, die selbst als sog. „Exprespumpe“ keinerlei Künstelei bedarf, wenn man nur die Wasserwege richtig und Ventile einfachster Art einrichtet, daß auch die Bedingungen, welche von dem Elektromotor zu erfüllen sind, in besonderen Fällen doch auch wesentliche Abweichungen

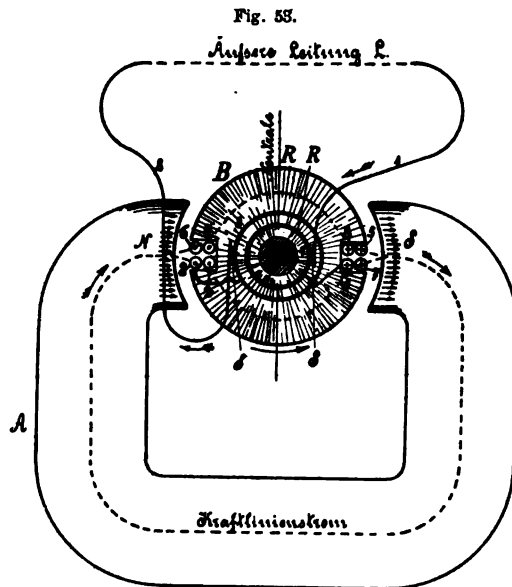
\*) Von der großen Wichtigkeit, welche diese Pumpengattung neuerdings für die Elektrotechnik und den Bergbau gewonnen haben, wird unter Wasserwältigung gehandelt.

von der Einrichtung der Dynamomaschine erfordern werden. Schon der Elektromotor zum Betriebe einer Hauptschacht-Fördermaschine hat Aufgaben zu erfüllen, die an eine Dynamomaschine nicht herantreten. Man baut deshalb gegenwärtig die Elektromotoren doch meist nach besonderen Grundsätzen, die wir später, wo es erforderlich ist, hervorheben werden.

Das, was im voranstehenden im allgemeinen über die Dynamomaschinen gesagt ist, muß im besonderen auch für die beiden Hauptgattungen gelten, da ja jede Gleichstrom-Dynamomaschine ursprünglich auch nichts anderes als eine Wechselstrom-Maschine ist, was oben bereits hervorgehoben wurde.

### Die „magneto-elektrische“ Maschine oder der Magnet-Induktor als Vorläufer der Dynamomaschine.

**Magneto-Elektrische Wechselstrom-Maschinen.** Die Begründung der oben angegebenen Einteilung und die Zweckmäßigkeit der einzelnen wichtigsten Bestandteile der Dynamomaschinen ergeben sich am besten aus dem einfachen Zusammenbau einer Maschine einfachster Art, von dem dann auf andere verwickeltere Ausführungen der Dynamomaschinen geschlossen werden soll. Um zugleich die geschichtliche Entwicklung anzudeuten, beginnen wir mit der magneto-elektrischen Maschine, dem sog. „Magnet-Induktor“, Fig. 53, bei welcher, anstatt der allgemein gebräuchlichen Elektromagnete (vom elektrischen Strome umflossenen Kerne aus weichem Eisen), noch permanente Stahlmagnete angewendet werden und die gegenwärtig noch beliebt ist als Stromerzeuger für Isolationsprüfungen, für elektrische Klingeln im Eisenbahn- und Telephon-Wesen zum Anrufen, ferner im Prinzip als Zündvorrichtung bei den Gaskraftmaschinen.

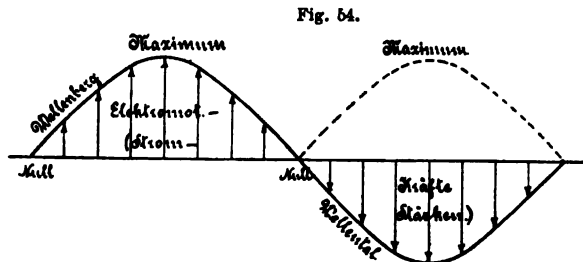


Die Figur stellt die Maschine mit dem sog. Siemenschen Doppel-T-Anker (Englisches Patent von 1856) im Querschnitt senkrecht zur Drehachse dar.

Es ist A der starke, aus einzelnen Lamellen zusammengesetzte Hufeisenmagnet, von dessen Nordpole N zum Südpole S die magnetischen Kraftlinien verlaufen, B der gegen die Drehachse sorgfältig isolierte trommelartige Anker, welcher mit möglichst geringen Zwischenräumen zwischen den zylinderförmig ausgedrehten Polschuhen gedreht wird und aus weichem Eisen hergestellt ist, damit er dem Durchgange der Kraftlinien möglichst wenig Widerstand entgegenstellt. In den Anker sind gleichlaufend mit der Drehachse zwei Längsnuten eingehobelt, in welche der isolierte Kupferleiter in Windungen, den laufenden Zahlen von 1 bis 8 entsprechend, neben- und aufeinander etwa so gewickelt ist wie die Fäden über die Oberfläche eines Garnknäuels, nur mit dem Unterschiede, daß hier die Ankerdrähte einen mehr rechteckförmigen langen Rahmen bilden. In Wirklichkeit ist die Anzahl der Wickelungen weit größer als in der Figur angegeben ist.

Die punktierten Linien stellen den Kraftlinien-Strom dar, der durch den Anker in zwei Zweigen verläuft. Auf die „Streuung“ der magnetischen Linien, die bei allen derartigen „offenen Feldmagneten“ nicht unbedeutend ist und einen Verlust bedeutet, ist in der Skizze keine Rücksicht genommen.

Bei der Drehung des Ankers durchschneiden die Drahtwindungen (mit Ausnahme der Teile, die über die Stirnflächen des Ankers verlaufen) die Kraftlinien, wodurch in ihnen eine gewisse elektromotorische Kraft (EMK) erzeugt wird. Soll nun durch diese EMK ein Strom zustande kommen, so muß der Draht in seinem ganzen Verlaufe von Anfang bis zu Ende einen geschlossenen Kreis bilden, also auch die äußere Leitung L (mit den vom Strome zu speisenden elektrischen Lampen und Elektromotoren) mit den Enden 1 und 8 der Wicklung derart leitend verbunden (zusammengelötet) sein, daß jemand, der von 1 aus durch sämtliche Windungen und durch L liefe, wieder zum Ausgangspunkte zurück käme. Man sagt dann die Leitungsteile sind „hintereinander geschaltet“. Da nun aber L feststeht, dagegen B mit den Ankerdrähten sich dreht, so muß zwischen beiden die leitende Verbindung zu einer gleitenden gemacht werden. Zu dem Ende sind auf der Wellenachse, gegen diese isoliert, zwei untereinander ebenfalls isolierte Schleifringe RR angebracht. Mit dem einen Schleifringe ist das Drahtende 1, mit dem anderen das Ende 8 fest verlötet. Beide Enden der feststehenden Leitung L sind mit je einer sog. „Bürste“ S aus Kupfer-Gaze oder aus Kohle leitend verbunden, welche am „Bürstenhalter“ befestigt durch Federn sanft auf je einen der Schleifringe, wie die Figur andeutet, gedrückt werden, so daß bei der Drehung des Ankers jene Ringe unter den Bürsten leitend entlang schleifen.



Wir haben somit in den Bürsten S mit den dazugehörigen Schleifringen, außer dem Feld-Magnet A und dem Anker B, noch den dritten wesentlichen Bestandteil unserer Wechselstrommaschine kennen gelernt, der als Verbindungsglied zwischen innerer (Anker-) und äußerer (Netz-) Leitung anzusehen ist.

Bei den Gleichstrom-Maschinen tritt, wie wir bald sehen werden, an Stelle der Schleifringe, der Kommutator oder Kollektor.

Bei jeder Umdrehung des Ankers wird in den Windungen beim Schneiden der Kraftlinien ein durch eine Wellenlinie (Sinuslinie) veranschaulichter Wechsel der elektromotorischen Kraft  $e$ , und hierdurch ein entsprechender Wechselstrom  $i$  erzeugt, Fig. 54. Und zwar entspricht der nach oben gekrümmte Teil (Wellenberg) der Linie dem mit Annäherung und Entfernung wechselnden Vorbeigange der Windungen an dem einen Pole, dagegen der entgegengesetzt nach unten gekrümmte Teil (Wellental) dann dem Vorbeigange am entgegengesetzten Pole, der Nullpunkt als Übergangspunkt zwischen Berg und Tal dem Durchgange der Windungen durch die „neutrale Zone“ zwischen den beiden Polen, bei welchen keine Kraftlinien geschnitten werden.

Der hier geschilderte, von der Wechselstrom-Maschine hervorgebrachte, durch die Sinuslinie veranschaulichte Strom wechselt in aufeinanderfolgenden genau gleichen Zeitabschnitten (Perioden) seine Richtung und Stärke, so daß, sowohl die Nullwerte als auch die positiven und negativen Maxima und alle „Phasen“ von Null bis zu einem Maximum in gleichen Perioden aufeinander folgen.

Die Anzahl solcher vollen Perioden in 1 Sekunde heißt die „Periodenzahl“ oder die „Frequenz“.

Wird die Periode (also der Zeitraum in Sekunden, in welchem ein Doppel-Wechsel bzw. eine volle Stromkurve zustande kommt) mit  $t$  Sekunden, die Frequenz (also die Anzahl der Doppel-Wechsel in je 1 Sekunde) mit  $n$  bezeichnet, so ist

$$t \cdot n = 1 \text{ oder } t = 1/n.$$

Es wird weiter unten begründet, daß in Deutschland für alle Dynamomaschinen als Frequenz im Mittel 50 angenommen wird.

Der Doppelt-T-Anker des Magnet-Induktors würde bei 50 Umläufen entsprechend 100 Doppel- oder Pol-Wechseln in 1 Sekunde, die Frequenz  $n = 50$  in einer Sekunde und die Dauer eines Umlaufes oder einer Periode  $t = 1/50$  Sekunden aufweisen, wie es bei uns üblich ist.

Beziehungen zwischen Elektromotorischer Kraft und Stromstärke. In der obigen Darstellung wurde mit Fleiß unterschieden zwischen den wechselnden elektromotorischen Kräften und der dadurch veranlaßten ebenfalls wechselnden Stromstärke.

In der Wellenlinie der Figur 54 sind beide der Einfachheit wegen als zusammenfallend angesehen. Wie aber einem kleinen Wasser-Gefälle ein starker Strom, einem hohen Gefälle ein schwacher Strom entsprechen kann, so ist auch bei elektrischen Strömen entsprechend zu unterscheiden. Dann sind die wechselnde EMK und die erzeugte Stromstärke durch nicht zusammenfallende Wellenlinien darzustellen (Figur 12). Auch der Fall ist nicht ausgeschlossen, daß die Wirkung (Strömung  $i$ ) nicht unmittelbar auf die Ursache (EMK  $e$ ) folgt, sondern sich verzögert. Dann sind die beiden entsprechenden Wellenzüge gegeneinander verschoben. Es fallen weder ihre Nullpunkte zusammen, noch liegen ihre Scheitelpunkte untereinander. In diesem Falle spricht man von einer „Phasenverschiebung“. Hier ist von einer Phasenverschiebung zwischen  $e$  und  $i$  in derselben Wicklung die Rede. Es kann sich aber auch um Phasenverschiebungen von Wellen handeln, die aus verschiedenen Wicklungen, wie z. B. bei den Mehrphasen-Strommaschinen, zusammenfließen. (Siehe was über diesen Gegenstand früher unter „Phasenverschiebung“ gesagt wurde.)

Magneto-Elektrische Gleichstrom-Maschinen. In allen Fällen, in welchen die Technik eine bestimmte Stromrichtung verlangt, wie zur Erzeugung von Elektromagneten, bei der Elektrolyse, beim Laden der Akkumulatoren, ist der Wechselstrom, wie wohl er an sich in der Erzeugung und Übertragung der einfachste und billigste ist, ohne weiteres nicht zu gebrauchen.

Um nun den in der Maschine erzeugten Wechselstrom für die äußere Leitung in Gleichstrom zu verwandeln, ist die gegenseitige Bewegung zwischen Bürsten und Ringen derart einzurichten, daß in demselben Augenblicke, in welchem der Stromwechsel eintritt, also die Ankerwicklung beim Durchgange durch die Neutrale stromlos ist, auch der Wechsel der Bürsten bezüglich der Ringe eintritt. In unserer Wellenlinie entspricht diesem Augenblicke der Nullpunkt, in welchem Berg und Tal ineinander übergehen.

Eine derartige Einrichtung ist der sog. Kommutator (commutare, umwechseln, umwandeln), welcher in der beistehenden Figur 55 in der einfachsten Form aus der vorbeschriebenen Maschine abgeleitet ist.

Anstatt der beiden ganzen Schleifringe ist nur ein einziger erforderlich, der aber in zwei gegeneinander, durch Preßspan (eine Art Pappe), Mikanit oder Glimmer, gut isolierte Hälften zerlegt ist. Mit der einen Hälfte ist wieder der Ankerdrahtanfang (1) mit der anderen Hälfte das Ankerdrahtende (8) verlötet.

Fig. 55.

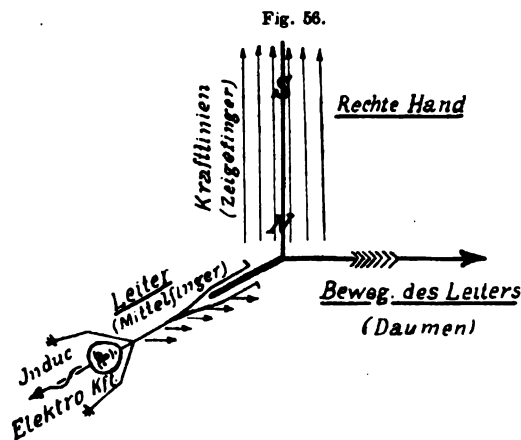


Wenn nun nochmals hervorgehoben wird, daß die feststehenden Bürsten und die Teilspulen der mit dem Anker umlaufenden Kommutator-Halbringe derart zueinander liegen müssen, daß die Fugen unter den Bürsten hergleiten in dem Augenblicke, in welchem die Ankerdrähte stromlos sind, so ist mit diesen wenigen Worten im Prinzip schon die Gleichstrommaschine aus der Wechselstrommaschine entwickelt. Was hier für die einfache Zweipol-Maschine mit zwei Spulen gesagt ist, gilt dann auch für die weit verwickelteren Mehrpol-Maschinen mit mehreren Spulen. Stets dürfen die Ankerspulen durch die Bürsten nur in denjenigen Lagen kurz geschlossen, also leitend verbunden werden, in denen die Elektromotorische Kraft keinen Strom in ihnen induziert (Fig. 61). Man beachte schon jetzt an dieser Figur, daß sämtliche Spulen des Ankers in zwei Teile getrennt sind, die eine, hier linke Hälfte, liegt unter dem Nord-, die andere Hälfte, unter dem Südpole. Es müssen deshalb beständig während der Drehung von der linken und rechten Hälfte die gleichgerichteten Strom-Impulse, einerseits der unteren (+) Bürste zu, andererseits von der anderen (—) Bürste abfließen.

Die Richtigkeit dieser Behauptung wird durch die nun folgende „Regel von Fleming“ veranschaulicht.

Auch bezweckt diese einfache Darstellung, hervorzuheben, daß die Gleichstrommaschine feiner organisiert und deshalb auch wohl im allgemeinen sorgfältiger zu warten ist als die Wechselstrommaschine.

**Strom-Richtung. Fingerregel der rechten Hand.** Die Richtung des erzeugten Stromes ergibt sich aus der Fingerregel der rechten Hand (von Fleming), Fig. 56: Halte den Zeigefinger in die Richtung der Nord-Süd-Kraftlinien,



den Daumen senkrecht dazu in die Richtung der Drehung der Ankerdrähte, dann gibt der Mittelfinger senkrecht zu beiden die Stromrichtung in den Ankerdrähten an. Nach der Figur 53 ergibt sich dann, daß auf der linken Seite der Strom nach dem Beschauer zugerichtet ist. Die in 2, 4, 6, 8 eingezeichneten Punkte versinnbildlichen Pfeilspitzen. Auf der rechten Seite ist der Strom senkrecht zur Bildfläche nach hinten gerichtet. Die in 1, 3, 5, 7 eingezeichneten Kreuze sollen das Gefieder der Pfeile darstellen, die man hier von hinten sieht.

Das „Funken“. Denken wir uns den Anker der Figuren 53 und 55 um  $\frac{1}{4}$  Umdrehung gedreht, so sind die Ankerwicklungen in der Neutralen, die Ringfugen unter den Bürsten angekommen, wie es sein soll. In dieser Stellung der „Kommutierung“ sind während eines Augenblickes die Ankerwicklungen durch die Bürsten, welche jetzt den isolierten Zwischenraum gleichsam leitend überbrücken, „kurz geschlossen“. Es müßten also an den Bürsten im Augenblick des Stromschlusses, sowie der Stromunterbrechung Funken entstehen, wenn nicht, wie schon mehrfach hervorgehoben wurde, dafür gesorgt wäre, daß bei diesem Übergange keine Kraftlinien von den Spulen geschnitten würden. Wir erkennen hieraus, daß auf die gegenseitige Lage bzw. Stellung der Bürsten, der Fuge und der Ankerwicklung zu den Magnetpolen bzw. zu dem Kraftlinien-Strome genügende Sorg-

falt zu verwenden ist, wenn die Bürsten nicht „funken“ sollen, was heutzutage von guten Dynamomaschinen, die, wie wir bald sehen, Elektromagnete anstatt des Stahlmagneten besitzen, verlangt wird. Es treten aber noch andere Schwierigkeiten hinzu, die nicht unerwähnt bleiben dürfen: Insbesondere Vermehrung der Pol-Zahl, Steigerung der Spannung durch Serienwicklung und Stromstärke der heutigen Maschinen gehören hierher. Der Eisenkern des Ankers wird ferner durch den Ankerstrom selbst zu einem Magneten, dessen Magnetpole und Kraftlinien sich mit denen des magnetischen Feldes zusammensetzen. Wären die oben ausgesprochenen Bedingungen für den ruhenden oder sich nur langsam drehenden Anker (also statisch) auf das beste erfüllt, so muß eine Änderung eintreten, wenn der Anker nun in immer raschere Umdrehung versetzt wird (dynamische Wirkung). Man hilft sich dann damit, daß man bei Veränderung der Umdrehungszahl des Ankers die Bürsten in der Richtung der Drehung (bei den Elektromotoren in entgegengesetzter Richtung) soweit verschiebt\*), bis sie etwa bei ihrer Stellung über den Polrändern gar nicht oder dort am wenigsten „funken“. Aus unserer Betrachtung ist u. a. der Schluß zu ziehen, daß im Betriebe die Bürsten stets gegen die statische Neutrale verschoben sind\*\*). Die besten Firmen stellen übrigens Dynamomaschinen her, welche bei konstanter (Kohlen-) Bürstenstellung trotz der Veränderung der Umdrehungszahl, Belastung und der Umdrehungs-Richtung (Förder-Elektromotoren) nicht funken.

Nach Kapp „bedingt die funkenlose Kommutierung die Gleichheit der zugeführten und aufgespeicherten Arbeit“.

Unter den Mitteln\*\*\*), die vorgeschlagen und angewendet sind, das Funken zu verhüten, sind zu nennen u. a.: Die Kohlenbürsten, die ihrer schlechteren Leitungsfähigkeit wegen breiter sein müssen als die Kupferbürsten und infolgedessen mehrere Kommutatorlamellen überbrücken.

Den von Fischer-Hinnen angeordneten „Kompensations-Magneten“ für beste Bürstenstellung beschreibt Kapp S. 259. Derselbe setzt unveränderte Drehrichtung des Ankers voraus. Für elektrische, direkt angetriebene Fördermaschinen mit Vorwärts- und Rückwärtsgang würde sich die folgende Anordnung eignen:

Die Matherschen Kompensationsmagnete („Wendepole“), die zwischen den Hauptpolen untergebracht sind und von dem Hauptstrom erregt werden, sind so gewickelt, daß sie die Ankerrückwirkung aufheben. Einige Werke wenden Wendepole ganz allgemein bei ihren Generatoren und Elektromotoren an, oder richten ihre Polgehäuse für später erwünschten Einbau ein. Andere Firmen wählen sie nur in besonderen Fällen. Bei der elektrischen Fördermaschine auf Zeche Zollern II der Gelsenkirchener Bergwerks-Aktiengesellschaft und bei der neuen elektrischen Fördermaschine auf dem Ottilienschachte bei Clausthal sind Wendepole angewandt.

Durch obige Schilderung ab ovo, die wörtlich auch für die verwickeltesten, vom Anfänger und Laien nicht leicht zu durchschauenden Maschinen gilt, wollte ich meine Leser auf möglichst einfache Weise zu eigenem Urteil befähigen und zugleich ihnen die Gründe nahelegen, weshalb das Nichtfunken der Maschinen keineswegs eine so selbstverständliche Sache, vielmehr ein wichtiges Merkmal ist für die Leistungsfähigkeit der Maschinen und deren Erzeuger.

Nachdem wir im vorangehenden im allgemeinen an einer Magneto-Elektrischen Maschine den Unterschied zwischen den beiden Haupt-Gruppen: Wechsel-

\*) Der Maschinentechniker denkt bei dieser Verschiebung um einen gewissen „Verschiebungswinkel“ der Bürsten an das „Voreilen“ und den „Voreilungswinkel“ bei den Dampfmaschinen.

\*\*) Folgerichtig würde man dasselbe erreichen durch alle Mittel, die dasselbe bezwecken, was ein Verschieben der Polschuhänder nach der entgegengesetzten Richtung bewirken würde.

\*\*\*) Eine bessere Beurteilung dieses Mittels ist erst später zu erwarten.

und Gleichstrom-Maschinen klar zu machen versucht haben, müßten wir nun im besonderen auf die heutige Dynamomaschine und deren Hauptbestandteile, den Feldmagneten und den Anker übergehen und

I. die „Magnetentwicklung“ und

II. die „Ankerwicklung“

besprechen, welche deren Eigenart und Einteilung bestimmen.

## I. Die Magnetwicklung.

Die Dynamo-Elektrische Maschine oder kurz: „Dynamomaschine“.

Dynamo-elektrisches Prinzip. Selbsterregung. Hauptstrom-Dynamo-Maschine (Siemens 1866). Nebenschluß-Dynamomaschine (Wheatstone). Verbund-Maschine. Geschichtliche Bemerkungen.

Um nun anstatt der bislang besprochenen magneto-elektrischen Maschine mit „permanenten Stahlmagneten“, die heutige dynamo-elektrische Maschine mit dem ungleich kräftigeren Elektromagneten als „Feldmagneten“ zu erhalten, hätte man nur als Schenkel-Kerne weiches (permeables) Eisen zu wählen und um diese den von den Bürsten (der eigenen Maschine) kommenden von Gleichstrom durchflossenen Leitungsdraht zu wickeln, ehe derselbe nach außen geführt, die äußere Leitung bildet. Fig. 57. Als Südpol äußert sich dann dasjenige Kernende, von welchem aus der Strom den Schenkel im Sinne der Uhrzeiger umfließt. Der Praktiker könnte sagen, er wickele den (+) Draht vom Südpol nach dem Nordpol hin in rechtsgängigen Windungen. Vom Nordpol gilt das entgegengesetzte. Dieser Umstand muß naturgemäß bei der Wickelung der Feldmagnet-Schenkel gebührend berücksichtigt werden.

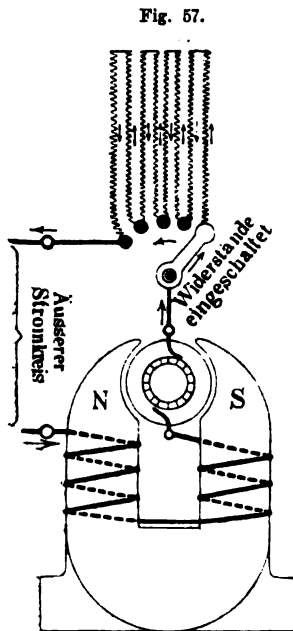
Hauptstrom- (oder Reihen-, auch Serien-) Maschine. Dieser Gedanke der „Selbsterregung“, der das „dynamo-elektrische Prinzip“: Erregung der Feldmagnete durch den eigenen Strom, ausdrückt, scheint sehr einfach, hat aber Werner Siemens, der ihn zuerst aussprach und 1866 in der heute noch sehr beliebten „Hauptstrom-Dynamomaschine“ verkörperte, zu dem Begründer der heutigen Elektrotechnik gemacht.

Nebenschluß-(Shunt-) Maschine (Fig. 58). Fast gleichzeitig kam Wheatstone auf denselben Gedanken, nur in etwas anderer Form. Er zweigte an den Bürsten von dem Hauptstrom einen Nebenzweig (shunt) ab, den er um die Schenkel führte, und wurde so der Erfinder der sehr verbreiteten „Nebenschluß“-Dynamomaschine.

Die Verbund- (Compound-) Dynamomaschine (Brush 1878) ist eine Verbindung der Hauptstrom- und Nebenschluß-Dynamomaschine, bei welcher also sowohl der Hauptleitungsdraht, als auch der Wheatstonesche Nebenzweig um die Magnetkerne geführt ist (Fig. 59).

Dieselbe Einteilung gilt für die Generatoren und Elektromotoren.

Geschichtliche Bemerkungen. Die erste Anwendung eines Elektromagneten (bei einem Siemensschen Magnet-Induktor) rührt vom Engländer Wilde her. Derselbe leitete 1865 den gleichgerichteten Strom eines Siemensschen Magnet-





Induktors in einen großen Elektromagneten, durch welchen er in einem zweiten entsprechend großen Magnet-Induktor sehr starke Ströme erzeugte und zugleich zum Erfinder einer Einrichtung wurde, die heute unter dem Namen „Fremderregung“ bekannt ist.

Ich schließe diese Bruchstücke einer kurzen Entwicklungsgeschichte nach rückwärts mit der Bemerkung, daß 1832, kurz nach Faradays Entdeckung, Pixii\*) die erste magneto-elektrische Maschine für Wechselstrom und Gleichstrom ersann. Er drehte um eine vertikale Achse einen mit seinen Polen nach oben gekehrten kräftigen Hufeisenmagneten (Feldmagneten) und erzeugte dadurch in dem darüber feststehenden Spulenpaare mit weichem hufeisenförmigen Eisenkern (Anker oder Induktor) einen kräftigen Wechsel-Strom, der unmittelbar ohne Schleifringe und Bürsten an die äußere Leitung abgegeben werden konnte.

Hierin war im Prinzip die Maschine mit feststehendem Anker gegeben, die betriebssicherer ist als die Maschine mit rotierendem Anker und die ihrer heutigen Gestalt wegen „Innenpolmaschine“ genannt wird, weil das in Drehung versetzte Magnetsystem (Schenkelkreuz) mit seinen Polen im Innern des ruhenden Grammeschen Ringankers liegt.

Durch einen auf Ampères Anregung angebrachten Kommutator wurde der Wechselstrom in Gleichstrom verwandelt.

Verbesserungen der Pixii-Maschine veranlaßten Ritchie\*\*), Clarke, Saxton, Stöhrer, besonders aber Werner Siemens, der 1856\*\*\*) mit seinem oben beschriebenen Magnet-Induktor mit Doppelt-T-Anker die Reihe der Magnet-Induktoren schloß.

(Eine mit zahlreichen Quellen belegte kurze, beachtenswerte Entwicklungsgeschichte, die sich besonders auch auf die englischen Patente stützt, bringt Silvanus P. Thompson im Anfange des ersten Teiles seines Handbuches „Die Dynamoelektrischen Maschinen“.)

### Eigenschaften und Verwendbarkeit der verschiedenen Dynamomaschinen.

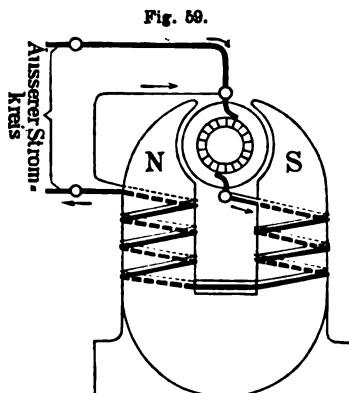
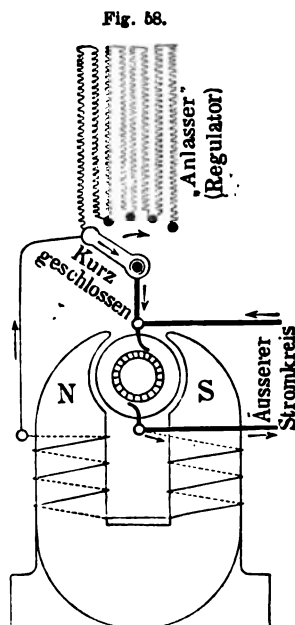
Nach dem Voranstehenden sind vier Arten von Generatoren (G) und Elektromotoren zu unterscheiden:

- a) die Maschine mit „Fremderregung“,
- b) die Hauptstrom- oder Hauptschluß- oder Serien-Maschine,
- c) die Nebenschluß- (Shunt-) Maschine,
- d) die Verbund- oder Compound-Maschine mit gemischter Wicklung als Kombination von b und c.

\*) Ann. Chim. Phys. Bd. 50, S. 322, 1832.

\*\*) Phil. Trans. Bd. 2, S. 318, 1833.

\*\*\*) Englisches Patent 1856 Nr. 2017. Vergl. auch Pogg. Ann. Bd. 101, S. 271, 1857.



Hierbei ist noch zu beachten, daß b c d nur für Gleichstrom-, dagegen a auch für Wechselstrom-Maschinen gilt.

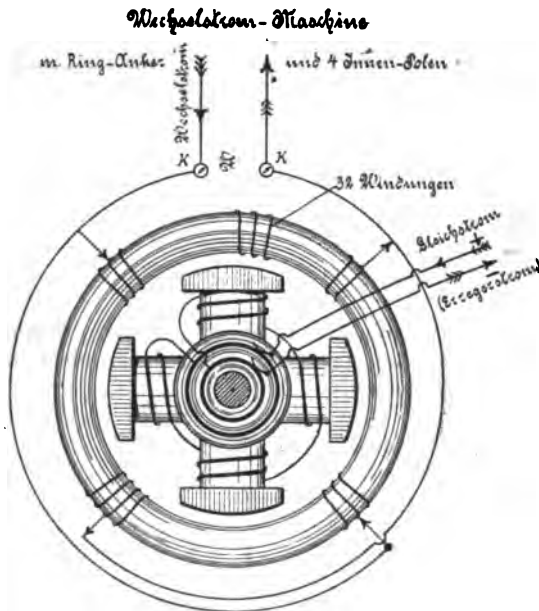
Übrigens sind die Betriebsverhältnisse aller Dynamomaschinen und Elektromotoren gekennzeichnet durch:

- |                                  |
|----------------------------------|
| 1. die Umdrehungszahl . . . . n, |
| 2. die Klemmenspannung . . e,    |
| 3. die Stromstärke . . . . . i.  |

a)

Wechselstrommaschine (Fig. 60). Die „Fremderregung“ ist bei den Wechselstrommaschinen Regel, da auch bei diesen die Magnete durch Gleichstrom erregt werden müssen, den die Maschine selbst unmittelbar nicht liefert.

Fig. 60.



Die Figur 60 stellt eine Wechselstrom-Maschine mit Ringanker und vier Innen-Polen dar in einer Form, die bei größeren Wechselstrom-Maschinen üblich ist. Der Ring-Anker steht fest\*). Er enthält z. B. 32 fortlaufende Windungen, von denen aber nur einige an den Stellen gezeichnet sind, an welchen, wie die vier angefügten Pfeile andeuten, der erzeugte Wechselstrom abgenommen und nach den festen Klemmen k k fortgeleitet wird. Dem mit der Achse rotierenden Magnetschenkel-Kreuz wird von außen her der Erreger-Gleichstrom mittelst Bürsten und Schleifringen zugeführt.

Auf diese Weise ist die Funkenbildung verhütet. Es mag hier nicht unerwähnt bleiben, daß man jeder Gleichstrommaschine (die bekanntlich ursprünglich auch eine Wechselstrommaschine ist

und erst mittelst des Kommutators zur Gleichstrommaschine wird) auch Wechselstrom entnehmen kann.

Das kann man sich an der Fig. 61 leicht klar machen, wenn man in derselben die beiden einander gegenüberliegenden Punkte a und o mit je einem isolierten Schleifringe verbindet und von jedem dieser beiden Schleifringe durch aufgelegte Bürsten den Strom abnimmt. Ebenso wohl würde man von demselben Anker auch Dreiphasenstrom (Drehstrom) abnehmen können, wenn man die dort bezeichneten drei Punkte a b c der Wicklung, welche um 120° voneinander abstehen, mit je einem Schleifringe verbindet und von diesen drei Schleifringen durch aufgelegte Bürsten den Strom entnimmt.

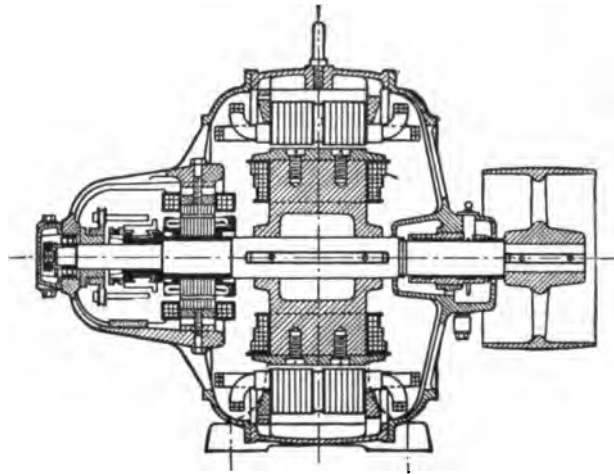
Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, sogar üblich, daß mit der Welle der Wechselstrommaschine zugleich eine kleine „Erreger-Gleichstrom-Dynamomaschine“ gekuppelt ist, die den Gleichstrom für das Magnetfeld der Hauptmaschine erzeugt.

\*) Man vergleiche hiermit das unter „Einteilung der Dynamomaschinen“ Gesagte.

Aber auch in diesem Falle muß man, genau genommen, doch von „Fremderregung“ sprechen und dürfte sogar behaupten, daß aus diesem Grunde das „dynamoelektrische“ Prinzip bei den Wechselstrommaschinen nicht erfüllt ist, letztere also gar nicht zu den „Dynamomaschinen“ zu rechnen wären. Wir werden uns jedoch im folgenden an die allgemeingültigen Anschauungen halten und die Wechselstrom-Maschine zu den Dynamomaschinen rechnen.

Die bestehende „neue Wechsel- und Drehstrom-Dynamomaschine Type DFE“ der Felten und Quilleaumwerke A.-G. Frankfurt a. M. für 15 bis 120 KW bei 1000 bis 600 Umdr. in d. Min. zeigt, wie innig und stabil die Erregermaschine mit ihr zusammengebaut werden kann. Das umlaufende Magnetrad der Wechselstrom-Dynamomaschine ist in zwei am Gehäuse des Primärankers befestigten Armssystemen, den sog. Schildlagern gelagert. Die Erregermaschine ist innerhalb des linken Lagerschildes, das zugleich ihr Magnetjoch bildet, eingebaut. Anker, Kollektor und die unmittelbar neben letzteren liegenden Schleifringe sitzen auf einer gemeinschaftlichen Büchse und lassen sich unabhängig von der Wechselstrommaschine abziehen.

Fig. 60 a.



Die „Fremderregung“ ist in den letzten Jahren auch bei den Gleichstrom-Elektromotoren der elektrischen Fördermaschinen sehr beliebt geworden, weil sie ermöglicht, die Stärke des magnetischen Feldes innerhalb weiter Grenzen entsprechend den starken Bewegungs- und Belastungsschwankungen dieser Maschinengattung wirtschaftlich zu erhöhen und zu regeln. Näheres wird über diesen wichtigen Gegenstand unter den elektrischen Fördermaschinen gebracht.

b) Bei den Hauptstrom- oder Serien-Maschinen fließt der gesamte Hauptstrom sowohl durch die Anker- als auch die Magnet-Wicklung. Beide Wicklungen sind „hintereinander“ geschaltet. Die Wicklungen der Magnete bestehen deshalb aus ebenso dicken Drähten als die Ankerwicklungen. Ist der äußere Stromkreis unterbrochen, so fließt also auch weder durch die Magnet- noch Anker-Wicklung Strom, folglich entspricht die Stromerzeugung im Anker nur dem schwachen „remanenten“ Magnetismus, der den Magnetschenkeln an sich eigentümlich ist. Wird dagegen der äußere Stromkreis geschlossen, so fließt (innerhalb gewisser Grenzen) um so mehr Strom durch die Wicklungen, je mehr verbraucht wird. Die Erregung der Magnete wird also mit dem Stromverbrauch (natürlich bis zu einem Höchstwerte) gesteigert. Kurz, mit dem Stromverbrauch (Belastung) steigert sich die Magneterregung, die elektromotorische Kraft, die Stromerzeugung bis zu einem gewissen konstanten Grenzwerte, über den hinaus die Maschine in der Leistung wieder zurückgeht.

Wir merken uns hiernach in Kürze: Die Klemmenspannung nimmt mit dem Strome zu. Viel wichtiger als die Hauptstrom-Generatoren sind die später besprochenen Hauptstrom-Elektromotoren.

c) Bei der Nebenschluß-Dynamomaschine zweigt von den Ankerklemmen die Wicklung zur Magneterregung ab.

Beide Wicklungen sind „nebeneinander“ geschaltet. Die Magnetwicklungen bestehen aus viel Windungen dünnen Drahtes, die viel Widerstand bieten,

folglich nicht viel Betriebsstrom durchlassen. Hieraus könnte man schon von vornherein schließen, daß der entgegengesetzten Schaltung auch ein entgegengesetztes Verhalten entsprechen müßte. Daß dieser Schluß gerechtfertigt ist, ergibt sich aus folgendem:

Wäre der äußere Stromkreis unterbrochen, so würde dennoch, oder noch besser gesagt, um so mehr, eine Erregung der Magnete durch den von den Klemmen her um die Magnetwickelungen fließenden Strom stattfinden. Daraus ist schon zu schließen, daß starke Schwankungen im äußeren Kreise den Magnetstrom und damit die Klemmenspannung nicht wesentlich verändern.

Durch einen regulierbaren Nebenschlußwiderstand läßt sich die Spannung innerhalb enger Grenzen fast genau konstant erhalten. Daß man auch durch Veränderung der Umdrehungszahl der Ankerwelle die Klemmenspannung verändern kann, wissen wir schon aus früheren Betrachtungen. Wir merken uns: Die Klemmenspannung nimmt (wenn auch nur unwesentlich) mit der Stromstärke ab.

d) Die Compound-Dynamomaschine vereinigt die Eigenschaften von b und c, ist aber viel weniger als c zum Laden der Akkumulatoren geeignet.

### Die Wechselzahl der Maschinen.

Das Gesetz des Stromes der zweipoligen Gleichstrom-Maschine mit einer Spule wird dargestellt, indem man den als „Wellental“ bezeichneten Teil der Wellenlinie (Sinuslinie) auch nach oben kehrt (gestrichelte Linie der Fig. 53).

Aus der Darstellung ist zugleich ersichtlich, daß unser Strom nur in bezug auf seine Richtung den Namen „Gleichstrom“ verdient, seiner Stärke nach aber noch sehr ungleichmäßig verläuft. Er zeigt, wie bei jeder Umdrehung Null- und Maximalwerte und alle dazwischen liegenden Werte aufeinander folgen.

Soll nun, wie die Praxis in den meisten Fällen vom Gleichstrome fordert, die Stärke der EMK. bzw. des Stromes möglichst konstant sein, ähnlich wie bei den Becher-Elementen, so muß die Maschine derart eingerichtet sein, daß eine genügend große Anzahl von Strom-Wechseln rasch aufeinander folgen. Diese setzen sich dann zu einem einzigen Strome zusammen, der um so gleichmäßiger und stärker erscheint, je größer die Summe der Wechsel ist, die auf die Zeiteinheit fallen.

Wir wollen im folgenden logisch entwickeln, auf welche Weise diese Forderung zu erfüllen ist, um zugleich einen Überblick über die hierhergehörigen wichtigsten Maschinen zu gewinnen.

Die Empfindlichkeit des menschlichen Auges bestimmte den Bau der Dynamomaschinen.

Die ersten Dynamomaschinen sollten vorzugsweise den Strom zur Lichterzeugung liefern, hatten deshalb die Aufgabe zu erfüllen, sowohl in der vom elektrischen Strome gespeisten Glüh- als auch Bogenlampe, die später eingehend behandelt werden, ein dem Auge ruhig erscheinendes Licht zu schaffen.

Hierbei kam die „Nachwirkung“, eine der Unvollkommenheiten der Augen, die übrigens alle unsere Sinne zeigen, sehr zu statten. Das menschliche Auge vermag aufeinanderfolgende Lichteindrücke von  $\frac{1}{20}$  Sekunde Dauer nicht mehr getrennt wahrzunehmen. Und die Erfahrung hat gelehrt, daß ein Licht, dessen Stärke 100 mal in der Sekunde schwankt, dem Auge durchaus ruhig erscheint. Auch die Spannung darf höchstens um 2—3% schwanken, wenn das Licht ruhig brennen (nicht „flackern“) soll.

Deshalb ist es Gebrauch geworden, bis auf den heutigen Tag die Dynamomaschinen für eine „Frequenz“ oder „Perioden-Zahl“  $n = 50$  (= 100 Strom-

wechsel) in 1 Sekunde, also für 6000 Polwechsel in 1 Minute zu bauen\*). Diese Bestimmung würde bei Maschinen mit einem Polpaare und einer Ankerwicklung, die im voranstehenden immer vorausgesetzt wurden, auf eine Umdrehungszahl der Ankerwelle

$$n = 3000 \text{ in 1 Minute}$$

führen.

Wie tief aber die Eigenart unseres Auges sozusagen in den Bau der Dynamomaschinen eingegriffen hat, geht aus folgenden kurzen Andeutungen hervor.

Da bei hohen Umlaufzahlen  $n$  ein Warmlaufen der Zapfen und der Zentrifugalkraft wegen auch ein Lockern der Ankerwickelungen, selbst ein Sprengen des Ankers zu befürchten ist, besonders aber die Kolben-Dampfmaschinen, die immer noch üblichsten Antriebmaschinen, nicht gern für Umdrehungszahlen, welche über einige Hunderte in der Minute hinausgehen, gebaut werden, ferner Räderwerke tunlichst zu vermeiden sind, mußte man seinerzeit auf Mittel sinnen, die erforderliche Stromwechselzahl bei Einschränkung der Ankerumdrehungszahl ( $n$ ) zu erreichen. Wir werden im folgenden zwei dieser Mittel besprechen, durch welche der Zweck erreicht wurde.

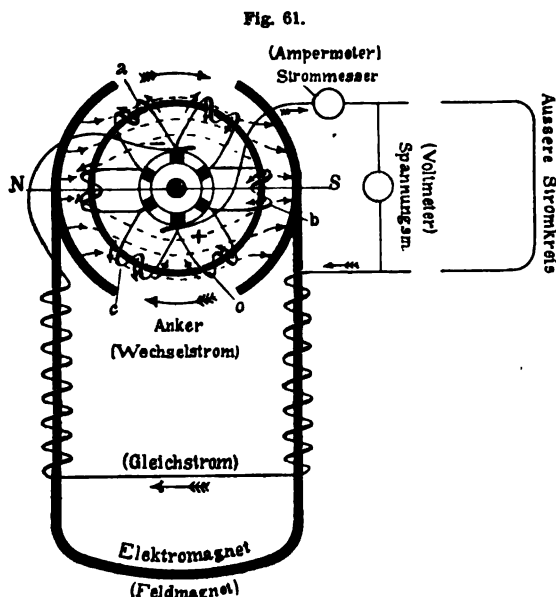
Heute haben die Dampfturbinen\*\*) mit ihren hohen Umdrehungszahlen schon als beliebte Antriebmaschinen den rasch laufenden Dynamomaschinen sich hinzugesellt. Und nach den Erfolgen, die bis jetzt mit der Turbo-Dynamomaschine erzielt sind, kann nicht mehr daran gezweifelt werden, daß für die Dynamomaschine kein besserer Kamerad als die Dampfturbine mit ihrem gleichen Schritt und Tritt gefunden werden kann.

Einschränkung der Anker-Umdrehungs-Zahl  $n$  durch:

1. Vergrößerung der Wickelungs-Zahl,
2. Vergrößerung der Pol-Zahl.

Bemerkung. Daß unter sonst gleichen Verhältnissen ebenso wohl eine Vergrößerung der Wickelungszahl und Polzahl wie auch eine Tourenzahl-Vergrößerung auf eine größere Leistung führt, bedarf wohl weiter keiner Begründung, da in allen Fällen lediglich das Schneiden einer größeren Anzahl von Kraftlinien bezweckt wird.

1. Vergrößerung der Wickelungs-Zahl. Man denke sich die Windungen nicht wie bei dem beschriebenen Doppel-T-Anker nur in zwei einander gegenüberliegenden Nuten untergebracht, sondern in genügend großer Zahl gleich-

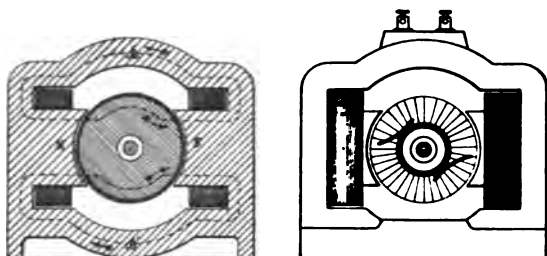


\*) Nur die Dynamomaschinen für reinen Kraftbetrieb, bei dem die Schwankungen nicht so „in die Augen fallen“ wie beim Lichtbetriebe, baut man wohl für eine Frequenz  $< 40$ . Bei Glühlampenbetrieb allein könnte man bis 50 Wechsel, dagegen bei Bogenlampenbetrieb höchstens bis 80 herabgehen. In England geht man sogar hinauf bis 200.

\*\*) Die Dampfturbo-Dynamomaschinen mit angebautem Kondensator haben mancherlei Vorteile gegenüber der Kolben-Dampfmaschine: kein Schwungrad, keinen Kolben, keine Steuerung, stoßfreien Gang, beanspruchen weniger Raum und besitzen geringeres Gewicht. Bei Schiffsbetrieb tritt noch hinzu der Wegfall der Resonanzwirkung.

mäßig über den ganzen Umfang des Trommelankers verteilt und entsprechend diesen Wicklungs-Abteilungen den Halbring-Kommutator in einzelne gegeneinander gut isolierte Teile (Sektoren oder Lamellen) zerschnitten, wie die auf Seite 131 stehende Figur 61 andeutet, so zeigt sie im Prinzip die gewünschte Maschine.

Fig. 62.



Da jede der  $Z_a$  Anker-Wicklungen bei jeder der  $n$ -Umdrehungen in 1 Minute 2 Stromwechsel veranlaßt, so ist jetzt die Gesamt-Wechselzahl in 1 Minute:

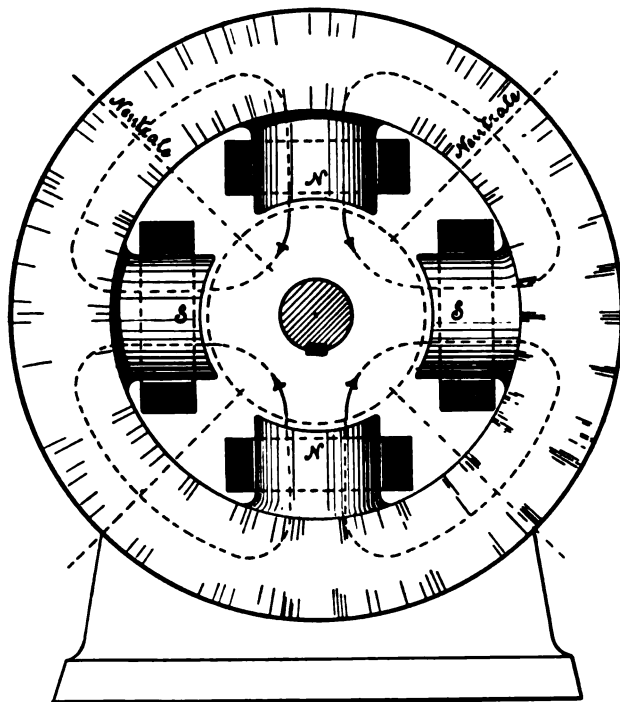
$$Z = 2 Z_a n.$$

Diese Anzahl von Wechseln haben die Bürsten aus den Lamellen des Kommutators gleichsam zusammenzulesen

(colligere). Aus diesem Grunde führt letzterer auch wohl den Namen Kollektor.

Um die Figur möglichst übersichtlich zu gestalten, ist anstatt des Nuten-Trommel-Ankers ein Grammescher Ring-Anker und eine sehr beschränkte Anzahl von Windungen auf demselben gewählt. Aus demselben Grunde sind die

Fig. 63.



Zwischenräume zwischen den schwarz gezeichneten Sektoren (oder Lamellen), welche die Isolierschichten (Preßspan, Mikanit, Glimmer) bei hoher Spannung darstellen sollen, verhältnismäßig sehr breit angenommen. Nach dem, was früher gesagt ist, möchte die Skizze ohne viel Worte verständlich sein. Wir werden später bei Besprechung der „offenen“ und „geschlossenen“ Ankerwicklungen, noch auf einige Einzelheiten der Figur eingehen, weil ihr Anker und der oben besprochene Doppel-T-Anker die Hauptvertreter dieser beiden Gattungen sind.

Sie stellt eine Hauptstrom-Maschine dar. Außerdem ist in dem äußeren Stromkreise noch

ein Strommesser (Ampèremeter) eingeschaltet und von den Maschinenklemmen ein „Nebenschluß-Draht“ abgezweigt, in welchem der Spannungsmesser (Voltmeter) liegt.

Vielleicht ist für den Anfänger nützlich, hier im Zusammenhange nochmals folgendes zu wiederholen: Würde dieser Nebenschlußdraht noch um die Magnet-schenkel gewickelt, so hätten wir im Prinzip wieder die oben geschilderte Com-

pound-Maschine, und wäre er nur allein, also nicht auch der Hauptdraht, um die Magnetschenkel gewickelt, so führte uns diese „Schaltung“ auf die obige Nebenschlußmaschine. Nebenstehende Figuren (62) stellen im Querschnitt und in der Ansicht eine zweipolige Gleichstrommaschine mit Trommelanker dar. Durch das (anstatt des hufeisenförmigen) gewählte geschlossene Magnetgestell (Lahmeyer) soll die Streuung der Kraftlinien  $\mathfrak{B}$ , deren Verlauf durch die gestrichelte mit Pfeilen versehenen Linien angedeutet ist, eingeschränkt werden. Die Abmessungen sind derart gewählt, daß sich nach Entfernung des Trommelankers die Magnetspulen bequem von den Polen abziehen und herausnehmen lassen.

2. Vergrößerung der Pol-Zahl. Mehrpolige Maschine, Fig. 63. Die mehrpolige Maschine kann als eine Verschmelzung mehrerer entsprechend kleinerer (bezw. eine Teilung größerer) zweipoliger Maschinen von gleicher Leistung angesehen werden\*). Es gilt für sie also auch das oben Gesagte. Die aufeinanderfolgenden, radial gestellten Nord- und Südpole sind symmetrisch zum Anker angeordnet und sämtlich miteinander verbunden durch ein gemeinschaftliches Joch von der Form eines Ringes oder eckigen Rahmens. Wir haben z. B. bei einer vierpoligen Maschine zwei neutrale Zonen, ebensoviel Bürsten als Pole, also in unserem Falle 4, auf dem wie bei der zweipoligen Maschine angeordneten Kommutator (oder Kollektor). Der Trommelanker ist in der Figur durch den gestrichelten Kreis nur angedeutet. Die Bürsten, die in den neutralen Zonen aufliegen, sind der Einfachheit wegen fortgelassen.

## II. Die Ankerwicklung.

Die **Ankerwicklung** kann zweierlei Art sein:

1. Die offene (hintereinandergeschaltete) und
2. die geschlossene (parallelgeschaltete) Anker-Wicklung (Parallel-Anker).

Wie nach dem Obigen die Schaltung der Magnet-Wicklung (hintereinander, parallel, gemischt) das Maschinen-System bestimmte, so wird nicht minder durch die Schaltung der Anker-Wicklung (hintereinander, parallel, gemischt) die Eigenart des Stromes bedingt.

Die früheren beiden Skizzen mit dem Siemensschen (Doppel-T-Trommel-) Anker (Fig. 53) und mit dem Gramme (Pazinotti) Ringanker (Fig. 61), die wir unserer Betrachtung über die Windungszahl und die Polzahl bereits zugrunde legten, sind absichtlich in der Weise entworfen, daß sie zugleich als Muster für die vorliegende Besprechung der Wickelungs-Methoden der Anker angesehen werden können.

### 1. Die offene Wicklung.

Die offene Wicklung oder Serien-Anker-Schaltung wird durch den Doppel-T-Anker dargestellt.

Ein Blick auf die Figur zeigt, daß bei abgehobenen Bürsten die Wicklung infolge der Isolierung zwischen den Ringhälften vollständig offen, der Strom also unterbrochen ist. Alle Leiter-Spulen sind hintereinander geschaltet und haben gleiche Lage im magnetischen Felde. Die aufgelegten Bürsten liegen zeitweise nur immer an den Ankerspulen an, welche der stärksten Induktion unterworfen

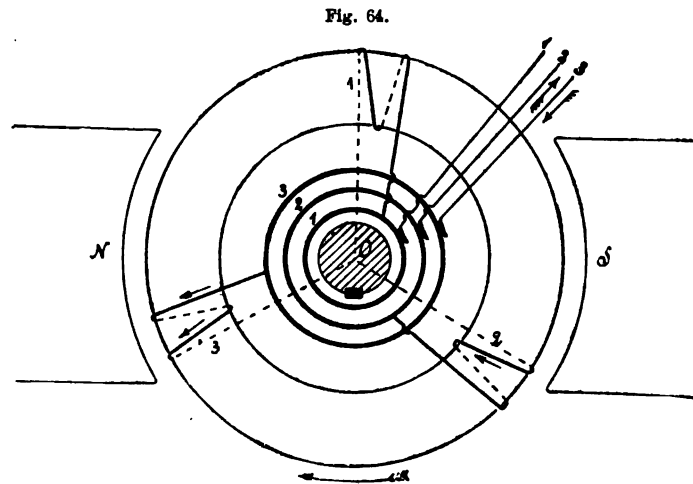
\*) Der Maschinentechniker denkt hier daran, daß er z. B. eine Drilling-Maschine als die Vereinigung von drei „Einheiten“ anzusehen hat, die ein gleichmäßigeres Gangwerk liefern als die Einzylindermaschine von gleicher Leistung.

ist. Was hier von dem einfachsten Falle (einer Spule und einem Polpaare) gesagt ist, würde auch für eine größere Anzahl von Spulen und Polpaaren gelten, die in entsprechender Weise, d. h. derart angeordnet sind, daß alle Spulen, welche in derselben Weise induziert werden, hintereinandergeschaltet, aber gegen die anderen offen sind. So kommt es, daß die Ströme bei dieser Schaltung nur immer in derselben Richtung durch den Anker fließen.

Der Strom in den Ankerdrähten ist ebenso groß wie in der äußeren Leitung. Hierdurch unterscheidet sich die offene Anker-Wicklung, welche bei Maschinen für Bogenlichtbeleuchtung angewandt wird, wesentlich von der unter 2 besprochenen Wickelungsart.

Dreiphasenstrom. Stern-Schaltung. Dreieck-Schaltung. Null-Leiter. Phasen-Spannung.

Zu den offenen Ankerwicklungen gehören auch die für den Dreiphasen-Wechselstrom (Drehstrom, Drillingsstrom), Fig. 64.



Auf dem Anker-Ringe sind drei Spulen 1 2 3 in gleichen Abständen (von 120 Grad) gewickelt, mit ihren Anfängen in einem beliebigen Punkte O miteinander vereinigt, an ihren Enden dagegen verlötet mit je einem der drei voneinander und gegen die Welle W gut isolierten Schleifringen 1 2 3.

Bei abgehobenen Bürsten sind die drei Spulen offenbar durch die 3 Schleifringe voneinander getrennt, ebenso wie oben bei dem Doppel-T-Anker durch die Halbringe. Es kann deshalb auch hier trotz der während der Drehung in den einzelnen Spulen induzierten elektromotorischen Kraft kein Strom zustande kommen.

Bei aufgelegten Bürsten werden Stromwellen in Zeitabschnitten von je  $\frac{1}{3}$  Wellenumdrehungen durch die Anker- und Außendrähte pulsieren. In der gezeichneten Ankerlage ist Spule 1 stromlos, in Spule 2, welche eben den Südpol verläßt, fließt ein Strom in der verzeichneten Pfeilrichtung. Für Spule 3, die eben am Nordpole ankommt, gilt entsprechendes (Fingerregel der rechten Hand).

Die drei Wechselströme sind nach früheren Betrachtungen durch 3 um  $120^\circ$ , bzw.  $\frac{1}{3}$  der Umdrehungszeit gegeneinander verschobene Sinuslinien gekennzeichnet.

Die Schaltung heißt wegen der Verbindung oder „Verkettung“ der drei Spulen in einem Punkte, dem Nullpunkte O, Stern-Schaltung, Fig. 65. Durch „Verkettung“ der einzelnen Spulen derart, daß der Anfang der einen mit dem



Ende der Nachbarspule verbunden („verkettet“) ist, entsteht die sog. Dreieck-Schaltung, Fig. 66.

Fig. 65.

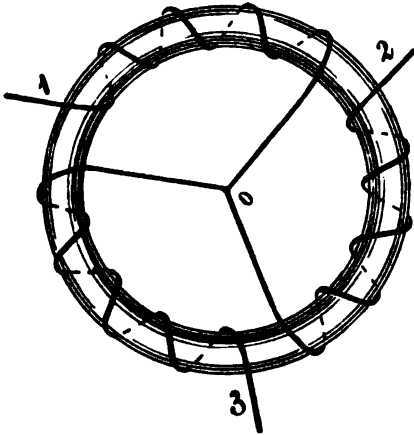
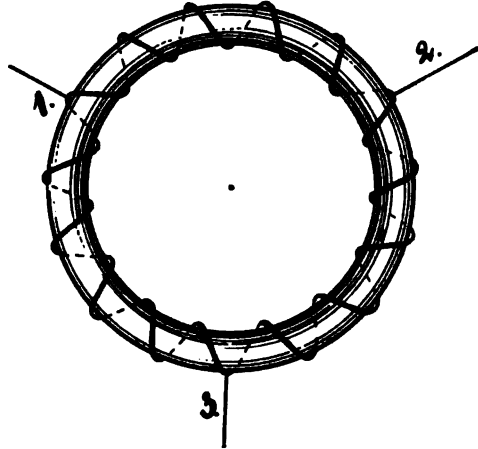


Fig. 66.



Die Figuren 67 und 68 zeigen zugleich, wie zwischen den drei Leitungen der Stern- und Dreieck-Schaltung tunlichst gleich viel Lampen oder Widerstände (Elektromotoren bezw. Transformatoren) einzuschalten sind, damit die drei Leitungen gleiche „Belastung“ erfahren.

Der bei der Stern-Schaltung angegebene Null-Leiter (vierte Leitung) kann auch von dem Verkettungspunkte O ausgehen. Es darf auch nicht übersehen

Fig. 67.

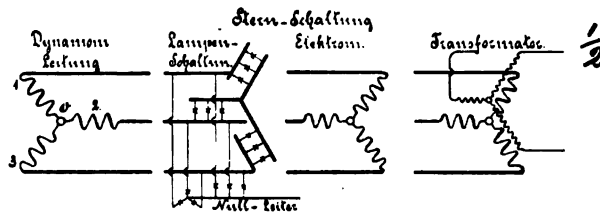
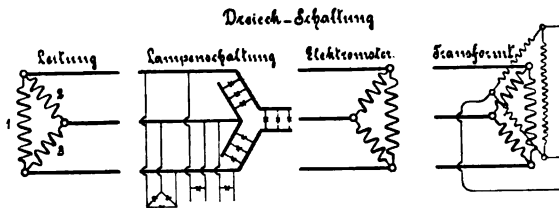


Fig. 68.



werden, daß die „Hauptspannung“ zwischen den Hauptleitungen ( $\sqrt{3} = 1,732$  mal) größer ist, als die sog. „Phasenspannung“ zwischen einer Hauptleitung und dem Null-Leiter. Auf diese Weise ist es bei der Stern-Schaltung mit Hilfe des Nullleiters möglich Ströme von verschiedener Spannung abzunehmen. Wäre also eine Phasenspannung 100 V erwünscht, so müßte die Hauptspannung 173 Volt betragen.

## 2. Die geschlossene Wickelung.

1. Die geschlossene Wickelung oder Parallel-Anker-Schaltung (nach Fig. 61) unterscheidet sich von der offenen wesentlich dadurch, daß überall Anfang und Ende benachbarter Wickelungen durch die Kollektor-Lamellen miteinander leitend verbunden sind. Um das Geschlossenein noch deutlicher zu zeigen, hätten wir, ohne am Wesen der Wickelung irgend etwas zu ändern, auch den Ankerdraht ohne Unterbrechung spiralförmig um den Ankerkern (Ring) wickeln, Anfang und Ende zusammenlöten, und dann an den betreffenden Stellen mittels je eines Drahtes die leitende Verbindung zu den dazugehörigen Kollektor-Lamellen herstellen können. Der während der Drehung des Ankers im magnetischen Felde in der Wickelung induzierte Strom ist dann folgerichtig auch bei abgehobenen Bürsten nicht unterbrochen, sondern „geschlossen“. Hierin liegt der wesentliche Unterschied zwischen dieser und der früher besprochenen offenen Wickelung.

Wir ziehen aus dieser Wickelungsmethode noch einige Folgerungen für den Stromverlauf. Durch kleine Pfeile ist angedeutet, daß die Ströme in denjenigen Drahtwindungen, die unter demselben Pole liegen, auch dieselbe Richtung haben müssen. So kommt es, daß bei unserer zweipoligen Maschine die einzelnen Ankerdrähte in zwei Gruppen zwar hintereinander, daß aber die Gruppen selbst einander parallel geschaltet sind. Es ist deshalb bei zweipoligen Maschinen mit geschlossener Wickelung nur Parallelschaltung möglich.

Der Strom in den Ankerdrähten ist demnach halb so groß als in der äußeren Leitung, was für die Wahl der Drahtquerschnitte wichtig ist.

Das im voranstehenden grundsätzlich Gesagte gilt für alle Dynamomaschinen, also auch für die mehrpoligen Gleich- und Wechselstrom-Generatoren und Elektromotoren\*).

### Verbesserungen der Ankerwickelungen.

Da wir wissen, daß der Anker und bei diesem die Wickelung einer der wesentlichsten Bestandteile aller Dynamomaschinen (und Elektromotoren) ist, liegt es nahe, daß wir uns um die Verbesserungen der Ankerwickelungen kümmern. Bei dieser Besprechung müßte unser Streben darauf gerichtet sein, soweit es uns möglich ist, eine Grundlage zu schaffen, auf welcher sich alle Ankerwickelungen, auch diejenigen, welche noch erfunden werden können, aufbauen.

Bereits früher ist hervorgehoben, daß nur diejenigen Teile der Ankerwickelungen zur Stromerzeugung beitragen können, welche von Kraftlinien geschnitten werden. Daraus folgern wir als Hauptforderung, daß bei allen Wickelungen danach getrachtet werden muß, die Windungen soviel wie irgend möglich in das magnetische Kraftfeld hineinzudrängen.

Wie das zu verstehen ist, werden wir gleich sehen. Aber die Wickelungen müssen auch praktisch, sicher und billig, kurz: wirtschaftlich sein.

Dieselben müßten deshalb bisher und müssen in Zukunft bezwecken:

1. Erleichterung der Herstellung, Unterbringung und Auswechslung,
2. möglichste Ausnutzung des Leitungsmateriales dadurch, daß der größte Teil je einer Ankerwindung am günstigsten die Kraftlinien schneidet und den hierbei induzierten Strom nicht durch mangelhafte Isolierung und auf Umwegen wieder vergeudet,
3. Haltbarkeit und Verbilligung.

Die beiden in Frage kommenden Ankerformen sind der Ring- und der

---

\*) Wer sich über diesen wichtigen Gegenstand genauer unterrichten will, nehme zur Hand: Knapp, Die Dynamomaschinen für Gleich- und Wechselstrom 1904, S. 129—186. Ausführlicher noch handeln hierüber die Werke von Arnold: Die Ankerwickelungen und Ankerkonstruktionen der Gleichstromdynamomaschinen und die Gleichstromdynamomaschine.

Trommel-Anker, über die wir uns zunächst eine klare Vorstellung machen wollen und müssen.

Man nehme einen Fingerring oder füge die Spitzen des Zeigefingers und des Daumens der linken Hand zum Ringe zusammen. Wickelt man nun einen Faden so um die Finger, daß bei jeder Umwicklung der Faden durch den Ring hindurch gesteckt werden muß, so erzeugt man dem Wesen nach die Ringwicklung oder die Spiralwicklung, weil die einzelnen Drahtwindungen in Form von Schraubelinien um den Ring vorwärtsschreiten. Die Spiralwicklung ist auch deshalb nur anwendbar beim Ring-Anker.

Wickelt man aber ohne Durchstecken den Faden auf den äußeren Umfang unseres „Fingerringes“ als wollte man ein Knäuel wickeln, so entsteht die Trommelwicklung. Fig. 69.

Durch die eigenartige Form der Darstellung wünschte ich zweierlei zu erreichen.

Erstens sollte dem Irrtum begegnet werden, als könne die Trommelwicklung nicht auch als Grundform den Ring haben, vielmehr ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß beide Wickelungen sich nur dadurch unterscheiden, daß bei der Trommelwicklung die ganze Wickelung nur auf dem äußeren oder, (wie bei der Innenpol-Maschine) nur auf dem inneren Umfange liegt, dagegen bei der Ringwicklung zur Hälfte auf dem äußeren, zur anderen Hälfte auf dem inneren Umfange des Ringes zu liegen kommt.

Hierin (und nicht in der äußeren Form des Ankers) besteht der wesentliche Unterscheidungsgrund, was in den Lehrbüchern dem Anfänger nicht immer deutlich genug klar gemacht wird.

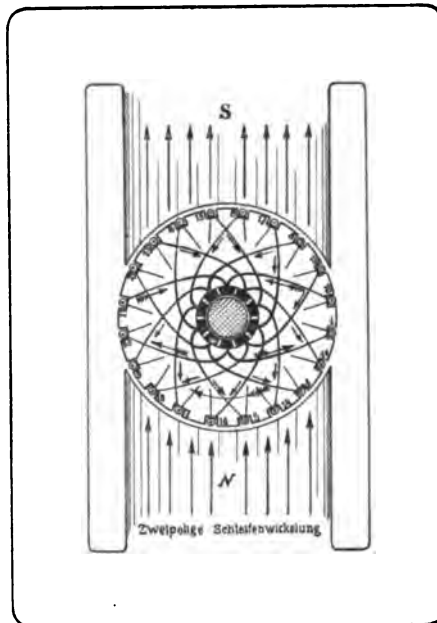
Denken wir bei unserem Ring die radiale Dimension wachsen, so erhalten wir der Form nach den Schuckertschen „Flachring“, der heute kaum noch angewendet wird. Wachsen unseres Ringes in axialer Richtung führt dann auf die als Trommelanker bekannte Form.

Zweitens wollte ich dem Anfänger ein Beispiel dafür geben, daß er mit den einfachsten Mitteln an dem eigenen Körper ohne Zuhilfenahme besonderer Modelle und kostspieliger Hilfsmittel sich recht viele Dinge leicht und unzweifelhaft klar machen kann.

Bei der Trommel-Anker-Wicklung liegen die Wickelungen in Längs-Nuten, welche die einzelnen Wickelungen gegen tangentielle Verschiebung infolge der Zugkräfte schützen, außerdem ermöglichen, das Ankereisen möglichst dicht an die Polflächen heranzubringen. Die Wickelungen werden gegen die Wirkung der Zentrifugalkraft durch Bandagen geschützt, wenn sie auf dem äußeren Umfange der Trommel liegen.

Wickelungs-Schritt. Fig. 69 zeigt durch Pfeile, dicke und dünne Linien und die aufeinanderfolgenden Zahlen 1 bis 20 das Fortschreiten der Wickelung für einen Trommelanker. Beginnen wir mit 1, so deutet die kurze dünne Linie die Windung auf der hinteren Stirnfläche der Trommel auf die 1 gerade

Fig. 69.



gegenüberliegende 2. Von 2 gelangen wir auf der vorderen Stirnfläche längs der dicken Linie über den betreffenden Lamellenstreifen des Kollektors nach 3. Von 3 kommen wir in entsprechender Weise nach 4 usw. bis wir schließlich über 20 wieder beim Ausgangspunkte 1 eintreffen.

Für den Wicklungsschritt gibt es bestimmte Regeln und Formeln und danach entworfene Tabellen, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann.

Doch nun zu unseren Verbesserungen!

Bei der Ringwicklung wird nach unserer obigen Darstellung nur der auf dem äußeren Umfange liegende Teil bei der Drehung des Ankers von den Kraftlinien geschnitten. Der übrige Teil jeder Wicklung dient nur gleichsam als Brücke für den Übergang der Induktionsströme und verschwächt deshalb auch noch den Strom durch seinen Ohmschen Widerstand. Dafür liegen aber die einzelnen Windungen nebeneinander und lassen sich einzeln leichter nachsehen und auswechseln.

Beim Trommelanker liegen die Windungen nur auf dem äußeren oder nur in dem inneren Umfange, deshalb mit Ausnahme der kurzen über die Stirnflächen verlaufenden Stücke ganz im Wirkungsbereiche der Kraftlinien.

Bei je einer Umdrehung schneidet jede der beiden Hälften einer Wicklung zweimal dieselben Kraftlinien. Während bei der Ringwicklung das nur der außen liegende Teil, also etwa nur eine Hälfte jeder Wicklung tut. Aber die Windungen liegen bei der ursprünglich angewandten Trommelanker-Wicklung wie die Fäden eines Knäuels aufeinander. Wollte man also nur eine einzige überwickelte Windung nachsehen, so mußte man sämtliche darüberliegende Windungen abwickeln. Deshalb zog man früher vielfach die Ringwicklung vor, wiewohl sie aus dem oben angeführten Grunde nur halb so gut wirkt als die Trommelwicklung.

Schablonenwicklung: Schleifen- und Wellen- (oder Zickzack-) Wicklung.

Bei den heutigen verbesserten Maschinen stellt man die einzelnen Spulen nach der Schablone her, so daß sie entweder Schleifen (Fig. 70) oder im Zick-

Fig. 70.

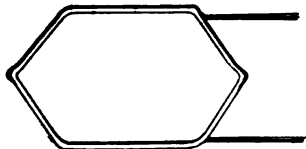
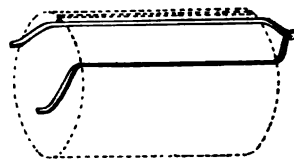


Fig. 71.



zack hin- und herlaufend eine Art Wellen- (Schlangen-) Linie (Fig. 71 und 72) bilden. Man nennt auch wohl die Schleifenwicklung Parallelwicklung; dagegen die Wellenwicklung auch Serienwicklung. Diese „Schablonenwicklungen“ werden dann im fertigen Zustande in richtiger Weise in die Längs-Nuten der Trommel-Anker gebettet, so daß man von den schuppenartig aufeinander liegenden Wicklungen einzelne leicht auswechseln kann.

Man hat nur diejenigen, von welchen sie überdeckt werden, soweit es nötig ist, aufzukippen und die Lötstellen zu lösen, an welchen sie mit den Nachbarn zusammenhängen. Die Schablonen-Wicklungen sind derart eingerichtet, daß man die beiden Hälften auseinanderbiegen kann, etwa wie die Bügel einer Handreisetasche, um sie nach Erfordernis in zwei einander näher oder ferner liegende Nuten einlegen zu können.

Schleifen- und Zickzack- (oder Wellen-) Wicklungen können immerhin so eingerichtet werden, daß die Wicklung vorzugsweise auf dem Trommelumfange liegt und nur noch auf der dem Kollektor (bezw. den Schleifringen) zu-

gekehrten Trommel-Stirnfläche kurze Drahtlängen verlaufen, die also die Kraftlinien nicht schneiden. Liegen die Pole nicht um den Trommelumfang herum, sondern im Innern der Trommel (Innenpolmaschinen), so liegen die Wickelungen natürlich im inneren Umfange der Trommel.

Daß keinesfalls die Schablonenwickelungen mit ihren hin- und zurücklaufenden Wicklungshälften unter demselben Pole oder unter gleichnamigen Polen liegen dürfen, versteht sich von selbst, weil sonst die Induktionswirkung in den Hälften sich aufheben würde. Verlegt man den Kollektor auf den Trommelumfang, so fallen auch sozusagen die „toten“ Stirndrähte noch fort. Nebenstehende Skizze (72) stellt die abgewickelte Wellenwicklung einer Wechselstrom-Maschine dar.

#### Zusammenstellung.

Sämtliche Ankerwickelungen lassen sich also nach den voranstehenden Begründungen einteilen in:

1. Ringanker-W. oder Spiral-W., weil dieselben nur beim Ringanker ausgeführt werden können und die Windungen in Form von Schraubenlinien um den Ring des Ankers verlaufen; ferner
2. Trommel-Anker-, oder Schablonen-W., unter denen man nach dem Verlaufe der Windungen unterscheidet:
  - a) Schleifen-W., wenn die hin- und zurückgehenden Windungen Schleifen bilden,
  - b) Wellen- oder Zickzack-W., wenn die Windungen nach derselben Richtung im Zickzack auf- und niederlaufen.

Fig. 72.

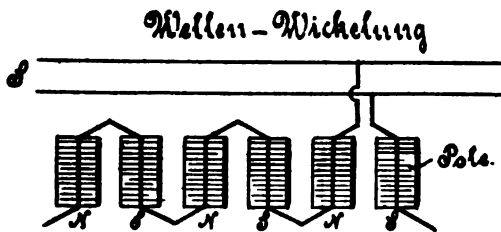
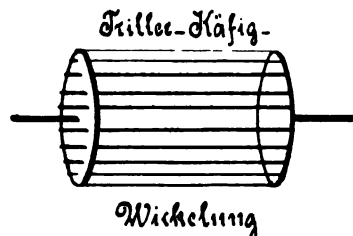


Fig. 73.



Kurzschluß-Anker. Käfig- (Trillerkäfig-) oder Einzel-Schleifenwicklung (Fig. 73).

Noch einfacher ist die sog. Käfig- oder „Trillerkäfig“-Wicklung, die ihren Namen wohl dem Käfig entlehnt hat, in welche man Eichhörnchen einpfercht und der von dem darin herumlaufenden Tierchen in Drehung versetzt wird.

Diese für Induktions-Elektromotoren bestimmte Wicklung besteht aus einzelnen Kupferstäben, welche parallel der Ankerachse in der Mantelfläche einer geblättern Eisen-Trommel liegen und an den beiden Stirnseiten durch Kupferringe miteinander leitend verbunden, d. h. „kurz geschlossen“ sind.

Man nennt derart eingerichtete Anker „Kurzschlußanker“ D. R. P. 51 083 der A. E. G. Berlin.

### Der Elektromotor (abgekürzt E M.).

Einleitende Bemerkungen. In einer Dynamomaschine, welche man durch Aufwand einer mechanischen Arbeit in einem Magnetfeld in Drehung versetzt, wird eine elektromotorische Kraft und durch diese ein elektrischer Strom erzeugt, der an den Bürsten abgenommen, nach außen durch das Leitungsnetz fließt.

Wird umgekehrt diesem Generator von außen durch die Bürsten Strom zugeführt, so wird er in einen Elektro-Motor verwandelt, der die Strom-Arbeit in mechanische Arbeit zurückverwandelt. (Gesetz der Umkehrbarkeit.)

Der Elektro-Motor ist also eine Umkehrung des Elektro-Generators und über nimmt naturgemäß auch die Eigenschaften des letzteren. Dementsprechend entsteht in den Anker-Windungen eines EM's eine elektromotorische Gegenkraft, die einen Gegenstrom veranlaßt, welcher dem Speisestrome entgegenwirkt, mit diesem sich ins Gleichgewicht setzt, somit innerhalb gewisser Grenzen selbstregelnd auf den Gang des Elektromotors einwirkt.

Daß das Auftreten einer selbstregelnden Gegenkraft eine Erscheinung aller Maschinen, überhaupt eine allgemeine Naturerscheinung (mehr oder weniger auf Trägheit der Massen zurückzuführen) ist, wurde schon früher hervorgehoben. Überall wächst die Gegenkraft mit der Geschwindigkeit und hat z. B. beim „Leerlauf“ der Maschinen, also bei größter Umdrehungszahl  $n$  ihren größten Wert. (Gesetz der Wechselwirkung).

Das Gesagte gilt für alle Gattungen von EM, die entsprechend den Generatoren zerfallen in:

I. Gleichstrom-EM.

- a) EM mit Fremderregung,
- b) Hauptstrom-EM,
- c) Nebenschluß- „
- d) Compound- „

mit Ring- und Trommel-Anker, offener und geschlossener Wickelung.

Die Stromrichtung. Fingerregel der linken Hand. Für die Richtung des Stromes im Anker des Elektromotors gilt wörtlich das oben für die Generatoren Gesagte, wenn man linke Hand setzt, wo dort rechte Hand steht.

II. Wechselstrom-EM.

Auch hier gilt, wie bei den Generatoren, daß die Betriebsverhältnisse gekennzeichnet sind durch:

- |                                |
|--------------------------------|
| 1. Tourenzahl . . . . . $n$ ,  |
| 2. Klemmspannung . . . $e$ ,   |
| 3. Stromstärke . . . . . $i$ . |

**Anlassen der Elektromotoren.**

Schließen wir unvermittelt den ruhenden Anker, z. B. von 0,1 Ohm Widerstand an eine Spannung  $e = 100$  Volt, so würde nach dem Ohm-Gesetz ein Strom  $i = 100/0,1 = 1000$  A durch den Anker fließen und diesen nebst Zubehör (Bürsten) verbrennen, falls er nicht durch Schmelzsicherungen geschützt sein sollte.

Schalteten wir dagegen einen Widerstand von 10 Ohm vor, so würde nur noch ein Strom  $i = 100/10 = 10$  A ohne Gefahr durch den Anker fließen und diesen in bestimmte Umdrehungszahl versetzen. Die im Verlaufe der Drehung induzierte elektromotorische Gegenkraft und der dadurch veranlaßte Gegenstrom gestatten nun mehr und mehr Widerstand auszuschalten, bis die Maschine unter Kurzschluß, also selbst ohne den obigen Widerstand 0,1 Ohm regelrecht läuft und arbeitet. Diese Schilderung sollte zahlenmäßig den Beweis liefern, daß der ruhende Anker eines EMs nicht unvermittelt an eine Netzspannung angeschlossen werden darf, daß er vielmehr mittelst eines Vorschaltwiderstandes („Anlassers“) allmählich „angelasen“ werden muß.

Wiewohl nun der EM von allen Maschinengattungen am vollkommensten seinen Kraftbedarf entsprechend der Arbeitsentnahme regelt, selbsttätig

weniger Strom aus der Quelle entnimmt, wenn er weniger Arbeit zu leisten hat, und dann auch bei besonderer Einrichtung (z. B. als Nebenschluß EM) trotz starker Belastungsschwankungen eine konstante Umdrehungszahl  $n$  sich zu erhalten trachtet, die selten um mehr denn 5% schwankt, so sind dennoch in den meisten Fällen Reguliervorrichtungen auch bei ihm erforderlich, besonders schon um einen regelrechten unschädlichen Anlauf während der Beschleunigungsperiode zu erzielen, wie wir vorhin erkannt haben. Da nun die Hauptbestandteile eines Elektro-Motors, wie bei jeder Dynamomaschine, das Magnetsystem und der Anker sind, so liegt es auf der Hand, daß hier die Regelung und zwar durch richtige Wahl der Größen des Ohm - Gesetzes  $i = e/w$  eingreifen muß.

Im allgemeinen hängt deshalb die regelrechte Umdrehungszahl  $n$  eines EM's ab von der Stärke:

1. der Magneterregung,
2. des Ankerstromes, der durch die Bürsten zugeführt wird.

Soll der EM im allgemeinen beim Regeln der Umlaufzahl während des Ganges, im besonders also auch während der Beschleunigungsperiode, d. h. beim Anlassen und in der Verzögerungsperiode, d. h. beim Endlauf, eine große Sicherheit und Leistungsfähigkeit entwickeln, so muß vor allem das Magnetfeld stark sein, weil dieses mit seinen Kraftlinien den Anker gleichsam umspannt, zügelt, beherrscht. Dann aber muß auch in zweiter Linie der Ankerstrom stark genug, d. h. der Widerstand im Anker möglichst klein sein.

Auch merken wir uns von vornherein, daß im allgemeinen durch:

1. Verstärkung des Magnetstromes (Magnetfeldes)  $n$  verkleinert,
2. " " Ankerstromes  $n$  vergrößert wird;

und leiten hieraus die allgemeine Regel ab, daß man beim

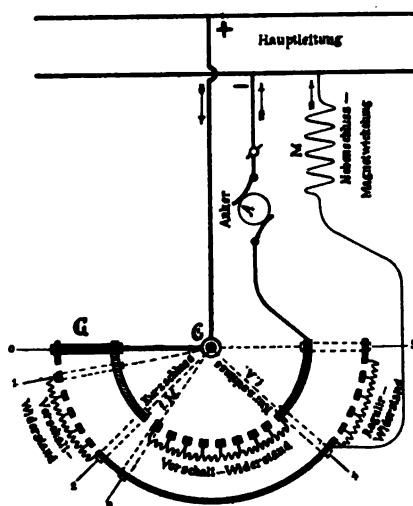
Anlassen des EM.s zuerst die Magnetwicklung, also das Magnetfeld vollständig erregt und dann erst allmählich den Anker mit Strom versieht, d. h. „kurz schließt“, indem man den Widerstand („Vorschaltwiderstand“) vor dem Anker ausschaltet; dagegen beim

Abstellen, umgekehrt, erst den Anker-Vorschaltwiderstand allmählich einschaltet und darauf erst den Strom von der Magnetwicklung abstellt.

Damit der Maschinenwärter hierbei sich nicht versehen kann, ist meistens die Anlaßvorrichtung derart eingerichtet, daß die Forderung mit einer einzigen Hebelbewegung erfüllt wird.

Übrigens ist es selbstverständlich, daß die obige Forderung nur erfüllt werden kann, wenn Magnetwicklung und Ankerwicklung von besonderen Strömen gespeist werden, also bei dem Nebenschluß-EM und bei „Fremderregung“, nicht aber bei der Hauptstrom-Maschine. Abbildung 74 zeigt im allgemeinen die Einrichtung eines Nebenschluß-Anlassers, der auf der folgenden Seite beschrieben ist.

Fig. 74.



### Gleichstrom-Elektromotor.

Es ist bemerkenswert, daß der Wechselstrom-Elektromotor mit Einschluß des Mehrphasen-Elektromotors weit später als der Gleichstrom-Elektromotor für technische Zwecke verfeinert und gebaut ist.

Wir beginnen deshalb im folgenden mit dem Gleichstrom-Elektromotor und zwar mit dem wichtigsten Teile eines solchen, dem Anlasser.

Nebenschluß-Anlasser, Fig. 74. Hauptstromanlasser. Zum Anlassen der Maschine erfolgt mittelst Hebels die Drehung der Gleitschiene G von links nach rechts. In der gezeichneten Stellung O sind Magnet-Schenkel und Anker-Wicklung ausgeschaltet. Bei Stellung 1 fließt ein schwacher Strom von C her durch den „Vorschaltwiderstand“ in die Magnetwicklung, der bei weiterer Drehung und Ausschaltung der Widerstände, welche durch die Wellenlinien dargestellt sind, allmählich anwächst. In Stellung 2 ist der gesamte Vorschaltwiderstand ausgeschaltet, also der Kurzschluß für die Magnetwicklung eingetreten. Ohne diesen Vorschaltwiderstand würde ein elektrischer Funke auftreten, der durch einen sog. „Funkenlöscher“\*) sofort „ausgeblasen“ werden muß. In Stellung 3 fließt nun auch ein schwacher Strom durch den Ankervorschaltwiderstand zum Anker, der bei weiterer Drehung und Ausschaltung der Widerstände wächst. Bei 4 ist der Kurzschluß auch für den Anker vorhanden, so daß dieser vom vollen Strome durchflossen wird. Bei weiterer Drehung bis in die Stellung 5 werden wiederum Widerstände in die Magnetwicklung eingeschaltet, durch welche die eigentliche Regulierung des Magnetstromes, d. h. des „Nebenschlusses“ und damit der Umlaufszahl n bewirkt.

Beim Hauptstromanlasser fällt die Vorrichtung zur Nebenschlußregulierung fort, so daß nur der innere Schleifring mit seinem Vorschaltwiderstande bleibt. Die Figur müßte außerdem noch dahin abgeändert werden, daß die Magnetwicklung mit der Ankerwicklung hintereinander geschaltet ist.

a) Der Gleichstrom-EM. mit Fremderregung. Schließlich sei nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen, daß für alle Elektromotoren als bestes Hilfsmittel zur Regelung der Umlaufszahl ist und bleibt, die Regelung des Magnetstromes, die in besonderen Fällen am besten durch Fremderregung erreicht wird. Man könnte alle diese Vorrichtungen zur Sondererregung des Magnetfeldes als „Nebenschlußregelung“ bezeichnen. Sie zeichnet sich nicht nur durch zuverlässige und pünktliche Wirkung, sondern auch vor der Ankerregelung durch Billigkeit aus, weil in den Anker-Vorschaltwiderständen viel Joulesche Wärme (kostbare Arbeit) vergeudet wird, deren Beseitigung sogar auch noch mit Kosten und Umständen verbunden ist.

In den Magnetwickelungen wird zwar auch Joulesche Wärme vergeudet. Da es aber bei der Magneterregung lediglich auf die Ampère-Windungszahl (AW) ankommt, so kann man durch entsprechende Vergrößerung der Windungszahl und Verminderung des Drahtquerschnittes die wärmeliefernde Stromstärke A möglichst herabmindern. Bei den elektrisch angetriebenen Arbeitsmaschinen, insbesondere den Fördermaschinen aller Art, die große Anforderungen bezüglich der Veränderung und Regelung der Geschwindigkeit trotz großer Belastungsschwankungen stellen, wird heute die Nebenschlußregelung, welche auf die an unsere Abbildung geknüpft Betrachtung hinausläuft, mit Recht vorgezogen. (Leonard-Schaltung.)

---

\*) Wie nach Oersted der Strom den Magneten ablenkt, seitlich wegdrängt, so wird durch ein sehr starkes magnetisches Feld auch der elektrische Funkenstrom so stark seitlich abgelenkt, daß er abreißt und die Funkenbildung sofort aufhört. Man erzeugt deshalb an der Stelle, an welcher Funkenbildung zu erwarten ist, ein starkes magnetisches Feld. Selbst den Flammenbogen einer Bogenlampe würde man durch ein starkes magnetisches Feld ausblasen können. Einen schwachen Lichtbogen würde man sogar mechanisch wegblasen können. Man hat auch Gebläse als Funkenlöscher angewendet, die natürlich für starke Funkenbildung vollständig unpraktisch, also kaum erwähnenswert sind.



Dem Maschinentechniker, der nach einem Vergleich mit den Dampfmaschinen sucht, kommt der Gedanke, daß sich die Magnetregelung wohl mit der Regelung mittelst veränderlicher Expansion, die Ankerregelung mit der Regelung einer Drosselklappe vergleichen ließe. Dem Verlust durch Joulesche Wärme steht hier gegenüber der Verlust durch Kondensationswasserbildung.

b) Der Hauptstrom- oder Serien-EM. Der aus dem Netz kommende, meist konstant erhaltene Hauptstrom fließt durch Magnet- und Ankerwicklung hintereinander.

1. Ist der EM stark belastet, so erfordert er einen starken Ankerstrom, der gleich starke Strom erregt das Magnetfeld. Es bewegt sich also ein stark gespeister Anker in stark erregtem Felde. Die Tourenzahl  $n$  wird klein.

2. Ist der EM schwach belastet, so sind Anker- und Magnetstrom ebenfalls schwach. Die Tourenzahl  $n$  wird groß.

3. Der EM kann zwar weit herab schwach belastet werden, dagegen ganz unbelastet, d. i. bei Leerlauf, würde er „durchgehen“ und Schaden leiden.

Man möchte sagen, er hat die Eigenschaften eines mutigen Rassepferdes, welches bei sehr starker Belastung von selbst kräftig anzieht und langsam geht, bei schwacher Belastung rascheren Gang annimmt und unbelastet durchgehen würde. Man wendet aus obigen Gründen den Hauptstrom EM mit Vorteil an bei elektrischen Kranen und Aufzügen, die bei starken Belastungen, auch bei elektrischen Lokomotiven und Straßenbahnwagen, die bei starken Steigungen (ebenfalls stark belastet) kräftig anziehen sollen. Man wendet ihn aber nicht gern an, wenn völlige Entlastung möglich ist. Ist der EM direkt mit der Arbeitsmaschine gekuppelt, so ist meist die Leerlaufarbeit noch groß genug, um ein Durchgehen zu verhüten.

Umsteuerung. Alle eben genannten zu der Gruppe „Fördermaschinen“ zählenden Arbeitsmaschinen müssen mit einer Umsteuervorrichtung versehen sein, welche eine entgegengesetzte Umdrehungsrichtung der Maschine ermöglicht. Hierbei kann, abgesehen von mechanischen Vorkehrungen (offenen und gekreuzten Riemen und dergl.) die elektrische Umsteuervorrichtung derart eingerichtet sein, daß der Strom entweder im Anker oder in den Magneten umgekehrt wird. Das erste, auch durch die Figur 75 angedeutete Verfahren ist zweckmäßiger, um den Magneten ihre „Remanenz“ zu erhalten. Die Figur ist leicht zu übersehen.

Werden die Kontakthebel  $hh$  mit  $o$  und  $1$  in Berührung gebracht, so fließt der (+) Strom von der unteren Bürste zur oberen. Berührung mit  $o$  und  $2$  hat Umkehr des Stromes zur Folge.

Beispiel. Überschlägliche Berechnung für einen elektrisch angetriebenen eintrümmigen Personenaufzug (Lift), der 4 Personen zu je 75 kg Gewicht hebt.

Die Nutzlast beträgt  $G = 4 \cdot 75 = 300$  kg; dafür sollen 400 kg angenommen werden.

Gewicht der Schale ist etwa  $T = G/2 = 200$  kg.

Ausgeglichen sollen werden  $T$  und  $0,4 \cdot G$ :

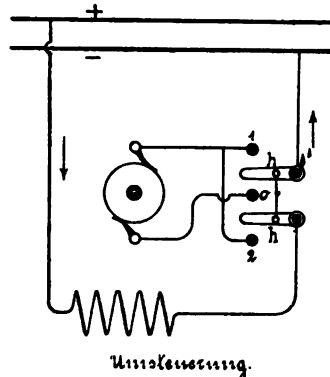
als mittlere Geschwindigkeit sei angenommen  $v = 0,5$  m (höchstens).

Dann ist die zu hebende Überlast

$$Q = 400 + 200 - 0,4 \cdot 400 = 440 \text{ kg,}$$

und es beträgt die vom EM abzugebende Leistung:

Fig. 75.



$$N = \frac{Q \cdot v}{\eta \cdot 75} = \frac{440 \cdot 0,5}{0,6 \cdot 75} = 4,5 \text{ Pferde,}$$

wenn der Wirkungsgrad des Lift angenommen wird zu  $\eta = 0,6$ . Arbeitet der Elektromotor mit  $e = 500$  Volt Spannung und  $\eta = 0,8$  Wirkungsgrad, so wäre sein Stromverbrauch nach der Formel  $N = \eta \frac{i e}{736}$

$$i = \frac{736 \cdot 4,5}{0,8 \cdot 500} = \text{etwa } 8,3 \text{ Ampère.}$$

Der hier in Kürze angedeutete Rechnungsgang kann in vielen anderen Fällen dem Maschinentechner zum Anhalt dienen.

c) Der Nebenschluß-EM. Die Magnetschenkel liegen im Nebenschluß, also mit dem Anker parallel geschaltet. Die Eigenschaften des Nebenschluß-EMs sind deshalb ganz entgegengesetzt denen des Hauptstrom-EMs. Beim Hauptstrom-EM ist die Umlaufzahl  $n$  umgekehrt proportional der Belastung. Der Nebenschluß-EM dagegen sucht trotz verschiedener Belastung und Leistung seine Tourenzahl  $n$  konstant zu erhalten und es wird nur der Anker von verschiedenen, den Leistungen entsprechenden Strömen durchflossen.

Soll nun die Tourenzahl  $n$  dennoch vergrößert werden, so kann die erforderliche Regulierung auf zweierlei Weise vorgenommen werden:

1. Regeln des Anker-Stromes durch Vorschaltwiderstand.

Dieses Mittel läuft darauf hinaus, einen Teil der Bürstenspannung zu vernichten, um dadurch den Ankerstrom bzw. die Umlaufzahl  $n$  zu vermindern. Es bedeutet, wie bereits oben hervorgehoben wurde, eine Vergeudung der Leistung, ist deshalb nicht zu empfehlen. Der Ankervorschaltwiderstand sollte deshalb nur als Anlasser beim An- und Endlauf, nicht aber als Regeler während des Beharrungszustandes der in Bewegung begriffenen Maschine benutzt werden. Nähere Begründung ist oben auf Grund einiger Zahlenbeispiele gegeben.

2. Regeln der Magnet-Stromstärke durch Nebenschlußwiderstand. Die Begründung dafür, daß dieses Mittel das beste ist, wurde ebenfalls bereits oben gegeben.

Durch Vergrößerung des Nebenschlußwiderstandes tritt Verschwächung des magnetischen Feldes und damit Vergrößerung der Umdrehungszahl  $n$  ein.

3. Die Magnetwicklung darf für sich nicht ausgeschaltet werden, während die Ankerwicklung eingeschaltet ist, weil in diesem Falle die Maschine „durchgehen“ würde. (Siehe oben das unter Nebenschlußanlasser Gesagte und die dazugehörige Fig. 74.)

d) Der Compound-EM. Um das Durchgehen zu verhüten, könnte man die oben beschriebene Compoundwicklung wählen.

## Wechselstrom-Elektromotor.

Bei allen Dynamomaschinen mit Einschluß der Elektromotoren, sowohl für Gleichstrom (mit Kollektor, Kommutator) als auch für Wechselstrom (mit Schleifringen), zu denen ich auch die verschiedenen Induktormaschinen (mit Transformatorwirkung) rechne, die also gar keine schleifenden Teile besitzen, treten, wie bereits mehrfach hervorgehoben wurde, zwei wesentliche, nebeneinander bestehende Hauptteile durch gegenseitige (relative) Bewegung in Wechselwirkung, nämlich:

1. das Magnet-System zur Erzeugung des „magnetischen Feldes“, welches durch Kraftlinien (magnetischen Strom) veranschaulicht wird,
2. das Ankerwickelungs-System, in dessen Stromleitern durch Schneiden der Kraftlinien der elektrische Strom induziert wird.

Zwischen diesen beiden Hauptteilen muß während des Betriebes beständig eine durch Relativ-Bewegung veranlaßte Wechselwirkung bestehen. Je nach dieser also unbedingt erforderlichen Relativ-Bewegung zwischen Kraftlinien und Stromleitern lassen sich für die Wechselstrom-Elektromotoren, von denen wir jetzt besonders handeln müssen, drei Fälle unterscheiden.

I. Fall. Hierbei sind eigentümlich (Fig. 76, 77\*):

1. das feststehende Magnet-system (M), zu dessen Erregung an festen Klemmen, also ohne Vermittlung von Bürsten und Schleifringen, von einer Gleichstromquelle (Netz oder Akkumulator) her der erforderliche Gleichstrom zugeführt wird,
2. der (rotierende) Anker (A), welchem mittelst Bürsten (B) und Schleifringen (S) aus dem (ruhenden) Netz der erforderliche Wechselstrom zugeführt wird\*), um ihn (Anker) in Rotation zu versetzen. In Fig. 76 ist eine Mehrphasen-(Drehstrom) Wechselstrom-Maschine dargestellt. Bei Anwendung nur einer Phase entsteht die Einphasenmaschine.

Fig. 76.

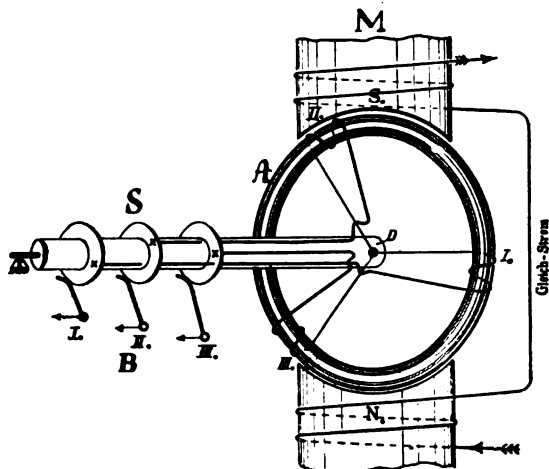
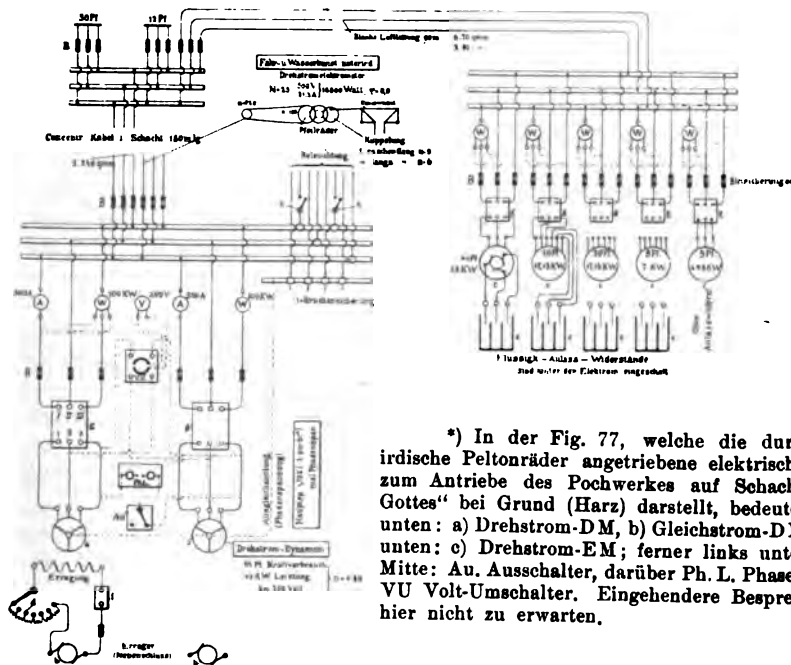


Fig. 77.

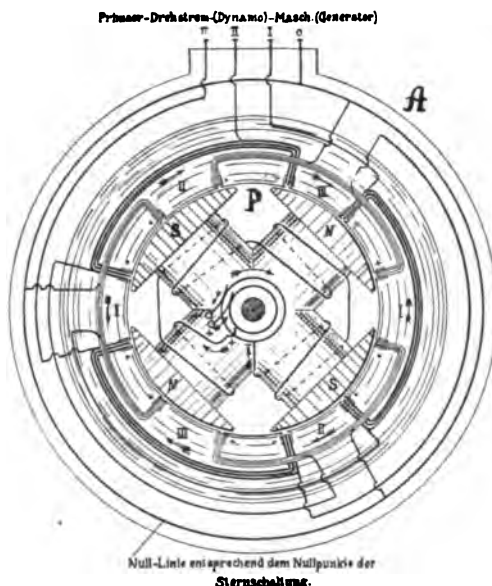


\*) In der Fig. 77, welche die durch unterirdische Peltonräder angetriebene elektrische Anlage zum Antriebe des Pochwerkes auf Schacht „Hülfe Gottes“ bei Grund (Harz) darstellt, bedeuten: links unten: a) Drehstrom-DM, b) Gleichstrom-DM; rechts unten: c) Drehstrom-EM; ferner links unten in der Mitte: Au. Ausschalter, darüber Ph. L. Phasen-Lampe, VU Volt-Umschalter. Eingehendere Besprechung ist hier nicht zu erwarten.

II. Fall. Hierbei sind zu unterscheiden (Fig. 78):

1. das rotierende Magnetsystem (meist in Form eines innenliegenden sog. Schenkelkreuzes oder Polrades [P]), zu dessen Erregung mittels Bürsten und Schleifringen Gleichstrom (wie oben) zugeführt wird\*),
2. der feststehende Anker (A) mit festen Klemmen (also ohne Bürsten und Schleifringen) zur Zuführung des erforderlichen Wechselstromes, um das innenliegende Polkreuz in Drehung zu versetzen (Innen-Pol-Maschinen).

Fig. 78.



III. Fall. (Fig. 79, links oben.) Hierbei stehen einander gegenüber:

1. der feststehende Teil, sog. „Ständer“ („Stator“), mit meist im inneren Umfange eingelegten Wicklungen und festen Klemmen zur Übermittlung von meist 2 oder 3 Wechselströmen, welche mit (um  $\frac{1}{4}$  oder  $\frac{1}{3}$  Periode) verschobener Phase in bestimmten, um  $90^\circ$  bzw.  $120^\circ$  voneinander abstehenden Wellen in regelmäßiger Hintereinanderfolge zugeführt werden\*\*), um die in entsprechender Weise aufeinanderfolgenden magnetischen Felder, ein sog. „Drehfeld“ zu erzeugen,
2. der rotierende Teil, sog. „Läufer“ („Rotor“), welcher meist am äußeren Umfang mit den üblichen Ankerwicklungen ausgerüstet (bei kleineren Ausführungen bis etwa 10 Pferdestärken, als Kurzschlußanker auch Trillerkäfig genannt, ausgeführt), ebenfalls weder Schleifringe noch

\*) Wird der Anker im Magnetischen Felde durch eine Antriebmaschine gedreht, so wirkt die Maschine als Dynamomaschine, die den erzeugten Strom an den Bürsten abgibt. So ist es in der Figur gedacht, die auf diese Weise deutlich die Umkehrbarkeit der Maschinen zeigt.

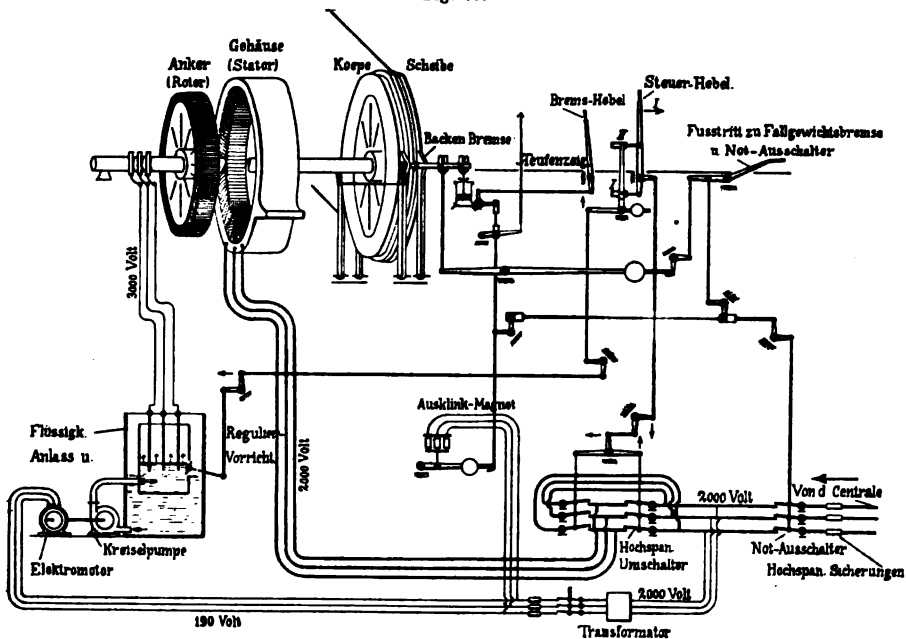
\*\*) Wie durch die aufeinanderfolgenden Nummern I, II, III der Figur 80 angedeutet werden sollte. Die gefederten Pfeile stellen die dazu gehörigen magnetischen Felder dar, welche, in derselben Reihenfolge im Kreise aufeinander folgend, sich gleichsam einander ablösen. Diese scheinbare Drehung des magnetischen Feldes hat zu dem Namen „Drehstrom“ Veranlassung gegeben. Die dem Maschinentechniker längst bekannten Drillingsmaschinen (Dampfmaschinen, Pumpen, Gebläse) zeigen durch ihre verkörperten festen Teile sichtbar, was wir hier bei den Dynamomaschinen gleichsam mit dem geistigen Auge sehen.

Bürsten hat, und in welchen die zur Wechselwirkung erforderlichen elektrischen (Induktions-, sozusagen Transformator-) Ströme induziert werden. (Wir kommen weiter unten hierauf nochmals zurück.)

Aus diesen drei und den früher unter den Gleichstrom-Elektromotoren angegebenen Fällen lassen sich wohl alle anderen in der Praxis gebräuchlichsten Fälle ableiten, auf die zum Teil in der Einleitung zu den Dynamomaschinen unter A hingedeutet wurde.

Erläuterungen zum Falle I. Dem I. Falle entspricht zunächst der einphasige Wechselstrom-Elektromotor. Die Dynamomaschine und der von ihr angetriebene Elektromotor müssen gleichzeitig genau übereinstimmende Wechsel-Zahl und -Phase haben, kurz ausgedrückt einander synchron (syn gleich, chronos Zeit) sein. Geringe Abweichungen vom Synchronismus würden die Übertragung stören, ebenso wie bei zwei schwingenden durch eine starre Verbindung miteinander zusammenhängenden Schaukeln.

Fig. 79.



Der Synchron-Elektromotor läuft auch deshalb unter Belastung nicht an. Er muß vielmehr zuerst unbelastet auf seine regelrechte Umdrehungszahl gebracht und dann erst allmählich belastet und durch Schwungmaßen gegen Störungen geschützt werden. Dann läuft er, wenn keine ungewöhnlichen Störungen eintreten, unter Belastung weiter. Alle anderen Elektromotoren, die an Synchronismus nicht gebunden sind, nennt man „Asynchron“. Der Asynchron-Einphasen-Elektromotor ist der einfachste, aber führt besonders in den Anlaufperioden auf verhältnismäßig großen Stromverbrauch, was aus der vorangeschickten Schilderung auch hervorgeht. Auf seine Vervollkommnung ist besonderer Wert zu legen.

Nach unserer Auffassung können wir zu dem Falle I auch die Mehrphasen-, also auch die in Fig. 76 skizzierte Dreiphasen-Maschine rechnen. Die dargestellte Maschine ist eine stromerzeugende Dynamomaschine, deshalb allgemein „Generator“ genannt. Aber wir könnten diese Maschine ja sofort zum Dreiphasenstrom-Elektro-

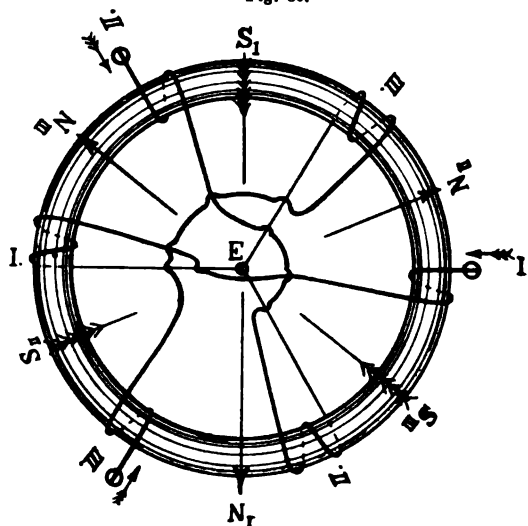
motor umkehren, wenn wir, ohne übrigens irgend etwas zu ändern, die drei Ströme I II III an den Bürsten B einführen. Daß wir bei größeren Ausführungen die Pol-Zahl und die Ankerwickelungszahl vergrößern, ändert nichts am Prinzip.

Erläuterungen zu Fall II. Dieser unterscheidet sich vom Falle I wesentlich dadurch, daß der Wechselstrom durch feste Klemmen, also ohne Unterbrechung und Funkenbildung abgenommen wird. Er eignet sich deshalb für hohe Spannungen und in Räumen, in denen Funkenbildung gefahrdrohend ist.

Auch können Dynamomaschine und dazugehörige Elektromotoren asynchron laufen, ohne daß dadurch Störungen eintreten.

Erläuterungen zu Fall III. Für diesen Fall ist Asynchronismus Regel. Die Elektromotoren heißen deshalb auch „Asynchron-EM.“, auch Induktions-EM. Der letztere Name hat seine Begründung darin, daß sie im Gegensatz zu den Synchron-EM. nicht durch Gleichstrom, sondern durch Induktions- (oder Transformator-) Wirkung erregt werden.

Fig. 80.



Nach dem Faradayschen Induktionsgesetze wissen wir, daß durch Einführung eines Induktionsstromes in die Windungen des Stators ein magnetisches Feld erzeugt wird, welches nun wiederum einen entsprechenden Strom in die Windungen des Rotors induziert. Wenn nun die Wechselströme in bestimmter, oben angegebener Reihenfolge und Phase an bestimmten Stellen des Statorumfanges eingeführt werden, daß sie und die entsprechenden magnetischen Felder im Kreise herumlaufen (Fig. 80), so tun das auch die in dem Rotor erzeugten Wechselströme. Der Rotor kommt in Drehung und hat das Bestreben sich mit derselben Geschwindigkeit zu drehen wie die magnetischen, sich ablösenden Felder. Träte nun aber tatsächlich dieser Synchronismus ein, dann würde die relative Bewegung, also der Geschwindigkeits-Unterschied, zwischen den magnetischen Feldern und dem Rotor Null werden, das Schneiden der Kraftlinien und damit der Induktionsstrom in den Rotorwindungen aufhören.

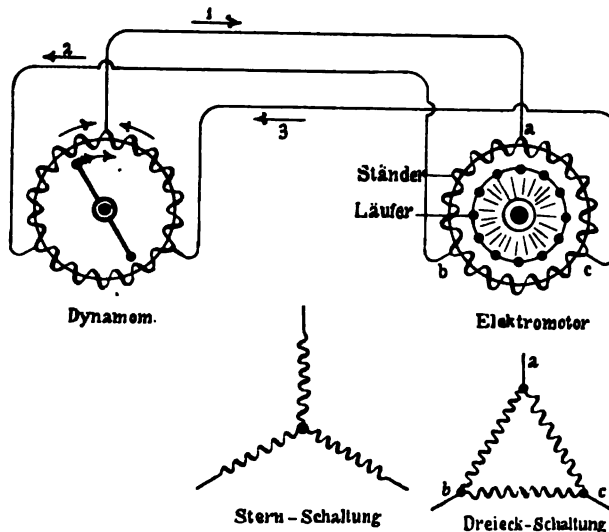
Der Rotor könnte keine Zugkraft mehr ausüben, er müßte zurückbleiben. Damit ist aber sofort wieder das Schneiden von Kraftlinien verbunden, es tritt wieder die Wechselwirkung zwischen Stator und Rotor auf und zwar um so stärker, je größer die relative Bewegung (der Geschwindigkeitsunterschied) ist. Dementsprechend wächst die Zugkraft am Umfange des Rotors, oder mit anderen

Worten, darf die Belastung des Elektromotors wachsen. So sehen wir, daß hier gerade der Asynchronismus, also ein Unterschied zwischen den Umdrehungszahlen  $n$  des magnetischen Feldes und  $n_1$  des Rotors, also ein sog. Schlüpfen  $n_1/n$  erforderlich ist, worauf auch an anderen Stellen hingewiesen ist.

**Dreiphasenstrom-Kraftübertragung.** In Fig. 81 sind Dynamomaschine und der angetriebene Induktions-Elektromotor für Dreiphasenstrom nebeneinander skizziert. Bei der Dynamomaschine ist durch die dicke, mit Pfeil am oberen Ende versehene Linie das rotierende Magnetsystem angedeutet. Die erzeugten drei Ströme 1 2 3 gelangen in erforderlicher Weise in den Ständer (Stator) des Elektromotors, dessen Läufer (Rotor) in Drehung versetzt wird. Schleifende Teile sind am Elektromotor nirgends vorhanden.

Unterhalb ist nochmals angedeutet, daß sowohl die Stern- als auch die Dreieckschaltung angewendet werden kann.

Fig. 81.

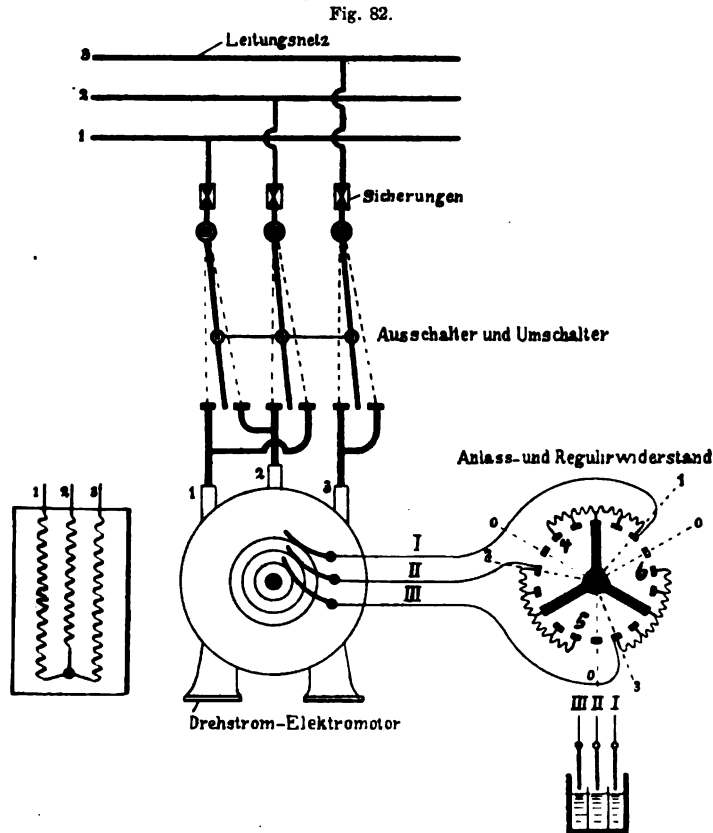


In Fig. 79\*) und 82 sind ebenfalls Induktions-Dreiphasenstrom-Elektromotore dargestellt. Die drei Schleifringe nebst Bürsten und Leitungen I II III mit dem „Anlaß- und Regulierwiderstand“, dessen Drahtwiderstände auch durch Flüssigkeitswiderstände (Wasser mit Soda) ersetzt werden können, haben nichts mit der Erzeugung der Induktionsströme zu tun, sondern vielmehr den Zweck, den Strömen in den Läuferwickelungen einen längeren oder kürzeren Weg, bezw. größeren oder kleineren Widerstand zu geben. Werden die drei Arme des Gleithebels auf 1 2 3 gedreht, so schließen sie die drei Drähte I II III kurz. Werden die Arme auf die Kontakte 4 5 6 eingestellt, so ist der größte Widerstand in die Wicklung des Läufers (Ankers) eingeschaltet. Und verschiebt man die Arme auf 0 0 0, so ist die Stromleitung überhaupt unterbrochen, was auch die untere Figur andeutet, bei welcher alle drei Platten aus der leitenden Flüssigkeit ganz herausgezogen

\*) Die Fig. 79 gibt eine Skizze der elektrisch angetriebenen Fördermaschine für die Zeche „Preußen II“ der Harpener Bergbau-Aktien-Gesellschaft, die unter den Fördermaschinen besprochen wird. Wir betrachten hier nur links oben den Stator, der mit Dreiphasenstrom gespeist wird und den dadurch in Drehung versetzten Rotor, welcher der Deutlichkeit wegen aus dem Innern des Stators herausgezogen gedacht ist.

sind. In vielen Fällen benutzt man die Anlaß-Vorrichtung nur während des Anlaufs des Elektromotors. Ist derselbe auf regelrechte Umdrehungszahlen gebracht, so schließt man im Innern der Maschine die drei Leitungen I II III kurz, wie links von Fig. 82 die Sternschaltung andeutet, und hebt die Bürsten ab.

Umsteuerung für Aufzüge und Fördermaschinen. Auch ist leicht zu übersehen, daß durch Verschiebung der drei Hebel oberhalb der Klemmen der Maschine letztere umgesteuert wird, indem durch die beiden linken Hebel die Stromwege verwechselt werden.



**Der Elektromotor in den praktischen Betrieben.** Hierüber ist im vorhergehenden schon hier und da gehandelt, aber doch noch manches dem Techniker Wichtige nachzutragen.

Wollte man mit einem Worte die erste Frage, wer verhalf der elektrischen Kraft-Übertragung und -Verteilung zu ihrem Siegeslauf bis zu dem heutigen Tage? beantworten, so könnte man kurz sagen, der „Elektromotor“. In der Tat, welcher Unterschied zwischen der älteren zarten Schwester „Licht-Dynamomaschine“ und dem heutigen wind- und wetterfesten, Kälte und Wärme trotzbenden, allen Bewegungswechseln und großen Kraftäusserungen gewachsenen, erforderlichenfalls eingekapselten, selbst gepanzerten derben Bruder „Elektromotor“ der oft in Wind, Wetter, Staub und Schmutz laufenden Straßenlokomotiven, Hafenkrane, Mühlen, der bergmännischen Fördermaschine in ihren oft engen feuchten, mit „schlagenden Wettern“ angefüllten, unterirdischen Räumen, der hüttenmännischen Walzenstraßen



und Stahlwerke mit ihren Staubwolken, Funkenregen, herausfließenden Stahlströmen. Gegen welche Stöße und Überanstrengungen muß er gewappnet sein, dessen Wohl und Wehe nicht immer Wärtern anvertraut ist, die durch Um- und Vorsicht manchen gefährlichen Puff von ihm abhalten könnten!

Sollte nun auch die [zweite] Frage, welche Mittel führten zum Zweck, mit knappen Worten beantwortet werden, so würde gesagt werden dürfen, einerseits die regelrechte konstruktive Durchbildung in allen seinen Teilen nach den Grundsätzen des heutigen Maschinenbaues, andererseits die Anwendung der besten Konstruktions-, Leitungs-, besonders aber Schutzmittel zur sorgfältigen Eindämmung des erzeugten oft sehr hoch gespannten Stromes auf seiner Bahn, insbesondere in den Windungen des Ankers und der Magnete; kurz regelrechte, vorzüglichste, erforderlichenfalls mittelst Glimmer bewirkte „Isolierung“. Die Isolierung spielt hier etwa die Rolle wie die Schutz- und Trutzmittel bei den Wärme-Kraft-Maschinen gegen Dampf- bzw. Wärme-Verluste, Rohrbrüche und dergleichen Schäden aller Art. Aber während man die Umhüllung der Dampfrohre in jeder erforderlichen Dicke und Form leicht anbringen kann, sind es oft nur enge Nuten und Bohrungen in den Umfängen der Anker der Elektromotoren, in denen Bündel von Drahtwindungen mit der erforderlichen gegenseitigen Isolierung untergebracht werden müssen. Gerade deshalb ist der selbst in dünnen Blättchen schon stark isolierende, nicht hygroskopische Glimmer ein unentbehrliches Hilfsmittel bei den Elektromotoren und anderen elektrischen Vorrichtungen geworden, z. B. den Solenoid-Bohrmaschinen. Er verträgt unter Umständen Rotglut.

Trotzdem würden alle hierüber aufgeführten Eigenschaften noch nicht den heutigen Elektromotor kennzeichnen, wenn nicht [drittens] die Möglichkeit, seinen Betriebsstrom und den dadurch bedingten Gang, d. i. im besonderen seine [Umlaufzahl] n in der Minute innerhalb ziemlich weiter Grenzen leicht und sicher, trotz schwankender Belastung, beliebig zu regeln, hinzu sich gesellte.

Die Regelung des Ganges der früher behandelten Dynamo-Maschine bietet keine erheblichen Schwierigkeiten und läuft darauf hinaus, die Antriebmaschine (Wasser- und Dampf-Turbine, Dampfmaschine, Gaskraftmaschine) mittelst vorzüglicher, wirksamer, sparsamer Mittel zu regeln. Dieses Mittel besteht bei den Dampfmaschinen insbesondere in der veränderlichen Expansion, bei der Dynamomaschine selbst im Ein- und Ausschalten von Drähten des „Anlaß- und Regulierwiderstandes“, bei den Turbinen in dem „Servomotor“.

Der Elektromotor, oder die Sekundärdynamomaschine, nun ist zwar im allgemeinen wie seine Primär-Dynamomaschine, von der er seinen Betriebsstrom bekommt, eingerichtet. Es scheint deshalb kein triftiger Grund vorhanden zu sein, der dafür spräche, daß die Regulierung des Elektromotors größere Schwierigkeiten böte, als die der Dynamomaschine. Der Grund liegt aber auch einzig und allein in dem wechselvollen\*) Arbeitsbedürfnis der von dem Elektromotor angetriebenen Arbeitsmaschinen, das sich schon beim „Anlassen“ (Anlauf) äußert, während welcher er die ruhende träge Masse allmählich aus der Ruhe in die gewünschte Geschwindigkeit zu versetzen hat. Nur bei nahezu ununterbrochen laufenden, nicht umzusteuern den Drehstrom — Elektromotoren, von denen kein sanftes Anfahren verlangt wird, ist eine besondere regulierende „Anlaßvorrichtung“ entbehrlich; zumal jede Dynamomaschine, also auch der Elektromotor, innerhalb gewisser Grenzen eine selbst regulierende Gegenkraft in sich erzeugt. Dagegen schon bei einem Elektromotor, der über 10 Pferdekraften leisten soll, ist eine Reguliervorrichtung erforderlich und durchaus nicht einfach, wenn der Elektromotor eine Arbeitsmaschine mit Richtungswechseln (Umsteuerung), ferner mit starken Geschwindigkeits- und Kraftwechseln,

---

\*) Näheres hierüber unter den später behandelten elektrisch angetriebenen Fördermaschinen zu finden.

z. B. eine Fördermaschine, zu denen ich auch die elektrischen Straßenbahnwagen rechne, oder die „Walzenstraße“ eines Eisenwalzwerkes möglichst sanft anzutreiben hat. So braucht der voll besetzte Straßenbahnwagen, selbst wenn von den regelmäßig widerkehrenden, stoßfrei erwünschten An- und Endläufen an den Halteplätzen abgesehen wird, auf ansteigender Strecke und in starken Kurven eine starke Zugkraft, während er auf abfallenden geraden Strecken sogar gebremst werden muß. Heute bauen die hervorragendsten Firmen Schacht-Förder-Elektromotoren von mehreren 1000 Pferdekraften, die allen gerechten Forderungen zuverlässig genügen. (Siehe unter Fördermaschinen.)

**Nutzleistung N. Güteverhältnis (Wirkungsgrad)  $\eta$  eines Hauptstrom-Elektromotors, abhängig von seiner Geschwindigkeit v.**

In dieser Betrachtung soll das Verhalten der Hauptstrom-Elektromotoren dargelegt und durch eine Schaulinie, die sog. „Geschwindigkeits-Charakteristik“ veranschaulicht werden, wie es von Gisbert Kapp, der sich um die Theorie und Praxis der Dynamomaschinen hohe Verdienste erworben hat, zuerst (Elektrician. 29. Dez. 1883) geschehen ist. Durch ein allbekanntes Beispiel aus der Praxis möchte ich zunächst vorbereiten.

Wenn wir den Kurbelgriff eines Haspels mit der Geschwindigkeit v m im Kreise herumdrehen und dabei in der Richtung des Kurbelgriff-Kreises, also in der Richtung v, eine gleichbleibende Kraft P kg aufwenden, so ist die von dieser Kraft verrichtete Leistung

$$L = P \cdot v \text{ mkg, oder}$$

$$N = \frac{P \cdot v}{75} = \frac{1}{71620} nRP^*) \text{ Pferdekraften,}$$

wenn unter R cm der Hebelarm der Kraft, also die Kurbellänge und unter n die Umdrehungszahl in 1 Minute verstanden wird.

Es ist klar und wird durch obige mathematische Ausdrücke bestätigt, daß diese Leistung wesentlich von der Geschwindigkeit v m (bezw. von n) abhängt und für eine bestimmte unserer Körpereigenschaft entsprechende Geschwindigkeit am größten wird.

Denn für v = Null, ist L = P · Null = Null und

ebenfalls „ v = sehr groß, L = Null · v = Null, da sich in unserem „trägen“ Körper gleichsam eine Gegenkraft bildet, die jene Kraft P zu Null herabdrückt, wenn wir denselben zwingen jene übermäßige Geschwindigkeit zu erzeugen. Zwischen diesen Grenzwerten von v muss eine günstige Geschwindigkeit liegen, bei der wir imstande sind, dauernd die größte Arbeitsleistung P · v zu erzeugen, Was übrigens hier von der Arbeit an der Kurbel, für die wir gewissermaßen ein Gefühl haben, gesagt ist, gilt für unzählig viele andere, wenn nicht für alle Bewegungsvorgänge an unseren Maschinen.

Wir wollen nun dieses Beispiel, welches nur als Gleichnis dienen sollte, für die Gangart des Hauptstrom-Elektromotors zu verwerten, vorher aber noch möglichst kurz anzudeuten suchen, in welcher Weise in den Ankerdrähten des Elektromotors eine entsprechende elektromotorische Gegenkraft zustande kommen muß. Jeder Elektromotor ist eine Dynamomaschine und äußert deren Eigenschaften selbst dann, wenn er als Elektromotor mechanische Arbeit an seine Ankerwelle abgibt, d. h. er erzeugt in seinen Ankerdrähten einen Strom, den er erzeugen

\*) Die Ableitung dieser grundlegenden Formel, auf die wir uns hier nicht einlassen dürfen, ist zu finden in meiner „Technischen Mechanik“ S. 95. Die Zusammengehörigkeit dieser Formel mit denen der Elektrotechnik ist später unter den „Andeutungen über die Berechnung der wesentlichsten Bestandteile der Dynamomaschinen und Elektromotoren“ gegeben.

würde, wenn er tatsächlich als Dynamomaschine durch eine mechanische Triebkraft (Turbine, Dampfmaschine) angetrieben würde. Dieser Strom ist um so stärker, je schneller der Anker läuft und wirkt als Gegenstrom dem von dem Leitungsnetz dem Elektromotor zugeführten Strom entgegen, drängt ihn gewissermaßen zurück. Wären diese Ströme einander gleich, so würde der Überschuß des Netzstromes über diesen Gegenstrom Null, also auch die an die Elektromotorwelle abgegebene mechanische Arbeit Null sein. Tatsächlich muß der treibende Strom um soviel größer sein, daß er die zur Überwindung der Reibungswiderstände im Innern der Maschine erforderliche Leerlaufarbeit verrichten kann. Doch kehren wir jetzt zur Bestimmung der Charakteristik zurück.

Zunächst soll vorausgesetzt werden, daß der Elektromotor aus dem Leitungsnetz einer Zentralen jede beliebige Stromstärke  $i$  bei konstanter Spannung  $e$  entnehmen kann.

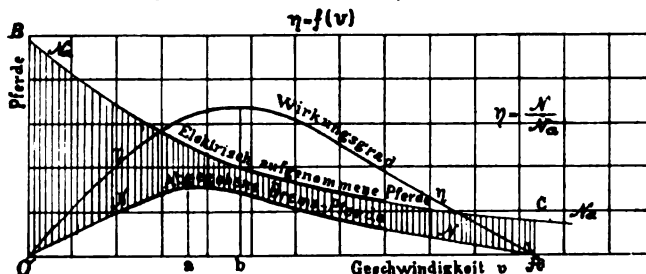
Zur Ausführung des Versuches ist ein Pronyscher Bremszaum um die Ankerwelle gelegt, um

1. die Geschwindigkeit  $v$  bzw. Umdrehungszahl  $n$  auf jede gewünschte Größe zu bringen,
2. die Nutzpferdekräfte zu bestimmen, welche bei diesen Geschwindigkeiten auf die Welle übertragen werden.

Fig. 83.

### Wirkungsgrad

eines Hauptstrom-Elektromotors, als Funktion d. Geschw.



Die einzelnen den Beobachtungen entsprechenden Linien der Fig. 83 haben folgende Bedeutung:

Auf der wagerechten (Abszisse)  $OA$  sind die verschiedenen Geschwindigkeiten  $v$ , dagegen in der Richtung der lotrechten (Ordinate)  $OB$  die Pferdekkräfte  $N_a$  abgetragen. Es stellen dann dar:

1. die Ordinaten der Linie  $N_a$  die bei den einzelnen Geschwindigkeiten  $v$  aus dem Netz aufgenommenen elektrischen, durch Voltmeter und Ampèremeter in bekannter Weise bestimmten Pferdekkräfte,
2. die Ordinaten der Linie  $NN$ , die an den Bremszaum bzw. die Welle abgegebenen Nutzpferde\*),
3. die Ordinaten der Linie  $\eta$  die den einzelnen Geschwindigkeiten entsprechenden Güteverhältnisse (Wirkungsgrade)  $\eta = N/N_a$ .

Wir bremsen jetzt die Ankerwelle so fest, daß  $v = \text{Null}$  ist. Dann entspricht diesem Ruhe-Zustande der Nullpunkt oder Anfangspunkt  $O$  des Koordinatensystemes, obwohl die Stärke des Stromes, der ungehindert durch die Ankerdrähte des Elektromotors fließt, also auch  $N_a = OB$  am größten ist. Die

\*) Die Handhabung des Bremszaumes, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, ist kurz angegeben in meinem Lehrbuch: „Das Maschinenwesen“ Seite 16 u. ff.

Arbeit des Stromes wird in den Drähten des Ankers in Wärme umgesetzt, die letzteren vernichten könnte, wenn dieser Zustand lange genug anhielte. Die Nutzleistung des ruhenden Elektromotors ist selbstverständlich  $N = \text{Null}$ . Die Kurve  $N$  beginnt also im Nullpunkte, während  $N_a$  oben bei  $B$  mit ihrem größtem Werte ansetzt.

Wird dagegen der Bremszaum ganz gelöst, so stellt sich bei diesem „Leerlaufe“ bald die größte mögliche Geschwindigkeit, dargestellt durch  $v = O A$  ein. Die Nutzleistung ist dann ebenfalls gleich Null. Auch die absolute Leistung ist bis auf den Wert  $N_a = A C$  heruntergegangen, weil infolge der mit der Geschwindigkeit wachsenden elektromotorischen Gegenkraft im Anker die Stromentnahme aus dem Netz zurückgehalten wird und nur noch der geringen „Leerlaufarbeit“ entspricht. Daher kommt es auch, daß die Leerlaufs-Geschwindigkeit nur bis zu einer äußersten Grenze wächst, was übrigens, wie bereits oben angedeutet wurde, eine allgemeine Erscheinung ist.

Trägt man für andere Geschwindigkeiten die Werte  $N$ ,  $N_a$ ,  $\eta$  auf, so erhält man die betreffenden Kurven unserer Figur. Dieselben zeigen, daß für  $v = O a$  die Nutzleistung, für  $v = O b$  der Wirkungsgrad am größten ist. Die in die gestrichelte Fläche fallenden Ordinatenanteile stellen die Verluste an den betreffenden Stellen dar. Für den größten Wert des Güteverhältnisses, also für die Geschwindigkeit  $O b$ , ist der Verlust am kleinsten, die Kurven  $N$  und  $N_a$  treten an dieser Stelle am nächsten aneinander. Die Geschwindigkeit  $O b$  sollte für die Konstruktion des Elektromotors und für den Betrieb desselben zum Anhalten genommen werden, weil letzterer hierbei am wirtschaftlichsten ist. Viel weniger wirtschaftlich ist die Geschwindigkeit  $O a$ , wiewohl sich für dieselbe die größte Nutzleistung ergibt. Es mag noch besonders betont werden, daß der größte Wert des Güteverhältnisses  $\eta$  durchaus nicht mit dem größten Werte der Nutzleistung  $N$  zusammenzufallen braucht und daß man bei Einrichtung eines möglichst wirtschaftlichen Betriebes mehr Gewicht auf Gewährleistung eines bestimmten Güteverhältnisses als einer bestimmten Nutzleistung zu legen hat. Ich glaubte solches besonders hervorheben zu müssen, weil in der Technik nicht immer streng genug hierauf geachtet wird, und weil das, was hier für den Hauptstrom-Elektromotor gefunden ist, in gewisser Weise für alle Maschinen, nicht allein die elektrischen, gilt.

Durch die dick ausgezogenen Kurventeile sollen die Grenzen der Geschwindigkeiten angedeutet werden, innerhalb welcher man den Hauptstrom-Elektromotor regelrecht mit Nutzen ohne zu starke Erwärmung laufen läßt.

Für kurze Zeit sind Geschwindigkeiten außerhalb dieser Grenzen nicht zu umgehen. Sie kehren z. B. bei elektrischen Wagen regelmäßig wieder bei stark ansteigenden Strecken, wo die erforderliche Leistung ungewöhnlich groß und auf wagerechten Strecken, auf denen die erforderliche Leistung ungewöhnlich klein ist.

Um im Betriebe die Geschwindigkeit elektrisch zu regeln, ist die früher erwähnte Reguliervorrichtung, die bei den elektrischen Straßeneisenbahnen auch wohl „Kontroller“ genannt wird und meist Zylinderform hat, erforderlich.

Der Kappsche Gedanke ist nicht nur wertvoll für die elektrischen Maschinen, sondern auch praktisch verwertbar in der übrigen Maschinentechnik. Auch zeigen die Schaulinien genau genug eine allgemein geltende Tatsache, die meines Wissens Redtenbacher zuerst für die Turbinen theoretisch feststellte, daß nämlich die günstigste Geschwindigkeit gleich der halben Leerlaufgeschwindigkeit sei.

Ein entsprechendes Gesetz erfüllen wir bei unseren Wasserrädern und Turbinen (die Dampfturbine nicht ausgeschlossen), wenn wir die Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades halb so groß als die Eintrittsgeschwindigkeit des freien Strahles machen.

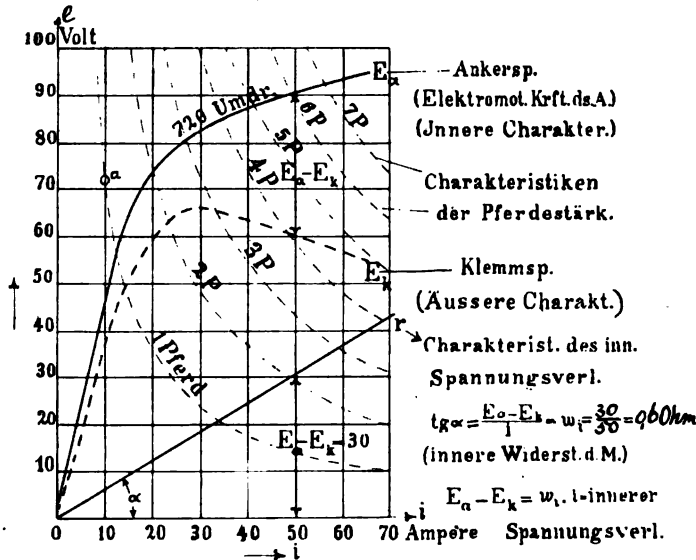
### Die Charakteristik der Dynamomaschinen und Elektromotoren.

So nennt man nach Deprez seit 1881 diejenigen Kurven, durch welche Hopkinson zum ersten Male im Jahre 1879 an einer Siemenschen Hauptstrommaschine die Eigenschaften dieser Maschinengattung veranschaulichte. Man könnte deshalb diese Liniengruppe auf gut Deutsch passend auch „Eigenschaftslinien“ der Dynamomaschinen nennen.

Sie zeigen, wie alle dergleichen Schaulinien, die gegenseitigen Beziehungen zwischen zwei veränderlichen Größen, wenn die anderen konstant erhalten oder angenommen werden und sind für die Praxis und die Theorie der Dynamomaschinen, sowohl in bezug auf den Entwurf als auch den Betrieb derselben, ebenso aufklärend und unentbehrlich geworden, wie die Indikator-Schaulinien für die Dampfmaschine und andere Maschinengruppen.

Während bei den Dampfmaschinen, Gaskraft- und Petroleum-Maschinen, den Wassersäulenmaschinen, Pumpen, Preßluftmaschinen, Gebläsen die Indikator-Schaulinie, durch ihren Verlauf in den verschiedenen Punkten, die gegenseitigen Beziehungen zwischen dem veränderten Drucke (p) und Volumen (v) der bewegten

Fig. 84.  
Charakteristik einer Siemens Hauptstrom-Dynamom.



Flüssigkeit übersichtlich darstellt und auch ermöglicht, durch ihre Form die Maschine auf ihre Eigenart und Güte, sowie auf ihre Mängel und Unzuträglichkeiten, kurz auf ihre Krankheitserscheinungen und Unarten zu prüfen und ferner auch für eine bestimmte Umdrehungszahl die Leistung in Pferdekraften bestimmen läßt, zeigt entsprechend die Charakteristik einer Dynamomaschine oder eines Elektromotors durch ihre Kurvenform, z. B. für eine bestimmte Umdrehungszahl (n) des Ankers die gegenseitigen Beziehungen zwischen der veränderten Stromstärke (i-Ampère) und den dazu gehörigen Spannungen im Anker ( $E_a$ -Volt), also im Innern, oder auch außen an den Klemmen ( $E_k$ -Volt). Auch läßt sie erkennen, unter welchen Umständen, bei welcher Bauart die Maschine am vorteilhaftesten bzw. wirtschaftlichsten arbeitet und welche Leistungen in Pferdekraften die Maschine verrichtet.

In nebenstehender Figur 84 sind die Charakteristiken der Siemenschen

Hauptstrom-Dynamo-Maschine gegeben, an welcher Hopkinson seine Untersuchungen anstellte. Die untere wagerechte Zahlenreihe bedeutet die Ampère (i), die lotrechte die Volt (e). Als konstante Umdrehungszahl des Ankers ist die Zahl 720 in 1 Minute angegeben. Durch Drehung des Ankers im magnetischen Felde, also zwischen den Polen der Elektromagnete, werden in seinen Windungen elektromotorische Kräfte erzeugt, die von den jeweiligen Stromstärken abhängen und auf der Linie  $E_a$  liegen. Z. B. ist nach der Figur bei  $i = 50$  Ampère die entsprechende elektromotorische Kraft  $E_a = 90$  Volt. Diese Kraft treibt den Strom durch die gesamten Widerstände der Anker- und Magnetwindungen sowie des äußeren Stromkreises. Deshalb ist an den Klemmen die entsprechende Spannung geringer, nämlich nach der Figur nur  $E_k = 60$  Volt, weil  $E_k$  nur den Widerstand im äußeren Stromkreise zu überwinden hat. Es beträgt also auf dem inneren Stromwege der innere Spannungsverlust nach Ohms Gesetz:

$$E_a - E_k = w_i \cdot i = 90 - 60 = 30 \text{ Volt.}$$

Diese Gleichung kann als Spannungsgleichung der Hauptstrom-Maschine angesehen werden, wenn mit  $w_i = w_a + w_m$  der gesamte innere Widerstand in den Wicklungen des Ankers ( $w_a$ ) und der Magnete ( $w_m$ ) bezeichnet wird. Oder mit anderen Worten: Es sind 30 Volt Spannung erforderlich, um allein den inneren Widerstand zu überwinden, der, wie weiter unten berechnet ist, 0,6 Ohm beträgt. Die Kurve für die Klemmspannung  $E_k$  läßt sich am einfachsten aus den unmittelbaren Messungen an den Klemmen mittelst Spannungsmesser und Stromstärkemesser darstellen.

Der innere Widerstand ergibt sich für unsere Maschine aus der Gleichung

$$w_i = \frac{30}{i} = \frac{30}{50} = 0,6 \text{ Ohm,}$$

ließe sich aber auch durch unmittelbare Widerstandsmessungen ermitteln. Dann könnte man umgekehrt auch mit Hilfe obiger Gleichung aus den an der Maschine gemessenen Werten von  $E_k$  und  $w_i$  die Ankerspannungen  $E_a$  für verschiedene Werte von  $i$  berechnen und auftragen. Dieser letzte Weg möchte der gebräuchlichste sein.

Obiges Zahlenbeispiel und die an die Spannungsgleichungen geknüpften Bemerkungen zeigen, daß man imstande ist, für eine gegebene Maschine jeden der vier Werte zu ermitteln, wenn die anderen drei bekannt bzw. durch Versuche ausfindig gemacht sind.

Gibt man der Spannungsgleichung die Form

$$\frac{E_a - E_k}{i} = w_i = \text{tg } \alpha,$$

so zeigt sich zugleich nach unserer Figur, daß der innere Widerstand sich darstellt als trigonometrische Tangente desjenigen Winkels, welchen die Linie  $r$  mit der Grundlinie (Abszisse) einschließt. Die Linie  $r$  ist die Charakteristik der Spannungsverluste und in ihrem wesentlichen Verlaufe eine Gerade, weil die Spannungsverluste  $E_a - E_k$  der Stromstärke ( $i$ ) proportional sind, was auch aus obiger Spannungsgleichung hervorgeht. Nur wenn durch Warmlaufen der Maschine die Spannungsverluste wachsen, krümmt sich die Linie nach oben.

Man bezeichnet die Kurve der Ankerspannungen  $E_a$  als die „innere“, die der Klemmspannungen  $E_k$  als die „äußere“ Charakteristik. Diese für den Betrieb wichtigeren Klemmspannungen werden gewöhnlich mit dem kleinen Buchstaben „e“ bezeichnet.

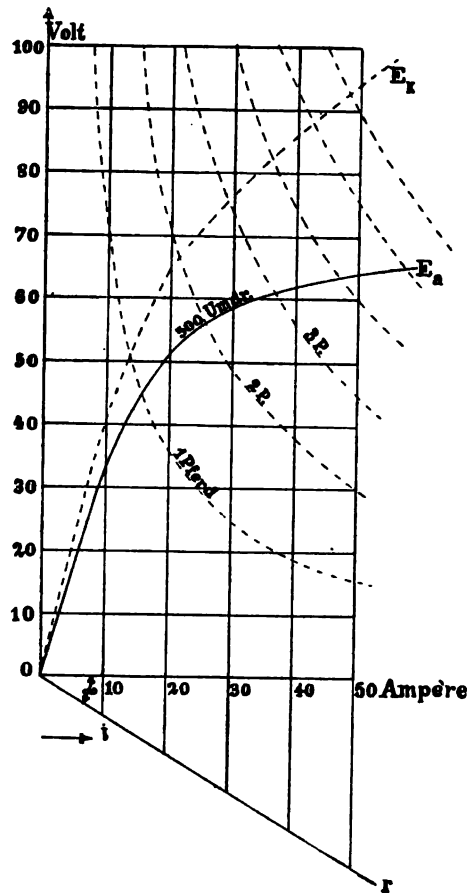
Wie bereits oben hervorgehoben wurde, gelten unsere Charakteristiken für ältere Maschinen, die einen starken Abfall der Klemmspannung aufweisen. Bei den neueren Maschinen, die starke Felder und schwache Anker haben, fällt die  $E_k$  am Ende nur ab, wenn die Maschinen überlastet sind. Eine Ausnahme

machen die verschiedenartigen Maschinen mit „offener“ Ankerwicklung für Bogenlichtbeleuchtung. (Kapp, Dynamom. 1904, S. 241).

Die Figur 85 bezieht sich auf dieselbe Dynamomaschine, die aber als Elektromotor für 500 Umdrehungen benützt ist. Sie empfängt den Strom an den Klemmen aus der Leitung, während die Dynamomaschine denselben an den Klemmen an die Leitung abgab. Da der Strom auf seinem Wege im Innern des Elektromotors an Spannung verlieren muß, liegt jetzt umgekehrt  $E_a$  unterhalb  $E_k$ , also die „innere“ Charakteristik unter der „äußeren.“

Fig. 85.

**Charakteristiken eines Siemens Hauptstr.-Elektromotors**



**Leistungslinien.** Unsere Charakteristiken geben nach Thompson auch die geleisteten Pferdekräfte an:

Ein Strom von der Spannung  $e$ -Volt und der Stärke  $i$ -Ampère leistet

$$\frac{e i}{736} = N\text{-Pferdekräfte.}$$

Demnach geben alle Linien unserer Figuren, deren einzelne Punkte bezw. den Produkten

$$e i = 1.736; 2.736; 3.736 \text{ entsprechen:}$$

$$1 \quad ; 2 \quad ; 3 \text{ Pferdekräfte an.}$$

So leistet z. B. bei unserer Dynamomaschine für  $i = 50$  Ampère der Ankerstrom (Charakteristik  $E_a$ ) mit seiner Spannung 90 Volt  $\frac{90 \cdot 50}{736} \sim 6$  Pferde, dagegen der „äußere“ Strom (Charakteristik  $E_k$ ) mit seiner Klemmspannung 60 V nur etwa 4 Pferde. Es gehen demnach bei dieser Stromstärke 2 Pferde im Innern der Maschine verloren.

Die Leistungslinien, für welche nach der vorhergehenden Betrachtung im allgemeinen die Gleichung:

Produkt der Veränderlichen = Konstante

gilt, sind, wie die bekannte Mariottesche Linie, für welche dieselbe Gleichung (p. v = Konst) gilt, gleichseitige (oder rechtwinkelige) Hyperbeln.

**Besprechung der Charakteristik der Hauptstrom-Maschine.** Bei der Hauptstrom-Dynamomaschine (Fig. 84) beginnt die Charakteristik  $E_a$  etwas über Null. Daraus muß geschlossen werden, daß wegen eines geringen magnetischen Rückstandes (Remanenz) in den Feldmagneten bereits eine elektromotorische Kraft für  $i = 0$  vorhanden ist. Gleich im Anfange für geringe Zunahmen von  $i$  steigt die Charakteristik steil an und beginnt erst bei etwa  $i = 20$  Ampère sich zu verflachen. Es wächst also anfangs der Magnetismus des Feldes und damit die elektromotorische Kraft schnell, dann langsamer, wenn die Feldmagnete sich ihrer Sättigung nähern. Die Folge davon ist, daß sich die Charakteristik  $E_k$  von  $i \geq 30$  Ampère sehr stark nach unten biegt, weil der Spannungsverlust  $E_a - E_k$  mit der Stromstärke zunimmt, was auch schon aus der Spannungsgleichung hervorgeht. Übrigens wirkt bei starken Strömen der Anker noch entmagnetisierend auf die Feldmagnete. Auch tritt eine Verminderung der elektromotorischen Kraft durch Überanstrengung der Maschine ein, was unter Umständen sogar nützlich ist und bei eintretendem Kurzschluß das Durchbrennen der Maschine verhindert.

Im ganzen zeigt, worauf schon Hopkinson bei seinen ersten Messungen hinwies, die  $E_a$  ein ähnliches Verhalten wie die „Sättigungs-Kurve“, welche die Beziehung zwischen dem magnetisierenden Strome und der Magnetisierung eines Elektromagneten veranschaulicht.

Entsprechendes gilt auch für die Charakteristiken des Elektromotors (Fig. 85).

#### Andeutungen über die Berechnung der wesentlichen Bestandteile der Dynamomaschinen und Elektromotoren.

**Einleitende Bemerkungen.** Eine ausführliche Berechnung der Dynamomaschinen, als der wichtigsten der Elektrotechnik, ohne welche ein „Lehrbuch der Elektrotechnik“ keinen Wert haben würde, darf in unserem kleinen Leitfaden nicht erwartet werden. Letzterer aber möchte doch wenigstens in folgerichtiger Reihenfolge den Weg, welcher betreten werden muß, andeuten und manche praktische Winke für den Bau der Dynamomaschinen geben.

Aus dem, was früher wiederholt über die Bestandteile, den Zweck und die Wirkungsweise der Dynamomaschinen gesagt ist, geht hervor, daß:

- I. in dem einen Hauptbestandteile, dem „Magnetsysteme“, mittelst stromdurchflossener Windungen (Ampère-Windungen AW) ein Kraftlinienstrom erzeugt wird, der dann
- II. in dem anderen Hauptbestandteile, dem Anker, eine elektromotorische Kraft (EMK) E-Volt induziert.
- III. Die Elektromotorkraft treibt dann den erzeugten elektrischen Strom durch sämtliche Widerstände des Ankers ( $w_a$ ), des Magnetsystemes ( $w_m$ ) und der äußeren Leitung ( $w$ ) und äußert sich



IV. als Klemmenspannung  $e$ -Volt, welche den Strom  $i$ -Ampère durch den Widerstand  $w$  der äußeren Leitung treibt.

Durch diese Darstellung sollte zugleich angedeutet werden, welcher Weg beschritten werden muß, um die Hauptgleichungen zur Berechnung der Dynamomaschinen zu gewinnen. Wir beginnen mit dem äußeren Stromkreise und gehen den vorhin angedeuteten Weg in entgegengesetzter Richtung.

Zunächst wissen wir, daß für jeden Strom die Stromstärke ( $i$ ) wächst mit der treibenden Kraft, bei dem elektrischen Strome mit der Spannung ( $e$ ) und abnimmt mit dem stromhemmenden Widerstande ( $w$ ), daß also das Strom-Gesetz die mathematische Form hat:

$$\text{Elektrische Stromstärke} = \frac{\text{Elektromotorische Kraft}}{\text{Widerstand}}$$

$$i = \frac{e}{w} = \frac{e}{s^1/q}$$

Dieses Ohm-Gesetz gilt auch (worauf Rowland zuerst hinwies) für den magnetischen Stromfluß, der, wie wir bald sehen werden, für die Berechnung der Dynamomaschinen von großer Bedeutung ist. Ferner ist bekannt, daß die Leistung des elektrischen Stromes bestimmt ist durch das Produkt

$$L = e i \text{ Voltampère (VA) oder Watt (W),}$$

$$= e i / 1000 \text{ Kilowatt (KW),}$$

beziehungsweise:  $N = \frac{e i}{75 \cdot 9,81} = e i / 736 \text{ Pferdekräfte.}$

Häufig ist die Leistung der Dynamomaschinen in Kilowatt (KW) angegeben und die Spannung  $e$  in Volt meist vorgeschrieben, dann ergibt sich die erforderliche Stromstärke

$$i = \frac{1000 \text{ KW}}{e} \text{ Ampère für die Gleichstrom-Maschine,}$$

$$i = \frac{1000 \text{ KW}}{\cos \varphi \cdot e} \text{ „ „ „ Wechselstrom-Maschine *)},$$

$$i = \frac{1000 \text{ KW}}{1,73 \cdot \cos \varphi \cdot e} \text{ „ „ „ Dreiphasen-Maschine **).}$$

\*) Beim Wechselstrome wechseln bekanntlich die Spannung  $e$  und die Stromstärke  $i$  un- ausgesetzt zwischen Null und den Höchstwerten (Ordinaten der Scheitel der Sinuskurven). Es kann deshalb von Spannung und Stromstärke im allgemeinen nicht die Rede sein. Vielmehr müssen hier streng unterschieden werden: Augenblickswerte und Durchschnitts- oder Mittelwerte. Die Mittelwerte sind gleich  $0,707 (= \sqrt{2})$  von den Höchstwerten. Bildlich dargestellt ist der Mittelwert durch die Höhe desjenigen Rechteckes, welches mit der Sinusfläche gleiche Grundlinie und Flächeninhalt hat.

In den Formeln bedeuten  $e$  und  $i$  diese Durchschnittswerte oder, wie man sagt, Effektivwerte. Hierbei denkt man sich Werte, welche die Größen des gleichwertigen Gleichstromes haben. Oder durch ein Zahlenbeispiel ausgedrückt. Wenn ein Wechselstrom dieselbe Wärmemenge im durchflossenen Drahte (eines Hitzdraht-Ampèremeter) zeigt, wie ein Gleichstrom von 10 Ampère, so ist die Stromstärke des Wechselstromes 10 Ampère. Die Hitzdraht-Volt- und Ampèremeter sind für Wechsel- und Gleichstrom gleich gut zu gebrauchen.

$\cos \varphi$ , der „Phasen-Faktor“, ist bei induktionsfreier Belastung (z. B. bei Glühlampen-Beleuchtung) = 1, in allen anderen Fällen ist  $\cos \varphi < 1$ , bei guten Ausführungen  $> 0,8$ . (Nachzulesen ist das, was früher am Schluß der Elektromechanik über diese wichtige Angelegenheit unter „Phasenverschiebung“ gesagt ist.)

\*\*) Bei den Dreiphasenstrom-Maschinen unterscheiden wir nach früheren Betrachtungen Stern- und Dreieck-Schaltung.

Bei der Sternschaltung würde man, um von einer Leitung durch die Maschine hindurch in eine der beiden anderen zu gelangen, durch 2, bei der Dreieckschaltung dagegen nur durch je 1 Phase (Wicklung) zu wandern haben.

Mit anderen Worten: bei der Sternschaltung sind 2 Phasen hintereinandergeschaltet, es findet also eine Summierung der Spannungen, dagegen bei der Dreieckschaltung zwar keine

**Grundgleichungen der Elektro-Mechanik und Maschinentechnik im Zusammenhange mit denen der Elektrotechnik.** Die Grundgleichungen der Elektrotechnik allein würden aber wenig Wert für den Techniker haben, wenn wir nicht zugleich die der Mechanik und der Maschinentechnik damit verbänden, um die Grundgleichungen der Elektro-Maschinentechnik zu gewinnen. Denn ohne letztere würden wir doch nicht imstande sein, die speziellen Gleichungen der Elektrotechnik für technische Anlagen verwertbar zu machen.

Um auf allgemein gültiger Grundlage aufzubauen, beginnen wir mit der bekannten Arbeitsgleichung aus der Mechanik, die bei rechter Deutung als die Grundlage der Berechnungen aller Maschinen, also auch der Dynamomaschinen, weil ihre Hauptaufgabe ist, Arbeit zu leisten, angesehen werden kann.

$$1. N = \frac{P \cdot v}{75} = \frac{R \cdot n}{71620} = \frac{QH}{75} = \frac{ei}{75 \cdot 9,81} = \frac{ei}{736} \text{ Pferdekraften, oder wenn die}$$

Gleichung für die antreibende oder widerstehende Kraft aufgelöst wird:

$$2. P = \frac{75 \cdot N}{v} = 71620 \frac{1N}{R n} = \frac{QH}{v} = \frac{ei}{9,81 v} \text{ Kilogramme.}$$

In den Gleichungen bedeuten:

$P_k$  die treibende (auch widerstehende) Kraft am Kolben einer Kolben-Maschine (Wärme-Kraft-Maschine, Wasser-Kraft- oder Arbeits-Maschine) auch Tangentialkraft am Kurbelgriffkreise einer Kaffeemühle, einer Drehorgel, am Umfang eines Rades (Triebrades einer Lokomotive, eines Zweirades, einer Riemenscheibe, eines Zahnrades, oder einer Seiltrommel, einer Fördermaschine, des Ankers einer Dynamomaschine\*), eines Elektromotors\*\*) usw.\*\*\*),

$v$  m der Weg in der Krafrichtung in 1 Sekunde, auch Umfangsgeschwindigkeit,

$N$  die Anzahl der Pferdekraften in 1 Sekunde,

75 mkg das Maß einer Pferdekraft in 1 Sekunde,

$R$  cm der Halbmesser des Rades oder die Kurbellänge in Zentimetern,

Summierung der Spannungen, wohl aber eine Summierung der Stromstärken statt, weil in jedem Eckpunkte 2 Ströme zusammenfließen. Diese Summierungen aber führen wegen der Phasenverschiebung der dreifach verketteten Ströme (auf die wir hier nicht näher eingehen wollen) nicht auf das 2., sondern nur auf das 1,73fache ( $\sqrt{3} = 1,73$ ).

Daraus folgt als Leistung in Kilowatt:

$$KW = (1,73 e) \cdot i \cos \varphi \text{ für die Stern-Schaltung,}$$

$$= e \cdot (1,73 \cdot i) \cos \varphi \text{ für die Dreieck-Schaltung.}$$

Bei der Sternschaltung ist noch auf eine Eigentümlichkeit hinzuweisen, die praktisch ausgewertet wird. Verbindet man die Vereinigungs- oder Neutralpunkte der Dynamomaschine und des angetriebenen Elektromotors mit einander durch einen 4. Leiter, so findet natürlich in diesem Mittel- oder „Null“-Leiter kein Strom statt. Wohl aber kann man zwischen je einem Außenleiter und diesem Nullleiter auch Lampen einschalten, die dann nur unter der Spannung dieser einen Leitung stehen. Wäre also die Effektivspannung eines Außenleiters = 100 Volt, so könnte man gleichzeitig neben den 173 Volt-Elektromotoren zwischen zwei Außenleitern noch 100 Volt-Lampen zwischen je einem Außenleiter und dem Nullleiter einschalten. Von diesem Auskunfts-mittel macht man in den praktischen Betrieben Gebrauch, wenn man in einer derartigen Kraftübertragung auch noch Lampen einschalten will (Wiederholung).

\*) Hier ist  $P$  die Kraft am Umfange des Dynamomaschinenankers, die aufzuwenden ist, um bei der Drehung die stromdurchflossenen Ankerwindungen durch das magnetische Feld zu treiben.

\*\*) Beim Elektromotor ist  $P$  die Kraft, mit welcher die durchflossenen Leiter des Ankers aus dem magnetischen Felde getrieben werden.

\*\*\*) Da wir uns hier nicht auf die Entwicklung der wichtigen Grundgleichungen für  $P$  einlassen dürfen, verweise ich auf Ableitung und Anwendung derselben in meiner „Techn. Mechanik“ S. 95 und S. 105 (Zahlenbeispiele) und auf mein „Maschinenwesen“ (Elementares Lehrbuch zur Einführung in die Maschinenwissenschaften, Kinematik, Elastizität und Festigkeitslehre) S. 5. 12. Hier kam es mir mehr darauf an, anzudeuten, welche allgemeingültige Wichtigkeit obige Gleichungen haben. Ich stellte deshalb absichtlich die verschiedenartigsten Dinge, z. B. Lokomotive, Kaffeemühle, Drehorgel unter der Begriffserklärung des Wertes  $P$  bunt nebeneinander.

n die Anzahl der Radumdrehungen in 1 Minute,  
 Qkg die Menge des treibenden Mittels, z. B. des Betriebswassers in 1 Sekunde,  
 Hm das Gefälle (Potentialdifferenz),  
 e Volt die Klemmenspannung (Potentialdifferenz) des elektrischen Stromes,  
 i-Ampère die Stromstärke im äußeren Stromkreise,  
 9,81 m die Erdbeschleunigung.

Jede der genannten Größen ist zu berechnen, wenn die anderen gegeben sind.

3. Die Spannung e ist meist durch das Maschinensystem oder den Zweck vorgeschrieben (e = 110, 220, 440 Volt für Lichtbetrieb, = 500 bis 700 für Gleichstrom-Elektromotoren, > 700 für Wechselstrom-Maschinen); dann ist i zu berechnen.

4. Die Anker-Elektromotorische Kraft E ist aus e zu bestimmen. Im allgemeinen, aber nur angenähert, kann für Dynamomaschinen bei rohen Überschlagsberechnungen  $E = e \cdot 1,05$ , für Elektromotoren  $E = e/1,05$  angenommen werden.

**Berechnung des Ankers\*).** Nun gilt aber für alle Dynamomaschinen nach Faradays Entdeckung der grundlegende Erfahrungssatz: Die EMK (E) ist proportional der Anzahl der Kraftlinien, welche in 1 Sekunde geschnitten werden; folglich proportional:

der Feldstärke:  $\oint$  oder Kraftlinienzahl auf 1 qcm,

der Länge: l cm des Leiters und

der Geschwindigkeit: v cm/Sek. mit welcher der Leiter l rechtwinkelig die Kraftlinien schneidet.

Leitungswiderstand und „Selbstinduktion“ im Anker-Eisen erschweren das Zustandekommen des gewünschten magnetischen Stroms, müssen deshalb möglichst beschränkt werden.

Aus diesem Grunde wird der Ankerkern aus dünnen (0.7 mm) Blechen besten weichsten (schwedischen) Eisens zusammengesetzt, welche durch isolierende Schichten von aufgeklebtem Papier (auch Ölanstrich) auf je einer Seite, voneinander getrennt sind, um die Foucaultschen Ströme (besser „Wirbelströme“) zu verhüten. Damit der Verlauf der Kraftlinien hierdurch nicht gestört wird, muß diese Zerlegung so vorgenommen sein, daß die Schichten parallel den Faradayschen Kraftlinien, also der Drehrichtung, bezw. senkrecht zu der Richtung der Ankerwicklung, also zur Drehachse liegen. Für die Herstellung der Transformatoren-Kerne gilt dasselbe wie für die Ankerkerne der Maschine. Dagegen ist das Feldmagnet-Eisen (Schweiß-Fluß-Eisen, Dynamo-Stahl oder Mitiseisen aus Gußeisen und Aluminium) meist massiv. Nur an den Polschuhen werden Magnet-Schenkel auch häufig aus Schmiedeeisenblechen zusammengesetzt.

5. Die Abhängigkeit der obigen maßgebenden Größen ist mathematisch ausgedrückt durch die Formel:

$$E^{**}) = \oint \cdot l \cdot v \text{ CGS-Einheiten nach dem absoluten Maßsysteme, oder}$$

$$E = \oint \cdot l \cdot v \cdot 10^{-8} \text{ Volt nach dem praktischen Maßsysteme.}$$

Daraus folgt als Grundgleichung der Dynamomaschinen:

\*) Um meinen Lesern das Weiterarbeiten zu erleichtern, habe ich im folgenden tunlichst mich der Buchstabenbezeichnung und sonstigen Ausdrucksweise der „Hütte“ angeschlossen, deren Bearbeitung sich anlehnt an: Thompson, Die Dynamoelektrischen Maschinen (Deutsch Grawinkel, Strecker-Vesper) 1900 u. 1901. Kapp, Die Dynamomaschine für Gleich- u. Wechselstrom 1904. Arnold und andere.

\*\*) Bemerkenswert sind noch folgende Angaben:

(l · v) ist die in 1 Sek. vom Leiter l bestrichene Fläche, also

$E = \oint (l \cdot v)$  dann die Anzahl der in 1 Sek. vom Leiter l geschnittenen Kraftlinien.

$E = 1$  für  $\oint = 1$ ,  $l = 1$  cm,  $v = 1$  cm, d. h. die Einheit der Elektromotorischen Kraft entsteht, wenn der Leiter von 1 cm Länge in 1 Sekunde eine Kraftlinie schneidet.

$$6. \boxed{E = k \cdot p \cdot \mathcal{C}_a \cdot Z_a \cdot n / 60 \cdot 10^{-8} \text{ Volt}}$$

$$\left. \begin{array}{l} = \mathcal{C} N n 10^{-8} \text{ „ (Thompson, Die Dynamoel. Masch. Bd. I, 1900, S. 59)} \\ = N Z U / 60 \cdot 10^{-8} \text{ „ (Kapp, Die Dynamomaschinen, 1905, S. 121)} \\ = 1/2 p \mathcal{O} N n / 60 \cdot 10^{-8} \text{ „ (Arnold, Die Gleichstrom., Bd. I. 1902, S. 204).} \end{array} \right\} *)$$

Es bedeuten in Formel 6:

E die elektromotorische Kraft,

n „ Umdrehungszahl des Ankers in 1 Minute.

$\mathcal{C}_a$  „ Anzahl der durch den Anker tretenden Kraftlinien (Magnetisierung),

$Z_a$  „ „ wirksamen hintereinander geschalteten Anker-Leiter auf dem äußeren Umfange = 1  $\times$  Anzahl der Windungen beim Ringanker,

= 2  $\times$  „ „ „ „ Trommel-

k etwa 1 bei Gleichstrom-Maschinen, Anker,

„ 2 „ Wechselstrom-Maschinen,

p Anzahl der magnetischen Pol-Paare,

= 1 für zweipolige Maschinen.

Durch die Gleichung 6 wird vollständig und auf die einfachste Weise gekennzeichnet, wie die beiden Hauptbestandteile der Dynamomaschine sich an der Erzeugung der „Elektromotorischen Kraft“ (EMK) beteiligen; und zwar drücken aus:

$\mathcal{C}_a$  die Eigenart des Magnetfeldes,

$Z_a$  „ „ „ Ankers

und n (die Anzahl der Umdrehung des Ankers im magnetischen Felde) die Wechselbeziehung zwischen beiden während des Ganges. Auch zeigt eine einfache Überlegung, daß sich während des Betriebes die EMK einer Dynamo-maschine ändern und regeln läßt,

- a) durch Veränderungen von  $\mathcal{C}_a$ , also die Ampèrewindungszahl (z. i), d. h. dadurch, daß die Stromstärke i durch Fremderregung nach Belieben veränderlich gemacht wird, allenfalls auch durch Reguliervorrichtungen,

Nach Ohm kann man auch setzen:

$$E = i w = \mathcal{G} \cdot l \cdot v; \text{ danach ist}$$

$$i = \frac{v}{w} \text{ für } \mathcal{G} = 1 \text{ und } l = 1,$$

$$i = 1 \text{ „ } w = v.$$

Auch ist die Leistung (Arbeit in 1 Sek.), wenn wir außerdem noch E mit e vertauschen:

$L = i e = \left( \frac{\mathcal{G} l v}{w} \right) e = \frac{\mathcal{G} l e}{w} \cdot v = (\mathcal{G} l i) v = P \cdot v$ , d. h.  $P = \mathcal{G} \cdot l i$  ist in Dynen diejenige mechanische Kraft, welche erforderlich ist, um die vom Strome i durchflossene Leiterlänge l durch die Kraftlinien  $\mathcal{G}$  mit der Geschwindigkeit v fortzubewegen; oder mit anderen Worten, diese Kraft setzen die Kraftlinien dem durchflossenen Leiter l entgegen, der sie mit der Geschwindigkeit v schneidet.

In diesem Sinne läßt sich die Kraft berechnen, mit welcher die Ankerdrähte auf der Ankeroberfläche festgehalten werden müssen, wenn sie sich bei der Drehung des Ankers nicht verschieben sollen. Der Loch- und Nuten-Anker bezweckt diese Verschiebung zu verhindern und ermöglicht außerdem den Zwischenraum zwischen Ankerumfang und den Polschuhen auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Daß obige Kraft P mit der Zentripetal- resp. Zentrifugalkraft nichts zu tun hat, welche die Drahtwindungen auf dem Umfange der Anker bei der Drehung des letzteren nach außen treibt, also zu lockern sucht, ist selbstverständlich. Meine jüngeren Leser möchte ich hiermit noch anregen, den Zusammenhang zu suchen zwischen obiger Gleichung  $L = e i = P \cdot v$  und der vorhergehenden  $P = \frac{75 N}{v} = \frac{e i}{9,81 v}$  Kilogramme, die wir als Tangentialkraft am Umfange der Trommel auffassen können, welche sich mit der Umfangsgeschwindigkeit v dreht.

\*) Um dem Anfänger das Vergleichen der Formeln bei den verschiedenen Schriftstellern zu erleichtern, habe ich hier in Klammern eine kleine Analese gegeben. Gleichwertige Buchstaben stehen untereinander. Es ist verwirrend, wenn derselbe Buchstabe, z. B. N, so ganz verschieden gebraucht wird.

- durch welche Teile der Magnetwickelungen ein- oder ausgeschaltet werden,  
 b) durch Veränderung von  $Z_a$ , was aber weniger gut praktisch ausführbar ist,  
 c) durch Veränderung der Umdrehungszahl  $n$  der Antriebmaschine, z. B. bei Anwendung einer Dampfmaschine durch Veränderung der Expansion.

Bei Konstruktion neuer Dynamo-Maschinen ist jedem der wichtigen drei Faktoren  $\mathfrak{C}_a z_a n/60$  derjenige durch die Erfahrung erprobte Wert zu geben, welcher auf die erwünschte Elektromotorische Kraft führt:

großes  $\mathfrak{C}_a$  führt auf große Magnetquerschnitte zur Herabminderung des magnetischen Widerstandes, also auf große Eisenkonstruktion,  
 „  $Z_a$  „ „ „ Kupferkosten und erschwert die Unterbringung der Windungen auf dem Anker,  
 „  $n/60$  „ „ „ erfordert sorgfältige Konstruktion, Wartung und Schmierung der in Drehung versetzten und der Zentrifugalkraft ausgesetzten Teile.

Man hat zur Erzielung wirtschaftlich arbeitender Dynamomaschinen die knappe Regel aufgestellt:

Viel Eisen, wenig Kupfer, geringer Zwischenraum zwischen Anker und Polschuhen.

Nach der Gleichung 6 kann auch die Anzahl der durch den Anker tretenden Kraftlinien berechnet werden:

$$7. \quad \mathfrak{C}_a = \frac{1}{kp} \frac{E \cdot 60 \cdot 10^8}{Z_a n} \text{ *)}$$

Zahlenbeispiele:

Für eine Gleichstrom-Maschine sei:

$E = 112$  Volt;  $n = 800$  Umdrehungen in 1 Minute;  $Z_a = 120$ ;  $k = 1$ ;  $p = 1$ ; dann sind erforderlich:

$$\mathfrak{C}_a = 7000000 = 7 \cdot 10^6 \text{ Kraftlinien.}$$

Für eine Wechselstrom-Maschine sei:

$E = 1920$  Volt;  $n = 200$ ;  $Z_a = 1200$ ;  $k = 2$ ;  $p = 6$ ; dann sind erforderlich:

$$\mathfrak{C}_a = 1000000 = 10^6 \text{ Kraftlinien.}$$

Im Mittel gehen 10% bis 30% dieser Kraftlinien durch Streuung verloren.

8. Nimmt man nun für das zum Ankern Kern verwendete (schwedische) weiche (Holzkohlen)-Eisenblech als Kraftlinienanzahl nach dem früher (Fig. 50) gegebenen Kraftlinien-Diagramm:  $\mathfrak{B}_a = 10000$  bis  $16000$  (höchstens  $20000$ ) auf 1 qcm an, so ergibt sich als Ankereisen-Querschnitt für den Durchgang der Kraftlinien:

$$q_a = \mathfrak{C}_a / \mathfrak{B}_a = \frac{7000000}{14000} = 500 \text{ qcm.}$$

9. Der äußere Durchmesser  $D_a$  des Ankers kann aus  $v$  und  $n$  ermittelt werden, wenn keine anderen Bestimmungen vorliegen. Es ist nach der bekannten Formel der Mechanik (Techn. Mechan. S. 18)

\*) Nach der Buchstabenbezeichnung bei Arnold „Die Gleichstrommaschine I. Bd. S. 204“ heißt unsere Formel:

$$\mathfrak{C} = \frac{a}{p} \frac{E_a \cdot 60 \cdot 10^8}{N \cdot n}$$

In den einzelnen Fällen, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, muß berücksichtigt werden, daß der Kraftlinienstrom in Zweigen durch den Anker fließt, was in den obigen Gleichungen durch die Buchstaben  $K$ , beziehungsweise  $a$  ausgedrückt ist. Arnold bezeichnet mit  $a$  die halbe Zahl der Ankerstromzweige.

$$\frac{D_a \pi n}{60} = v.$$

$$D_a = \frac{60}{\pi} \cdot \frac{v}{n}, \text{ etwa } = 20 \cdot \frac{v}{n}.$$

Der Zentrifugalkraft wegen sollte die Umfangsgeschwindigkeit höchstens  $v = 30$  m/Sek. gewählt werden. Dann würde nach obigen Zahlenbeispielen für  $n = 800$  sich ergeben:

$$D_a = \frac{60}{3,14} \cdot \frac{30}{800} \sim 3/4 \text{ Meter.}$$

10. Den inneren Durchmesser wählt man empirisch nach:

$$D_i/D_a = 0,8 \text{ für den Ringanker,} \\ = 0,3 \text{ bis } 0,6 \text{ für den Trommelanker.}$$

11. Die Ankerbreite  $b$  ergibt sich nach der Formel  $b(D_a - D_i) = q_a$  mit Rücksicht auf die Isolierschichten zwischen den Blechscheiben empirisch:

$$b = c \frac{q_a}{D_a - D_i} \text{ für } c = 1,05 \text{ bis } 1,2.$$

12. Berechnung des Magnetsystems. Dieselbe bezweckt, was aus dem Folgenden hervorgeht, in der Hauptsache die Ermittlung derjenigen Einrichtung

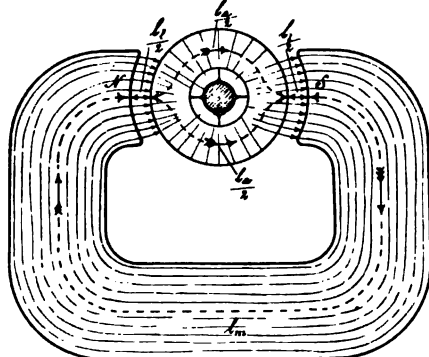
einer Dynamomaschine, welche zur Erzeugung der oben als erforderlich nachgewiesenen Kraftlinienzahl „ $\mathcal{S}_a$ “ nötig ist, beziehungsweise der Ampère-Windungen (AW) z. i. d. i. des Produktes aus der Anzahl der um die Magnetschenkel herumgewickelten Drahtwindungen  $z$  und dem Strome  $i$ -Ampère, welcher durch diese Solenoidwindungen fließen muß, um jene Kraftlinienzahl „ $\mathcal{S}_a$ “ zu erzeugen. Wir entsinnen uns hierbei noch, daß es nur auf die Größe dieses Produktes, nicht auf die der Einzelwerte  $z$  und  $i$  ankommt, so zwar, daß es z. B. auf dasselbe Ergebnis führt, wenn wir  $z = 200$  und  $i = 5$ , oder wenn wir  $z = 2$

und  $i = 500$ , oder  $z = 1000$  und  $i = 1$  wählen, denn in allen Fällen ergibt sich dasselbe Produkt  $z \cdot i = 1000$  AW.

Daß aber gerade die AW der Magnetschule wichtig sind, geht aus folgender Betrachtung hervor.

Der Kraftlinienstrom (dessen Stärke, bezw. Kraftlinienzahl  $\mathcal{S}_a$  oben (7) berechnet wurde) wird erzeugt und verstärkt durch die magnetomotorische Kraft  $F$  der die Magnetschenkel umkreisenden Solenoidströme (deren Wirkung durch die Ampère-Windungen (AW)  $z \cdot i$  bestimmt ist) und fließt nun (wie die nebenstehende Skizze Fig. 86 einer zweipoligen Maschine durch die gestrichelten Linien andeutet) durch alle Teile des Kraftlinienkreises. Er tritt aus dem Nordpol heraus, dann der Reihe nach durch den linken Luftzwischenraum ( $l_{1/2}$ ), den Anker ( $2 l_{a/2}$ ), den anderen Luftzwischenraum auf der rechten Seite ( $l_{1/2}$ ) hinüber zum Südpol hinein und nun durch das Magneteisen (Joch, Gestell) ( $l_m$ ) zum Nordpol zurück. Auf „Streuung“ der Kraftlinien, besonders an den Polen, ist in der Skizze keine Rücksicht genommen. Andererseits wird der KL-Strom, den wir in seiner Gesamtheit mit  $\mathcal{S}$  (anstatt  $\mathcal{S}_a$ ) bezeichnen wollen, verschwächt durch den Gesamt-Widerstand  $\mathcal{R}$  auf dem geschilderten Gesamt-Stromwege  $l_2 + l_a + l_m$  und ist deshalb nach dem Ohm-Gesetz durch die mathematische Beziehung ausgedrückt:

Fig. 86.



$$\text{Magnetische Strom-Stärke } \mathcal{S}^*) = \frac{\text{Magnetomotorische Kraft } F}{\text{Gesamt-Magnet-Widerstand } \mathfrak{R}}$$

oder:

$$F = \mathcal{S} \cdot \mathfrak{R}$$

$$F^{**}) = 4\pi \cdot z \cdot i = 12,57 \cdot z \cdot i, \text{ wenn } i \text{ in CGS-Einheiten ausgedrückt ist,}$$

$$= \frac{4\pi}{10} \cdot z \cdot i = 1,257 \cdot z \cdot i = 1,257 \cdot \text{AW, wenn } i \text{ in Ampère „ „}$$

Danach ist also die gesuchte Ampère-Windungs-Zahl

$$z \cdot i = \frac{1}{1,257} F = 0,8 F = 0,8 \cdot \mathcal{S} \cdot \mathfrak{R} = \mathcal{S} \cdot 0,8 \mathfrak{R}^{***})$$

Aus dem Voranstehenden sowie aus der hierunter stehenden Anmerkung geht noch hervor, daß  $F$  nur abhängig ist von  $\Delta W$ , nicht aber von der Dicke, dem Material und der Gestalt der Leitungsdrähte, auch nicht dadurch beeinflusst ist, daß die Drahtwindungen von der Zahl  $z$  unmittelbar neben- oder übereinander oder mehr oder weniger weit auseinander gewickelt sind.

### 13. Bestimmung von $\mathfrak{R}$ .

Da  $\mathcal{S}$  bereits oben ermittelt ist, bliebe noch über die Bestimmung des Leitungswiderstandes  $\mathfrak{R}$  des „magnetischen Stromes“, die in ähnlicher Weise wie bei dem „elektrischen Strom“ erfolgen kann.

In der Regel spricht man beim elektrischen Strom von einem Leitungswiderstand, bezw. dessen reziproken Werte, dem spezifischen Leitungswiderstand  $s$ ; dagegen bei dem „magnetischen Strom“ von einer Permeabilität (Durchlässigkeit, Leitfähigkeit)  $\mu = \mathfrak{B}/\mathfrak{H}$ †), d. h. von der Fähigkeit des Materiales, die Kraftlinien durch sich hindurchzulassen oder in sich zu verdichten bezw. zu vervielfältigen. Der reziproke Wert  $1/\mu$  würde deshalb hier dem entsprechen, was wir beim elektrischen Strom als Widerstandskoeffizient  $s$  bezeichnet haben. Demnach würde anstatt des Widerstandes

$$\begin{array}{l} \text{beim elektrischen Strom} \dots \dots \dots R = s l / q \\ \text{„ magnetischen „} \dots \dots \dots \mathfrak{R} = \frac{1}{\mu} \frac{l_{m, a, 1}}{q_{m, a, 1}} \end{array}$$

zu setzen sein.

\*) Um die Verwandtschaft unserer Formel mit dem ursprünglichen mathematischen Ausdrucke des Ohm-Gesetzes recht derb vor Augen zu führen, habe ich mich nicht gescheut, zu den bereits bestehenden Umschreibungen von  $\mathcal{S}$  noch die obige hinzuzufügen. Um dem Anfänger das Durchstudieren der Lehrbücher auf unserem Gebiete zu erleichtern, gebe ich hierunter eine kleine Analese der Ausdrücke für  $\mathcal{S}$ ,  $F$  und  $\mathfrak{R}$  aus einigen mustergültigen Werken (z. B. Kapp, Arnold, Thompson-Grawinkel-Strecker-Vesper u. a.):

$\mathcal{S}$  = Zahl der Kraftlinien = Kraftlinienzahl = Menge der magnetischen Kraftlinien = Magnetisierung = Strömung = Kraftfuß = Fluß = Gesamte Feldstärke,

$F$  = Magnetomotorische Kraft = Linienintegral der magnetischen Kraft,

$\mathfrak{R}$  = Gesamte Magnetische Widerstand = Reluctance (Widerstreben).

\*\*) Dem Anfänger möchte willkommen sein, wenn hier nochmals wiederholt wird, daß  $4\pi$  die magnetomotorische Krafteinheit darstellt. Dieser Bestimmung liegt die Annahme zugrunde, daß von einem Einheits-Pole  $4\pi$  Kraftlinien (kugelförmig) sich ausbreiten müssen, wenn jedes qcm der Oberfläche  $o$  einer Kugel vom Halbmesser  $r = 1$  cm ( $o = 4\pi \cdot 1^2 = 4\pi$  qcm) von je einer Kraftlinie getroffen werden soll. Da aber die Kraftlinien-Zahl von uns (nach Faraday) als Sinnbild der elektromotorischen Kraft angenommen ist und hier durch die Solenoidströme die magnetomotorische Kraft erzeugt wird, so ist die absolute Einheit von  $F$  gleich dem Produkte:  $= 4\pi \cdot (1 \text{ Windung}) \cdot (i = 1)$ .

\*\*\*) Manche Schriftsteller, u. a. auch Kapp, bezeichnen  $0,8 \mathfrak{R} = 1/1,257 \mathfrak{R}$  als magnetischen Widerstand. (Kapp, Dynamomaschine für Gleich- u. Wechselstrom. IV. Aufl. 1904. S. 81.) Dann würde man nicht, wie in vorbergehender Anmerkung  $\mathfrak{R}$ , sondern  $1/1,257 \mathfrak{R}$  mit „Reluktanz“ bezeichnen.

†) Die Werte von  $\mathfrak{B}$  und  $\mathfrak{H}$ , bezw.  $\mu$  sind der früher gegebenen Magnetisierungskurve zu entnehmen. Siehe hierüber das Zahlenbeispiel der folgenden Anmerkung.

Deshalb würde für unsere obige zweipolige Maschine gelten:

$$\mathfrak{R} = \frac{1}{\mu_m} \frac{l_m}{q_m} + \frac{1}{\mu_a} \frac{l_a}{q_a} + \frac{1}{\mu_1} \frac{l_1}{q_1}$$

Für Luft ist zu setzen  $\mu_1 = 1$ .

Zahlenbeispiele:

Die Ermittlung des Wertes  $\mathfrak{R}$  mittelst der letzten Formel wird am besten durch folgende Zahlenbeispiele verstanden werden.

a) Nehmen wir zuerst an, Anker und Magnetschenkel nebst Joch unserer Dynamomaschinen-Skizze bildeten einen innig zusammengeschweißten Eisenring von gleicher Dicke ohne irgendwelche Unterbrechung (Luft-Zwischenräume), dessen

Leitfähigkeit  $\mu^*) = 2000$ ,

Querschnitt  $q = 800$  qcm,

Mittellinie  $l = 174$  cm ist; so wäre

$$\mathfrak{R} = \frac{1}{2000} \frac{174}{800} = 0,000108.$$

b) Zwischen den Magnetpolen und dem Anker seien jetzt die wirklichen Luftzwischenräume (der Dynamomaschinen) vorhanden, ferner die Pole an ihren Enden mit breiten Eisenplatten (Pol-Schuhen oder Pol-Hörnern) versehen, um für die schlecht leitende Luftschicht einen möglichst grossen Leitungs-Querschnitt  $q_1$  zu gewinnen, ferner sei angenommen:

für die Magnetschenkel:  $\mu_m = 2000^*)$ ,  $q_m = 800$  qcm,  $l_m = 140$  cm,

für den Anker:  $\mu_a = 1000^{**})$ ,  $q_a = 500$  qcm,  $l_a = 30$  cm,

für den Zwischenraum:  $\mu_1 = 1$ ,  $q_1 = 1800$  qcm,  $l_1 = 4$  cm,

so wäre:

$$\mathfrak{R} = \frac{1}{2000} \cdot \frac{140}{800} + \frac{1}{1000} \frac{30}{500} + \frac{1}{1} \cdot \frac{4}{1800}$$

$$\mathfrak{R} = 0,00009 + 0,00006 + 0,00222,$$

$$\mathfrak{R} = 0,00237.$$

Wir sehen hieraus, daß dieser Wert infolge des vorhandenen Luftzwischenraumes nahezu 20 mal so groß geworden ist als der obige Wert, für welchen doch ebenfalls  $l = l_m + l_a + l_1 = 174$  mm angenommen ist.

14. Zusammenstellung der Endergebnisse. Nach unserem letzten Zahlenbeispiele würden wir für die angenommene Dynamomaschine nötig haben an Ampère-Windungen (AW.):

$$z \cdot i = \frac{10}{4\pi} F = \frac{1}{1,257} F = 0,8 F = 0,8 \mathcal{E} \cdot \mathfrak{R},$$

$$z i = 0,8 \mathcal{E} \cdot \left( \frac{1}{\mu_m} \frac{l_m}{q_m} + \frac{1}{\mu_a} \frac{l_a}{q_a} + \frac{l_1}{q_1} \right),$$

$$z i = 0,8 \mathcal{E} (0,00009 + 0,00006 + 0,00222),$$

$$z i = 0,8 \mathcal{E} \cdot 0,00237.$$

Für  $\mathcal{E} = 7000000$ , nach unserem früheren Zahlenbeispiele, würden sich also ergeben:

$$z i = 13300 \text{ Ampère-Windungen.}$$

Wegen der schädlichen Rückwirkung des Ankers auf das Feld sind die hier ermittelten AW um 7 bis 15 % zu vermehren.

Nehmen wir deshalb an, daß im ganzen 15000 AW und davon 10 Ampère im Nebenschluß erforderlich sind, so ergeben sich für den Feldmagnet 1500 Windungen. Für die Hauptstrom-Maschine gilt entsprechendes.

\*) Für Dynamostahl gibt die Magnetisierungskurve (gestrichelte Linie) für  $\mathfrak{B} = 10000$  entsprechend  $\mathfrak{H} = 5$ , also  $\mu = \mathfrak{B} \mathfrak{H} = 2000$ . Für Schmiede-Eisen gibt die Magnetisierungskurve  $\mathfrak{B} = 12400$  entsprechend  $\mathfrak{H} = 12,5$ , also  $\mu = \mathfrak{B} \mathfrak{H} \approx 1000$ . Die  $\mu$ -Kurve gibt 990 an; dafür ist abgerundet 1000 gewählt.



Die Anzahl der magnetischen Kraftlinien an den verschiedenen Stellen des Stromkreises ist infolge der Streuung verschieden, und zwar in den Magnetschenkeln, das ist an der Quelle, am größten. Rechnen wir hier etwa 30% mehr als im übrigen Teile, so ist angenähert:

$$(z \cdot i)_m = 0,8 \cdot \left( \frac{1,30 \cdot l_m}{\mu_m \cdot q_m} \right)$$

derjenige Anteil an Ampèrewindungen  $(z i)_m$ , welcher auf die Magnetschenkel allein kommt.

Luftzwischenraum. Auch zeigen die voranstehenden Gleichungen den hervorragenden Einfluß des Luftzwischenraumes. Die Widerstände im Magnetschenkel (0,00009) und Anker (0,00006) zusammengenommen sind noch wesentlich kleiner als der in den Luftzwischenräumen (0,00222). Letzterer ist  $0,00222 : 0,00015 = 15$  mal größer als jene beiden zusammengenommen. Bei dem Entwurf der Dynamomaschinen ist deshalb darauf hinzuwirken, den Luftzwischenraum  $l_1$  möglichst klein, dagegen den Querschnitt  $q_1$  am Übergange, also die Polschuhe, möglichst groß zu wählen.

#### Anforderung an den Maschinenbau.

Soll der Zwischenraum aber möglichst klein gehalten werden, so muß der Zusammenbau der Dynamomaschine sehr sorgfältig hergestellt, auch dafür gesorgt werden, daß die Lagerung der Ankerwelle sehr genau ausgeführt, die Entfernung  $L$  von Mitte zu Mitte Lager möglichst klein (womöglich nur

$$L = 1,5 \text{ m bei } d = 3 \text{ cm bis}$$

$$L = 2,5 \text{ m bei } d = 10 \text{ cm}$$

Wellendurchmesser), und die Welle selbst stark genug hergestellt wird, damit sie sich nicht durchbiegt. Wir ersen aus dieser kurzen Schilderung wieder, daß gerade der Maschinenbau nicht unwesentlich beizutragen hat, die Güte der Dynamomaschine zu erhöhen.

Anker-Wellendurchmesser. Man wählt aus genannten Gründen in der Formel für den Durchmesser der schmiedeeisernen Ankerwelle:

$$d = (k \sqrt[3]{N/n}) \text{ cm,}$$

$k = 14$  bis sogar  $23$ , wenn  $N$  die Sekunden-Pferdekräfte und  $n$  die Minuten-Umläufe bedeuten.

Trag-Zapfen der Welle. Und damit das Heißlaufen des Wellenzapfens bei hoher Umlaufszahl  $n$  verhütet wird, wähle man das Verhältnis der Länge  $l$  des Zapfen-Lagers zum Zapfendurchmesser  $d = 0,12 \sqrt[3]{P}$  \*):

$$l/d = 2 \quad 3 \quad 4 \quad > 5,$$

$$\text{für } n = 200 \quad 500 \quad 800 \quad > 1000,$$

und Sorge für ausgezeichnete Ringschmierung und beste Schmiermittel.

Als Annäherungsformel ist brauchbar  $l/d = 1 + 0,004 n$ , die zum Beispiel für  $n = 1000$  ergibt  $l/d = 5$ .

#### Parallelschalten von Dynamomaschinen.

Der allgemeingültige Grundsatz, daß unsere Maschinen vollbelastet am wirtschaftlichsten arbeiten (der übrigens auch für die Menschen gilt), macht es bei starkwechselnden Anforderungen (z. B. bei Licht und Kraftabgabe bei Tag und

\*) In der Formel, auf deren Ableitung hier nicht näher eingegangen werden kann, bedeutet  $P$  in Kilogrammen den Druck senkrecht zur geometrischen Achse des Zapfens und  $d$  in cm den Durchmesser desselben.

Nacht) oft wünschenswert, daß zu vorhandenen dauernd und regelrecht im Betriebe befindlichen Dynamomaschinen (Gleichstrom- und Wechselstrom-Dynamomaschinen und Elektromotoren) andere leicht und ohne Störung hinzugeschaltet werden. Die Besprechung dieser für die Praxis wichtigen Sache glaubte ich deshalb selbst in unserem kurzgefaßten Leitfaden nicht übergehen zu sollen.

**A. Parallelschalten von Gleichstrom-Maschinen.**

Sind zwei Gleichstrom-Maschinen auf gleiche Spannung gebracht, was durch Magneterregung veranlaßt werden kann, so können sie ohne weiteres parallel auf dasselbe Netz geschaltet werden.

**B. Parallelschalten von Wechselstrom-Maschinen.**

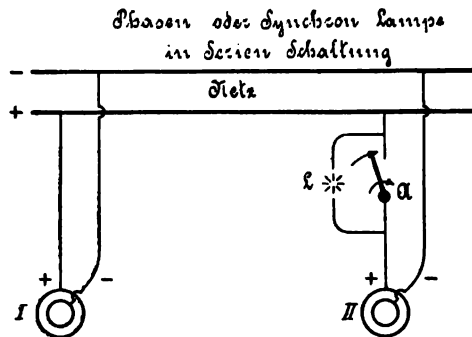
Weit schwieriger ist das Parallel-Schalten von Wechselstrom- (Ein- und Mehrphasen)-Maschinen. Denn es ist erforderlich, daß die zuzuschaltende Dynamomaschine II mit der bereits im regelrechten Laufe befindlichen Maschine I

1. gleiche Spannung (wie oben), dann aber auch
2. „ Wechselzahl (bezw. Periodenzahl),
3. „ Phase

besitzt.

Zu 1. Die gleiche Spannung wird auch hier erzielt durch entsprechende Erregung des magnetischen Feldes vor dem Parallelschalten.

Fig. 87.



Zu 2. Die gleiche Periodenzahl  $z$ /Sek., welche abhängig ist von der Polzahl  $p$  und der Umdrehungszahl  $n$ /Min. der Maschine und ausgedrückt ist durch die Gleichung

$$z = \frac{p \cdot n}{60}$$

wird dadurch erreicht, daß mittelst des leicht durch den Maschinenwärter oder von der Schalttafel aus verstellbaren Zentrifugalregulators (Schwungkugel- oder Achsen-Regulators) die Antriebmaschine (Dampfmaschine oder Turbine) der Dynamomaschine I im Augenblicke des Einschaltens der Maschine II auf der erforderlichen Umlaufzahl  $n$  erhalten wird.

Zu 3. Phasen-Gleichheit kann auf das Genaueste erkannt werden mit Hilfe der Phasen- oder Synchronismus-Lampe.

Hierbei sind zwei Einrichtungen zu unterscheiden:

a) Fig. 87. Haben beide Maschinen I und II ungleiche Phasen, so muß die parallel zum Auswechsler A geschaltete Lampe in Wechseln hell und dunkel werden, die um so langsamer aufeinanderfolgen je geringer der Phasenunterschied der beiden Maschinen I und II ist und in dem Augenblicke erlöschen, in welchem beide Maschinen gleiche Phasen haben. In diesem Augenblicke, besser schon etwas

früher, ist der Schalter A einzuschalten und nun laufen I und II fortgesetzt in gleicher Phase. Eigentümlich, aber eigentlich natürlich ist es, daß die nun parallel geschalteten Maschinen I und II nicht wieder aus dem Tritt kommen. Jede Phasenverschiedenheit (Nacheilen oder Voreilen) würde schon im Entstehen die beiden parallel geschalteten Maschinen in Dynamomaschine (Generator) und Elektromotor trennen, so zwar, daß der Elektromotor sofort angetrieben und mitgerissen würde. „Natürlich“ durfte ich sagen. Denn findet dasselbe nicht schon statt bei zwei zusammengehörigen nebeneinander vor einem Wagen gespannten Pferden? Sollte das eine durch Straucheln aus dem Tritt kommen, sofort wird es, von dem anderen angetrieben, wieder in den Tritt kommen.

b) Fig. 88. Denken wir uns zuerst nur die Maschine I in regelrechtem Betriebe, dann würde die eingeschaltete, punktierte Glühlampe L brennen. Nun wollen wir weiter annehmen, die Maschine I würde halbiert in zwei vollständig gleiche Maschinen von gleicher Spannung, Wechselzahl und Phase, so müssen auch die Phasenlampen  $L_1$  und  $L_2$  brennen, weil der Strom, zwar zum Teil unmittelbar von I, aber zum anderen Teil auch von II, durch die Lampen ins Netz fließt. Daran kann auch nichts geändert werden durch Hinzufügen der unmittelbaren Leitung von II nach dem Netz, solange die Doppelausschalter DA geöffnet sind, wie es die Figur darstellt, wenn nur immer I und II in gleicher Phase miteinander arbeiten. Nur bei kleineren oder größeren Phasenverschiedenheiten zwischen I und II müßten entsprechende Stromstöße die Lampen beunruhigen, sogar auslöschen.

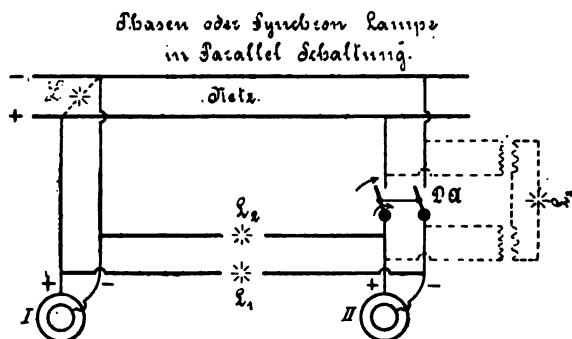
Wenn nun aber im Zustande der Phasengleichheit zwischen I und II der Doppelausschalter DA plötzlich eingeschaltet wird, so fließt hier der Strom von II unmittelbar ins Netz und nicht mehr durch die Lampen  $L_1$   $L_2$ , die deshalb verlöschen.

Die unter b) geschilderte Einrichtung, bei welcher die Phasenlampen, wie man sagt, in Kreuz\*)-Schaltung liegen (von + I nach — II und von — I nach + II), ist sicherer, weil hier die Maschine II zugeschaltet wird in dem Augenblicke, in welchem die Phasenlampen am hellsten leuchten. Dagegen wurde bei a) eingeschaltet im Augenblicke des Verlöschens der Phasenlampe, der längst nicht so sicher bestimmt werden kann.

Auch ist noch zu bemerken, daß die bei a) in Serie geschaltete Lampe im ungünstigsten Falle die doppelte Spannung von I bezw. II auszuhalten hat. Dagegen können die parallel\*\*) geschalteten Phasenlampen der Einrichtung b) nur der einfachen Spannung ausgesetzt sein.

Im voranstehenden ist das Prinzip klar zu machen versucht, um die Leser zu befähigen, sich an einer vorhandenen Ausführung zurechtzulegen, was zu tun ist, um den Zweck zu erreichen. Es wird nun auch leicht gefunden werden können, was zu beachten ist, um zwei Dreiphasenstrom-Dynamo-Maschinen oder einen Einphasenstrom-Elektromotor mit der dazugehörigen Dynamomaschine (Generator) synchron zu schalten.

Fig. 88.



\*) Man nennt diese Schaltung meist Kreuz-Schaltung. Nach der Art meiner Darstellung ist sie jedoch wohl als ganz gewöhnliche Parallelschaltung anzusehen, wie auch durch die punktierte Lampe links oben in der Figur angedeutet wird.

\*\*) In Bezug auf den Ausschalter würde man hier von Parallelschaltung sprechen müssen.

c) Parallelschalten von Wechselstrom-Maschinen mit hoher Spannung ( $e > 1000 \text{ v}$ ).

Man transformiert (wie die punktierten Linien der Figur andeuten) den Wechselstrom etwa auf 100 Volt herunter, schaltet die Phasenlampe  $L_3$  in den Niederspannungskreis des Transformators ein und verfährt beim Parallelschalten ganz wie oben.

## B. Die Transformatoren.

Einleitende Bemerkungen. Die jungen Elektrotechniker haben heute keine Vorstellung davon, welches Aufsehen es machte, als im Anfange der 80er Jahre der Transformator aufkam. Er versprach, zwecks Kraftübertragung auf große Entfernungen, einen gegebenen Wechselstrom in einen anderen Wechselstrom von jeder gewünschten höheren, aber auch niedrigeren Spannung zu verwandeln und damit der Wechselstromtechnik „auf die Beine zu helfen“. Es sollte an der Stromerzeugerstelle Wechselstrom hinauf transformiert, nun in dünnen billigen Leitungen verschickt, an der Verbrauchsstelle, entsprechend den verschiedenen Zwecken, wieder heruntertransformiert werden. Und wir wissen es, er hat über Erwarten Wort gehalten, hat die Bedeutung und Einführung der Wechselstrom-Technik erhöht und vergrößert wie kaum irgend eine andere Vorrichtung. Ähnliches hatte zwanzig Jahre vorher der Akkumulator für die Gleichstrom-Technik erreicht. Wäre es doch heute, nach wiederum zwanzig Jahren mit wirtschaftlichem Erfolge möglich geworden, den Akkumulator unmittelbar durch Wechselstrom zu laden und den Gleichstrom durch den Transformator auf andere Spannung zu bringen! Die Lösung dieser höchst wichtigen Probleme würde der Technik unberechenbaren Vorteil bringen. Deshalb müssen und werden sie gelöst werden. Hier ist also noch ein Arbeitsfeld für den jungen aufstrebenden Techniker geboten.

Der Rhumkorffsche Funkeninduktor. Als zur Zeit der Turiner Ausstellung 1884 der Transformator von sich reden machte, hätte, wem nicht zu genau nimmt, mit Ben Akiba sagen können „Alles schon dagewesen“. Denn schon viel früher wickelte Rhumkorff (1851) auf einen zur Vermeidung der Wirbelströme unterteilten Eisenkern zwei gut isolierte Drahtspulen (Solenoiden), die „Primär“-Spule aus dickem Draht mit verhältnismäßig wenig Windungen und die „Sekundär“-Spule mit sehr viel Windungen aus sehr dünnem Draht. Durch die Primär-Spule sandte er einen durch selbsttätigen Stromunterbrecher in sehr rasch aufeinanderfolgende Stromimpulse (Wechsel) zerlegten Gleichstrom. Durch diesen „Wechselstrom“ wurde in der Sekundär-Spule sehr hochgespannter „Wechselstrom“ erzeugt. Solcher verbesserter Funkeninduktor zeichnet sich durch gewaltige Wirkung aus und wird in vielen Fällen erfolgreich angewandt. Die heutigen Funkeninduktoren ermöglichen  $\nu 000$  mm lange Funken, während eine Batterie von 5000 Daniell-Elementen nur 1 mm Funkenlänge liefert (Joehmann, Hermes, Spies 1903, S. 419). (Drahtnose Telegraphie, Röntgenstrahlen.)

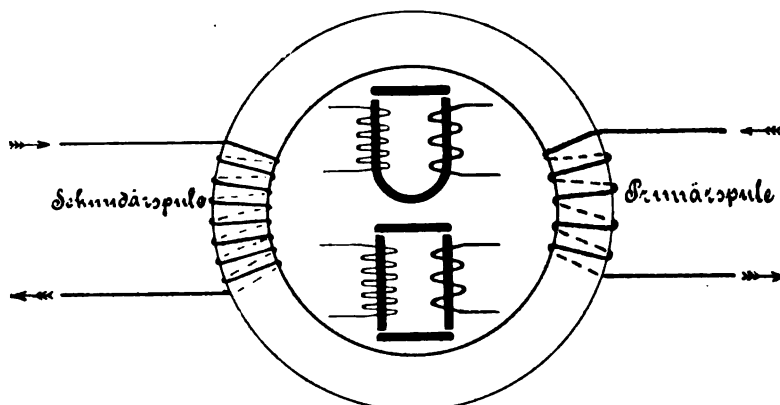
### Die Wechselstrom- und Dreiphasenstrom-Transformatoren.

Der heutige Transformator (Fig. 89) ist nach Form, Verwendung und Wirkung ein wesentlich verändertes und vervollkommnetes elektrotechnisches Hilfsmittel, das keine beweglichen Teile enthält, keiner Wartung bedarf und sich durch Einfachheit, Wirtschaftlichkeit und Betriebs-Sicherheit auszeichnet. Gute Firmen sorgen für Verwendung des besten permeablen Eisens, reinsten Kupfers und zuverlässigsten Isoliermaterials und bauen Transformatoren, deren Verluste höchstens 1—5 % der zulässigen Gesamtbelastung, bei 500 bis 10 KW Normalleistung und einer Frequenz von mindestens 50 betragen. Bei kleinen Transformatoren von

10 bis 1 KW Normalleistung beträgt der Verlust etwa 5 bis 10 % der zulässigen Vollbelastung. Bei Bestellung der Transformatoren ist Angabe der Frequenz wichtig, die nach Siemens und Halske normal 40 bis 60 ist.

Die Grundform ist ein, ebenfalls aus dünnen durch Papier voneinander isolierten weichen Eisenblechscheiben zusammengesetzter, in sich zurücklaufender, geschlossener ring- oder rechteckförmiger Kern, der somit viel Ähnlichkeit mit den Ankern der Dynamomaschinen hat. Dieser „porlose“ Kern bietet den Kraftlinien auf dem gesamten Kreislaufe das permeable Eisen, wirkt also magnetisch am stärksten. Um die Drahtspulen in fertigem Zustande bequem auf den Kern aufbringen zu können, wählt man die Form des Hufeisens, auf dessen Schenkelenden nach aufgeschobenen Spulen, so dicht und fest wie möglich das Querstück von derselben Zusammensetzung der Schenkel befestigt wird. So entsteht ein rechteckförmiger Rahmen, der für diese Bequemlichkeit allerdings um einige Prozent ungünstiger wirkt als der vollständig ununterbrochene Ring, weil die Kraftlinien durch die Fugen zwischen Schenkeln und Querstück doch einen entsprechenden Widerstand erfahren. Die Fuge bewirkt „Streuung“ und macht unter sonst gleichen Verhältnissen etwas mehr Magnetisierungsstrom erforderlich, muß deshalb durch festes Anziehen der Schraube möglichst klein gehalten werden. Die Schrauben sind auch

Fig. 89.



ohnehin überall fest anzuziehen, damit die verbundenen Stücke nicht schwingen und tönen können. Wie die Primär- und Sekundärspulen auf den Schenkeln untergebracht werden, ist nicht gleichgültig. Durch Unterteilung und abwechselndes Aufbringen der Primär- und Sekundärspulen wird der Kraftlinienstrom gleichmäßiger über den Kern verteilt und dadurch die Streuung eingeschränkt.

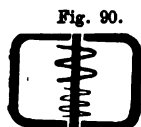
#### Aufstellung und Schutzmittel.

Um die persönliche Gefahr zu vermindern, umgibt man den Transformator noch mit den nötigen Schutzmitteln. Man wählt als Aufstellungsort des Transformators Räume, die Unberufenen unzugänglich sind und bringt, besonders für Hochspannung, ihn in sogen. Transformatorsäulen (säulenförmigen Gehäusen) unter, die gut gelüftet sind. Das Gehäuse muß entweder geerdet oder mit gut isoliertem Fußboden umgeben sein, damit der Beobachter bei Berührung des Transformators zuverlässig gegen die Erde isoliert ist.

Die Isolation der Wicklung wird erhöht, besonders in feuchten Räumen, durch Einsetzen des Transformators in einen dicht schließenden mit säurefreiem Öl gefüllten Kasten. Öltransformatore sind (nach Kohlrausch, Lehrbuch der prakti-

schen Physik 1901, S. 352) für Betriebszwecke bis 50 000 Volt, für Laboratoriumszwecke bis 200 000 Volt hergestellt.

Man wendet das Öl auch als Abkühlungsmittel der Transformatoren an, die u. a. von der E. A. G. vormals W. Lahmeyer u. Co. am äußeren Umfange noch mit Rippen behufs besserer Wärmeabgabe versehen sind. Nach Mitteilungen der Firma werden ihre Wechselstrom-Transformatoren von 165 KW an, ihre Mehrphasenstrom von 250 KW mit Ölkühlung und von 400 bzw. 600 KW aufwärts diese Öltransformatoren noch mittelst Kühlschlangen künstlich abgekühlt, weil bekanntlich mit der Erwärmung der Wirkungsgrad der Transformatoren wesentlich abnimmt.



Im allgemeinen unterscheidet man neben den gebräuchlicheren Kern- (Fig. 89) auch Mantel-Transformatoren (Fig. 90), je nachdem die Spulen nach obiger Darstellung auf den Eisenkern gewickelt oder von einem eisernen Mantel umgeben sind.

Außer den eben geschilderten gewöhnlichen Wechselstrom-Transformatoren, unterscheidet man noch die Dreiphasen-Dreh-Strom-Transformatoren, welche drei

Fig. 90a.



Kerne nebeneinander haben, von denen jedes eine Primär- und Sekundär-Wicklung besitzt, die in Dreieck- oder Stern-Schaltung miteinander verbunden, aber sonst, wie oben beschrieben, eingerichtet sind. Die nebenstehende Abbildung zeigt die Hauptteile eines Dreiphasenstrom-Transformators der E. A. G. vormals W. Lahmeyer u. Co. Die Primär- und Sekundärspulen sind konzentrisch übereinander angeordnet, um die Streuung einzuschränken. Bei der Niederspannungswicklung sind Kupferspiralen mit gut voneinander isolierten Windungen auf Hülsen von Glimmerpräparat aufgeschoben. Die Hochspannungswicklung ist aus einzelnen hintereinander geschalteten Spulen zusammengesetzt, deren Zahl derart gewählt ist, daß an den Enden einer jeden nur eine verhältnismäßig geringe Spannung herrscht, so daß ein Durchschlagen der Spulen in sich nicht vorkommen kann. Dadurch ist große Betriebssicherheit und die Möglichkeit geboten, be-

schädigte Spulen leicht auszuwechseln. Hoch- und Niederspannungsspulen sind durch bewährte Isolierung voneinander getrennt.

► Für alle Transformatoren gilt, daß Ummantelung und Fundament und alle Teile, die nicht in dem magnetischen Felde liegen, also nicht von Kraftlinien durchflossen sind, wohl aus massivem Eisen hergestellt werden dürfen; aber alle anderen Teile (auch die Spulenhülsen) entweder aus bestem Isolierungs-Stoff, vielleicht einer Glimmermischung, oder, wenn aus Eisen hergestellt, unterteilt werden müssen, damit an ihnen keine schädlichen Erwärmungen durch Wirbelströme auftreten.

Um die Skizzen der Transformatoren möglichst einfach zu gestalten, läßt man die Kerne ganz fort und zeichnet nur die Windungen als einander gegenüberstehende dicke und dünne Zickzacklinien.

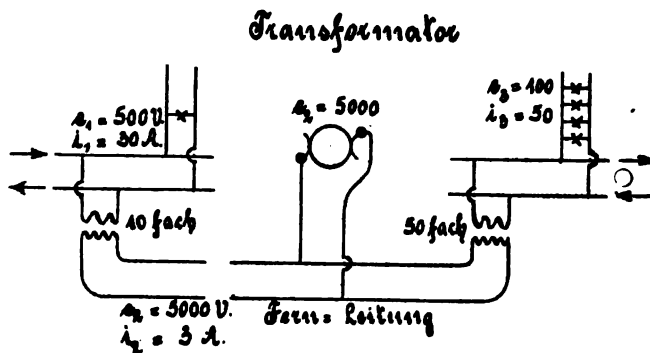
### Anwendung und Berechnung der Transformatoren.

Höchst einfach ist auch die überschlägliche Berechnung und die Anwendung der Transformatoren, für welche die beistehende Figur entworfen ist. Der Maschinentechniker denkt hier unwillkürlich an seine Räder-Transmissionen. Wie bei den Zahnrädern die Übersetzung (ins Rasche oder ins Langsame) durch die Zähnezahlen der in Eingriff stehenden Räder bestimmt wird, so hängt hier die Transformation der Spannung (e) (hinauf oder hinunter) ab von dem Verhältnis der Windungszahlen (z) der Primär- und Sekundär-Spulen, welches man Transformations-Koeffizient (oder auch Übersetzungsverhältnis wie bei den Räderwerken) nennen könnte. Der mathematische Ausdruck des für die Transformatoren geltenden Gesetzes ist:

$$z_1/z_2 = e_1/e_2.$$

Wir dürfen hier auch nicht zu beachten vergessen, daß bei der Umwandlung (Transformation) eines Stromes  $e_1 \cdot i_1$  in einen Strom  $e_2 \cdot i_2$ , wenn von den geringen Verlusten abgesehen wird,

Fig. 91.



$$e_1 i_1 = e_2 \cdot i_2, \text{ oder} \\ e_1/e_2 = i_1/i_2; \text{ also}$$

die Stromstärken (i) sich umgekehrt verhalten, wie die Spannung (e). Hiernach heißt die Gleichung, welche vollständig und auf die einfachste Weise das Transformatorgesetz ausdrückt:

$$k = z_1/z_2 = e_1/e_2 = i_2/i_1.$$

Der Einfachheit wegen wollen wir im folgenden bei Bestimmung dieses Koeffizienten immer die größere Windungszahl in den Zähler setzen und je nachdem von einer Transformation „hinauf“ oder „herunter“ sprechen. Ein Beispiel an Hand der Figur wird das Gesagte am besten klären.

Zahlenbeispiel (Fig. 91):

Ein Wechselstrom von  $e_1 = 500$  V. und  $i_1 = 30$  A., also  $e_1 \cdot i_1 = 15000$  Watt, soll „hinauf“ transformiert werden in einen Strom von  $e_2 = 5000$  V.

Für  $i_2 \cdot e_2 = i_1 \cdot e_1$  ergibt sich zunächst:

$$i_2 = i_1 \cdot e_1/e_2 = 30 \cdot 500/5000 = 3 \text{ Amp.}$$

zur Berechnung des Leitungsquerschnittes (q), für welche noch die Länge der Leitung (l) und der Leitungswiderstand des Leitungsmaterials (z) gegeben sein muß, nach dem Ohm-Gesetz.

Der Transformationskoeffizient:

$$k = e_2/e_1 = 5000/500 = 10.$$

Es handelt sich also um eine 10fache Transformation „hinauf“. Die Windungszahl der Sekundär-Spule muß 10 mal größer sein als die der Primär-Spule.

An der Verbrauchsstelle soll nun wieder „herunter“ transformiert werden auf die Gebrauchsspannung  $e_3 = 100$  V.

Dann ist  $i_3 = i_1 e_1/e_3 = 30 \cdot 500/100 = 150$  A.

und  $k = 5000/100 = 50.$

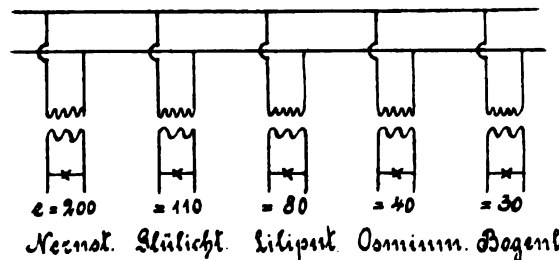
Es müßte also hier bei der 50fachen Transformation „herunter“ die Windungszahl der Sekundär-Spule 50 mal kleiner sein als die der Primär-Spule.

Da die betreffenden Zahlen in unsere Figur eingetragen sind, spricht letztere übrigens wohl für sich selbst.

In der Leitung ist noch ein Elektromotor mit 5000 Volt, in der Primär-Kraftanlage sind noch Lampen von 500 Volt Spannung eingeschaltet gedacht. Daß auch diese Spannungen durch entsprechende Transformatoren auf jede gewünschte niedrigere Spannung „herunter“ gebracht werden können, braucht kaum erwähnt zu werden.

Der letzte Satz unseres Beispiels führt uns noch auf eine sehr schätzenswerte Anwendungsweise der Transformatoren. Das nebenstehende Bild, Fig. 92, zeigt, wie man aus einer Hauptleitung mit beliebiger Spannung ( $e$ ), aber genügender Stromstärke ( $i$ ), für jede Lampenart die erforderliche Spannung durch Transformatoren erhalten kann.

Fig. 92.



Die für die einzelnen Lampen der Figur eingeschriebenen Zahlen sind aus dem Anwendungsbereiche der Lampe herausgegriffen, also nicht etwa allein bestimmend für die Lampengattung; denn unter „Beleuchtung“ ist ausführlich hervorgehoben, daß hergestellt werden können z. B. die Kohlenglühlampen, (Edison)

für Spannungen von etwa 10 bis 240 Volt und darüber, die Nernstlampe für etwa 100 bis 250 Volt. Wir sind hiermit zu dem wichtigen Ergebnis gekommen, daß die Transformatoren nicht allein ein ausgezeichnetes Hilfsmittel sind zur wirtschaftlichen Kraftübertragung, sondern auch zur Kraftverteilung.

Der Tesla-Transformator zur Erzeugung von Wechsel-Strömen sehr hoher Spannung und Frequenz mit ihren wahrhaft großartigen Wirkungen, die seinerzeit in allen illustrierten Zeitschriften des In- und Auslandes dargestellt wurden, ist bereits früher kurz beschrieben.

### C. Die Akkumulatoren- und Pufferbatterien.

(Sekundär-Batterien.)

Allgemeines. Der Akkumulator (accumulare, ansammeln), ein längst bewährter, zuverlässiger, uneigennütziger Kamerad der Gleichstrom\*)-Dynamomaschine, hat deshalb auch in dem Übersichtsplane am Eingange unseres Leitfadens seinen Platz unmittelbar bei der Dynamomaschine, zwischen dieser und der

\*) Über „Anwendung von Pufferbatterien bei Drehstrom“ siehe Elektrotechnische Zeitschrift 1905 Heft 48 S. 1101.



Leitung erhalten, durch welche der Strom den elektrischen Lampen, Elektromotoren und sonstigen Stromverbrauchern zugeführt wird.

Insbesondere als sog. „Puffer“ bewahrt er sie vor Überanstrengung, allerlei Puffen und Betriebsstößen durch seine Pufferwirkung (ich möchte sagen elektrochemische Elastizität), hilft ihr in Zeiten der Not. Er übernimmt und speichert mit größter Bereitwilligkeit ihre elektrischen Arbeitsüberschüsse dank eines chemischen Vorganges auf, „ladet sich“, und gibt sie gleich einem treuen Bankier, der nur wenige Prozente für seine Bemühungen beansprucht, pünktlich sofort, oder nach Minuten, Stunden, Tagen, und wenn es sein müßte, erst nach Wochen als elektrische Arbeit ( $e, i$ ) wieder heraus, „entladet sich“, wobei die Spannung sinkt von etwa  $e = 2,6$  bis  $1,8$  Volt.

Er läßt sich „geladen“ transportieren, um an einem anderen Orte während des Entladens seinen aufgespeicherten Arbeitsvorrat in Licht (Grubenlampe, Taschenlampe zur Beleuchtung des Schlüsselloches und der Treppe bei nächtlicher Heimkehr) oder zu elektromotorischen Zwecken irgendwelcher Art umsetzen.

„Geladen“ in einen Wagen gesetzt und mit dessen Rädern in zweckentsprechender Weise mittelst Elektromotor und Räderwerk in Verbindung gebracht, sorgt er, sich „entladend“, auch für sein und seiner Behausung Fortkommen (Akkumulator-Lokomotive).

Vom Transformator, den wir als treuen Gehilfen im Wechselstrom-Betriebe kennen lernten, unterscheidet er sich wesentlich. Denn dieser muß sofort stürmisch in raschem Wechsel die durch Induktion empfangene Arbeit ( $e, i$ ) herausgeben, nach Wunsch sehr verändert in den einzelnen Bestandteilen, insbesondere der Spannung  $e$ .

Auch das gewöhnliche Schwungrad, welches man, wie wir später sehen, an Stelle der Pufferbatterien setzt, ist ein Hilfsmittel, Arbeitsüberschüsse in Form von lebendiger Kraft aufzuspeichern, aber gezwungen, dieselbe innerhalb der darauf folgenden wenigen Minuten wieder abzugeben. Auch haften ihm alle jenen derben Eigenschaften der „trägen Masse“ an.

Auch die Sammel-Teiche für unsere Gruben-, Hütten-, Mühlen- und sonstige Betriebe neuerdings, bei größerer Ausdehnung, als „Talsperren“ bezeichnet, gehören hierher.

Mit praktischem Erfolge ist bis heute noch immer in Anwendung der von Planté 1860 eingeführte, von Faure (1880) und anderen veränderte Blei-Akkumulator. Bei diesem stehen (in Kasten oder Zellen von Glas, Hartgummi oder Holz mit Blei ausgeschlagen) zwei „formierte“ Bleiplatten als „Elektroden“ von  $q$  Quadratcentimeter Fläche in möglichst geringer Entfernung  $l$  einander gegenüber, „Geladen“ ist die eine (—) mit grauem Bleischwamm ( $Pb$ -), die andere (+) mit braunem Bleisuperoxyd ( $PbO_2$ )-Überzuge versehen; „entladen“ sind beide mit Bleisulfat  $PbSO_4$  überzogen. Die Platten sind vollständig eingetaucht in verdünnte Schwefelsäure als Elektrolyt, von möglichst geringem spezifischen Leitungswiderstande  $s$ . Im „geladenen“ Zustande ist der Spannungsunterschied zwischen den Platten oder die elektromotorische Kraft  $E = 2$  Volt, also nahezu doppelt so groß als beim gewöhnlichen Daniell. In praktischen Betrieben sind aber meist viel höhere Spannungen erforderlich, es müssen deshalb entsprechend viel solche Akkumulator-Zellen (oder Elemente) hintereinander geschaltet, d. h. zu einer Batterie vereinigt werden, indem der (+) Pol des einen Elementes mit dem (—) Pole des folgenden leitend verbunden wird. Da aber nach Ohm allgemein die Stromstärke  $i = e/w$  um so größer ist, je kleiner der innere Widerstand  $w = l/sq$  der Zelle gemacht wird und im Betriebe zuweilen recht große Stromstärken und dementsprechend große Bleiplatten ( $q$ ) erforderlich wären, so ist man in solchen Fällen genötigt, um für die Zellen handliche Größen zu erhalten, die Bleiplatten in einzelne kleinere Platten zu zerlegen, die dann in den Zellen derart nebeneinander

untergebracht werden, daß je eine (—) und eine (+) Platte aufeinander folgen und jede Reihe durch eine — Platte abgeschlossen wird. In jeder Zelle ist dann die Anzahl der (—) Platten um eine größer als die der (+) Platten (Fig. 93).

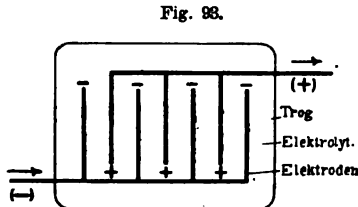
Jede Platte ist außerhalb der Zelle mit einem vorspringenden Bleistreifen, einer sog. Fahne, versehen, mittelst deren für sich sämtliche (+) und sämtliche (—) Platten miteinander vereinigt (also parallel geschaltet) werden.

Die Anzahl und Größe der Platten einer Zelle wird bestimmt durch die größte zulässige Stromstärke der Batterie bei einer vorgeschriebenen Entladezeit.

Die geringe Entfernung  $l$  zwischen den einzelnen Platten wird durch dazwischen gestellte Glaastäbe oder andere Nichtleiter gesichert und, damit durch Abfälle der Platten auf dem Boden der Zellen keine leitende Verbindung hergestellt wird, müssen die Platten in einem genügenden Abstände vom Boden oben in den Gefäßen aufgehängt sein.

Die Schwefelsäure hat ein spezifisches Gewicht von etwa 1,17 bis 1,22, das durch Senkwagen (Aräometer) bestimmt wird. Auch läßt sich durch das Aräometer der Ladezustand sehr genau feststellen, weil beim Laden Wasser der Schwefelsäure (von den Elektroden) gebunden wird, das spezifische Gewicht der Säure also zunimmt, bzw. das Aräometer sich hebt und beim Entladen der entgegengesetzte Vorgang eintritt.

Um den Akkumulatoren eine tunlichst lange Lebensdauer zu sichern, müssen zu den Platten verwendetes Blei, Schwefelsäure und zur Verdünnung der letzteren dienendes Wasser möglichst rein, besonders frei von Platin, Eisen und Chlor sein. Ferner muß das Überladen (Kochen) und zu weit getriebenes Entladen vermieden werden.



Jeder Akkumulator ist noch gekennzeichnet durch:

1. Kapazität,
2. Klemmenspannung während des Ladens und Entladens,
3. Wirkungsgrad.

1. Kapazität ist diejenige höchste Ladung (Elektrizitätsmenge) in Ampère-Minuten oder -Stunden, welche ein Akkumulator bei regelrechtem Betriebe aufnehmen vermag. (Siehe die Berechnung derselben.)

2. Beträgt die elektromotorische Kraft eines Akkumulators  $E = 2$  Volt und sein innerer Widerstand  $W_1$ , so wird die Spannung  $e$  an den Klemmen größer sein müssen, wenn der Akkumulator geladen wird, weil diese Ladespannung nicht allein den statischen Wert  $E$  haben muß, sondern auch noch den elektrischen Strom  $i$  durch die Zelle treiben muß. Beim Entladen ist es umgekehrt. Ganz allgemein ist also die Klemmenspannung:

$$e = E \pm i W_1,$$

und es gilt das obere Zeichen fürs Laden, das untere fürs Entladen. Es ist also beim Entladen die Klemmenspannung  $e$  um so kleiner, je größer die entnommene Stromstärke ist, beim Laden muß umgekehrt  $e$  um so größer sein, je größer der Ladestrom ist.

3. Der Wirkungsgrad  $\eta = \frac{\text{abgegebene Watt-Stunden}}{\text{aufgenommene Watt-Stunden}} = \text{etwa } 0,70.$

Ergäbe sich z. B. für einen Akkumulator  
 beim Laden  $e = 2,0$  Volt  
 $i = 5,0$  Ampère  
 während 10 Stunden,

dagegen

beim Entladen  $e = 1,8$  Volt  
 $i = 3,0$  Ampère  
während 13 Stunden,

so wäre der Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{1,8 \cdot 3,0 \cdot 13}{2,0 \cdot 5 \cdot 10} = 0,702.$$

**Aufstellungsort.** Auch im Betriebe ist er örtlich, um lange Leitungen zu vermeiden, am besten unmittelbar hinter dem später behandelten „Zellenschalter“ an der Schaltwand der Dynamomaschinen in einem besonderen, möglichst trockenen, gut gelüfteten, nicht durch Sonnenstrahlen belästigten, immerhin aber hellen, recht sauberen Raume unterzubringen.

Hier verrichtet er in Ruhe und geräuschlos, bei richtiger Behandlung auch fast geruchlos seine Arbeit ohne besondere Pflege und Wartung zu bedürfen.

**Wartung.** Nur von Zeit zu Zeit muß er, vergleichbar einem abgelaufenen Uhrwerke wieder „aufgeladen“, in noch weit längeren Zeitzwischenräumen „nachgefüllt“ und nach Jahren ununterbrochener Tätigkeit auch wohl gereinigt, „ausgeschlänmt“ werden. Ab und zu ist er noch mittelst einer an einer Leitungsschnur befestigten, gegen den Beobachter abgeblendeten Glühlampe, für welche in gewissen Abständen an den Wänden des Akkumulatorraumes Steckkontakte angebracht sind, gründlich „abzuleuchten“. Hierbei ist sorgfältig nachzusehen, ob die Platten sich nicht gekrümmt haben und überhaupt noch in Ordnung sind, oder ob sich in den geringen durch Glasstäbe oder andere Nichtleiter gesicherten Zwischenräumen zwischen denselben, etwas (Leitendes) abgelagert hat, was sofort zu entfernen ist, um Kurzschluß zu verhüten.

Alle diese Arbeiten müssen äußerst sorgfältig, können aber nebenher von dem im Nachbarräume ohnehin erforderlichen Maschinenwärter oder dessen Gehilfen ausgeführt werden. Sie erfordern große Pünktlichkeit, Aufmerksamkeit und Zuverlässigkeit. Denn von tadelloser Wartung lediglich hängt die Lebensdauer eines aus einer guten Fabrik bezogenen Akkumulators ab.

### **Anwendung und Nutzen der Akkumulator-Batterien in großen Licht-Zentralen.**

Der oberste Grundsatz für jede Anlage ist, daß sie der größten, überhaupt vorkommenden Beanspruchung eines wechsellvollen Betriebes gewachsen ist. Die zweite nicht minder wichtige Forderung ist, daß sie ihre Zwecke am vollkommensten mit den einfachsten Mitteln bei größter Wirtschaftlichkeit und Betriebs- sowie persönlicher Sicherheit erreicht.

Große Schwierigkeiten erwachsen bezüglich der ersten Forderung den elektrischen Licht-Zentralen großer Städte. Man denke sich den gewaltigen Unterschied zwischen dem Bedarf an elektrischem Licht an einem hellsten längsten Sommertage und am Abend eines recht trüben 24. Dezember, an welchem Beleuchtung der Straßen und für das Christkind besonders geschmückte Läden, z. B. in Berlin, ungewöhnlich hohe Ansprüche an die elektrische Licht-Zentrale stellen. Andererseits aber sollen die Maschinen und sonstigen technischen Einrichtungen die wirtschaftliche Forderung erfüllen, jahrein, jahraus tunlichst vollbelastet arbeiten, weil sie dann den besten Wirkungsgrad geben. Untersuchen wir deshalb, wie die Kraftanlage einer elektrischen Zentrale einzurichten ist, damit sie an dem Tage der höchsten Beanspruchung während 24 Stunden tunlichst gleichmäßig voll belastet ist.

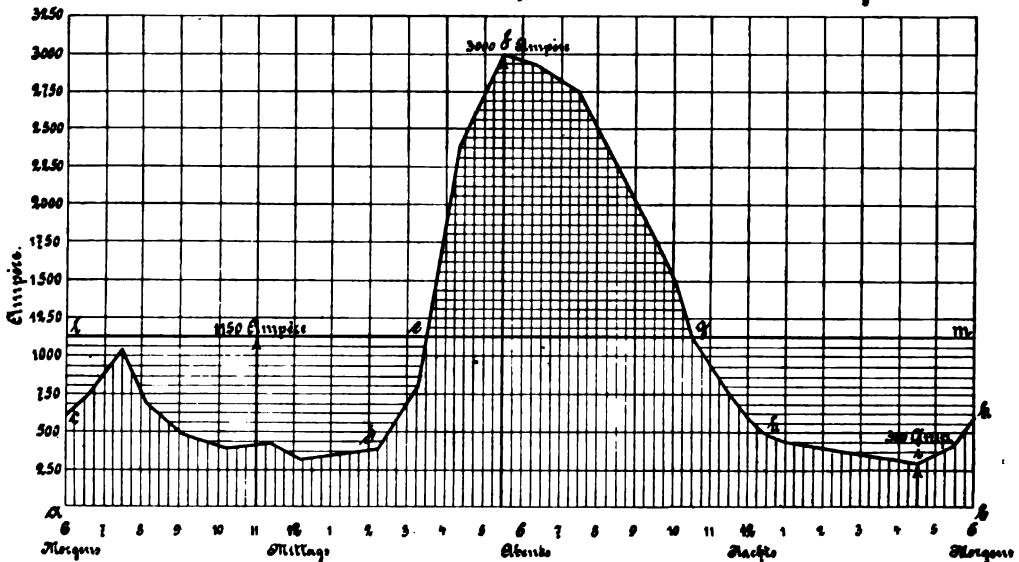
Zunächst muß der voraussichtlich größte Licht-Verbrauch an diesem Tage, nach den bei anderen Städten mit ähnlichen Verhältnissen gemachten Erfahrungen,

am besten durch die vom Gaswerk aufgezeichnete Beleuchtungs-Schaulinie ermittelt werden. Der Stromverbrauch für die Elektromotoren ist weniger zu berücksichtigen, weil er weniger von der Jahreszeit abhängig und am Tage meist größer als in der Nacht ist, da dann der Betrieb der elektrischen Straßenbahnen eingestellt und nur der der Zeitungsdruckereien aufgenommen ist. Die beistehende Schaulinie, Fig. 94, stellt die veränderliche Beanspruchung einer elektrischen Zentrale während des 24. Dezembers dar. Auf der Geraden a b, der sog. Zeitlinie sind die Stunden aufgetragen. Die Erhebungen der Zickzacklinie, wir wollen sie Stromkurve nennen, c d e f g h i k über der Zeitlinie zeigen als Ordinaten der Kurve den wechselvollen Verbrauch des elektrischen Stromes in Ampère zu den verschiedenen Tages- und Nacht-Stunden. Der Flächeninhalt zwischen Zeitlinie und Stromkurve stellt den Tagesverbrauch in Ampère-Stunden dar.

Von 6 bis 7<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Uhr morgens steigt, von da ab bis 10 Uhr fällt der Strom- bzw. Lichtverbrauch und hält sich während der Tagesstunden bis gegen

Fig. 94.

*Schaulinie der veränderlichen Beanspruchung  
einer elektr. Centrale während eines kalten Wintertages (1904)*



2 Uhr ziemlich gleichmäßig auf geringer Höhe. Dann aber steigt der Verbrauch am stärksten, wie die Steilheit der Linie zeigt, bis zum Höchstwerte 3000 Ampère um 5<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Uhr abends, fällt dann, weniger schnell, bis 1 Uhr nachts und noch langsamer bis gegen 4<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Uhr morgens, wo er sein Minimum, 300 Ampère, erreicht. Dieser niedrigste Wert beträgt also nur <sup>1</sup>/<sub>10</sub> vom Höchstwerte.

Die Dynamomaschine mit Antriebsmaschine (Dampfmaschine und Kesselanlage) müßte entsprechend diesen gewaltigen Schwankungen veränderlich arbeiten, weil sie für die größte Leistung um 5<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Uhr abends berechnet und ausgeführt werden muß, wenn nur ein einfaches Maschinenaggregat ausgeführt werden soll.

Eine einzige große Maschine beansprucht zwar im allgemeinen weniger Wartung als mehrere kleinere, arbeitet aber nur während sehr kurzer Zeit vollbelastet und während der übrigen Zeit unwirtschaftlich. Eine entsprechende Anzahl kleinerer Maschinenaggregate (Dampfmaschinen mit gesonderten Dampfkesseln), die nach

Bedarf außer Betrieb gesetzt werden können, arbeiten mit dem geringeren Wirkungsgrade kleinerer Maschinenanlagen und auch deshalb noch unvorteilhaft, weil die Kessel doch nicht plötzlich in und außer Betrieb gesetzt werden können.

Weit günstiger gestaltet sich, wie die folgenden Beispiele zeigen werden, der Betrieb bei Anwendung einer Akkumulator-Batterie, die zuzeiten des geringen Strom-Verbrauches aufgeladen wird, um mit der aufgespeicherten Arbeit der Dynamomaschine zuzeiten des größten Strom-Verbrauches hilfreich beizuspringen, und was wir durchaus nicht unterschätzen dürfen, augenblicklich ihren Arbeitsvorrat herauszugeben imstande ist, wenn beim Einbrechen der Dunkelheit fast gleichzeitig eine größere Anzahl von Lampen eingeschaltet wird.

Beispiel:

Es ist eine Beleuchtung einzurichten, welche höchstens 6000 parallel geschalteten 16 kerzigen Glühlampen für 110 Volt Spannung und je  $i = 0,5$  Ampère entspricht. Daß dieses Beispiel auch für viele andere Fälle, z. B. Anwendung von Bogenlampen und Elektromotoren passend gemacht werden kann, braucht nicht besonders hervorgehoben zu werden.

1. Ohne Akkumulator-Batterie.

Die erforderliche höchste Stromstärke beträgt:  $6000 \cdot 0,5 = 3000$  Amp. (siehe Punkt f der Schaulinie).

Wäre für die Zuleitung dieser höchsten Stromstärke 10% Spannungs-Verlust\*) zu rechnen, so würde zum Speisen der Beleuchtungsanlage um 5 1/2 Uhr abends eine Dynamomaschine von 120 Volt Klemmenspannung, also:

$$120 \cdot 3000 = 360\,000 \text{ VA (Watt)}$$

und zu deren Antriebe eine Kraftmaschine von

$$\frac{1}{0,90} \cdot \frac{3000 \cdot 120}{736} = \frac{360\,000}{662,4} = 543,5 \text{ Pferden}$$

erforderlich sein, wenn als Wirkungsgrad der Dynamomaschine 0,90 und als Maß einer Pferdekraft 736 Voltampère (VA) angenommen wird.

Nach der Schaulinie wäre während der übrigen Zeit eine weit geringere Leistung, z. B. für 4 1/2 Uhr morgens sogar nur

$$\frac{1}{0,90} \cdot \frac{300 \cdot 111}{736} = \frac{33\,300}{662,4} = 50,3 \text{ Pferde}$$

erforderlich, da hier nur ein Stromverbrauch von 300 A und dementsprechend ein Spannungsverlust von 1% anzunehmen ist.

2. Mit Akkumulator-Batterie.

Zieht man die Parallele l m, so daß die Rechteckfläche a l m b gleich der Fläche c d e f g h i k ist, so stellt die Höhe dieser Fläche den mittleren Tagesbedarf, also in unserem Falle 1150 Amp. dar, für welchen die Akkumulatorbatterie, die Dynamomaschine, deren Arbeitsmaschine (Dampfmaschine nebst Kesseln) und die entsprechenden Räumlichkeiten zu berechnen sind. Kurz: 1150 stellt den Strom in Ampère dar, welchen die gleichförmig arbeitende Maschine liefern müßte, und die Rechteckfläche a l m b veranschaulicht die Tagesleistung in Ampèrestunden.

Durch die Fläche e f g wird die Entladung der Batterie, durch die horizontal gestrichelten Flächen c d e und g h i k m, welche zusammengenommen jener gleich sind, die Ladung der Batterie veranschaulicht. Oder mit anderen Worten: Ist der Bedarf im Netz kleiner als 1150 A., was von 6 Uhr morgens bis 3 1/2 Uhr

\*) Der Spannungsverlust in der Zuleitung ist proportional der Stromstärke. Ist er also  
 für 3000 Ampère . . . . . 10 Volt,  
 so würde er nur betragen (nachts 4 1/2) für 300 " . . . . . 1 Volt,  
 und die Klemmenspannung sein müssen 120 Volt um 5 1/2 Uhr abends, dagegen  
 111 " " 4 1/2 " morgens.

nachmittags und von 10<sup>1/2</sup> Uhr abends bis 6 Uhr morgens der Fall ist, so ladet die Dynamomaschine die parallel geschaltete Akkumulator-Batterie. Ist dagegen der Bedarf im Netz größer als 1150 Amp., d. i. von 3<sup>1/2</sup> Uhr nachmittags bis 10<sup>1/2</sup> Uhr abends, so unterstützt die sich entladende Batterie die Dynamomaschine.

Bei Benutzung einer Akkumulatorbatterie genügt also

eine Kraftmaschine von  $\frac{1150}{3000} \cdot 543,5 = 0,38 \cdot 543,5 = 207$  Pferdkräfte

und eine Dynamomaschine mit  $0,38 \cdot 360\,000 = 136\,800$  VA (Watt)

mit  $110 + \frac{1150}{3000} \cdot 10 = 110 + 3,8 = 113,8$  Volt Klemmspannung.

Der große Nutzen der Batterie ist ein mehrfacher:

1. Die Betriebsanlage beträgt nur den 0,38. Teil der Anlage ohne Akkumulator,
2. stete Betriebsbereitschaft, die der veränderten Beanspruchung im Netz gewachsen ist, also Betriebssicherheit der Anlage,
3. Wirtschaftlichkeit, weil die Maschinen vollbelastet, also mit dem größten Wirkungsgrade arbeiten,
4. Schonung der Maschinen und Menschen, die nicht fieberhaft zu arbeiten haben, wenn draußen im Netz der Stadt plötzlich lebendig wird.

Unserer für einen bestimmten Fall angestellten Betrachtung könnte eine noch weitergehende Bedeutung beigelegt werden.

Die Kurve, auf einen kürzeren Zeitraum zusammengedrängt, könnte den veränderlichen Stromverbrauch während der Fahrt eines elektrischen Eisenbahnwagens, für welche mit  $f$  die größte Steigung, also auch der größte Stromverbrauch angedeutet wird, bildlich darstellen. Man könnte auch anstatt der 24 Stunden sich 24 Minuten als die Dauer einer Wagenfahrt vorstellen, dann bedeutete der Flächeninhalt der Figur, nicht Ampère-Stunden, sondern Ampère-Minuten den Stromverbrauch einer Fahrt. Unsere Darstellung bezweckt noch, das Verständnis der Stromdiagramme der später behandelten elektrischen Fördermaschinen zu erleichtern.

Es mag hier im Zusammenhange schon hervorgehoben werden, daß auf der elektrischen Straßenbahn-Strecke Zürich—Hirslanden im Februar 1896 zum ersten Male mit Erfolg eine Puffer-Batterie\*) angewendet ist. So nennt man eine Akkumulator-Batterie, welche ohne jegliches Reguliermittel (Zellenschalter) mit dem Stromverbraucher, hier dem Elektromotor des Wagens parallel geschaltet ist und deshalb selbsttätig sofort jeden Betrag von elektrischen Überschüssen aufnimmt und herausgibt. Zu diesen Hilfsmitteln, den Zellenschaltern, kommen wir nun im folgenden.

### Regulierung der Akkumulator-Batterie beim Laden und Entladen. Zellenschalter. Überschlägliche Berechnung der Batterie.

Bei dem gegenwärtig praktisch verwerteten Blei-Akkumulator betragen die Spannungen:

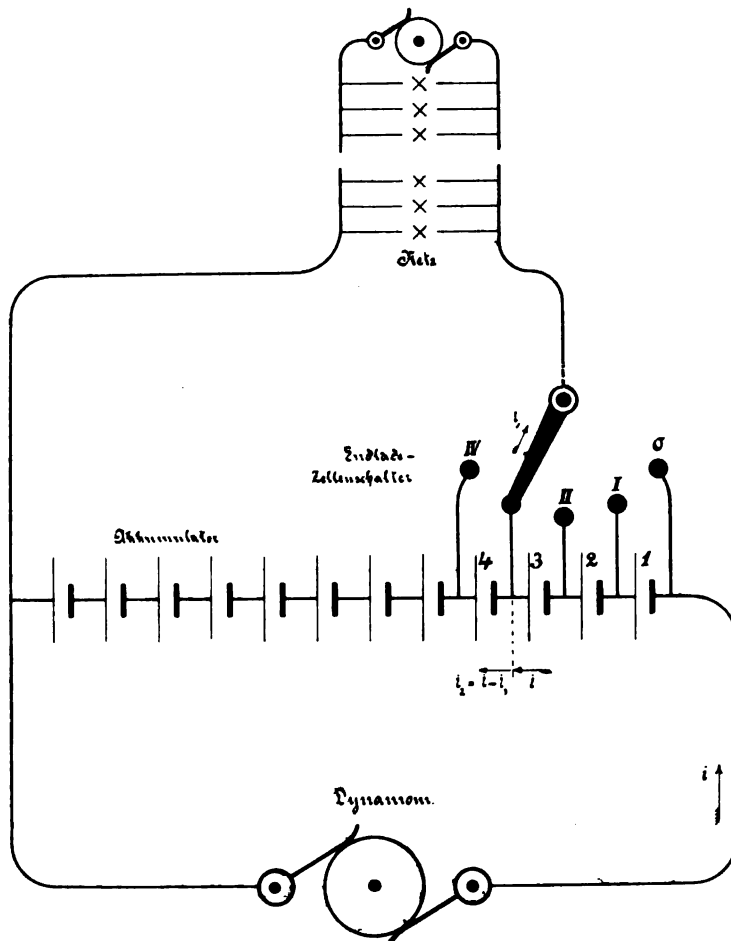
beim Laden . . . . .	2,2 Volt bis höchstens 2,6 Volt
„ Entladen . . . . .	„ „ 1,8 „

also die größte Spannungsdifferenz 0,8 Volt.

\*) Das Wesen der Pufferbatterie sowie deren Anwendung und großer Nutzen in den Betrieben des Berg- und Hüttenmannes, insbesondere der Schachtfördermaschinen, hat Verfasser ziemlich eingehend dargestellt in der Wochenschrift „Glückauf“ 1901 Nr. 22 unter der Überschrift: „Die Pufferbatterien im allgemeinen, im besonderen die der Aktiengesellschaft Thiederhall in Thiede bei Braunschweig“. Ein kurzer Auszug hieraus folgt später.

Demnach beanspruchen 110 Volt Lampen eine Batterie von mindestens  $110/1,8 = 60$  Elementen (Zellen), welche zwischen den weitesten Grenzen der Aufladung und Entladung einer Spannungs-Differenz  $60 \cdot 0,8 =$  abgerundet 50 Volt aufweist. Da die Lampen aber unter solchen Spannungs-Schwankungen sehr schlecht brennen und leiden würden, muß jene Differenz durch „Schaltzellen“ und „Zellenschalter“ tunlichst derart ausgeglichen werden, daß mittelst des Zellenschalters Zellen während der Batterie-Entladung zugeschaltet, dagegen „ „ „ Ladung abgeschaltet werden.

Fig. 95.

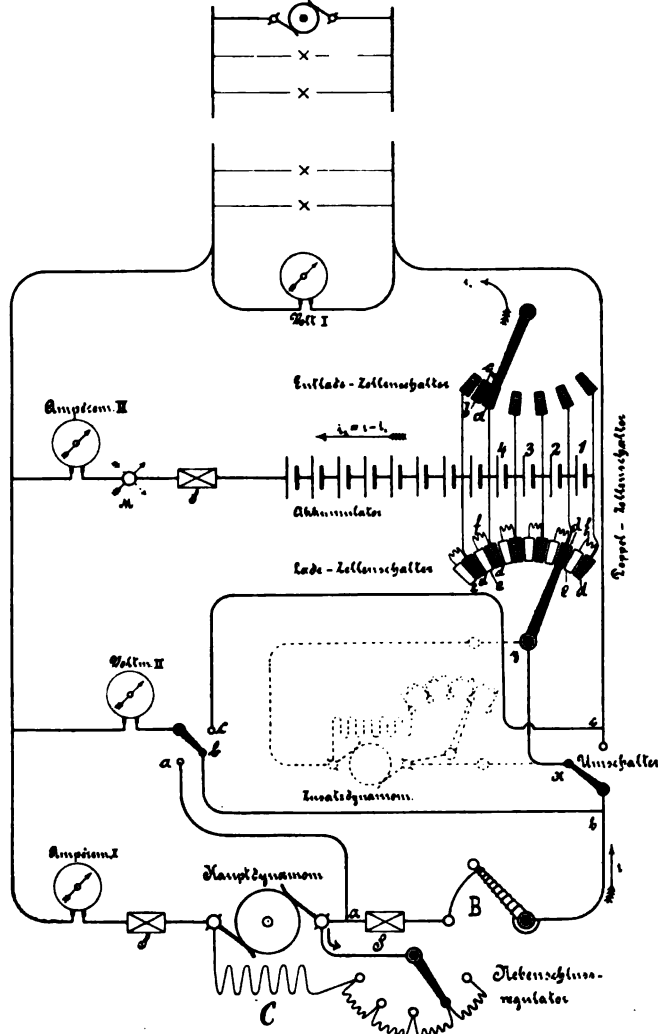


Eine derartige Batterie besteht demnach aus einem nicht abschaltbaren Teile und diesen „Schaltzellen“. Die einfachere der beistehenden Abbildungen (95, 96) zeigt ein Schalt-Schema in einfachster Darstellung mit einem Entlade-Zellenschalter, welche durch die beigeetzten Bezeichnungen wohl für sich selbst spricht.

Die andere Abbildung (96) dagegen gibt eine ausführliche ideelle Darstellung einer vollständigen Akkumulator-Anlage mit Doppelzellenschalter zum Laden und Entladen einzelner Zellen und deutet durch die punktierten Linien auch die An-

wendung einer „Zusatzdynamomaschine“, welche bezweckt, die Hauptdynamomaschine zu unterstützen, wenn sie, trotz Steigerung des magnetischen Feldes und der Umdrehungszahl  $n$ , doch nicht imstande ist, ihre Spannung auf diejenige Höhe zu bringen, welche die Akkumulator-Batterie im letzten Stadium des Aufladens erfordert und welche beispielsweise für obige Batterie mit 60 Zellen betragen würde  $60 \cdot 2,6 = 156$  Volt. Dagegen beim Anfange des Ladens würde die Lademaschine nur zu entwickeln haben:  $60 : 1,8 = 128$  Volt.

Fig. 96.



In der vereinfachten Abbildung 95 ist gezeigt, wie der von der Dynamomaschine erzeugte Strom  $i$  sich an der 3. Zelle, auf welche der Schallhebel eingestellt ist, in zwei Teile teilt:  $i_1$  geht ins Netz, dagegen der Rest  $i_2 = i - i_1$  ladet die letzte Schaltzelle (4) und die Batterie.

Die ausführlichere Abbildung 96 zeigt, daß der Strom  $i$  mittels des auf Zelle 2 gestellten Ladehebels des Zellschalters durch die Zellen 2, 3, 4 geht,



hier sich teilt:  $i_1$  geht dann durch den Entladehebel ins Netz,  $i_2 = i - i_1$  durch Zelle 5 und die Batterie. Daß die Anzahl der Schaltzellen in den meisten Fällen die Anzahl der in der Abbildung dargestellten übersteigt, ändert nichts an dem elektrischen Vorgange.

**Doppelzellenschalter.** Die Benutzung des Doppelzellenschalters, dessen Hebel vor Hand oder auch sehr zuverlässig selbsttätig, der Spannung entsprechend, eingestellt werden, ist kurz folgende: Die Schaltzellen 1, 2, 3, 4 . . . werden beim Entladen der Batterie von 4 her entsprechend dem Fortschreiten der Entladung zugeschaltet, mittelst des Schalthebels, welcher auf der Kontaktplatte a steht und den Strom in der Pfeilrichtung ins Netz führt. Auf diese Weise wird, trotz des Heruntergehens der Spannung in den einzelnen Zellen der Batterie, doch die Gesamtspannung im Netz unverändert erhalten. Beim Laden der Batterie dagegen werden die Schaltzellen von 1 her einzeln abgeschaltet, sobald sie die Maximalspannung 2,6 Volt erreicht haben. So kann man bei richtiger Einstellung der beiden Hebel jede einzelne Zelle ganz nach Wunsch laden.

Die Schleifkontakte müssen derart eingerichtet sein, daß beim Übergange von dem einen Kontakt nach dem benachbarten, weder der Strom unterbrochen, noch die betreffende Zelle kurz geschlossen wird. Letzteres würde eintreten, wenn der metallische Teil am Ende des Hebels breiter wäre als der Zwischenraum zwischen den beiden aufeinanderfolgenden Kontaktplatten, welche mit den beiden Polen einer Zelle in Verbindung stehen.

Zu dem Ende ist, wie der Entlade-Schalthebel zeigt, der Kontakt desselben in zwei Teile a und b zerlegt, von denen jeder schmaler ist als der Zwischenraum zwischen zwei Kontaktplatten und die unter sich mit einem passenden Widerstande c miteinander verbunden sind. Dasselbe wird erreicht, wie beim Ladezellenschalter angedeutet ist, wenn in den Zwischenräumen zwischen zwei Kontaktplatten d d noch eine Platte e, und nun zwischen ed der Widerstand f eingeschaltet wird. Der Schleifkontakt des Hebels ist dann nicht geteilt.

Die Zusatzdynamomaschine, deren Zweck, wie oben bereits angedeutet wurde, darin besteht, eine höhere Lade-Spannung zu erzielen als die, für welche die Haupt-Dynamomaschine eingerichtet ist, würde wie die punktierten Linien der Abbildung zeigen, anstatt der Leitung x y einzuschalten sein, so daß jetzt der Strom der Haupt-Dynamomaschine erst durch diese Zusatzdynamomaschine fließt.

Der Umschalter ermöglicht es, die Haupt-Dynamomaschine entweder auf die Batterie oder das Netz zu schalten.

Dann zeigt unser Bild auch noch die anderen erforderlichen wichtigsten Bestandteile einer elektrischen Anlage mit Akkumulator-Betrieb.

Das Voltmeter I oben mißt die Netzspannung,

„ „ II kann auf die Dynamomaschine bei a,

„ „ „ „ Akkumulatorbatterie bei b und

„ „ „ „ das Netz bei c

eingeschaltet werden, um hier die betreffenden Spannungen festzustellen.

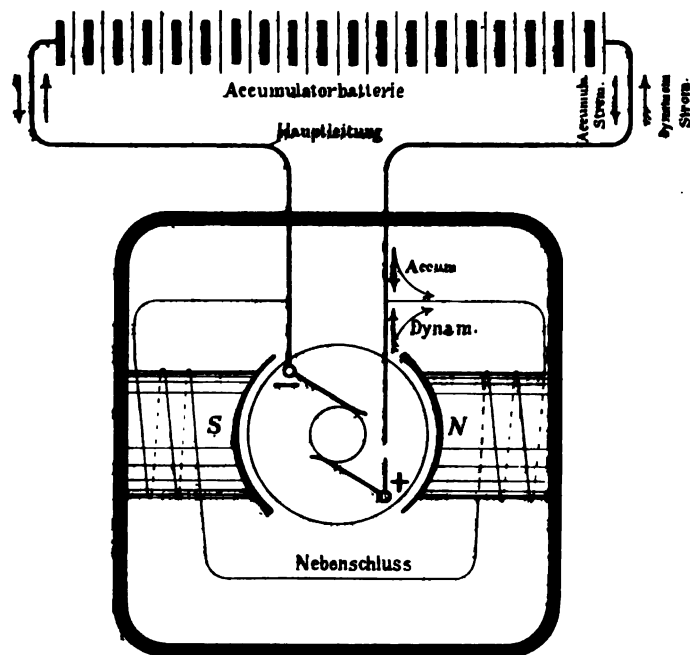
Das Ampèremeter I mißt den Maschinen-, II den Batterie-Strom. Die über der Leitung liegende Magnetnadel M gibt nach Oersted-Ampère durch ihren Anschlag nach links oder rechts die Stromrichtung, also an, ob die Batterie geladen oder entladen wird. Mit Skala versehen würde sie auch dessen Stärke bzw. Spannung angeben. SS sind Bleisicherungen. B ist ein Minimal- (oder Schwachstrom-)Ausschalter der die Leitung unterbricht, wenn der Maschinenstrom zu schwach wird und die Gefahr eintritt, daß der Akkumulatorstrom umgekehrt zurück durch die Maschine fließen könnte. Solcher Minimal-Ausschalter ist bei Anwendung einer Serien- (auch Compound-)Dynamomaschine durchaus notwendig, weil die angedeutete Strom-Umkehr die Maschine umpolarisieren würde. Eine Umpolarisierung ist zwar für eine Nebenschluß-Dynamomaschine, welche in unserer Abbildung bei

C angedeutet ist, nicht zu befürchten, immerhin aber eine Umkehr der Ankerdrehung. Deshalb wendet man den Ausschalter meist auch hier an. Das Gesagte wird durch die beistehende Figur 97 bestätigt. Wie auch der Strom verläuft, der Nebenschlußstrom wird immer in derselben Haupt-Richtung um die Magnetkerne laufen.

Wie man beim Laden des Akkumulators durch Minimal-Ausschalter die Dynamomaschine bei zu schwachem Strome, so schützt man beim Entladen des Akkumulators diesen durch Maximal-Ausschalter gegen zu starke Entladeströme.

Praktisch bewährte Minimal- und Maximal-Ausschalter bestehen im Prinzip aus Elektromagneten, deren Solenoid-Spule vom Betriebsstrome durchflossen wird und durch deren plötzliche Drehung um unterhalb angebrachte Zapfen der Strom-Kreis unterbrochen wird: und zwar beim Minimal-Ausschalter, wenn der Strom zu

Fig. 97.



schwach wird, also der Elektromagnet die Kraft verliert, an einer oberhalb liegenden Eisenschiene festzuhaften; beim Maximal-Ausschalter, wenn der Strom so stark wird, daß der Elektromagnet seinem eigenen Gewichte entgegen sich drehend hebt gegen eine oberhalb liegende Eisenschiene.

### Die Puffer-Batterie.

(Auszug aus meinem Aufsätze in Glückauf 1901, Nr. 22: Die Pufferbatterie im allgemeinen, im besonderen die der Aktiengesellschaft Thiederhall in Thiede bei Braunschweig.)

#### 1. Zweck und Vorteile der in der Leitung zwischen Arbeits- und Kraft-Maschine eingeschalteten Pufferbatterie

sind kurz gesagt:

1. Die mit Stößen verbundenen Schwankungen des Arbeitsverbrauches an der Arbeitsmaschine sofort aufzunehmen und auszugleichen, indem sie

- Arbeitsüberschüsse sofort aufspeichert, bezw. nach Bedarf wieder herausgibt, so daß die aus Kraftmaschine und Dynamomaschine bestehende Stromerzeuger-(Generator-)Anlage einer beständigen Nachregulierung nicht mehr bedarf, vielmehr mit vorteilhaftester Geschwindigkeit, bei günstigstem Füllungsgrade, also günstigstem Kohlenverbrauche konstant arbeiten kann,
2. geringe Reparaturen an der Maschine dank der gleichmäßigen Beanspruchung und der daraus sich ergebenden Schonung der Anlage,
  3. eine meist nur halb so starke, also sowohl in der Anschaffung als auch im Betriebe billigere Kraftmaschine zu erfordern,
  4. bei Störungen bezw. Stillständen der Stromerzeuger-Anlage den Betrieb der Arbeitsmaschine (Kraft- und Lichtanlage) selbsttätig für eine gewisse Zeit zu übernehmen, also einen jederzeit betriebsbereiten ausgiebigen Betriebspeicher zu bilden, auch während der Nacht, wenn der Dampfkessel- und Dampf-Dynamomaschinenbetrieb ruht,
  5. alles in allem: in den meisten Fällen eine große Betriebsicherheit billiger \*) als auf irgend eine andere Weise zu schaffen.

Als Bedingungen für eine gute Pufferbatterieanlage können gelten:

- I. Reichlich \*\*) bemessene Größe (0,007 A/qcm Stromdichte).
- II. Geringer innerer Widerstand (0,08 bis 0,09 Ohm).
- III. Haltbarkeit.

## 2. Geschichtliche Bemerkungen.

Zum ersten Male wurde die Akkumulatorenbatterie als sog. Pufferbatterie im Februar 1896 \*\*\*) von der Maschinenfabrik Oerlikon in Zürich auf der zwei Jahre vorher, am 8. März 1894 dem Betriebe übergebenen, von derselben Firma erbauten elektrischen Straßenbahn Zürich-Hirslanden angewandt.

Ursprünglich †) war die Anlage für reinen Maschinenbetrieb ohne Akkumulatoren geplant und eingerichtet. Um jedoch den beim Befahren der vorhandenen starken Steigungen und Krümmungen sich ergebenden sehr schwankenden Stromverbrauch auszugleichen, entschloß sich schon im Jahre 1894 die Firma, angeregt durch die Akkumulatorenfabrik Hagen in Westfalen und ermutigt durch eingehende auf der eigenen Fabrikbahn angestellte Versuche zum ersten Male in der Kraftstation einer elektrischen Straßenbahn eine stationäre Akkumulatorenbatterie mit

---

\*) Man hört in der Technik oft von den hohen Preisen und der beschränkten Lebensdauer der Akkumulatoren und der Verteuerung der Anlage durch dieselben reden. Mit vielmehr Grund könnte man sich beklagen über die Kosten, die eine vorzügliche Steuerung einer Dampfmaschine mit sich bringt. Diese soll den Dampf ökonomischer ausnutzen, also die Betriebskosten vermindern, erhöht aber immerhin die Anlagekosten. Letzteres fällt aber bei rationell angelegter Pufferbatterie sogar auch noch fort, weil die Anwendung einer solchen nur eine halb so große Betriebs- und Dynamomaschine erforderlich und eine oft unentbehrliche Reservemaschine unnötig macht. Jene von Uneingeweihten befürchteten „hohen Preise“ werden deshalb meistens schon durch die Ersparungen an der Betriebsmaschine vollständig gedeckt. Beikünftig sei noch folgendes gesagt: Will man eine durchaus zuverlässige Betriebsreserve, so ist ein zweites vollständiges Maschinen-Aggregat meist ein besseres wohl auch billigeres Auskunftsmittel als eine von vornherein für doppelte Leistung gebaute Ein-Maschinenanlage.

\*\*) Viele glauben, eine „kleine“ Pufferbatterie für hohe Stromstärke sei auch schon vorteilhaft; das ist ganz verkehrt. Es muß empfohlen werden eine reichlich große oder gar keine.

\*\*\*) E. T. Z. 1896, Heft 53. „Elektrische Straßenbahnen mit stationären Akkumulatoren.“ Von Ludwig Schroeder.

†) E. T. Z. 1894, Heft 26. „Die elektrische Straßenbahn Zürich-Hirslanden.“

Zellenschalter in den Stromkreis parallel zu der als Nebenschluß<sup>\*)</sup>-Maschine ausgebildeten Dynamomaschine einzuschalten.

Der Zellenschalter der Batterie sollte selbsttätig nach Erfordernis Zellen zu- oder abschalten, je nachdem sich die Spannung in den Schienen durch die Schwankungen im Verbrauchsnetz änderte. Dieser nicht immer mit gewünschter Pünktlichkeit wirkenden Einrichtung haftete, abgesehen von ihrer Umständlichkeit noch ein häßlicher Übelstand an, welcher die Wirtschaftlichkeit der ganzen Akkumulator-Anlage zweifelhaft machte. Wie schon oben hervorgehoben wurde, steigt die Spannung eines Akkumulators beim Laden (wie ja auch, etwas derb ausgedrückt, in jedem Gefaße der Spiegel beim Füllen steigt) und fällt beim Entladen (Entleeren), also bei der Stromabgabe.

Um nun die Spannung auf einer gewissen Höhe unverändert zu erhalten, mußte deshalb, wie bereits hervorgehoben ist, der Zellenschalter Zellen abschalten, wenn die Batterie durch den überschüssigen Strom der stromerzeugenden Dynamomaschine geladen wurde. Umgekehrt müßten Zellen zugeschaltet werden, wenn bei Mehrverbrauch an der Verbrauchsstelle die Batterie entladen wurde. Diese zugeschalteten entladenen Zellen wurden aber hernach beim Laden der Batterie nicht auch mit geladen, weil sie eben abgeschaltet sein mußten. So kam es, daß der zur Regulierung dienende Teil der Batterie wohl entladen, aber nicht wieder geladen wurde und die Aufstellung einer besonderen Maschine, „Zusatz-Maschine“, zum Nachladen dieser Zellen erforderlich wurde.

Außerdem zeigte sich, daß diese zum Regulieren dienenden Schaltzellen ungleichmäßig beansprucht werden, so daß beim darauf folgenden Laden Zellen zurückblieben, während andere bereits „gasten“ und beim Nachladen jener zurückgebliebenen Zellen schädlichen Überladungen ausgesetzt waren.

Aber gerade die oben erwähnte Trägheit und Unpünktlichkeit, also die unangenehmen Fehler des Zellenschalters waren es, die nun auf die Erfindung der freien Pufferbatterie führten.

Es hatte sich während des Betriebes gezeigt, daß beim Versagen des Zellenschalters infolge jener Trägheit immer die gleiche Zellenzahl arbeitete, ohne daß bei dieser mangelhaften Regulierung Unzuträglichkeiten sich zeigten.

Man entschloß sich deshalb im Februar 1896 das Reguliermittel, den Zellenschalter, ganz abzuwerfen und erzielte nun durch die regulierenden Eigenschaften der Akkumulatorenbatterie in sich einen so durchschlagenden Erfolg, wie man ihn nicht erwartet hatte.

Auf diese Weise entstand die parallel mit der Dynamomaschine geschaltete, von weiteren Reguliermitteln befreite, durch ihre Eigenartigkeit sich selbst regelnde Batterie, die heutige Pufferbatterie, deren Bedeutung gegenüber den älteren mit Zellenschalter so hervorragend und ausschlaggebend z. B. für die elektrischen Fördermaschinen und ähnliche ungleichförmig arbeitende Anlagen, z. B. Eisenwalzwerke geworden ist, daß man sie als eine neue Einrichtung anzusehen hat.

Dieselbe Erfahrung wurde bei der von der Cie. de l'Industrie électric in

---

<sup>\*)</sup> Wenn aus irgendwelchem Grunde auch nur auf kurze Zeit die Umdrehungsgeschwindigkeit des Maschinenankers so vermindert würde, daß die Spannung der Maschine unter die des Akkumulators sänke, so würden bei Anwendung einer Hauptstrom-Maschine sofort die im Hauptstrom liegenden Magnete ummagnetisiert werden und bleiben. Infolgedessen würde der umgekehrte Maschinenstrom den Akkumulator entladen anstatt zu laden und unter Umständen Dynamomaschine und Akkumulator verderben. Daß solches Ummagnetisieren bei einer Nebenschluß-Maschine ausgeschlossen ist, lehrt ein Blick auf die Fig. 97.

Da eine Pufferbatterie nur bei Spannungsschwankungen wirkt und Sinn hat, so würde auch eine Compound-Dynamomaschine (welche bekanntlich bezweckt, bei noch so veränderlicher Stromstärke konstante Spannung zu halten) zum Pufferbetriebe untauglich sein. Die Nebenschluß-Maschine mit stark abfallender Charakteristik, d. h. welche bei geringer Änderung in der Stromstärke eine große Spannungsveränderung zeigt, eignet sich am besten für Pufferbetrieb.

Genf 1895/96 erbauten Straßenbahn in Lausanne gemacht. Mit gleichem Erfolge wurde auch hier der ursprünglich angewandte Zellschalter abgeworfen.

Auch bei der bereits im Jahre 1892 erbauten durch ungewöhnliche Bodenschwierigkeiten ausgezeichneten elektrischen Straßenbahn in Remscheid konnten die in hohem Grade auftretenden Schwankungen in der Stromentnahme endgültig nur durch Einführung einer Pufferbatterie gehoben werden. Hierbei zeigte sich sogar, daß nun der Betrieb der Straßenbahn mittelst einer Dynamomaschine bewirkt werden konnte, während ohne Batterie zwei betriebsbereit sein mußten.

Alle auf dem Gebiete gemachten Erfahrungen drängten zur Anwendung der Pufferbatterie in den heutigen elektrischen Straßenbahnbetrieben.

Nach diesen tatsächlichen Erfolgen bei den Straßenbahn-Förderungen, möchten Uneingeweihte glauben, daß die Einführung derselben bei der elektrischen Schachtförderung als etwas ganz Selbstverständliches sich ergeben hätte. In meinem früheren Aufsätze über die Thiederhaller Anlage\*) jedoch habe ich bereits von den Befürchtungen gesprochen, welche ursprünglich von anderer Seite gegen die Anwendung der Pufferbatterie bei der elektrischen Schachtförderung im allgemeinen, im besonderen bei der Thiederhaller Anlage geltend gemacht wurden.

Es war ja allerdings der Einwand maßgebender Sachverständiger nicht unbegründet, daß die Kraft- und Bewegungsstöße bei einer flotten Schachtförderung weit erheblicher sind als bei den elektrischen Straßenbahnbetrieben und deshalb auch das hartnäckige Sträuben gegen die Einführung der Pufferbatterie erklärlich, weil auf unserem Gebiete bislang die Erfahrung vollständig fehlte. Es blieb mir als Berater des Thiederhaller Direktoriums deshalb nichts anderes übrig, als durch persönliche Beobachtung ein eigenes Urteil über den Stand der strittigen Frage zu gewinnen. Die Pufferbatterie wurde auf meinen Rat in die Thiederhaller elektrische Förderanlage und damit bei derartigen Berg- und Hüttenanlagen zum ersten Male eingeschaltet, zumal die Lieferantin sich bereitwillig auf eine 10jährige Garantie gegen eine mäßige Versicherungssumme einließ\*\*).

Heute, nachdem der ausgezeichnete Erfolg, den die Pufferbatterie gewährleistet, allen Sachverständigen vor Augen liegt, gilt sie für viele als das „Ei des Kolumbus“. Aber das Verdienst, diese erste\*\*\*) Musteranlage in den Bergbau im Jahre 1899 eingeführt zu haben, gebührt nur den an der Einrichtung und Ausführung der Thiederhaller elektrischen Fördermaschine Beteiligten.

Unser Erfolg aber berechtigt zu der Annahme, daß in Zukunft kaum eine größere Berg- und Hüttenmännische elektrische Kraftübertragung eingerichtet werden wird, bei welcher ein weitsichtiger Leiter nicht die hervorragenden Vorteile der Pufferbatterie sich tunlichst zunutze machte.

---

\*) Die elektrische Förderanlage der A.-G. Thiederhall bei Braunschweig. „Glückauf“ XXXVI. Jahrgang, 1900, Nr 24.

\*\*) Eine derartige Versicherung, nach welcher am Ende einer 10jährigen Benutzung die Batterie in dem anfänglichen Betriebszustande übergeben werden muß, verdient ebenso wie jede andere Versicherung (Feuer-, Unfall-) empfohlen zu werden, selbst wenn sich in Zukunft herausstellen sollte, daß eine regelrecht betriebene Pufferbatterie niemals zugrunde ginge.

\*\*\*) Es ist gelegentlich der Besichtigung der Thiederhaller Anlage von „Sachverständigen“ geäußert, die Einschaltung der Pufferbatterie in eine elektrische Schachtförderung sei etwas längst Bekanntes und Erprobtes und dabei auf die Anlage auf „Hollertzug“ bei Herdorf im Siegerlande hingewiesen. Diese Behauptung ist falsch und verdunkelt die Tatsache! Denn die eigentliche Bedeutung für die elektrische Fördermaschine und ähnliche Anlagen hat die Akkumulatoren-batterie tatsächlich erst als unmittelbar in reiner Parallelschaltung mit der Dynamomaschine eingefügte Batterie erhalten, die ich deshalb oben im besonderen „Pufferbatterie“ nannte. Auch soll nicht unerwähnt bleiben, daß solche Pufferbatterie einen größeren wirtschaftlichen Wirkungsgrad als die Akkumulatorenbatterie hat.

**3. Kurze Zusammenstellung der wesentlichsten Vorteile und Vorzüge einer Anlage mit Pufferbatterie vor den bisherigen elektro-maschinentechnischen Betrieben und der Anforderungen, welche sie zu genügen hat.**

Im Anschlusse an die bereits seit einer Reihe von Jahren bei der ersten Anlage mit Pufferbatterie auf der 4550 m langen elektrischen Bahn Zürich—Hirslanden mit beträchtlichen Steigungen gesammelten und von L. Schröder veröffentlichten Erfahrungen beginne ich mit einem Zahlenbeispiele, welches bei Einrichtungen von elektrischen Lokomotiv-Förderungen auf Berg- und Hütten-Anlagen zum Anhalten dienen kann.

Das Gewicht eines leeren Straßenbahnwagens . . . . .	= 2300 kg
" " der elektrischen Ausrüstung . . . . .	= 1450 "
" " Fahrgäste und zweier Beamter (24 . 75) . . . . .	= 1800 "
Das Gewicht des besetzten Wagens . . . . .	= 5550 kg

Ferner sei angenommen für rollende und Zapfen-Reibung als Widerstandskoeffizient (Traktionskoeffizient)

$$K = \left( a/r + \frac{d/2f}{r} \right) = 0,012^*)$$

während des Anfahrens (Beschleunigung) . . . . . = 1,25 K  
als mittlere Fahrgeschwindigkeit . . . . . = 3,3 m,

so ergibt sich für die größte (80 m lange) Steigung (mit zuletzt 25 m Radius) in des Klosbachstraße mit 64,8 auf 1000 m, also  $\sin \alpha = 0,0648$  und  $\cos \alpha$  nahezu 1 als erforderliche höchste Leistung zur Fortbewegung des Wagens:

$$N = \frac{(0,0648 + 1,25 \cdot 0,012) \cdot 5550 \cdot 3,3}{75} \sim 20 \text{ Pferdekräfte,}$$

für den nur mit den beiden Beamten besetzten Wagen auf horizontaler Strecke:

$$N = \frac{0,012 \cdot 4000 \cdot 3,3}{75} \sim 2 \text{ Pferdekräfte.}$$

Beim Abwärtsfabren muß sogar gebremst werden. Als mittlere Leistung für Hin- und Herfahrt auf der ganzen Strecke sind etwa 5 Pferde ermittelt.

Ohne Anwendung der Pufferbatterie müßten Dynamomaschine und Dampfmaschine diesen erheblichen Schwankungen folgen und für die nur an einer kurzen 80 m langen Strecke erforderliche Maximalleistung berechnet und konstruiert sein.

Der Einfluß der Pufferbatterie ist durch die nebenstehende Spannungs- und Stromkurve im Aufsatze von Schröder veranschaulicht.

Die Schaulinien umfassen einen Zeitraum von 24 Minuten.

Die zackige Stromkurve a b (Stromkurve der Lokomotive) veranschaulicht die in der Streckenleitung auftretenden, dem sehr veränderlichen Arbeitsverbrauche der elektrischen Lokomotive entsprechenden starken Schwankungen von 20 bis 210 Ampère.

Die fette Linie c d dagegen zeigt die durch den regelnden Einfluß der Pufferbatterie wesentlich ausgeglichenen geringen Schwankungen. Dieselben erreichen jetzt höchstens die Grenzen 72 bis 102 A, halten sich aber im Mittel zwischen den engen Grenzen 85 bis 90 A. Dementsprechend sind Dynamomaschine und Dampfmaschine gleichmäßig belastet. Letztere kann deshalb bei vorteilhaftester Füllung und größter Belastung konstant arbeiten, was in allen Fällen der Techniker anzustreben hat. Aus den beiden Linien a b c d ist ersichtlich, wie die Pufferbatterie für die Schonung der Dynamomaschine sorgt, indem sie dieselbe gegen die erheblichen Stromstöße in der Streckenleitung schützt. Die schraffierte Fläche stellt

\*) Ableitung und Zusammenstellung dieser Koeffizienten für verschiedene Fälle der Praxis zu finden in meinem „Lehrbuche der technischen Mechanik“, Bd. I, S. 332 u. ff.



den Stromverbrauch in Ampère-Minuten dar. Ihr entspricht die durch die Linie cd nach oben begrenzte Fläche, welche die Stromabgabe der Dynamomaschine in Ampère-Minuten angibt. Durch die mit s bezeichneten höchsten Schwankungen in der Streckenleitung tritt zugleich deutlich hervor, daß in der 3., 9., 15., 21. Minute die Wagen von den Haltestellen abfahren, also ein 6 Minuten-Betrieb eingerichtet ist.

Weil die Ladungen und Entladungen in kurzen Zwischenräumen von nur wenigen Sekunden beständig wechseln, zeigt die Spannungskurve ef nur sehr geringe Schwankungen von 535 bis 560 Volt (entsprechend  $535/270 = 1,98$  bis  $560/270 = 2,08$  V für ein Element. Hierin ist auch der hohe, am Schluß angegebene Wirkungsgrad der Pufferbatterien begründet.

Durch Anwendung der Pufferbatterie ist auch der Kohlenverbrauch der Maschine von 2 kg bis 3 kg auf 1,1 kg für das Wagenkilometer heruntergegangen.

Der günstige Einfluß der Pufferbatterie auf den Kohlenverbrauch der Dampfmaschinenanlage läßt sich zahlenmäßig nachweisen:

Es werden verbraucht für 1 effektive Pferdekraft-Stunde für elektrische Straßenbahn ohne Pufferbatterie mindestens . . . . . 2,5 kg, dagegen bei der Zürich-Hirslanden-Anlage . . . . . 1,5 „, demnach durch Anwendung der Pufferbatterie 1 kg für 1 Stundenpferd und in einem Jahre 12877 Frcs. gespart.

Nun kostet die Pufferbatterie betriebsbereit 37 045 Frcs., danach werden jährlich  $\frac{37\,045}{12\,877} \approx \frac{1}{3}$  des Batteriepreises an Kohlen erspart.

Rechnet man dazu 5% Verzinsung der Batterie, ferner 5% Reparatur, so gehen hierfür von den 12 877 Frcs.

zusammen 3 705 „ ab,

und es bleiben über 9 172 „ 37 045/4 als jährliche Ersparung.

Demnach ist die Batterie in 4 Jahren durch die Kohlensparung bezahlt.

Begründet sind diese Kohlensparungen besonders dadurch, daß die Batterie eine vollständige, jederzeit betriebsbereite Reserve und einen pünktlichen, betriebs-sicheren Arbeitsausgleicher bietet. Anderenfalls müßte beständig ein zweiter Kessel unter Dampf gehalten werden, auch könnte die Dampfmaschine nicht gleichmäßig mit wirtschaftlich günstigstem Füllungsgrade vollbelastet arbeiten, sondern müßte sich der ungewöhnlich veränderlichen Beanspruchung der Dynamomaschine von 50 bis 110, selbst 200 Ampère anbequemen. Eine Anlage mit Pufferbatterie ist, im ganzen noch deshalb billiger, weil dieselbe ein vollständiges Maschinenaggregat bestehend aus Dynamomaschine, Dampfmaschine, Dampfkessel, Rohrleitung, Fundament, Kesseleinmauerung, dazu die Mehrkosten des größeren Schornsteins und der Montage erspart.

Mit Einführung der Pufferbatterie trat auch die Forderung heran, den Akkumulator für seine neue Bestimmung geeigneter und billiger zu machen. Der bisher vorzugsweise für Licht, also große Kapazität und längere Entladungsdauer hergestellte Akkumulator gestattete im Verhältnis zu seiner Größe nur einen niedrigen maximalen Lade- und Entladestrom.

Die Elektroden für Pufferbatterien mußten dahin umgeändert werden, daß sie bei gleicher Größe eine höhere Stromdichte sowohl für Ladung als auch für Entladung gewährleisten, auch dem Strome eine größere Oberfläche boten, weil die aufzunehmende und abzugebende Stromstärke durch die Größe der dargebotenen Bleischwamm- bzw. Bleisuperoxyd-Oberfläche der porösen „aktiven Masse“ bedingt ist. Ferner mußte der Widerstand in der Batterie möglichst herabgemindert und die Aufstellung derselben möglichst betriebssicher gemacht werden. Kurz die Pufferbatterie mußte befähigt werden, auf die Dauer mit größter Pünktlichkeit und Sicherheit ihre wechselvolle Arbeit selbsttätig dauernd zu verrichten.



Deshalb hat jede Pufferbatterie folgende Bedingungen zu erfüllen:

1. Die Gefäße dürfen im normalen Betriebe weder brechen noch leak werden.
2. Die Platten dürfen sich bei normalem zulässigen Strome nicht krümmen, müssen aber, da namentlich die positiven ihr Volumen verändern und mit der Zeit wachsen, die erforderliche Bewegungsfreiheit haben.
3. Um den Widerstand zu verringern, müssen Zuleitungen, Verbindungsstücke, Plattenfahnen für die größten Stromstärken berechnet und ausgeführt werden.
4. Die Revision und Bedienung müssen möglichst leicht vorzunehmen sein: Mittelst einer Handlampe sollen alle Platten abgeleuchtet, schadhafte Stellen aufgefunden werden können, Fremdkörper, die Kurzschluß veranlassen könnten, leicht zu beseitigen sein.
5. Die Isolation des Gestelles gegen Erde muß den meistens verwendeten hohen Spannungen angemessen sein.

Die Vorzüge einer elektrischen Anlage mit einer zweckmäßig gewählten und ausgeführten Pufferbatterie lassen sich nach dem Vorangeschickten wie folgt kurz zusammenfassen:

**I. Ausgleich.** Je nach der Zeitdauer der Stromstöße lassen sich die Spannungsschwankungen auf ein sehr geringes Maß (etwa 5% der Differenz zwischen der größten und kleinsten Spannung) beschränken.

**II. Betriebssicherheit.** Bei Störungen in der Primäranlage tritt die Pufferbatterie sofort selbsttätig ein und sorgt allein für Aufrechterhaltung eines ihrer Größe entsprechenden ununterbrochenen Betriebes.

**III. Bedienung.** Dieselbe wird erleichtert durch bedeutende Vereinfachung des Betriebes in der Primärstation.

**IV. Anschaffungskosten.** Bei gleicher Leistungsfähigkeit der Anlage stellen sich die gesamten Anschaffungskosten meist niedriger durch Einschaltung einer Pufferbatterie, weil die Betriebs-Kraftmaschine (Dampfmaschine) und die Dynamomaschine, kurz die ganze Primäranlage nicht für die Maximalleistung, sondern nur für die mittlere Leistung, d. i. etwa für die halbe Maximalleistung einzurichten ist. Hiermit ist zu vergleichen, was früher über die Verwendung der Akkumulatorbatterie in einer großen Licht-Zentrale gesagt ist.

**V. Betriebskosten.** Weil die Betriebsmaschine (Dampfmaschine) bei gleichbleibender mittlerer Belastung und gleicher Umdrehungszahl mit günstigstem Füllungsgrade sparsam und billig arbeitet, und weil außerdem die elektrischen Maschinen: Dynamomaschinen sowie Elektromotoren geschont werden, tritt eine entsprechende Verminderung der Betriebskosten ein.

Tatsächlich ergibt sich eine zahlenmäßig nachweisbare Ersparung an Betriebskosten aus:

1. dem geringeren Kohlenverbrauche für die Betriebsdampfmaschine (Zahlenbeispiel oben),
2. den verminderten Reparaturkosten infolge Schonung der Betriebsmittel,
3. der vereinfachten Bedienung, deren Gesamtkosten, selbst mit Einschluß der Ausgaben für Unterhaltung und der sehr zu empfehlenden Versicherung der Batterie sich ermäßigen.

Die für die elektrische Förderanlage der A.-G. Thiederhall im Jahre 1898 gelieferte Pufferbatterie, die erste ihrer Art, entspricht bisher allen Anforderungen, die nach den voranstehenden Auseinandersetzungen gestellt werden dürfen.

Unsere Pufferbatterie ist seit ihrer Inbetriebsetzung am 3. Juli 1899 von mir zu wiederholten Malen einer gründlichen Besichtigung unterworfen, um durch den Nachweis und die Messung der etwaigen Abnutzung im Betriebe eine Lebensgeschichte derselben zu erhalten und damit eine Grundlage für die Forderungen zu gewinnen, welche wir an eine derartige Anlage bei flottem Betriebe zu stellen in Zukunft berechtigt sind.

Hierbei hat sich gegen unser Erwarten erfreulicherweise herausgestellt, daß die von anderer Seite befürchtete ungewöhnliche Abnutzung, überhaupt Veränderung, während des regelrechten Betriebes bis jetzt nicht nachgewiesen werden konnte.

Am 10. Mai 1900, dem Tage der Abnahme, die ich als Sachverständiger für die Thiederhaller A.-G. zu leiten hatte, wurde die ganze Anlage einer ungewöhnlich starken Beanspruchung unterworfen, um sie auf ihre Leistungsfähigkeit zu prüfen und hierbei unsere Batterie als hier zum ersten Male in eine Schachtförderanlage eingeschaltetes Betriebsmittel besonders genau von mir beobachtet. Bei der Abnahme wurden (wie später unter den Fördermaschinen eingehend geschildert ist) 81 Aufzüge mit voller Ladung aus 200 m Teufe in 1 Stunde bewerkstelligt und damit das  $2\frac{1}{2}$ fache der ausbedungenen Leistung ermöglicht. Und obwohl beim Anfahren die volle Umgangszahl der Fördermaschine in der ungewöhnlich kurzen Zeit von 3 Sekunden erreicht und etwa auf dieselbe Zeit auch der Endlauf gekürzt wurde, zeigte die stark zur Arbeit herangezogene Pufferbatterie trotz starker Stromstöße keine Gasbildung, überhaupt keinerlei Veränderungen, wohl aber, daß sie berufen sei, den Betrieb einer derartigen Anlage zu vereinfachen und was noch viel wichtiger ist, zu sichern.

Nur beim Laden auf Kapazität, wofür sie als Pufferbatterie übrigens nicht bestimmt ist, zeigten sich die bekannten Ablagerungen von Bleisuperoxyd und Bleischwamm auf dem Boden der Zellen.

#### Die Pufferbatterie in elektrischen Schacht-Förderanlagen\*).

Nach den vorangeschickten ausführlichen Auseinandersetzungen, kann ich mich im folgenden kurz fassen.

Eine Eigentümlichkeit bei allen Fördereinrichtungen für Schächte, einfallende Strecken (auch Bremsberge), welche die Pufferbatterie ganz besonders zweckmäßig und wirtschaftlich erscheinen läßt, ist das Abwärtsfördern von Lasten, das sogen. „Hängen“. Hierbei ist die Schwerkraft die Triebkraft, also nicht nur keine künstliche Triebkraft (Dampf), sondern vielmehr beständig ein künstlicher Widerstand (Brems, elektrischer Widerstand, Gegendampf) erforderlich, um die beschleunigte Abwärtsbewegung zu regeln, in eine gleichförmige zu verwandeln. Aus diesem Grunde muß der Wärter in den gewöhnlichen Fällen bei unausgesetzter Aufmerksamkeit den Brems- bzw. Regulierhebel nach Erfordernis beständig hin und her bewegen.

Andererseits ist es besonders bei Schächten von geringer Teufe erwünscht, daß die An- und Endlaufdauer, d. i. die Zeit, von der Ruhe bis zur größten Geschwindigkeit und von dieser wieder bis zur Ruhe möglichst kurz ausfalle. Die Erfüllung dieser Aufgabe macht dem Maschinenführer die Steuerarbeit besonders schwierig und trotz der größten Aufmerksamkeit desselben, doch nur in sehr beschränktem Maße möglich. Alle hierüber aufgezählten Schwierigkeiten werden durch Anwendung der Pufferbatterie aus dem Wege geräumt.

Um diese Behauptung folgerichtig zu begründen, sollen alle hier in Frage kommenden Fördermaschinen in drei Gattungen geteilt werden:

- I. Gewöhnliche Dampffördermaschine.
- II. Elektrische Fördermaschine ohne Pufferbatterie.
- III. „ „ „ mit „

\*) Das hierunter Gesagte gilt fast wörtlich auch für die neuerdings mit bestem Erfolge eingeführten Ilgner Schwungrad-Fördermaschinen (von denen unter den elektrischen Fördermaschinen gehandelt wird), zumal, wenn man überall anstatt Pufferbatterie Schwungrad setzt und beim Schwungrade die Aufnahme und Abgabe von lebendiger Kraft mit „Laden“ und „Entladen“ bezeichnet. Nur hat bekanntlich das Schwungrad nicht die Fähigkeit, Arbeit auf längere Zeit aufzuspeichern, kann deshalb die Pufferbatterie nicht ersetzen in allen den Fällen, wo z. B. abends noch Arbeitsleistung verlangt wird, wenn die Kraftanlage (Dampfmaschine und Kessel, sowie die Dynamomaschine) außer Betrieb gesetzt ist.

I. Die Schwierigkeit der Handhabung bei den bislang weitaus in den meisten Fällen verwendeten Dampffördereinrichtungen, besonders mit flottem Betriebe, sowie die Ursachen der Dampfvergeudung sind bekannt.

II. Bei allen vor der Thiederhaller Anordnung angewendeten elektrisch angetriebenen Schachtfördermaschinen wurde die gewünschte Bewegung ebenfalls erzwungen durch die aufmerksamste Reguliertätigkeit des Maschinenführers am Steuerhebel, die in den weitaus meisten Fällen darauf hinaus läuft, die Wirkung der Schwerkraft, kurz mechanische Arbeit zu vernichten.

Da die Seillast während des Hängens sich ändert, muß der Maschinenführer während der ganzen Fahrt den Steuerhebel verstellen. Die größte Aufmerksamkeit aber ist erforderlich, wenn, wie z. B. beim Schichtenwechsel, die Belegschaft aus- und einfährt, überhaupt in allen den Fällen, in welchen die Belastung beider Förderschalen nahezu dieselbe ist. Dasselbe würde auch gelten für die Fahrten zum Revidieren des Schachtes und des Seiles. Denn in allen diesen Fällen ist das wechselnde Seilübergewicht zu Anfang der Fahrt auf der einen, zu Ende auf der anderen Seite. In dem Augenblicke dieses Gewichtwechsels muß der Maschinenführer deshalb auch umschalten, wenn die Maschine nicht durchgehen und beschädigt werden soll.

Durch Verstellen des Anlaßhebels und Umlegen des Umschalthebels während der Fahrt werden Ansprüche an die Aufmerksamkeit des Wärters gestellt, denen bei flotter Förderung mit Sicherheit kaum genügt werden kann. Es wird die Bergpolizei deshalb einer Anlage, wie der Thiederhaller, bei welcher durch Anwendung der Pufferbatterie (neuerdings des Ilgner Schwungrades) diese Unsicherheit beseitigt ist, unbedingt den Vorzug geben müssen.

III. Der größte Vorteil der elektrischen Fördermaschine mit Pufferbatterie (und Ilgner) besteht nun darin, daß die Leistung der Schwerkraft beim Hängen, überhaupt bei allen Vorgängen, bei welchen sonst die Bremse angezogen werden müßte, selbsttätig ohne Einschreiten des Maschinenwärters aufgespeichert wird. Hierbei wird dreierlei gewonnen:

1. nicht nur die Arbeit der Betriebsmaschine nicht vergeudet, sondern noch dazu die Arbeit der Schwerkraft gewonnen und aufgespart, damit zugleich
2. die Geschwindigkeit der Fördermaschine von selbst geregelt und
3. die Arbeit des Maschinenführers vermindert.

Dazu kommt noch, daß während der Pausen eine Arbeit aufgespeichert wird, die dann bei dem unmittelbar darauf folgenden Anheben der Last wieder in der hierbei erforderlichen größeren Arbeitsmenge sofort verfügbar ist.

Vorteile in dem Umfange und in der Bedeutung wie oben (beim Hängen“ und beim Wechsel der Seillast) kurz geschildert wurde, können durch keine anderen Hilfsmittel, auch nicht durch die vollkommensten Aufsatzvorrichtungen irgendwelcher Art erzielt werden, welche Aufspeicherung und Wiederherausgabe der Arbeit beim „Aufsetzen“ der Last bezwecken.

Zum Schluß sei noch hervorgehoben, daß weit günstiger als bei der gewöhnlichen Akkumulatorenbatterie für Dauerladung die Verhältnisse für die richtig bemessene, regelrecht arbeitende Pufferbatterie liegen, deren Bestimmung ist, nicht dauernd, sondern innerhalb weniger Sekunden abwechselnd Stromstöße aufzunehmen und abzugeben. Für diese ist der Wirkungsgrad wohl auf 0,98 bis 0,96 zu veranschlagen, also der Arbeitsverlust von 2—4% so geringfügig, daß er für die meisten Fälle der Praxis nicht berücksichtigt zu werden braucht.

## Ergänzung.

### Umformer. Elektromotor-Generator.

Das Folgende kann als eine kurzgefaßte Ergänzung und Vervollständigung des im voranstehenden unter A Dynamomaschinen, B Transformatoren und C Akkumulatoren gebotenen angesehen werden.

Der Wunsch

- I. einen Gleichstrom ( $e_i$ ) in einen anderen Gleichstrom ( $e_1 i_1$ ),
  - II. Gleichstrom in Wechselstrom, zwecks Anwendung von Transformatoren,
  - III. Wechselstrom in Gleichstrom, „ „ „ Akkumulatoren,
- zu verwandeln, hat die Elektrotechniker veranlaßt, noch zwei Gattungen von Dynamomaschinen-Einrichtungen zu ersinnen: die sogenannten „Umformer“ und „Elektromotor-Generatoren“.

1. Umformer („Converter“) nennt man nicht unpassend eine Dynamomaschine, welche in ein und demselben Anker (Einanker-Umformer) die Stromumwandlung (Umformung) ermöglicht. Äußerlich fällt an solcher Dynamomaschine besonders auf, daß an beiden Seiten Schleifbürsten sich befinden, die entweder auf beiden Seiten auf Kommutatoren schleifen, z. B. im Falle I; oder von denen in den Fällen II und III die Bürsten auf der einen Seite auf Kommutatoren, auf der anderen dagegen auf Schleifringen schleifen. Daß hier drei Schleifringe und Bürsten bei Dreiphasenstrom zu erwarten sind, ist selbstverständlich. Auf die Drehstrom- und Gleichstrom-Wicklung dieser Einanker-Umformer näher einzugehen, müssen wir uns versagen. Es genüge die Hindeutung, daß der Anker zwei getrennte, aber auch nur eine einzige Wicklung haben kann, an welche die Schleifringe und der Kollektor angeschlossen werden; ferner daß die Felderregung regulierbar sein und die Spannung des eingeführten (Dreiphasen-) Wechselstromes zu der Spannung des gewünschten Gleichstromes in einem bestimmten Verhältnisse stehen muß:

$$\frac{\text{Dreiphasenstromspannung}}{\text{Gleichstromspannung}} = 0,68,$$

da die effektive Spannung des Wechselstromes, wie wir aus dem Früheren wissen, 0,7 von seinem Höchstwert ist, der Gleichstrom aber nur gleich der effektiven Spannung sein kann und etwa 2% auf Ohmwiderrstand zu rechnen sind.

Die Umwandlung des Gleichstromes in Wechselstrom (II) wird, u. a. bei der „drahtlosen Telegraphie“ („Telefunken“), übrigens seltener angewandt als die des Wechselstromes (in „Unterstationen“ der Wechselstromzentralen) in Gleichstrom, um mit letzterem Akkumulatoren bzw. Pufferbatterien zu speisen.

2. Die Elektromotor-Generatoren sind Zweianker-Maschinen und bestehen meistens aus einem Nebenschluß-Elektromotor, dessen Anker-Welle mit der eines Generators unmittelbar gekuppelt ist. Sie dienen zur Umwandlung von Gleichstrom in Gleichstrom von anderer Spannung, aber auch von Gleichstrom in Wechselstrom bzw. Dreiphasenstrom und Dreiphasenstrom in Gleichstrom. Der letztere Fall kommt zur Anwendung in Unterstationen zum Laden von Akkumulatoren mit der erforderlichen hohen Spannung.

Zu den Elektromotor-Generatoren ist auch die mit Schwungrad versehene Einrichtung zu zählen, welche Ilgner bei den elektrischen Fördermaschinen eingeführt hat, die später besprochen werden.

## Rückblick über die Art und Wahl der verschiedenen elektrischen Ströme.

A. Gleichstrom ist empfehlenswert besonders für Lichterzeugung mit und ohne Akkumulator, auch für wechselnde Kraftübertragung mit Pufferbatterie, aber nur

für Spannungen bis 500 (höchstens 700) Volt, wegen des Funkens am Kollektor und deshalb nicht für Übertragung auf weite Entfernungen. Auch Spannungs-Umformungen können nur durch drehbare (Umformer), aber nicht durch die viel einfacheren, feststehenden, keiner Wartung bedürftigen Transformatoren herbeigeführt werden. Viel mehr geeignet als der Wechselstrom ist er aber zur Aufspeicherung und Ausgleichung des Stromes, sowie zur Regelung der Umdrehungszahl  $n$  der Elektromotoren (für Fördermaschinen, Krane, Lokomotiven) und deshalb im allgemeinen wirtschaftlicher; insbesondere bei Anwendung von Akkumulatoren und Pufferbatterien.

Die Regelung der Umdrehungszahl der Gleichstrom-Elektromotoren wird ermöglicht:

- a) durch Veränderung der Feldstärke, und zwar:
  - $\alpha$ ) durch Einschalten von Widerständen vor die Magnetwicklung der Nebenschluß-Elektromotoren (Nebenschluß-Regelung),
  - $\beta$ ) durch Einschalten von Widerständen parallel zur Magnetwicklung der Hauptstrom-EM. (Hauptstrom-Regelung),
  - $\gamma$ ) durch (unzweckmäßige) Ein- und Ausschalten von Polpaaren,
  - $\delta$ ) durch Spannungs-Regelung des Elektromotorstromes mittelst einer sog. „Anlaßmaschine“, wie z. B. bei der Leonard-Schaltung, die neuerdings viel angewandt wird bei großen elektrisch angetriebenen Förder-, Eisenwalzwerks- und anderen Arbeitsmaschinen mit großen Geschwindigkeits- und Belastungs-Schwankungen (Beschreibung unter den Fördermaschinen),
- b) durch Veränderung des Ankerstromes. Dieses Hilfsmittel ist nur zu empfehlen für kleine billige Elektromotoren, deren Wirtschaftlichkeit nicht in Frage kommt.

## B. Wechselstrom.

1. Einphasiger Wechselstrom, geeignet für Lichterzeugung und Kraftübertragung auf weite Entfernungen mittelst hoher Spannungen, die leicht noch durch stehende Transformatoren umgespannt werden, nach oben bis auf viele Tausend Volt und nach unten bis auf 110 Volt. Über die neueren Verbesserungen (Repulsions-, Kommutator-Elektromotoren) fehlen noch die Erfahrungen. Die asynchrone Wechselstrom-Elektromotoren gehen nur an, wenn sie mit besonderer Anlaßvorrichtung versehen und nicht überlastet sind.
2. Mehrphasiger (verketteter) Wechselstrom (Drehstrom oder Drillingstrom) ermöglicht den Bau von Generatoren und Elektromotoren für hohe Spannungen, ist deshalb, außer für Lichterzeugung, besonders geeignet für Übertragung großer Kräfte (Arbeit) auf sehr weite Entfernungen und weitverzweigte Netze mit und ohne Verwendung von (mehrphasigen) Transformatoren und da das Funken vollständig vermieden werden kann, anwendbar in Gruben und Räumen, in denen die Gefahren von Gas- und Staubexplosionen vorhanden sind.

Die asynchronen Mehrphasen-Elektromotoren laufen unter Last an, vertragen Überlastung und lassen sich in bezug auf ihre Umdrehungszahl  $n$  regeln durch Widerstände im Rotor(Anker)-Stromkreise. Da hiermit aber Arbeitsverluste verbunden sind, stehen die Mehrphasen-Wechselstrom-Elektromotoren wirtschaftlich hinter den Gleichstrom-Elektromotoren zurück, was später unter den „Fördermaschinen“ noch deutlicher hervorgehoben wird.

## D. Leitungen

### zur Übertragung und Verteilung des elektrischen Stromes.

**Einleitende Bemerkungen.** Schon an früheren Stellen unseres Buches ist auf die hervorragende Wichtigkeit der Leitungen, insbesondere darauf hingewiesen, daß Sorgfalt zu verwenden ist auf die Wahl, besonders der dem Umfange des Leitungsnetzes anzupassenden Spannung und des damit im umgekehrten Verhältnisse stehenden Leitungs-Querschnittes\*); ferner auf die Güte des Leitungsmaterials (Kupferdrahtes), auf die Isolierung der Leitung gegen den Erdboden; kurz auf die Anordnung und Ausführung eines ausgedehnten Leitungsnetzes, weil gerade durch letzteres in hervorragender Weise die Anlage- und Betriebskosten der gesamten elektrischen Anlage beeinflußt werden.

Als oberster Grundsatz kann unter sonst gleichen Verhältnissen gelten, daß die Spannungen um so höher gewählt werden müssen, je ausgedehnter das Leitungsgebiet ist, unter gewöhnlichen Verhältnissen:

110, 220, 440, 600 Volt und darüber

für 500, 1000, 2000, 4000 Meter Entfernung (und darüber),

und daß man deshalb für kleinere Entfernungen Gleichstrom, für die größeren Wechsel-(Mehrphasen)-Strom vorziehen wird.

Am gebräuchlichsten sind:

für Gleichstrom das Zwei- und Drei- (weniger das Fünf-)Leiter-System,

„ Wechselstrom das Dreiphasen-Leiter-System.

I. Das Zwei-Leitersystem ist vorteilhaft für Entfernungen unter 1000 m.

1. Die Reihen- oder Serien-Schaltung ist die einfachste, aber nur für geringe Entfernungen wirtschaftlich, weil sie auf große Kupferquerschnitte führt. Sie erfordert eine einfache Stromerzeuger-Maschine, die einen einfachen Leitungskreis mit überall gleicher Stromstärke ( $i$ ) speist, in welchem sämtliche Stromverbraucher hintereinander liegen. Sie wird selten, z. B. noch bei reiner Bogenlichtbeleuchtung, angewandt und hat den Nachteil, daß ein einziger fehlerhafter Verbraucher (Lampe) den ganzen Betrieb stört. Aus diesem Grunde muß jede Lampe mit Kurzschlußleitung versehen werden, die den Strom erforderlichenfalls um dieselbe herumleitet.

2. Parallel-Schaltung. Die Glühlampen und sonstigen Stromverbraucher liegen nicht in der Hauptleitung selbst, sondern in Parallel-Zweigen zwischen der Hin- und Rückleitung. Durch die auch hier von einer Maschine besorgte Stromzuführung und durch die Stromverzweigungen muß dafür gesorgt werden, daß überall an den Abzweigungen und in den Zweigleitungen dieselbe gleichbleibende Spannung  $e$  erhalten wird, damit sämtliche Lampen gleich gut brennen. (Siehe auch vorn die Figuren 4 und 5.) Sie hat vor der voranstehenden Reihen-Schaltung den wesentlichen Vorteil, daß beliebig viel Lampen aus- oder eingeschaltet werden können, ohne den Betrieb zu stören. Aber sie ist kostspielig wegen der vielen Parallel-Leitungen.

II. Das Dreileiter-System wird empfohlen für ein Beleuchtungsgebiet, welches radial von dem Stromerzeuger aus sich nur wenig über 1000 m bei 2 . 110 V und wenig über 2000 m bei 2 . 220 V Spannung erstreckt.

Es sind zwei Stromerzeuger (Dynamomaschinen) von je 110 oder 220 Volt Spannung hintereinander geschaltet, so daß die (+) Klemme der einen Maschine mit der (—) Klemme der anderen verbunden ist. Von dieser Verbindungsstelle

\*) Die Verminderung des Spannungsverlustes einer Leitung kann auf zweierlei Weise, nämlich durch Erhöhung der Spannung und Vergrößerung des Leiter-Querschnittes erreicht werden; und zwar ist gleichwertig einer Verdoppelung der Spannung eine Vervierfachung des Querschnittes, was in einem früheren Zahlenbeispiele hervorgehoben wurde.

geht der „Mittel- (oder Null-)Leiter“ aus, der als eine Verschmelzung der Hinleitung der einen und Rückleitung der anderen Maschine aufgefaßt werden kann. Außer diesem Mittelleiter sind nun noch vorhanden die beiden Außen- (oder Haupt-)Leiter, zwischen denen die Spannungsunterschiede 2.110 und 2.220 Volt betragen. Dagegen beträgt (was aus der voranstehenden Schilderung hervorgeht) die Spannung zwischen einem Außenleiter und dem Mittelleiter nur 110 bzw. 220 Volt. Es ist nun dafür zu sorgen, daß die Lampen oder sonstigen Verbraucher gleichförmig zwischen dem Mittelleiter und je einem Außenleiter parallel geschaltet sind. In diesem Falle ist der Mittelleiter stromlos. Nur wenn auf der einen oder anderen Seite mehr Lampen eingeschaltet sind, fließt durch den Mittelleiter ein der Differenz entsprechender geringer Strom. Die Mittelleiter müssen nach den Vorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker geerdet werden. Elektromotore werden meist zwischen die Außenleiter geschaltet.

Das Dreileitersystem führt für große Entfernung auf eine billigere Anlage als das Zweileitersystem, weil die Hauptleitungen wegen der doppelten Spannung nur den halben Querschnitt, und der Mittelleiter einen noch geringeren Querschnitt (höchstens 0,5 des Querschnittes einer Hauptleitung) erfordern. Immerhin muß es aus den vergleichenden Kostenanschlägen hervorgehen, welches System für den vorliegenden Fall auf die billigere und zweckentsprechendere Anlage führt.

Anstatt zweier Dynamomaschinen kann man eine Dynamomaschine von doppelter Spannung wählen, muß dann aber noch eine parallel geschaltete Akkumulatorenatterie von gleicher Spannung hinzufügen, von deren Mitte der Mittelleiter ausgeht. Daß eine solche Akkumulatorbatterie auch noch den Vorteil der Stromaufspeicherung bietet und Strom liefern kann, wenn im ganzen die Betriebsanlage (Kraftmaschine, Dampfkessel, Dynamomaschine) ruht, ist bereits früher hervorgehoben.

Mittels des „Spannungsteilers“ D. R. P. Nr. 73892 hat die „Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft“ Berlin auch für eine einzige Dynamomaschine das Dreileiter-System ermöglicht (Fig. 5). Die Gleichstrommaschine („Dreileitermaschine“) wird noch mit zwei Schleifringen versehen, welche mit zwei gegeneinander überliegenden Punkten des Ankers verbunden sind. Von den Bürsten derselben wird der abgenommene Wechselstrom mittelst Leitungen um den in der Figur als Drosselspule bezeichneten Spannungsteiler geführt. Mit der Mitte dieser Drosselspule ist der Mittelleiter (Null- oder Ausgleichs-Leiter) verbunden, in welchem wegen der hohen Selbstinduktion der Drosselspule nur geringer Strom fließt. Man beachte auch, daß in Figur 5 durch die Dicke der Linien (Leitungen) die Stromstärke  $i_1$   $i_2$   $i_3$  . . . veranschaulicht sind (die in diesen Leitungen fließen).

III. Das Dreiphasen-Leiter-System. Wie bei diesem die Verbraucher (Lampen, Elektromotoren, Transformatoren) sowohl für Stern- als auch Dreiecks-Schaltung anzuordnen sind, wurde bereits früher angegeben (Fig. 67, 68). Die auch hier vorhandenen drei Leitungen sind gleichwertig. Darin besteht der besondere Unterschied zwischen dem „Wechselstrom-Dreiphasen“- und dem „Gleichstrom-Dreileiter“-Systeme. Bei der Stern-Schaltung des Dreiphasensystems entspricht der vom Sternpunkte ausgehende vierte Leiter etwa der bei dem (Gleichstrom-)Dreileitersysteme als „Mittel-, Ausgleichs-, Null-Leiter“ bezeichneten Leitung.

Es geht aus den Angaben auch zur Genüge hervor, was wohl beachtet werden muß, daß die Lampen zwischen zwei Leitungen eingeschaltet sind, in den Elektromotor aber alle drei Leiter des Dreiphasensystems hineingehen. Lampen- und Motoren-Spannung sind dann natürlich verschieden. Des Gesagten wegen darf man sich nun auch nicht wundern, wenn man beim Dreiphasen-System nur zwei Leitungen in die Gebäude eingeführt sieht, in denen es sich nur um die Speisung weniger Lampen handelt.

**Kurze Zusammenstellung einiger der verschiedenen gebräuchlichsten Arten von Leitungen.**

In der Elektro-Physik ist hervorgehoben, daß gegenüber den am besten leitenden (hier wegen gleichzeitiger Festigkeit und Billigkeit in Frage kommenden) Metallen: Kupfer, Messing, Eisen; als am besten isolierende Körper: die atmosphärische Luft; ferner die harzartigen (Gummi, Schellack, Asphalt, Ambroin<sup>\*)</sup>, die glasartigen (Glas, Porzellan, Glimmer und Glimmer-Fabrikate, wie z. B. Mika, Mikanit, Megomit) Körper und auch noch Papier (Preßspahn, Steinpappmasse), Seide und Asbest, Vulco-Asbest, Pyrostat zu zählen seien. Daraus ergeben sich folgende technische empfehlenswerte Leitungen.

1. Die „blanken“, durch die Luft gespannten, nur an den beiden Enden unterstützten Leitungen ohne jegliche Umhüllung. Da die Luft der beste Isolator, dagegen die Erdoberfläche der beste Leiter ist, würde man solche Leitung nicht mit festen Gegenständen der Erdoberfläche zusammenbringen, wenn es nicht erforderlich wäre, sie außer an den beiden Enden, noch an zwischenliegenden Stellen zu unterstützen, damit ihr Durchhang  $f_m$  bzw. die an den befestigten Enden auftretende Horizontalspannung  $H_{kg}$  für einen großen Abstand der Stützpunkte (Spannweite)  $a_m$  und ein bestimmtes Eigengewicht  $q^{kg}$  auf 1 m Länge nicht unzulässig groß wird. Die Formel der Mechanik, welche diese Beziehungen ausdrückt, aber auf deren Ableitung hier nicht eingegangen werden kann, heißt:

$$H = \frac{q \cdot a^2}{8 \cdot f} \text{ **)}$$

Erschwerend kommt bei solchen Leitungen noch hinzu, daß durch die Temperaturunterschiede die Spannungen sich ändern. Die folgende kleine Tabelle gibt die Werte  $f$  in cm an, welche der Monteur innehalten muß, wenn die Spannung im Leiter den zulässigen Wert (400 kg qcm) nicht überschreiten soll.

Bei den in der Tabelle angenommenen abgerundeten Werten erhöht sich bei  $-20^\circ$  Celsius und Reifansatz die Beanspruchung der Leitung bis zur Elastizitätsgrenze, die nach den Lehren die Festigkeit und Sicherheit bei keinem unserer Konstruktionen überschritten werden darf.

**Durchhang  $f$  cm**  
(ohne Reif- und Schnee-Ansatz).

a m	bei den Temperaturen					
	$-20^\circ$	$-10^\circ$	$0^\circ$	$+10^\circ$	$+20^\circ$	$+30^\circ$ C
20	10	15	20	25	30	35
30	25	30	40	45	50	55
40	45	50	60	65	70	80
50	70	80	85	92	100	105

Beispiele. Einer bei  $+20^\circ$  gezogenen Leitung von 30 m Spannweite müßte der Monteur einen Durchhang  $f = 50$  cm geben, wenn die Spannung innerhalb zulässiger Grenzen bleiben soll. Umgekehrt ist aus der Tabelle zu folgern, in welcher Entfernung die Unterstützungen anzubringen sind, wenn ein höchster Durchhang nicht überschritten werden soll. Denn bei  $+20^\circ$  müßte man bei  $a = 20$  m

<sup>\*)</sup> Die Ambroin-Werke G. m. b. H. Berlin-Pankow geben an, daß ihr aus Silikaten bestehendes mit fossilen Copaten durchtränktes, dann gepreßtes Fabrikat ein dichtes gleichmäßiges Gefüge zeigt und empfehlenswert ist als Ersatz für Hartgummi, Zelluloid, Stabilit, Vulkanfaser, Schiefer, Ebenholz.

<sup>\*\*)</sup> Dieselbe Formel gilt für die Drahtseil-Triebwerke.



einen Durchhang  $f = 30$  cm, dagegen bei  $a = 50$  cm schon einen Durchhang von 100 cm geben.

Wir erkennen hieraus die Notwendigkeit, die Leitung in gewissen Entfernungen unterstützen zu müssen.

**Isolierglocken.** Zu dem Ende bringt man an Stangen oder Mauern Isolierglocken aus Porzellan an, welche als umgestülpte Glocken angesehen werden können, die nach unten mit zwei, drei, selbst mehr Glocken-Ringen versehen sind, wenn die an ihrem äußeren Umfange befestigten Leitungen hochgespannten Strom von 1000, 5000 10000 Volt leiten. Die Eisen-Isolatorstütze ist von unten in die Glocke eingeführt und in deren Mitte eingekittet. Da alle Feuchtigkeit auf dem äußeren Glockenumfange abfließt, so ist durch die inneren Glocken ein großer Widerstand zwischen Leitungsdraht und Glocken-Unterstützung vorhanden. Die Isolatoren, bei welchen die inneren Glocken am unteren Rande in Rillen ausliefen, in die man Öl goß, und die man zum ersten Male bei der Kraftübertragung Lauffen—Frankfurt 1891 anwandte, haben sich nicht bewährt. Blanke Leitungen werden im Innern von Räumen nur dann gezogen, wenn die nun besprochenen Leitungen nicht gut anwendbar wären.

2. Isolierte Leitungen. Dieselben müssen für hohe Spannungen und feuchte Räume mit gutem Gummiüberzuge und mehrfachen Umspinnungen versehen sein.

Für niedrigere Spannungen und trockene Räume genügen Hanf-Umspinnungen, die mit Asphalt getränkt sind.

3. Kabel, welche auf dem Boden der Meere und Flüsse, in Schächten und Grubenstrecken oder in Fabrikräumen unter Stößen, angreifenden Dämpfen und Gasen zu leiden haben, müssen nicht nur gut isoliert, durch Bleimäntel luft- und wasserdicht umhüllt, sondern auch durch Bandeisen-Umwicklung „armiert“ und letztere dann wieder gegen Rosten geschützt sein. Eine öfters zur Anwendung kommende Kabel-Art, das „Eisenband armierte konzentrische Doppelkabel mit Bleimantel“, enthält die Hin- und Rückleitung und hat etwa folgende Einrichtung. In der Mitte liegen eine Anzahl Leitungsdrähte für die Hinleitung, welche mit einer dicken Isolierschicht umhüllt sind. Hierauf folgt der Bleimantel. Dann folgen in einer Isolierschicht eingebettet die konzentrisch angeordneten Kupfer-Drähte für die Rückleitung, wieder eine Isolierschicht, ein Bleimantel, eine Umwicklung mit Bandeisen und zum Schutze des letzteren gegen Rosten ein mit Asphalt stark getränktes Jutegeflecht.

### Elektrische Beanspruchung (Belastung) der Leitungsdrähte. Tabelle.

Zusatz. Die Wärme ist da, wo sie nicht beabsichtigt wird, der größte Feind aller elektrischen Leitungen. Die Leitungsdrähte müssen deshalb durch Begrenzung der zulässigen „Strombelastung“ sorgfältig vor zu hoher Erwärmung geschützt werden. Da letztere nun unter sonst gleichen Verhältnissen mit dem Umfange der Leitung abnimmt, dagegen mit der Stromstärke zunimmt, so darf bei dünnen Leitungsdrähten auf die Quadrateinheit eine verhältnismäßig größere Stromstärke gerechnet werden als bei dicken. Um diesem Umstande Rechnung zu tragen, bestimmt der:

„Verband Deutscher Elektrotechniker“ in seinen „Sicherheits-Vorschriften für die Errichtung von elektrischen Starkstromanlagen“, daß „Isolierte Kupferleitungen und Kabel (vom Querschnitte  $q$ ), die nicht unterirdisch verlegt sind, höchstens mit den in nachfolgender Tabelle verzeichneten Stromstärken ( $i$ ) dauernd belastet werden dürfen“ (Dr. C. L. Weber 1902 S. 30):

$q = 0,75 \ 1 \ 1,5 \ 2,5 \ 4 \ 6 \ 10 \ 16 \ 25 \ 35 \ 50 \ 70 \ 95 \ 120 \ 150 \ 185 \ 240 \ 310 \ 400 \ 500 \ 625 \ 800 \ 1000$  Quadratmillimeter,  
 $i = 4 \ 6 \ 10 \ 15 \ 20 \ 30 \ 40 \ 60 \ 80 \ 90 \ 100 \ 130 \ 165 \ 200 \ 235 \ 275 \ 330 \ 400 \ 500 \ 600 \ 700 \ 850 \ 1000$  Ampère.

Blanke Leitungen über 50 und unter 1000 qmm Querschnitt können mit 2 Ampère auf 1 qmm belastet werden.

Der geringste zulässige Querschnitt für isolierte Kupferleitungen ist (besonders auch der Festigkeit wegen) 1 qmm und kann an und in Beleuchtungskörpern bis 0,75 qmm vermindert werden. Der geringste zulässige Querschnitt von blanken Kupferleitungen in Gebäuden ist 4 qmm, bei Freileitungen 6 qmm. Stromleitungen aus Kupfer sollen ein solches Leistungsvermögen besitzen, daß 57 m eines Drahtes von 1 qmm Querschnitt (bei 15° C) einen Widerstand von nicht mehr als 1 Ohm haben.

Bei Verwendung von Drähten aus anderem Material müssen die Querschnitte entsprechend größer gewählt werden.

Obige Tabelle gibt:

- am Anfange 3 Ampère auf 1 qmm,
- in der Mitte 2 Ampère auf 1 qmm,
- am Ende 1 Ampère auf 1 qmm.

Blanke Leitungen müssen im Freien mindestens 4 m über dem Erdboden verlegt werden.

Berechnungen von Leitungsquerschnitten sind an verschiedenen Stellen des Leitfadens gegeben.

Blitz- und verwandte Schutzvorrichtungen für die elektrischen Leitungen und die mit letzteren zusammenhängenden Maschinen und Apparate.

Lange Freileitungen schützt man durch Blitzableiter, bevor sie in die Räume zu den Maschinen eingeführt werden. Auch Hochspannungsleitungen sind innerhalb der Maschinenräume mit zuverlässigen Schutzvorrichtungen gegen Überspannungen zu versehen.

Bei Anlegung genannter Vorrichtungen ist zu berücksichtigen, daß sie bezwecken: Die Ableitung, nicht nur

1. des direkten Blitzes (unschädlich für Leitungen und Maschinen) nach der Erde hin, sondern auch
2. der durch atmosphärische Elektrizität in den Leitungen erregten Spannung, sowie
3. der elektrischen Überspannungen, welche durch Induktions-

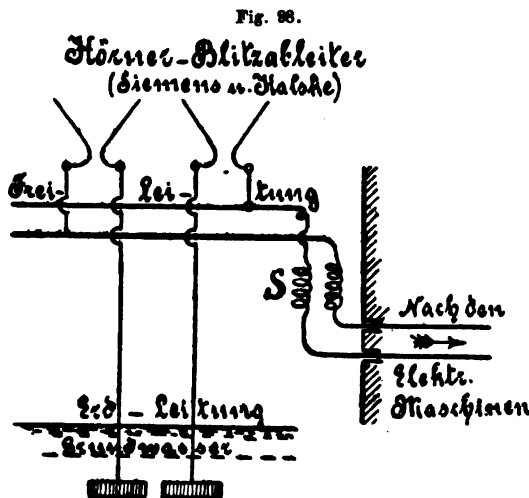
wirkung in den Leitungen plötzlich entstehen können.

Besonders aber bezwecken die Schutzvorrichtungen noch

4. sofortiges selbsttätiges Unterbrechen (Zerreißen) des bei der Entladung entstehenden Lichtbogens, weil dieser durch seine große Leitfähigkeit (wovon die Bogenlampen zeugen) auch den starken Maschinenstrom durch die Leitung nach der Erde hin ableiten würde, was mit Zerstörung der Leitung und der Maschinen verbunden sein könnte.

Der Hörner-Blitzableiter nach Siemens und Halske ist eine der bewährtesten Vorrichtungen dieser Art.

Wie die Fig. 98 zeigt, sind dem Blitze sowie den Überspannungen in den Leitungen zwei Wege geboten. Der eine Weg würde durch die aus wenigen Win-



dungen bestehenden Spulen  $S$  nach den Maschinen hin führen, der andere durch das eine mit der Erdleitung leitend verbundene Horn unmittelbar zur Erde.

Um die Wirkung des Schutzmittels recht zu deuten, müssen wir uns vergegenwärtigen, daß der Blitz mit seinen nach vielen Tausenden zählenden Wechsellinien in 1 Sekunde, wohl den kleinen Luftspalt zwischen den kupfernen Hörnern leicht überspringt, aber in der Spule einen sehr großen Induktionswiderstand findet. Dagegen ist für den Maschinen-Gleichstrom und auch für den Wechselstrom mit seiner geringen Zahl von 50 Wechsellinien in 1 Sek. derselbe Luftspalt ein unendlich großes Hindernis, während die Spulen jenen beiden fast gar keinen Widerstand entgegenstellen. Dann wird durch die Form der Hörner von dickem Kupferdraht noch bewirkt, daß der im Luftspalt sich bildende Lichtbogen so schnell und gewaltsam nach oben hin getrieben wird, daß er sofort zerreißt und damit verlöscht.

Und doch bietet der einfache Hörnerblitzableiter nur ein beschränktes Schutzmittel, weil die für hohe Spannungen erforderliche große Entfernung (Schlagweite von etwa 3 bis 4 Millimetern) zwischen den kupfernen Hörnern, dann diese für niedrige Spannungen zu große Schlagweite keinen Schutz gewähren würde, auch wenn die Körper an der Stelle der geringsten Entfernung scharfe Kanten einander zukehrten oder wenn unterhalb des Zwischenraumes durch passende Mittel ein schwacher Lichtbogen erzeugt würde, dessen ultraviolette Licht nach Hertz's Ermittlungen die Luft ionisiert (d. h. besser leitend macht).

Dagegen hat neuerdings Alberto Dina ein für Gleichstrom und Wechselstromanlagen gleich brauchbares Mittel („Blitzableiter-Relais“) vorgeschlagen, durch welches ermöglicht wird, daß eine höhere Spannung an den für größere Schlagweite eingestellten Hörnern veranlaßt wird, die für die zu schützende Anlage ungefährlich ist.

Bemerkung. Das künstliche Mittel, auf dessen Beschreibung nicht näher eingegangen werden kann, besteht in einem besonderen Schwingungskreis, dessen eine Hälfte einen Kondensator von geringer Kapazität und die Primärwicklung eines kleinen Tesla-Transformators, der andere eine Hilfsfunkenstrecke und einen zweiten Kondensator enthält und von denen besonders wichtig sind die beiden Kondensatoren. („Nachrichten des Siemens-Schuckert-Werke“ 1905, S. 72.)

## E. Elektrische Kraft-Übertragung und Verteilung.

Wenn mittelst einer Dynamomaschine im Keller einige Lampen in dem darüberliegenden Raume gespeist werden, pflegt man nach dem Sprachgebrauche der Elektromaschinentechnik noch nicht von einer „Kraftübertragung“ zu reden, sondern erst, wenn auf größere Entfernung größere Kräfte (Arbeitsleistungen) übertragen werden.

Die Kraftübertragung in diesem Sinne ist dem Zwecke und der Einrichtung nach bereits am Eingange unseres Leitfadens unter der Überschrift „Elektromaschinentechnische Aufgabe der Jetztzeit“ erklärt, ferner unter „Einteilung aller Maschinen“ in ihre Bestandteile zerlegt und im Anschlusse hieran durch systematisch geordnete Übersichts-Tabellen veranschaulicht.

Beispiel: Bei einer nach neuerem Muster eingerichteten Kraftübertragung zum Antriebe einer Fördermaschine würde auf der Primärstation (I) durch eine Wasser- oder Dampfturbine eine mit dieser direkt gekuppelte Dynamomaschine (Generator) betrieben, und zwar eine Gleichstrom-Dynamomaschine zur Erzeugung eines Stromes bis 600 Volt Spannung für eine Entfernung bis etwa 1000 Meter, oder eine Wechselstrom-Dynamomaschine (Dreiphasen-Maschine) zur Erzeugung eines hochgespannten Wechselstromes (erforderlichenfalls über 10000 Volt Spannung) für sehr große Entfernungen (selbst bis 10000 Meter und darüber). Der erzeugte Strom würde dann in blanken Kupferdrähten, welche an Porzellan-Isolatoren be-

festigt, auf das beste gegen den Erdboden isoliert sind, bis zur Sekundärstation (II) fortgeleitet. Auf der Sekundärstation (II) würde der Strom dann mittelst der im voranstehenden besprochenen Hilfsmittel (Umformer oder Transformatoren) auf die gewünschte für die Sekundär-Dynamomaschine (Elektromotor) geeignete Gebrauchsspannung und Stromart (Gleichstrom, Wechselstrom) gebracht. Die Welle des angetriebenen Elektromotors wäre dann bei den vollkommeneren Ausführungen wieder direkt mit der Welle der Fördermaschine zu kuppeln.

Da die Fördermaschine (ebenso z. B. auch eine Eisenwalzwerksmaschine) während des regelrechten Betriebes einen ungewöhnlich unregelmäßigen Stromverbrauch aufweist, in den Ruhepausen sogar überhaupt keinen Strom erfordert, so ist der in diesen Pausen von der Primärmaschine gelieferte Strom in einer sog. Pufferbatterie aufzuspeichern, den die Batterie dann in Zeiten des größten Strombedarfes während der Anlaufperiode der Fördermaschine sofort wieder herausgibt. Solche Pufferbatterie hat, wie unter den „Akkumulatoren“ näher beschrieben ist, außer dieser Eigenschaft des Strom-Ausgleiches noch den wesentlichen Vorteil der Pufferwirkung, d. h. bildet (wie bereits früher hervorgehoben wurde) ein ausgezeichnetes Schutzmittel gegen unvermeidliche Stromstöße. Vor allen aber ermöglicht sie noch, daß die Primärmaschine immer vollbelastet, also am wirtschaftlichsten arbeiten kann und deshalb auch nicht die gesamte Primärstation für die größte Arbeitsleistung, welche von der Fördermaschine verlangt wird, sondern nur für die mittlere, also etwa für die Hälfte der größten Leistung berechnet zu werden braucht. Und schließlich bietet die Anwendung der Pufferbatterie noch den wesentlichen Vorteil, daß sie, aufgeladen, eine gewisse Zeit hindurch, z. B. nach der Arbeitsschicht, wenn die Primärstation ruht, also keinen Strom liefert, noch den aufgespeicherten Strom an die Arbeitsmaschine und sonstigen Strom-Verbraucher (Lampen) der ganzen Anlage sofort auf Wunsch abgeben kann. Hierin gerade beruht nicht zum geringsten Teile der hervorragende Nutzen der Pufferbatterie.

Auch darf nicht unerwähnt bleiben, daß der in der Sekundärstation ankommende Strom mit Hilfe der früher besprochenen Hilfsmittel (Umformer, Transformatoren, Akkumulatoren) in jeder gewünschten Weise auch auf einzelne Arbeitsmaschinen und Beleuchtungskörper (Glühlampen, Bogenlampen) verteilt werden kann. Nach dieser allgemein gehaltenen Schilderung einer elektrischen Kraft-Übertragung und -Verteilung soll noch gezeigt werden

1. wie die elektrische Kraftübertragung als einziges brauchbares Mittel sich herausstellt, wenn alle bis dahin bekannten mechanischen Hilf-Mittel versagen,
2. wie gerade hochgespannte Ströme auf eine wirtschaftlich arbeitende Anlage führen, wenn es sich um Übertragung auf weite Entfernungen handelt.

### 1. Vergleich der verschiedenen zur Kraftübertragung benutzten Mittel in systematischer Aufeinanderfolge.

1. Fall. Die Leistung einer 200 pferdigen Dampfmaschine (Kraftmaschine) sei unmittelbar auf eine daneben aufgestellte Pumpe (Arbeitsmaschine, durch Verkuppelung der Kolbenstangen) zu übertragen und als Güteverhältnis angenommen

$$\text{für die Dampfmaschine } g_d = 0,86,$$

$$\text{„ „ „ Pumpe } g_p = 0,85,$$

so ist das Gesamtgüteverhältnis der ganzen Anlage

$$g = 0,86 \cdot 0,85, = 0,731,$$

folglich die Nutzleistung der Pumpe, die sich im Wältigen von Wasser äußert:

$$200 \cdot 0,731 = 146,2 \text{ Pferdekräfte.}$$

2. Fall. Die Pumpe muß in 5 m Entfernung von dem Motor (Dampfmaschine) aufgestellt werden. Man wird durch ein möglichst einfaches Triebwerk („Stange“ eines Kurbelgetriebes), dessen Güteverhältnis zu 0,98 angenommen werden

kann, die Energie übertragen und hat als Gesamtwirkungsgrad  $g = 0,86 \cdot 0,85 \cdot 0,98 = 0,716$ , also von der Pumpe die Nutzleistung zu erwarten:

$$200 \cdot 0,716 = 143,2 \text{ Pferdekkräfte.}$$

3. Fall. Die Pumpe muß in 300 m Entfernung von dem Motor (Dampfmaschine) aufgestellt werden. Wenn die örtlichen Verhältnisse es gestatten und eine möglichst einfache Kraftübertragung erwünscht ist, wird man zu einem Drahtseiltriebwerke greifen, für welches etwa das Güteverhältnis 0,95 anzunehmen ist, so daß sich jetzt als Gesamtverhältnis ergibt:  $g = 0,86 \cdot 0,85 \cdot 0,95 = 0,694$  und als Nutzleistung der Pumpe:

$$200 \cdot 0,694 = 138,8 \text{ Pferdekkräfte.}$$

4. Fall. Die Pumpe muß wiederum in 300 m Entfernung von dem Motor, aber auf der Sumpfstrecke eines Schachtes aufgestellt werden. Jetzt ist die Übertragung durch ein Drahtseiltriebwerk durchaus unzweckmäßig. Man wird zur elektrischen Kraftübertragung übergehen, die Arbeit des Motors (der Dampfmaschine) auf eine benachbarte Dynamomaschine, von dieser durch eine elektrische Fernleitung auf einen neben die Pumpe gestellten „Elektromotor“ und von letzterem auf die Pumpe übertragen. Wird angenommen für die oberirdische Dynamomaschine das Güteverhältnis 0,93, für die Fernleitung 0,98, für den unterirdischen „Elektromotor“ 0,93, so ist jetzt das Güteverhältnis der Gesamtanlage:  $g = 0,86 \cdot 0,85 \cdot 0,93 \cdot 0,98 = 0,62$ . Es erfolgt demnach als Nutzleistung der Pumpe:

$$200 \cdot 0,62 = 124 \text{ Pferdekkräfte.}$$

Bei sehr großen Entfernungen wird der Wechselstrom von hoher Spannung (z. B. Ilseder Hütte—Peine 5000, 10 000 Volt) verschickt und am Verbrauchsorte in niedrigere Spannung zurücktransformiert, deshalb tritt meist noch hinzu am Ende der Leitung ein Transformator mit dem Güteverhältnis 0,98 und das Gesamtgüteverhältnis ist:

$$g = 0,86 \cdot 0,85 \cdot 0,93 \cdot 0,98 \cdot 0,93 \cdot 0,98 = 0,6^*).$$

So zeigt sich, daß der Vorzug der elektrischen Kraftübertragung nicht immer darin besteht, daß sich unter allen Umständen ein „wesentlich höherer Wirkungsgrad für die Gesamtanlage“ ergibt, als vielmehr darin, daß sie infolge ihrer Biege- und Fügsamkeit mit Leichtigkeit die örtlichen Schwierigkeiten überwindet, geringes Raumbedürfnis hat, selbst bei großen Entfernungen große Betriebssicherheit gewährt und vor allem sich leicht verzweigen, verteilen und z. B. in Licht, Wärme, chemische Energie umwandeln läßt. Alle mechanischen Kraftübertragungsmittel werden von ihr aber weit in den Schatten gestellt, wenn es sich um Überwindung großer Entfernungen und zumal darum handelt, die Kraftwirkung den entlegensten, winkeligsten, oft auch nur vorübergehend betriebenen, nicht selten erhebliche Arbeitssteigerung beanspruchenden bergmännischen Bauen, den jeweiligen Anforderungen entsprechend, nachzuführen.

Besonders günstig aber für die elektrische Kraftübertragung liegen die Verhältnisse bei der später behandelten Fördermaschine und beim Antriebe aller derjenigen Arbeitsmaschinen, bei denen längere Arbeits-Pausen und starke Schwankungen unvermeidlich sind. Hier zeigt sich, daß trotz der hinzutretenden, aus Dynamomaschine, Akkumulator, Leitung, Elektromotor bestehenden Zwischenmaschine, die Anlage doch weit wirtschaftlicher und sicherer wird, als wenn die Dampfmaschine unmittelbar auf die Fördermaschine bzw. Arbeitsmaschine arbeitet.

---

\*) Hiermit zu vergleichen das später folgende für eine Fördermaschine durchgerechnete Zahlenbeispiel.

## 2. Hochgespannte Preß-Wasser, Preß-Luft, Wasserdämpfe als Kraft-Übertragungsmittel.

Zunächst soll, dem Zwecke unseres Leitfadens entsprechend, durch Vergleich mit anderen Gebieten einen wissenschaftlichen Zusammenhang wenigstens anzudeuten, der Einfluß hoher Spannungen auch für die sozusagen „fließenden“ Kraftübertragungsmittel kurz angegeben werden.

Der Gefällverlust (Spannungsverlust)  $h$  in einer Preßwasser-Rohrleitung von der Länge  $L$  m und dem lichten Durchmesser  $d$  m ist ausgedrückt durch die Gleichung

$$h = k \cdot \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Gleichung 137 meiner Mechanik II, Seite 108.})$$

wächst also zwar mit dem Quadrate der Stromgeschwindigkeit  $v$ , ist aber ganz unabhängig von  $H$ , der Pressung des Wassers in der Leitung. Das Güteverhältnis für die Stromleitung ist nun ausgedrückt durch die Gleichung

$$g = \frac{H - h}{H} = 1 - \frac{h}{H}$$

Es wächst demnach unter sonst gleichen Verhältnissen  $g$  mit  $H$ , und es gilt hier ganz allgemein auch die für die elektrische Stromleitung oben ausgesprochene Behauptung, daß mit hoher Spannung das Güteverhältnis wächst.

Bevor die elektrische Kraftübertragung sich im Bergbau eingebürgert hatte, wurde besonders hochgespanntes Wasser von 200—400 Atm. für die Wasserhaltung benutzt.

Pressungen bis 200 Atmosphären waren auch schon früher bei der Brand-schen Gesteins-Drehbohrmaschine verwendet. (Nähere Angaben hierüber bringt Herrmann-Weisbach 2. 2. S. 616.)

Als mustergültig wurde seinerzeit die für den Schacht IV des „Kaliwerkes Aschersleben“ im Jahre 1895 von der „Berliner Maschinenbau-Aktiengesellschaft vormals L. Schwartzkopf“ hergerichtete „Hydraulische Wasserhaltungsanlage“ („Hydraulisch betriebene Wasserhaltung, System Kasalowsky“) angesehen.

In der Entwicklungsgeschichte der Kraftübertragungen überhaupt, insbesondere der elektrischen, nimmt deshalb die „hydraulische“ Wasserwältigung eine wichtige Stelle ein. Denn erst nach hartnäckigem Kampfe hat letztere der elektrischen Rivalin das Feld räumen müssen. Da nun hauptsächlich durch die Erfahrungen, welche an der obengenannten Anlage von den beiden Bergwerksdirektoren Simon und Albert gesammelt wurden, sich die Überlegenheit der elektrischen Kraftübertragung deutlich offenbarte, schien es geboten, kurze Angaben über die Anlage selbst und deren schrittweise Umwandlung zur elektrischen Wasserwältigung folgen zu lassen.

## 3. Umwandlung der hydraulischen Wasserwältigung des Kaliwerkes Aschersleben in eine elektrische Anlage.

Die ursprüngliche Wasserhaltung hob 1,3 cbm Wasser von 1,2 spezifischem Gewicht aus 300 m Teufe und war zusammengesetzt aus folgenden drei Hauptteilen A, B, C:

### A. Oberirdische Anlage:

1. Eine Differenzial-Preßpumpe mit bezw. 153 mm und 82 mm Taucherkolben-Durchmessern von 1500 mm Hub, welche mit der verlängerten Kolbenstange einer vorhandenen Dampfmaschine direkt gekuppelt, bei  $n = 20$  Doppelhuben in 1 Minute Preßwasser von etwa 230 Atmosphären, unter
2. einen zum Ausgleich der Wasserstöße dienenden Luftdruck-Akkumulator mit Taucherkolben-Durchmessern von bezw. 135 mm und 330 mm und 1500 mm Hub preßte.

Die Belastung des oberen großen Akkumulatorkolbens erfolgte durch Luftdruck von 40 Atmosphären Überdruck. Die Kolben waren aus Bronze, der Akkumular-Zylinder aus einem Stahlschmiedestück hergestellt. Die für die Belastung des Akkumulators erforderliche Luft lieferte:

3. eine Wand-Dampf-Luftkompressions-Pumpe von 110 mm Dampfzylinder-Durchmesser, 80 mm Luftkompressionszylinder-Durchmesser und 200 mm gemeinschaftlichem Hube.

#### B. Unterirdische Anlage:

1. Eine hydraulische Zwillingspumpe mit bezw. 70 mm Arbeits-Taucherkolben-, 160 mm Förderkolben-Durchmesser und 600 mm gemeinschaftlichem Hube, förderte bei  $n = 30$  Doppelhüben in 1 Minute 1,8 cbm Wasser von 1,2 spez. Gewicht auf 300 m Höhe. Die Steuerung ließ keinen Stillstand in der Wassersäule zu.

Pumpengehäuse, Deckel, Stopfbüchsen, Ventilgehäuse mit Deckel, Steuerzylinder, Druckwindkessel aus Stahlfassonmaß, Förder-Taucherkolben aus Phosphorbronze; Grundringe, Stopfbüchsenringe, Ventilsitze, Ventilinge aus bestem zweckentsprechendem Rotguß.

2. Zwei Patent-Druckausgleicher von bezw. 100 mm und 250 mm Taucherkolben-Durchmesser und 600 mm Hub, von denen je einer für die Preßwasser-Zu- und Rückleitung bestimmt war.
3. Eine hydraulisch betriebene Zwillingspumpe mit 21 mm Arbeits-, 77 mm Förder-Taucherkolben-Durchmesser und 200 mm gemeinschaftlichem Hube, förderte bei  $n = 30$  Doppelhüben in 1 Minute 300 Liter Wasser von 1,2 spez. Gewicht von der 420 m-Sohle auf die 300 m-Sohle.

#### C. Rohrleitungen und Zubehör:

1. Rohrleitung zwischen der Preßpumpe und dem Akkumulator für 230 Atm.
2. Preßwasser-Zuleitung zwischen dem Akkumulator und der unter B 1 genannten Zwillingspumpe für 230 Atm. Nahtlose, kaltgezogene Stahlrohre von 35 mm lichtigem, 45 mm äußerem Durchmesser, durch Flanschen miteinander verbunden.
3. Preßwasser-Rückleitung zwischen der großen unterirdischen Pumpe und dem oberirdisch aufgestellten Rückleitungsbassin. Patentgeschweißte Rohre von 40 mm lichtigem und 48 mm äußerem Durchmesser, ebenfalls durch Flanschen miteinander verbunden.
4. Ein Hochdruckabsperrschieber von 32 mm Durchmesser für 250 Atm. Pressung, einen desgl. von 40 mm Durchmesser für 30 Atm. Beide ganz aus Rotguß.
5. Luftrohrleitung zwischen Luft-Kompressor und Windkessel der unterirdisch aufgestellten großen Pumpe, bestehend aus Kupferrohren von 10 mm lichtigem und 16 mm äußerem Durchmesser, durch Rotgußverschraubungen verbunden.
6. Rücklaufbassin von 900 mm Durchmesser und 3000 mm Höhe mit Sicherheitsventil, Lufthahn, Wasserstandanzeiger und Ablaufbahn.
7. Rohrleitung zwischen dem Rücklaufbassin und der Preßpumpe. Patentgeschweißte Rohre.
8. Preßwasser-Zuleitung zur kleinen unterirdischen Zwillingspumpe. Nahtlose kaltgezogene Stahlrohre. Preßwasser-Rückleitung. Patentgeschweißte Rohre.
9. Förderleitung.
10. Patent-Federregulator für die vorhandene Dampfmaschine, einschließlich einer Drosselklappe und des erforderlichen Gestänges.

Gesamtpreis: 68 500 Mk. (Bahnhof Aschersleben) einschließlich Verpackung, ausschließlich Montage, Erd-, Mauer-, Zimmerarbeiten und Gestellung der Gerüste und Hebezeuge.

Ein Monteur kostete auf 1 Kalendertag bei 10 stündiger Arbeitszeit 10 Mk.

Die hydraulische Anlage an sich erfüllte ihre Aufgabe durchaus. Jedoch durch die Salz-Sole wurden die Rohre derart angegriffen, daß sie wiederholt ausgewechselt werden mußten. Auch die mit dem hohen Arbeitsdrucke verbundenen Stöße veranlaßten bald allerlei Störungen. Die Ventilgehäuse bekamen Risse. Undichtigkeiten an den Stopfbüchsen und Ventilen veranlaßten so erhebliche Wasserverluste, daß bei der ohnehin geringen Wassermenge an arbeitendem Preßwasser der Wirkungsgrad wesentlich vermindert und der Betrieb unwirtschaftlich wurde.

Die inzwischen im dortigen Grubenbetriebe erfolgreichen Verwendungen des elektrischen Stromes veranlaßte deshalb die genannten Bergwerksdirektoren eine

elektrisch angetriebene Wasserhaltung einzurichten und die Kasalowskysche Wasserhaltung anfangs als Reserve betriebsbereit beizubehalten, bald aber ganz abzuwerfen.

Die Primärstation über Tage wurde so groß gewählt, daß sie neben dem ohnehin unterbrochenen Betriebe der Förderhaspel, Aufzüge und Ventilatoren auch für die Wasserhaltung genügte. Sie besteht aus einer von der Firma Richard Raupach in Görlitz gelieferten Zwillingdampfmaschine mit Elsner-Steuerung, welche eine Dynamomaschine für 165 KW bei 500 bis 520 Volt Spannung antreibt und samt dem übrigen elektrischen Teile (Elektromotor, Anlasser, Kabel, Schalttafel) von der Firma Siemens und Halske, A.-G. geliefert wurde.

Sekundärstation. Anstatt der Kasalowsky-Pumpe in 320 m Teufe wurde eine vierfach wirkende Pumpe mit 90 Umdr./Min., angetrieben durch einen 100pferdigen Elektromotor mit  $n = 450$  Umdr./Min., eingebaut, welche 0,75 cbm Sole aus 320 m unmittelbar zutage drückt. Auch auf der Füllortsole in 455 m Teufe wurde an Stelle der früheren kleinen Kasalowsky-Pumpe eine entsprechende doppeltwirkende, elektrisch angetriebene Pumpe eingebaut, welche das Hubwasser der großen Pumpe zuhebt.

Diese elektrische Neuanlage ist seit mehreren Jahren zur vollsten Zufriedenheit im Betriebe.

Nach diesen günstigen Ergebnissen ist zuletzt auch in 455 m Teufe eine vierfach wirkende Pumpe mit 0,75 cbm/Min. Leistung aufgestellt, welche das Wasser unmittelbar zu Tage drückt. Der Antrieb-Elektromotor leistet 150 Pferde. Auch ist in der Primärstation noch eine Reserve vorgesehen, welche aus einer liegenden Zwillingmaschine von 300 Pferden mit gekuppelter Dynamomaschine für 250 KW bei 500—550 Volt Spannung besteht.

So zeigt unser Beispiel deutlich, wie die „hydraulische“ Kraftübertragung schrittweise der vorteilhafteren „elektrischen“ Platz machen mußte.

Bei Preßluft der „mechanischen“ Kompressoren (mit Kolben) sind hohe Spannungen unvorteilhaft, weil die durch die Kompression erzeugte Wärme verloren geht und dann an der Arbeitsmaschine die mit der Expansion verbundene starke Abkühlung durch Eisbildung den Maschinenbetrieb stört. Spannungen über 4—6 Atmosphären hinaus sollten vermieden werden. Die Gesteinsbohrmaschinen arbeiten durchschnittlich mit solchen Spannungen.

Neuerdings empfiehlt das „Wasserkraft-Druckluft-Syndikat“ zu Mülheim am Rhein „Hydraulische Kompressoren für hohe Gefälle“, bei welchen nach dem bekannten Prinzip des Wassertrommel-Gebläses durch hoch herabfallendes Wasser Luft mitgerissen und entsprechend isothermisch verdichtet wird. Ihr Wirkungsgrad ist ein wesentlich höherer als bei den zuerst genannten. Nähere Angaben und Wirtschaftsberechnungen liefert unentgeltlich das gen. Syndikat.

Beim Wasserdampf ist aus praktischen Gründen und der Sicherheit wegen als oberste Grenze wohl eine Spannung von 15 bis 20 Atmosphären anzusehen. Daß die Kraftübertragung durch Wasserdampf praktisch recht gut ausführbar ist, bewiesen die beiden vom Hüttendirektor Burgers seinerzeit mit gutem Erfolge ausgeführten 600 m und 1200 m langen Dampfleitungen zwischen den Hochöfen und der Röhrengießerei des dem Schalker Gruben- und Hüttenverein gehörigen Werkes bei Gelsenkirchen. (Siehe auch Z. d. V. d. Ing. 1893, S. 595.)

#### 4. Vorteile der elektrischen Kraftübertragung.

Wirtschaftlich von der höchsten Bedeutung wurde die elektrische Kraftübertragung erst durch Anwendung hoher Spannungen und der „Zentralisation“, denn hierdurch erwachsen die Vorteile:



1. eines großen Güteverhältnisses (wogegen bei Dampfrohr-, Preßwasser-, Preßluft-Leitungen, infolge von Verlusten durch Kondensation, Undichtigkeiten, das Güteverhältnis mit der Länge abnimmt),
2. eines geringen Leitungsquerschnittes (wegen der Verminderung der Stromstärke) und im ganzen
3. einer bedeutenden Herabminderung des Anlagekapitals und der Betriebskosten, weil in den „Zentralen“ durch Aufstellung großer Mehrzylinder-Dampfmaschinen, die mit hochgespanntem, überhitztem Dampfe, „ökonomischem“ Füllungsgrade und mit Zentralkondensation arbeiten, das Brennmaterial, Betriebsmaterial, Arbeiterpersonal und der Raum möglichst ausgenutzt werden können.

Als allgemeine Regel bezüglich der die Anlage- und Betriebskosten wesentlich beeinflussenden Leitungen kann hier gelten:

Für Zentralanlagen sind die Querschnitte derselben so zu berechnen, daß die Abschreibungskosten der Kabelanlage und die Betriebskosten der in den Leitungen verlorenen Energie ein Minimum ausmachen.

Und heute schon nach Erfindung der Transformatoren und des Mehrphasenstromes ist die Frage der Kraftübertragung auf sehr große Entfernungen als gelöst zu betrachten.

Man wird Gleichstrom nur bei geringen Fernwirkungen, in allen anderen Fällen Dreiphasenstrom verwenden.

Die Entwicklung der heute zu ungeahnter Bedeutung angewachsenen elektrischen Kraftübertragung beginnt mit dem Versuche von Marcel Deprez 1882, durch möglichst hochgespannten in Mießbach erzeugten Gleichstrom eine etwa 57 km entfernte Kreiselpumpe auf der elektrotechnischen Ausstellung in München anzutreiben. Bahnbrechend aber wirkte erst die denkwürdige Übertragung der Kraft einer Turbine in Lauffen bis zu der etwa 300 km davon entfernten Frankfurter Ausstellung im Jahre 1891 durch die beiden Firmen: Maschinenfabrik Oerlikon (Zürich) und Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft in Berlin mittelst des bereits 1887 durch Dolivo Dobrowolsky als „Drehstrom“ bezeichneten und in bezug auf seine Verwendbarkeit eingehend untersuchten „mehrphasigen Wechselstrom“.

##### 5. Zahlen-Beispiele zum Nachweis des Vorteils hoher Spannungen in systematischer Aufeinanderfolge.

Überschlagsberechnung des elektrischen Antriebes einer Schacht-Fördermaschine\*) (Förderhaspel). Die am Schachte stehende Dynamomaschine II (Elektromotor) soll 20 Pferde =  $20 \cdot 736 = 14\,720$  Volt-Ampère (oder Watt),

also bei  $H_{II} = 100$  Volt Spannung (Gefälle),  
rund  $Q = 150$  Ampère

zu ihrem Antriebe erfordern; folglich  $20 \cdot 0,75 = 15$  Pferdekkräfte an die Seilkorbwelle abgeben, wenn für den Förderelektromotor  $g = 0,75$  gerechnet wird. Die Länge des kupfernen Leitungsdrahtes bis zu der in  $L = 1200$  m Entfernung vom Schachte aufgestellten Dynamomaschine I beträgt dann:

$$l = 2400 \text{ m.}$$

1. Es soll für die Leitung ein Gefälle (Gefällverlust) zur Überwindung des Widerstandes

$$h_1 = 5 \text{ Volt}$$

gerechnet werden, dann muß der Querschnitt der kupfernen Leitung:

\*) Die elektrische Schachtfördermaschine wird später eingehend behandelt.

$$q_1 = \frac{Q \cdot l}{57 \cdot h_1} = \frac{150 \cdot 2400}{57} \cdot \frac{1}{h_1} = 6300 \cdot \frac{1}{5} = 1260 \text{ qmm}$$

betragen, die Dynamomaschine I mit 105 Volt Spannung laufen und der Motor (Dampfmaschine) eine Leistung

$$N_1 = \frac{1}{0,93} \frac{150 \cdot 105}{736} = 0,22 \cdot 105 = 23 \text{ Pferdekraften,}$$

auf die Dynamomaschine I übertragen, wenn für letztere als Güteverhältnis  $g = 0,93$  angenommen wird.

Der ungewöhnlich große Leitungsquerschnitt würde schon der großen Kosten wegen durchaus unpraktisch sein. Suchen wir im folgenden nach günstigeren Verhältnissen.

2. Es soll (anstatt wie oben 5 Volt)

$$h_2 = 50 \text{ Volt}$$

angenommen werden, dann gilt jetzt folgendes:  
als Leitungsquerschnitt:

$$q_2 = 6300 \frac{1}{50} = 126 \text{ qmm,}$$

die Dynamomaschine I muß mit 150 Volt Spannung laufen und der Motor (Dampfmaschine)

$$N_2 = 0,22 \cdot 150 = 33 \text{ Pferdekraften}$$

auf die Dynamomaschine I übertragen. Es würde so zwar ein geringerer Leitungsquerschnitt (126 qmm), aber dafür ein sehr ungünstiges Güteverhältnis:

$$g = \frac{15}{33} = 0,46$$

für die elektrische Anlage sich ergeben.

3. Es soll nun die Annahme gemacht werden, daß der Dynamomaschine II ein Strom von der Spannung

$H_{II} = 500 \text{ Volt}$  anstatt 100 V (wie oben vorausgesetzt), zugeführt wird. Dann ist jetzt nur erforderlich die Stromstärke:

$$Q = \frac{14720}{500} = 29,6, \text{ rund } 30 \text{ Ampère.}$$

Berechnen wir jetzt die Leitung für

$$h_3 = 25 \text{ Volt, so ergibt sich für die Leitung:}$$

$$q_3 = \frac{80 \cdot 2400}{57 \cdot 25} \sim 30 \text{ qmm (d = 6 mm);}$$

die Dynamomaschine I muß dann mit 525 V Spannung laufen und der Motor (Dampfmaschine) eine Leistung:

$$N_3 = \frac{1}{0,93} \frac{30 \cdot 525}{736} = \sim 23 \text{ Pferdestärken}$$

auf die Dynamomaschine I übertragen.

Durch Wahl der hohen Spannung ist zweierlei erreicht,

1. ein dünner billiger Leitungsdraht und
2. das bessere Güteverhältnis der elektrischen Anlage:

$$g = \frac{15}{23} = 0,65.$$

Wird für den gutausgeführten Motor (Dampfmaschine) noch als Güteverhältnis  $g = 0,92$  angenommen, so ergibt sich für die Kraftübertragung ein Gesamtwirkungsgrad:  $g = 0,65 \cdot 0,92 \sim 0,60$ .

# Technische Verwertung des elektrischen Stromes.

## Die elektrische Beleuchtung

der

Vergangenheit\*), Gegenwart und Zukunft\*).

Um irgendwelche Werte durch Zählen, Messen, Wägen zu bestimmen, sind Einheiten erforderlich. Zur Bestimmung der Stärke (Intensität) und der Wirkung des Lichtes dienen die Licht-Einheiten oder Normal-Kerzen, von denen einige der wichtigsten hierunter zusammengestellt sind.

### Licht-Einheiten (neue und alte).

1. Gegenwärtig gilt als „neue praktische Licht-Einheit“, seit 1890 auch für die Gas- und Wasserfachmänner, das Licht (die Leuchtkraft) der von v. Hefner-Alteneck angegebenen Amyl-Azetat-Lampe, welche durch Visiereinrichtung auf 40 mm Flammenhöhe eingestellt, 10 Minuten nach dem Anzünden gemessen wird und im Jahre 1897 unter dem Namen „Hefner-Kerze HK“ (früher Hefner-Einheit HE) als Lichteinheit vom „Verbande Deutscher Elektrotechniker“ angenommen wurde.

Die Hefner-Lampe (geeicht auch käuflich zu haben) hat ein neusilbernes Dochtrohr von 8 mm innerem, 8,5 mm äußerem Durchmesser, welches vollständig von einem dichten, mit Amyl-Azetat gesättigtem Dochte ausgefüllt ist (Amyl-Azetat ist Essigsäure-Amyläther, auf dem Wasserbade durch Erwärmen von 1 Isoamylalkohol, 1 Essig, 0,5 Schwefelsäure hergestellt).

2. Die früher benutzte, noch in älteren Verträgen maßgebende Lichteinheit liefert die Flamme einer Wachskerze, deren 12 Stück 1 kg wiegen, bei 42 mm Flammenhöhe.

3. Die „Deutsche (heute ebenfalls veraltete) Vereins-Lichteinheit“, des Vereins deutscher Gas- und Wasser-Fachmänner liefert eine Paraffinkerze (12 St. auf 1 kg) von 20 mm Durchmesser bei 50 mm Flammenhöhe.

4. Als sog. „Berliner Lichteinheit“ (Normalkerze N K) galt früher die Engl. Walrat- oder Spermaceti-Kerze bei 44,5 mm Flammenhöhe und 7,77 g Verbrauch in 1 Stunde.

---

\*) Diese Zusätze sollen nichts weiter bedeuten, als daß im folgenden versucht wurde, auch den weniger Eingeweihten zum eigenen Nachdenken und zur Beantwortung der Fragen anzuregen: ob, wo und wie auf Grund längstbekannter grundlegender Erfahrungssätze in Zukunft vielleicht Verbesserungen zu erwarten seien. Die Grundlage ist unveränderlich, nur die Einrichtung, die Verwendung und Preise können sich ändern. Die Gegenwart begreift nur, wer die Vergangenheit kennt, und was irgendwo in Natur, Kunst und Wissenschaft früher oder gegenwärtig als Wahrheit festgestellt wurde, muß auf alle Fälle auch für die Zukunft gültig sein. Und im Grunde genommen sollte ja jede technisch-wissenschaftliche Abhandlung eine Anregung sein, Erfahrungen aus früheren Beobachtungen zu sammeln, um sie in Zukunft zu verwerten.

5. Die „Pariser Einheit“ der Carcel-Moderateur-Lampe von 30 mm Dochtweite verbraucht bei 40 mm Flammenhöhe 42 g Colza-Öl in 1 Stunde.

Anhang. Soll in Zukunft der an sich gute, auf dem 1884er Pariser Elektrotechniker-Kongress gemachte Vorschlag Violles durchdringen, als „Einheit der Stärke des weißen Lichtes“ dasjenige Licht anzunehmen, welches 1 qcm Platinoberfläche im Augenblicke des Erstarrens aussendet (etwa 17 HK), so müßte die Erfindung von Vorrichtungen und Methoden vorausgehen, durch welche eine planmäßige, praktisch verwertbare, hinreichend genaue Messung der Erstarrungstemperatur des Platins bewirkt werden kann. Auch müßten diese Vorrichtungen geeicht und zu annehmbaren Preisen zu beziehen sein.

Nach den neuesten Messungen mit dem Pyrometer von Le Chatelier, dem Widerstands- und Luft-Pyrometer, gilt gegenwärtig als Schmelzpunkt des Platins 1780° Celsius.

**Vergleich der Normal-Flammen verschiedener Länder.**

Einheit	Hefnerkerzen	Vereins-Paraffinkerzen	Bougies décimales	Carrels (Carcel-Lampe)	Englische Normalkerzen
1 Hefnerkerze (HK) . . . . . =	1,0	0,88	0,885	0,092	0,877
1 Vereins-Paraffinkerze (veraltet) . . . . . =	1,2	1,0	1,06	0,11	1,05
1 Bougie décimale . . . . . =	1,18	0,94	1,0	0,104	0,99
1 Carcel . . . . . =	10,9	9,1	9,6	1,0	9,5
1 Englische Normalkerze*) . . . . . =	1,14	0,95	1,01	0,105	1,0

\*) Genannt C. P. = Candle power: ist gegenwärtig neben der HK das gebräuchlichste Maß für Lichteinheiten in England, in den englischen Kolonien und in Amerika.

**Vergleich verschiedener Lichtstärken.**

1 Gasflamme	150 l Gas-Verbrauch 1 Stde. ohne Glühkörper	16 HK
1 „	150 l „ 1 „ mit „	32 HK
1 Gas-Glühlicht (Auer)	110 l „ 1 „ . . . . .	110 HK
1 Siemens Regenerativbrenner	4000 l „ 1 „ . . . . .	1100 HK
1 Spiritus-Glühlichtbrenner („Amor“)	90 ccm Spiritus-Stde.*) . . . . .	40 HK

Ferner liefern die elektrischen Glüh- und Bogen-Lampen bei den Lampenspannungen e Volt und den Stromstärken i Ampère bzw. ei Voltampère oder Watt folgende ungefähre Mittelwerte\*\*):

Glüh-L.***) bei e = 110 V und i = 0,5 A = 110 · 0,5 = 55 Watt . . . . .	16 HK
„ -L. von 16 HK bis 400 HK für je 3,5 bis 2,75 Watt	1 HK †)
Nernst-L. bei e = 100 bis 270 V. von 16 HK bis 270 HK „ „ 1,8 „ 1,0 „	1 HK
Osmium-L. bis e = 45 V „ „ 1,5 „	1 HK
Tantal-L. (bei e = 110 V, 25 HK, 0,35 A Stromverbrauch „ „ 1,5 „	1 HK
Gleichstr.-Bogen-L. (Gewöhnliche) „ „ 1,3 „	1 HK
„ „ mit „Sparer“ von 2 A (= 80 HK) „ „ 0,95 „	1 HK ††)
„ „ „ „ 15 A (= 1400 HK) „ „ 0,46 „	1 HK
„ „ „ „ 30 A (= 9600 HK) „ „ 0,37 „	1 HK
„ „ „ „ 100 A (= 17000 HK) „ „ 0,34 „	1 HK
Wechselstr.-Bogen-L. (gewöhnl.) „ „ 1,9 „	1 HK
„ „ (verbessert) von etwa 4 bis 25 A „ „ 1,24 „ 0,5 „	1 HK †††)

\*) Nach Mitteilungen der „Zentrale für Spiritus-Verwertung G. m. b. H.“ kostet die Brennstunde einer „Amor“-Lampe von 40 HK 3 Pfennige bei einem Spirituspreise von 30 Pfg. für 1 Liter 90% Brennspritus, d. i. etwa soviel wie eine gute Petroleum-Lampe, welche aber dann höchstens 25 HK leistet. Kurze Angaben über Kosten der elektrischen Beleuchtung sind später gemacht.

\*\*\*) Jede zuverlässig begründete Berichtigung dieser Mittelwerte, die, wie weiter unten hervorgehoben wurde, sehr voneinander abweichend angegeben werden, würde Verfasser mit bestem Danke entgegennehmen.

\*)\*) Aus wirtschaftlichen Gründen sollten Glühlampen durch neue ersetzt werden, wenn die Leuchtkraft auf  $\frac{1}{2}$  des ursprünglichen Wertes heruntergegangen ist, was sich u. a. durch Schwärzung der Glasbirne äußert. †) Tab. I, II, III unter Glühlampen. ††) Tab. I unter Bogenlampen. †††) Tab. II unter Wechselstrom-B.-L.

Dauerbrand-Bogen-L. (früher)	für je	2,8	Watt	1	HK
" " " „Regina“	" "	1,075	"	1	HK
Flamment-Bogen-L. (früher)	" "	0,5	"	1	HK
" " " „Excello“	" "	0,2	"	0,3	"
Liliput-Bogen-L. von 3 A und 80 V (= 335 HK)	" "	0,42	"	0,7	"
" " " 2 A „ 80 V (= 130 HK)	" "	0,5	"	0,9	"

Anm. Die Nieder-Watt-Lampen sind i. a. für Betriebe mit hohen Stromerzeugungskosten zu empfehlen.

Angenäherte Preise für 1 HK-Stunde in Pfennigen:  
(ein Kilowatt-Strom mit 50 Pfg. berechnet)

Kohlenfaden-Glühl. (0,16); Nernstlicht (0,10); Tantallampe (0,10\*); Bogenlicht (0,02); Petroleumlicht (0,07; 1 l Petr. = 20 Pf. gerechnet); Spiritusglühl. (0,07; 1 l Spir. 35 Pf.); Leuchtgasl. (0,17; 1 cbm Gas 13 Pf.); Gas-Glühl. (0,03; 1 cbm Gas 13 Pf.); 1 Stearink. (1,7), 1 Paraffink. (1,4); Azetylenl. (0,06; 1 kg Kalziumkarbid 30 Pf.; Ärogenluft, d. i. Benzindampf + Luft (0,6).

#### Kraft-Verbrauch in Pferdekräften.

Bei überschläglichen Berechnungen kann man annehmen für:

Glüh-Lampen . . . . .	rund	200	HK	auf	1	Pferd
Tantal-Lampe . . . . .		400	"	"	1	"
Bogen-Lampen . . . . .	rund	1200 bis 1300	"	"	1	"

Vorgreifend sei noch bemerkt, daß Glüh-Lampen für jede geringste Spannung und Stromstärke nach dem Ohmschen Gesetze gebaut werden können, dagegen für Bogenlampen das Ohmsche Gesetz in dem Maße nicht verwertbar, auch eine Mindestspannung erforderlich ist, wie später ausdrücklich hervorgehoben wird.

#### Praktische Winke für Beleuchtungsanlagen mit Glüh- und Bogen-Lampen.

Für große offene Plätze und hohe geschlossene Räume sind Bogenlampen den Glühlampen vorzuziehen.

##### A. Zahl und Lichtstärke der Glüh-Lampen.

###### a) Hausbeleuchtung.

Man wähle auf je 1 qm Bodenfläche mindestens:

10 HK	für Theater, Konzert- und Festsäle;
5 "	" Gesellschafts- und Geschäftsräume, Kaufläden, Hör- und Versammlungssäle;
3 "	" Wohn- und Hotelzimmer;
2 "	" Neben- und Schlafräume, Lager, Wirtschaftsräume, Gänge, Treppen;
1 "	" Krankenzimmer und Kasernen;
0,5 bis 1 HK	" Fabriken und gebe außer dieser allgemeinen Beleuchtung noch jeder Maschine mindestens eine Lampe von 16 bis 25 HK.

###### b) Straßenbeleuchtung.

25 bis 30 m	Laternen-Abstand für Hauptstraßen;
45 m	" " Nebenstraßen;
3 bis 3,6 m	Lampen-Höhe über der Straßenfläche.

(Nach Weiler, Wörterbuch der Elektrizität und des Magnetismus.)

##### B. Lichtstärke und Beleuchtungsfläche der Bogen-Lampen.

Man verwendet nach Weiler Bogenlampen von:

500 bis 3000 HK für Säle, Magazine, Festräume u. dergl. geschlossene hohe Räume;

\*) Diesem Preise ist der gegenwärtige Ankaufspreis der Tantallampe, 2,5 Mark, und als Lebensdauer nur 500 Brennstunden zugrunde gelegt.

1000 bis 1200 HK für Höfe, Stapelplätze, Arbeitsplätze, bergmännische Tagebaue und andere ähnliche Plätze im Freien;

1200 „ 2000 „ „ Straßen und Bahngelände; und rechnet rund

1 bis 5 HK und darüber auf 1 qm in geschlossenen Räumen;

0,5 „ 2 „ „ 1 qm im Freien.

Nach der „Hütte“ kann man mit einer Bogenlampe von 8 Ampère Gleichstrom und 400 bis 500 HK Lichtstärke, die 6 bis 15 m hoch angebracht ist, beleuchten:

800 bis 1500 qm Fläche der Hüttenwerke;

500 „ 600 „ „ „ Eisengießereien (allgemein);

200 „ 230 „ „ „ „ (Arbeitsstellen);

150 „ 200 „ „ „ „ Maschinenfabriken;

200 „ „ „ „ „ Spinnereien und Webereien;

300 „ 500 „ „ „ „ Bahnhofshallen;

Außer der allgemeinen Beleuchtung gibt man auch bei Bogenbeleuchtung in Fabriken noch jeder Maschine je nach ihrer Größe 1 bis 2 Glühlampen zu je 16 bis 25 HK.

Über den Kraftverbrauch sind bereits oben kurze Andeutungen, genauere Angaben dagegen in später ausgeführten Tabellen gemacht.

#### Allgemeine grundlegende Bemerkungen über Beleuchtung und alle sog. „Fernwirkungen“ (Strahlung) überhaupt.

Die Oberfläche ( $O = 4r^2\pi$ ) verschiedener Kugeln verhalten sich wie die Quadrate ihrer Radien ( $r$ ).

Bestreicht man nun mit einer Farbe (vielleicht Bleiweiß) von bestimmter Menge und Intensität  $J$  das Innere einer Kugeloberfläche möglichst gleichmäßig, so wird  $E$ , die Stärke (Intensität) des Farbenanstriches der Fläche um so geringer ausfallen, je größer  $r$ , der Radius der Kugel ist. Und zwar ist, entsprechend dem obigen Satz von der Kugeloberfläche, durch eine mathematische Formel ausgedrückt:

$$E = J/r^2.$$

Mit diesem etwas derben Beispiel aus dem gewöhnlichen Leben ist aber zugleich schon in einfachster Form das allgemein gültige Naturgesetz für alle Fernwirkungen oder Strahlungen (Gravitation, Schall, Licht, Wärme, Elektrizität, Magnetismus) gekennzeichnet. Und es gilt entsprechendes deshalb auch für die Beleuchtung einer Fläche (Belichtung, Helligkeit) als Fernwirkung von Lichtquellen, mit denen wir im folgenden uns besonders befassen müssen.

Lichtmessung, (Photometrie). Im Mittelpunkt einer Hohlkugel vom Radius  $r$  befindet sich eine Lichtquelle der Intensität  $J$ , von welcher aus die Innenfläche der Kugel gleichförmig bestrahlt (beleuchtet) wird. Dann gilt für die beleuchtete Fläche:

$$\text{Stärke der Beleuchtung} = \frac{\text{Stärke der Lichtquelle}}{(\text{Radius})^2},$$

also wie vorhin:

$$E = J/r^2; \text{ oder in Worten:}$$

Die Stärke der Beleuchtung einer Fläche nimmt mit dem Quadrate ihrer Entfernung von der Lichtquelle ab.

In der Form:  $J = r^2 E$ , oder:

$$J_1 = r_1^2 E;$$

also:

$$J/J_1 = r^2/r_1^2$$

sagt die Formel:

Die Licht-Stärken zweier Leuchtquellen  $J, J_1$ , welche aus verschiedenen Entfernungen  $r, r_1$  an einem Gegenstande dieselbe Beleuchtungsstärke  $E$  bewirken, ver-

halten sich wie die Quadrate dieser Entfernungen. Auf diesem Satz beruht die Photometrie, welche bezweckt, die Lichtstärken verschiedener Lichtquellen untereinander oder mit einer Lichteinheit zu vergleichen.

Zuverlässige Messungen dieser Art können nur mittelst umständlicher Hilfsmittel (Normalkerze, Photometer, Photometerbank) ausgeführt werden\*).

Angenähert könnte ein Vergleich mit einer Lichtquelle, deren Leuchtkraft gegeben ist, in folgender Weise leicht und für viele Fälle genau genug angestellt werden.

Bringe die gegebene Lichtquelle, deren Lichtstärke  $J_1$  sein mag, in die Entfernung  $r_1$  von einem Papierschirm (in Form eines halben Bogens weißen Papiers), der in der Mitte einen durchscheinenden Fettfleck hat, stelle dann auf der anderen Seite die Lampe (Zimmer-, Studier-, Küchen-, Gruben-Lampe), deren zu messende Lichtstärke mit  $J$  bezeichnet sein mag, in eine solche Entfernung  $r$  vom Schirme auf, daß der Fettfleck scheinbar vollständig verschwindet, so ist daraus zu schließen, daß der Schirm von beiden Seiten gleich viel Licht  $E$  empfängt, und es gilt

$$J = \left(\frac{r}{r_1}\right)^2 J_1.$$

Hätte z. B. der Versuch ergeben  $r = 4 r_1$ , so wäre

$$J = 16 \cdot J_1$$

d. h. die Lichtstärke der Lampe wäre 16 mal so groß wie die der zu grunde gelegten Lichtquelle (Normalkerze, Hefner-Kerze, HK).

Während der Messung dürfen die Flammen nicht flackern, es ist deshalb sicherer, den Schirm zu verschieben, und nicht die Leuchtquellen. Es leuchtet ein, daß in der angedeuteten Weise selbst jeder Nichttechniker den Vergleich zwischen zwei Lichtquellen anstellen kann.

**Lumen. Lux.** Beide lateinische Worte bedeuten „Licht“ und zwar Lumen die Ursache, den lichtgebenden Körper, die Lichtquelle, das sog. „Geleucht“; Lux dagegen die Wirkung der Lichtquelle auf die beleuchtete Fläche, die Helligkeit, die Beleuchtung; dementsprechend in der Lichtlehre:

Lumen die Einheit der Lichtstärke  $J$  einer Lichtquelle, dagegen

Lux die Einheit der Beleuchtung.

Für die Praxis sind folgende Zahlen beachtenswert:

1 HK bewirkt in 1 m Entfernung 1 Lux Helligkeit\*\*), also bewirken: 10, 25, 50 HK „ 1 m „ bzw. 10, 25, 50 Lux Helligkeit.

10 Lux gilt als „hygienisches Minimum“ für das Lesen und entsprechendes Arbeiten mit den Augen. 50 Lux ermöglichen ebensogut zu lesen, wie bei gewöhnlichem Tageslicht. 25 Lux gilt als Mittelwert. Die künstliche Beleuchtung von Nebenstraßen sollte nach Wybauw mindestens 0,1 Lux, von Hauptstraßen dagegen 1 bis 2 Lux betragen.

Nach Weber kann die Helligkeit einer von der Sonne bestrahlten Fläche bis zu 154300 Lux steigen. Die beobachtete Helle des Tageslichtes wechselt zwischen 2 Lux, bei sehr starkem Nebel, und 400 Lux bei heiterem Wetter.

**Anhang. Einheitsbegriffe für alle Fernwirkungen, Strahlungen. Strahlen-Kraftlinien.** Die Bedeutung, welche die Entdeckungen der radioaktiven Strahlen (Becquerell, Ehepaar Curie) gegenwärtig gewonnen haben, möchten die folgenden auf Strahlung bezüglichen Auseinandersetzungen berechtigt erscheinen lassen. Die gesamte von der Lichtquelle im Mittelpunkte einer Kugel ausgesandte Lichtmenge (Anzahl von Lichtstrahlen), welche die Beleuchtung der Kugeloberfläche  $4r^2\pi$  bewirkt, ist:

\*) Elektrotechn. Zeitschrift 1897, S. 473. Vorschriften.

\*\*) Man bezeichnete früher diese Helligkeit auch wohl, aber nicht sehr passend, als „Meterkerze“.

$$\frac{J \cdot 4r^2\pi}{r^2} = J \cdot 4\pi, \text{ oder}$$

$$E_1 = 4 \cdot \pi \text{ für } J = 1.$$

Diesen Vorgang, welcher zugleich darauf hinweist, daß man die Ursache (hier die Lichtintensität) durch die Wirkung (Beleuchtungsintensität) mißt, könnte man wie folgt deuten und verallgemeinern:

$E_1 = 4 \cdot \pi = 4 \cdot 3,14 = \text{etwa } 12 \text{ Lichtstrahlen}$   
(Kraftlinien) sendet die Lichtquelle „Eins“ (der „Einheitspol“) nach allen Richtungen aus. Diese 12 Strahlen treffen die Oberfläche

$O_1 = 4 \cdot \pi = \text{etwa } 12 \text{ qcm}$  der Kugel vom Halbmesser  $r = 1 \text{ cm}$ .

Gleichförmige Verteilung vorausgesetzt, kommt dann auf je 1 qcm beleuchtete Fläche (Kraftfeld) 1 Lichtstrahl (1 Kraftlinie).

In Worten:

Lichteinheit (Einheitspol) = Lichtquelle, welche 12 Lichtstrahlen aussendet.

Beleuchtungseinheit (Einheit der Feldstärke) = Beleuchtung, bei welcher je 1 qcm 1 Lichtstrahl empfängt.

Die vorausgeschickte Ausdrucksweise ist gewählt, um sie der Anschauung anzupassen, welche sich Faraday, Hertz und Maxwell über die magnetischen Kraftlinien und über das magnetische Kraft-Feld gebildet, und heute, nach den Entdeckungen von Becquerell und Curie nebst Frau, wohl die meisten Forscher angeeignet haben.

In der einfachsten Fassung würde der auf Grund der Beleuchtungsvorgänge im voranstehenden verallgemeinerte Satz für alle Fernwirkungen oder Strahlungen heißen können:

Die Kraft-Einheit oder der Einheits-Pol (Licht-, Schall-, Wärme-, Elektrizität-, Magnetismus-, Gravitations-Einheit) bringt in der Einheit der Entfernung die Einheit der Feld-Stärke (Wirkungs-Einheit) hervor. (Zu vergleichen auch Kapp, Elektr. Kraftübertragung 1898, Seite 26).

### Allgemeine grundlegende Bemerkungen über Glüh- und Bogen-Lampen.

Anzustrebende Verbesserungen. In beiden Lampengattungen sind die lichtgebenden Bestandteile als „Widerstände“ aufzufassen, welche, in die Leitung eingeschaltet, durch den durchfließenden Strom stark erwärmt werden, um Licht, nicht Wärme-Strahlen auszusenden. Jedoch infolge der gleichzeitigen, leider unvermeidlichen Wärmeausstrahlung wird der durchfließende Strom nur zum Teil zur Lichterzeugung ausgenutzt. Denn solange eine vom schwachen elektrischen Strome durchflossene Lampe nur Wärme, d. h. dunkles Licht, ausstrahlt, ist naturgemäß der Nutzeffekt der Lampe Null, weil der aufgewendete Strom für den eigentlichen Zweck: Lichtgebung, vollständig verloren geht. Erst wenn infolge des verstärkten Stromes die Temperatur der betreffenden Stellen mehr und mehr gesteigert, also das Licht heller und heller wird, wächst in dem Maße die Nutzwirkung der Lampe, d. h. nimmt der Stromverbrauch (in Watt) auf 1 HK ab, oder wird, wie man zu sagen pflegt, die „Ökonomie“ der Lampe besser.

Aus diesen wenigen Worten schon möchte folgerichtig hervorgehen, daß in Zukunft im allgemeinen die wesentlichsten Verbesserungen und Erfindungen auf unserem Gebiete sich besonders darauf zu richten haben, im leuchtenden Teile der Lampe die Temperatur wirtschaftlich\*) möglichst zu steigern und die Fähigkeit

\*) Eine praktische Begründung dieser auch theoretisch nicht unrichtigen Behauptung wird erst später in den Erläuterungen zu den Tabellen und Kurven A und B für Gleichstrom-Bogenlampen gegeben.



der Wärme-Ausstrahlung tunlichst zu vermindern. Tatsächlich gilt dieser Grundsatz für jede Lampe. Und nur auf Grund dieser Anschauung konnten u. a. die Nernst-, Thor-, Zirkoniumoxyd-, die Auer-, Osmium- und die Tantal-Lampe entstehen und werden in Zukunft alle Verbesserungsbestrebungen aufbauen.

Für alle Hilfsmittel zum Heizen, Kochen und Schmelzen dagegen gilt das Umgekehrte von dem, was oben bezüglich der elektrischen Beleuchtungs-Einrichtungen behauptet wurde.

Schlußsatz. Ich möchte nicht unterlassen, noch auf ein vielleicht allgemein gültiges Gesetz hinzudeuten, welches die Abhängigkeit des elektrischen Leitungswiderstandes eines Stoffes von dessen Erwärmung ausdrückt, dessen Verwertung bereits die Nernst-Lampe zeigt, und bei zukünftigen Erfindungen nicht unwahrscheinlich ist:

Bei den guten Leitern (Eisen, Kupfer, Platin, Tantal) vergrößert, bei den schlechten Leitern (Luft, Thoroxyd, Zirkoniumoxyd. . .) verkleinert die Erwärmung den Leitungswiderstand und erweist sich in dieser Beziehung gewissermaßen als Ausgleichungsmittel. Hieraus ergibt sich die weitere Folgerung: Der elektrische Strom erwärmt seinen Leitungsdraht, kann deshalb selbsttätig reguliert werden durch Hintereinanderschalten eines guten und eines schlechten Leiters. Und zwar am wirksamsten durch Verwendung der beiden Stoffe: Eisen und seltene Erden (Thoroxyd oder Zirkoniumoxyd), weil diese an den äußersten Grenzen ihrer Gruppen stehen. Eine derartige Kompensationsvorrichtung ist, wie wir später sehen, tatsächlich in der Nernst-Lampe verkörpert.

Hintereinander- und Parallel-Schaltung der Lampen.

Die Frage der Hintereinander- und der Parallel-Schaltung ist nicht nur für die Lampen, sondern auch für das Gesamtgebiet der Elektrotechnik von Bedeutung geworden, wird deshalb schon hier an erster Stelle, wenn auch nur kurz, doch möglichst allgemein behandelt.

Hintereinander- oder Reihen- (Serien-)Schaltung der Lampen, welche früher allgemein üblich war und deren Wesen darin besteht, daß nur ein einziger Strom (Hauptstrom) vorhanden ist, der sämtliche Lampen nacheinander durchfließt, vergrößert mit jeder hinzugeschalteten Lampe den Widerstand  $w$ , vermindert dementsprechend nach dem Ohm-Gesetz:

$$\text{Stromstärke } (i) = \frac{\text{Spannung } (e)}{\text{Widerstand } (w)},$$

bei gleichbleibender Spannung ( $e$ ), die Stromstärke ( $i$ ). Außerdem würde durch Verlöschen einer Lampe der ganze Stromkreis unterbrochen werden, wenn nicht jede Lampe mit einer Vorrichtung (Ersatzwiderstand) versehen wäre, durch welche der Strom dann um die Lampe herumgeführt wird.

Umgekehrt ist es bei der Parallel-, oder Nebeneinander-Schaltung der Lampen, durch deren Einführung Edison 1879 zuerst eine unbegrenzte Verleitung des Lichtes ermöglichte und die Elektrotechnik überhaupt ungewöhnlich förderte. Hier ist die Hauptleitung in Zweigleitungen zerlegt, deren Anzahl unbegrenzt sein kann. In jedem dieser von besonderem Teil-Strome durchflossenen Zweige ist eine einzige Lampe oder eine Lampengruppe eingeschaltet. Kein Zweigstrom stört den anderen.

Gegenwärtig ist Parallelschaltung Regel, Serien-Schaltung Ausnahme und so wird es auch in Zukunft bleiben. Parallel-Schaltung der Lampen vergrößert den Leitungsquerschnitt und verkleinert damit den Widerstand, vergrößert also nach dem Ohm-Gesetz bei konstanter Spannung die Stromstärke. Auch stören parallelgeschaltete Lampen durch Unregelmäßigkeiten, selbst durch ihr Erlöschen in keiner Weise ihre Nachbarlampen.

Ganz allgemein könnte für die Parallelschaltung folgendes gelten: In jedem Netz mit parallelgeschalteten Abnahmeweigen hat jeder dieselbe Spannungsdifferenz, welche von dem Stromerzeuger hervorgebracht wird. Die Regelung hat sich deshalb nur auf die der Stromstärke, also nach dem Ampèremeter zu richten.

Die Parallel-Schaltung ist tatsächlich auch auf anderen Gebieten der Elektrotechnik für die Entwicklung der letzteren ungemein förderlich gewesen. Ihr verdanken wir u. a. die Möglichkeit auf ein und derselben Bahnstrecke eine unbegrenzte Anzahl von elektrischen Wagen hintereinander fahren lassen zu können, und damit die schnelle Entwicklung der elektrischen Bahnen.

Aus dem Voranstehenden ergibt sich für den Wärter einer Beleuchtungsanlage noch folgende für Parallel- und Serienschaltung geltende Anweisung. Er sieht am Ampèremeter, ob die vorgeschriebene Lampenzahl eingeschaltet ist. Zeigt das Ampèremeter mehr Ampère an als die Dynamomaschine, überhaupt die Lichtanlage, verträgt, so hat er sofort die erforderliche Anzahl von Lampen auszuschalten bei Parallel-Schaltung, dagegen einzuschalten bei Serienschaltung.

Kurzschluß, Sicherungen. Anderenfalls würde die Anlage in den gefährlichen Zustand versetzt, den Techniker und Laien mit dem Sammelnamen „Kurzschluß“ bezeichnen und den man durch die ebenfalls von Edison eingeführten „Bleisicherungen“ tunlichst unschädlich zu machen sucht.

Nach dem Ohm-Gesetz würde der Kurzschluß allgemein durch die Gleichung:

$$i = \frac{e}{\text{sehr kleiner } W} = \text{sehr großer Strom}$$

angedeutet werden können. „Sicherungen“, die hier etwa dasselbe bezwecken (wie die Sicherheitsventile der Dampfkessel, hydraulischen Pressen, Preßluftregulatoren, wie die Bruchkuppelungen bei den Eisenwalzwerken, wie die Holzkämme in Räderwerken) edlere Teile zu schützen, und welche sofort leicht wieder ersetzt werden können, wenn sie durchgebrannt sind, werden in den Stromkreis eingeschaltet vor und hinter jeder elektrischen Maschine, die geschützt werden soll. Auch an solchen Stellen, wo Zweigleitungen von der Straße in das Haus oder vom Hausflur in das Zimmer eingeführt werden, sind Bleisicherungen in der Leitung anzubringen. Die Sicherungen, die je nach Stromstärke und Spannung auch aus anderen Metallen als Blei hergestellt werden, sind in ihrem Querschnitte so bemessen, daß sie durchschmelzen, wenn der Strom die Stärke überschreitet, für welche der zu schützende Teil berechnet ist. Sie nehmen bei allen elektrischen Einrichtungen für Licht und Kraft eine besonders hervorragende Rolle ein.

Sechs für jede elektrische Lampe wichtige Größen.

Die Eigenart und der wirtschaftliche Wert einer jeden elektrischen Lampe ist durch folgende 6 wichtige im Zusammenhange stehende Größen gekennzeichnet:

1. Die Leuchtkraft in Hefnerkerzen HK (früher Hefner-Einheit HE genannt),
2. die Spannung  $e$  an den Lampenklemmen in Volt (V):  
beliebig klein bei Glüh-Lampen,  
womöglich  $< 55$  V bei der Auer-Osmium-L.,  
 $> 38$  V bei Gleichstrom-Bogen-Lampen,  
 $> 28$  V „ Wechselstrom-B.-L.,  
 $> 75$  V „ Dauerbrand-B.-L.,  
etwa  $65$  V „ Flammenbogen-L.,
3. die Stromstärke  $i$  in Ampère (A),
4. den Widerstand  $W$  in Ohm ( $\Omega$ ),
5. den Stromverbrauch in Watt ( $e i$ ) für 1 HK und 1 Sek. („Ökonomie“),
6. die Lebensdauer in Stunden.

Von der Lebensdauer wird meist nur bei den Glühlampen gesprochen. Man könnte aber des Vergleiches wegen den Begriff entsprechend auch auf die Bogen-

lampen ausdehnen, wenn bei diesen der nicht unwichtige Verbrauch an Kohlenstiften und die Abnutzung der Reguliervorrichtungen der sog. Lebensdauer der Glühlichtbirne in passender Weise gegenübergestellt würden.

**Wärme-Verbrauch.**

Ebenso könnte man allgemein von einem Wärme-Verbrauch  $W$  Kalorien einer elektrischen Lampe sprechen. Denn es ist allgemein gültig die Formel:

$$W = \frac{\text{Leistung in Sek./mkg}}{424 \text{ mkg}} = \frac{ei \text{ Watt}}{424 \cdot 9,81} = \frac{i^2 \cdot w}{4159} \text{ Kilogramm-Kalorien-Sekunde.}$$

Wenn das einer Kilogramm-Kalorie entsprechende Arbeitsäquivalent zu 424 mkg (nach anderen 425 mkg) angenommen wird.

**Arbeitsverbrauch:**

$$N_a = \frac{ei}{75 \cdot 9,81} = \frac{i^2 w}{736} \text{ (absol.) Pferdekräfte (für } w \text{ als Gesamtwiderstand),}$$

$$N = \frac{e_L i}{75 \cdot 9,81} = \frac{i^2 \cdot w_L}{736} \text{ Nutz-Pferdekräfte,}$$

$$\eta = \frac{N}{N_a} = \frac{w_L}{w} \text{ Wirkungsgrad,}$$

wenn unter  $w$  derjenige Anteil des Gesamtwiderstandes verstanden wird, welcher für eine einzige Lampe in Anrechnung zu bringen ist,  $e_L$  und  $w_L$  dagegen zwischen den Klemmen der betreffenden Lampe gemessen sind.

In den meisten Fällen der Praxis werden folgende Fragen zu beantworten sein: Wie groß ist

1.  $ei$ , der „Watt-Verbrauch“ einer Lampe?
2.  $0 = \frac{ei}{HK}$ , „ „ für eine Hefner-Kerze oder die „Ökonomie“?
3.  $\frac{763 \cdot \eta}{ei}$ , die Anzahl der Lampen auf je eine Pferdekraft?
4.  $\frac{736 \cdot \eta}{ei}$ . (HK) d. Anz. der HK „ „ „ „ ?

Wird der Wirkungsgrad zu  $\eta = 0,8$  (bis 0,85) angenommen, so würden von je 736 Watt Maschinenleistung rund  $736 \cdot 0,80 =$  rund 590 Watt durch die Lampe ausgenutzt werden. Man erhält dann die Lampenzahl auf je eine Pferdekraft, wenn man 590 Nutz-Watt durch den Wattverbrauch für 1 HK teilt (siehe die Tabellen über die Glüh- und Bogenlampen).

**Die Glühlampe.**

**Vorbereitende Bemerkungen.** Das Warmwerden, Erglügen und Aufleuchten, Schmelzen und zuletzt Verbrennen (an der Luft) eines vom anwachsenden elektrischen Strome durchflossenen gewöhnlichen Metalldrahtes (Eisen, Kupfer, Blei) von genügendem Durchgangs-Widerstande, also geringem Querschnitte, gehören längst zu den allgemein bekannten Äußerungen des elektrischen Stromes. Auch ist längst bekannt, daß das Platin (wie alle edlen Metalle) beim Glühen an der Luft nur wenig sich chemisch verändert, auch die höchste Schmelztemperatur aufweist, aber erst in der Nähe dieser Schmelztemperatur (1780° C) am hellsten aufleuchtet.

Der in einer elektrischen Glühlampe verwendbare, äußerst dünne Platindraht müßte also, wenn er den elektrischen Strom möglichst ausgiebig zur Beleuchtung ausnutzen sollte, tunlichst nahe dieser Schmelztemperatur erhalten, zugleich aber an dieser Grenze auf das Sorgfältigste vor Stromschwankungen nach oben bewahrt werden, weil er gerade wegen seiner Dünne sofort zerstört werden würde. Auch wußte man längst, daß reine Kohle im allgemeinen unschmelzbar und im luftleeren

Raume auch unverbrennbar ist. Jedoch die wiederholten sorgfältigsten Versuche mit verkohlten Papierstreifen und dergleichen Mitteln genügend feste Kohlenfäden von der erforderlichen Dünne für Glühlampen herzustellen, führte lange Zeit nicht zum Ziele.

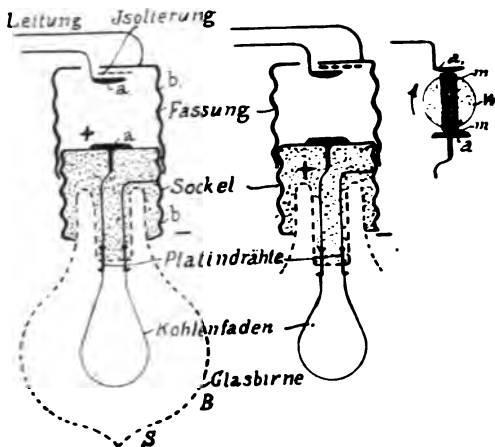
### Einführung, Herstellung und Eigentümlichkeiten der heutigen Kohlen-Glühlampen.

Erst Edison gelang es 1879 eine praktisch verwendbare Glühlampe durch Einführung des verkohlten Bambus-Fadens herzustellen, der in der luftleeren Glasbirne der Glühlampe, vom elektrischen Strome durchflossen, dauernd eine Glüh-temperatur von 1500 bis 2000° Celsius ausbietet.

Heute werden die zu den Edison-Glühlampen benutzten Kohlenfäden allgemein aus teigförmiger Zellulose hergestellt. Letztere wird durch haardünne Löcher hindurchgepreßt. Der auf diese Weise gewonnene Faden wird in entsprechend lange Stücke geschnitten. Letztere in die gewünschte Form (Hufeisen, einfache und mehrfache Schleife) gebogen, werden in besonderen Glüh-Öfen bei Luftabschluß

und einer Temperatur bis 1200° C „karbonisiert“ (innere Verkohlung). Darauf werden die Fäden in schweren Kohlenwasserstoffdämpfen (Petroleum, Leuchtgas) längere Zeit durch hindurchgeleiteten elektrischen Strom glühend erhalten, wobei besonders die dünneren, infolgedessen stärker glühenden Stellen einen dichten, glänzenden Überzug von graphitischem Kohlenstoff bekommen. Durch diese „äußere Karbonisierung“ wird die Gleichförmigkeit, Elastizität und Festigkeit des Fadens wesentlich erhöht, der Leitungswiderstand erheblich vermindert und das Ausstrahlungsvermögen für Wärmestrahlen tunlichst eingeschränkt.

Fig. 99.



Zwischen dem Kohlen-Fäden und der äußeren Speise-Leitung muß nun eine tunlichst billige, zuverlässig leitende Verbindung hergestellt werden. Zu dem Zwecke werden die Enden des Fadens zunächst gut leitend an möglichst kurze, genügend dicke Platindrähte angeschlossen, welche aus einem doppelten Grunde nur wenig zu beiden Seiten der Glaswand im „Sockel“ der Birne (Abbildung 99) hervortreten dürfen, mit der sie luftdicht und dauerhaft genug verschmolzen (oder verkittet)\* sein müssen. Erstens ist man gezwungen das teure Platin zu wählen, weil es mit dem Glase nahezu den gleichen Ausdehnungskoeffizienten\*\* hat; man wird deshalb um eine billige Lampe zu erzielen, die Platindrähte so kurz als möglich nehmen. Zweitens könnten beim Zerstören des Kohlenfadens die übrigens unversehrt gebliebenen zu langen Platindrähte, einander zugebogen, sich berühren, und infolge-

\*) Neuerdings soll mit Erfolg versucht sein, mittelst Kitt jeden Draht in die Lampen-Birne einzukitteln. Bewährte sich diese Neuerung, so würde man in Zukunft anstatt des mehr und mehr im Preise steigenden Platindrahtes billigeres Drahtmaterial verwenden.

\*\*) Die Bergleute, welche den Berg- und Hüttenmännischen Kalender führen, finden in der Tabelle über „Ausdehnung der Körper durch die Wärme“ als Ausdehnungskoeffizienten  
des Platins 0,000 00 89 für 1° Celsius,  
des Glases 0,000 00 86 „ 1° „ .

dessen „Kurzschluß“ geben, was ganz besonders in Schlagwettergruben, in mit Kohlenstaub geschwängerten Brikettfabriken, auch in Getreidemühlen verhängnisvoll werden müßte. Wir kommen später auf diesen für den Steinkohlen- und Braunkohlen-Bergmann und den Mühlenbesitzer wichtigen Fall zurück und heben hier nur noch einmal hervor, daß der Kohlen-Faden in der luftleeren Glasbirne, dazu die Platindrähte als Verkehrswege zwischen dem Kohlenfaden und dem äußeren Leitungsnetz, die weitaus wesentlichen Neben-Bestandteile der heutigen Glühlampe sind.

Die Birnen werden dann von der Spitze S aus, an die eine Glasröhre angeschmolzen wird, mittelst Quecksilber- oder Öl-Luft-Pumpen, die von Jahr zu Jahr verbessert und wirksamer hergerichtet werden, tunlichst luftleer (0,2 mm Quecksilbersäule) hergestellt und dann an dieser Stelle zugeschmolzen. Beide Platindrähte, welche voneinander isoliert aus dem Glaskörper der Birne nach außen treten, müssen nun in zweckmäßiger Weise mit dem Leitungs-Netz derart verbunden werden, daß die Lampe nach Wunsch ein- und ausgeschaltet werden kann.

Zu dem Ende ist der eine Platindraht mittelst Kupferdraht mit der Messingplatte a, der andere mit der Edison-Gewinde tragenden Messinghülse bei b leitend verbunden. Die isolierte Gipsmasse, mit welcher der Sockel ausgegossen ist, wurde in Figur durch feine Punkte angedeutet. Wird nun der Sockel in die messingene Schrauben-Mutter, die als „Fassung“ dient, eingeschraubt, so ist die leitende Verbindung mit der äußeren Leitung hergestellt, sobald die Platte a sich auf die federnde Platte  $a_1$  legt. Die dicke punktierte Linie oberhalb  $a_1$  deutet die hier erforderliche Isolierung (Porzellanplatte) an.

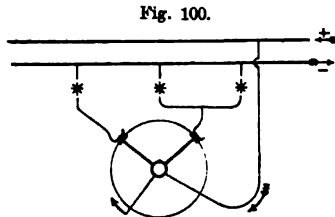
Neben dieser zuerst in Gebrauch gekommenen Fassung mit „Edison-Gewinde“, sind noch beliebt der Bayonett-Kontakt von Swan-Siemens und Halske und der Steck-Kontakt, von denen der letztere bezweckt, die Lampe an verschiedenen Stellen des Zimmers anzuschließen. Im Prinzip laufen aber alle Verbindungen auf unsere ideale Darstellung hinaus. Wollte man z. B. die leitende Verbindung des sog. Steck-Kontaktes auf die einfachste Weise klar machen, so könnte man das eine Drahtende sich als kurzes Rohr denken, in welches das Ende der Leitung hinein-„gesteckt“ wird.

Bei dem Bayonettverschluß vermittelt die „schiefe Ebene“ eine Annäherung der Kontaktflächen a und  $a_1$  bei der gegenseitigen Drehung der Fassung und des Sockels, was die „schiefen Ebenen“ der Gewindgänge des „Edison-Gewindes“ ja auch bezwecken. Auf die hier kurz beschriebenen Einrichtungen laufen in der Hauptsache auch die übrigen bekannten Fassungen (von Swan, Lane-Fox, Maxim, Bernstein, Huber, Vitrite, Cruto, Ganz, Helios) hinaus.

Aus der Schilderung geht hervor, daß man behufs Ausschaltung der betreffenden Lampe nur den Sockel der Glasbirne soweit aus der Fassung herausdrehen hätte, bis a und  $a_1$  außer Berührung gebracht sind. Gewöhnlich aber ist zu diesem Zwecke eine besondere Schalt-Vorrichtung vorgesehen, die dann aber auch nur, wenn auch durch verschiedene Mittel, die Aufgaben erfüllt, die Verbindung zwischen zwei Punkten (a  $a_1$ ) des einen der beiden Leitungstrümmer herzustellen oder aufzuheben. Der Einfachheit wegen ist in der Figur diese in Wirklichkeit an einer höheren Stelle der Fassung liegende, als Walze W gedachte Schaltvorrichtung gleich zwischen a und  $a_1$  eingefügt gedacht. Dreht man die Walze so, daß die Metallbelegung mm mit a und  $a_1$  in Berührung kommt, so ist der Stromkreis geschlossen. Durch Drehung um  $90^\circ$  tritt Unterbrechung ein. Äußerlich wird also eine Drehbewegung ausgeführt, wie man das längst vorher bei dem Leuchtgas-Hahn kannte. Man nennt diese elektrische Einrichtung in Erinnerung hieran, auch wohl einen elektrischen Hahn. Will man einen naheliegenden Vergleich ziehen, so könnte man sagen, an die Durchbohrung beim Gasbahn ist hier eine Metall-Belegung getreten.

Durch besondere Einrichtung der Schaltung könnte man erzielen, daß z. B. durch fortgesetztes Drehen der Walze alle Lampen an einem Kronleuchter zugleich eingeschaltet (Figur 100), dann einzeln ausgeschaltet und schließlich noch eine Lampe am Bette (von letzterem aus) ein- und ausgeschaltet werden.

Daß die Kontakte nicht wie oben auf einer Walze, sondern auf den beiden Seiten einer drehbaren Scheibe untergebracht werden können und daß man noch durch andere verschiedene Mittel denselben Zweck erreichen kann, der in unserer Skizze in der Grundlage auf die einfachste Weise dargestellt ist, werden meine geschätzten Leser begreifen, die durch vorhergehende Schilderung zum Nachdenken angeregt sind.



Wenn ich zum Schluß noch hinzufüge, daß die zuerst noch am Halse offene Glasbirne mit dem angeschmolzenen Saugrohre an der Spitze und andererseits der Glas-„Stöpsel“ mit dem Kohlenfaden und den eingeschmolzenen Platindrähten für sich hergestellt, dann erst beide Teile nach dem Einstecken des Stöpsels in den Birnenhals mittelst heißer Flamme hier zusammengesmolzen werden

und daß zuletzt die Birne mittelst des oben erwähnten Saugrohres luftleer gepumpt und dann zugeschmolzen wird, so glaube ich auch dem Nichtfachmanne eine gemeinverständliche Skizze von der zum Gemeingut gewordenen Glühlampe gegeben zu haben.

Lichtstärken der gebräuchlichen Kohlen-Glüh-Lampen in Hefner-Kerzen (HK). Die Glüh-Lampen werden für 5, 10, 16, 25, 32, seltener 50, 100, 200, 300, 400 HK hergestellt. Von diesen hat die 16 Kerzen-Lampe etwa die Lichtstärke der gewöhnlichen Straßenlaterne und erfordern die 50 Kerzen-Lampen schon eine unbequeme Länge und Dünne des Kohlenfadens.

Lampenspannung in Volt (V). Meist werden die Glühlampen für 110 V, seltener für 65 V, aber auf Wunsch auch für andere Spannungen, z. B. 220 Volt gebaut. Im letzteren Falle schaltete man wohl zwei Glühfäden von je 110 V hintereinander.

Leitungswiderstand des Kohlenfadens. Die Kohlenfäden müssen selbstverständlich möglichst genau nicht nur für eine bestimmte Spannung, sondern auch für den erforderlichen Widerstand eingerichtet werden. Für eine Glühlampe von 16 Kerzen und  $e = 110$  V Betriebsspannung wählt man etwa den Strom  $i = 0,5$  Ampère. Daraus folgt, daß nach dem Ohm-Gesetze der Kohlenfaden  $110/0,5 = 220$  Ohm Widerstand bieten muß, wenn er in die erforderliche Weißglut von etwa  $1500-2000^{\circ}$  C versetzt werden soll. Kennt man nun den spezifischen Widerstand der verwendeten Kohle und den praktisch verwendbaren Querschnitt ( $q$  qmm) des Kohlenfadens, so ist danach auch die erforderliche Fadenlänge  $l = eq/is$  Meter zu bestimmen, die erforderlichenfalls in mehreren Schleifen in dem Hohlraume der Birne untergebracht wird.

„Ökonomie“ oder Wattverbrauch für je 1 HK. — Lampenzahl auf je 1 Pferdekraft. — HK-Zahl auf je 1 Pferdekraft.

Der Arbeitsverbrauch auf je 1 HK oder die sog. „Ökonomie“ beträgt bei den gewöhnlichen Glüh-Lampen 3 bis 3,5 Watt (Voltampère) und ist ausgedrückt durch die Formel:

$$O = \frac{ei}{HK} \text{ Watt,}$$

so daß für eine gewöhnliche 16kerzige Lampe von  $e = 110$  V und  $i = 0,5$  A

sich ergibt:  $O = \frac{110 \cdot 0,5}{16} = 3,44 \text{ Watt/1 HK (rund 3,5 W/HK)}$ ,

wie es in den folgenden Tabellen für verschiedene Lampensorten angegeben ist. Von der zugeführten Leistung (Energie) setzt die Edison-Kohlenfadenlampe nur etwa 5% in Licht um.

(Beiläufig sei hier bemerkt, daß von dem Wärmewert der verbrannten Steinkohle bei der gewöhnlichen Dampfmaschine nur etwa 5%, der besten Zwillingsverbundmaschine etwa 15%, der besten Gaskraftmaschine etwa 20%, dem „Diesel-Wärme-Kraftmotor“ etwa 30% in nützliche Arbeit umgesetzt werden).

### Glüh-Lampen von Siemens und Halske.

Tabelle I.

Kerzenzahl	5	5	5	10	10	16	16	25	25	32	32	HK	
Lampenspannung e = 25	65	110	65	110	65	110	65	110	65	110	65	110	Volt
Stromstärke i = 0,70	0,27	0,16	0,54	0,32	0,36	0,51	1,35	0,80	1,72	1,02	1,02	Ampère	
ei = 17,5	17,5	17,6	35,1	35,2	55,9	56,1	88,7	88,0	111,8	112,2	112,2	Watt	
736/ei η = 33	33	30	16,8	16,8	10,5	10,5	6,7	6,7	5,3	5,3	5,3	Lampen auf 1 Pferdekraft	

$0 = ei/HK = \boxed{3,5}$  Watt für je 1 Hefner-Kerze,

$736 \eta/ei \text{ HK} = \text{etwa } \boxed{168}$  Hefner-Kerzen auf 1 Pferdekraft.

Die Werte der voranstehenden Tabelle sind leicht zu deuten:

Wie man von irgendeiner Arbeit abgebenden oder aufnehmenden Maschine, z. B. einem Wasserrade, sagt: Für eine gewisse Leistung ist ein Wasserstrom mit einer Wassermenge (i) von bestimmtem Gefälle (e) erforderlich, so wird man hier sagen müssen, um durch eine Glüh-Lampe (üblicher Konstruktion) 16 Hefner Kerzen Lichtstärke zu leisten, ist erforderlich ein elektrischer Strom von  $i = 0,51$  Ampère und  $e = 110$  Volt, also eine Leistung  $e \cdot i = 56,1$  Volt-Ampère (Watt) und ist dann  $56,1/16 = 3,5$  Watt der Verbrauch auf je eine HK.

Nachzusehen sind auch die früheren Angaben unter „Allgemeine grundlegende Bemerkungen über Glüh- und Bogenlampen“, besonders die Ableitungen am Schlusse dieser Bemerkungen. Die Anzahl der HK auf je 1 Pferdekraft erhält man auch, wenn man mit der „Ökonomie“  $\left(\frac{ei}{HK} = 3,5\right)$  in 590 teilt.

Hier und in den folgenden Tabellen ist als Wirkungsgrad  $\eta = 0,8$  angenommen, also vorausgesetzt, daß von je 736 (= 75 · 9,81) von der Betriebsmaschine gelieferte Watt durch die Lampen je  $736 \cdot 0,8 = \text{rund } \boxed{590}$  Watt ausgenutzt werden.

Ferner liefert dieselbe Firma Lampen für höhere Spannungen (220 V).

Tabelle II.

Kerzenzahl	5	10	16	25	32	50	100	HK
e = 220	220	220	220	220	220	220	220	Volt
i = 0,12	0,18	0,25	0,4	0,5	0,8	1,6	1,6	Ampère
$0 = ei/HK = 5,3$	4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	Wattverbrauch für je 1 HK (Ökonomie)
590 · 0 = 118	148	168	168	168	168	168	168	HK auf eine Pferdekraft.

Bemerkung: Ein Kohlenfaden für hohe Spannungen ( $e = i \cdot w$ ) muß unter sonst gleichen Verhältnissen einen großen Widerstand (w) bieten, also dünn und lang sein. Seine Herstellung und Anwendung in der Lampe ist deshalb mit Schwierigkeiten verbunden, wenn die Haltbarkeit auf die Dauer gesichert sein soll. Man blieb deshalb bis vor wenigen Jahren bei der bereits von Edison eingeführten Spannung  $e = 110$  Volt. Gegenwärtig geht man, wie aus der vorstehenden Tabelle II hervorgeht, mit der Spannung auch höher hinauf.

Auch für höhere Lichtstärken und sehr verschiedene Stromstärken liefert die genannte Firma Lampen:

Tabelle III.

Kerzenzahl	50	50	50	100	100	100	200	400	HK
e = 10	65	110	20	65	110	110	110	110	Volt
i = 15	2,8	1,86	15,0	4,6	2,7	5,0	10,9		Ampère
0 = ei/HK = 3	3	3	3	3	2,97	2,75	2,75		Watt für 1 HK
590/0 = 196	196	196	197	197	197	216	2,35		HK/1 Pferdektr.

Hiernach verbrauchen Kohlenfadenlampen von hoher Kerzenzahl (200 bis 400 HK) höchstens 2,8 Watt.

Die Werte  $\frac{736 \cdot \eta}{ei} \cdot HK = \frac{590}{O}$  der voranstehenden, der Praxis entsprechenden Tabellen, führen zu dem Schlusse, daß gegenwärtig in regelrechten Fällen bei gewöhnlicher Glüh-Lampen-Beleuchtung wenig mehr als 200 HK auf 1 Pferdekraft Nutzleistung, dagegen mindestens 150 bis 170 HK „ 1 „ „ zu erreichen sind.

Ausnahmen bildet z. B. die in Tabelle II aufgeführte 5 HK Lampe, für welche sich nur  $\frac{736 \cdot 0,8}{220 \cdot 0,12} \cdot 5 = 112$  HK auf 1 Pferdekraft ergeben; und die 400 HK-Lampe der Tabelle III, welche 235 HK auf 1 Pferdekraft liefert.

Der Wattverbrauch (Ökonomie) läßt sich noch weiter bis 2 Watt auf 1 HK herunterbringen, jedoch nur zuungunsten der Brenndauer, die bei den gewöhnlichen 3 und 3,5 Watt-Lampen 800 bis 1000 Brennstunden, dagegen bei den sog. Niedrig-Watt-Lampen von 2,5 Wattverbrauch auf 1 HK nur noch 300 bis 400 Brennstunden beträgt. Hiermit ist die folgende kleine Tabelle unter „Lichtabnahme. Lebensdauer“ zu vergleichen.

Die Anwendung von Glühlampen, die erheblich weniger als 3 Watt gebrauchen, kann deshalb nur bei hohen Stromkosten empfohlen werden.

Die folgenden Zahlenbeispiele \*) können bei Entscheidung dieser Frage zum Anhalten dienen:

1. Eine 16 kerzige 3,5 Watt-Lampe verbraucht 16 · 3,5 = 56 Watt.  
 Verbrauch in 800 Stunden 800 · 56 Watt . . . . = 44,8 Kilow.-Stdn.  
 44,8 KW-St. zu dem hohen \*\*) Preise von 60 Pfennigen = 26,88 Mark.  
 Lampenersatz: 1 Lampe zu 45 Pfennigen . . . . = 0,45 „  


---

 27,33 Mk.
2. Eine 16 kerzige 2,5 Watt-Lampe verbraucht 16 · 2,5 = 40 Watt.  
 Verbrauch in 800 Stunden 800 · 40 Watt . . . . = 32 Kilowatt-Stdn.  
 32 KW-St. zu dem hohen \*\*) Preise von 60 Pfennigen = 19,20 Mark.  
 Lampenersatz: 3 Lampen zu 45 Pfennigen . . . . = 1,35 „  


---

 20,55 Mk.  


---

 6,78 Mk.

\*) Entnommen dem Anfängern und Praktikern zu empfehlenden Taschenbuche für „Monteure elektrischer Beleuchtungsanlagen“ unter Mitwirkung von O. Görling und Dr. Michalke, bearbeitet und herausgegeben von S. Freiherrn v. Gaisberg. 25. Auflage, 1902.

\*\*) Hier in Clausthal liefert mir das Elektrizitätswerk für Beleuchtung die Kilowattstunde zu 48 Pfennigen bei 500 Kilowattstunden-Verbrauch. In Berlin liefert die Allgem. Elektrizitäts-Gesellschaft vom 1. Januar 1904 an je 1 Kilowattstunde (K.W.St.)

elektr. Beleuchtung für 40 bei 100 K.W.St. Mindestverbrauch (sonst für 55 Pfg. wie früher), für 30 Pfg. in den Nachtstunden von 10 bis 6 Uhr bei 1000 K.W.St., ebenso für Treppenbeleuchtung bei 1200 K.W.St. Mindestverbrauch, der etwa erforderlich ist, um die Treppenfuren von Beginn der Dunkelheit bis 10 Uhr während eines Jahres elektrisch zu beleuchten; dagegen elektr. Betriebskraft für 16 Pfg. bei 400 K.W.St.-Mindestverbrauch.



Ersparnis bei Anwendung der 2,5 W-Lampen rund  $\boxed{25\%}$ .

Stromverbrauch. Nach der Formel für die „Ökonomie“  $O = ei/HK$  läßt sich auch der Stromverbrauch  $i$  berechnen, wenn die übrigen Größen gegeben sind. Z. B. ist nach Tabelle I für eine 16kerzige Lampe, die bei  $e = 110$  V leuchtet:

$$i = O \cdot HK/e = \text{im Mittel } 3,5 \cdot HK/e = 3,5 \cdot 16/110 = 0,5 \text{ A.}$$

Lichtabnahme. Lebensdauer. Daß bei den „Niedrich-Watt-Lampen“ die Lichtabnahme eine schnellere ist als bei den gewöhnlichen 3 bis 3,5 Watt-Lampen, geht aus folgender Versuchsreihe hervor:

Ist der Wattverbrauch auf 1 HK	2	2,5	3	3,5	4	Watt,
so beträgt die Lichtabnahme 20% nach	100	150	300	450	600	Stunden,
sogar 25% „	170	270	675	1300	—	Stunden
und die mittlere Lebensdauer	300	360	700	1370	—	Stunden.

Diese Zahlenreihen zeigen auffallend, daß der Begriff „Lebensdauer“ oder „Brenndauer“ ein sehr dehnbare ist, und was in Lichtenanlagen zu tun ist, wenn eine wirtschaftliche Lichtausbeute Hauptbedingung ist. Hiernach würde man z. B. 3 wattige Lampen schon nach 300 bzw. 675 Stunden durch neue zu ersetzen haben, wenn für die Anlage nur 20% bzw. 25% Lichtabnahme als zulässig ausbedungen wäre.

Besonders bemerkenswert ist noch, daß die für eine bestimmte Lebensdauer und einen bestimmten Wattverbrauch (Ökonomie) gebaute Glüh-Lampe unter höherer Spannung

1. zwar geringeren Wattverbrauch für die Lichteinheit,
2. auch größere Gesamtbeleuchtungskraft,
3. dafür aber nur eine kürzere Lebensdauer aufweist.

Jede Lampe muß deshalb mit Strom von vorgeschriebener, gleichmäßiger Spannung\*) e gespeist werden.

Die Gleichmäßigkeit und Ruhe des Lichtes erfordern deshalb einen durchaus gleichmäßigen tadellosen Gang der Dynamomaschine, also auch, nicht nur der antreibenden Kraft (Wasser-, Dampf-, Gaskraft-)Maschine, sondern auch der Zwischenmaschinen (Räderwerke, Kurbelgetriebe), werden am wirksamsten unterstützt durch Pufferbatterien (Akkumulatoren) und müssen beständig sorgfältig durch Volt- und Ampère-Meter überwacht werden.

Wie kleine Spannungsschwankungen sehr erhebliche, für manche technische Betriebe nicht statthafte Lichtschwankungen hervorrufen, zeigt folgende der „Hütte“ entnommene Tabelle, in welcher der Formel in der Anmerkung entsprechend, die unteren Werte etwa das Siebenfache der darüberstehenden betragen:

Spannungs-Schwankungen:	0,5	1	1,5	2	2,5	3	Prozent
Licht-Schwankungen:	3,5	7	10,6	14,4	18,3	22,3	„

Selbst bei durchaus regelrechtem Betriebe wird der Kohlenfaden durch Zerstäuben dünner, die Glasbirne von innen geschwärzt und infolgedessen die Leuchtkraft der Glühlampe geringer.

Z. B. hat nach etwa:	200	400	600	800	1000	Brennstunden
eine 16 HK-Lampe noch:	15,6	15,0	14,3	13,4	11,0	HK Lichtstärke.

\*) Die Abhängigkeit der Lichtstärke in HK von der Spannung  $e$  und von der Stromstärke  $i$  ist in die Formel gekleidet:

$$HK = C_1 e^{6,8} = C_2 (ei)^3 \text{ und}$$

$$\text{Ökonomie} = ei/HK = (C_2/C_1)^{1/3} \cdot 1/e^{4,5},$$

welche deutlich zeigen, wie schon eine kleine Veränderung von  $e$  eine auffallend starke Schwankung der Lichtstärke im Gefolge hat. Die Werte  $C_1$  und  $C_2$  sind durch die Eigenart der betreffenden Lampe bestimmt.

Nehmen wir als Exponenten der Spannung  $e$  anstatt 6,8 die abgerundete Zahl 7 an, so ist immerhin die Veränderung der Leuchtkraft 7 mal größer als die Veränderung der Spannung.

In Lichtzentralen, in denen der Lichteffect garantiert wird, empfiehlt es sich deshalb, die Lampen schon nach 600 Brennstunden auszuwechseln.

Die Erfinder neuer Lampenkonstruktionen müßten deshalb darauf hinwirken, die erwähnten Altersschwächen zu vermeiden oder doch tunlichst hinauszuschieben.

**Wechselstrom-Glüh-Lampen.** Aus dem Voranstehenden möchte man den Schluß ziehen, daß der Wechselstrom sich weniger gut als der Gleichstrom zur Speisung der Glühlampen eignet.

Jedoch die Nachwirkung eines Lichteindruckes im Auge und des Glühzustandes des Kohlenfadens machen es unmöglich, daß das Auge Wechsel in der Lichtabgabe unterscheidet, wenn der Glühfaden von Wechselströmen mit 50 Perioden in 1 Sekunde durchflossen wird. Bei Außenbeleuchtung genügen sogar 25, bei Beleuchtung der meisten Arbeitsräume und Arbeitsmaschinen, auch Zeichenbretter, Lesetische noch 30 bis 40 Perioden, ohne daß das Auge durch Flackern des Lichtes unangenehm belästigt wird.

So sehen wir, wie sogar die Eigenart (Unempfindlichkeit) unserer Augen und des Kohlenfadens die Einrichtung (Polzahl) und den Gang (Umdrehungszahl) aller Dynamomaschinen, die zur Lichtabgabe dienen, beeinflußt (was auch bereits früher angedeutet wurde).

**Prüfung der Glüh-Lampen.** Hierunter kann nicht die genaue Aufzählung aller jener sinnreichen Hilfsmittel und sorgfältigen Beobachtungen und Messungen, welche jede Lampe vor ihrer Herausgabe aus der Fabrik erforderlich macht, wohl aber eine kurze Zusammenstellung von Merkmalen und Untersuchungen erwartet werden, durch welche jedermann ein ungefähres Bild von den Anforderungen sich verschaffen kann, die er an eine brauchbare elektrische Lampe zu stellen hat.

Der Kohlen-Faden einer neuen Glüh-Lampe soll, ähnlich einem rostfreien feinen Stahldrahte, einen gleichmäßigen Glanz zeigen, der von der dichten Graphitschicht herrührt, mit welcher der Faden bei seiner Fabrikation überzogen wird, um sowohl seine Elastizität zu vergrößern, als auch sein Wärmeausstrahlungsvermögen zu vermindern. Durch Ablättern bzw. Zerstäuben dieser Schicht bei längerem Gebrauch schwärzt sich der Faden und die Glaswand der Birne. Dünnere fehlerhafte Stellen, an welchen der Faden zuerst durchbrennen würde, äußern sich dadurch, daß sie früher als der übrige Faden erglühen, wenn man im Dunkeln die Lampe mit Strom bei allmählich zunehmender Spannung speist. Die geübte, durch berußtes oder dunkles Glas geschützte Auge erkennt auch während des regelrechten Betriebes wohl solche dünnen Stellen an dem helleren Lichte, welches sie ausstrahlen. Die einzelnen Windungen des Kohlenfadens müssen weit genug voneinander abstehen, damit nicht durch Berührung Kurzschluß veranlaßt wird, dürfen selbst bei starken Schwingungen auch nicht der Glaswand der Glasbirne zu nahe kommen.

Die Luftverdünnung in der Glasbirne, die etwa 0,2 mm Quecksilbersäule betragen soll, ist ohne besondere Hilfsmittel schwer zu beurteilen. Man schätzt sie wohl nach der schnelleren Dämpfung, die der durch Erschütterung in Schwingung versetzte Kohlenfaden in schlecht verdünntem Raume erfährt.

Besonders wichtig ist noch die Prüfung der Lampe auf ihre Leuchtkraft und ihre Brenndauer.

Wird der Grundsatz innegehalten, daß bei einer wirtschaftlichen Glühlichtbeleuchtung die Lampen bzw. der Brenner auszuwechseln sind, wenn sie  $\frac{1}{5}$  der normalen Leuchtkraft verloren haben, so würde die Brenndauer bis zu diesem Zeitpunkte zu rechnen sein und es müßte dieser Zustand der Lampe durch photometrische Messung bestimmt werden. (Man sehe das, was im voranstehenden über Photometrie, Leuchtkraft und Brenndauer angedeutet ist.)

### Verbesserungen der Glüh-Lampen bis auf die Neuzeit.

Im voranstehenden ist bereits darauf hingewiesen und im folgenden wird an passenden Stellen noch angedeutet, worauf in Zukunft die Verbesserungsbestrebungen im allgemeinen zu richten sind. Auf alle jene Lampenkonstruktionen jedoch besonders einzugehen, die in ihren einzelnen Teilen Verbesserungen aufweisen, würde hier zu weit führen.

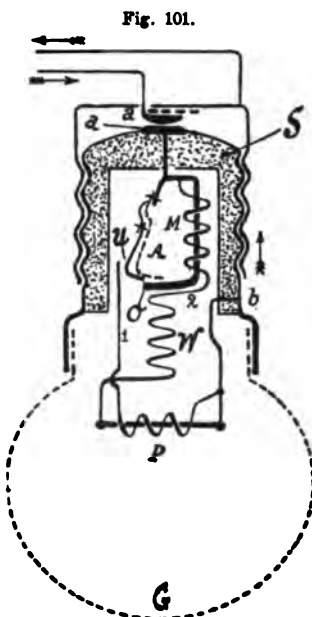
Von allen neueren Lampen aber, welche die wichtigsten Forderungen: Hohe Temperatur und geringes Wärmeausstrahlungs-Vermögen am vollkommensten erfüllt haben, sind die Nernst-Lampe, die Auer-Osmium-Lampe und die Tantal-Lampe zu nennen, welche deshalb auch im folgenden näher besprochen werden.

Die Nernst-Lampe. Seit einigen Jahren führte, im Verein mit der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin der Göttinger Professor Nernst in seiner offenen Glühlampe als „Brenner“, anstatt des Kohlenfadens, die selbst beim Glühen an der Luft sehr hohen Temperaturen widerstehenden Stäbchen aus seltenen Erden, wie z. B. Thor- und Zirkonium-Oxyd ein. Diese Stoffe (Metalloxyde) stellen aber ihrer praktischen Verwendung dadurch große Schwierigkeiten entgegen, daß sie im kalten Zustande nahezu Nichtleiter des elektrischen Stromes sind, und erst in der Rotglut elektrisch leitend werden. Bei den zuerst eingeführten Lampen mußte deshalb der Glühkörper (das Glühstäbchen) durch eine Spiritusflamme, allenfalls auch durch ein entzündetes Streichhölzchen erst genügend erwärmt werden. Die Glüh-Stäbe der neueren von der A. E. G. in den Handel gebrachten Nernst-Lampen jedoch werden, wie aus dem Folgenden hervorgeht, nur allein durch elektrischen Strom selbsttätig mittelst eines elektrischen Heizkörpers angewärmt und ins Leuchten gebracht.

Die nebenstehende Skizze 101 enthält die erforderlichen vier Bestandteile: Brenner (Heiz- und Glühkörper) P, (Opal-)Glasglocke G, Vorschaltwiderstand W, Sockel S, in einfachster Darstellung, die sich tunlichst an die oben geschilderte Edison-Glühlampen anschließt.

Der Strom findet auf seinem Wege durch die Lampe von a bis b zwei Leitungen vor. Beim Einschalten der Lampe führt ihn die Leitung 1 zuerst durch den Heizkörper in Form einer Platinspirale P, welche hierdurch erhitzt den in ihrer Achse liegenden Glühstab als Leuchtkörper so stark vorwärmt, daß letzterer nun leitend geworden, den Haupt-Speisestrom auf dem Wege 2 durchläßt und hierdurch in helle Weißglut gerät. Zugleich wird der Eisenstab M durch den um ihn herumgeführten Solenoidstrom zum Elektromagneten, zieht mit seinem Pole O den durch Federwirkung bei U gegen den Leitungsdraht 1 gedrückten Anker A an, so daß der Nebenstrom 1 bei U unterbrochen wird und nur der Hauptstrom 2 durch den Glühstab der Lampe strömt. Nach  $\frac{1}{2}$  Minute ist die eingeschaltete Lampe in regelrechtem Betriebe und verbraucht 1,8 bis 1,4 Watt auf 1 HK, also etwa halb soviel als die gewöhnliche Kohlen-Glühlampe.

Der sehr empfindliche Glühkörper (Brenner) wird durch einen Vorschalt-



widerstand (Eisenspirale\*) in mit Wasserstoff gefülltem Glasrohr eingeschlossen) gegen Überlastung durch Stromschwankungen geschützt.

Die Lampen eignen sich gleichgut für Gleich- und Wechselstrom und werden für beide Arten mit gleichen Widerständen, aber entsprechend verschiedenen Sockeln und Brennern, ausgeführt. Bei den für Gleichstrom bestimmten Lampen sind auch beim Montieren die Polzeichen zu beachten und liegt der Minus-Pol meist am Gewinde. Bei den neueren Lampen kann der verbrauchte Brenner leicht durch einen neuen ersetzt werden.

Die neuesten sog. Intensiv-Nernst-Lampen verbrauchen sogar noch weniger als 1 Watt für 1 HK. Bei ihnen ist der Heizkörper in Form einer ebenen Schlangenlinie auf einer weißen, das Licht möglichst reflektierenden, Porzellanplatte über dem Glühkörper angebracht, der nun sämtliche Lichtstrahlen ungehindert nach unten werfen kann.

Die Nernst-Lampen werden für 16 bis 250 HK bei 100 bis 270 V Klemmspannung und 0,25, 0,5, 1,0 und 2,0 A Stromverbrauch gebaut, brennen am vorteilhaftesten bei 200 bis 250 Volt und sollen neuerdings eine Brenndauer von über 700 Stunden, also beinahe die Brenndauer guter Glüh-Lampen (800 bis 1000 Stunden) erreichen. Sie werden in zwei Modellen ausgeführt, die A-Lampe nur zur Befestigung an Schnüren, ähnlich wie bei Bogenlampen, die B-Lampe mit Edison-Fassung zum Einschrauben oder Swan-Bajonettfassung zum Einsetzen.

Die kleinste bislang in den Handel gebrachte Nernst-Lampe, welche bei 0,25 Ampère und 250 Volt 32 HK liefert, ist eine für den gewöhnlichen Hausgebrauch zu große Einheit. Dagegen empfiehlt die Firma die 1 Ampère-Lampe, welche dicht unter der Zimmerdecke angebracht, unterhalb mit einem nahezu undurchsichtigen Schirme versehen, eine angenehme Deckenbeleuchtung für ein großes Zimmer abgibt.

Die Osmium- oder sog. Auer-Oslampe der „Deutschen Glühlicht-Aktiengesellschaft Berlin“.

Schon früher wurde als besonders wichtig hervorgehoben, daß eine elektrische Lampe um so ökonomischer brennt, d. h. einen um so größeren Prozentsatz der aufgewendeten Arbeit in Licht umsetzt, mit je höherer Temperatur sie glüht und je geringer hierbei ihre Wärmeausstrahlung ist. Auer von Welsbach, der Erfinder des Gasglühlichtes, ersetzte deshalb den Kohlenfaden der Edison-Lampe durch einen Faden aus Osmium, weil dieses Metall von allen elementaren Körpern den höchsten Temperaturen widersteht und gleichzeitig schon bei mäßigen Temperaturen eine im Verhältnis zur Lichtstrahlung geringe Wärmeausstrahlung zeigt. Die Oslampe weist deshalb kaum den halben Arbeitsverbrauch der bisherigen Kohlenfadenlampen auf und genügt somit obigen Bedingungen besser als irgend eine Glühlampe mit einem bisher bekannten elektrischen Leuchtkörper.

Da jedoch das elektrische Leitungsvermögen des Osmiums, wie das der Metalle überhaupt, größer ist als das der bisher angewandten Kohle, liegt die günstigste Spannung für die Osmiumlampe niedriger als die der Kohlenlampe, nämlich nur zwischen 4 und 55 Volt, während die Kohlenlampen in der Regel für 65, 110 und 220 Volt gebaut werden.

Deshalb ist es nicht möglich, einzelne Osmiumlampen in das den Kohlenlampen angepaßte allgemein übliche Verteilungssystem der Gleichstrom-Anlagen

---

\*) Das Eisen ist unter den gut leitenden Metallen nicht nur das billigste, sondern auch dasjenige, dessen Leitungswiderstand mit der Erwärmung am stärksten wächst (0,48 % Widerstandszunahme auf 1° Celsius bezogen auf 0° C, wogegen nur zeigen in %: Kupfer 0,44, Aluminium 0,39, Silber 0,38, Nickel 0,36, Platin 0,24, Messingdraht 0,16, Neua Silber 0,036). Die bei der Nernst-Lampe getroffene Wahl ist deshalb besonders zweckentsprechend. (Nachzulesen, was oben unter den „Allgemeinen grundlegenden Bemerkungen über Glüh- und Bogen-Lampen“ im „Schlußsatze“ hervorgehoben ist.)

einzuschalten, vielmehr müssen bei 110 Volt 3 Lampen von 37 Volt hintereinander geschaltet werden.

Bei Wechselstrom-Anlagen dagegen kann man durch Transformatoren und in besonders wirtschaftlicher Weise durch Spannungsteiler die Spannung auf die gewünschte Größe von etwa 35 Volt bis 45 Volt bringen und ist nach Mitteilungen der „Deutschen Gasglühlicht A. G.“ auf diese Weise mit gutem Erfolge bereits vielfach die Osmiumlampe eingeführt.

Da übrigens mindestens 75 % des von den Zentralen gelieferten Stromes in Beleuchtungs-Anlagen verwendet wird, in denen mehrere Lampen gleichzeitig brennen, stehen der Einführung der Osmiumlampen in Gleichstrom-Großbetrieben keine besonderen Schwierigkeiten entgegen.

Die Lampen sind derart anzubringen, daß die Glühfäden nach unten hängen, weil diese bei Weißglut weich werden.

Nach Mitteilungen der Firma ist es keineswegs unmöglich Oslampen auch für 110 Volt herzustellen, aber eine wirtschaftliche Einführung solcher Hochspannungslampen noch nicht zu erwarten.

Auch sind Tausende von Oslampen in Netzen mit 220 Volt Spannung im Betriebe, ohne daß die Hintereinanderschaltung von 5—6 Lampen sich bisher störend bemerkbar gemacht hätte, zumal alle hintereinandergeschalteten Lampen von derselben Spannung und Kerzenzahl für gleichen Strom, also gleichmäßige Belastung, hergestellt sind.

Nach den Messungen der „Physikalisch-Technischen Reichsanstalt“ ist von 7 Lampen nach 2000 Brennstunden noch keine durchgebrannt und betrug der Arbeitsverbrauch nach 2000 Stunden von 6 dieser Lampen nur etwa 1,7 Watt, dagegen während der ersten 1000 Brennstunden durchschnittlich sogar nur etwa 1,5 Watt. Die Oslampen sind deshalb bei hohen Stromkosten besonders zu empfehlen.

Werden als durchschnittliche Lebensdauer einer Auer-Oslampe nur 500 Brennstunden angenommen, so amortisiert sich bei dem durchschnittlichen deutschen Strompreis von 50 Pfg. für 1 Kilowatt

eine Oslampe von 25 HK in 170 Brennstunden und

„ „ „ 32 HK „ 142

wobei der Preis der Oslampe zu 5,5 Mark weniger 75 Pfg., die für die ausgebrannte Lampe vergütet werden, angenommen ist. Während der übrigen etwa 350 Brennstunden hindurch erspart die Oslampe rund 56 % Strom, ohne irgend weitere Kosten zu verursachen.

Zu diesem wirtschaftlichen Vorteile gesellt sich der Vorzug des rein weißen Lichtes und die nur halb so große Wärmeausstrahlung.

Die Tantal-Lampe der Herren Feuerlein und v. Bolton bei Siemens und Halske (Berlin-Charlottenburg) als „Sparlampe“.

Neuerdings ist die Tantal-Lampe hinzugekommen, die wie die Nernst- und Osmium-Lampe auch nur halb so viel Strom als die Kohlen-Faden-Lampe verbraucht, nämlich 1,5 Watt auf 1 HK; außerdem aber sich u. a. auszeichnet:

vor der Nernst-Lampe, weil sie unter Strom sofort brennt,

vor der Osmium-Lampe, weil sie in jeder Lage aufgestellt werden kann.

Auch hat sie den praktischen Vorzug, daß sie ohne weiteres in das Gewinde einer gewöhnlichen 110 voltigen Kohlenfadenlampe geschraubt werden kann. Ihre absolute Lebensdauer beträgt 1000—1500 Stunden, Nutzbrenndauer bei 1,5 Watt rund 400—600 Stunden (innerhalb welcher sie etwa 20 % ihrer ursprünglichen Leuchtkraft einbüßt), Leuchtkraft 25 HK, ihr Licht ist weißer als bei der Kohlenfaden-Lampe. Sie spart bei 600 Nutz-Brennstunden und einem Strompreise von 0,4 Mark/KW-Stde. 12 Mark gegenüber der Kohlenfaden-Lampe. Dabei ist ihr gegenwärtiger Ankaufswert 2,5 Mk. gegenüber 5,5 Mark der Osmium-Lampe.

Das Tantal (chemisch rein wohl zum ersten Male durch W. v. Bolton hergestellt) gehört zur Vanadin-Gruppe, ist in der Kälte chemisch unempfindlich gegen Luft, läuft bei 400° gelb an wie Stahl, hat die Härte wie weicher Stahl aber größere Zerreißfestigkeit (nämlich 93 kg/qmm), das spezifische Gewicht 16,8, das Atomgewicht 183 bei der Betriebs-Temperatur und schmilzt bei 2250 bis 2300° C.

Wiederholt geglutes und gehmmertes Tantalblech erhält nahezu die Härte des Diamanten.

Fig. 101 a.

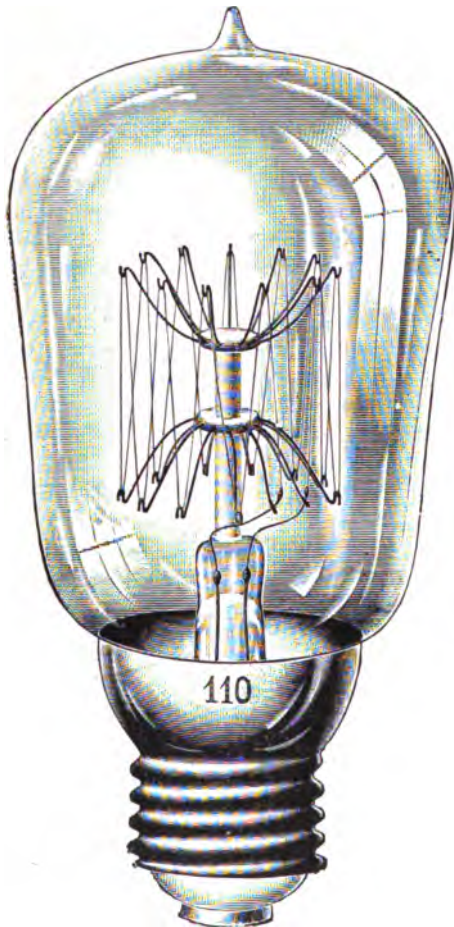


Fig. 101 b.

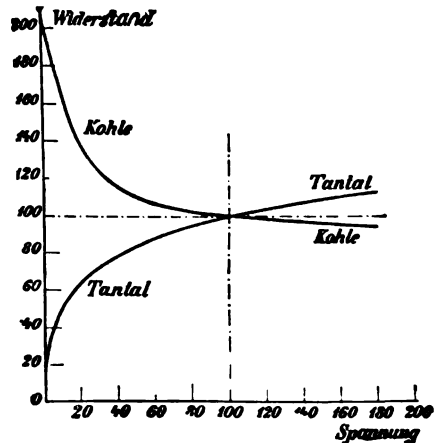
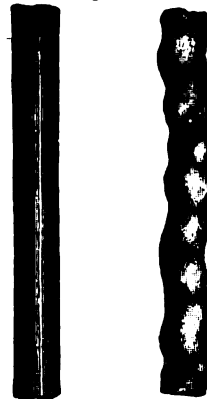


Fig. 101 c.



Nach langer Brennzeit zeigt der ursprünglich zylindrische Tantalfaden Tropfenbildung, wie die Figur andeutet.

Die Nutz-Leuchtwirkung steigt mit der Temperatur.

Der elektrische Widerstand steigt mit der Erwärmung wie bei allen Metallen (z. B. Osmium, Eisen) und ist für 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt 0,165 Ohm bei Zimmertemperatur, 0,850 Ohm bei der Brenntemperatur der Lampe. (Spezif. Leitfähigkeit im Vergleich zu Quecksilber 6,06.) Der Temperatur-Koeffizient ist positiv und hat zwischen 0° bis 100° C den Wert 0,30.

Ein wesentlicher Vorteil der Tantallampe gegenüber der Kohlenlampe ist, daß bei Temperatur-Zunahme das Tantal, als Leiter erster Klasse, schlechter,

dagegen die Kohle, wie die Leiter zweiter Klasse, besser leitet, wie die nebenstehende Fig. 101 c ausdrückt.

Die Lampe verträgt starke Erschütterungen. Erst nach längerer Brennzeit vermindert sich die Festigkeit des Glühfadens. Tantal-Lampen, welche versuchsweise, genau wie Kohlenfadenlampen verpackt, nach Amerika geschickt wurden, kamen vollständig unversehrt zurück.

Bemerkenswert ist, daß der Erfolg nicht auf dem elektrischen, sondern ausschließlich auf dem mechanischen Gebiete liegt und dadurch erzielt ist, daß es durch eine lange mühevoll Versuchsreihe endlich gelang, einen Tantal-Draht von 650 mm Länge von der außerordentlichen Dünne  $\frac{1}{20}$  mm Durchmesser zu ziehen und durch scheinbar sehr einfache Weise in der zweckmäßigsten Form in der luftleeren Glasbirne unterzubringen.

Man denke sich einen dicken Glasstab als Achse der nur etwas von der gewöhnlichen Form abweichenden Glasbirne, an diesem in einiger Entfernung zwei linsenförmige Glasscheiben, in deren Ränder Stäbe eingeschmolzen sind, welche wie die Rippen eines umgestülpten Regenschirmes strahlenförmig verlaufen, an der oberen Scheibe 11, an der unteren 12 Stück. Zwischen den Enden dieser Stäbe ist der Tantal-Faden im Zickzack auf und niedergespannt, so daß derselbe etwa auf dem Umfange eines Zylinders liegen. Der Sockel der Birne dagegen weicht nicht wesentlich von dem der gewöhnlichen, früher beschriebenen und durch Fig. 99 dargestellten Birne ab.

### Die Bogen-Lampe.

Einleitende Bemerkungen. Der (Öffnungs-)Funke, welcher an jeder Stelle eines Leitungsdrahtes, den ein elektrischer Strom von hinreichender Stärke ( $i$ ) durchfließt, in dem Augenblicke blendend hell aufblitzt, in welchem hier die Leitung unterbrochen wird und welcher dann bei genügend hoher Spannung ( $e$ ) und kleinem Luftzwischenraume, also Widerstande ( $w$ ), als Dauerlicht die ununterbrochene Strömung der Elektrizität durch den winzigen Luftzwischenraum hindurch äußert, ist so lange bekannt, wie der elektrische (galvanische) Strom (Volta 1800).

Aber dem englischen Physiker Davy, dem Erfinder der heute allgemein bekannten „Davy-Sicherheitslampe“ (1815), verdanken wir die, wohl im großen erst im Jahre 1821 gemachte Beobachtung, daß diese Funkenstrecke, der sog. „Davy-Lichtbogen“\*) besonders glänzend sich erweist und sich ausgezeichnet zu Beleuchtungszwecken praktisch verwerten läßt, wenn man den elektrischen Funkenstrom zwischen Kohlenstäben durch die Luft fließen läßt, mit welchen man an der Unterbrechungsstelle die Leitung gleichsam bewaffnet. Bei diesem Versuche bewirkten 2000 Elemente einen Lichtbogen von 10 cm zwischen Holzkohlenspitzen im luftverdünnten Raume.

Die Kohlenstäbe der heutigen Bogenlampen brennen im Sauerstoff der Luft an den Spitzen ab, erhitzen die Luft in dem Zwischenraume und machen diese dadurch zu einem Leiter\*\*) des elektrischen Stromes.

Kohlenstäbe. Daß die Lichtwirkung nicht zum geringen Teile von der Eigenart der Kohlenstäbe abhängt, liegt auf der Hand und erklärt zum Teil die abweichenden Angaben über die Lichtstärken (HK) des Licht- bzw. Flammen-

\*) Bei den ersten Versuchen mit wagerecht liegenden Kohlen trat tatsächlich ein nach oben gewölbter Licht-Bogen auf, dagegen kann bei den heutigen Bogen-Lampen mit vertikal stehenden Kohlenstäben von einem Bogen eigentlich nicht mehr die Rede sein.

\*\*) Siehe oben den „Schlußsatz“ unter „Allg. grundl. Bemerkungen über Glüh- u. Bogen-Lampen“.

bogens bei derselben Stromstärke (i). Abgesehen von den verschiedenen Zusammensetzungen der zu den Stäben der gewöhnlichen Bogenlampen verwendeten Kohlenmasse (reiner Koks- oder Graphit-Staub + Teer oder Gummi als Bindemittel), die durch starken Druck verdichtet und dann karbonisiert wird, unterscheidet man in der Praxis zwei besondere Kohlenstab-Sorten: die sog. „Homogenkohle“, welche durchweg gleichartig ist, und die sog. „Dochtkohle“, deren Kern aus einer besonderen Füllmasse besteht, durch welche Licht und Farbe bedingt werden und welche meist als + Kohle verwendet wird.

Die Gesamt-Länge der beiden Kohlenstäbe beträgt 300—600 mm, von der im Mittel etwa 30 mm in 1 Stunde verbrannt werden. (Nähere Angaben später.) Nur sei hier noch bemerkt, daß unter sonst gleichen Verhältnissen dünne Kohlen wirtschaftlicher als dicke brennen.

**Lichtstärke und Temperatur.** Die in der Hauptsache von der Stromstärke (i) abhängende Stärke des Bogenlichtes kann von 100 HK auf viele 1000 HK gebracht werden.

Die Temperatur des Lichtbogens, insbesondere der positiven Kohle wird auf mindestens 4000° C geschätzt, also etwa auf das Doppelte von der des Kohlenfadens der Glühlampen.

Der Feuergefahr wegen sollte jede Bogenlampe im unteren Teile mit einem festliegenden Teile (Aschenteller) versehen sein, der zuverlässig die abspringenden glühenden Kohlentelchen auffängt.

**Gleichstrom-Bogenlampe.** Bei Anwendung des Gleichstromes spitzt sich die negative Kohle beim Abbrennen kegelförmig zu, die positive Kohle dagegen höhlt sich kraterförmig aus, indem von ihrer stärker glühenden Polfläche die Kohlentelchen losgerissen und nach dem negativen Pol hinüber durch den in Weißglut versetzten Luftzwischenraum geschleudert werden. Die positive Kohle brennt hierbei unter sonst gleichen Verhältnissen doppelt so rasch als die negative ab. Soll trotzdem der Lichtbogen an derselben Stelle der Lampe und in der dem Strome entsprechenden Länge auftreten, so muß der Vorschub der Kohlen selbsttätig durch den Strom, selbst mit Hilfe von Elektromagneten, die vom Speisestrom durchflossen werden, genau geregelt werden. Um in derselben Zeit gleiche Kohlenverkürzungen zu erzielen, wird die positive Kohle doppelt so dick als die negative ausgeführt. Weil die + Kohle am meisten Licht, etwa 85 % der ganzen Lichtmenge aussendet, bringt man sie in der Lampe oben an, wenn Bodenbeleuchtung, dagegen unten an, wenn Deckenbeleuchtung oder sog. „indirekte“ Beleuchtung gewünscht wird. Die stärkste Strahlenausendung erfolgt unter einem Winkel von etwa 40° gegen die Horizontale.

Durch matte Glasglocken, passende Schirme, bzw. Reflektoren wird das Licht meistens gleichmäßig nach unten verteilt, so daß man nach dieser Richtung hin von einer vom Licht erfüllten Halbkugel, einer sog. „hemisphärischen“ mittleren Lichtstärke reden darf.

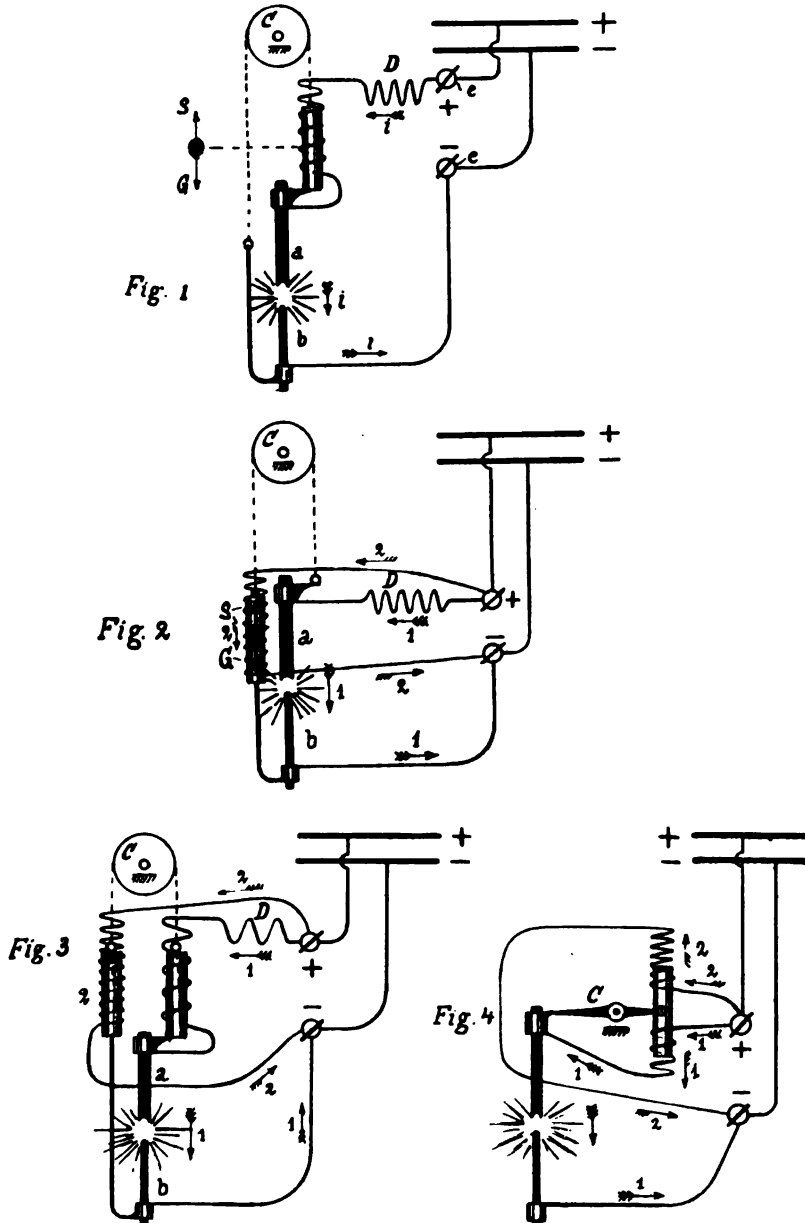
Die Gleichstrom-Bogenlampe setzt etwa 10 % der zugeführten Leistung in Licht um, das ist doppelt soviel als oben bei den Glühlampen angegeben wurde.

**Wechselstrom-Bogenlampe.** Bei Anwendung des Wechselstromes bilden im Betriebe beide Kohlenstäbe an ihren Enden Kegel und nutzen sich in gleicher Weise ab, leuchten deshalb auch nach unten und nach oben gleich stark. Durch einen kleinen Reflektor-Schirm unmittelbar über dem Lichtbogen wird, wie auch bei den Gleichstrom-Bogenlampen, das Licht mehr nach unten geworfen und außerdem der Abbrand der oberen Kohle infolge der hierdurch verminderten Luftzufuhr eingeschränkt, wovon später unter den Dauerbrandlampen ausführlicher gehandelt wird.



Die Wechselstrom-Bogenlampe setzt wie die Glühlampe etwa nur 5% der zugeführten Leistung in Licht um.

Fig. 102.



[Regelung und Schaltung der Bogen-Lampen. (Fig. 102; 1, 2, 3, 4.)]

Einleitende Bemerkungen. Die Anforderungen an die Regelung der Bewegung der abbrennenden Kohlenstäbe sind groß. Denn die Kohlenstäbe müssen:

1. Zusammengeschoben werden bis zur Berührung, wenn sie stromlos sind, weil selbst der geringste mit kalter Luft angefüllte Zwischenraum zwischen den Kohlenspitzen hier das Zustandekommen des Stromes sehr erschweren, wenn nicht sogar unmöglich machen würde,
2. auseinandergesogen werden, wenn sie durchflossen, also im Betriebe sind,
3. nachgeschoben werden entsprechend dem Abbrände, und zwar, wenn es verlangt wird, derart, daß der Lichtbogen in der Lampe seinen Ort nicht verändert,
4. empfindlich eingestellt werden, entsprechend den Stromschwankungen derart, daß sie auseinandergesogen werden mit Verstärkung des Stromes und umgekehrt mehr zusammengesoben werden, wenn eine Verschwächung des Stromes eintritt.

Aus der Schilderung geht naturgemäß hervor, daß die Schwerkraft, also das Gewicht  $G$ , oder eine Federkraft den Zustand 1, dagegen der Strom selbsttätig die Bewegungen 2, 3, 4 regeln muß.

Das einfachste Mittel ist das Solenoid, welches einen Eisenstab achsenrecht in sich mit um so stärkerer Kraft  $S$  hineinzieht, je stärker der Strom ( $i$ ) ist, der seine Windungen durchfließt und je größer die Anzahl ( $z$ ) dieser Windungen ist\*).

Damit die Bewegungsänderungen aber ohne Stoß erfolgen, also das Licht möglichst ruhig brennt, sind meistens noch „Dämpfungen“ vorgesehen und zwar:

5. Eine mechanische Bremsung (meist Luftbremsung), entweder durch ein sehr schnell gedrehtes Windrädchen, dessen Drehbewegung von der auf- und niedergehenden Bewegung der Kohlenstäbe aus durch Zahnstange und Räderübersetzungen ins Schnelle mitgeteilt wird, oder durch Bewegung eines Kolbens mit Spielraum in einem einseitig geschlossenen Zylinder\*\*),
6. eine elektrische Bremsung („Beruhigungswiderstand“) durch „Vorschaltwiderstand“ oder „Drosselspule“, in den Figuren mit  $D$  bezeichnet.
7. Bei hintereinander geschalteten Lampen muß bei Gleichstrom durch „Kurzschlußvorrichtung“, bei Wechselstrom durch parallel geschaltete „Drosselspule“ dafür gesorgt werden, daß der Strom um die Lampe herumgeleitet, also nicht unterbrochen wird, wenn die betreffende Lampe, infolge des Abbrandes der Kohlenstäbe, oder auf andere Weise, den Dienst versagt.

Je nach der Schaltung bezw. Lage des regulierenden Solenoides im inneren Stromkreise der Lampe sind drei, in ihrer Anwendbarkeit sehr verschiedene, in ihrer mechanisch-physikalischen Grundlage aber sehr verwandte Lampenarten zu unterscheiden:

1. Die Hauptstrom- oder Serien-Lampe, wenn das Solenoid im Hauptstrom selbst liegt (Fig. 1);
2. die Nebenschluß-Lampe, wenn das Solenoid im Nebenschluß liegt (Fig. 2);
3. die Differential-Lampe, wenn je ein Solenoid im Hauptstrom und im Nebenschlusse liegt (Fig. 3, 4).

In allen Fällen ist der Übereinstimmung und des deshalb leichteren Vergleiches und Verständnisses wegen die gegenwärtig beliebte Seillampen-Konstruktion von Siemens-Halske A. G. angenommen und sind die Skizzen in den einfachsten Linien ausgeführt und übersichtlich untereinander gestellt.

\*)  $S = k \cdot z \cdot i = G$  oder  $i = \frac{G}{k \cdot z}$  für das Gleichgewicht, wenn  $k$  eine Konstante bedeutet.

\*\*) Vergleichbar einem „Kompressor“, der die angesaugte Luft durch den Spielraum gewaltsam zu pressen hat und in der Technik wohl als „Luftpuffer“, wie z. B. bei den Corliß-Dampfmaschinen, angesprochen wird.

Die beiden Kohlenstäbe a und b hängen an den Enden des über den oberen Umfang einer Rolle gelegten Seiles, so daß bei der Aufwärtsbewegung des einen Stabes, der andere sich abwärts bewegen muß.

Solenoidwirkung S und Gewichtswirkung G in anderen Anordnungen (auch Federwirkung) bedingen die Bewegungsvorgänge und ringen um das Gleichgewicht (Fig. 1).

Bei den ersten „Hefner-Alteneck-Differential-Lampen“ vertrat ein gewöhnlicher Doppelhebel C die oben angenommene Seil-Rolle (Fig. 4).

Nach diesen einleitenden Bemerkungen wird es nicht schwer fallen, das Wesen der einzelnen Lampenarten an Hand der Figuren zu erkennen.

Wir beginnen mit der Haupt-Bogenlampe, wiewohl sie nur noch wenig angewendet wird, weil sie die erste und einfachste ist, und ihre Mängel die Einrichtung erkennen läßt, die zur Vervollkommnung der anderen Lampenarten führten.

1. Die Hauptstrom-Lampe anwendbar für veränderliche Stromstärke i und konstante Spannung e (Fig. 1).

Der Strom i fließt in der Richtung der Pfeile von der (+) Lampen- klemme aus, der Reihe nach, durch die Vorschaltspule D, die Solenoidwindungen S, die obere Kohle a, den Volta-Bogen, die untere Kohle b zur (-) Lampen- klemme. Noch sei hinzugefügt, daß für eine sorgfältige Führung der Halter der oberen, sowie der unteren Kohle gesorgt werden muß, die der Einfachheit wegen in der Figur nicht zum Ausdruck gebracht ist.

Eine Zunahme der Stärke des Stromes i bewirkt Zunahme der Solenoidkraft, mithin Vergrößerung des Lichtbogens bzw. des Leitungswiderstandes w an dieser Stelle. Bleibt also e konstant, so muß nach dem Ohm-Gesetz die Stromstärke

$$i = \frac{e}{w}$$

abnehmen (und umgekehrt).

Die Reguliervorrichtung der Hauptstromlampe wird also durch unsere kurze Schilderung dahin gekennzeichnet, daß sie die Zunahme (bzw. Abnahme) der Stromstärke i verhindert oder überhaupt nicht aufkommen läßt, also bewirkt, was gerade bezweckt wird. Die Hauptstrom-Lampe ist deshalb in solchen Stromkreisen anwendbar, in denen die Stromstärke i veränderlich ist, aber auf konstante Spannung e hingewirkt wird.

Würde dagegen ohnehin schon in dem Stromkreise auf irgendwelche Weise die Stromstärke i konstant erhalten, so wäre die Hauptstrom-Lampe durchaus zwecklos, also nicht anwendbar, dagegen die folgende Lampenart am Platze.

Um das recht zu verstehen, wollen wir nun von dem Lichtbogen ausgehen, der ja ohnehin der wichtigste Teil der Lampe ist, und eine Annahme machen, die dem Ergebnis, auf das uns die Betrachtung vorhin führte, gerade entgegengesetzt ist, nämlich, daß der Stromerzeuger (die Dynamomaschine) befähigt sei, durch Spannungsveränderung die Stromstärke i erforderlichenfalls stets konstant zu erhalten.

Zunächst ist klar, daß eine fortgesetzte Vergrößerung des Lichtbogens beim Abbrennen der Kohlenstäbe eine entsprechend fortgesetzte Vergrößerung des Leitungswiderstandes w an dieser Stelle bewirkt.

Soll trotzdem i (und damit die Solenoidwirkung) konstant bleiben, so müßte nach dem Ohm-Gesetz e fort und fort in demselben Maße wie w zunehmen, weil die als konstant vorausgesetzte Stromstärke im Solenoid keinerlei Veränderung, also auch keine Verkleinerung des Lichtbogens hervorbringt.

Solche beständige Zunahme von e wäre aber naturgemäß nur möglich bis zu einem höchsten Grenzwerte. An dieser Grenze würde die Dynamomaschine versagen und der Strom auf einmal überhaupt ausbleiben. Damit müßten aber sämt-

liche Lampen im Stromkreise verlöschen. Es würden also durch diese eine Hauptstrom-Lampe alle anderen Lampen in Mitleidenschaft gezogen, die vielleicht für sich mit regelrechtem Lichtbogen tadellos arbeiten würden.

Wir sind also zu dem Ergebnis geführt, welches zum Teil bereits in der Überschrift in Klammern hinzugefügt war:

Die Hauptstrom-Bogenlampe ist nur anwendbar als Einzelschaltungs-Lampe in einem Stromkreise, z. B. bei Scheinwerfern der Leuchttürme und Schiffe.

Sie ist an konstante Spannung  $e$  anzuschließen und reguliert dann auf gleiche Stromstärke  $i$ .

Als Einzelschaltungs-Lampe in 110 V Anlagen eignet sich gut die später unter den „Verbesserungen“ beschriebene „Dauerbrandlampe (u. a. Regina und Liliput-L.)“ die mit Klemmspannungen bis zu 80 Volt gebaut werden.

2. Die Nebenschluß-Bogenlampe (anwendbar für konstante Stromstärke  $i$  und veränderliche Spannung  $e$ ), Fig. 2.

Es führen zwei Stromwege durch die Lampe. Der durch die doppeltgediederten Pfeile angedeutete Hauptstrom (Speisestrom) 1 fließt unmittelbar durch die beiden Kohlenstäbe zur Erzeugung des Davy-Lichtbogens. Der durch die einseitig gediederten Pfeile gekennzeichnete Nebenstrom (Regulierstrom) dagegen fließt durch die feindrätigen Solenoidwindungen und bewirkt Bewegungs-Regelung des in ihrem Innern verschiebbaren Eisenkernes, welcher fest mit dem Halter der unteren Kohle verbunden ist.

Es springt sofort in die Augen, daß die saugende Wirkung des Solenoides eine Annäherung der unteren Kohle, also Verkleinerung des Lichtbogens, wogegen bei der vorigen Lampe die Solenoidwirkung eine Entfernung der oberen Kohle, also Vergrößerung des Lichtbogens veranlaßte.

Die Bewegungsvorgänge in der Lampe sind nun folgende:

Eine Zunahme des Lichtbogens infolge des Kohlenabbrandes bewirkt Zunahme des Widerstandes  $w$ , also bei konstantgehaltener Stromstärke  $i$ , nach Ohm eine Zunahme der Spannung:  $e = i w$ .

Diese erhöhte Spannung treibt einen größeren Strom durch das Solenoid und bewirkt Abnahme des Lichtbogens.

Wir sind hier wieder zu dem eigentümlichen Ergebnis gekommen, daß die Zunahme des Lichtbogens eine Abnahme desselben bewirkt (und umgekehrt), daß also die Regulier-Vorrichtung im regelrechten Betriebe eine Veränderung (der Spannung bezw.) des Lichtbogens, also der Leuchtkraft, der Lampe nicht aufkommen läßt.

Sie wird mit Strom von gleicher Stärke  $i$  gespeist und reguliert dann auf gleiche Spannung.

Oder mit anderen Worten: Die Lichtbogenlänge bezw. Spannung wird nur durch die Regulier-Vorrichtung, die Stromstärke (aber nicht auch die Spannung sondern) nur durch den Vorschaltwiderstand geregelt.

Sie eignen sich für Parallelschaltung so gut wie die Glühlampen; dagegen hintereinander geschaltet nur in geringer Zahl, weil die gegenseitige Störung mit der Anzahl wächst.

Man baut sie für 40 bis 50 V Klemmspannung, schaltet sie deshalb in 110 V Anlagen zu zweien in Serie (Zweischaltungs-L.).

Zu den Zweischaltungslampen in Netzen von 200 und 240 V ist auch die später beschriebene 2 Ampère Liliput-Lampe zu rechnen.

3. Die Differential-Lampe (anwendbar für veränderliche Stromstärke  $i$  und Spannung  $e$ ), Fig. 3.

Die Differential-Lampe ist die vollkommenste und brennt am gleichmäßigsten. Sie ist, was ohne weiteres aus den Figuren 1, 2, 3 hervorgeht, als Vereinigung

der beiden vorher behandelten Lampen anzusehen und eignet sich deshalb für alle Fälle, also in Reihen- und Parallelschaltung, gleich gut. Sie reguliert auf gleiche Stromstärke  $i$  und gleiche Spannung  $e$  bzw. auf gleichen Widerstand  $w = e/i$  oder mit anderen Worten: sie kann in Stromkreisen mit sowohl veränderlicher Stromstärke  $i$  als auch veränderlicher Spannung  $e$  angewandt werden.

Durch den Vorschaltwiderstand (der übrigens hier viel kleiner als bei Nebenschlußlampen sein kann) wird in gleichem Sinne  $i$  und  $e$  beeinflusst.

Mit Hinweis auf das bereits in bezug auf die Haupt- und Nebenschluß-Lampe Gesagte genügt es, noch kurz folgendes hinzuzufügen:

Bei Steigerung von  $i$  wirkt die Hauptspule auf Vergrößerung des Lichtbogens. Bei zu großem Lichtbogen, also zu hohem  $e$ , erhält die Nebenspule das Übergewicht und wirkt auf Verkleinerung des Lichtbogens.

Die Differenz dieser Wirkungen beider Spulen kommt also in der hiernach benannten Lampe zur Geltung. Da die Differential-Lampe noch gut für die niedrigste) Klemmspannung 37 bis 35 V gebaut werden kann, verwendet man sie in 110 V Anlagen als Dreischaltungs-Lampe.

**Geschichtliche Bemerkung.** Die Differential-Lampe wurde durch v. Hefner-Alteneck, Oberingenieur der Firma Siemens & Halske Charlottenburg-Berlin erfunden, im Jahre 1879 eingeführt und hat durch ihre Vorzüge, besonders dadurch, daß sie die Teilung des elektrischen Lichtes, d. h. Einschaltung von beliebig viel Lampen in ein und denselben Stromkreis, ermöglichte, sehr viel zum Aufschwunge der elektrischen Beleuchtung im besonderen und damit zur Förderung der Elektromaschinentechnik im allgemeinen beigetragen.

Die ältere v. Hefner-Alteneck-Differentiallampe ist durch die Figur 4 als einfache Linienskizze dargestellt. Hier liegen das Haupt- und Nebenschluß-Solenoid übereinander und haben einen gemeinschaftlichen Eisenkern, der mittelst des bei C drehbar gelagerten Doppel-Hebels mit der oberen Kohle verbunden ist. Es wird der Hinweis genügen, daß dieser Hebel später durch die Seilrolle ersetzt wurde, die wir in den übrigen Figuren annahmen. Übrigens sind die Bewegungs-Zustände und Vorgänge in genau derselben Weise zu deuten wie in den vorhin geschilderten Fällen.

Die Krizik-Differential-Lampe hat im wesentlichen die Einrichtung der Hefner-Alteneck-Lampe, unterscheidet sich von dieser nur durch die in Fig. 3 punktiert gezeichneten kegelförmigen Eisenstäbe der Solenoide, welche bezwecken, daß die Solenoidwirkung auf die Eisenstäbe dieselbe bleibt, wenn infolge des Abbrennens der Kohlenstäbe, die Eisenstäbe nach und nach in den Spulen andere Mittellagen einnehmen.

### Technische Verwertung der Bogen-Lampen (Fig. 103).

Im folgenden wurde tunlichst die Tabellenform gewählt, um dem Praktiker die wichtigsten den bewährten Lampen entsprechenden Zahlenwerte übersichtlich auf kleinem Raume nebeneinander darzubieten. Die beigefügten Schaulinien stellen die gesetzmäßigen Beziehungen der voneinander abhängigen Größen dar.

**Tabelle I.**  
**Gleichstrom-Bogen-Lampen**  
 mit festem Brennpunkte und mit „Sparer“\*).

		A							B				
$i =$	2	4	6	8	10	15	20	25	30	40	50	100	Ampère
$e =$	38	40	40	40	41	43	44	44	44	46	48	52	Volt Lampen-Spannung**)
$e_i =$	76	160	240	320	410	645	880	1100	1320	1840	2400	5800	Watt auf 1 Lampe
$\frac{736 \cdot \eta}{e_i} =$	7,7	3,7	2,5	1,8	1,4	0,9	0,7	0,53	0,446	0,32	0,25	0,1	Lampen auf 1 Pferd
HK =	80	210	370	550	770	1400	2040	2800	3600	5000	6800	17000	} Mittlere nach unten gestrahlte Lichtstärke***)
$\frac{736 \cdot 0,8}{e_i}$ (HK) =	616	777	925	990	1078	1260	1428	1480	1600	1600	1700	1700	
$\frac{e_i}{(HK)} =$	0,95	0,76	0,65	0,58	0,53	0,46	0,42	0,40	0,37	0,36	0,35	0,34	Wattverbrauch auf 1 HK („Ökonomie“)

Die Bedeutung der Zahlenwerte der Tabelle ist früher bei der entsprechenden Tabelle für Glüh-Lampen hervorgehoben.

Die fettgedruckten Zahlen können als Mittelwerte für eine Lampe angesehen werden. Für diese Lampe beträgt der Durchmesser der oberen Dochtkohle etwa 20 mm, der der unteren Homogenkohle etwa 15 mm, die Brenndauer 18 Stunden bei 500 mm Gesamtkohlenlänge,

„ „ 24 „ „ 650 „ „ „

\*) Die Bedeutung und Einrichtung der „Sparer“ ist später unter „Dauerlampen“ angedeutet.

\*\*\*) Die Netzspannung muß nach Angaben von Siemens u. Halske mindestens 25 %/o, dagegen wenn ein Anlaßwiderstand im Lampenkreis liegt, mindestens 15 %/o höher sein als die Gesamtspannung der hintereinander geschalteten Lampen.

Beispiel 1: Ist ein Netz von 240 V vorhanden, so dürfen 4 Lampen von je 25 Ampère ohne Anlaßwiderstand im Lampenkreise hintereinander geschaltet werden; denn nach der Tabelle sind erforderlich:

für 1 Lampe . . . . .	44 Volt
„ 4 Lampen . . . . .	176 „
dazu 25 %/o . . . . .	44 „
<b>zusammen . . . . .</b>	<b>220 Volt</b>
also sind noch . . . . .	20 „

durch Widerstand von  $w = e/i = 20/25 = 0,8$  Ohm aufzunehmen.

Beispiel 2: Im Netz von 100 V dürfen 2 Lampen von 15 Ampère mit Anlaßwiderstand eingeschaltet werden, denn es sind erforderlich:

für 1 Lampe . . . . .	43 Volt
„ 2 Lampen . . . . .	86 „
dazu 15 %/o . . . . .	13 „
<b>zusammen . . . . .</b>	<b>99 Volt</b>
also wäre noch . . . . .	1 „

durch Widerstand aufzunehmen.

\*\*\*) Man spricht hier wohl von einer sphärischen bzw. hemi-sphärischen Lichtstärke, je nachdem es sich um die von dem Lichtpunkte ausgehende Lichtverteilung auf der ganzen Kugel- fläche oder der unteren Hälfte derselben handelt. Man vergleiche mit den hier angegebenen Lichtstärken auch die Angaben in dem von Gaisberg (Goerling, Michalke) herausgegebenen „Taschenbuche für Monteure elektr. Anlagen“, 25. Auflage 1902, Seite 94.

Die Zahlen der Tabelle sind die früheren Siemens und Halske-Angaben für Lampen mit Sparer aber ohne Glocke.

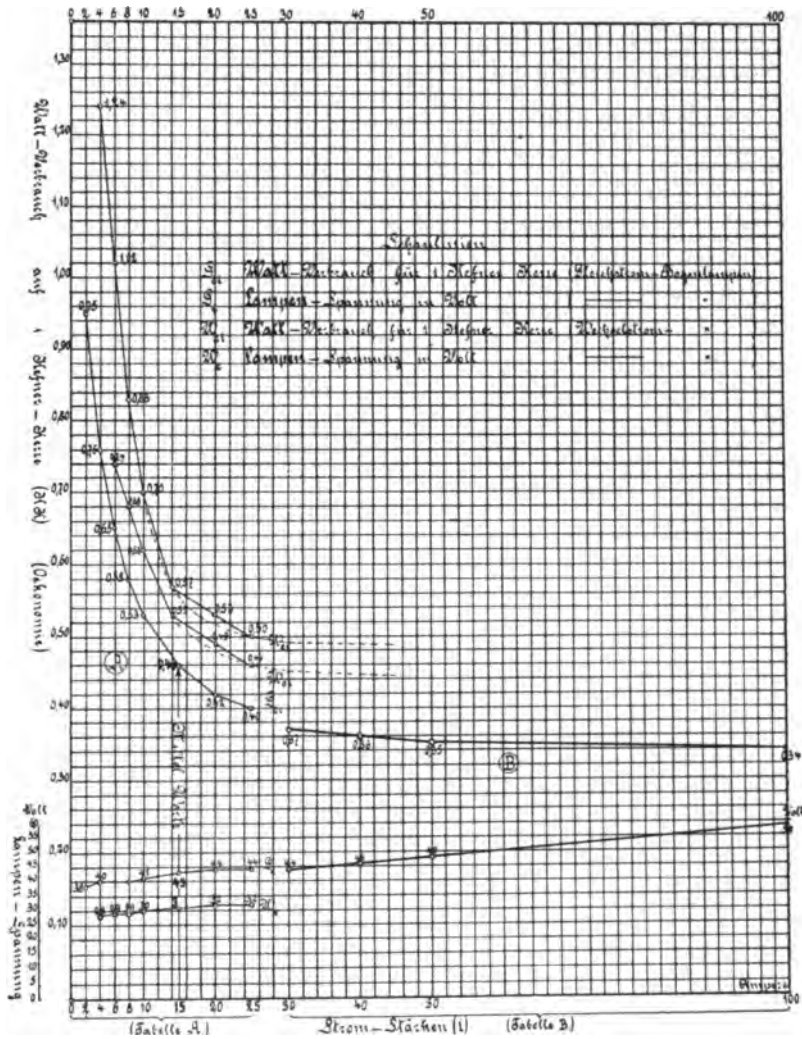
Die eingeklammerten Zahlen entsprechen Messungen der Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. (SSW) an ihren Lampen ohne Sparer und ohne Glocke.

Ferner rechnet man, daß

Klarglasglocken . . . . .	15 %/o,
Alabasterglocken . . . . .	25 %/o Licht verschlucken.

der Preis der oberen Kohle (Dochtkohle) 1,10 Mk. auf 1 Meter Länge,  
 " " " unteren " (Homogenkohle) 0,58 " " 1 " "  
 für Lampen mit „Sparer“, 0,48 " " 1 " "  
 für Lampen mit „Brille“.

Fig. 108.



Unsere Reihe lehrt ferner:

- daß eine 15 Ampère-Gleichstrom-Bogenlampe 1400 HK liefert,
- daß dieselbe für je 1 Pferdekraft . . . . 1260 HK „
- „ „ 1/0,9 = 1,1 Pferdekraft (also rund 1 Pferd) erfordert,
- „ „ auf je 0,46 Watt 1 HK liefert,
- also für 46 Watt 100 HK „

Sie ist also weit „ökonomischer“ als die Glühlampe, die, wie wir oben sahen, etwa das Sechsfache, nämlich etwa 3 Watt für je 1 HK verbraucht.

Die zusammengehörigen Werte von  $i$  und  $e$  in der Tabelle A entsprechen den Ausführungen der Differential-Seillampen mit „Sparer“ von der Firma Siemens und Halske A.-G. (D. R. P. 42900, 101050) für geringe und mittlere Stromstärken; dagegen die der Tabelle B sind den Versuchen entnommen, welche Kratzert\*) auf der Wiener Jubiläumsausstellung im Jahre 1888 für hohe Stromstärken ausführte. Ich habe meine beiden danach berechneten und zusammengestellten Tabellen und Kurven nebeneinandergesetzt, weil sie durch den Vergleich Aufschluß geben über die Eigentümlichkeiten und den wirtschaftlichen Wert der Bogenlampen und ein Gesetz für die Grenzen der Anwendbarkeit derselben liefern, welches durch Veränderung der Einheitswerte nicht aufgehoben wird.

**Watt-Verbrauch.** Die beiden Kurven A und B (in der Figur gemeinschaftlich mit  $G_{ei}$  bezeichnet) entsprechen dem Watt-Verbrauch der Gleichstrom-Bogenlampe auf 1 HK also der „Ökonomie“ bei den Stromstärken von  $i = 2$  bis 100 Ampère. Die Ampère sind als Abszissen wagrecht abgetragen, die dazugehörigen Werte für den „Watt-Verbrauch“ senkrecht dazu als Ordinaten. Tabellen und Kurven zeigen deutlich, daß der Watt-Verbrauch auf 1 HK am größten ist für  $i = 2$  A, nämlich 0,9. Das heißt mit anderen Worten, Lampen für 2 Ampère benötigen für je 1 Hefner-Kerze fast 1 Watt. Der darüber stehende Wert der Tabelle sagt, daß hierbei nur 616 HK durch je 1 Pferdekraft erzeugt werden.

Dann aber nimmt der Watt-Verbrauch auf 1 HK sehr rasch ab bei Zunahme der Stromstärken bis  $i = 15$  Ampère. An dieser Grenze ist der Watt-Verbrauch nur 0,46, also etwa halb so groß, dagegen die Anzahl der HK auf 1 Pferd doppelt so groß, nämlich 1260. Für  $i = 100$  ist der Wattverbrauch nur 0,34 Watt auf 1 Hefner-Kerze. Nach der letzten Reihe unserer Tabelle liegt demnach die „Ökonomie“ zwischen den Grenzen 0,95 und 0,34 und kann im Mittel zu 0,46 angenommen werden.

Besonders anschaulich wird dieses gesetzmäßige Verhalten durch den Abfall (die Steilheit) der Kurve A dargestellt, der anfangs am größten ist, dann mehr und mehr nachläßt.

Von  $i = 15$  bis 25 Ampère wirkt die Zunahme der Stromstärke weniger günstig auf den Watt-Verbrauch ein, die Kurve verflacht sich und nähert sich bei  $i = 25$  Ampère schon wesentlich der Wagerechten. Hier ist der Watt-Verbrauch 0,40. Im weiteren Verlauf lehnen Kurve B und die Tabelle, daß zwar bei den hohen Stromstärken von  $i = 30$  bis 100 A der Watt-Verbrauch auf 1 Pferd immer noch abnimmt bei Zunahme der Stromstärke, aber nur unbedeutend. Die Kurve B läuft hier fast wagrecht. Die Veränderung der entsprechenden Lampenspannung ist durch die Linie  $G_e$  veranschaulicht. Die Lampenspannungen selbst sind auf der Linie verzeichnet. Der dazu gehörige Maßstab ist links vom Watt-Maßstabe aufgezeichnet.

Wenn also die „Ökonomie“ bei Wahl der Stromstärke für die Bogen-Lampen in den Vordergrund treten sollte, so würde man nach den vorliegenden Aufzeichnungen höhere Stromstärken als  $i = 25$  bis 30 A überhaupt nicht wählen dürfen.

Sehr deutlich sprechen noch die beiden letzten Werte der vorletzten Reihe der Tabelle: Sowohl für die Stromstärke  $i = 50$  A als auch für die doppelte Stromstärke  $i = 100$  A liefert die Tabelle doch nur 1700 NK auf je 1 Pferd. Also eine Erhöhung der Stromstärke von 50 sogar auf 100 A hat für die „Ökonomie“ also wirtschaftlich, keinen erwähnenswerten Gewinn gebracht.

Wir erfahren hier, wo unser früher ausgesprochener Grundsatz: daß die Verbesserungen auf unserem Gebiete sich darauf zu richten hätten, die Stärke des

\*) Grundriß der Elektrotechnik für den prakt. Gebrauch für Studierende der Elektrotechnik und zum Selbststudium von Professor und Oberingenieur Heinrich Kratzert. II. Teil. 2. Buch. 2. Aufl. 1902. Seite 9.



Stromes wirtschaftlich möglichst zu steigern, seine Grenzen hat. Zugleich erkennen wir hier die Wahrheit eines allgemein gültigen Naturgesetzes, das nur in der Bezeichnung der Menschen seinen Namen und scheinbar seine Bedeutung wechselt.

Dagegen zeigt noch deutlich die HK-Reihe, daß die Lichtstärke weit schneller steigt als die Stromstärke. Bei  $i = 10$  A haben wir 770 HK, dagegen bei  $i = 100$  gibt die Tabelle 17 000 HK.

Bemerkung. Die sonst noch des Vergleiches wegen in demselben Bilde verzeichneten Schaulinien werden bald unter „Wechselbogen-Lampen“ besprochen.

Übrigens sind auch die Güte der Kohlenstäbe und die Art, wie ihre Verbrennung geregelt wird (ob durch „Glocke“, „Zylinder“, „Sparer“, „Brille“ oder „Luftverdünnung“) von wesentlichem Einfluß auf den wirtschaftlichen Wert der Lampe, was weiter unten besprochen wird (siehe „Verbesserungen“).

Die Lampen der obigen Tabelle sind mit Kohlenstäben der „Marke A“ der Firma „Gebr. Siemens u. Co.“ Charlottenburg ausgerüstet, die eine der ersten in Deutschland war, welche sich mit der Herstellung und Verbesserung der künstlichen Kohlenstäbe befaßte. Im Auslande war es Carré in Paris.

Die Lampen selbst sind von der Firma Siemens und Halske gebaut und nach Angabe dieser Firma, mit „Sparer“ (D. R. G. M. 75 038) versehen, der die Leuchtkraft um 10 %/o, die Brenndauer um 33 %/o vergrößert und dabei im Mittel 40 %/o Kohlen erspart.

Als Ergänzung zu den unmittelbar unter obiger Tabelle zusammengestellten Angaben sei hier noch erwähnt, daß die verwendeten Kohlenstäbe:

300 400 500 560 mm Gesamtlänge (obere Dochtkohle + untere Homogenk.), und 9 13 18 24 Stunden Brenndauer haben, so daß im Mittel 33 bis 27 mm Kohlenlänge in je 1 Brennstunde verbraucht wird. Hiernach ist der Vorschub der Kohlenstäbe einzurichten.

Ob andere Werte als die im voranstehenden gegebenen sich als ebenso gute Mittelwerte erweisen, kann nur durch Messung festgestellt werden. Unter anderen finden wir als zusammengehörige Werte:

$$i = 3 \quad 6 \quad 9 \quad 12 \quad 15 \quad 20 \quad 30 \quad 40 \text{ Ampère,}$$

$$e = 41 \quad 43,5 \quad 44,8 \quad 46 \quad 47 \quad 48 \quad 50 \quad 52 \text{ Volt}$$

im „Kurzen Abriß der Elektrizität“ von Dr. L. Graetz, 3. Aufl. 1903, S. 42, unter denen die besonders hohen Spannungen auffallen.

Wie sehr auch die für die Praxis bestimmten Angaben über Leuchtkraft und Watt-Verbrauch der Lampen voneinander abweichen, soll später unter Wechselstrom-Bogenlampen durch eine Tabelle mit der dazu gehörigen Schaulinie ( $w_{el}$ ) angedeutet werden.

Tabelle II. Wechselstrom-Bogen-Lampen  
mit festem Brennpunkte und mit „Spar-Reflektor“.

$i = 4$	6	8	10	15	20	25	Ampère
$e = 22$	29	29	30	31	32	32	Volt Lampen-Spannung*)
$ei = 112$	174	232	300	465	640	800	Watt auf 1 Lampe
HK = 90	170 (160)	280 (245)	430 (345)	820 (620)	1200 (900)	1600 (1210)	{ Mittlere nach unten ge- strahlte Lichtstärke*)
$ei = 1,24$	1,02	0,83	0,7	0,57	0,53	0,5	Wattverbrauch auf 1 HK („Ökonomie“)

Die fetten Zahlen können auch hier als Mittelwerte für eine Wechselstrom-bogenlampe angesehen werden und erleichtern wesentlich den Vergleich zwischen den beiden Bogenlampen-Arten.

\*) Die Lichtstärken beziehen sich auf Lampen ohne Glocke. Die eingeklammerten Zahlen gelten nach den neuesten Messungen der S.S.W. für Wechselstrom-Bogen-Lampen mit Spar-Reflektor ohne Glocke.

Die Lampen-Spannung ist etwa 10 bis 12 Volt niedriger als bei den Gleichstrom-Bogenlampen und soll mindestens 28 Volt betragen. Für Gleichstrom-Bogenlampen in der Tabelle I war als geringster Wert  $e = 38$  Volt aufgeführt.

Die zusammengehörigen Werte von  $i$  und  $e$  entsprechen ebenfalls wie die für die Gleichstrom-Bogenlampen den Ausführungen der Firma Siemens und Halske A.-G.

Der an der Lampe angebrachte Spar-Reflektor (D. R. G. M. 75 039) macht 50% der Lichtmenge, welche von der unteren Kohle ausgestrahlt wird, nach unten nutzbar. Lampen jedoch, die in Reflektoren verwendet werden sollen, müssen eine „Brille“ an Stelle des Spar-Reflektors erhalten. Die Lampen werden mit 50 Periodenzahlen gebaut werden. Die Netzspannung muß mindestens 15% höher als die Gesamtspannung der in einen Kreis geschalteten Lampen sein. (Man vergleiche hiermit auch, was in der Anmerkung\*\*) zu den Gleichstrom-Bogenlampen gesagt ist.) Die Firma hebt ausdrücklich hervor, daß als Kohlenstäbe für Wechselstromlampen nur die sog. „Marke A“ verwendet werden könne, die sich durch besondere Leuchtkraft auszeichne und eine Reinigung der Laternenglocken weniger häufig erforderlich mache als andere Sorten.

Überhaupt sollte in der Praxis mehr als meist geschieht, gerade beachtet werden, daß die Güte der Kohlenstäbe, deren Handhabung und Aufbewahrung an einem trockenen Orte, wesentlich die Wirtschaftlichkeit und die Leuchtkraft einer Bogenlampe beeinflußt.

#### Watt-Verbrauch der Wechselstrom-Bogen-Lampen.

Der Watt-Verbrauch durch die letzte wagrechte Zahlenreihe der Tabelle und durch die danach entworfene Schaulinie  $W_{0,1}$  dargestellt, liegt hier bedeutend höher als bei den Gleichstrom-Bogenlampen. Für  $i = 15$  Ampère ist er hier 0,57, dagegen bei den Gleichstrom-Bogenlampen (wie wir oben sahen) nur 0,46 also etwa 25% höher. Später wird hervorgehoben, daß in der Bremer- bzw. „Excello“-Lampe durch Schrägstellung der Kohlenstäbe eine bessere Ausnutzung, besonders des Wechselstromes, angestrebt wird.

Die Übereinstimmung in der Krümmung der beiden Schaulinien  $G_{0,1}$  und  $W_{0,1}$  legt den Schluß nahe, daß die Firma Siemens und Halske die beiden genannten Lampenarten nach einheitlichen Grundsätzen baut und daß auch bei Wechselstrom-Lampen die Grenze der Wirtschaftlichkeit etwa bei  $i = 25$  Ampère liegt.

Durch die hier punktiert eingezeichneten Linien möchte ich darauf hindeuten, daß die den Ausführungen entsprechenden Tabellenwerte, welche auf die ausgezogene Linie führten, noch etwas verbessert werden könnten. Für  $i = 20$  Ampère würde die punktierte Linie auf die Ökonomie 0,525 anstatt auf die durch die ausgezogene Linie hier veranschaulichte Ökonomie 0,53 führen.

Um darzutun, wie vorsichtig man bei der Beurteilung der Leuchtkraft und des Wattverbrauches, also der „Ökonomie“ von Bogenlampen, überhaupt sein muß, sind noch die beiden folgenden Tabellen zum Vergleiche herangezogen, für welche die Werte  $e$ ,  $i$  und HK dem Kalender von Uppenborn (1904, S. 207) entnommen wurden.

Tabelle III.

$i = 6$	8	10	15	20	25	30	Ampère
$e = 27$	28	28	29	30	30	32	Volt Lampen-Spannung
$ei = 162$	224	280	435	600	750	960	Watt
HK = 220	330	450	820	1220	1630	2070	} Max. Lichtstärke mit Reflektor
$\frac{ei}{HK} = 0,74$	0,68	0,62	0,53	0,49	0,46	0,46	

Tabelle IV.

$i = 20,18$	20,12	20,14	20,17	20,2	20,19	20,21	20,2	Ampere
$e = 27,4$	27,78	28,7	29,3	30,3	31,6	32,2	35,0	Volt Lampen-Spannung
$ei = 553$	559	578	591	612	638	671	707	Watt
HK = 457	497	536	541	553	554	569	540	} Mittlere hemisphärische Lichtstärke ohne Reflektor
$\frac{ei}{HK} = 1,21$	1,12	1,08	1,09	1,11	1,27	1,18	1,31	

Die Tabelle IV ist das Ergebnis sorgfältiger Versuche, welche Wedding (Elektrot. Zeitschr. 1898, S. 863) an einer Wechselstrom-Bogenlampe für nahezu dieselbe Stromstärke  $i$  ( $= 20,12$  bis  $20,21$ ) aber verschiedene Lampenspannungen  $e$  ( $= 27,4$  bis  $35$ ) angestellt hat.

Zunächst ist zu beachten, daß die Tabelle III Max.-Lichtstärken mit Reflektor, dagegen die Tabelle IV mittlere hemisphärische Lichtstärken ohne Reflektor gibt.

Wir finden deshalb in beiden Tabellen auch sehr voneinander abweichende Werte:

Die Tabelle III gibt an für  $\begin{cases} i = 20 \\ e = 30 \end{cases}$  als max. Lichtstärke mit Refl. 1220 HK  
 „ „ IV dagegen „  $\begin{cases} i = 20,2 \\ e = 30,3 \end{cases}$  „ mittl. „ ohne „ 553 HK.

Demnach ist in beiden Fällen die Ökonomie bezw. 0,49 und 1,11, trotz der fast gleichen Werte für  $i$  und  $e$ .

Die in der Figur schwach ausgezogene Schaulinie  $w_{ei}$  entspricht der Tabelle III und bedarf wohl keiner besonderen Erläuterung.

### Verbesserungen der Bogen-Lampen bis auf die Neuzeit.

Aus der großen Zahl der sonst noch verwendeten beachtenswerten Lampen können nur noch einige hervorgehoben werden.

Die Bestrebungen der Theoretiker und Praktiker richteten sich naturgemäß darauf:

1. den Abbrand der Kohlenstäbe zu vermindern, um dadurch Kosten, Wartung und Betrieb tunlichst einzuschränken (Dauerbrand-Lampen),
2. die Lichtausbeute zu vergrößern, bezw. die Energievergeudung einzuschränken (Flammenbogen-Lampen).

#### 1. Die Dauer-Bogen-Lampe oder Dauerbrand-Lampe.

Eine heiße Stelle ist, wie die Rostfläche einer Feuerung, wie die durch Sonnenhitze erhitzte Bodenfläche, der Ausgangspunkt einer lebhaften Luftströmung; die erhitzte Luft steigt hier in die Höhe und macht der kalten Luft Platz, die nun gewaltsam in die verlassene Stelle stürzt. So entstehen in der Natur im großen der Orkan, in unseren technischen Feuerungen eine um so lebhaftere Verbrennung, je mehr Sauerstoff die zuströmende Luft der Feuerung zuführt und je mehr der Brennstoff vorgewärmt ist.

Auch für die brennende Bogenlampe mit ihren  $4000^{\circ} \text{C}$  am Davy-Lichtbogen gilt unser Bild, das uns nahelegt, was zu tun ist, wenn wir hier die Bewegungsvorgänge durch künstliche Hilfsmittel in neue Bahnen lenken wollen, um gewünschte Ergebnisse zu erzielen.

1. Die Strömung des Sauerstoffes der Luft zu dem Davyschen Lichtbogen und

2. die Vorwärmung der Kohlenstäbe, besonders des oberen, an dem die glühende Luft emporsteigt, müssen zur Erzielung einer Maximaltemperatur im Bogen geregelt werden.

Die Hilfsmittel, um die Lebensdauer der Kohlenstäbe zu erhöhen, also sog. Dauerlampen, die gewissermaßen zwischen den gewöhnlichen Bogen-Lampen und den Glüh-Lampen stehen, zu schaffen, sind:

a) durchscheinende Zylinder, durch welche der Lichtbogen ziemlich eng und möglichst luftdicht eingeschlossen und in welchem sehr bald durch Verbrennung ein sauerstoffarmer Raum hergestellt wird.

b) Schirme, sog. „Sparer“, die unmittelbar über dem Flammenbogen den oberen Kohlenstab so dicht umschließen, daß eben noch das durch Abbrand erforderliche Nachschieben möglich, immerhin aber der heiße Luftstrom von der oberen Kohle abgedämmt wird. Andererseits bedingen diese Hindernisse eine höhere Spannung e.

Die durch Gleichstrom, in den älteren Ausführungen seltener durch Wechselstrom gespeisten, von der Jandus E. A. G. in Brüssel 1894 eingeführten, von Körting-Mathiesen\*) in Leutzsch bei Leipzig, Siemens-Halske Berlin, Schuckert in Nürnberg und von anderen Firmen gebauten und verbesserten Dauerbrand-Lampen mit abschließendem Innen-Zylinder haben ruhigeres Licht als die gewöhnlichen Bogen-Lampen, werfen das Licht vorzugsweise in wagrechter Ebene aus, weil die +Kohle sich nicht mehr zum Krater ausbildet, sondern mehr ebnet während des Abbrennens, wurden damals für 80 bis 100, werden heute für 100, ja 250 Brennstunden mit einem Kohlensatz hergerichtet.

Die erforderliche Spannung zwischen den Kohlen beträgt etwa 80 V bei Gleichstrom, 70 bei Wechselstrom, die Bogenlänge etwa 10 mm. Die Lampen können deshalb einzeln (als sog. Einzelschaltungs-L.) in einem Netz mit 110 Volt, zu zweien hintereinander in Netzen mit 220 Volt eingeschaltet werden.

Durch die doppelte Umhüllung, den abschließenden Zylinder und die äußere Glocke der Bogenlampen wird viel Licht verschluckt. Man hat deshalb auf viel einfachere Weise als durch den ohnehin bald geschwärzten inneren Zylinder den Abbrand der gewöhnlichen Bogenlampe um etwa 40% vermindert durch unmittelbar über dem Davy-Lichtbogen angebrachten Schirm, den sog. „Sparer“, dessen Vorzüge auch in der obigen Tabelle der Gleichstrom-Bogen-Lampe schon hervorgehoben wurden.

#### „Regina“-Dauerbrand-Bogenlampe.

Bei der unter vorstehendem Namen im Jahre 1900 durch J. Rosemeyer eingeführten Lampe umschließt der enge „Innen-Zylinder“ nicht, wie bei den älteren Dauerbrandlampen, nur den Davy-Bogen, sondern die Kohlenstäbe auf ihrer ganzen Länge möglichst luftdicht. Dadurch soll die entwickelte, sehr bedeutende Wärme zusammengehalten nach außen abgedämmt und dadurch tunlichst in Licht umgesetzt und der Abbrand der Kohlen beschränkt werden.

Infolgedessen beträgt nach Angaben der „Regina-Bogenlampenfabrik“ (Ges. m. b. Hftg.) Köln-Sülz, auf Grund der Prüfung im Laboratorium der physikalischen Reichsanstalt zu Charlottenburg durch Wedding, die Brenndauer des Modells 1905, 300 Stunden mit einem Kohlensatz und ist die „Ökonomie“ der älteren Dauerbrandlampen von 2,8 (der älteren Jandus-Bogenlampe) bis auf 0,82 Watt auf 1 HK verbessert. Die neu eingeführte Reginula-Bogenlampe brennt 30 bis 40 Stunden und verbraucht 0,91 Watt auf 1 HK. Außer dem Innen-Zylinder umschließt, ebenfalls möglichst luftdicht, noch eine äußere Opal-Überfang-Glocke die Lampe.

Die Firma hält eine Reinigung des Zylinders und der Glocke nur bei jedesmaligem Einsetzen neuer Kohlenstäbe für erforderlich und hebt hervor, daß die

\*) Siehe weiter unten auch die als „Excello“ eingeführten verbesserten Flammenbogen-Lampen dieser Firma.

Lampe nicht nur durch Geruch- und Gefahrlosigkeit, Einfachheit und Betriebssicherheit, sondern auch dadurch sich auszeichne, daß sie fast gar keiner Bedienung bedürfe, deshalb an abgelegenen Orten, die auf längere Dauer mit Licht versorgt werden müssen, zu empfehlen sei.

Die auf die passende Spannung (100 bis 220, höchstens 250 Volt) geeichte „Regina“ bedarf keines Extra-Vorschalt-Widerstandes oder eines sonstigen Nebenapparates. Sie wird fertig mit dem im Innern eingebauten Vorschaltwiderstande und einer Stromspule zum Regulieren auf Spannung und Stromverbrauch versandt. Sie kann ohne weiteres wie jede Glühlampe von jedem Arbeiter nach beigegebener Gebrauchsanweisung eingeschaltet werden. Eine vollständige Lampe kostet 95 Mark (Nr. 1), 100 Mark (Nr. 2). Das (besonders bei den höheren Spannungen 220 V) weißfarbige Licht gibt Farbenunterschiede wie am Tage.

Der Kohlenstabverbrauch für 1000 Brennstunden kostet bei der Regina mit garantiert 250stündiger Brenndauer angeblich nur 1 Mark, bei der gewöhnlichen Bogenlampe mit 10stündiger Brenndauer dagegen etwa 18 Mark.

„Regina“-Kopier-Lampe mit Scheinwerferreflektor. Auch zur Herstellung von Lichtpausen ohne Tageslicht ist die Regina für 12 Amp. bei 110 V und 6 Amp. bei 220 V ausgebildet. Für den letzteren Fall, den günstigeren, gibt die Firma an:

4 Minuten Belichtung, 0,088 KW Stunden Stromverbrauch à Mark 0,20 = 1,76 Pfennig.

Auch soll sie, dank ihrer hohen Spannung und Temperatur und dadurch bedingten kurzwelligen (ultravioletten aktinischen) Strahlen in photo-chemischer Beziehung dasselbe leisten, wie eine gewöhnliche Bogenlampe, welche 70,4 Ampère bei 55 Volt, also 3872 Watt (2,32 Mark/Stunde) verbraucht.

Zur Erzielung einer guten Lichtpause beträgt die Belichtung 10 Minuten, der Stromverbrauch hierbei 0,15 Kilowattstunden zu 60 Pfg. also 9 Pfg., (bei eigener elektrischer Anlage sogar nur höchstens 1,5 Pfg), für je eine Belichtung.

Die Belichtung der Regina-Kopierlampe bei 220 V in 40 cm Entfernung entspricht nach Dr. Donath (Urania-Berlin) der Wirkung des Sonnenlichtes an einem hellen Juli-Mittage. Es ist noch hervorzuheben, daß für alle photo-chemischen Arbeiten Gleichstrom durchaus notwendig ist, vorhandener Wechselstrom deshalb auf hochgespannten Gleichstrom „umgeformt“ werden muß.

Eine vollständige Kopierlampe kostet 200 Mark.

Die Liliput-Gleichstrom-Bogenlampe, welche die Siemens-Schuckert-Werke seit einiger Zeit (1903) als Dauerlampe mit beschränktem Luftzutritt, mit nur einem Glase und sehr einfachem zuverlässigen Kohlenvorschube herstellen und fürs Freie und als Tisch- und Zimmerlampe eingeführt haben, ist besonderer Beachtung wert.

Die Lampe wird für zwei und drei Ampère, in beiden Fällen mit 80 Volt Klemmenspannung ausgeführt.

Die 3 Ampère-Lampe wird nur für Einzelschaltung in Netzen von 100 bis 120 Volt; dagegen die 2 Ampère-Lampe, sowohl als Einzellampe in Einzelschaltung in Netzen von 100—120 V, als auch als Serienlampe für Hintereinanderschaltung zu je zweien in Netzen von 200—240 V geliefert.

Tabelle  
der Liliput-Lampe.

					„Ökonomie“ (mindestens)
1,5 Amp.	80 Volt	120 Watt	10—12 Stunden	180 HK	$\frac{120}{180} = 0,7$ Watt/HK
2 „	80 „	160 „	16—20 „	170—325 „	$\frac{160}{170} = 0,9$ „
3 „	80 „	240 „	12—14 „	335—570 „	$\frac{240}{325} = 0,7$ „

Die Kohlen werden als Liliput-Kohlen von der Firma Gebr. Siemens & Co. in Charlottenburg besonders hergestellt.

Die Länge der oberen Kohle ist 190 mm, die der unteren 65 mm, ihre Dicke 5 mm. Reste der oberen Kohle können als untere Kohle benutzt werden. Die Brenndauer wird zu 20 Stunden angegeben bei 0,25 Pfennig Kohlen-Kosten für eine Stunde. Die Lampe ist zweipolig auszuschalten, die Pole sind richtig anzuschließen.

Die Liliput-Einzellampe sowohl für zwei als auch drei Ampère hat einen äusseren Durchmesser von nur 8 cm, eine Gesamthöhe von 31 cm, wiegt 2,5 kg brutto und kostet 25 Mark, die ebenso schwere Serienlampe 28 Mark. Für die Verpackung einer Lampe werden 0,85 Mk. berechnet.

Sie eignet sich auch als Tischlampe und läßt sich in Kronen für Gas- und elektrisches Glühlicht anbringen. Die Auswechslung der Kohlen ist von jedem Laien ohne Schwierigkeit auszuführen.

Liliput-Bogenlampen werden auch für Wechselstrom gebaut für 3 Ampère 70 Volt und 10—12 Stunden Brenndauer.

Die neueste SSW-Sparbogenlampe der Siemens-Schuckertwerke, eine Bogenlampe mit beschränktem Luftzutritt, hat ein sehr stetiges und intensives Licht infolge des geringen Kohlen-Durchmessers von 5—6 mm, liefert bei Verwendung einer Klarglasglocke eine mittlere hemisphärische Helligkeit von

etwa	335	500	760	HK
bei	3	4	5	Ampère

und brennt in Einzelschaltung bei 110 Volt, in Zweischaltung (zwei Lampen in einer Reihe ohne Minimalschalter oder Nebenschließer und Ersatzwiderstand) bei 220 Volt etwa je 25 Stunden. Die Länge der oberen Dochtkohle ist 270 mm, die der unteren 90 mm.

## 2. Die Flammenbogen-Lampen (Bremer-Licht).

Einleitende Bemerkungen: Wie Auer durch Anwendung des Glühstrumpfes bei demselben Gasverbrauche eine weit größere Helligkeit erzielte, so hat H. Bremer (Neheim a. d. Ruhr) bei der durch ihn eingeführten Flammenbogen- oder „Effekt“-Lampe dadurch, daß er den Kohlenstäben bis 50 % (kalzium-, silizium-, magnesium-, strontiumhaltige) Metallsalze beimengte, bei demselben Stromverbrauche eine bessere Lichtausbeute als bei den gewöhnlichen Bogenlampen ermöglicht und zugleich durch die Färbung der Flamme gewisse Licht-„Effekte“ hervorgebracht. Diese Metallsalze, zwar im kalten Zustande schlecht leitend, erhöhen aber in der hohen Temperatur des Davy-Bogens verdampft, wesentlich dessen Leitungsfähigkeit, Helligkeit und Länge. Dazu kam, daß Bremer bei seinen Lampen beide Kohlenstäbe schräg nach unten stellte, so daß der Lichtbogen die tiefste Stelle bildete und somit seine Lichtstrahlen ungehindert nach unten sandte. Diese von W. Wedding in der Elektrotechnischen Zeitschrift 1900, S. 546, behandelte „Effekt“-Lampe liefert meist goldgelbes Licht von 2—3,5 HK auf ein Watt ohne Lampen-Glocke, eignet sich gleich gut für Gleich- und Wechselstrom zur Schaufensterbeleuchtung und zur Außenbeleuchtung, also auch bei Bergbaubetrieben, erfordert jedoch, in geschlossenen Räumen verwendet, wegen der Entwicklung der Dämpfe ausreichende Lüftung.

Schräg nach unten gestellte Kohlen mit 7 % Flußspat und einem über dem Flammenbogen angebrachten Schirm geben nach den neuesten Untersuchungen Weddings beste Wirkung.

„Excella“-Flammenbogen-Lampe. Als beste Flammenbogen- oder „Effekt“-Lampe der Jetztzeit empfiehlt die Bogenlampen-Spezialfabrik Körting & Mathiesen

A.-G. zu Leutzsch bei Leipzig, ihre „Excello-Lampe“ mit ebenfalls schräg nach unten gestellten, getränkten Kohlen und einer den Lichtbogen umhüllenden Innenglocke aus Klarglas, welche den Luftzutritt vermindern und den Flammenbogen beruhigen soll. Die Lampen „mit Glocke“ sind außerdem noch mit einer Opalglas-Überfangglocke umhüllt.

Die für eine Lampe erforderliche Netzspannung von 60 Volt umfaßt außer der Lampenspannung den der Lampe vorgeschalteten „Beruhigungswiderstand“ oder die „Dämpfung“ zur Milderung der Schwankungen der Netz- und Lampenspannung. Bei Hintereinanderschaltung reichen für zwei Lampen 110 Volt aus, da der Vorschaltwiderstand nicht doppelt so groß zu sein braucht, für vier Lampen 220 Volt usw. Bei mehr als 250 Volt Netzspannung, bezw. 6—8 hintereinandergeschalteten Lampen, erhält jede Gleichstromlampe einen selbsttätigen Umschalter mit Ersatzwiderstand und jede Wechselstromlampe eine Sicherheitsspule, damit beim Erlöschen einer Lampe die in Serien geschalteten nicht stromlos und der dem Lichtbogen der Lampe parallel geschaltete Nebenschluß nicht überlastet wird. Die Nebenschlußwickelungen der Lampen zum Schalten in Anlagen mit geringerer Spannung als 250 Volt sind imstande den vollen Strom beim Erlöschen der Lampe aufzunehmen. Die Excello-Lampe kann mit gewöhnlichen Bogenlampen hintereinandergeschaltet werden.

Nach Mitteilungen der Firma beträgt die hemisphärische Lichtstärke einer 12 Ampère-Gleichstrom-Bogenlampe

mit gewöhnlichen, übereinander gestellten Kohlen	1360 HK
„ getränkten, „ „ „ „	2125 „
„ „ „ nebeneinander „ „ (Excello)	3700 „

Die Vermehrung  $2125 - 1360 = 765$  HK ist auf Tränkung, die Vermehrung  $3700 - 1360 = 2340$  HK auf Tränkung und Schrägstellung der Kohlen, wie sie in der Excello-Lampe gegeben sind, zu rechnen. Angenähert dürfte dann die Vermehrung  $2340 - 765 = 1575$  HK der Schrägstellung zu danken sein.

Auch bei Anwendung von Wechselstrom wird die Lichtausbeute der Flammenbogen-Lampen von der Firma als besonders günstig hingestellt. Hierfür möchten mehrere Gründe sprechen, die ebenfalls nicht zum geringsten Teil auf die Schrägstellung der Kohlen zurückzuführen sind. Denn zunächst ist bei den gewöhnlichen Bogenlampen infolge der Übereinander-Stellung der Kohlen die Lichtausbeute bei Wechselstrom kleiner als bei Gleichstrom, weil bei Wechselstrom die untere Kohle dicker und der Lichtbogen kürzer ist als bei entsprechendem Gleichstrom und deshalb auch verhältnismäßig mehr vom erzeugten Lichte auffängt als beim Gleichstrom.

Dazu kommt, daß auch die von der unteren Kohle der gewöhnlichen Bogenlampe nach oben geworfenen Strahlen nur zum Teil durch reflektierende Schirme zur Geltung gebracht werden.

#### Lichtstärke der Excello-Lampe.

Bei gleichem Wattverbrauche ist (nach Angaben der Firma) gegenüber der gewöhnlichen Bogenlampe die Lichtstärke

der Gleichstrom-Excello 2,6 mal größer,  
der Wechselstrom-Excello 4 mal größer.

### Rentabilitäts-Vergleich

zwischen der Excello- und der gewöhnlichen offenbrennenden Bogenlampe für Gleichstrom,

etwa 16 stündige Brenndauer, 3 Pfg. Grundpreis für 1 Hektowattstunde und eine jährliche Betriebsdauer von 4000 Stunden.

(Nach Angaben der Firma Körting und Mathiesen.)

Excello-Bogenlampe für Gleichstrom Mod. UNT <sup>o</sup> mit Innenglocke				Gewöhl. Bogenlampe nackter Lichtbogen			Vorteile der Excello-Lampe gegenüber der gewöhnlichen Bogenlampe				
Stromstärke Amp.	Mittlere hemisph. Lichtstärke HK	Watt/HK	Kohlenverbrauch pro 100 Stund. in Mark	Stromstärke Amp.	Mittlere hemisph. Lichtstärke HK	Kohlenverbrauch pro 100 Stund. in Mark	Strom- ersparnis in 4000 Stund. bei Excello- Bogenlampe in Mark	Kohlen- Mehrerbr. in 4000 Stund. bei Excello- Bogenlampe in Mark	Betriebskosten- Ersparnis in 4000 Stunden		Licht- Mehr- Erzeugung d. Excello- lampe in HK
							bei Excello- Bogenlampe in Mark	bei gewöhl. Bogenlampe in Mark	bei Excello- Bogenlampe in Mark	bei gewöhl. Bogenlampe in Mark	
6	1300	0,28	2,40	6	475	1,30	—	44,—	—	44,—	825
				8	751	1,55	132	34,—	98,—	—	549
				10	1045	1,90	264	20,—	244,—	—	255
8	1780	0,276	2,65	8	751	1,55	—	44,—	—	44,—	1029
				10	1045	1,90	132	30,—	102,—	—	735
				12	1365	2,05	264	24,—	240,—	—	415
10	2450	0,245	3,45	10	1045	1,90	—	62,—	—	62,—	1405
				12	1365	2,05	132	56,—	76,—	—	1085
				15	1946	2,20	360	50,—	310,—	—	504
12	3700	0,2	3,60	12	1365	2,05	—	62,—	—	62,—	2335
				15	1946	2,20	198	56,—	142,—	—	1754
				20	2920	2,85	528	30,—	498,—	—	780

Die bislang noch wenig praktisch verwertete Magnetit-Bogenlampe der General Electric Co. enthält als negative Elektrode ein dünnes mit pulverförmigem Magnetit (schwarzes Eisenoxyd, welches nahezu unverbrennlich, die Elektrizität auch in Dampfform gut leitet) angefülltes Rohr, als positive Elektrode Kupfer, welches dem Abbrand nicht unterworfen ist. Das fast gleichmäßig weiße Licht kommt nur von dem 15—30 mm langen Lichtbogen und nicht von der positiven Elektrode, wie bei den Kohlen-Bogenlampen, die sich bekanntlich kraterförmig aushöhlt.

#### Gefährlichkeit und Schutzmittel elektrischer Beleuchtungsanlagen.

(Nachtrag.)

Soll diese Angelegenheit nicht gar zu einseitig behandelt werden, so müssen noch die zur Beleuchtung unumgänglich notwendigen elektrischen Leitungen, Maschinen und Apparate, insofern sie, als unerläßliche Mittel zur Beleuchtung, auch Gefahren mit sich bringen, wenigstens in aller Kürze berücksichtigt und zugleich die zweckmäßigsten Schutz-Maßregeln und -Mittel angedeutet werden.

Hiermit im Zusammenhange sind am Schlusse des Nachtrages auch noch die wichtigsten Ergebnisse der durch umfangreiche Versuche gefundenen Schlagwetter-Schutzmittel zusammengestellt.

Die überhaupt möglichen Schäden können veranlaßt werden durch:

1. chemische, 2. physiologische, 3. magnetische, 4. besonders Wärme-Wirkungen des elektrischen Stromes.

Bei nicht genügender Isolation der Stronwege können unter günstigen Bedingungen

1. in der Nähe liegende metallene Rohrleitungen durch die chemische Einwirkung elektrischer Ströme angefressen und durchlöchert,



2. Menschen und Tiere durch unmittelbare Berührung freiliegender Leitungen getötet werden, falls die Spannung ( $e$ ) in derselben groß genug und der Widerstand ( $w$ ) des tierischen Körpers (Haut) so klein sind, daß eine das Leben gefährdende Stromstärke  $i = e/w = 0,1$  Ampère lange genug durch den Körper hindurchfließt. Haut-Dicke, -Beschaffenheit und -Berührungsfläche sowie der dem Strome gebotene Weg, entweder vom Kopfe zu den Füßen oder von Hand durch Arme, Brust zu Hand, sind hierbei von außerordentlichem Einflusse. Feuchte dünne Haut bietet einen weit geringeren Widerstand als trockene dicke. Die Berührung einer stromführenden Leitung mit einem Metallgerät, dessen Griff von der ganzen Hand fest umspannt ist, muß weit gefährlicher sein als die unmittelbare Berührung derselben Leitung mit der Fingerspitze oder einem kleinen Teile der Handfläche. Auch die Behaarung der Haut und die Bekleidung des Körpers muß nach allen unseren Erfahrungen und Beobachtungen von Belang sein. Am meisten gefährdet ist der Körper, wenn er den Kurzschluß bildet zwischen der Hin- und Rückleitung in unmittelbarer Nähe des Stromerzeugers, also zwischen den sogen. „Klemmen“. Aber tödlich muß auch ein genügend starker Strom wirken, der von der ganzen Leitungstrumm durch den Körper zur Erde geht. Deshalb ist die Bergpolizeibestimmung: „stromführende Leitungen derart anzubringen und zu verwahren, daß sie von Unbefugten ohne deren Verschulden nicht berührt werden können“, durchaus zweckentsprechend.

Die Angabe aber, daß eine gewisse Spannung  $e$  den Tod bewirke, ist wertlos. Der Arbeiter, der mit Schweiß und nassen Kleidern bedeckt schon durch eine Spannung von 100 Volt getötet wird, würde vielleicht keinen Schaden leiden, wenn er mit trockenen Füßen, in seinen trockenen, schlecht leitenden Holzschuhen auf trockener Strecke entlang geht, und nun mit seinem durch Pelzmütze geschützten, dicht behaarten Haupte eine Leitung, welche 10000 Volt Spannung hat, herührt. Ähnliches würde gelten für einen Bergmann in trockenen, wollenen Strümpfen, in trockenen, nicht mit Metallnägeln beschlagenen Schuhen an den Füßen und mit Schachthut aus dickem trockenen Filz auf dem Kopfe. Daß Schuhe und Handschuhe aus Gummi, Gummi-Griffe an Schalthebeln, Zangen, Haken oder sonstigen Gezähen, mit denen man von hochgespannten Strömen durchflossene Gegenstände berührt, ein ausreichendes Schutzmittel bilden, ist längst bekannt.

Was hier im Kleinen richtig ist, gilt auch im großen Haushalt der Natur, wo in den „natürlichen Zentralen und Leitungen“ die elektrischen Ströme von frei schaltenden und waltenden Kräften auf kürzesten Wegen bewegt und schließlich wieder als Blitze zur Erde zurückgeführt werden, von der sie gekommen sind.

Ein Beispiel aus meiner Erfahrung mag für viele gelten: Im Jahre 1893 wurde hier bei einem Gewitter eine Frau mitten auf der Chaussee unter einem dichten Laubdache der beiden Baumreihen vom Blitze erschlagen, als sie in der Nähe des sog. Eisensteinbrunnens an der Buntenböcker Straße in Clausthal gerade über den hier nach der Tiefe hin durchsetzenden Eisenstein-Gänge mit seinen wasserreichen Klüften durch den Regen lief. Ihr kleines Kind, welches die Mutter gegen Regen geschützt, trocken unter ihrem Mantel barg, wurde sofort nach dem Blitzschlage vollständig unversehrt ohne Spuren einer Betäubung auf der Erschlagenen sitzend vorgefunden. An den Bäumen neben der Erschlagenen und den Baumkronen über derselben habe ich auch nicht die geringste Spur der Blitzwirkung entdeckt, wiewohl ich unmittelbar nach dem Ereignisse und bald darauf noch mehrere Male auch mit andern die Stelle abgspürt habe. Nur die Chaussee war an dem Standorte der Frau aufgewühlt. Der Blitz hatte den Körper der Frau als besten kürzesten Leiter nach der ausgezeichnet leitenden Stelle der Erde, dem wasserreichen Eisensteinlager hin, benutzt. Hätte die Frau auf einem durchaus nichtleitenden „Isolierschemel“ oder mit trockenen Füßen in Gummischuhen gestanden, würde sie höchst wahrscheinlich nicht getroffen sein.

3. Durch die „magnetische Streuung“, die besonders bei älteren Maschinen und Apparaten oft nicht unerheblich ist, können in deren Nähe gebrachte Meßinstrumente, bei denen Eisen und Stahl, sowie Magneten eine Rolle spielen,

auch Taschenuhren mit Eisen- und Stahlteilen fehlerhaft, selbst unbrauchbar werden.

In Getreide-Mühlen, Spinnereien und Webereien, Holzbearbeitungsfabriken, Brikettfabriken, Kohlengruben und sonstigen Räumen, die mit brennbarem Staub, mit brennbaren bzw. explodierbaren Gasen und „Schlagwettern“ geschwängert sind, kann der elektrische Strom durch seine hervorragende Licht- und Wärme-Wirkung, der wir ja die elektrische Beleuchtung verdanken, besonders gefährlich werden.

Die Feuers- und Explosionsgefahr elektrischer Anlagen, besonders auch in den Grubenräumen, auf die wir nun im folgenden etwas näher eingehen müssen, können herbeigeführt werden durch:

I. Glühen eines Leiters,

- a) beabsichtigt bei den Glüh-Lampen, der Minen-Entzündung,
- b) unbeabsichtigt bei „Kurzschluß“ und bei hoher Spannung.

II. Elektrische Funken oder Lichtbogen-Bildung,

- a) beabsichtigt bei den Bogen-Lampen, der Minen-Sprengung,
- b) unbeabsichtigt an den Bürsten und sonstigen Teilen elektrischer Maschinen, Apparate und Leitungen.

Die Schutzmittel zur Abwehr dieser Feuer- und Explosions-Gefahr können, wie auch durch großartige Betriebsversuche auf das schlagendste festgestellt und weiter unten angegeben ist, nur auf Isolierung und Abkühlung der funken- und feuergebenden Stellen hinauslaufen.

Denn hierauf deutet schon die 1815 erfundene und bis auf den heutigen Tag erprobte Davysche Sicherheitslampe hin. Bei dieser bildet das die Flamme ringsum einschließende sehr feinmaschige Metallnetz gewissermaßen eine Kapsel gegen den äußeren mit Schlagwettern erfüllten Raum, die außerdem derart abkühlend wirkt, daß eine unter ein derartiges Netz gehaltene Flamme weder das Netz glühend macht, noch durch die feinen Maschen hindurchdringt, sondern gleichsam wie durch das Netz abgeschnitten erscheint. Wer sich hiervon leicht eine Vorstellung machen will, halte eine heiße Kerzen-Flamme unter ein feinmaschiges Metallsieb, welches zum „Durchgeben“ der Bouillon oder Milch in unseren Haus-haltsküchen verwendet wird.

Die weiter unten erwähnten Versuche von 1903—1905 aber haben erwiesen, daß das Davysche Drahtnetz an Elektromotoren wohl das „Durchschlagen der Zündung“, nicht aber das „Nachbrennen“ zu verhüten vermochte. Nur der später beschriebene „Plattenschutz“ lieferte stets den erwünschten Erfolg.

Unzählige kleine Explosionen, welche im Innern der Metallkapsel durch die Flamme an dem eindringenden explosiblen Gase hervorgebracht werden, können deshalb nicht auf das von außen die Lampe umgebende gefährliche Gas übertragen werden. Wohl aber würde unzweifelhaft die Lampe ihre schützende Wirkung einbüßen durch Vergrößerung der Maschen oder Verletzung des Netzes, wenngleich nur auf kleiner Fläche. Eine andere sichere Schutzmaßregel würde darin bestehen können, daß man die funkende Stelle unter Öl setzt und auf diese Weise gegen die umgebenden Schlagwetter isoliert, wie die Hausfrau ihre eingemachten Früchte schützt gegen die Einwirkung der schädlichen Luft.

Der Eisenbahnverkehr veranlaßt zahlreiche Unglücksfälle. Man würde aber fehlschließen, wollte man deshalb denselben als besonders gefährlich bezeichnen. Gerade im Gegenteil ist im Verhältnis zur beförderten Kopffzahl die Eisenbahn das bei weitem sicherste Verkehrsmittel. Ähnlich verhält es sich mit der elektrischen Beleuchtung gegenüber den sonstigen Beleuchtungsmitteln.

Die Gefährlichkeit einer nach den heutigen „Sicherheits-Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker“ musterhaft ausgeführten und zuverlässig gewarteten und überwachten elektrischen Anlage ist im allgemeinen nicht größer

als die irgend einer anderen, z. B. einer Gasanlage mit ihren Explosions- und Vergiftungs-Gefahren, oder einer Beleuchtung mit Petroleumlampen. Bei dem entsetzlichen Unglück im Iroquois-Theater in Chicago am 30. Dezember 1903 mag der Brand durch den elektrischen Strom veranlaßt sein, aber die meisten Personen sollen durch die beim Explodieren von Gasgefäßen entfesselten Leuchtgase sofort vergiftet sein. Der noch zweifelt, denke sich die Millionen von elektrischen Lampen bei den heutigen „Illuminationen“ der Städte oder der Theater und Warenhäuser durch Gas- oder Petroleum-Lampen ersetzt.

Heutzutage, wo der Staat, mehr denn jemals, alles aufbietet, die Arbeiter gesund zu erhalten und vor Unfällen zu behüten, ist man auch bemüht, die Gefahren zu erkennen und abzuwenden, welche in „Schlagwettern“ und im aufgewirbelten brennbaren und explodierbaren Staub (Steinkohlen, Braunkohlen, Mehl) der Grubenräume und Fabriken durch die elektrische Beleuchtung und durch Elektromotoren nahegerückt werden könnten.

Von allen zu dem Zwecke seit der 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts angestellten Versuchen waren diejenigen grundlegend, welche im Jahre 1897 durch Heise und Thiem auf der berggewerkschaftlichen Versuchsstrecke Konsolidation bei Gelsenkirchen auf Veranlassung des Vorstandes der westfälischen Berggewerkschaftskasse in Bochum durchgeführt und in der Wochenschrift „Glückauf“ 1898 Nr. 1, 2, 3: unter dem Titel „Versuche betreffend die Entzündung von Schlagwettergemischen und Kohlenstaubaufwirbelungen durch die Wirkung der Elektrizität“ veröffentlicht wurden. Weitere „Versuche mit Schlagwettern und dem Schlagwitterschutz elektrischer Antriebe“, deren wichtigstes Schlußergebnis am Ende unseres Nachtrages kurz zusammengefaßt ist, wurden in den Jahren 1903—1905 auf derselben Versuchsstrecke mit vollkommeneren Hilfsmitteln und in weit größerem Umfange unter Beteiligung der elektrischen Firmen: Siemens und Halske A.-G., Elektrizitäts-A.-G. vormals Schuckert u. Co. (beide später vertreten durch die Siemens-Schuckertwerke), Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft, Union Elektrizitäts-Gesellschaft (die später in der A.-E.-G. aufging), Helios Elektrizitätsgesellschaft und Voigt und Häffner A.-G. in Frankfurt a. Main, von Beyling, Götze, Hoffmann, Foerste und Jores erfolgreich durchgeführt und in der Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure 1906, S. 433 u. ff. durch Hoffmann veröffentlicht\*).

I. Für das Glühen eines Leiters in gefährlichen Schlagwettern (9 % Methan  $\text{CH}_4$  \*\*) und in besonders leicht entzündlichen Kohlenstaubsorten wurde durch die 1897er Untersuchungen folgendes festgestellt:

Rotglühende Drähte in Widerstandskästen zünden weder die Schlagwetter noch aufgewirbelten Kohlenstaub.

Glühlampen, deren Kohlenfäden im luftleeren Raume der Glasbirne glühen, sind ungefährlich, zünden selbst nicht beim Bruche der Birne, bei welcher der Faden wohl ausnahmslos sofort bricht, wenn sie für Stromstärken von höchstens 0,5 bis 0,6 Ampère gebaut sind, weil die in den luftleeren Raum hineinstürzenden Schlagwetter bei der hierbei erfolgenden Ausdehnung und dadurch bewirkten Abkühlung die Kohlenfäden unter ihre Entzündungstemperatur abkühlen. Immerhin aber sind als Schutz gegen Zerschlagen der Birnen Schutzkörbe aus starkem Drahtgeflecht vorgeschrieben.

\*) Eine ausführliche Darstellung der „Versuche zwecks Erprobung der Schlagwettersicherheit besonders geschützter elektrischer Motoren und Apparate, sowie zur Ermittlung geeigneter Schutzvorrichtungen für solche Betriebsmittel, ausgeführt auf der berggewerkschaftlichen Versuchsstrecke in Gelsenkirchen—Bismarck“ gibt Beyling in der „Wochenschrift Glückauf“ 1906, S. 1 u. ff.

\*\*) Schlagwetter mit 5,5 bis 13,5 v. Hundert Methangehalt sind unter atm. Druck und bei normaler Temperatur zündbar.

Die Gefahr aber entsteht und wächst bei Glühlampen für  $i > 0,6$  Ampère, weil bei diesen die Kohlenfäden entsprechend dicker sind und infolgedessen mehr Wärme enthalten und ausstrahlen. Daß die zur Verbindung mit den Kohlenfaden dienenden Platindrähte nicht so weit über die innere Glaswand hervorragenden dürfen, daß sie gegeneinander gebogen Kurzschluß geben können, ist schon früher hervorgehoben.

Für trockenen aufgewirbelten brenn- und explodierbaren Staub in Gruben, Fabrikräumen, Mühlen und Lagerräumen (Silos) gilt entsprechendes.

Alle offenen elektrischen Glüh-Lampen der Gegenwart und Zukunft, besonders die hochvoltigen ( $e > 250$ ), also auch die Nernst-Lampe, würden in den eben genannten Räumen nur dann zulässig sein, wenn sie zuverlässig luftdicht durch Überfang-Glocken eingekapselt, und diese durch Drahtnetze gegen Zerschlagen gesichert sind.

Nach den „Sicherheitsvorschriften für die Errichtung elektrischer Starkstromanlagen“, welche von der Kommission des Verbandes Deutscher Elektrotechniker einstimmig angenommen wurden und welche in Kraft treten für Anlagen oder Erweiterungen, die nach dem 1. Januar 1904 fertig gestellt werden, gilt für Schlagwettergruben:

„Es sind nur Glühlampen zulässig, welche im luftleeren Raume brennen (Kohlenfaden-, Osmium- und Tantal-Lampen). Dieselben müssen, einerlei in welcher Höhe sie angebracht sind, außer der dicht schließenden Überglocke, die auch die Fassung umschließt, noch einen Schutzkorb aus starkem Drahtgeflecht besitzen“.

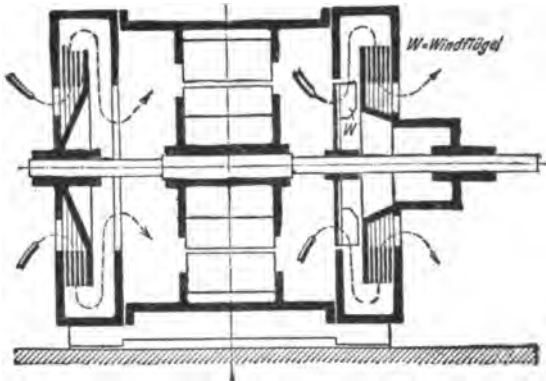
II. Elektrische Funken und der Davy-Lichtbogen sind in Schlagwettern noch gefährlicher als glühende Leitungsdrähte. Denn Heise und Thiem stellten fest, daß durch elektrische Funken (wenn sie nicht sehr klein sind) und durch Lichtbögen Schlagwetter in allen Fällen entzündet werden. Die heutigen gewöhnlichen Bogenlampen, sowie auch die elektrische Lokomotiv-Förderung mit Stromzuführung mittelst blanker Leitung sind also in Schlagwettergruben unzulässig. Gleich gefährlich muß das Wegschmelzen von Sicherungen und Durchbrennen von Leitungen angesehen werden. Dagegen im grubenfeuchten Zustande aufgewirbelter Kohlenstaub konnte selbst durch starke Lichtbogen nicht zur Explosion gebracht werden.

Genannte Forscher empfehlen auf Grund der Ergebnisse ihrer Beobachtungen im allgemeinen, alle Maschinen und Vorrichtungen, an denen betriebsmäßig Funken und Ausschaltfeuer auftreten können, in Schlagwettern luftdicht einzukapseln und die metallenen Kapseln zu „erden“, d. h. gut leitend mit der Erde zu verbinden (wir denken hier an die schon längst bekannte Erdleitung der Blitzableiter).

Die Versuche von 1903—1905, die (nach Hoffmann) mit einem großen Aufwand an Kosten und Zeit durchgeführt worden sind — es handelt sich um mehr als 1000 Versuche, deren jeder durchschnittlich mehr als eine Stunde Zeit erforderte — haben ein bedeutungsvolles Endergebnis gehabt. Ihr unmittelbarer Wert für den Bergmann und den Elektrotechniker liegt darin, daß sie alle Antriebe in Schlagwettergruben — diese bilden in Deutschland die überwiegende Mehrheit — der Elektrizität erschlossen haben; darüber hinaus sind sie von allgemeinerem Interesse, weil sie unsere Anschauungen über die bei der Verbrennung von Gasen auftretenden Druck- und Strömungserscheinungen erweitert haben.

Die durch diese Versuche festgestellten Schutzmittel bestehen nun u. a. darin, die funkende Stelle mit Öl zu überdecken, oder die Wetter in schmalen Strömen und bei ausgiebiger Abkühlung an denjenigen Stellen vorbeizuführen, die unter gewöhnlichen Umständen Entzündung und Explosion veranlassen würden. Dieses Mittel wurde dadurch praktisch verkörpert, daß man die gefährlichen Elektromotoren vollständig, auch um die Welle herum dicht einkapselte. Auf beiden Seiten der Kapsel um die Welle herum sind in genügend großen

ringförmigen Öffnungen schmiedeeiserne Platten mit 0,5 mm Zwischenraum zum Durchziehen der Wetter eingelegt. Damit die Schlagwetter an der Bürstenseite (z. B. links) einziehen, dann stark abkühlend über die etwa funkenden Stellen und hierauf über die Maschine hinweg an der anderen (rechten) Seite abziehen, ist hier ein Flügelrad W mit der Welle verbunden, welches bei der Drehung den Inhalt der Kapsel durch die 0,5 mm Zwischenräume auf dieser Seite hindurchpreßt. Es muß nach den Versuchen streng darauf geachtet werden, daß an keiner Stelle der Kapsel Öffnungen vorhanden sind, oder im Betriebe sich bilden können, deren Durchmesser größer ist als 0,5 mm. Dasselbe würde ja auch für die Davysche Sicherheitslampe gelten. Auch wird dringend gemahnt, den zu konstruierenden schlagwetter-sicheren Elektromotor als ein Ganzes von einer sachverständigen Firma, die dann auch verantwortlich für die richtige Herstellung ist, bauen zu lassen.



Seite 493 der Quelle heißt es: „Vergleicht man den Plattenschutz mit dem Netzschutz, so hat der Plattenschutz die Vorteile, daß er unabhängig davon, ob man viel oder wenig Schlitze anordnet, immer mit Sicherheit schützt, und daß das Nachbrennen bei ihm nur kurze Zeit dauert, also praktisch belanglos ist. Der Netzschutz wird billiger, erfordert vielfach keine besonderen Elektromotormodelle und lüftet besser; man hat aber vorläufig noch eine gewisse Unsicherheit, wie groß man ihn zu bemessen hat; je besser er ferner lüftet, um so stärker tritt auch das Nachbrennen auf und gefährdet etwaige Lötungen und sonstige nicht feuerfeste Teile.“

Ein 30 pferdiger Drehstrom-Elektromotor von 500 Volt und 750 Umdrehungen mit Plattenschutz würde ohne Plattenschutz, also offen, 35 Pferde abgeben. Die Sicherung verzehrt also 14 % der Normalleistung des Elektromotors.

### Die elektrische Wasserwältigung.

Allgemeines. Die Wasserhaltung, welche im allgemeinen sowohl die Abhaltung der Wasser von dem Grubenfelde durch Verdämmung und durch oberirdische Grabenableitungen, als auch die Wasserlosung durch unterirdische Leitungen und Stollen, insbesondere aber die Wasserwältigung mittelst Pumpen umfaßt, zählt zu allen Zeiten neben der Bewetterung der Grubengebäude und der Förderung der gewonnenen Erze, Salze und Kohlen aus den Bauen zutage, zu den wichtigsten Erfordernissen eines regelrechten Grubenbetriebes.

Geschichtliches. Not und Sorge, besonders um die Wasserwältigung der Gruben zeitigten, die Erfindung der Dampf- und Wassersäulen-Maschinen. Zu diesem Zwecke erbaute 1711 der Engländer Newcomen aus Darmouth in Devonshire die Papin (1690)-Savarysche (1698) Kolben-Dampfmaschine, erfand 1748 der Deutsche Winterschmidt in Clausthal die Wassersäulenmaschinen und wandte sie zuerst in den Harzer Gruben an, führte 1777 der Schotte James Watt aus Greenock die wesentlich von ihm umgestaltete und verbesserte Newcomensche

Dampfmaschine bei den Gruben Cornwalls ein. Wie Watt für die Dampfmaschinen, so wird der bayerische Salinenrat Reichenbach für die Wasserräulenmaschinen als Reformator angesehen.

Bei den ersten Maschinen wurde die Kolbenbewegung der auf dem Schachte stehenden Kraftmaschine durch feste Gestänge auf die unten im Gesenk des Schachtes stehende Pumpe übertragen; später das schwerfällige durch häufige Brüche Störungen veranlassende lange Gestänge dadurch umgangen, daß man die Kraftmaschine unmittelbar vor die Pumpe stellte und durch Verkuppelung beider Kolbenstangen die unterirdische sog. „Dampf-Pumpe“ schuf.

Um aber den in den Grubenräumen lästigen und schädlichen Dampf zu vermeiden, führte man anstatt des gespannten Wasserdampfes durch oberirdische Wasserpreß-Maschinen stark gepreßtes Wasser durch Rohre (hydraulisches Gestänge) in die Gruben und schuf so die „hydraulische“ Wasserwältigung (Kasalowsky-Prött-Schwarzkopff, Berlin), von der oben unter „Kraftübertragung“ gehandelt wurde.

Heute ist die Elektrizität mit allen ihren hervorragenden Vorzügen, insbesondere zum direkten Antriebe der Hochdruck-Kreiselpumpen (Sulzer), in den Vordergrund getreten.

So zeigt uns deutlich unsere kurze geschichtliche Schilderung, daß gerade die Wasserwältigung es war, welche dazu beigetragen hat, auf die hohe Bedeutung der elektrischen Kraftübertragung für den Bergbau hinzuweisen. Dann lag es nahe elektrische Zentralen ins Leben zu rufen und nun auch die Elektrizität, die schon mit der elektrischen Lokomotive 1879 in die Gruben-„Strecken“ eingezogen war, auch den anderen Bergwerksmaschinen für Bewetterung, Gewinnung und Schacht-Förderung, sowie für Beleuchtung nutzbar zu machen.

Wahl des Systemes. Nach dem sehr beachtenswerten Aufsätze: „Vorzüge und Nachteile verschiedener Wasserhaltungssysteme“ vom Oberingenieur F. Schulte zu Dortmund, „Glückauf“ 1902, Nr. 25, S. 586 sind zunächst die Schachtverhältnisse zu prüfen, die zu hebenden Wassermengen genau zu bestimmen und dann zum Heben großer Wassermengen aus Teufen bis zu 500 m bei 20-Stunden-Betrieb Dampf-Wasserwältigungsmaschinen zu wählen. Für größere Teufen dagegen und bei ununterbrochenem vielleicht 8stündigem Pumpenbetriebe wird das zu hebende Sumpfwasser durch die Dampf-Kondensation zu warm, weil es aus anderen Gründen zweckmäßiger ist, die Dampfleitung auch während der Arbeitspausen unter Dampf zu halten. Deshalb ist dann die hydraulische oder noch besser die elektrisch betriebene Wasserwältigung wirtschaftlicher.

Die hier in Frage kommenden Pumpen sind:

1. die Kolben-Pumpe (ein-, zwei-, drei-zylindrig),
2. die (Flügel-Zentrifugal- oder die) Kriesel-Pumpe (ein-, mehr-stufig).

### 1. Die Kolben-Pumpen.

Eigenart der Pumpe. Die älteren\*), zum Teil auch noch die heutigen Kolbenpumpen mit selbsttätigen Ventilen, verbergen ihren Familien-Erbfehler, das

\*) Auch herrschten noch bis Anfang der 80er Jahre unter den Pumpen-Verständigen eigene Anschauungen darüber, was zu tun sei, um die Pumpen mit selbsttätigen Ventilen für rascheren Gang geeignet zu machen. In dem gewiß gut redigierten Stühlienschen Ingenieur-Kalender wurde 1882, S. 118 als Mittel gegen das Schlagen der Pumpen ganz allgemein „Beschweren der Ventile“, im Jahrgange 1886, S. 124 schon vorsichtiger „einer vorhandenen Pumpe“ angegeben. Gegen den letzten Vorschlag ist nichts einzuwenden, so lange solche Beschwerde nur als unvollkommene Aushilfe, sozusagen als ein notwendiges Übel für fehlerhaft konstruierte Ventile gilt, wohl aber gegen die zum allgemeinen Gesetz erhobene Behauptung Bachs, man „müsse die Ventile einer Kolbenpumpe um so schwerer machen, je rascher die Pumpe laufe“. Denn solche trägen Ventilmassen folgen unpünktlich beim Öffnen und Schließen, und veranlassen

„Schlagen der Ventile“, um so besser, je langsamer sie laufen. Denn eine bei langsamem Gange vorzüglich arbeitende Pumpe würde zu einem „Unding“, wenn man sie zu rascherer Gangart antriebe und würde außerdem noch um so unwirtschaftlicher arbeiten, weil ihre großen trägen Ventil-Massen bei jedem Hubwechsel beschleunigt und verzögert werden müssen. Man denkt hierbei unwillkürlich an ein schweres Brabanter Pferd, welches im raschen Trabe noch tüchtig anziehen soll, obgleich es kaum imstande ist, bei dieser Gangart seine eigene träge Masse zu beschleunigen (Leergang bei den Maschinen).

Umgekehrt arbeiten die Dynamomaschinen, besonders auch die elektrischen Triebmaschinen oder Elektromotoren um so besser und innerhalb zulässiger Grenzen wirtschaftlicher, je rascher sie laufen. Denn sie können bei den erforderlichen großen, vorteilhaftesten Umfangsgeschwindigkeiten des Ankers um so kleiner hergestellt werden, je größer ihre Umdrehungszahl  $n$  gewählt wird. Andererseits nimmt das Güteverhältnis (der Wirkungsgrad) unter gleichen Verhältnissen ab mit Abnahme der Umdrehungszahl  $n$  des Ankers.

Zwischen den Kolben-Pumpen und den Antrieb-Elektromotoren bestand also von jeher, infolge ihrer Eigenart, ein schroffer Gegensatz. Um nun am bequemsten über die geschilderten Schwierigkeiten hinwegzukommen, schaltete man früher, unbekümmert um die Wirtschaftlichkeit der Anlage, zwischen beide eine passende Zahnrad- oder Riementrieb-Übersetzung ein. Aber der Trieb zur Vervollkommnung steigerte die Ansprüche, suchte und fand Auskunftsmittel, die Schwierigkeiten auf die beste Weise zu besiegen.

Um die Betriebssicherheit zu erhöhen, arbeitverzehrende, geräuschvolle, Platz beanspruchende Zwischenglieder (Zahnräder u. dergl.) zu vermeiden, wurde „direkte Kuppelung“ der Anker und Pumpen-Welle gefordert und zuerst von der Firma Haniel und Lueg-Düsseldorf eingeführt. Gegenwärtig sehr beliebt ist die genügend nachgiebige oder empfehlenswerte Zodel-Voith-Kuppelung, deren beide Hälften durch ein Lederband verbunden werden und eine leichte Demontage gestatten. Um das aber zu ermöglichen, mußte der Maschinentechniker seine Pumpen für großes  $n$  einrichten, also wie wir in der Anmerkung sahen, richtige Ventile erfinden und der Elektrotechniker von den bis dahin üblichen Umdrehungszahlen, die bis über 1000 hinausgingen, bis auf höchstens einige Hunderte heruntergehen. So entstanden elektrisch angetriebene (ein-, zwei-, drei-zylindrige) meist einfachwirkende Plunger-Kolbenpumpen für  $n = 300$  bis 200 Umdrehungen in einer Minute.

Da jedoch solche Schnellläufer nicht dieselbe Betriebssicherheit als langsamer laufende haben, so richteten besser die Elektrotechniker ihren so überaus füg-samen Elektromotor, ohne dessen Wirtschaftlichkeit wesentlich zu schädigen, für  $n = 100$  bis 200 Umdrehungen in 1 Minute ein.

Dadurch war durch die Elektro-Maschinentechnik immerhin ein Erfolg erzielt, den man nicht erwartet hatte nach den Erfahrungen an bis dahin üblichen gewöhnlichen Pumpen, deren Umdrehungszahlen an 50 noch nicht heranreichten.

---

Riedler zuerst seine zwangsläufige Ventilordnung einzuführen, die er aber bei seinen heutigen „Expreß-Pumpen“ verlassen hat.

Ich hatte vor Bach und Riedler für rasch laufende Pumpen im Gegensatz zu dem ballasteten Bachschen und dem zwangsläufigen Riedlerschen Ventile empfohlen: Das absolut leichte (also möglichst masselose) gegliederte, kleinhübbige, federnd schwebende Ventil mit möglichst schmalen Sitzflächen (Sitzschneiden) bei möglichst großem Durchgangsquerschnitte und möglichst geringen Widerständen in der Ventil- und Flüssigkeitsbewegung. Derartig federnde Ventile, welche, wie ich damals ausdrückte, „spielend wie die Kiemen eines Fisches sich bewegen müßten“, haben u. a. Hoerbiger und Rogler, auch Humboldt angenommen. (Die Ventilpumpen oder die Lehre von der Bewegung selbsttätiger Ventile. Verlag von Craz und Gerlach. Freiberg in Sachsen.) Ausführliche Literaturangaben über den Gegenstand und die damit zusammenhängenden hydraulischen Gesteinsetzmaschinen ist zu finden in „Glaser's Annalen“. 1894. Band 35. Seite 121.

Nach meinen Erfahrungen und Beobachtungen an den Ventilen rasch laufender Pumpen, möchte für gewöhnliche Verhältnisse und mittelstarke (vielleicht 50 bis 100 pferdige Wasserwältigungen) als obere Grenze

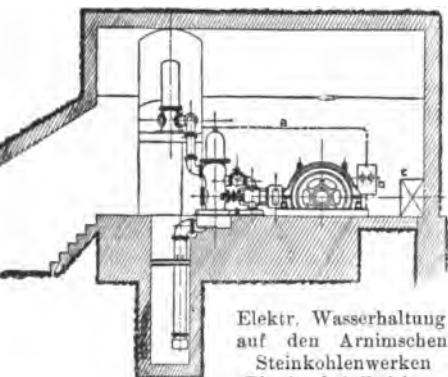
$$n = 150 \text{ Umdr./Min.}$$

zu empfehlen sein. Denn, wenn es auch möglich ist, nach dem in voranstehender Anmerkung von mir angegebenen Grundsätze, Kolbenpumpen zu bauen, die noch mehr „rasen“ als die sog. „Expreßpumpen“, so sind an wichtigen unterirdischen Plätzen der Bergwerke doch Pumpen mit mäßiger Geschwindigkeit ( $n = 100$  bis  $150$ ) den Schnellläufern vorzuziehen, weil sie sicherer, dauerhafter und deshalb auf die Dauer auch wirtschaftlicher sind. Keinenfalls aber sollte man in den Gruben aus

solchen ernsten Dingen einen Sport machen, und nur da, wo die zwingendsten Gründe vorliegen, über den oben als zweckmäßig hervorgehobenen Grenzwert  $n = 150$  hinausgehen.

Bei starken Wasserhaltungen wähle man jedenfalls  $n < 150/\text{Min.}$  Nur bei kleinen untergeordneten Anlagen kann man  $n > 150$  für die Pumpe und dazu Riemen- oder Zahnrad-Übersetzungen nehmen, um auf rascher laufende billige Elektromotoren zu kommen. Der Riementrieb beansprucht dann allerdings etwas mehr Raum, dessen Herstellung in den Gruben auch mit Kosten verbunden ist. Hiernach hat auf Grund eines Kostenanschlages der Sachverständige zu wählen. Raschiaufende Kolben-Pumpen mit freispielenden, federbelasteten Ventilen, die sich durch Einfachheit und guten Gang auszeichnen, bauen u. a. bis  $n = 250$  bei kleinen,  $n \leq 150$  bei großen Anlagen die Firmen Ehrhardt und Sehmer, Schleifmühle Saarbrücken; Klein, Schanzlin u. Becker in Frankenthal (Pfalz)\*; die Maschinen-Anstalt Breslau; Humboldt, Kalk bei Köln.

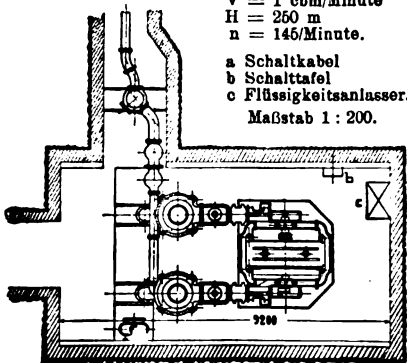
Ausführung des elektrischen Teiles. Zum Antriebe wählt man meist Wechselstrom, insbesondere Mehrphasen-Strom (D), weil dieser dem Gleichstrom (G) an Betriebssicherheit wohl überlegen ist und gerade hierauf bei der Wasser-



Elektr. Wasserhaltung  
auf den Arnimschen  
Steinkohlenwerken  
Planitz bei Zwickau.  
Ausgeführt  
von Siemens und Halske.

$V = 1 \text{ cbm/Minute}$   
 $H = 260 \text{ m}$   
 $n = 145/\text{Minute.}$

a Schaltkabel  
b Schalttafel  
c Flüssigkeitsanlasser.  
Maßstab 1 : 200.



wältigung in den Gruben das größte Gewicht gelegt werden muß. Die Wechselstrom- und unter diesen die Induktionsmaschinen, gehören, könnte man sagen, zu den einfachsten, betriebssichersten Maschinen, die die Technik ersonnen hat. Die Firma Siemens und Halske baut Wasserhaltungs-Elektromotoren (Type WD) normal für Leistungen von 50 bis 700 Pferdekraften bei  $n = 242, 224, 208, 194, 182, 162, 145, 132, 121, 97$  für volle Belastung und 25 Perioden in einer Sekunde. Durch die Verminderung der sonst üblichen Periodenzahl von 50 (die unter elektrischem Licht begründet wird) auf 25 wurden für die Mehrphasen-Strom-Elektromotoren günstige magnetische und Streuungs-Verhältnisse erzielt. In dem rotierenden Teile von großem Durchmesser und geringer Breite sind außerdem die

\*) Figur auf Seite 269 zu finden.



für die Kolben-Pumpen erforderlichen Schwungmassen untergebracht. Dagegen genügen zum Antriebe der ohnehin rasch und gleichförmig laufenden, später besprochenen Kreisel-Pumpen, kleinere Elektromotore ohne besondere Schwungmassen.

Wird der Elektromotor mit Schleifring und einem für volle Belastung konstruierten (Flüssigkeits-)Anlasser versehen, so kann das Anlassen und Abstellen desselben unter Tage innerhalb eines Zeitraumes von 30 Sek. zuverlässig erfolgen, ohne die Primärstation telephonisch benachrichtigen zu müssen. Dieses unmittelbare, rasche Abstellen der Maschine ist bei etwaigen Betriebsstörungen von Vorteil.

Wegen der hohen Betriebssicherheit des regelrecht gebauten Mehrphasen-Elektromotors, der bei 24stündiger ununterbrochener Arbeit sich nicht über Gebühr erwärmt, ist für ihn keine Reserve erforderlich. Letzte dagegen zu empfehlen für die Pumpe, um deren Ventile in den Pausen nachsehen und reinigen, auswechseln zu können.

**Aufstellung der Maschine.** Um den Transport auch durch enge Schächte und Strecken zu erleichtern, wird für größere Elektromotoren der feststehende Teil, „Stator“ aus 4 Teilen, der drehbare Teil „Rotor“ aus 2 Teilen, dagegen für kleine Elektromotoren der Stator aus 2, der Rotor 1teilig hergestellt. Wegen des sehr geringen Zwischenraumes zwischen Stator und Rotor, der nur 1 bis 2 mm beträgt, muß ersterer durch Seitenschilder sehr steif hergestellt und mit Stellschrauben versehen werden, die eine sehr genaue Einstellung in wagerechter und lotrechter Richtung ermöglichen.

**Regelung der Umlaufszahl.** In bezug auf die Gesamtanordnung können zwei Fälle unterschieden werden:

1. Der Pumpen-Elektromotor erhält eine besondere Primär-Dynamomaschine mit besonders angetriebener Erregermaschine. Dann läßt sich, falls eine Veränderung der Umlaufszahl ( $n$ ) der Pumpe erwünscht wird, diese durch entsprechende Änderung der Umlaufszahl der Primär-Dampfmaschine erzielen\*), welche dann die gewünschte Bewegungs-Änderung des Elektromotors und damit der Pumpen zur Folge hat. Hierbei tritt kein Energie-Verlust wie bei Anwendung eines Regulierwiderstandes ein. Diese Einrichtung ist aber nur bei großen Anlagen wirtschaftlich.
2. Der Pumpen-Elektromotor ist an ein Netz geschaltet. Dann ist eine Veränderung von  $n$  nicht einfach. Es empfiehlt sich bei Abnahme der Wasserzufüsse den Elektromotor abzustellen.

**Vergleich zwischen Dampf- und elektrischer Wasserwältigung.** Im allgemeinen ist die elektrische Wasserwältigung gedrängter, betriebssicherer, wirtschaftlicher, ferner, was auch nicht zu unterschätzen ist, für die Grubenräume weniger nachteilig, weil sie keine für Menschen und Tiere, Schachtzimmerung und Wetterführung unbequeme Wärme und Feuchtigkeit in denselben verbreitet.

Die Betriebssicherheit des elektrischen Antriebes ist groß, weil der Mehrphasen-Elektromotor selbst sehr sicher hergestellt und mitsamt den Schleifringen, wenn solche überhaupt nötig sind, vollständig eingekapselt werden kann. Auch die gut isolierte, stahldrahtarmierte Leitung widersteht selbst roher Behandlung.

---

\*) Maschinenfabrik Oerlikon beschränkt bei der Wasserwältigung der Compagnie des mines de Roche-la Molière et Firming, Schacht Monterrad, bei verminderten Wasserzugängen in trockenen Jahreszeiten nicht die Betriebszeit, sondern die Umdrehungszahl, weil bei vorübergehenden Betriebseinstellungen der prozentuale Verlust zu groß werden würde, der beim Abstellen der Dampfkessel durch Vorwärmung der Dampfleitung und des Zylinders entsteht. Die Regulierung geschieht durch den Regulator der Dampfmaschine. Derselbe besitzt zu diesem Zwecke zwei verschiedene, leicht auswechselbare Räderübersetzungen, mit welchen eine Geschwindigkeitsveränderung von 1 : 2 erzielt wird, indem die eine von 50 auf etwa 70, die andere von 70 auf 103 Umdrehungen regelt.

Die Wirtschaftlichkeit der Dampf-Wasserwältigung dagegen wird beeinträchtigt durch Ausstrahlung der Wärme, die selbst in den Pausen erfolgt, weil man die Dampfleitung unter Dampf stehen lassen muß. Entsprechende Verluste treten bei der elektrischen Anlage nicht ein. Die geringe Abnutzung letzterer beschränkt sich auf die Kollektoren und Bürsten der kleinen Gleichstrom-Erregermaschine und auf die der Schleifringe des Elektromotors.

Das Güteverhältnis der elektrischen Anlage ist ziemlich groß:

Denn in der Primäranlage kann eine sehr wirtschaftlich arbeitende, mehrstufige, durch hochehitzen Dampf angetriebene Dampfmaschine mit günstiger Expansion, Umdrehungszahl und mit Kondensation verwendet werden.

Als Wirkungsgrade sind im Mittel für eine gute elektro-maschinentechnische Anlage anzunehmen:

$$\eta_1 = 0,93 \text{ (bis } 0,94 \text{ vollbelastet) für die Dynamomaschine,}$$

$$\eta_2 = 0,97 \text{ für die Leitung,}$$

$$\eta_3 = 0,92 \text{ für den Elektromotor, also zusammen:}$$

$$\eta_e = 0,93 \cdot 0,97 \cdot 0,92 = 0,83 \text{ für den elektrischen Teil;}$$

$$\eta_4 = 0,84 \text{ für die Pumpe,}$$

$$\eta_5 = 0,86 \text{ für die Dampfmaschine, d. i. zusammen:}$$

$$\eta_m = 0,84 \cdot 0,86 = 0,72 \text{ für den mechanischen Teil,}$$

so daß als Gesamtwirkungsgrad für die Anlage sich ergibt:

$$\eta = 0,83 \cdot 0,72 = \text{etwa } 0,60.$$

Die Betriebskosten der durch eine Dampfmaschine angetriebenen Wasserwältigung ergeben sich in der Hauptsache aus dem verbrauchten Dampf.

Bei Anwendung von überhitztem Dampf und übrigens mustergültiger Anlage darf man bei elektrischer Wasserwältigung als Dampfverbrauch für die Dampfmaschine rechnen:

$$D = 6 \text{ kg auf 1 ind. Pferdekraft-Stunde*).$$

Dagegen ist mit Rücksicht auf den Gesamtwirkungsgrad der Anlage anzunehmen:

$$D = \frac{6}{0,60} = 10 \text{ kg auf 1 ind. Pferdekraft-Stunde in gehobenem Wasser.}$$

Wir werden später sehen, daß eine elektrisch angetriebene Fördermaschine mit ihren wiederholten Beschleunigungs-Perioden und Stillständen mehr Dampf verbraucht, also verhältnismäßig teurer arbeitet.

## 2. Die Kreisel-Pumpen.

Die Kreisel (Schleuder- oder Zentrifugal)-Pumpen zeichnen sich durch hohe Umdrehungszahl ( $n = 300$  bis  $2400$  in 1 Minute) aus, eignen sich deshalb ganz vorzüglich zum elektrischen Antriebe. Das Flügelrad wird dann entweder unmittelbar auf die verlängerte Welle des Elektromotors gesetzt, oder es werden die Wellen der Pumpe und des Elektromotors durch eine (Zedel-Voith, oder eine andere geeignete) Kuppelung miteinander verbunden.

In den letzten Jahren ist es der Firma Gebrüder Sulzer (Winterthur, Schweiz; Ludwigshafen, Rheinpfalz) gelungen, durch eine einzige Hochdruck (sog. Verbund-)

\*) Die von der Firma Haniel und Lueg für die Harpener Bergbau-A.-G. erbaute größte Maschine der Düsseldorfer Ausstellung (1902): „Unterirdische, liegende Zwillings-Tandem, dreifach Expansions- und Kondensations-Dampfmaschine, welche direkt mit der Wasserhaltungsmaschine gekuppelt war, 25 cbm Wasser in 1 Min. auf 500 m Höhe wältigen und dabei sehr ökonomisch arbeiten sollte, durfte nach der Garantie nur 6,7 kg bis 6,8 kg Dampf von 12 Atm. in 1 Stunde für 1 Pferdekraft verbrauchen. Für die indizierte Pferdekraft waren 5,6 kg Dampf in der Stunde garantiert.

Kreiselpumpe eine Wasserwältigungshöhe von 250 m (anstatt 12 bis 20 m wie bisher) dadurch zu erzielen, daß der Wasserdruck stufenweise in mehreren (meist 4) aufeinander folgenden mit Leitschaufeln versehenen Kammern bis zur vollen Druckhöhe gesteigert wird, indem die feststehenden Leitschaufeln durch die Flügelräder erzeugte lebendige Kraft des Wasserstromes in Druck verwandeln\*). Zur Ausführung sind gelangt (Gewerkschaft Victor, Westfalen) Wältigungshöhen bis zu 520 m. (Die Anlage ist weiter unten beschrieben.)

Durch die Sulzer Kreiselpumpe (Figg. a, b, c, d)\*\*) ist der Wirkungskreis dieser Pumpengattung sehr erweitert. Zumal sie sich noch besonders dadurch vor den Kolben-Pumpen auszeichnet, daß sie nicht wie diese Ventile erfordert und infolgedessen unempfindlicher bei unreinem Wasser ist.

In Bergwerksbetrieben haben sich die Kreisel-Pumpen der Gebrüder Sulzer deshalb auch als Abteufpumpen in der Einrichtung, welche durch die S. 259 abgebildete Figur e) angedeutet ist, bereits eingeführt und bewährt. Und es ist nicht unwahrscheinlich, daß sie neben den bislang benutzten Dampf-Senkpumpen (Kolben-Dampfpumpen und Pulsometern) und den schwerfälligen Gestänge (Rittinger)-Pumpen in Zukunft einen hervorragenden Platz einnehmen werden, weil sie in erhöhtem Grade die Vorzüge aufweisen, die bereits oben an den elektrisch angetriebenen Wältigungs-Pumpen überhaupt hervorgehoben wurden.

Der zum Schutz gegen Wasser und heranfliegende Sprengstücke mit seinem Anlasser vollständig eingekapselte (Drehstrom-) Elektromotor sitzt mit dem Kreisel-Rade auf einer gemeinschaftlichen lotrechten Welle, deren Zapfendruck durch Kugellager aufgenommen wird.

Das verzweigte Saugrohr führt an zwei einander gegenüberliegenden Stellen der Pumpe die Wasser von oben zu, um durch hydraulischen Gegendruck ebenfalls den Zapfen der Pumpenwelle zu entlasten und damit die Zapfenreibungsarbeit zu vermindern. Das ebenfalls verzweigte Steigrohr führt dann vom unteren Teile der Pumpe die gewältigten Wasser zu beiden Seiten des Pumpenkörpers nach oben ab.

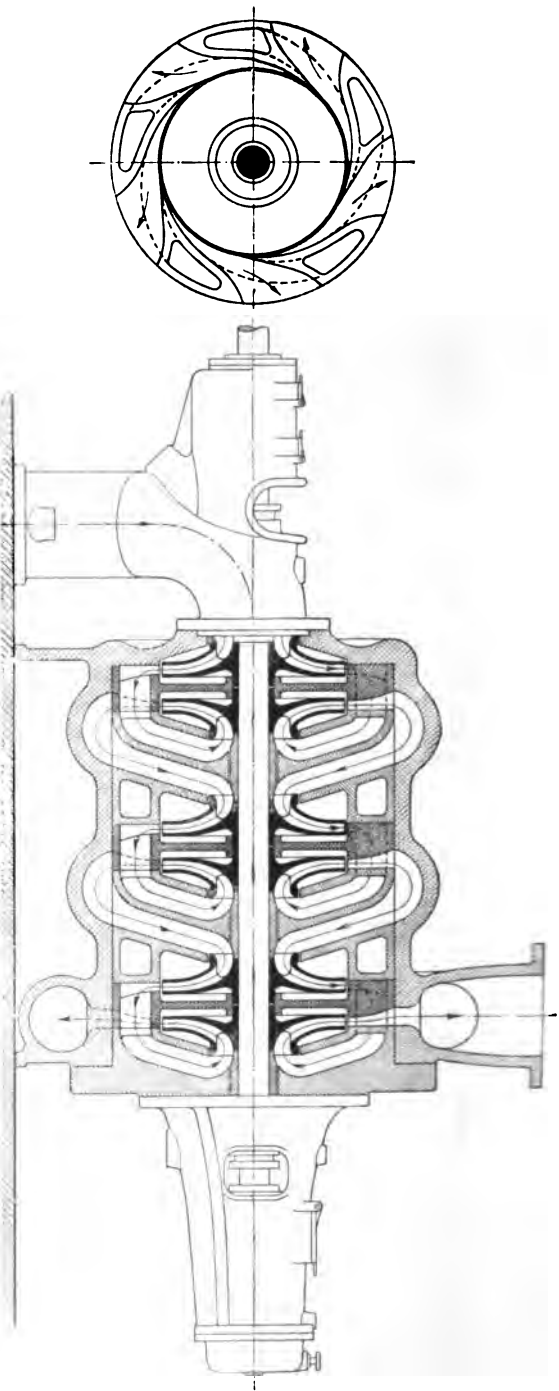
Durch Steigeisen am Gestell der Pumpe ist diese bequem zu besteigen.

Das Heben und Senken der am Seile hängenden Pumpe erfolgt durch eine Windevorrichtung an der Hängebank des Schachtes, die entweder vor Hand oder durch einen besonderen Elektromotor betätigt wird.

Die Vorzüge der Drehstrom-Kreiselpumpe sind, wie schon aus dem Früheren hervorgeht: geringer Raumbedarf, Einfachheit, Betriebssicherheit, Dauerhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit, Umgehung lästiger, Raum und Kraft beanspruchender Übersetzungsgetriebe durch unmittelbare Kuppelung zwischen Pumpe und Elektromotor, leichte Fundamentierung, weil keine hin- und hergehende Massen vorhanden sind, gleichmäßiger Gang, ohne Zuhilfenahme besonderer Schwungmassen, die bei Kolben-

\*) Diese Sulzer Hochdruck-Kreiselpumpen können im Wesen als eine Umkehrung der Überdruckturbinen aufgefaßt werden, durch deren Leitschaufeln der Wasserdruck in lebendige Kraft verwandelt wird, und erinnern an den vom Ingenieur Kley (Bonn) bei den Gruben-Ventilatoren wohl zuerst angewandten „Diffusor“. Durch diesen, das Flügelrad umgebenden, allmählich sich erweiternden Kanal wird die Geschwindigkeit der aus dem Flügelrade ausgetretenen Luft vermindert und entsprechend deren Spannung erhöht, ohne daß dadurch eine weitere Leistung seitens des Ventilators beziehungsweise der Antriebsmaschine erforderlich ist. Entsprechendes gilt für die Sulzer-Kreisel-Pumpen.

\*\*\*) Die Figur a zeigt eine Pumpe mit 3 mal 2 Flügelrädern, also 6 Stufen, und durch Pfeile den eigentümlichen Verlauf des Wassers durch die 6 hintereinander geschalteten Räder zur Vermeidung des einseitigen Reaktionsdruckes auf die Welle. Die Wältigungshöhe ist proportional der Stufen-Zahl. Die Figur b zeigt die auf die Welle aufgekeilten Flügel-Räderpaare; Fig. c den inneren Teil der Pumpe mit den feststehenden, nach außen sich erweiternden gekrümmten Leitkanälen zur Verwandlung der lebendigen Kraft des Wassers in Druck; Fig. d den inneren Teil mit den Leitkanalöffnungen zur Überführung des gepreßten Wassers von einem Rade zum folgenden durch die in dem fortgenommenen Mantel angebrachten Kanäle.

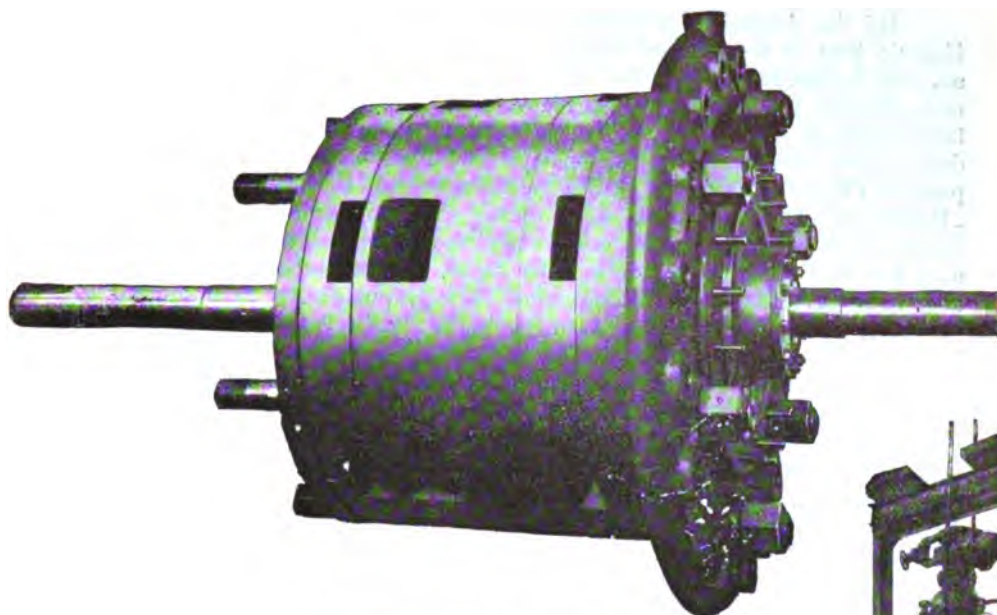


a) Sechsstufige Hochdruck-Zentrifugalpumpe der Gebrüder Sulzer.



b) Flügel-Räderpaare.

c) Der innere feststehende Teil mit den Leitkanälen.



d) Das Innere der Sulzer-Pumpe ohne Mantel.

pumpen erforderlich sind, leichtes Anlaufen der unter Druck stehenden Pumpe, die deshalb keine Anlaßvorrichtungen nötig hat, wie die Kolbenpumpen, Veränderung der Fördermenge durch teilweises Schließen der Druckleitung, wobei die Kraftentnahme vom Elektromotor sich von selbst regelt, geringer Schmiermaterialverbrauch, Laufen ohne besondere Wartung.

#### Bewährte Ausführungen elektrisch angetriebener Wältigungs-Pumpen.

##### a) Hochdruck-Kreiselpumpen.

Da die elektrisch angetriebenen neuen Hochdruck-Kreiselpumpen schon heute in der Wasserwältigungsfrage eine hohe Bedeutung gewonnen und unzweifelhaft eine Zukunft haben, so beginnen wir mit ihnen. Im folgenden sollen zunächst kurz die Umstände geschildert werden, welche die Grubenverwaltung in Horcajo in Spanien\*) veranlaßten, die erste größere bergmännische Anlage dieser Art allen anderen bislang bekannten und erfolglos versuchten Wasserwältigungsarten vorzuziehen. Durch die im Winter 1898/99 in Betrieb gesetzte Wasserwerksanlage der Stadt Genf, in welcher 22,5 cbm Wasser in 1 Minute auf 140 m Höhe durch eine einzige Hochdruck-Kreiselpumpe gehoben wurden, war die Aufmerksamkeit auf die neue Wältigungsmethode gelenkt.

\*) Wasserhaltungsanlage der Compañia Minera y Metalúrgica del Horcajo (beschrieben in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure von Dr. Heerwagen 1901).



e) Abteufpumpe der Gebr. Sulzer.

Bei der Auswahl des Systemes für die Wasserwältigung der Silbergrube von Horcajo kam es weniger auf äußerste Sparsamkeit im Kohlenverbrauch als darauf an, eine Anlage zu schaffen, die es ermöglichte, bei größter Betriebsicherheit leichter und schneller wie bisher in die Tiefe vorzudringen. Bis auf 390 m Tiefe war man bereits gelangt durch eine gewöhnliche Cornwall-Pumpmaschine mit Holzgestängen, dann durch eine große Gestängepumpe mit Rotationsbewegung, zweifacher Expansion (Woolf), Balancier, Zwillingsgestänge und Rittingersätzen (einer sogen. „Rotativa“). Und als auch diese durch häufige Gestängebrüche die größten Schwierigkeiten bereitete, hatte man es mit unterirdischen Dampfmaschinen und zuletzt auch mit Preßwasserpumpen, also einer sogen. „hydraulischen“\*) Wasserwältigung, aber in allen Fällen ohne befriedigenden Erfolg, versucht.

Die neue Wasserwältigungsanlage sollte imstande sein, späterhin täglich 6900 cbm Wasser auf 500 m zu heben, ohne daß zeit- und geldraubende Sumpfstrecken hergestellt würden. Dampfmaschinen sollten nicht verwendet werden wegen der erforderlichen kostspieligen unterirdischen Maschinenräume, Fundamente und Montage und besonders auch, weil deren Einbau die Ausführung des festgestellten Betriebsplanes verzögert hätte. Auch sollte der Dampf in den Grubenräumen vermieden werden. Die nun geplante große Gestängepumpe, angetrieben durch eine Verbunddampfmaschine mit Balancier, für welche Offerten von hervorragenden Firmen Frankreichs, Belgiens, Deutschlands eingegangen waren, mußte aufgegeben werden, weil während der ausbedungenen langen Lieferungsfristen der Grubenbetrieb ins Stocken geraten wäre.

Inzwischen hatten Gebrüder Sulzer ihre Hochdruck-Zentrifugalpumpen ausgebildet, welche unmittelbar mit Elektromotoren gekuppelt, alles versprochen, was man dort wünschte und bislang nicht erreicht hatte:

Rasche Ausführbarkeit der Neuanlage, verhältnismäßig geringe Anlagekosten wegen der ausreichenden geringen Pumpenräume, einfachen Ein- und Aufbau der Maschinen, die auf gemeinsame Grundplatte gestellt, nur ein unbedeutendes Fundamentmauerwerk erforderten. Im Juli 1898 wurde die Anlage bestellt, am Anfange des Jahres 1900 in vollen Betrieb genommen und ist dauernd bis heute in unveränderter Regelmäßigkeit im Betriebe, abgesehen von 10 bis 15 Stunden Stillstand im Monat.

Sämtliche vierfache Kreiselpumpen, je in Kammern neben dem Schacht in etwa 143 m saigerer Teufe voneinander entfernt aufgestellt, sind mittelst geschlossener Rohrleitung zu einem einzigen Satz derart miteinander vereinigt, daß jedes Steigrohr zugleich das Saugrohr der darüber stehenden Pumpe bildet und nur die Gesenkpumpe ein offenes mit Saugkorb versehenes Saugrohr besitzt. Die oberen Pumpen erhalten demnach das Wasser unter Druck ohne irgendwelchen Luftzutritt. Die Kreiselpumpen arbeiten bei gleicher Umdrehungszahl vollständig übereinstimmend. Erforderlichenfalls kann eine bereitstehende Reservepumpe nebst Elektromotor schnell eingebaut werden. Der große Vorteil der Wasserwältigung für den dortigen Betrieb wird darin gefunden, daß „jede Pumpstation ohne Störung des bestehenden Betriebes fertig montiert und erprobt werden kann und daß dann schließlich zum Anschluß an die vorhandene Rohrleitung ein ganz kurzer Stillstand genügt, worauf sofort der erweiterte Betrieb fortgesetzt werden kann.“

In den Pumpen selbst sitzen auf einer Nickelstahlwelle vier Flügelräder von 500 m Durchmesser, eingeschlossen auf beiden Seiten zwischen feststehenden Scheiben, durch deren Leitschaufeln die lebendige Kraft des in ihnen ankommenden Wasserstromes in Druck umgewandelt wird. Auf der Wirkung dieser Leitschaufeln beruht der hohe Nutzeffekt (75 %) dieser Pumpen und auch die große Förderhöhe,

\*) Diese seinerzeit sehr beliebten Maschinen sind unter „Kraftübertragung“ behandelt.

welche leicht erzielt wird. Die Pumpen der Anlage liefern 4,5—4,8 cbm Wasser in 1 Minute auf 143 m Höhe bei 890 Umdrehungen in 1 Minute und gewährleisten nach den mit ihnen angestellten Versuchen einen Wirkungsgrad 0,76. Die Welle durchsetzt den Saughals in einer mit weicher Baumwolle gedichteten Stopfbüchse und tritt dann in ein Ringschmierlager. Alle inneren, auf der Welle aufgekeilten Teile der Pumpe können mit dieser nach Entfernung der Kuppelungscheibe und des Pumpen-Deckels mit einem Male aus dem Pumpengehäuse mittelst eigens dazu bestimmter langer Abdruckschrauben herausgedrückt und nachgesehen, bzw. vom Schlamm gereinigt werden, was alle 2—3 Monate erfolgen sollte und etwa 4—5 Stunden Zeit erfordert. Die Flügel- und Leiträder sollen sich über Erwarten gut halten, obschon das Wasser sehr schlammig ist und namentlich viel kleine Quarzstücke mit sich führt. Nur große Stücke Holz und Steine sind durch Saugsiebe im Sumpf abzuhalten.

Der Antrieb-Drehstrom-Elektromotor, von der Firma Brown, Boveri & Cie., A.-G., Baden-Schweiz, geliefert, ist 6 polig und läuft mit  $n = 850$  bis 900 Umdrehungen in 1 Minute. Nach Angaben der Firma ist bei 1000 Volt und 250 Pferdekraften der Wirkungsgrad  $\eta = 0,94$  und der Leistungsfaktor  $\cos \varphi = 0,85$ ; bei 150 Pferdekraften  $\eta = 0,92$  und  $\cos \varphi = 0,80$ . Die Schlüpfung des Ankers gegenüber dem Drehfelde ist außerordentlich gering, etwa 0,7 v. H. bei 165 Pferdekraften Elektromotorleistung.

Der Elektromotor war für den Einbau eines Spulenankers mit Schleifringen für Anlaufwiderstände eingerichtet, aber es wurde der probeweis gewählt und bewährte Kurzschlußanker beibehalten. Angestellte Versuche zeigten, daß die beim Anlassen des Elektromotors entwickelte Anzugskraft hauptsächlich nur zur Beschleunigung des Ankers (Rotors) verwendet wurde, denn nach Anschluß der leer laufenden Kreiselpumpe war die Anlaufzeit bis zur vollen Umfangsgeschwindigkeit nahezu dieselbe, nämlich 75 Sek. Die Anlaufperiode bei gefüllter Pumpe betrug auch nur 100 Sek. Die Versuche wurden mit 235 Ampère ausgeführt.

Sehr vorteilhaft für den unterirdischen Einbau war es, daß der Elektromotor mit nur 1,43 m größtem Durchmesser nur eine kleine Pumpenkammer beanspruchte und sein Gewicht von nur 4850 kg beim Fortschaffen durch Schacht und Strecken ebenfalls keine Schwierigkeiten bereitete. Die Erwärmung des ventiliert gekapselten Elektromotors hält sich in durchaus zulässigen Grenzen. Auch die Isolation mußte eine harte Probe bestehen. Ein unter Wasser gekommener Elektromotor wurde, nachdem er mehrere Stunden darin liegen geblieben war, durch Kohlenfeuer getrocknet und verrichtete ohne nachteilige Folgen bald darauf seine Arbeit. Der Elektromotor steht mit seiner Pumpe auf gemeinschaftlicher Platte ohne jegliche Fundamentierung und kann soweit zurückgezogen werden, daß die Kuppelung gelöst und Pumpe oder Elektromotor sofort ausgewechselt werden können, falls es erforderlich sein sollte. Als besonderer Vorzug der neuen Wältigungsmethode wird hervorgehoben, daß die Anlage sicher und ohne Umstände von Sohle zu Sohle nach unten weiter fortgeführt werden kann und daß „eine Abnutzung der wirksamen Teile der Hochdruck-Kreiselpumpen bis jetzt (1906) durch unreines Gruben-Wasser überhaupt nicht nachweisbar ist.“

Wegen näherer Angabe über die eigenartige Anlage sei auf die Quelle verwiesen; dagegen mag folgendes Verzeichnis beweisen, wie rasch die neue Sulzer Hochdruck-Kreiselpumpe bei bedeutenden Werken sich eingeführt hat.



**Verzeichnis einiger von Gebrüder Sulzer\*) ausgeführter Hochdruck-Zentrifugalpumpen.**

Stück	Gehobenes Wasser cbm p. Min.	Förderhöhe Meter	Ort der Aufstellung und Empfänger.
1	2,25	140	Wasserwerk der Stadt Genf.
6 je	4,8	130—143	Compañia Minera y Metalurgica del Horcajo.
2 je	2,5	140	Société des Hauts-Fourneaux de Bielaia (Donetz)
1	1,5	160	Gräflich Henckel von Donnersmarcksche Bergverwaltung in Raibl bei Tarvis in Kärnten.
2 je	1,5	104	Gewerkschaft ver. Konstantin der Große, Bochum.
1	4,2	100	Eidg. Polytechnikum, Zürich.
1	1,5	100	Wasserwerk der Gemeinde Oerlikon.
2 je	2,0	90	Steinkohlenwerk Karl G. Falck, Bockwa.
4	5,5	65	Tiefbauamt Frankfurt a. M., Pumpwerk Goldstein.
2 je	6,6	40	Gräfl. Henckel v. Donnersmarcksche Berg- und Hüttenverwaltung, Antonienhütte O. S., Radzionkaugrube O. S.
1	2,0	60	dito für Bergverwaltung Raibl bei Tarvis, Kärnten.
1	3,0	160	Wasserwerke der Stadt Köln.
1	2,5	60	Bergwerk Höganäs, Schweden.
2 je	2,5	110	Cie. des Mines de Houilles de Marles à Auchel.
1	0,9	60	Eisenhütten-Aktienverein Düdelingen.
2 je	6,0	28	Les Petits-Fils de C. J. Bonnet & Cie., Lyon.
1	1,0	30	Baugesellschaft f. d. Simplontunnel, Brandt, Brandau & Cie., Brig, Wallis.
1	1,5	50	Société anonyme de Produits chimiques et électrochimiques Hemixem-lez-Anvers, Belgique.
3 je	2,0	26	Generaldirektion der Grafen Henckel von Donnersmarck-Beuthen, Carlshof bei Tarnowitz, Neuhofgrube Scharly O. S.
1	2,0	110	Baugesellschaft f. d. Simplontunnel, Brandt, Brandau & Cie., Brig, Wallis.
2 je	4,8	220	Société anonyme John Cockerill, Seraing, Belgique.
1	10,0	35	Mansfeldsche Kupferschieferbauende Gewerkschaft, Eisleben.
1	2,52	50	Eintracht A.-G. für Braunkohlenbergbau, Berlin, Grube Clara II. (3 Pumpen nachbestellt 1905.)
1	9,0	25	Aktiengesellschaft für Eisen- und Kohlenindustrie Differdingen-Dannenbaum, Luxemburg.
2 je	1,5	100	Brüxer Kohlen-Bergbau-Gesellschaft Brüx, Ossegg b. Teplitz.
1	3,0	100	Brüxer Kohlen-Bergbau-Gesellschaft Brüx, Ossegg b. Teplitz.
1	1,5	48	Röchlingsche Eisen- und Stahlwerke, Völklingen a. d. Saar.
1	1,9	25	Röchlingsche Eisen- und Stahlwerke, Völklingen a. d. Saar.
1	2,5	50	Gesellschaft für Naphthaindustrie Baku.
1	1,0	100	Aktiengesellschaft des Steinkohlenbergwerks Nordstern, Buer, Westfalen.
1	3,0	60	Gewerkschaft Burbach, Kaliwerk, Beendorf b. Helmstedt.
2	7,0	525	Gesellschaft Victor (zusammen auf Druck gekuppelt) Rauxel, Westfalen. (Wegen vergrößerter Zuflüsse nachbestellt 2 Pumpen 6,5 cbm × 525 m in je einer Pumpe.)
2 je	8,0	40	Rombacher Hüttenwerke, Lothringen.
1	4,0	40	Hütte Phoenix, Laar b. Ruhrort.
1	2,3	160	Westböhmischer Bergbau-Aktien-Verein Schatzlar.

\*) Winterthur (Schweiz) und Ludwigshafen (Rheinpfalz).



Stück	Gehobenes Wasser obm. p. Min.	Förderhöhe Meter	Ort der Aufstellung und Empfänger.
1	2,0	124	Bergwerksgesellschaft Hibernia, Herne, Westfalen.
1	1,6	40	Rombacher Hüttenwerke, Rombach, Lothringen.
2 je	3,0	92	Fürst Pleßsche Bergwerksverwaltung, Waldenburg, Schles.
2 je	4,0	190	Direktion der Bergwerke der Warschauer Gesellschaft für Kohlenbergbau und Hüttenbetrieb, Niemce pr. Granica.
1	7,0	22	Röchlingsche Eisen- und Stahlwerke, Völklingen a. d. Saar.
1	7,0	42	Röchlingsche Eisen- und Stahlwerke, Carlshütte bei Diedenhofen.
1	8,4	280	Direccion de la Compañia de Real del Monte y Pachuca, Mexico.
2 je	30,0	28	Städtisches Kanalpumpwerk an der Dobrastraße Warschau.
1	12,0	21	Gutehoffnungshütte, Oberhausen, Rheinl.
3 je	3,0	165 }	Gräfl. Henckel v. Donnersmarcksche Berg- und Hüttenverwaltung, Hillebrandschacht O. S., Radzionkau-grube O. S.
1	10,0	315 }	
2 je	4,0	90 }	Donnersmarckhütte Zabrze, Adolfschacht, O. S. (hier von 3 Abteufpumpen).
4 je	8,0	160 }	
1	10,5	83	Compañia anonima Ahlemeyer, Bilbao, Santander.
1	2,5	50	Mansfeldsche Kupferschieferbauende Gewerkschaft, Eisleben.
1	15,0	40	Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft Kattowitz, Friedenshütte.
4 je	8,0	20	Königliches Hüttenamt Gleiwitz, Oberschlesien.
1	1,25	32	Bergwerksgesellschaft Hibernia, Herne, Zeche Schlägel & Eisen (Nachbestellung).
3 je	0,9	60	Cie. des Mines de Houilles de Marles à Aichel, France.
2 je	1,25	227	Vereinigte Königs- und Laurahütte, Dubenskogrube O. S. (zusammen auf Druck gekuppelt).
5 je	1,8	60	Société anonyme des eaux du Caire (Cairo).
2 je	4,0	75	Achener Hütten-Aktien-Verein, Rote Erde bei Aachen (Abteufpumpen).

### Hochdruck-Kreiselpumpe auf Zeche Viktor bei Rauxel (Westfalen).

Im Anschluß an die Anlage in Horcajo verdient die bereits oben genannte, auf Zeche Viktor bei Rauxel (Westfalen) im Jahre 1903 ausgeführte Anlage Erwähnung, die sich von der ersteren durch die Aufstellung der beiden Hochdruck-zentrifugalpumpen unterscheidet. Dieselben liegen 520 m unter Tage in einem Raume nebeneinander. Als die Gewerkschaft im Jahre 1901 größere Mengen Wasser erschotete, wurde beschlossen, zur Wältigung dieser Mengen eine nach System Sulzer ausgeführte Wasserhaltung anzulegen. Die Kraft liefert eine Verbund-Dampfmaschine für (Heißdampf) gebaut von 113 Umdrehungen i. d. Min. und 1400 ind. Pfdkr., die auf eine auf die Maschinenwelle aufgekeilte A. E. G. Drehstrom-Dynamom. arbeitet. Letztere erzeugt 130 A bei 5000 Volt Spannung. Die Erregung der Feldmagnete erfolgt von einer Gleichstromdynamom. von 110 V und 27 KW aus, von denen jedoch nur 15 KW erforderlich sind, die übrigen dienen Beleuchtungszwecken. Die elektrische Energie wird durch ein dreifach verseiltes, eisenarmiertes Hochspannungskabel für max. 6000 V Betriebsspannung in den Schacht geleitet und hier alle 10 m durch geeignete Klammern am Schachtstoße fest verlagert. Die Pumpenstation liegt 520 m unter Tage und besteht aus zwei gleichen, nebeneinander befindlichen Systemen. Jedes System hat einen Drehstrommotor von 600 Pferden bei 1040 Umdrehungen i. d. Min., der mit der Hoch-

druckzentrifugalpumpe direkt gekuppelt ist. In den Pumpen sind 4 nebeneinander angeordnete Kammern mit entsprechenden Flügelrädern hintereinander geschaltet, deren jede einen Druck von 6,5 Atm. erzeugt. Die Arbeitsweise ist nun folgende: Das erste System hebt das Wasser aus dem unmittelbar darunter befindlichen Sumpfe und erteilt demselben einen Druck von 26 Atm. Das zweite System bringt dieses Wasser auf einen Druck von 52 Atm. und führt es durch die Steigleitung zutage. Die Anlage ist so bemessen, daß sie 7 cbm i. d. Minute zutage hebt und arbeitet zur vollsten Zufriedenheit.

Die Anlage lieferte Gebrüder Sulzer, Winterthur u. Ludwigshafen a. Rh., den elektrischen Teil die A. E. G. Berlin.

**Übergaberversuche vom 27. Juni 1903.**

Dampfmaschine	{	Hochdr.-Zyl. warm 761,06 mm Durchmesser
		Niederdr.-Zyl. „ 1250,8 „ „
		Kolbenstange 150 „ „ Hub: 1100 mm
Wassermessung mit Überfall nach Frese	{	Breite $b = 0,65$ m,
		Kanaltiefe 0,5 m unter der Schneide,
		$h =$ Überfallhöhe in m,
		$H = h + 0,5$ m,
		$Q = 60 (0,41 h + 0,0014) \cdot b \cdot \sqrt{2gh} \left[ 1 + 0,55 \left( \frac{h}{H} \right)^2 \right]$ Wasser-
		menge in cbm/Minute.

Uhr	Mittlere Diagrammhöhe in mm				Generator		Erregung		Überfall- höhe in mm
	Hochdruckzyl.		Niederdruckzyl.		Amp.	Volt	Amp.	Volt	
	vorn	hinten	vorn	hinten					
6.45					106	5050	137	109,5	222,5
50	24,48	25,80	27,90	25,80	106	5050	137	109	222,8
55					105,5	5045	136,5	109	222,0
7.00	24,06	25,50	27,66	27,30	105	5050	137	112	221,5
5					105	5050	137	112	221,5
10	24,00	25,08	29,10	27,30	105	5050	137,5	112,3	222,1
15					103,5	5050	137,5	111	220,5
20	22,86	24,30	28,20	27,60	103,5	5055	137,5	111	219,9
25					103	5060	137,5	111	220,0

Mittel	23,85	25,17	28,215	27,00	104,7	5051	137,2	110,7	221,4
Federm.	7,81	7,82	25,47	24,46	$\cos \varphi = 0,923$				
	<u>3,054</u>	<u>3,219</u>	<u>1,1078</u>	<u>1,1038</u>	846 KW		15,2 KW.		

	$3,136$				$1,1058$				
	$n = 100,9$ (Umdrehungen)				$Q = 7,86$ cbm/Min.				
$N_i$	<u>736,5</u>				<u>718,5</u>				Pumpenpferde 898
	1455 ind. Pferde				Gesamt-Wirkungsgrad $\frac{898}{1455} = 61,7\%$				

$$\frac{N_i}{Q} = \frac{1455}{7,86} = 185,1$$

**Zusammenstellung.**

Dampfmaschine		Generator		Erregung		Pumpen			Ni/Q	Gesamt-Wirkungsgrad %
Umdr.	Leistung	Amp	Volt	Amp.	Volt	Q cbm/Min.	H <sub>max.</sub> Meter	Umdr. n		
109,9	1455 N <sub>1</sub>	104,7	5051	137,2	110,7	7,86	514	998	185,1	61,7

b) Elektrisch angetriebene Kolben-Pumpen.

**1. Wasserhaltungsanlage zu Bockswiese bei Lautenthal.**

Die Primär- und Sekundär-Station dieser Anlage befinden sich unter Tage. Im Hoffnungsstollen des Schachtes Johann Friedrich wird eine Wasserkraft von durchschnittlich 6,6 cbm pro Minute bei einem Gefälle von 30 m durch eine Turbine der Firma Escher, Wyß & Co. in Ravensburg ausgenutzt. Die minutliche Umdrehungszahl dieser Turbine beträgt 750. Mittels einer Lederkuppelung ist mit dieser Turbine eine Gleichstrom-Dynamo gekuppelt, welche bei einer Kraftaufnahme von 33,5 Pferd. und 750 Umdrehungen in der Minute 22 KW bei einer Spannung von 500 V leistet. Von der Primärstation führt ein Schachtkabel von 35 qmm zu der auf der 8. Strecke in einer Entfernung von 320 m aufgestellten Hauptpumpe. Diese Pumpe, eine horizontale vierfach wirkende Zwillinge-Plunger-Pumpe der Firma Weise & Monski, Halle (Saale), fördert 1,5 cbm pro Minute auf eine Höhe von 47 m. Der Antrieb der Pumpe erfolgt mittels Zahnradvorgelege von einem regulierbaren Nebenschlußmotor aus. Der EM leistet bei einem Effektbedarf von 194 KW und 440—880 Umdrehungen in der Minute 23,5 Pferde. Die Verwendung eines regulierbaren EMs hat den großen Vorzug, daß in wasserarmen Zeiten, wo die Primärkraft sinkt und für die Leistung der Pumpe von 1,5 cbm nicht ausreicht, der Stillstand der Wasserhaltungsanlage nicht eintritt, sondern die Leistung der Pumpe im Verhältnis zur vorhandenen Wasserkraft durch die Herabregulierung der Tourenzahl des EMs reduziert wird. Die Umdrehungszahl des EMs kann in den Grenzen des Verhältnisses 1 : 2 durch einen eingebauten Nebenschlußregulator ohne nennenswerten Verlust beliebig eingestellt werden. Von der Hauptpumpe führt ein Schachtkabel von 10 qmm zu der 90 m tiefer stehenden Senkpumpe von der Firma Wegelin & Hübner in Halle, welche ca. 100 l pro Minute bis zur Hauptpumpe fördert. Der Antrieb dieser Pumpe erfolgt ebenfalls mittelst Zahnradvorgelege von einem 2 1/2 pferdigen Gleichstrommotor, dessen Tourenzahl jedoch nicht regulierbar ist.

**2. Elektrisch betriebene Wasserwältigung,**

ausgeführt für das Stahlwerk Hösch, Zeche Kaiserstuhl II in Dortmund von der Maschinenfabrik Oerlikon (Zürich).

(Durch das Folgende soll dem schon durchgebildeten Elektro-Maschinentechniker ein Beispiel gegeben werden, wie das Wichtigste einer bedeutenden Betriebsanlage in nur kurzen Sätzen doch ziemlich vollständig enzyklopädisch aufgezeichnet werden könnte.)

**Begründung.** Beim Abteufen der beiden Schächte der Zeche Kaiserstuhl II wurden 3—4 cbm/Min. Wasser ober- und unterhalb des ersten Grünsandes, insgesamt beim Abteufen 7—8 cbm Wasser in den Mergelschichten angetroffen. Bis 1899 besaß die Schachtanlage Kaiserstuhl II nur eine hydraul. Wasserh. (Kasalowsky), welche 4 cbm/Min. aus 300 m zu heben vermochte und zu den ersten in Betrieb genommenen derartigen Anlagen gehörte, deren Ein-

richtungen oben unter „E. Elektr. Kraft-Übertragung und Verteilung“ kurz angedeutet wurde.

Eine zweite hydr. Wasserh. wurde, wegen der Betriebsstörungen durch die erste, nicht gewünscht.

Eine oberirdische Pumpenanlage war wegen Raummangels nicht ausführbar.

Eine unterirdische Dampf-Pumpe erschien wegen des hölzernen Ausbaues des 300 m tiefen Haupt-Schachtes unzweckmäßig.

Dagegen gestattet eine elektrisch angetriebene unterirdische Pumpe:

- a) einen geringen Maschinenraum im Schachte,
- b) den Betrieb zweier unterirdischen Streckenförderungen und
- c) eine unter- und oberirdische größere Lichtanlage.

Bedingungen. Die Pumpe sollte 5 cbm/Min. auf 400 m bei 5 Stunden Betriebszeit wältigen.

(Eine zweite kleinere Generatoranlage wurde bestimmt für  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Licht und} \\ \text{Streckenförd.} \end{array} \right\}$  während der stillstehenden Wasservältigung.)

Die Ausführung der Gesamtanlage (exkl. Kessel und Rohrleitung) wurde der Maschinenfabrik Oerlikon und der Firma Ladewig & Co. Dortmund übergeben, in Betrieb gesetzt im Mai 1901, arbeitet zu vollster Zufriedenheit mit dem Gesamtwirkungsgrade von 0,65—0,67 vom Indikatorpferd der Dampfmaschine bis zum abfließenden Wasser.

- 1. Kessel. 7 Atm.  $\left\{ \begin{array}{l} \text{ältere mit Siederohren} \\ \text{neuere mit Flammrohren} \end{array} \right\}$ . Dampfwässerung.
- 2. Dampfmaschine. a) Große Maschine, liegende Tandem-Compound  $\left\{ \begin{array}{l} 680 \text{ mm-Ventilsteuerung} \\ 1050 \text{ mm-Rundschieberst.;} \end{array} \right\}$  1200 mm Hub, N = 840 Pfd. bei n = 90/Min., ausgeführt von der Sundwiger Eisenhütte.  
b) Kleine Maschine, einkurbelige liegende Tandem-Compound  $\left\{ \begin{array}{l} 373 \text{ mm (Hochdruck)} \\ 580 \text{ mm (Niederdruck)} \end{array} \right\}$  N = 150 Pferde bei n = 105/Min., für  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Licht und} \\ \text{Streckenförd.} \end{array} \right\}$  ausgeführt von der Maschinenfabrik Reydt.

Später an Zentralkondens angeschlossen.

3. Generator. Großer Dreiphasenstrom, 840 Pferdekraft Aufnahmefähigkeit. Pol-Rad zugleich als Schwungrad auf der Dampfmaschinenwelle aufgekeilt. Seine Hauptbelastung bildet der große Elektromotor.

Die Polzahl der Anlage konnte deshalb so gewählt werden, daß:

- a) Polzahl des Generator nicht übermäßig klein; großer Durchmesser erwünscht, um das sehr große Schwungmoment zu erreichen. Würde dagegen die Polzahl des Generator zu klein gewählt, so müßten den  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Pol-Kernen und} \\ \text{Magnet-Spulen} \end{array} \right\}$  ungünstige Dimensionen gegeben werden.
- b) Polzahl des EM nicht übermäßig groß.

Auf Grund dieser Überlegung wurde die Periodenzahl zu 22,5 festgestellt, wonach sich ergeben für den  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Generator 30} \\ \text{Elektrom. 36} \end{array} \right\}$  Pole.

Der Generator hat 4,8 m Durchmesser, 10 mm Luftzwischenraum, 17 000 kg Schwungmasse. 2000 V Klemmen-Spannung, als Armatur 180 Nuten, 2 Nuten für Pol und Phase, in jeder Nute 7 Leiter aus 4 Paralleldrähten von 4,8/5,3 mm.

Die 30 Erreger-Spulen, in Serien geschaltet, besitzen 68 Windungen von 10/11 mm Draht. Die Gleichstrom-Maschine zur Erregung des Polrades ist nicht direkt am Generator angebracht, sondern wird durch besondere vertikal. Dampfmaschine angetrieben, um eine größere Manövrierfähigkeit zu sichern. Eine von der größeren Dampfmaschine unabhängige Erregung ermöglicht EM und Pumpe auch ohne Anlaßwiderstand in Betrieb zu setzen. Wirkungsgrad des Generators bei Vollbelastung etwa 0,94.

4. Der zweite Generator wird angetrieben von der 150 pferd. Maschine mittelst auf seiner Welle aufgekeilten Riemenscheibe von 0,5 m Breite und 1,165 m Durchmesser, macht  $n = 337/\text{Min.}$  und hat 0,8 m Bohrung, 48 Nuten und 12 Doppelspulen zu 30 Windungen von 4,0/4,6 mm. Die in Serie geschalteten Erregerspulen haben 182 Windungen von 4,8/5,2 mm Draht. Magnetrad Durchmesser = 0,79 m. Die Erregermaschine dieses Generators ist mit ihm direkt gekuppelt.

5. Pumpenkammer von 70,2 qm Grundfläche, 5,7 m Höhe ist in  $1\frac{1}{2}$  Stein starken Kappen gewölbt zwischen I Eisen von 0,4 m Höhe.

6. Pumpe für 5 cbm/Min. auf 400 m Höhe bei  $n = 75/\text{Min.}$  mit 0,225 m Plunger-Durchmesser und 0,6 m Hub ist ausgeführt von der Firma C. Hoppe-Berlin.

Größte Saughöhe 3 m. Einseitig wirkende Drillingspumpen, deren Kurbeln um  $120^\circ$  verstellt sind und Plunger unmittelbar zwischen Saug- und Druckventilen spielen, um die Beschleunigungswechsel der Wassermassen zu vermindern und damit eine gleichmäßigere Kraftentnahme und Geschwindigkeit in den Saug- und Drucksäulen zu erzielen. Mittels Verbindung der 3 Ventilräume durch Umlaufleitung und Umlaufhahn kann die Pumpe auf ihre Leistung gebracht werden. Saugräume sind durch Sicherheitsventile gegen zu hohen Druck geschützt und aus Gußeisen, die Druckräume aus Stahlguß.

Das Öl der Zentralschmierung für alle bewegten Teile wird in Ölrinnen in der Grundplatte gesammelt und abgeführt.

Mechanischer Wirkungsgrad der Pumpe inkl. Rohrleitung = 0,85.

Volumen-Wirkungsgrad der Pumpe = 0,95 entsprechend 5100 l Wältigung bei  $n = 75$  Umdr./Min.

7. Asynchroner-Dreiphasenstrom EM direkt mit Pumpe gekuppelt, leistet regelrecht 570 Pferde bei  $n = 75/\text{Min.}$  und bei größter Anzugskraft 20 0/0 mehr.

Bedingungen: Transport durch den Schacht von  $1,95 \times 2,05$  m Weite; Maximalgewicht 10 000 kg.

Die Schlüpfung\*) in der Geschwindigkeit des Elektromotors (= Unterschied der Winkel-Geschwindigkeit des Feldes und Ankers) wurde  $> 2\%$  gewählt, weil der rotierende Teil die ausgleichenden Schwungmassen der Pumpe aufnehmen sollte.

Die magnetische Streuung, also auch der Streuungskoeffizient (d. i. derjenige Prozentsatz der im magnetischen Felde erzeugten Kraftlinien, welcher durch die Luft verläuft, folglich nicht von den Wickelungen des Ankers geschnitten wird und damit in diesen auch keinen Strom erzeugt) wachsen außer mit der Polzahl noch besonders mit dem Luftzwischenraume zwischen dem feststehenden (Stator) und rotierenden Teile (Rotor) des EM's und müssen klein gehalten werden. Hierdurch wird die Herstellung der asynchronen Dreiphasenstrom EM mit kleiner

\*) Man rechnet 2% bis höchstens 10% Schlüpfung zwischen Leer- und Voll-Lauf. Schwankten z. B. auf die Minute reduziert die Umdrehungszahlen des Ankers und des Feldes zwischen 75 und 71,3, so betrüge die Schlüpfung  $\frac{75 - 71,3}{75} = 0,05 = 5\%$ .

Umdrehungszahl bzw. großem Durchmesser, wie sie für langsam laufende Pumpen erforderlich sind, sehr erschwert.

Der Streuungskoeffizient bedingt auch die magnetische Zugkraft und die günstigste Phasenverschiebung.

**Stator-Wicklung:** 162 Spulen mit Kupferdraht in 324 geschlossenen Nuten mit Mikanit ausgefüllt. Jede Spule aus 19 nackten parallel geschalteten Kupferdrähten von 3,6 mm Durchmesser hat nur 54 Lötstellen, da je 4 Spulen aus einer zusammenhängenden Drahtlänge gewickelt sind.

**Rotor-Wicklung:** 216 Spulen in 432 halbgeöffneten Nuten mit Mikanit ausgefüllt. Durchmesser 2,996 m, Gewicht 8000 kg, Luft-Zwischenraum zwischen Rotor und Stator 2 mm.

Die 3 Wicklungs-Enden stehen in Verbindung einerseits mit den drei Kurzschluß-Kontakten, andererseits mit drei gußeisernen Schleifringen, deren drei Schleifbürsten den induzierten Strom zu einem großen Anlaß-Widerstande aus Konstantanblech führen.

Mittels des Regulierwiderstandes kann bei regelrechtem  $n/\text{Min.}$  des Generators der EM mit voller Zugkraft bei regelrechtem Strom  $i$  anlaufen. Sobald der EM die regelrechte Umdrehungszahl  $n$  erreicht hat, wird mittelst Handrades und Zahngetriebes eine mit dem Rade rotierende Kurzschlußvorrichtung bewegt, welche die Wicklungen des Ankers in sich kurz schließen.

Da der Generator außer dem großen EM noch den kleinen EM zu speisen hat, konnte das Anlassen des EMs mit Kurzschlußwicklung nicht gleichzeitig mit dem Anlassen des Generators ausgeführt werden (was Oerlikon bei der französischen Bergwerksanlage der Compagnie des mines de Roche-la-Moliere et Firming, Schacht Monterrad ermöglichte).

Stator und Rotor sind wegen des Transportes durch den Schacht in 2 Halbkreisbogen zerlegt; deshalb die Wicklungen in beiden Teilen nach besonderem Schema ausgeführt wurden, wobei es nur auf wenige Lötstellen ankommt.

8. Mechanische Konstruktion des EMs. Stator und Rotor mußten gegen die Formveränderungen infolge der magnetischen Zugkräfte gesichert werden. Das Gehäuse ist u. a. versteift durch 2 Gußsterne mit 6 Armen, welche auf beiden Lagerstellen aufsitzen. Durch eine Probe wurde festgestellt, daß bei einer exzentrischen Einstellung des Rotors trotz der größten magnetischen Sättigung keine Veränderung des Luftzwischenraumes sich ergab.

9. Die Schmierung der Lager wird durch eine kleine Sulzersche Ölpumpe besorgt.

10. Das fertige Gehäuse hat 4,0 m äußeren Durchmesser, 0,9 m Breite, 3,0 m Abstand der beiden Lagerfüße. Der EM wiegt im ganzen 28000 kg, das Eisenblech 9000 kg, das Kupfer 1400 kg; der rotierende Teil 11000 kg.

11. Messungen am Elektromotor in der Werkstatt ergaben:

Widerstand der Wicklung einer Phase des Stators = 0,4 Ohm

„ „ „ „ „ „ Rotors = 0,016 „

(Statorwicklung ist in Dreieckschaltung ausgeführt.)

Bei leerlaufendem EM mit  $n = 75$  ergaben sich: 1900 V, 62 A, 22,5 Perioden, 16000 Watt.

Bei ruhendem EM (und Kurzschlußstrom bei kurzgeschlossenem Rotorstromkreis) 390 V, 110 A, 22,5 P (600 V, 200 A Bremsstrom).

Als Streuungskoeffizient folgt hieraus für 190 A Belastung  $k = 0,1$  und für höhere Stromstärken ein geringerer Wert.

12. Verluste für Reibung und Ventilation betragen etwa 3500 Watt.

13. Die Erwärmung des Eisens bei Leerlauf betrug  $18^{\circ}\text{C}$  über Umgebung.

14. Bei normaler Belastung wird der EM etwa 170 A aufnehmen mit 0,82 Leistungsfaktor, 0,92 Wirkungsgrad bei 2,7 Schlüpfung.

15. Das maximale Drehmoment = 11500 mkg ist gleich dem Doppelten des Normalen.

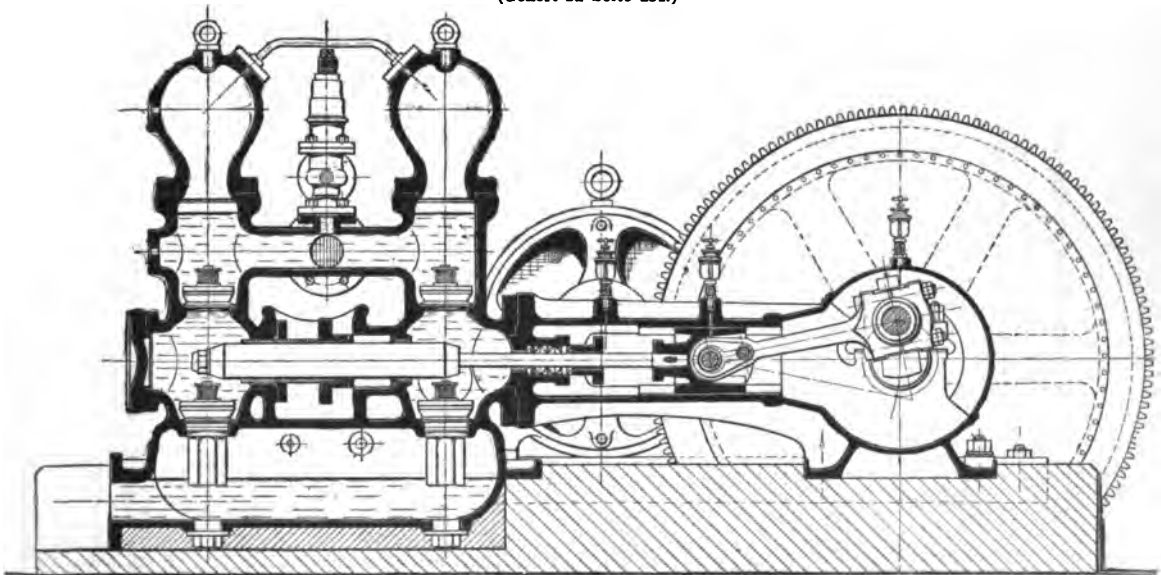
Diese Werte sind günstig in betreff der sehr kleinen Umdrehungszahl und des beschränkten Raumes.

### 3. Sole-Pumpwerk zu Plömnitz bei Bernburg.

Die folgende Anlage verdient unsere besondere Beachtung, weil ihr elektrischer Teil zu den ersten Einrichtungen ihrer Art gehört und bislang völlig störungsfrei gearbeitet hat. Dagegen mußten nach gefälligen Mitteilungen des Herrn Bergwerksdirektors Bongardt die aus Stahlguß bzw. Gußeisen hergestellten Ventilgehäuse, Windkessel, Plunger und Stopfbüchsen, nach kurzer Zeit durch stärkere Stücke aus Phosphorbronze ersetzt werden, die nun dem korrodierenden Einflusse der Sole und dem hohen Drucke von 60 Atm. widerstanden haben. Aus demselben Grunde mußten auch die patentgeschweißten schmiedeeisernen Druckleitungsrohre von 5, 6, 7 mm Wanddicke mit Dichtungsringen aus Weichkupfer durch 10, 11, 12 mm starke patentgeschweißte Rohre mit Gummidichtung ersetzt werden, welche sich als haltbar und dicht erwiesen haben.

Sehr beachtenswert scheinen mir noch die an der dort verwendeten Rädervorlage der Pumpe gemachten Erfahrungen zu sein. Zahlreiche Zahn-Brüche an derselben schon nach kurzer Betriebszeit veranlaßten die Direktion ein Pfeilräder-Paar aus Stahlguß einzubauen, welches sich zwar haltbar erwies, aber des unangenehmen Geräusches wegen durch ein Stirnräder-Paar mit spielfrei geschnittenen Zähnen ersetzt wurde. Letzteres arbeitet tadellos.

(Gehört zu Seite 254.)



Liegende, doppeltwirkende Expreßpumpe System Klein, mit Elektromotor-Betrieb.





#### 4. Die elektrisch angetriebene Wasserhaltungsanlage für die Grube der Zeche Rheinpreußen in Homburg a. Rhein. (Düsseldorfer Ausstellung 1902.)

Kraft-Maschine	Übersetzung	Elektrische Kraftübertragung	Übersetzung	Arbeits-Maschine
<p>Liegende Verbundmaschine mit Kondensation und Ventilsteuern. Einlassventil mit Auslösung und Flüssigkeitsfederpuffer (D. R. P. { 1103688 } { 1243841 }) Auslassventil, angetrieben durch unrunde, schwingende Scheibe. Heizung der Zylinder und Receiver. Luftpumpe des Kondensators (unter Fluß, wird von der Niederdruckkurbel angetrieben. Durchmesser { Hochdruckzyl. 0,67 m } { Niederdruckzyl. 1,075 m } des { } Anzahl der indizierten Pferde <math>n = 900</math> bei <math>n = 94</math> Umdreh./Min. Das für die Dampfmaschine erforderliche Schwungradgewicht ist im Magnetrade der Dampfmaschine untergebracht. (Schwungradtype der Firma E. A.-G. vorm. Lahmeyer &amp; Co., Frankfurt)</p>	<p>Direkte Kuppelung zwischen Dampfmaschinen- und Ankerwelle wurde gewählt, um die kraftverzehrende und geräuschvolle Zahnradübersetzung zu vermeiden. Dadurch wurde die langsam laufende Dynamo, zwar größer und teurer, aber der Betrieb wirtschaftlicher und sicherer. Die beiden hier beteiligten Firmen haben das Verdienst, zuerst langsam laufende elektrisch angetriebene Pumpenanlagen ausgebildet und mit Erfolg angewendet zu haben.</p>	<p>Die Drehstrom-Dynamom. leistet 750 Kilowatt bei induktionsfreier Belastung, <math>n = 94</math> Umdr./Min. und 2000 Volt Betriebs-Spannung (50 Polwechsel Sek.) und erregt sich selbst durch einen von ihr angetriebenen Drehstrom-Formner. Die Vorerregung beim Inangsetzen erfolgt durch eine während der normalen Betriebszeit geladene Akkumulatorbatterie. Zwei Kabel von je <math>q = 3,95</math> qmm wurden angewandt, damit das eine Kabel den Betrieb noch aufrecht erhalten kann, wenn das andere verletzt sein sollte. Der Drehstrom-Elektromotor (Modell H 650/60) leistet 650 Pferdekraft bei <math>n = 60</math> Umdr./Min. und 2000 V und ist nach der normalen Type der Drehstrom-EM der Firma mit feststehendem Erregeranker und rotierendem Schlußanker gebaut. Letzterer hat 4,7 m Durchmesser, 0,45 m Breite und 528 Nuten am äußeren Umfang der Phasenankerkwicklung aus massiven Kupferstäben. Er mußte steil hergestellt werden, um ihn durch den Schacht zu bringen. Der feststehende Primäranker hat 5 m Durchmesser und ist in ein feiliges gusseernes Gehäuse mit 5,8 m Durchmesser eingebaut. Das Gewicht des Gehäuses mit Verteilungsträgern ist 33600 kg, das des Schlußankers 28000 kg.</p>	<p>Die direkte Kuppelung des EM mit der Pumpe, für welche er auch die Schwingmassen in seinem rotierenden Teile enthält, ist schon vorhin bei der Anlassen der Pumpe ist unter dieser hervorgehoben.</p>	<p>Die Pumpe ist eine Zwillinge-Differentialpumpe System Haniel u. Laeg D R P. 129804 n 100025) mit um 90° versetzten Kurbeln und wälzt <math>V = 5,5</math> cbm/Min. auf <math>H = 450</math> m Höhe, bei <math>n = 60</math> Umdrehungen in 1 Min.</p> <p>Inbetriebsetzung der Pumpe. Dynamomaschine, Elektromotor und die mit letzterem gekuppelte Pumpe laufen gleichzeitig an. Aber die Pumpe wirkt anfangs als hydraulische Kraftmaschine für ihren Elektromotor, indem sie aus der Steigrohrleitung gespeist wird. Erst bei etwa 20 Umdrehungen wird die Primär-Dynamomaschine eingeschaltet und nun der normale Betrieb erreicht und erhalten. Durch diese Einrichtung wird beim Anlassen der Maschinenanlage der Widerstand seitens der Arbeitsmaschine vermieden, oder mit anderen Worten, für die elektrischen Maschinen eine sog. induktionsfreie Belastung erzielt, welche die Firma Haniel u. Laeg schon mehrfach mit Erfolg durchgeführt hat.</p> <p>Bemerkung. Stände zur Inbetriebsetzung eine Kraftquelle wie hier in dem gewählten Wasser nicht zur Verfügung, so müßte man auf andere Weise, durch Aufsichern von Preßluft oder von Elektrizität im Akkumulator sich helfen.</p>
<p>Den elektrischen Teil der Anlage baute die Elektrizitäts-Aktien-Gesellschaft vorm. W. Lahmeyer &amp; Co. Frankfurt a. Main.</p> <p>Die Dampfmaschine u. Pumpe baute die Firma Haniel u. Laeg Düsseldorf-Grafenberg.</p>				

5. Elektrisch angetriebene Wasserhaltungsanlage auf Grube Altenwald der Königl. Berginspektion V, Sulzbach.  
In Betrieb gesetzt im Jahre 1902.

Kraft-Maschine	Über- setzung	Elektrotechnische Kraft-Übertragung	Über- setzung	Arbeits-Maschine
<p><b>Stehende Verbund-Maschine</b> mit Kondensation u. Schiebersteuerung für Heißdampf (280 Grad C). Hochdruckzyl. Kolbenschieber mit veränderlicher Expansion durch den Regulator. Mantel- u. Deckelheizung. Niederdruckzyl. Flachschieber. Deckelheizung. Kondensator (Einspritz) unter Fluor. Antrieb durch Exzenter von der Kurbelwelle aus. Durchmesser { Hochdruckzyl. 480 mm Niederdruckzyl. 720 mm Hub = 600 mm. Umdrehungen: 150 pro Minute. Dampfdruck = 9-10 Atm. Eff. Leistung = 800-320 Pferdekr. Schwungrad D = 3200 mm für einen Ungleichförmigkeitsgrad von 1,250. Zur Verminderung des Schwungradgewichtes sind die Kurbelkröpfungen um 135° zueinander versetzt. Federregulator Syst. Hartung.</p>	<p>Direkte Kuppelung zwischen der Dampf-Maschinen- und der Dynamowelle. Größte Wirtschaftlichkeit und Sicherheit des Betriebes.</p>	<p>Dynamo: Drehstrom-Schwungrad-Dynamo leistet bei induktionsteiler Belastung 250 KW bei <math>n = 150</math> pro Minute, 2000 Volt Betriebs-spannung, 50 Polwechsel pro Sekunde; erregt durch eine auf den Wellenstumpf aufgesetzte Gleichstrommaschine mit Max. 78 Amp. bei 110 Volt; die Vorerregung geschieht durch Strom vom Lichtnetz. Elektrische Leitung: Ein asphaltiertes verselltes Dreileiter-Kabel mit Eisenabtragleistung von <math>3 \times 35</math> qmm Querschnitt; 500 m lang; an der Beobachtwand mit hölzernen Behälten befestigt. Elektrischer Motor: leistet 250 PK bei 150 Umdrehungen pro Minute, 2000 Volt mit Kurzschlussanker; Anker und Gehäuse zweifachteilig.</p>	<p>Direkte Kuppelung. Der Elektromotor sitzt direkt auf der Pumpen-achse zwischen den beiden Achseln. Geringster Raumbedarf, einfacher und sicherer Betrieb, größter Nutzeffekt.</p>	<p><b>Exzempumpe Schleifmühle,</b> ohne gesteuerte Ventile, bestehend aus einer Zwillings-Doppel-Pumpenpumpe mit Umföhrungsgehäuse und Bayonetstellen. Mehrfache selbsttätige Ringventile, ganz aus Bronze mit Lederstulp-Nachdichtung, Umföhrungsrichtung zum Anlassen der Pumpe bei gefüllter Druckleitung ohne Druckwiderstand. Kompressor mit elektr. Antrieb zum Füllen der Windhauben mit Luft. Hub = 350; Durchmesser der 4 Plunger = 114 mm. Tourenzahl = 150 pro Minute. Leistung 2000 Liter auf 420 m = <math>\frac{1000 \cdot 2 \cdot 420}{75 \cdot 60}</math> = 186 Pfd. Volumetr. Wirkungsgrad = 0,96. Inbetriebsetzung erfolgt durch langsames Anlaufen der Dampfmaschine, nach Vorerregung der Dynamo vom Lichtnetz und nach Schluß aller Schalter; der Pumpen-Elektromotor, der durch Öffnen der Umföhrungsventile an der Pumpe von jedem Druckwiderstand entlastet, läuft langsam an. Die Stromstärke ist anfangs hoch, die Spannung null; in dem Maße, als der Elektro-Motor auf Touren kommt, fällt die Stromstärke und wächst die Spannung, bis nach ca. 3 Minuten die normalen Werte erreicht sind. Hieran wird der Elektro-Motor durch Schluß der Umföhrungs-Ventile voll belastet.</p>
<p><b>Bemerkung.</b> Durch eingehende Versuche wurde ermittelt, daß der Gesamtwirkungsgrad der Anlage d. h. Verhältnis von Pumpenarbeit in Ps. zur indizierten Dampfarbeit 70,8% beträgt bei einem Dampfverbrauch pro Stunde und eff. Pumpen-Pferdestärke von 9,64 kg. Leistung in gehobenem Wasser = 186 = 0,6. Effektivleistung der Dampfmaschine = 300</p>				

**6. Elektrisch angetriebene Wasserhaltungsanlagen,**  
erbaut von den Siemens-Schuckert-Werken G. m. b. H. Berlin.

Ort der Aufstellung und Zeit der Inbetriebsetzung	Erbauer des mechan. Teils	Förder-		Umdrehungszahl		Spannung  e Volt	Strom- stärke  i Amp.	Leistung in PS theoretisch eff. auf- 1000 VH zuwen- $N = \frac{75 \cdot 60}{\eta}$ dende	Wir- kungs- grad $\eta$ in %	Bemerkungen	
		Höhe H	Menge V cbm/Min.	d. Pumpe n	d. Motors n						
Gesellschaft des Emsen Blei- und Silberwerkes Ems 1904	Gebr. Sulzer Winterthur	2.255 = 510	2.5	1460	1460	1000 Drehstrom	117	142	255	65	6 ortsfeste und 2 Abteuf-Zentri- fugalpumpen. Je eine Pumpe fördert der an- deren zu. Förder- höhenunter- schied 255 m.
Bergwerks-A.-G. Bliesenbach (Köln) 1904	C. H. Jäger & Co. Leipzig- Plegwitz	320  100	1  0,75	1460  1460	1460  1460	500 Drehstrom  do.	135  33	71  16,5	106  26	67  64	Ortsfeste Zentri- fugalpumpe Abteufpumpe
Steinkohlen- bergwerk Zeche Ewald Herten i. Westf. 1904	Ehrhardt & Schmer in Schleifmühle b. Saarbrücken	710	2	73	73	2000	180	315	400	79	Doppeltwirkende Zwillings- plungerpumpe. Rotor direkt auf der Kurbelwelle der Pumpe sitzend.

7. Elektrisch betriebene Pumpen, erbaut von Klein, Schanzlin und Becker.

Ort der Aufstellung und Zeit der Inbetriebsetzung	Erbauer des elektr. Teiles	Wältigungs-		Umdrehungszahl		Spannung e Volt	Strom i Ampère	Leistung in		Wirkungsgrad %	Bemerkungen
		Höhe H m	Menge V/min. cbm	der Pumpe n = in der Minute	des Elektromotors			Nutz = 1000 V.H.	Elektr. = e.i		
Fürstl.PfiefscheBergwerksdirektion in Waldenburg, Schlies., Emanuelsgrube, 1903	Helios, E.A.G. Köln-Ehrenfeld	180	1,5	180	960	500	100 Pol-wechsel	60	796	93-95 %	Pfungsgerpumppe, doppeltw., für Riemenantrieb Die Pumpe arbeitet vollufig nur auf ein Höhe von 30 m und wird ein kleinerer Elekt.o-Motor jetzt verwendet.
Fürstl.PfiefscheBergwerksdirektion in Waldenburg, Schlies., Bradegrube, 1903	A. E. G. Berlin	45	3	150	720	3000	100 Pol-wechsel	30	46	80 %	Pfungsgerpumppe, doppeltw., für Riemenantrieb.
Frankenholzer Bergwerks-gesellschaft Frankenhofz. Pfalz, 1904	Brown, Boweri & Co. Mannheim	620	0,250	150	720	Drehstrom Volt unbekannt 100 Polwechsel		34,5	45	93-95 %	Hochdruck Expresfpumppe, doppeltwirkend, für Riemenbetrieb.
Sociétés Anonyme des Charbonnages La Hestre, 1904	Gesellschaft für elektr. Industrie, Karlsruhe	577	0,500	180	180	Drehstrom		64	80	82 %	Hochdruckexpresfpumppe, doppeltwirkend, Motor direkt auf der Kurbelwelle sitzend.
Aachener Hütten-Aktien-Verein Esch, 1904	Union, E.-Ges. Berlin	80	2	160	650	Gleichstrom Nebenschluß 500 Volt		36	60	82 %	Expresfpumppe, doppeltwirkend, Zahnradantrieb, Räder mit Rohhaut-Eisen-Zähnen.
Bergwerksgesellschaft Hibernia, Herne, 1904	A. E. G. Berlin	35	1	1450	1450	1000	100 Pol-wechsel	7,8	18	67 %	Hochdruck-Zentrifugalpumpe, direkte Kuppelung mit Elektromotor.
Aktien-Ges. für Bergbau, Blei- und Zinkfabrikation zu Stolberg, Abt. Ramsbeck	{Schuckert & Co., Nürnberg	100	0,200	110	960	220	100 Pol-wechsel	4,45	9		Fabrizable Streckenpumpe, Zahnradantrieb.

Größe der vorgesehenen Motore.

**8. Elektrisch angetriebene Plungerpumpen,**  
 erbaut von Ehrhardt & Sehmer (G. m. b. H.), Maschinenfabrik, Schleifmühle-Saarbrücken.

Ort der Aufstellung und Zeit der Inbetriebsetzung	Erbauer des elektr. Teiles	Wältigungs-		Umdrehungszahl		Span- nung e Volt	Strom i Ampère	Leistung in		Wirkungs- grad %	Bemerkungen
		Höhe m	Menge Min. cbm	der Pumpe n = Minute	des Elektro- motors			Nutz = 1000 V. H 75 · 60 Pferden	Elektr. = e · i 736		
Harpener Bergbau-Aktien- Gesellschaft, Zeche Gneisenau, 1902	Helios, E. A. G. Dort- mund	455	6	72	72	5000		605			unterirdische Wasser- haltung.
Saar & Mosel-Bergwerks- Gesellschaft Karlingen, 1902	E. A. G. Union, Berlin	520	3	146	146	5000		345			dto.
Rhein-Elbe Zeche Monopol, Schacht Grillo, 1903											
Königliche Berginspektion VII, Heinitz, 1903	A. E. G. Berlin	420	2	150	150	5000		186			dto.
George-Marien-Bergwerks- und Hüttenverein Osa- brück, 1900	E. A. G. vormals Schuckert, Nürnberg	500	0,3	300	300			33		93 % volumetr.	Akkumulatorpumpe
Les Petits fils de Fois de Wendel & Cie., Hamm in Westfalen, 1904	Siemens- Schuckert- Werke Berlin	820	2	104	104			365			unterirdische Wasser- haltung.
Forges de Donoi. Donoi, 1904	Société Alsacienne de Con- structions Mécaniques Belfort	1050	0,225	200	200			53			Akkumulatorpumpe.

## Elektrische Wetterwirtschaft (Bewetterung, Ventilation)\*).

**Einleitende Bemerkungen.** Nicht minder wichtig wie die im voranstehenden geschilderte, durch die Vorzüge der Elektrizität erleichterte und verbesserte Wasserwältigung, welche die unterirdischen Grubenräume vor dem „Versaufen“ bewahren soll, sind die Vorrichtungen zur „Bewetterung“ oder „Ventilation“ der Gruben, welche bezwecken, an Stelle der durch mancherlei chemische Vorgänge (Verbrennungsprozesse), verschlechterten Grubenluft („schlechte Wetter“, „matte W.“, „schlagende W.“), die zum Wohlbefinden der Arbeiter erforderliche frische Luft („frische Wetter“) in die Grubengebäude einzuführen und dort durch eine oft recht künstliche „Wetterführung“ zu verteilen.

Die bei der Bewetterung der Gruben vorhandenen, scheinbar verwickelten Umstände und künstlich erzeugten mechanischen Vorgänge sind von allgemeiner Bedeutung auch für das gewöhnliche Leben und in weiteren Kreisen wohl kaum so bekannt, wie sie es verdienen. Deshalb sollten wenigstens die Grundprinzipien und die geschichtliche Entwicklung der Bewetterung, die uns auf den gewöhnlichen Schornstein hinweisen, wohl jedermann, nicht nur dem Bergmanne, bekannt sein. Da außerdem aber der Wert der elektrischen Mitwirkung erst recht geschätzt werden kann, wenn diese Grundlage bekannt ist und die hierher gehörigen Betrachtungen sogar die Allgemeingültigkeit des Ohmschen Gesetzes nahelegen, sollen im folgenden die mechanischen Vorgänge der Wetterwirtschaft kurz und bündig, immerhin aber so gründlich geschildert werden, wie die unserem Buche gezogenen Grenzen es irgend gestatten. Schon jede praktische sinnige Hausfrau sollte es wissen, jeder brauchbare Kesselheizer, der wirtschaftlich arbeiten soll, aber müßte auf das allergenaueste darüber belehrt werden, in welcher Weise der Schornstein die Bewegung derjenigen Luftmenge (Vcbm/Sek.) bezweckt und veranlaßt, welche zur vorteilhaften Verbrennung des auf dem Rost der Feueranlage befindlichen Brennstoffes erforderlich ist. Diese Bewegung wird durch den Wärmeunterschied der Luftsäulen in und außerhalb des Schornsteines dadurch veranlaßt, daß die Luft im Schornsteine, besonders im tiefsten Punkte (dem sog. Fuchs) desselben eine höhere Temperatur  $t_1^0$  C) als an der Mündung desselben (wo sie  $t_2^0$  C sein mag) hat, deshalb leichter als die Luft außerhalb des Schornsteines ist, infolgedessen „auftreibt“ und so einen luftverdünnten Raum zurückläßt, in welchem der äußere Atmosphärendruck die frische Luft, nun aber nicht von der Mündung des Schornsteines, sondern vom Verbrennungsherde her, hineinpreßt. Man kann die Bewegung auch erklären durch die Vorgänge in zwei miteinander „kommunizierenden Rohren“, von denen das eine, hier der Schornstein, die warme Luft enthält, die dann von der äußeren kälteren, deshalb schwereren nachdrängenden Luft hinaufgetrieben wird. So bildet sich, sobald die Luftsäule im Schornstein in der geschilderten Weise genügend angewärmt ist, ein ununterbrochener Luftstrom, der an der Schornsteinmündung ausströmt und, worauf hier die ganze Vorrichtung hinzielt, am Herde an einer bestimmten Stelle (bei Holzbrand über dem Brennmaterial, bei Steinkohlenbrand, von unten durch die Rostspalten und das Brennmaterial) eintreten soll. Deshalb ist auf das sorgfältigste darauf zu achten, daß nicht an anderen Stellen, z. B. durch Risse im Mauerwerk „Nebenluft“ eingepreßt werden kann. Daß außerdem der Luftstrom nicht durch Querschnittsverengungen

\*) Daß ich hier und in den beigelegten Anmerkungen die Wetterlehre in kurzen Zügen von Grund aus aufbaute und damit dem Wunsche nachgab, auch dem angehenden Elektromaschinentechniker und Bergmanne zu nützen, werden mir diese vielleicht Dank wissen. Auch eine „Elektrotechnik“, die in ihrer Anwendung auf den Bergbau nützen will, muß eingehend um die Eigenart und die Bedürfnisse des letzteren sich kümmern. Ich habe mich hierbei zum Teil an meine Bearbeitung für den Berg- und Hütten-Kalender gehalten, den ich im folgenden abgekürzt „(B.- u. H.-K.)“ anführte.

der Wege (Ascheablagerung) oder durch schroffe Richtungswechsel (scharfe Knie) derselben gehindert werden darf, liegt auf der Hand.

**Wetterofen.** Im obigen geschilderte Vorgänge kommen in Frage bei der Bewetterung der Gruben durch den im Jahre 1716 von Bartels in Clausthal erfundenen und zuerst im „Pelikaner Stollen“ des „Silbernaaler Zuges“ der Berginspektion Grund angewandten, vom Erfinder „Feuerinstrument“ genannten alten Wetterofen, welcher bis ans Ende des vorigen Jahrhunderts u. a. auf den Steinkohlengruben bei Saarbrücken\*) und in Westfalen\*\*) vorzügliche Dienste tat und auch in Zukunft am rechten Platze noch nützlich sein wird. Durch „Wetter-Türen“, „Scheider“, „Lutten“, welche an passenden Stellen angebracht sind, wird der Wetterstrom nach Erfordernis geregelt.

(„Schlagende Wetter“, von denen unten in der Anmerkung gesprochen wird, sind dem Wetterofen oberhalb der Feuerung zuzuführen und in den meisten anderen Fällen geht auch nur ein Nebenstrom durch die Feuerung.)

Der, wie wir oben sahen, durch Temperaturunterschied erzeugte Druckunterschied ( $e$ ) zwischen Außenluft und der Innenluft (am Fuchs) bewirkt also, daß ein Strom von bestimmter Stärke („Intensität  $i$ “) durch alle Widerstände ( $w$ \*\*\*) auf seinem Wege (durch die lockere, nicht zu hohe Brennstoffschicht, durch sämtliche Strecken durch den Schornstein und) zuletzt durch die Schornsteinmündung (vom Querschnitte  $Aqm$ ) mit einer bestimmten, nicht zu großen Geschwindigkeit ( $v_m$ †) gepreßt wird. In der unten angegebenen Quelle habe ich noch besonders hervorgehoben, daß durch Vergrößerung von  $h$  und  $A$  keineswegs die Wirkung beliebig gesteigert werden kann, sogar erfahrungsgemäß unter gewissen Umständen ein engerer und niedrigerer Schornstein besser „ziehen“ würde als ein zu weiter und zu hoher, was aus der vorhin gewählten Darstellungsweise auch leicht zu folgern ist.

**Ventilatoren.** Der zur Wetterbewegung erforderliche Druck (Gewichts-) Unterschied kann anstatt durch Wärme auch durch mechanische Mittel, ähnlich wie bei der Wasserwältigung, also durch Kolben-Pumpen, oder, wie es meist ge-

\*) Nach einer Zusammenstellung von 1876 waren daselbst im Betriebe 16 große Wetteröfen. Der größte derselben war auf Grube Heinitz, hatte 7,665 m Rost-Länge, 1,36 m Rost-Breite, 3,135 qm freie Rostfläche, 83 Zentner Kohlen-Verbrauch in 24 Stunden und konnte 868 cbm Luft in 1 Minute durch 76000 m Wetterweg-Länge für eine Belegschaft von 1560 Mann bringen. Noch im Jahre 1879 hielt die Verwaltung der Grube Gerhard für zweckmäßig, einen Guibal-Ventilator nebst Kesselhaus und Antriebsmaschine abzureißen und durch einen Wetterofen zu ersetzen, der dann, wie später geschildert wird, durch einen elektrisch angetriebenen Ventilator abgelöst wurde.

\*\*) In dem vom „Verein für bergbauliche Interessen“ herausgegebenen Sammelwerk sind unter „Wetteröfen“ folgende Angaben gemacht: „Im Jahre 1883 waren in Westfalen noch 41 Schachtanlagen mit Wetteröfenbetrieb, gegenüber fast doppelt soviel mit Ventilator-Bewetterung versehen. Von den im Jahre 1898 noch vorhandenen Wetteröfen befanden sich 7 über, 8 unter Tage; 10 davon waren in regelmäßigem Betriebe, 5 als Reserve für versagende Ventilatoren beibehalten. Gegen 1900 wurden erstere außer 2 Öfen auf den Zechen Crone und Herkules ebenfalls abgeworfen. Im Jahre 1883 brachte ein Ofen auf Shamrock 1740 cbm/Min. Ein Ofen verbrauchte etwa 2 t Steinkohlen/Tag, brachte je nach der Zweckmäßigkeit der Anlage und den Widerständen durchschnittlich in den Wetterwegen 160 cbm und 840 cbm/Minute für jede täglich verbrannte Tonne Steinkohlen und erforderte an ebenfalls weit auseinandergelassenen Betriebskosten (für Kohlen, Löhne, Unterhaltung) etwa 17,8 Mk. in 24 Stunden, bzw. für 1 Minuten-Kubikmeter 3,16 Pfennig pro Tag.“

\*\*\*) Die Beziehung zwischen den drei Größen läßt sich auch hier, wie beim Ohmschen Gesetz, ausdrücken durch die Gleichung  $i = e/w$ .

†) Für die vermittels des Schornsteines von der Höhe  $h_m$  in Bewegung gesetzte Wettermenge gilt die Beziehung:

$$V = A \cdot v, \text{ worin nach dem Gay-Lussac-Gesetz die Geschwindigkeit:}$$

$$v = \mu \sqrt{2gh \frac{t_1 - t_2}{273 + t_2}} \text{ ist. (B. u. H.-K. 1905, S. 43 u. 71.)}$$

schiebt, durch Schleuderräder, Kreislräder, die hier den Namen „Ventilatoren“\*) führen, bewirkt werden.

Transportabel richtet man dann wohl nur diejenigen kleineren Ventilatoren ein, welche die Dämpfe vor Ort kurz nach dem Abtun der Schüsse absaugen sollen und hat es in gewissen Fällen sehr bequem befunden, dieselben von dem

\*) Da in der Regel nicht die drückende, sondern die „saugende“ Wirkung der Ventilatoren zur Bewetterung ausgenutzt wird, pflegt man hier von Druckverminderung zu sprechen und diese „Depression“ durch die Höhe  $h_{mm}$  einer Wassersäule auszudrücken.

Die erforderliche Depression ergibt sich aus der erforderlichen Wettermenge ( $V$  cbm), die weiter unten bestimmt wird, und aus der sogenannten äquivalenten „Grubenweite“ ( $A$  qm) und bestimmt die Umfangsgeschwindigkeit ( $u = D\pi n/60$ ) des Flügelrades des Ventilators, wenn dessen Durchmesser mit  $Dm$  und dessen Umdrehungszahl in 1 Min. mit  $n$  bezeichnet wird. Mathematisch läßt sich der Zusammenhang zwischen diesen für die Bewetterung einer Grube, also auch für den elektrischen Antrieb der Wettermaschinen, wichtigen vier Größen  $V$ ,  $h$ ,  $u$ ,  $A$  folgendermaßen ausdrücken:

Die „äquivalente Grubenweite“ (orifice equivalent, Murgue) ist: }

$$1. A = 0,38 \cdot \sqrt{V/h} \text{ mm} \quad (\text{und läßt sich, wie Verfasser im B.- u. H.-K. 1904, S. 101, zeigte, leicht aus der bekannten Gleichung der Mechanik für die Ausflußgeschwindigkeit } v = \sqrt{2gH} \text{ ableiten).}$$

die Umfangsgeschwindigkeit ist:

$$2. u = \sqrt{2g h/d}, \text{ wenn } g = 9,81 \text{ m die Erdbeschleunigung, } d = 1,2 \text{ kg das mittlere Gewicht eines Kubikmeters Grubenluft bedeutet und der manometrische Wirkungsgrad zu 0,50 angenommen wird.}$$

Man pflegt auch wohl noch als „Temperament der Grube“ (tempérament de la mine Guibal) den schon in der Gleichung 1 enthaltenen Ausdruck:

$$3. T = V/\sqrt{h} \text{ mm zu bezeichnen.}$$

Die „Grubenweite  $A$ “ drückt die Eigenart der Grube in bezug auf ihre von den Bewegungs- widerständen (Reibung auf den langen, rauwandigen winkligen Wetterwegen) abhängige Bewetterbarkeit aus und bildet zugleich die Grundlage, nach der eine regelrechte, auf das Wohl der Arbeiter gerichtete und dabei doch möglichst wirtschaftliche Wetterwirtschaft einzurichten ist. Unter  $A$  qm ist diejenige gedachte Öffnung in „dünnere Wand“ zu verstehen, durch welche bei demselben Spannungsunterschiede (Depression)  $h$  mm der Wetter vor und hinter der trennenden Wand, dieselbe Wettermenge  $V$  cbm/Sek. fließen würde, wie durch die Schachtmündung der wirklich vorhandenen ventilierten Grube. Unter sonst gleichen Verhältnissen ist  $A$  um so kleiner, also die Ventilation der Grube um so schwieriger bzw. unvollkommener, je enger, länger und weniger glatt die Wetterwege sind. Gruben heißen heute<sup>1)</sup> „enge“ für  $A < 4$  qm; „weite“ für  $A > 4$  qm.

Nach Gleichung 1 wird durch Vergrößerung von  $A$  die erforderliche Depression

$$4. h = (0,38 V/A)^2$$

herabgesetzt, die Wettermaschine entlastet, der Maschinenbetrieb verbilligt, so daß die einmaligen Mehrkosten für die Verminderung der Widerstände (Erweiterung bzw. Vermehrung der Wetterwege, Verkürzung derselben durch Querschläge und Reibungsverminderung auf denselben) durch die laufende Ersparnis an der Kraftmaschine (Dampfmaschine, Dynamomaschine) entsprechend aufgewogen werden. In Schlagwettergruben wird zugleich die Sicherheit vergrößert, weil mit Abnahme von  $h$  die Geschwindigkeit  $v$  m des Wetterstromes und damit die Gefahr des Durchschlagens der Wetterlampen abnimmt. Behrens („Beiträge zur Schlagwetterfrage“) hat deshalb nach und nach die „Weite  $A$ “ der hochgradigen Schlagwettergrube Hibernia bei Gelsenkirchen von 1,9 auf 6 qm gebracht und dadurch die Betriebskraft des Ventilators von 209,36 Pferdekraften auf 75 Pferdekraften herabgemindert.

So zeigt sich, daß  $A$  mit den wichtigsten Erfordernissen eines regelrechten Steinkohlen-Grubenbetriebes, Wirtschaftlichkeit und Sicherheit, im innigsten Zusammenhang stehen.

In welcher Weise die erforderlichen Werte  $V$  cbm und  $h$  mm die entsprechende Leistung der Antriebmaschine bestimmen, ergeben folgende Gleichungen:

$$\text{Die Nutzleistung ist: } N = \frac{1000 V \cdot h}{75 \cdot 60} \text{ Pferdekraften, wenn hier } h \text{ in m Wassersäule,}$$

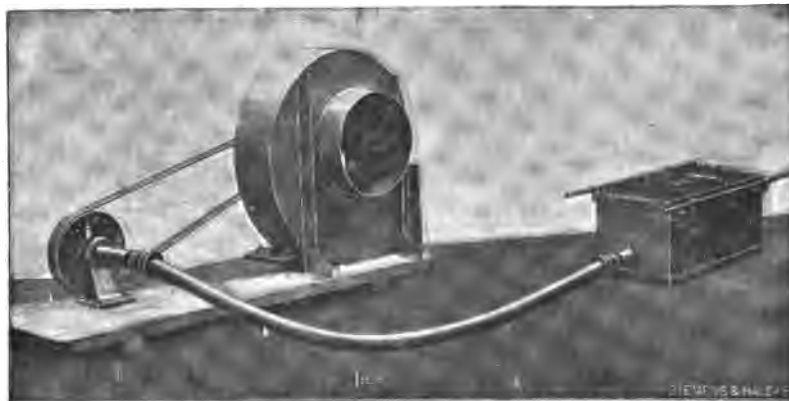
und wenn als mechanisches Güteverhältnis des Ventilators  $\eta = 0,70$  angenommen wird, so sind an die Ventilatorwelle von der Antriebmaschine (Elektromotor) abzugeben

$$N_a = \frac{1000 V \cdot h}{0,70 \cdot 75 \cdot 60} \text{ Pferdekraften.}$$

<sup>1)</sup> Früher setzte man etwa 1 qm anstatt 4 qm. In diesem Maße ist demnach unter sonst gleichen Verhältnissen die Fürsorge für die Arbeiter vervielfältigt.



bei elektrischem Bohrmaschinenbetrieb angewandten Motorkasten aus mittels biegsamer Welle anzutreiben. Feststehend dagegen werden meist schon die kleineren sog. Separatventilatoren, welche dauernd Nebenstrecken und „wetternotige Orte“ (häufig blasend) zu belüften haben, jedenfalls aber die Hauptventilatoren gebaut, welche meist auf besonderen Wetterschächten stehen, ganze Grubengebäude mit frischen Wettern zu versorgen haben und bis 500 Pferdekräfte Leistung aufweisen.



Ventilator für Separatbewetterung, angetrieben durch Bohrmaschinen-EM.

Bei Schlagwettergruben ist der Ventilator wohl mindestens 10 m von der Wetterschachtmündung aufzustellen und soll in dem Saugkanale oberhalb der Wetterschachtmündung, eine leichte, abhebbare Blechhaube, die gleichsam ein Sicherheitsventil bildet, angebracht werden, um den Ventilator bei Explosionen zu schützen bei denen er besonders betriebsbereit sein muß. Früher erfolgte der Antrieb wohl nur mittelst einer besonderen Dampfmaschine, die dann nicht nur ein besonderes Kesselhaus, sondern auch dauernd die zur Heizung und Wartung nötigen Mann

Um unsere kleine, auch dem Elektrotechniker vielleicht nützliche Wetterlehre in nuce noch zu vervollständigen, ist die „Bestimmung der erforderlichen Wettermenge  $V_{cbm/sek}$ “ nötig:  
Gewöhnliche atmosphärische Luft enthält in 100 Litern:

78,13 l	Stickstoff,
20,90 l	Sauerstoff,
0,94 l	Argon,
0,03 l	Kohlendioxyd,
100,00 l	

und hat ein mittleres spez. Gewicht  $\gamma = 1,2$  bis  $1,3$  kg/cbm bei  $0^\circ C$  und 760 mm Quecksilbersäule. Die Wetter, verschlechtert durch Verbrennungs- und Zersetzungsprozesse, heißen „matt“, wenn sie arm an Sauerstoff, „böse“ (Schwaden), wenn sie reich an  $CO_2$ ,  $CO$  und anderen der Lunge schädlichen Gasen sind; im letzteren Falle insbesondere „schlagende Wetter“, wenn sie reich an Grubengasen (Methan  $CH_4$ ) und dann mit atm. Luft in gewissem Verhältnis gemischt, explosibel sind. Matte Wetter mit weniger als 15% Sauerstoff sind zum Atmen unbrauchbar, böse Wetter mit 5% bis 10%  $CO_2$  gefährlich, ja tödlich und erkennbar am Dämpfen bezw. Auslöschen des offenen Grubenlichtes, schlagende Wetter am wirksamsten mit 10%  $CH_4$  und entzünden sich bei Temperaturen über  $600^\circ$  bis  $700^\circ C$ .  $CO_2$  (1,53 spez. Gew.) fällt zur Sohle,  $CH_4$  (0,55 spez. Gew.) steigt zur Firste,  $CO$  (0,97 spez. Gew.) dagegen mischt sich am leichtesten mit der fast gleich schweren atm. Luft und ist außerdem noch besonders heimtückisch, weil es nicht wie  $CO_2$  durch das Grubenlicht nachweisbar ist.

Die erforderliche Menge  $V$  an frischen Wettern folgt nun aus der Anzahl der Arbeiter und Pferde (1 Pferd = 4 Arbeiter gerechnet), aus dem Verbrauch an Sprengstoff, besonders aber aus den die Wetter verschlechternden chemischen und mechanischen Vorgängen in der Grube selbst (chemisches Temperament) und sollte bei Schlagwettergruben besonders nach der gewonnenen Kohlenmenge sich richten, weil durch das Loslösen der Kohle die in den tiefer liegenden Schichten

schaften erforderlich machte. Heute hat die elektrische Kraftübertragung derartige Betriebe wesentlich vereinfacht. Wirtschaftlicher und sogar sicherer ist in den meisten Fällen der elektrische Antrieb des Ventilators von einer im Grubenbezirk eingerichteten größeren elektrischen Kraftzentrale aus, oder auch schon von dem, wenn auch oft ziemlich weit entfernt liegenden Förderschachte aus, weil hier ohnehin eine Kraftzentrale vorhanden ist, die mit verhältnismäßig geringen Kosten soweit erweitert werden kann, wie es der ununterbrochene Ventilatorbetrieb erfordert. Wird Drehstrom zur Kraftübertragung gebraucht und Dauerschmierung (Ring-schmierung) des umlaufenden Zeuges gewählt, so erfordert der Antrieb-Elektromotor ebensowenig wie der Ventilator selbst besondere Wärter. Es genügt, wenn täglich ein oder zweimal von der Zentrale aus die Sekundär-Anlage nachgesehen wird.

Auf dem Kaliwerk „Glückauf“ bei Sondershausen\*) ist sogar ein großer Rateau-Ventilator (von 2,2 m Durchmesser,  $n = 220$  Umdrehungen in 1 Minute für 2400 cbm Luft bei 100 mm Wassersäule Depression) mittelst Riemen durch einen 85 pferdigen Drehstrom-Elektromotor mit  $n = 480$  Umdrehungen in einer Minute, angetrieben, obgleich der Ventilator unmittelbar neben dem Kesselhause liegt und eine Compound-Dampfmaschine als Antriebsmaschine des Ventilators wohl am Platze gewesen wäre. Aber es sollte hier der gleichmäßig arbeitende Elektromotor gleichsam die Schwankungen des übrigen Betriebes ausgleichen. Die Maßnahme hat sich als sehr praktisch bewährt und liefert ein Beispiel mehr für die vielseitige Anwendbarkeit der Elektrizität in der Technik. Die von Siemens und Halske gebaute gesamte elektrische Anlage entspricht allen Anforderungen.

derselben unter hohem Druck (beobachtet bis über 30 Atmosphären) eingepreßten Gase in erheblich größeren Mengen befreit werden, als etwa bei zufälligen plötzlichen Verminderungen des Luftdruckes (Barometerstürzen oder gar an Faltsachen kritischen Tagen). Aus denselben Gründen möchte man die Vorschläge, durch „drückende“ Ventilatoren die Gase zurückzuhalten, für wenig nützlich, wenn nicht gar für bedenklich halten. Immerhin aber ist es zu empfehlen, sorgfältige barometrische Beobachtungen anzustellen und den beobachteten Luftdruckverminderungen entsprechend die Ventilation zu steigern<sup>1)</sup>.

In 1 Stunde verbraucht 1 Mann 24 l O und erzeugt 22 l CO<sub>2</sub>,  
 1 Licht 26 l „ „ „ 17 l „  
 1 Pferd 100 l „ „ „ 90 l „

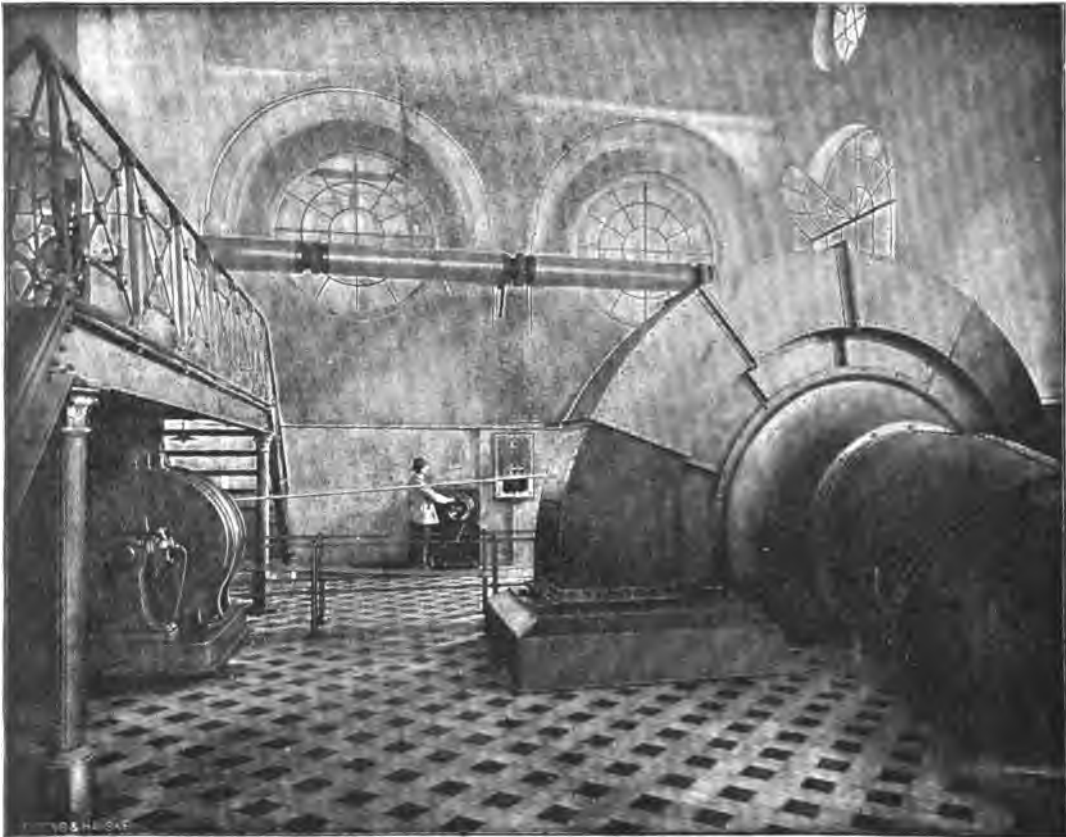
Bei Feststellung der erforderlichen durch die Wettermaschinen zu bewegendem Menge V rechnet man bei größerer Belegschaft: für Schlagwettergruben 1,5 cbm frische Wetter auf 1 Min. und 1 Tonne Fördermenge in 24 Stunden, aber mindestens 3 bis 4 cbm/Min. auf 1 Mann; für schlagwetterfreie Gruben rechnet man 1 bis 2 cbm/Min. frische Wetter auf 1 Mann.

Sehr beachtenswert sind die weit günstigeren Werte, welche die Wetterwirtschaft der Schlagwettergrube Hibernia liefert. Bei einer unterirdischen Belegschaft von 590 Mann und 27 Pferden, einer täglichen Fördermenge von 900 t werden mittelst eines Geisler-Ventilators bei normaler Umdrehungszahl und  $h = 75$  mm Wassersäule zugeführt an frischen Wettern im ganzen 6000 cbm/Min. und zwar 10,17 cbm auf 1 Mann; 8,28 cbm auf 1 Mann mit Einschluß der Pferde; 6,67 cbm auf 1 Tonne tägliche Förderung.

Ferner wird angegeben als größte Wettergeschwindigkeit in den Querschlägen und Wetterstrecken 3 m/Sek., als Schachtquerschnitt für den ausziehenden Strom 18 qm, als Gehalt der Hauptströme an CH<sub>4</sub> = 0,57%, an CO<sub>2</sub> = 0,08%, als CH<sub>4</sub>-Menge = 60,46 cbm auf 1 Tonne Fördermenge, als entwickelte CH<sub>4</sub>-Menge in 24 Stunden 54 419 cbm. Um diese hohen Werte ins rechte Licht zu setzen, führt Behrens zum Vergleich an, daß die Gasanstalt der Stadt Köln a. Rhein im Jahre 1893 täglich erzeugt habe 63 700 cbm.

\*) Der elektrische Zentralbetrieb der Gewerkschaft „Glückauf“ zu Sondershausen, vom Bergrat Gröbler, Berg- u. Hüttenmännische Wochenschrift „Glückauf“ 1898, Nr. 49.

<sup>1)</sup> „Glückauf“ Nr. 20, 13. Juni 1903: „Die Schlagwetterexplosionen im Oberbergamtsbezirk Dortmund mit Beziehung auf den Barometerstand im Jahre 1902“. S. 561: „Dieses Ergebnis führt zu dem Schluß, daß ein ursächlicher Zusammenhang zwischen den Luftdruckschwankungen und den im Jahre 1902 erfolgten Schlagwetterexplosionen nicht nur nicht nachgewiesen, sondern auch im hohen Grade unwahrscheinlich ist . . . auch in den vorangegangenen Jahren ist der Nachweis eines Zusammenhanges nicht erbracht“ (der aber m. E. bestehen muß).



Rateau-Ventilator des Kaliwerkes „Glückauf“ bei Sondershausen, elektr. angetrieben mittels Riemenbetrieb (Siemens-Halske, Berlin).

#### Elektrischer Antrieb für veränderliche Wettermenge.

Der Ventilatorbetrieb muß eine Vergrößerung der Wettermenge ( $V_{cbm}$ ), also der Umdrehungszahl  $n$  zulassen und zwar

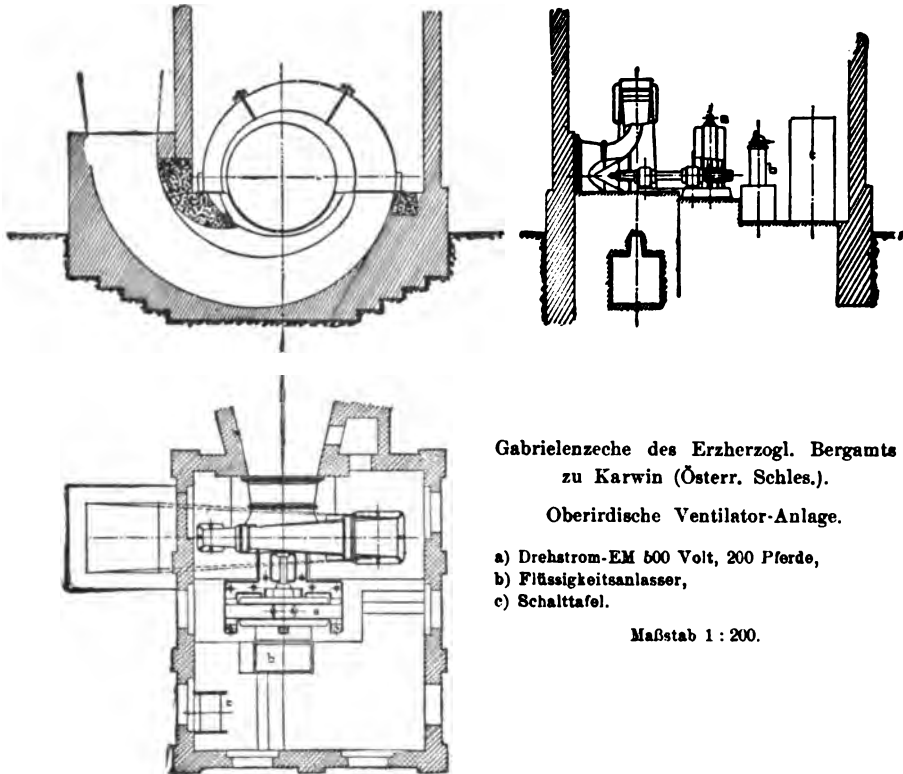
1. eine allmähliche, entsprechend der fortschreitenden Ausdehnung der Grubengebäude,
2. eine augenblickliche für Schlagwettergruben.

Auf mechanischem Wege kann solches erreicht werden:

- a) durch Anwendung von Riemenantrieb mittelst Treppenscheiben,
- b) dadurch, daß man die Ventilator-Anlage für die größte annehmbare Wettermenge herrichtet und mittelst Schiebers im Saugkanale für gewöhnlich eine entsprechende Luftmenge abdrosselt. Dieses Gewaltmittel ist bei einem unmittelbar mit dem Drehstrom-Elektromotor gekuppelten Ventilator der Ferdinandgrube der Kattowitzer A.-G. für Bergbau und Eisenhüttenbetrieb angewandt und immerhin noch zu empfehlen, wenn für einen möglichst hohen Wirkungsgrad der übrigen Gesamtanlage gesorgt wird, damit die offenbar unwirtschaftliche Drosselung möglichst wenig das Gesamtergebnis

beeinflusst. Ist es tunlich, so keilt man Ventilator-Flügelrad und Elektromotor-Anker auf gemeinschaftlicher Welle auf, weil sich bei Vermeidung einer Kuppelung eine sehr gedrängte einfache Anlage ergibt.

Bei großen elektrisch angetriebenen, meist mit dem Elektromotor unmittelbar gekuppelten Ventilatoren reguliert man:



Gabrielenzeche des Erzherzogl. Bergamts zu Karwin (Österr. Schles.).

Oberirdische Ventilator-Anlage.

- a) Drehstrom-EM 500 Volt, 200 Pferde,
- b) Flüssigkeitsanlasser,
- c) Schalttafel.

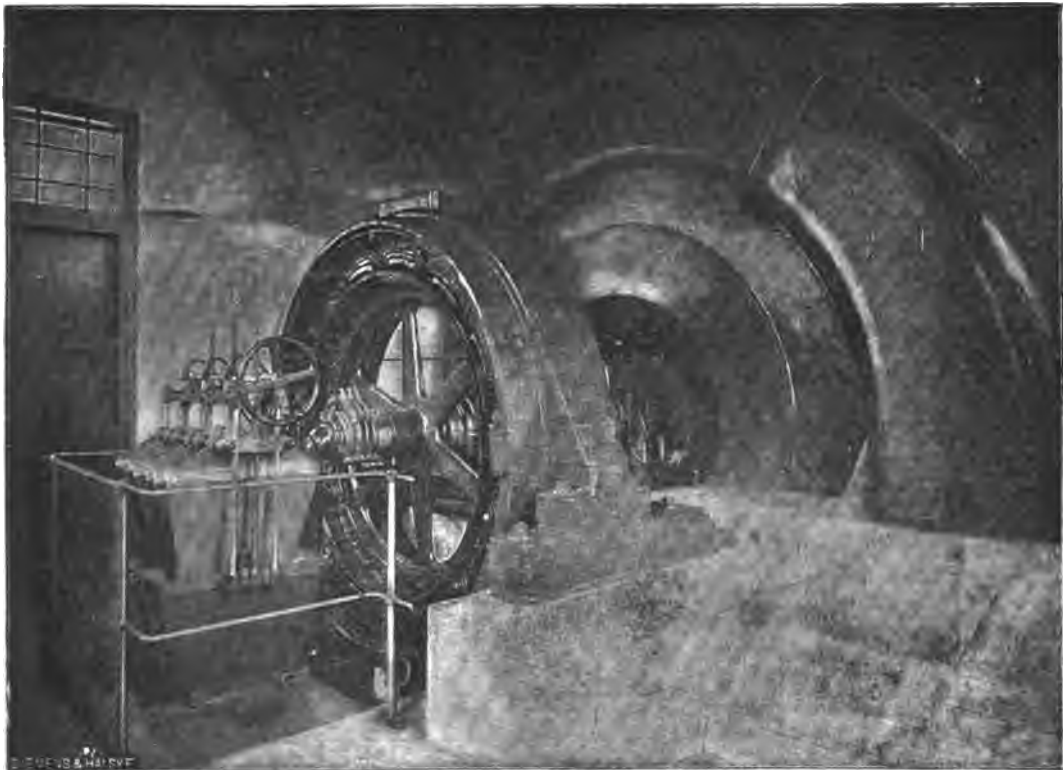
Maßstab 1 : 200.

- $\alpha$ ) bei Anwendung von Gleichstrom durch die Nebenschlußerregung des Elektromotors, wobei keine Verluste auftreten, also der elektrische Wirkungsgrad ungeändert bleibt;
- $\beta$ ) bei Anwendung von Drehstrom-Elektromotoren, die aus einem mit konstanter Periodenzahl arbeitenden Netze gespeist werden, durch Einschaltung von Regulierwiderständen in den Rotor. Dieses Mittel führt jedoch auf eine Verschlechterung des Güteverhältnisses und ist deshalb noch weniger zu empfehlen als die Drosselung, weil mit dieser auch der Kraftbedarf vermindert wird.
- $\gamma$ ) Bei den größten Haupt-Ventilatoren dagegen ist eine Einrichtung zu empfehlen, wie wir sie früher bei den elektrisch angetriebenen Wasserwältigungs-Pumpen besprochen: Man richtet eine regulierbare selbstständige Primär-Dynamomaschine ein und macht von deren Umdrehungszahl die Umdrehungszahl des Sekundär-Elektromotors beziehungsweise des angetriebenen Ventilators abhängig. Diese Einrichtung ist, bei Verwendung von Drehstrom, die vollkommenste und für wichtige Fälle stets zu wählen.

Bei Gleichstromanlagen verwendete die „Union Elektrizitäts-Gesellschaft“ mit Vorteil zwei Kollektoren, mittelst welcher weitgehende Änderung der Umdrehungszahl ohne Verluste erreicht werden. (Das Mittel ist angewandt bei dem in der Tabelle aufgeführten Zentrifugalventilator für die „Union A.-G. für Bergbau-, Eisen- und Stahlindustrie Dortmund“.)

Daß für eine genügende Verständigung zwischen den Grubengebäuden und der Primärstation durch Telephone zu sorgen ist, bedarf kaum der Erwähnung.

Wenden wir uns nun zu den ausgeführten elektrischen Ventilator-Anlagen im Betriebe.



Ventilatoranlage des Erzherzogl. Bergamtes zu Karvin (Österreich-Schlesien) mit unmittelbarem elektr. Antriebe (Siemens-Halske, Berlin).

### Die elektrisch angetriebene Ventilatoranlage

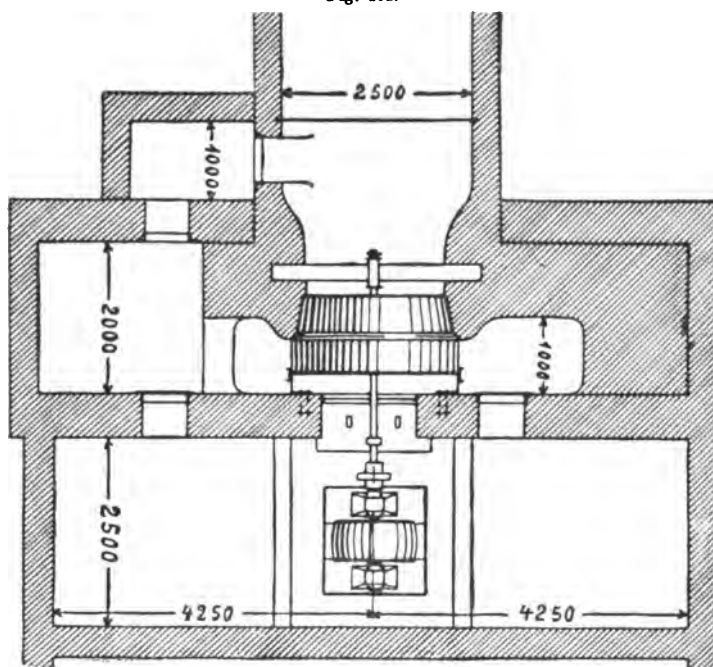
auf dem „Rammelter“ Wetterschacht des Steinkohlenbergwerkes Gerhard zu Louisenthal bei Saarbrücken\*).

Es gibt gegenwärtig in den bedeutenden Steinkohlen-Betrieben, z. B. Saarbrückens, besonders auch Westfalens, Oberschlesiens und im Bergbau anderer Länder so viele mustergültige elektrisch angetriebene, aus den Werkstätten der hervorragendsten elektro-maschinentechnischen Firmen hervorgegangene Ventilator-Anlagen, daß es nicht leicht ist, die beste Anlage auszuwählen, um an ihr nun die erforderlichen oben allgemein geschilderten Eigenschaften im besonderen nachzuweisen.

\*) Althans, Zeitschrift des B., H.- u. Salinenwesens 1896, Bd. XLIV, Heft 5, S. 453 u. ff.

Aus mehrfachen Gründen glaubte ich mit der „Rammelter“ Anlage beginnen zu sollen, wiewohl dieselbe seit dem Jahre 1902, wie weiter unten angedeutet wird, eine wesentliche Umgestaltung erfahren hat und auch von anderen Anlagen, z. B. der benachbarten Provinz Westfalen, an Großartigkeit überflügelt ist. Aber als eine der ersten größeren, durch eine Reihe von Jahren erprobten Anlagen ihrer Art, gibt sie wie kaum eine andere, ein lehrreiches Stück Entwicklungsgeschichte der Wetterwirtschaft überhaupt, insbesondere der elektrischen Kraftübertragung und hat, nach des damaligen Bergwerkdirektors Althans Mitteilungen, seit ihrer Inbetriebsetzung im Jahre 1895 mit „sehr gutem Erfolge und ohne jede Störung“ den Beweis geliefert, daß sie zu den mustergültigen Anlagen zählt und daß die Elektrizität für den Bergbau und dessen Wetterwirtschaft von hervorragender Be-

Fig. 104.



Ventilator-Anlage mit unmittelbarem elektr. Antriebe auf dem „Rammelter“ Wetterschachte bei Saarbrücken.

deutung ist. Auch war es mir hier durch die zu Gebote stehenden Quellen ermöglicht, ein ziemlich vollständiges Bild von den wechselvollen Veränderungen und Verbesserungen der Anlage zu gewinnen, welches ich im folgenden mit einigen Linien zu skizzieren versuchte. Übrigens war ich tunlichst bemüht, meine Besprechung auch für die Beurteilung anderer Anlagen einzurichten.

Im November 1895 wurde der letzte Wetterofen des Steinkohlenbergwerks Gerhard durch eine elektrisch angetriebene Ventilator-Anlage ersetzt, welche deutlich zeigt, wie unter gewissen Umständen die elektrische Kraftübertragung für die Gruben-Ventilation alle anderen demselben Zwecke dienenden technischen Vorrichtungen übertrifft (Fig. 104)\*).

\*) Man vergleiche mit dieser, einer der ältesten Anlagen ihrer Art, die weiter unten erwähnte, von derselben Firma für die Grube „Nothberg“ gelieferte neue Anlage.

Der saigere Rammelter Wetterschacht von 6,4 qm, dessen Ventilator das Westfeld des Beustflötzes zu versorgen hat, steht, etwa 800 m von der nächsten Förderanlage des neuen Rudolfschachtes (Serlo) entfernt, auf einem wasserarmen Plateau, so daß Kesselspeisewasser und Kohlen schwer zu beschaffen waren. Deshalb wurde auch der 1866 am Schachte eingebaute große Guibal-Ventilator nebst Kesselhaus im Jahre 1879 wieder abgebrochen und durch einen Wetterofen, wie bereits oben erwähnt wurde, ersetzt. Außer diesen Erfahrungen drängten auch andere wirtschaftliche Gründe zur elektrischen Kraftübertragung. Die neue Primäranlage konnte noch im Maschinengebäude des Kompressors am Rudolfschacht untergebracht und durch die dortigen Wärter bequem mit überwacht werden, wenn nur noch ein Kesselheizer angenommen wurde. Ferner war es nicht nur möglich, die Sekundärmaschine auf dem Rammelter Schacht von der Primärstation aus anzulassen und abzustellen, sondern auch von den beiden Wärtern der Fördermaschine, die abwechselnd abkömmlisch waren, mit zu versorgen, wenn Drehstrom, dessen Elektromotoren kaum der Wartung bedürfen, gewählt und durch unmittelbare Kuppelung der Wellen des Ventilator-Flügelrades und des Elektromotor-Ankers, sowie durch Ringschmierung möglichste Vereinfachung angestrebt wurde.

Der Berechnung der elektrischen Anlage wurde als erforderliche größte Wettermenge  $V = 1400 \text{ cbm/Min.} = 23,3 \text{ cbm/Sek.}$  und als „Grubenweite“  $A = 1 \text{ qm}$  zugrunde gelegt.

Hieraus ergab sich als erforderliche Depression:

$h = (0,38 \cdot 23,3)^2 \sim 80 \text{ mm}$  (Gleichung 4 der vorangehenden Anmerkung), als Umdrehungsgeschwindigkeit des Flügelrades:

$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 80}{1,2}} = \sim 36 \text{ m,}$$

für den gewählten Pelzerventilator mit  $D = 2,25 \text{ m}$  Flügelraddurchmesser und einseitiger Eintrittsöffnung von 2,7 qm Querschnitt:

$$n = \frac{80 \sqrt{h_{\text{mm}}}}{D} = \frac{80 \sqrt{80}}{2,25} = \sim 300 \text{ Umdrehungen in 1 Min. („B. u. H.K.“ 1905, S. 146), als Nutzleistung:}$$

$$N = \frac{23,3 \cdot 80}{75} = \sim 24 \text{ Pferdekkräfte,}$$

und bei einem maschinellen Wirkungsgrade 0,60 des Ventilators: als absolute Leistung  $N_a = 1/0,6 \cdot 24 = 40 \text{ Pferdekkräfte}$ , welche von dem Elektromotor an die Ventilatorwelle abgegeben werden muß.

Nach diesen kurzen, nur auf das Wesentlichste gerichteten Berechnungen, soll folgende Tabelle nun auch eine möglichst kurz systematisch geordnete Zusammenstellung der Hauptbestandteile der Gesamt-Anlage geben.

**Die Ventilatoranlage mit elektr. Antriebe auf dem „Rammelter Wetterschachte“ des Steinkohlenbergwerkes „Gerhard“ zu Luisenthal.**

Zeitschr. f. d. B., H.- und Salinenwesen 1896. Bd. XLIV, 5. Heft, S. 453.

I. Kraft-Maschine (Motor).	II. Zwischen-Maschine.	III. Arbeits-Maschine.
Maschinentechnische Bewegungsübertragung.		
Elektrotechnische Bewegungsübertragung.		
Primär-Anlage.	Elektrische Leitung.	Sekundär-Anlage.
<p>Einzylinder- dampf- maschine</p> <p style="text-align: center;">360 mm Zylinder- durchmesser, 650 mm Hub.</p> <p>Expansionschieber durch Regulator verstellbar. Admissionsdruck 5 bis 6 Atmosphären. Konzessionierte Kesselspannung 6,5 Atmosphären. <math>n = 93</math> Uml. in 1 Minute. Erkennbare Ölzuführung.</p> <p>Die Dampfmaschine ist von Gebr. Meer in M.-Gladbach gebaut.</p> <p>Die Dynamomaschinen-Anlage ist von der „Elektrizitätsgesellschaft vormals W. Lahmeyer“ zu Frankfurt a. M. eingerichtet. Die Drehstromdyn. Type F. 40 480; der Drehstrom-Elektromotor: Modell H. 40 300. Der Ventilator wurde von Pelzer geliefert.</p>	<p>Riementrieb . Schwungrad-Dm. = 3500 Riemenscheib.-Dm. = 660 Achsenstand zwischen Schwungrad- und Ankerscheibe 7,5 m.</p> <p>8 polige Drehstrom-Dynamomaschine 500 V., 35,5 KW. 64 Polwechsel 1 Sek.; also <math>n = 8</math></p> <p>Erregerm. 65 V. 20 A. Regulierwiderstände in den Erregerleitungen beider Maschinen, um die Magnetorregung und Spannung beider Maschinen zu ändern.</p> <p>3 blanke Kupferdrähte von je <math>q = 52</math> qmm und 800 m Länge, gelagert auf 20 spiralförmigen, 40 m voneinander entfernten Rohrmasen. Verzinkter Stacheldraht über der ganzen Leitung entlang geführt und in je 200 m Entfernung nach dem Erdboden geleitet, soll zur Abwendung der Blitzgefahr dienen. Im Innern der Gebäude Drähte in Bergmannschen Rohren verlegt Metallrohre mit Papierauflage.</p> <p>12 polige Asynchrone Drehstrom-Elektromotor müßte bei Leerlauf <math>n = 480</math>, 812 = 320 Uml. machen. Drehstrom-EM macht bei Belastung weniger Umläufe als dem synchron. Gange entspricht. Diese sog. „Schlüpfung“ beträgt <math>\approx 3</math> bis 6 Prozent. Maximalleistung = 40 Pferdek.</p> <p>Direkte Kuppelung mittelst Gummi-Kuppelung. Gemeinschaftliche Achse mit Ringschmierung versehen.</p>	<p>Pelzer Ventilator saugt aus dem 58 m tiefen „Rammelter“ Wetter-Schacht.</p> <p><math>V = 1400</math> cbm Maximalleistung/Minute; <math>h = 80</math> mm Depression.</p> <p><math>N = \frac{V \cdot h}{60 \cdot 75} = \frac{1400 \cdot 80}{60 \cdot 75} = 24</math> Pf. Nutzleistung.</p> <p><math>\eta = 0,6</math> Wirkungsgrad, vom Lieferanten garantiert.</p> <p><math>N_a = 24,06 = 40</math> Pferde sind an die Ventilatorachse vom Elektromotor abzugeben.</p> <p>Im November 1895 wurde die Anlage in Betrieb gesetzt.</p>

Als Ergänzung des vorstehenden tabellarischen Überblickes mögen noch einige Bemerkungen genügen, die ganz allgemeine Gültigkeit für eine derartige Anlage haben sollen.

**Primär-Anlage.** Auf der von der Kraftmaschinen-Welle aus durch Riementrieb ins Rasche angetriebenen Dynamomaschinen-Welle sitzen die beiden wesentlichsten elektrischen Bestandteile der Primäranlage: Die Drehstrom-Dynamomaschine und die ihre Magnete erregende Nebenschluß-Dynamomaschine (2 polige Gleichstrommaschine) miteinander verkuppelt. Die letztere Maschine kann entbehrt werden, wenn Gleichstrom aus einem Netz zur Verfügung steht. Der Gleichstrom wird durch Bürsten den beiden auf dem rotierenden Teile der Drehstrommaschine isoliert angebrachten messingenen Schleifringen zugeführt. Mit diesen Schleifringen sind verbunden die beiden Enden der hintereinander geschalteten Erregerwicklungen der rotierenden Feldmagnete des Drehstromankers. Durch Drehung des Ankers wird der beabsichtigte Drehstrom in den stromerzeugenden Wicklungen erzeugt, welche in Nuten des feststehenden, den rotierenden Anker umgebenden Gehäuses eingebettet liegen. Das ringförmige Gehäuse ist aus dünnen Scheiben weichen Eisens zusammengesetzt, welche untereinander durch Papiereinlagen isoliert sind, um, wie schon früher hervorgehoben wurde, schädliche (Foucault) Wirbelströme zu verhüten. Die Wicklungen sind hier in der früher besprochenen Sternschaltung angeordnet. (Nachzulesen unter „Dynamomaschinen“).



Wichtig ist auch hier die Regulierung des Stromes, um die Leistung des Elektromotors und damit des Ventilators auf der Sekundär-Anlage nach Erfordernis, womöglich sofort bei Schlagwetter-Einbrüchen, erhöhen zu können.

Um die Stromstärke und damit die Magneterregung und Spannung sowohl der Gleichstrom-Maschine als auch der Drehstrom-Maschine zu ändern, sind in der Nebenschluß- und Haupterreger-Leitung der Gleichstrom-Dynamomaschine, regulierbare Widerstände eingeschaltet. Die Haupterreger-Leitung führt, wie oben hervorgehoben wurde, den Erreger-Strom den erwähnten Schleifringen der Drehstrom-Maschine zu und bestimmt die Stromstärke in der nach der Sekundär-Anlage hinüberführenden Fern-Leitung. Die Haupterreger-Leitung, welche einen Strom von 20 Ampère und 65 Volt Maximalspannung führt, ist mit einem Strom- und einem Spannungs-Messer und einer doppelpoligen Bleisicherung ausgestattet und speist nebenbei noch 4 Glühlampen zur Beleuchtung des Schaltbrettes und des Maschinenraumes.

Die Drehstrom-Leitung, welche von den feststehenden, durch Holzkasten verdeckten Maschinenklemmen durch einen dreipoligen mit Bleisicherung verbundenen Ausschalter zur Fernleitung führt, ist ebenfalls mit einem Strom- und einem Spannungsmesser ausgestattet.

Fernleitung. Über die Fernleitung ist wohl das Hauptsächlichste in der Tabelle enthalten. Dagegen möchte es sich empfehlen, noch auf einige Eigentümlichkeiten der Sekundär-Anlage, insbesondere des Elektromotors aufmerksam zu machen.

Sekundär-Anlage. Einleitende Bemerkungen. Hierunter ist von syn-chronen (gleich-zeitigen) und a-syn-chronen (nicht-gleich-zeitigen) Drehstrom-Elektromotoren die Rede, es möchte deshalb (zu den bereits früher gegebenen Auseinandersetzungen) eine allgemeinverständliche Aufklärung darüber auf Grund eines gewöhnlichen allgemein bekannten Riementriebes nicht überflüssig sein. Bei jedem Riementriebe, bei dem bekanntlich die Drehbewegung einer Scheibe (Kraftscheibe) durch einen Riemen auf eine benachbarte Scheibe (Lastscheibe) übertragen wird (und entsprechendes gilt auch für den Seiltrieb), muß die Spannung des Riemens mit der Belastung in einem richtigen Verhältnisse stehen, sonst reicht die Reibung zwischen dem Riemen und den Scheibenumfängen nicht mehr aus, es tritt Gleiten (Schlüpfen oder Schlupf) auf, d. h. die Scheiben drehen sich nicht mehr gleichzeitig oder synchron, sondern es bleibt die Lastscheibe gegen die Antriebscheibe zurück; die Scheiben bewegen sich asynchron.

Mit anderen Worten, jene als Schlüpfung bezeichnete Relativbewegung wächst: sowohl 1. wenn die Riemenspannung und damit die Reibung vermindert als auch 2. „ „ Belastung vergrößert wird.

Nur bei „Leerlauf“, d. h. wenn der Riementrieb gar keine Arbeit zu übertragen hätte, dürfte die Bewegung als synchrone angesehen werden, in allen anderen Fällen dagegen muß ein gewisser Asynchronismus auftreten. Asynchronismus ist danach eigentlich Regel und Synchronismus nur Ausnahme, die im wahren Sinne des Wortes niemals eintreten kann, da selbst bei Leerlauf immer etwas Arbeit zu verrichten sein wird.

Beim Elektromotor tritt nun die gegenseitige Einwirkung der magnetischen Kräfte zwischen den Polen des sich drehenden und des feststehenden Teiles durch den Luftzwischenraum an Stelle der beim Riementrieb durch Spannung hervorgerufenen Reibung. Es wird deshalb bei der elektrischen Kraftübertragung Schlüpfung eintreten:

1. wenn durch Einschalten von Widerständen jene gegenseitige magnetische Einwirkung vermindert wird,
2. wenn die Belastung des Elektromotors vergrößert wird.

Die Schlüpfung bei den Drehstrom-Elektromotoren hat aber noch eine große Bedeutung für die Arbeitsleistung derselben. Durch jede Relativbewegung zwischen den rotierenden magnetischen Feldern des aus den 3 Drähten der Fernleitung gespeisten Stators einerseits und den ununterbrochenen, „kurz geschlossenen“ Drahtwindungen des Rotors („Kurzschlußankers“) andererseits werden nach dem Faradayschen Gesetz Ströme induziert, wird also eine gewisse Arbeitsfähigkeit hervorgerufen, ohne daß eine besondere Stromzuführung zum Rotor von außen her durch Schleifbürsten erforderlich ist. Diese Induktion und gerade der Wegfall der Schleifbürsten infolge jener Induktion gewährleistet die große Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit des Kurzschluß-Drehstrom-Elektromotors, überhaupt der sog. Induktions-Maschinen. (Nachzulesen oben unter Wechselstrom-Elektromotor.)

**Der Elektromotor.** Der Elektromotor der Rammelster Anlage ist ein 40 pferdiger asynchroner Drehstrom-Elektromotor H 40/300 der Firma E. A. G. vorm. W. Lahmeyer & Co., Frankfurt a. M. (Fig. 104.)

Die den Fernstrom aufnehmenden Wicklungen des feststehenden Teiles (Stators) liegen in ähnlicher Weise wie bei der oben geschilderten Dynamomaschine, in zur Welle parallel laufenden Nuten am inneren Umfange des ringförmigen Gehäuses, welches aus dünnen durch Papierzwischenlagen gegeneinander isolierten Scheiben weichsten Eisens zusammengesetzt ist.

**Lagerung im Gehäuse.** Die Wicklungen sind so angeordnet, daß sie 12 Pole bilden. Da die Dynamomaschine 8 Pole besitzt und  $n = 480$  Umdrehungen in 1 Minute ausführt, so muß der Elektromotor bei synchronem Lauf (Leerlauf)  $n = \frac{8}{12} \cdot 480 = 320$  Umläufe in derselben Zeit ausführen. Wie wir oben sahen, bleibt bei Belastung dann aber der Drehstrom-Elektromotor gegen die Umdrehungszahl, die dem synchronen Gange entspricht, zurück.

Der rotierende Teil (Rotor) ist ein sogen. „Kurzschlußanker“, wie er oben besprochen wurde. Die dicken Ankerdrähte sind am Umfange des Ankers in Nuten eingelegt und an den Stirnflächen durch dicke Kupferstangen verbunden, die nur durch den Luftzwischenraum isoliert sind.

Da der Luftzwischenraum zwischen „Rotor“ und „Stator“ möglichst klein gehalten werden muß, ist für eine sehr solide und nachstellbare Lagerung besonders des Stator-Gehäuses durch Stellschrauben für wagerechte, und Keile für lotrechte Verschiebung gesorgt.

In der Sekundär-Anlage sind Meßapparate gar nicht und von Schaltvorrichtungen ist nur ein mit Bleisicherungen verbundener Handausschalter ohne Widerstände vorhanden, der nur im Notfalle geöffnet wird. Der Notausschalter ist beim Anlassen des Ventilators, welches stets von der Primär-Anlage aus geschieht, geschlossen. Daß beim Ausschalten nur schwache Funken erfolgen, ist durch Versuch festgestellt.

Die Wellen des Elektromotors und des Ventilators sind unmittelbar durch eine genügend elastische Kuppelung sicher miteinander verkuppelt.

**Anlassen des Ventilators.** Das Anlassen des Ventilators erfolgt von der Dampfmaschine aus in nachstehender Reihenfolge:

1. Der Ausschalter der Hauptstromleitung wird geschlossen;
2. beide Widerstände der Erregerleitung werden vollständig eingeschaltet;
3. die Dampfmaschine mit Dynamomaschine wird auf die regelrechte Umdrehungszahl  $n$  gebracht;
4. die Erregermaschine wird durch vorsichtiges Ausschalten des Widerstandes der Nebenschlußleitung allmählich auf ihre Spannung gebracht; und damit werden
5. die Magnete der Drehstrommaschine erregt.

Hierbei wächst allmählich die Spannung und der Ventilator läuft langsam an. Bei zu raschem Ausschalten der Widerstände wächst die Stromstärke in der Hochspannungsleitung, die beim Anlauf des Ventilators etwa auf das Doppelte der regelrechten steigt, so stark an, daß die Bleisicherungen geschmolzen werden. Wenn die Spannung etwa 350 V erreicht hat, steigt sie unter plötzlichem Fallen der Stromstärke schnell auf 500 V. Dann ist (berichtet die Quelle weiter) der Ventilator im regelrechten Betriebe. Entsprechende Vorsichtsmaßregeln sind bei allen Maschinenanlagen, bei denen es auf Beschleunigung großer Massen ankommt, zu beachten.

### Versuchsergebnisse.

Der Wichtigkeit des Gegenstandes wegen soll noch über einige Betriebsergebnisse berichtet werden, über welche die Quelle ausführliche Angaben bringt: Es wurde bei  $n = 81, 86, 93$  Uml. der Dampfmaschine beobachtet, und hierbei:

1. die Anzahl der Umdrehungen der Dynamomaschine und des „Elektromotors“ gezählt, um daraus das Gleiten des Riemens und die „Schlüpfung des Elektromotors“ zu bestimmen;
2. Spannung (Volt) und Stromstärke (Amp.) abgelesen und zugleich Indikator diagramme auf beiden Seiten der Maschine genommen;
3. die angesaugte Luftmenge mit Casellas Anemometer und die Depression (unter der Explosionshaube, wo die Luft in Ruhe ist) gemessen. Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Nr. des Versuches	„n“ Umlaufzahlen			Riemengleitung %	Schlüpfung <sup>a</sup> %	Erregung		Hochspannung		Wahre Depression Wettermenge 1 Min. mm	Indikatorleistung der Dampfmasch. N <sub>i</sub>	Nutzleistg. des Ventil. Vh. 60 . 75 N.	Mechanischer Wirkungsgrad d. Gesamtanlage %	Grubenweite (äquival. Öffnung) qm	
	Dampfmasch.	Dynamom.	Elektromot. <sup>a</sup>			V.	A.	V.	A.						
1	81	418	272	2,6	2,51	47,0	19,4	495	42,0	58	1265	45,1	16,30	36,1	1,05
2	81	418	272	2,6	2,51	46,0	19,5	500	44,5	56	1460	46,6	18,17	38,9	1,23
3	86	443	285	2,8	3,39	49,0	18,3	500	44,5	63	1324	53,5	18,44	34,5	1,06
4	86	443	285	2,8	3,39	49,0	18,5	500	46,5	61	1538	53,1	20,85	39,3	1,24
5	93	485	306	1,6	5,26	52,5	17,8	500	53,0	71	1490	63,6	23,51	36,9	1,12
6	93	486	303	1,6	6,48	52,4	17,8	500	54,0	68	1618	65,6	24,45	37,3	1,24

Bedienung der Anlage. Die Anlage, seit ihrer Inbetriebsetzung (1895) bis zu ihrem Umbau, von dem im folgenden gehandelt wird, ohne Störung und Umänderung in der oben angegebenen einfachen Weise ohne einen besonderen Wärter in unausgesetztem Betriebe, wird nur alle 4 Stunden von dem Rudolfschacht aus nachgesehen und nur am Sonntag behufs gründlicher Reinigung auf einige Stunden außer Betrieb gesetzt.

Es mögen nun am Schlusse über die letzten Umänderungen der Anlage noch einige Bemerkungen folgen, welche ich dem damaligen Herrn Bergwerksdirektor Althans verdanke.

Umbau. Im Jahre 1902 wurde in „Louisental“ eine größere aus zwei Systemen zu je 100 KW bestehende Kraftzentrale für 2000 Volt Spannung eingerichtet, der Strom auf 2000 m Entfernung zu einem Transformator  $\frac{1000 \text{ Volt}}{500 \text{ Volt}}$

in der ursprünglichen Primärstation auf dem Rudolfschacht geleitet und an diesen der Rammelter Ventilator angeschlossen, dessen ursprünglicher Elektromotor aus-

Ventilator-Anlage mit direktem elektrischen Antriebe der Grube „Nohberg“. (Felsen- und Guillaume-Lahmeyerwerke A. G.)



gewechselt werden mußte, weil die neue Anlage 50 Wechsel hat und der Ventilator gegenwärtig mit geringerer Umdrehungszahl läuft. Die alte Anlage ist für

## Ventilator-Anlagen, erbaut von der Union E.-G. Berlin.

Stückzahl	Besteller resp. Aufstellungsort	Erbauer des mechan. Teiles	Art des Antriebes	Art des Ventilators	Zweck des Ventilators	Leistung in cbm pro Stunde	Presung in mm Wassersäule	Flügel Durchm. mm	Touren pro Minute	Kraftverbrauch eff. PS	Spannung Volt
1	Gelsenkirch. Bergw.-Verein Germania	Schüchtermann & Kremer	direkt gekuppelt	System Rateau	Grubenventilator	24000 (max.)	300	3410	345 250	250	2080
8	Saar und Mosel Bergwerks-Gesellschaft Karlingen	"	"	"	"	180000	—	3410	287	175	5000
1	Gewerkschaft Dt. Kaiser Hamborn	"	"	"	"	—	—	—	375	320	500
1	Donnermahlhütte, Oberschlesische Eisen- u. Kohlenwerke A.-G. Zabrze	—	Riemenantrieb	Zentrifugal	"	300000	110	8600	90	250	950
1	Gewerkschaft Hohenzollern-Frieden bei Hannover	Brodnitz & Seydel	direkt gekuppelt	"	Bewetterung von Querschlägen	2700	100	—	2000	2	110
3	Bremer Vulcan: Schiff 439 Schiff 445	Uanneberg & Quandt Berlin	"	Schraubenrad	Entlüftung von Schifferäumen	5000	—	600	1200	0,5	100
10	Elektr. Werk Baku	Brodnitz & Seydel	"	Zentrifugal	Kühlung von Transformatoren	3000	90	700	1440	3	1000
1	Union A.-G. für Bergbau-, Eisen- u. Stahlindustrie Dortmund	Aerzener Maschinenfabrik Ad Mayer Aerzen	Riemenantrieb	Zentrifugal Blower	Kuppelofenbetrieb	18000	800	—	800/200	100,54	280
1	Röhrenfabr. Golodai Rußland	G. Schiele & Comp.	direkt gekuppelt	Schraubenrad	Entlüftung von Werkstätten	7200	—	500	1410	0,75	200
2	Kaiserl. Werft Kiel: S. M. S. „Prinz Heinrich“	Kaiserl. Werft Kiel	"	"	Entlüftung von Schifferäumen	—	—	—	300/400	4,8	110
1	Bergwerks-A.-G. Consolidation Schalke i. Westfalen	Schüchtermann & Kremer Dinnendahl Steele	Seilantrieb Riemenantrieb	System Rateau	Grubenventilator	228000 227000	84 84	3400 3750	172 213	125 125	2000 2000
1	Myslowitzgrube a. s. Franzschacht	Dinnendahl Steele	Riemenantrieb	System Capell	do.	3500/5000	85	3500	180/240	60,10	2200
4	Badische Staatsbahn Karlsruhe	Dannenberg & Quandt Berlin	direkt gekuppelt	Zentrifugal	Gebälse für Schmelzofen	7200	45	240	170	0,25	120
1	Braunkohlengrube „Glückauf“ Trotha Halle	Dinnendahl Steele	"	"	Bewetterung	6000	45	750	900	4	500
1	Stetiner Maschinenbau-A.-G. Vulcan für Schnelldampfer: „Kronprinz Wilhelm“ des Norddeutschen Lloyd	G. Schiele & Comp.	"	"	Entlüftung von Schifferäumen	2700	50	1000	700	14	100
5	Röhrenfabrik Golodai Rußland	"	"	Schraubenrad	Entlüftung von Werkstätten	1500	—	300	1320	0,12	200
1	Gelsenkirchener Bergwerks-A.-G.	Schüchtermann & Kremer	"	System Rateau	Grubenventilator	—	—	—	230	450	2000

eine unterirdische Seilförderung verwendet. An den Transformator sind noch zwei andere Elektromotoren für unterirdische Seilförderung angeschlossen. Unmittelbar von den Zentralen werden noch 3 andere Ventilatoren eine weitere Seilförderung und verschiedene kleinere Elektromotoren, und zwar diejenigen unter 5 Pferdekraften Leistung unmittelbar mit 2000 Volt angetrieben. Als Leitungen dienen verseilte Bleikabel bis auf die Rammelter Anlage, die oberirdisch ist.

Umstehende Figur stellt eine von der „Felten- und Guilleaume-Lahmeyerwerke A.G.“ für die Grube „Nothberg“ gelieferte neuere Ventilatoranlage dar.

In der Tabelle S. 291 sind einige für verschiedene Zwecke ausgeführte elektrisch angetriebene Ventilator-Anlagen mit den für dergleichen Ausführungen wichtigsten Angaben zusammengestellt.

### Die elektrische Förderung.

Sie läßt sich einteilen in:

- A. Streckenförderung mittelst Lokomotiven und Seil- oder Ketten-Triebwerk für wagerechte und wenig geneigte Bahnen,
- B. Schachtförderung für lotrechte oder stark geneigte Bahnen,
- C. Kranförderung für gleichzeitig lot- und wagerechte Bewegungen.

Die Fördermaschinen für Schächte und Strecken (ober- und unterirdische) sowie die Aufzüge und Winden aller Art und schließlich auch die Kranvorrichtungen unterscheiden sich u. a. in drei wesentlichen Punkten durchaus von den bislang behandelten Wasserwältigungs- und Wettermaschinen. Bei den beiden letzteren sind:

1. Gleichförmigkeit der Richtung des Bewegten,
2. Gleichförmigkeit des Ganges der Maschine,
3. Gleichheit der Belastung

Zweck und Regel.

Nur bei Wassereinbrüchen und Schlagwetterausbrüchen, also nur im Notfalle wird eine schnelle, außerdem mit dem Fortschreiten der Baue eine allmähliche Steigerung der Leistung gewünscht. Ganz anders ist es bei den Fördermaschinen. Hier sind:

1. Umkehrbarkeit der Richtung (Umsteuerung),
2. Ungleichförmigkeit des Ganges (beim An- und Endlauf) und
3. Wechsel in der Belastung (Seilgewichtsüberschüsse, schnelle Last- und langsame Revisionsfahrten) Regel.

Jeder folgende Aufzug im Schacht, am Hochofen, in der Werkstatt oder mittelst Lift durch die Stockwerke eines Hauses, oder jeder Lokomotiv-Zug auf der „Strecke“, beginnt mit der Umsteuerung (Wechsel der Bewegungsrichtung), mit dem Anlauf (der Beschleunigungsperiode) und endet mit dem Endlauf (der Verzögerungsperiode). In der gesamten Technik gibt es kaum eine zweite Maschinengattung, an deren Regulierbarkeit und Leistungsfähigkeit infolge der erforderlichen bzw. unvermeidlichen Belastungs- und Geschwindigkeits-Schwankungen so große Ansprüche gestellt werden, wie die Haupt-Schacht-Fördermaschine, welche Last-Überschüsse von Null bis zu mehreren Tausenden von Kilogramm, mit Geschwindigkeiten von Null bis 16 Meter und darüber, aus Teufen von 1200 Meter und darüber, zu heben hat. Sie soll mit einer Leistungsfähigkeit, die selbst an diejenige von 3000 Pferden heranreicht, wie ein gut geschultes Pferd dem leisesten Winke ihres Führers folgen, vorwärts, rückwärts gehen, langsam aber stark anziehen, wenn die Belastung groß, traben, wenn der Zugwiderstand klein ist, kurz: als ganzes und in ihren Teilen den Hauptforderungen: Lenkbarkeit, Sicherheit und

Wirtschaftlichkeit im vollsten Maße entsprechen. Unserem Pferde entspricht bei einer elektrischen Förderanlage der Förder-Elektromotor. Dieser zwar derbe, aber nicht unpassende Vergleich sollte nachdrücklich darauf hindeuten, daß zwischen dem gewöhnlichen Elektromotor und dem Förder-Elektromotor ein gewaltiger Unterschied besteht, welcher die Preiseinschätzung bestimmt, und daß deshalb das beliebte „Submissionsverfahren“ gerade auf diesem Gebiete zu verwerfen ist, wenn es von solchen Beamten ausgeübt werden muß, von denen man der Neuheit der Sache wegen den Wert der Förder-Elektromotoren einzuschätzen, nicht verlangen kann.

Oder soll man noch mehr bewundern den Riesen-Kran, den Drehkran in der Werkstatt, im Stahlwerk, am Hafendamm, der spielend innerhalb seines wenn schon beschränkten Wirkungsbereiches Lasten bis 150 000 kg und mehr gleichzeitig nach allen Richtungen auf-, seit-, vorwärts befördert; oder das letzte Erzeugnis der Ingenieur-Kunst auf diesem Gebiete, den „vereinigten Hebe- und Transportkran mit unbegrenztem Arbeitsfelde“, der auf Hängebahnen seine Last befördert:

1. längs beliebig gekrümmter, beliebig langer, aneinander gereihter Strecken,
2. dabei an jeder Stelle der Bahn den erforderlichen Kraftvorrat bei sich trägt,
3. an jeder Stelle seiner Bahn von nah und fern steuerbar ist.

Und dieser Elektromotor mit angebaute Winde oder, wie er noch kürzer von der ausführenden Firma Siemens und Halske genannt wird, „Motor-Winde“, in der neuen von dem bisherigen abweichenden Anordnung wurde nur möglich durch die schmiegsame bewegliche Form der Elektrizität und weil das denkbar einfachste Maschinen-Element, die „blanke Kontaktleitung“, als Lebensader genügt.

Wenn man angesichts solcher Leistungen auf dem Gebiete der Elektro-Maschinenteknik deren Werdegang rückwärts bis zu den ersten Anfängen der Wirkung des geriebenen Bernsteins verfolgt, und nun, mit den Anfängen der drahtlosen Telegraphie beginnend, in die Zukunft schaut, so muß schon der Gedanke kommen, daß unsere Nachkommen es ermöglichen müßten, auch selbst ohne den „leitenden blanken“ Draht große elektrische Arbeitsvorräte nicht nur durch die Luft, sondern auch durch den festen Erdball fortzuleiten. Aber dazu möchten allerdings auch ungeheuer starke anregende elektrische (Primär-)Kräfte erforderlich sein, wie wir sie heute nur kennen in dem natürlichen Blitze mit einer Leistungsfähigkeit von vielen Tausend, wenn nicht Millionen Pferdekräften. Und wer mag nach den heutigen ungeahnten Erfolgen noch daran zweifeln, daß durch des Menschen Sinnen und Schaffen dereinst auch diese großartige weitverbreitete, stets und überall in der Natur vorhandene Naturkraft in vollkommenerer Weise als durch den Franklinschen Drachen zur Erde zu wirtschaftlicher, zwangsläufiger Arbeitsleistung herabgezogen werde. Denn wie das heutige Geschlecht dem Blitze, so stand ursprünglich der Mensch der verheerenden Wasserkraft und allen anderen Naturkräften, die er heute zum Segen der Menschheit bändigt und ausnutzt, ratlos gegenüber.

#### A. Die elektrische Strecken-Förderung.

Der Bergmann spricht von unterirdischen Strecken. Aber auch von der „Strecke“ der oberirdischen Eisenbahnen wird gesprochen.

Will man, wie bereits oben angedeutet wurde, verallgemeinern, so darf man unter Streckenförderung die Lastenfortbewegung auf den verschiedenen Arten von wagerechten, festliegenden Gleis- und schwebenden Seil-Bahnen, auch auf Hänge-Bahnen, verstehen und auch die Fortbewegung durch Kranvorrichtungen aller Art hierher rechnen.

In bezug auf die Antriebskraft kann man zwei Hauptförderungsarten unterscheiden, je nachdem die Antriebsmaschine (Elektromotor) feststeht, wie bei der „Seil- und Kettenförderung“ oder mitläuft, wie bei den Lokomotiv-, den meisten Kranbetrieben und den Schwebebahnbetrieben. Geschichtlich, auch elektro-maschinentechnisch steht die „elektrische Gruben-Lokomotive“ obenan. Und dadurch, daß Werner Siemens der Begründer der Firma „Siemens und Halske“ Berlin, schon 1879, also in einer Zeit, in welcher an eine elektrische Kraftübertragung im heutigen Sinne noch nicht die Rede sein konnte, mit seiner Gruben-Lokomotive die Lösung einer der schwierigsten Aufgaben, vielleicht der gesamten Maschinentechnik, versuchte und durchführte, hat er sich als einer der größten Elektro-Maschinentechniker erwiesen. Denn ihr Elektromotor war der erste, welcher dem damaligen Können und Wissen entsprechend in kleinstem Raume alle Eigenschaften (und wichtigsten Vorrichtungen) in sich vereinigte, die wir an den großen elektrischen Hauptschacht-Fördermaschinen der Jetztzeit, allerdings, in bezug auf Sicherheit, Regulierbarkeit und Wirtschaftlichkeit, wesentlich vervollkommenet und ergänzt, wiederfinden. In der Tat bildet die Siemenssche elektrische Gruben-Lokomotive das erste Glied in der kunstvollen Kette, die heute mit dem hervorragendsten Gliede, der elektrischen Haupt-Schacht-Fördermaschine, und der „Motorwinde“ (Kammner-Siemens und Halske) abschließt. Aus diesem Grunde wurden die im allgemeinen weit einfacheren Wasserhaltungsmaschinen und Ventilatoren den Fördermaschinen vorausgeschickt und an den Kopf der letzteren die elektrischen Gruben-Lokomotiven gestellt.

Der unter Umständen gewiß empfehlenswerte elektrisch angetriebene Draht-Seil (oder Ketten)-Betrieb mit dem gegenwärtig wohl typischen „über beide Strecken umlaufenden Seil ohne Ende“\*) ist

1. unmöglich in engen Gruben-Strecken, in denen die beiden Seil-Trümmer und die beiden Gleise für die gleichzeitig, in entgegengesetzter Richtung, aneinander vorbeifahrenden Voll-Wagen- und Leer-Wagen-Züge, nicht untergebracht werden können,
2. schwierig und unwirtschaftlich auf langen Strecken mit starken Krümmungen, weil die dann erforderlichen zahlreichen Führungsrollen durch Reibung und Abnutzung in sich und am Seil Reibungsarbeit, Wartung und Auswechslung veranlassen.

Der elektrische Lokomotivbetrieb mit der leicht nachführbaren Stromleitung dagegen ist in solchen Fällen noch möglich, meist auch billiger, schneller einzurichten und leichter, selbst in starken Krümmungen und nicht zu bedeutenden Steigungen bis zu fernen Arbeitspunkten der Nebenstrecken eines verzweigten Grubenbetriebes fortzuführen.

Beim oberirdischen elektrischen Verkehrswesen treten noch die sog. „Elektromotorwagen“ oder „elektrischen Straßenbahnwagen“ hinzu, welche vorzugsweise dem Personenverkehr dienen, während auch hier bei der Güterbeförderung vorwiegend die Lokomotive zum Ziehen langer Züge benutzt wird, von denen die einzelnen Wagen leicht abgetrennt werden können.

Demn auf diese Weise nur ist es ermöglicht, daß die Lokomotive anderweit benutzt werden kann während der längere Zeit beanspruchenden Entladungen und Beladungen der Wagen.

\*) Die anderen Förderarten mit „Seil und Gegenseil“  
„Vorder- und Hinterseil“  
„Seil und Verbindungsseil“

gelten heute wohl als minderwertig, kommen deshalb nur in besonderen Fällen in Frage.



a) Die elektrische Streckenförderung mit Lokomotive.

Gruben-Lokomotive. Das erste elektrisch angetriebene praktisch verwertbare Fahrzeug der Welt war eine von Siemens und Halske gebaute Grubenlokomotive, die auf der Berliner Gewerbeausstellung 1879 auf einer oberirdischen Eisenbahn drei Wagen mit je 6 Personen zog und später als „historisches Objekt“ in Frankfurt 1891 ausgestellt war.

Durch die Gruben-Lokomotive ist die elektrische Kraftübertragung, fast könnte man sogar sagen, die Elektrizität, überhaupt erst in die Bergwerke (und Hütten) eingezogen, deshalb ist die Gruben-Lokomotive im folgenden etwas ausführlicher behandelt.

Der Antrieb der 1879er Lokomotive erfolgte durch einen Elektromotor Typ D., dessen Trommelanker seine Leistung auf die Laufrad-Achsen übertrug. Der Strom wurde durch eine auf Holzklötzen gegen den Erdboden isolierte Mittelschiene zu, durch die Laufschiene zurückgeleitet. Der Bremshebel wirkte dergestalt auf einen „Fahrschalter“, daß der elektrische Strom stets unterbrochen wurde, bevor die Bremse auf die Räder zu wirken begann, und besorgte zugleich das Ein- und Ausschalten von Widerständen, um die Stromstärke bzw. die Fahrgeschwindigkeit zu regulieren. Mit dieser Siemensschen Grubenlokomotive war zugleich die Grundlage für die elektrisch angetriebenen oberirdischen Eisenbahnlokomotiven und Straßenbahnwagen gegeben. Sie zeigte auf kleinstem Raume zusammengedrängt, und doch leicht zu übersehen, nachzusehen, erforderlichenfalls auszubessern, den „Förder-Elektromotor“, dazu bereits eine auf das sorgfältigste hergestellte, nachgiebige, aber stoßfreie Verbindung des den Elektromotor tragenden Untergestelles mit dem Obergestelle und diente allen späteren Lokomotiven und elektrischen Straßenbahnwagen als Vorbild. Auch hatte den Erfinder der Gedanke gelehrt, daß die Pferdebahnwagen für den elektrischen Betrieb so umgebaut werden könnten, daß nur Achsen, Laufräder, Achsenlager und der Elektromotor nebst Getriebe neu geliefert zu werden brauchten.

1881 wurde die erste oberirdische elektrische Straßen-Eisenbahn zum Personenverkehr in Lichterfelde bei Berlin vom Anhalter Bahnhofe zur Kadettenanstalt von Siemens und Halske hergerichtet. Heute haben sich die elektrischen Straßenbahnen in vielen Städten eingebürgert, was nicht zum geringen Teil Amerikanischen Firmen\*), in Deutschland der „Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, vormals Schuckert und Co.“, Nürnberg, sowie der „Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft“ und „Union“ Elektrischen Gesellschaft, Berlin, die das „System Thomson Houston“ vertritt, zu danken ist.

Im Herbst 1882 wurde die erste\*\*) dauernd\*\*\*) in der Grube verwandte elektrische Gruben-Lokomotive der Welt von Siemens und Halske für das Königl. Sächsische Steinkohlen-Bergwerk beim Oppelschacht zu Zaukerode für einen 750 m langen, 220 m unter Tage liegenden Querschlag, geliefert. 1891 wurde dieselbe durch eine verbesserte 10pferdige von derselben Firma ersetzt. Die 1882er Lokomotive ist 2,43 m lang, 0,8 m breit, 1,5 m hoch, wiegt 1600 kg und bewegt 10 Grubenwagen (1,5 m lang, 0,65 m breit, 1,0 m hoch) mit 2 bis 3 m Geschwindigkeit, während die der Pferde nur 1,25 bis 1,5 m beträgt. Ein Wagen wiegt leer 250 kg und mit je 5 Hektoliter Kohlenladung rund 700 kg, so daß

\*) van Depoule, Sprague, Field, Edison u. a.

\*\*) Die im Depart. Loire auf der Grube La Peronnière (Öst. Z. 1882 S. 334, 1883 S. 161) und auf dem Schachte Thibaut der Société anonyme de St. Etienne (Öst. Z. 1883 S. 174, A. Pöech) eingerichteten Förderungen sind durch elektr. Haspel, nicht (wie auch in der Literatur angegeben wird) durch elektr. Lokomotiven bewirkt.

\*\*\*) Die bereits 1881 auf der Senftenberger Stadtgrube im Brandenburger Bezirke mit der elektrischen Lokomotive von S. u. H. angestellten Versuche mußten wegen mangelhafter Stromleitung abgebrochen werden.

die Grubenlokomotive ein Bruttogewicht von 7000 kg bewegt. Spurweite des Gleises ist 0,566 m. Vorn und hinten trägt sie je einen kleinen Sitz für den Führer. Dieselbe wird jedesmal hinter den Zug gestellt, so daß sie sowohl den vollen wie den leeren Zug schiebt, wodurch das Kuppeln erspart und die Übersicht über den Zug gewahrt wird. Die Leistung beträgt 330 bis 800 Wagen in 8 Stunden-Schicht. Die gesamten Betriebskosten für einen Förderwagen von 450 kg Nutzlast bei 800 Wagen Tagesförderung auf 1 Tonnenkilometer betragen: 5,5 Pfg. ohne, 8,3 Pfg. mit Tilgung und Verzinsung. (Man vergleiche hiermit die Berechnung für die Vienenburger Drehstrom-Anlage.)

Die Bedeutung dieser Musteranlage für alle folgenden ähnlichen Einrichtungen rechtfertigt die Zusammenstellung folgender Notizen. Auf der Hängebank des Schachtes wird durch einen 8 pferdigen Dampfmaschinen-Schnellläufer (250 Umdr. 1 Min.) mittelst Riemen eine Siemens-Gleichstrom-Dynamomaschine (800 Umdr./Min. 150 bis 180 Volt) angetrieben. Strom-Zu- und Ableitung im Schachte durch gut isolierte und armierte Kabel (Gummi-Blei-Eisendraht-Umhüllung), die mit zwei an eigenartig konstruierten Isolatoren aufgehängt, unter der Firste herlaufenden eisernen  $\perp$ -Fensterisen-Schienen leitend verbunden sind. Auf letzteren schleifen behufs Zu- und Ableitung des Stromes zwei kleine durch besondere Hanfseile nachgezogene Rotgußschuhe, von denen je ein kurzes isoliertes Leitungsseil zu dem längs der Lokomotive gelagerten vollkommen geschlossenen Elektromotor führt. So ist die Benutzung der Wagen-Gleisschienen für die Stromleitung ganz vermieden. Der im Gestell der Lokomotive gelagerte, Strom empfangende Elektromotor, von dessen Ankerachse die Drehung durch ein konisches Zahnradvorgelege auf die Laufräderachse übertragen wird, hat, abgesehen von der Steuer-Vorrichtung, in der Hauptsache dieselbe Konstruktion wie die stromabgebende Dynamomaschine über Tage. Der Führer bewegt von seinem Sitz aus zwei Hebel, den einen für die Bremse, den anderen für das Ein- und Ausschalten der Widerstände. Letzterer dient zugleich als Umschalthebel (Umsteuerung).

Daß sich diese Anlage, der nun bereits eine große Anzahl ähnlicher gefolgt ist, durch Zuverlässigkeit, Sicherheit, Einfachheit ganz vorzüglich bis heute bewährte, hat der dortige Betriebsdirektor M. Georgi im „Glückauf“ 1895, S. 287, unter: „Zur Anwendbarkeit der elektrischen Grubenlokomotive im Steinkohlenbergbau“ hervorgehoben\*).

Derartige Grubenlokomotiv-Betriebe sind dann zunächst der Zeitfolge nach durch Siemens u. Halske eingeführt in der Steinkohlengrube Cons. Paulus-Hohenzollern bei Beuthen in O.-S.\*\*), im Salzbergwerk Neustaßfurt mit 15 pferdigem Gleichstrommotor\*\*\*) und auf vielen anderen Gruben des In- und Auslandes und haben sich bis auf den heutigen Tag zur vollsten Zufriedenheit der Grubenverwaltungen bewährt.

Diesen ersten elektrischen Lokomotiv-Förderungen sei die erste, beim Harzer Bergbau im Rosenhöfer Revier bei Clausthal mit bestem Erfolge arbeitende unter-

\*) Über die Zaukeroder Anlage siehe: Deutsche Bauzeitung 1882, S. 573; Zeitschrift des Oberschles. Berg- und Hüttenvereins Okt. 1882; Jahrb. f. d. B.- u. Hüttenw. Freiberg 1883, S. 39, Oberberggrat Förster; Glasers Annalen, Bd. 12, S. 133; The Engineering and Mining Journal, Newyork, Vol. 36, pag. 14.

\*\*) Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preuß. Staate 1884, Bd. 32, S. 286; 1885, Bd. 33, S. 229. In dieser Quelle wird ergänzend angegeben, daß „nach genaueren Ermittlungen die Gesamtkosten der Förderung (einschl. Zins- und Amortisationsquote der Anlagekosten) sich auf 0,191 Pfg. pro Zentner geförderte Kohlen oder pro Tonnen-Kilometer auf 5,08 Pfg. stellen. Die Kosten der elektrischen Förderung erweisen sich dann um die Hälfte billiger als Pferdeförderung, da die Gesamtkosten einer solchen gut eingerichteten Förderung, wie sie vordem auf dem 750 m langen Querschlage der genannten Grube in Anwendung war, 10,5 Pfg. pro Tonnen-Kilometer betrug“. Es sei übrigens zugleich hier bemerkt, daß in Schlagwettergruben die Anwendung der elektrischen Lokomotiven unstatthaft ist.

\*\*\*) Zeitschr. f. d. B., H.- u. S.-Wesen 1885, Bd. 33, S. 229.

**Die elektrische (eingeleisige, 741 m lange) Grubenbahn auf der II. Strecke des Rosenhöfer Reviere bei Clausthal zur Förderung der Erze von den Füllrollen am Rosenhöfer Schachte bis zum Silbersegener Schachte, verbunden mit elektrischer Beleuchtung.**

Lieg. Turbine N = 17 eff. Pferde.  
Umlaufzahl n = 200 in 1 Min.  
mit hydraulischem Bremseregulator (Schieber) für 15 Pferde  
Bremsleistung bei 150 Umläufen  
800 kg Gewicht 1900 M.

Die Turbine war ursprünglich zum Betriebe des Kompressors für Luftbohrmaschinen - Betrieb bestimmt; steht am Silbersegener Schacht 53,3 m unter der Hängebank.

Turbinen- { D = 1270 mm Durchm.  
          { B = 2. 120 breit.  
Anker-      { D = 505 mm Durchm.  
          { B = 120 mm.  
Riemenscheibe

Compound-Dynamomaschine zur Lokomotive und Streckenbeleuchtung 9,6 Pfl. Kraftbedarf, n = 1200; Leistung 9000 Watt (330 V, 18 A). Nebenapparat 1 Riemenspanner, 1 Schalttafel darauf, 1 Nebenschluß-Rheostat 200 Ohm, 1 Strommaschine 80 A, 1 Spannungsmaschine 370 V; 1 doppelpoliger Aussenhalter 25 A, 330 V.

Leitung zwischen Maschine und Schalttafel Gummi-Ader an Porzellanrollen in unterirdischen Kanal verlegt. Leitung im vollständig nassen Schacht: Armiert. Okonit Kab 21,5 qmm (117 kV, durch zweiteilige Klötzchen von Hartholz mittelteil Eisenklammern an den Schachtwänden befestigt. Kontaktleitung in der Strecke: Fenestereisen-Schienen mittelteil Hartgummi-Isolatoren an der Pirate befestigt.

Serien-Elektromotor von einer Leistung = 5 Pferdekrafte.

Bemerkung. Die Bewegungsbewehrung von dem Elektromotor auf die Laufräderseisen wird auf die verschiedenste Weise bewerkstelligt: Stirnräder, Kegelmotoren, Kellnruhräder, Schneckenräder, auch durch Kettenräder. Die einachsige Übertragung ist selbstredend die zuverlässigste.

Übersetzung durch Zahnräder auf die Laufräder.

Die elektrische Lokomotive bekommt den Strom der Kontaktleitung durch den Kontaktapparat auf dem Wagenkasten, bestehend aus einem Stahlrohr, welches unten mit einer kräftigen Feder, oben mit einer Kontaktrolle versehen ist und vollständig niedergelegt werden kann, damit auch die niedrigsten Strecken befahren werden können. Sie zieht 10 Wagen von je 1250 kg Gesamtgewicht auf horizontaler Strecke mit 2,5 m Geschwindigkeit. Auf dem Führersitze sind 2 Hebel, welche mit Regulier- und Reversiorrichtung verbunden sind, angebracht, um vor- und rückwärts fahren zu können.

Beleuchtung. Wegen der hohen Spannung 330 V, um dünne Drähte zu erhalten, müssen immer 3 Lampen hintereinander geschaltet werden, und zwar können die beiden Lampen am sog. Bahnhof Silbersegen mit derjenigen im unteren Füllorte und die beiden in der Maschinenkammer mit derjenigen an der blinden Stütze hintereinander geschaltet werden. Sollen nur 2 Lampen leuchten, so muß eine abgenutzte Lampe als Widerstand hinzugeschaltet werden.

Preise (angenähert): I. Primärstation 1659 M.; II. Schachtleitung 1340 M.; III. Kontaktleitung 1856 M.; IV. Lokomotive 4000 M.; V. Beleuchtung 182 M.

Der Verlust der Leitung von der Primärmaschine bis zu Ende der Kontaktleitung soll bei Vollbelastung 6% nicht überschreiten.

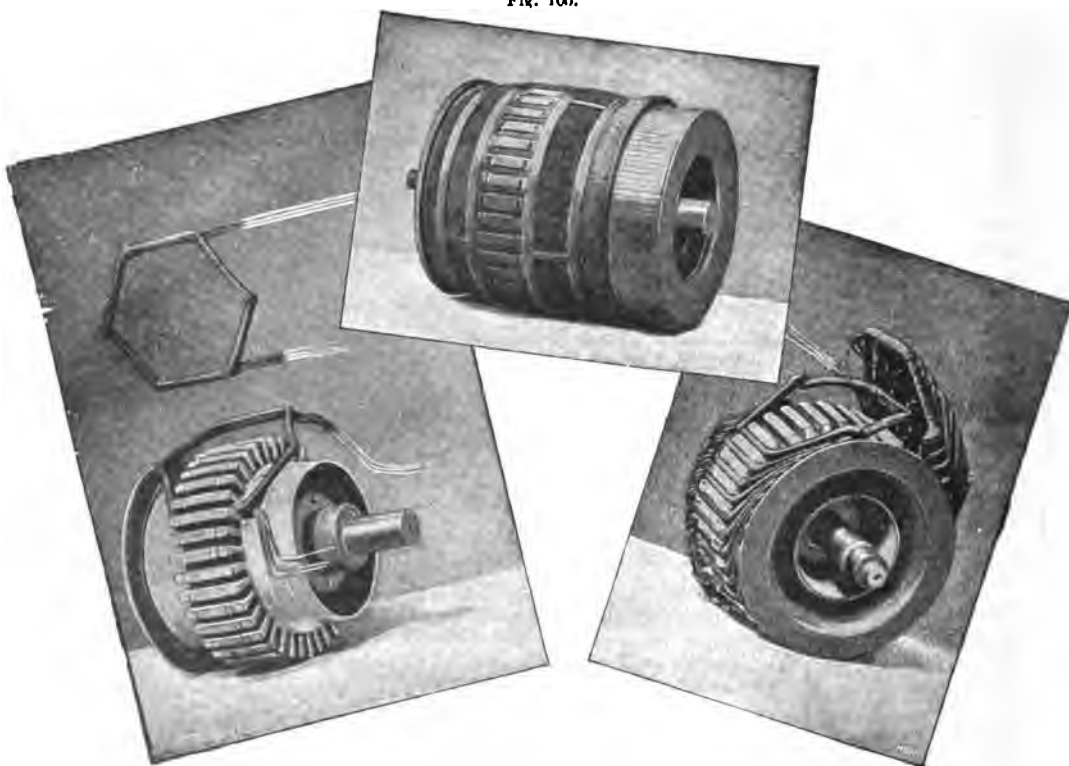
Die elektrische Anlage hat die Elektrizitäts-Gesellschaft vorm. Schuckert u. Co. gebaut.

irdische Lokomotivförderung als ein Beispiel aus neuerer Zeit gegenübergestellt, welche von der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vormals Schuckert & Co. eingerichtet ist. Der Strom wird durch eine unter der Streckenfirste an Hartgummi-Isolatoren aufgehängte Fenstereisenschiene  $\perp$  zugeführt, gegen welche eine mit dem Elektromotor der Lokomotive leitend verbundene Kontaktrolle (Trolley) federnd gedrückt wird. (Ausführlichere Angaben bringt der umstehende Plan S. 297.)

#### Die heutige normale Gruben-Lokomotive.

Die gegenwärtig gebräuchlichen Hauptstrom-Elektromotoren der Lokomotiven sind vollkommen geschlossen, besitzen vier bewickelte Pole in einem Stahlgußgehäuse, Trommel-Nuten-Anker, mit eingelegten „Schablonenwickelungen“ (Fig. 105),

Fig. 105.



die bei erforderlichen Reparaturen leicht einzeln ausgewechselt werden können, eine hohe Anzugskraft, sind federnd im Wagengestell aufgehängt, lassen sich leicht ölen, nachsehen und erforderlichenfalls auseinandernehmen. Jede Lokomotive erhält meist zwei Elektromotoren von 500 Volt Spannung, für Gleichstrom, neuerdings auch für Drehstrom, gebaut.

Die ebenfalls meist eingeschlossenen Räder des Vorgeleges zwischen Anker- und Laufrad-Achse aus bestem Stahl sind spielfrei geschnitten und laufen deshalb nahezu geräuschlos in breiigem Fett. Die Maschinenfabrik Örlikon, Zürich, wendet hier mit bestem Erfolge in Öl laufende Schneckenradgetriebe an.

Die Stromzuführung wird vermittelt durch an die Oberleitung angedrückte „Schleifkontakte“ (Gleitschuhe) oder in Krümmungen und Weichen besonders

geeignete, von Siemens und Halske ebenfalls eingeführte Schleifbügel oder von Amerika übernommene Rollen, sog. „Trolley“. Zwischen Schienenoberkante und Fahrdrabt ist eine Höhe von etwa 2 m üblich; aber auch 1,7 m genügend, wie bei der 500 Volt Gleichstrom-Lokomotive der Erzgrube (Bülten) der Ilseder Hütte. Für besonders niedrige Gruben-Gänge, wie z. B. in Neu-Staßfurt haben Siemens und Halske die Leitungen seitlich an den Wangen (Ulmen) der Strecken eingerichtet, die „Kontakt-Gleitschuhe“ werden durch Seile von der Lokomotive nachgezogen.

Wird zur Rückleitung des Stromes die (dann aber gut leitend gemachte) Fahrschiene benutzt, so ist nur ein Oberleitungsdrabt als Strom-Zuführung über der Mitte des Gleises erforderlich.

Der Führer bedient von seinem meistens am Ende der Lokomotive angebrachten Sitz aus durch Drehen einer Kurbel den Fahrschalter („Kontroller“, „Anlasser“) zur Steuerung der Lokomotive, und durch Handhebel die mechanische Backen-Bremse, welche mit 4 Klötzen die Laufräder umklammert. Das Läuten einer Warnungsglocke und die Auslösung des Bremssperrrades kann durch den Fuß bewirkt werden. Durch den Fahrschalter werden die zum Anfahren und zum Regeln der Geschwindigkeit dienenden Widerstände ein- und ausgeschaltet, die in vergitterten Kasten untergebracht sind; wird ferner elektrische Bremsung und Umsteuerung (Rückwärtsfahrt) bewirkt. Die mittlere Geschwindigkeit von 10 bis 15 km in einer Stunde kann hierdurch nach Wunsch verkleinert und bei Leerfahrt um etwa 50 bis 70% erhöht werden.

Bei Anwendung von 2 Elektromotoren, von denen je einer auf eine Laufachse wirkt, werden beide beim Anfahren hintereinander und hinter Widerstände („Vorschaltwiderstände“) geschaltet; darauf erst werden sie einander parallel geschaltet, wodurch der Lokomotive die doppelte Geschwindigkeit mitgeteilt wird.

Um elektrisch zu bremsen, werden die Elektromotoren von der Stromquelle abgeschaltet und statt dessen auf Widerstände\*) geschaltet. Die Elektromotoren wirken dann, angetrieben von der lebendigen Kraft des in Bewegung begriffenen Wagens, als Dynamomaschinen, geben den Strom, den sie als solche erzeugen, (ins Netz zurück oder) an die Widerstände ab, in denen er sich in Wärme umwandelt, die durch künstliche Abkühlung tunlichst vernichtet wird.

Die elektrischen Vorschaltwiderstände bestehen aus elektrisch zusammengeschweißten Eisenblechstreifen, die mit dazwischen gelegten Asbeststreifen ein geschichtetes Packet bilden. Zwischen den durchströmten Streifen liegen stromlose Bleche, die rippenartig nach den Seiten vorstehen und eine wirksame Kühlfläche bilden. Durch dicke gußeiserne Endplatten zusammengehalten, bildet das Ganze ein festes, feuerbeständiges, auf kleinen Raum zusammengedrängtes „Widerstands-Packet“, welches starke Überlastung und Stöße verträgt.

Zur Sicherung der Elektromotoren gegen übermäßige Ströme ist in jeder Lokomotive ein selbsttätiger Ausschalter in die Elektromotor-Leitung eingeschaltet, der den Stromkreis unterbricht falls durch Kurzschluß die Drähte zu stark erhitzt werden könnten, und auch selbsttätig wieder schließt, sobald der zu starke Strom wieder aufhört. Die sonst gebräuchlichen Bleischmelz-Sicherungen wirken erst nach der Überhitzung, also weniger augenblicklich und müßten auch immer wieder ersetzt werden. Durch Bewegung des selbsttätigen Ausschalters von Hand kann die Lokomotive auch unabhängig vom Fahrschalter von der Streckenleitung abgeschaltet werden. Um die Zahl der eingerichteten Sicherheitsmaßregeln zu erschöpfen, soll noch auf den „Hörnerblitzableiter“ hingewiesen werden.

---

\*) Bei den elektrischen Straßenbahnen wendet man Pufferbatterien an.

Durch „Hörner-Blitzableiter“ (siehe auch oben Figur 98) sucht die Firma Siemens & Halske A.-G. ihre oberirdisch laufenden Grubenlokomotiven gegen Blitzgefahr zu sichern:

Das eine „Horn“ aus Kupferdraht ist zwischen Stromabnehmer und Elektromotor eingeschaltet, das andere, an der untersten Stelle in nur kleinem Luftzwischenraume neben ersterem herlaufende Horn, ist durch die Laufräder mit der Erde leitend verbunden. „Trifft nun ein Blitzstrahl die Oberleitung, so überspringt er den kleinen Luftzwischenraum zwischen den beiden Hörnern unter Bildung eines leitenden Lichtbogens und geht durch die Laufräder und die Schienen zur Erde, weil ihm der Weg durch die Elektromotore durch eine Spule von hoher Selbstinduktion erschwert ist.“

Die im Voranstehenden kurz geschilderten Gruben-Lokomotiven führt die Firma Siemens & Halske A.-G. in verschiedenen Stärken aus:

Für Spurweiten von 0,45 0,56 0,7 1,0 Meter  
sind die mittleren Leistungen „ 15—20 30—40 50—60 80 Pferdekräfte,  
die aber für kurze Zeit auf das Doppelte gesteigert werden können.

Entsprechende Zahlen gelten auch für die anderen Firmen, welche sich im Gruben-Lokomotivbau auszeichnen; Schuckert\*); „Union“\*); AEG, Oerlikon u. a. Es würde den meinem Buche gezogenen Rahmen überschreiten, wollte ich die Sonderausführungen, auch nur der hervorragendsten Firmen auf dem Gebiete, einzeln aufzählen.

Die Siemenssche Gruben-Lokomotive hat den neueren Gruben-Lokomotiven anderer Bauart (Materialbahn-, Rangier-Lokomotive), sowie den Elektromotorwagen auch anderer Firmen des In- und Auslandes zum Muster gedient.

Die Materialbahn-Gruben-Lokomotive, welche oberirdisch, im Dienste des Berg- und Hüttenmannes, den Güterverkehr u. a. zwischen Grube und Hütte oder Aufbereitung vermittelt, ist mit Schutzdach ausgestattet und wird meist mit einem Oberleitungsdraht und Schienen-Rückleitung ausgeführt, hat übrigens im wesentlichen die Einrichtung der Gruben-Lokomotive. Dasselbe gilt von den folgenden elektrischen Fahrzeugen. Die „Rangier“-Lokomotive hat Normal-Spurweite, weil sie die Vollbahnwagen auf den Bahnhöfen zu „rangieren“ und den Transport der Erze vom Bahnhofe nach den Hüttenwerken zu übernehmen hat. Sie ist mit zwei Elektromotoren von je 50 Pferdekräften ausgerüstet. Die Straßenbahnwagen mit elektrischem Antriebe unterscheiden sich viel mehr durch die äußere Form, die Größe sowie den Zweck Menschen zu befördern, als durch die innere elektrische Einrichtung von unserer Gruben-Lokomotive. Bei den elektrischen Straßenbahnen ist allerdings in einzelnen Fällen die Stromzuführung (Unterleitung mittelst Schlitzkanales) eine wesentlich abweichende; auch ist bei ihnen ein ausgezeichnetes Hilfsmittel, die Stromschwankungen während des Betriebes auszugleichen, hinzutreten: die sogen. „Puffer-Batterie“, welche mit bestem Erfolge zum erstenmal seit Februar 1896 an der in der „Elektrotechnischen Zeitschrift“ 1894 Heft 24 beschriebenen elektrischen Straßenbahn Zürich-Hirslanden, 1898 zum erstenmal bei einer elektrischen Schacht-Fördermaschine, nämlich bei der elektrischen Fördermaschine der Aktien-Gesellschaft Thiederhall eingeführt wurde.

#### Elektrische Straßenbahn mit „Schlitzkanal“ zu Ofen und Pest (Budapest).

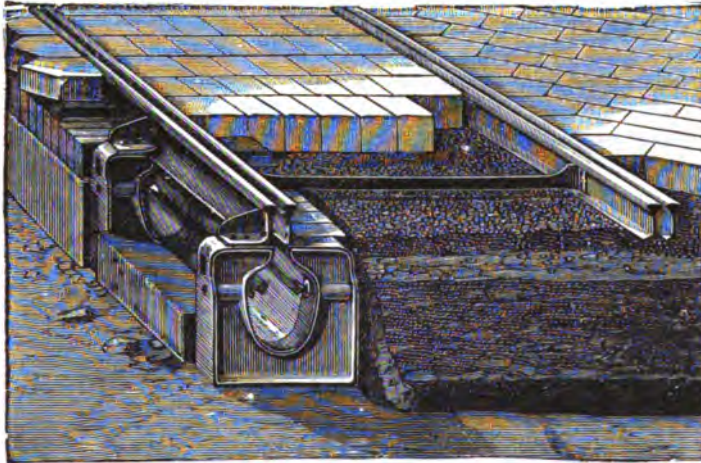
Es soll hier nur noch kurz auf das oben angedeutete „Schlitzkanalsystem“ für „Unterleitung“ hingewiesen werden. Die sonst noch vorgeschlagene Kontakt-Knopf-

\*) Schuckert ist gegenwärtig mit der Firma Siemens und Halske zu den „Siemens-Schuckert-Werken G. m. b. H.“, die „Union“ mit der AEG verschmolzen.

Leitung ist gegenwärtig noch nicht betriebssicher. Die erste größte, in Fachkreisen außerdem als mustergültig angesehene elektrische Straßenbahnanlage mit Unterleitung mittelst „Schlitzkanales“ ist die von der Firma Siemens & Halske A.-G. im Juli 1889 dem Betriebe übergebene elektrische Stadtbahn zu Ofen und Pest (Budapest). Später folgten die Anlagen in Berlin (Treptow) und Wien nach Budapester System. Die Anlage ist (nach Kratzert) seit der Inbetriebsetzung ununterbrochen in Tätigkeit geblieben, selbst während starker Schneefälle, bei welchen andere Bahnen versagten.

Das eine Fahrgeleis besteht aus „Phonix“-„Rillen“-Schienen, das andere aus zwei in 33 mm Abstand nebeneinander herlaufenden Vignol-Schienen, welche gleichsam die Ränder eines ebenso breiten Schlitzes in dem darunter liegenden Kanale von eiförmigem Querschnitte und zugleich eine feste Decke dieses Kanales bilden. (Fig. 106.) An den inneren einander gegenüberliegenden Seiten (Ulmen) des Kanales sind, gut gegen denselben isoliert, die Schienen für die Zuleitung (+) und Ableitung (—) des Stromes angeschlossen. Der am Wagen be-

Fig. 106.



festigte Kontaktarm tritt durch den Schlitz in den Kanal hinein. Von den beiden am unteren Ende des Armes angebrachten Zungen, welche die (+ —) Pole der Elektromotoren des Wagens bilden, gleitet die eine an der (+) die andere an der (—) Leitungsschiene entlang, wenn der Wagen in Bewegung begriffen ist. Die Leitungsschienen bestehen aus Winkel-Eisen, haben bei anderen Ausführungen auch T-Profile.

Die geteilte Schiene, beim Überfahren von Lastfuhrwerken stärkeren Stößen ausgesetzt, ist deshalb sehr sorgfältig nach dem in Fachkreisen sehr wohl bekannten Systemes des Dr. Ing. Haarmann\*) (Osnabrück) ausgeführt.

Die Kontakt-Schienen liegen so hoch, daß sie von dem im Kanale etwa entlang fließenden, übrigens sorgfältig abgeleiteten, Wasser und Schlamm nicht erreicht werden können. Ihr Spannungsunterschied beträgt 300 Volt.

Der Übergang von der Unterleitung zur Oberleitung ist selbsttätig. Die Stromabnahme bei letzterer erfolgt durch den bekannten Siemensschen Bügel.

---

\*) Den Besuchern der Düsseldorfer Ausstellung 1902 wird das Gleis-Museum desselben Haarmann noch lebhaft in Erinnerung sein.

Die zulässige Fahrgeschwindigkeit beträgt 15—18 km/Stunde, mit Einschluß des Aufenthaltes etwa 13 km/Stunde. Bei Pferdebahnen rechnet man nur 6—7 km/Stunde.

Die Betriebskosten der elektrischen Bahn mit Einschluß des Kohlenverbrauches in der Zentrale betragen 14,28 Kr., bei der Pferdebahn 28,29 Kr. Nach Kratzer erforderte der Oberbau seit dem Bestande der Bahn keine Reparatur. Die Bahn ist die größte elektrische Stadtbahn des Kontinentes. Neben Hamburg besitzt Budapest überhaupt das größte Netz elektrischer Bahnen; nämlich 800 km Gleis mit Oberleitung, 80 km mit unterirdischer Zuführung, 7,6 km Untergrundbahnen. Verfügbar für den elektrischen Betrieb sind: 15 000 indizierte Pferde mit 10 000 KW; Dynamomaschinen-Leistung, 10 000 qm Heizfläche, vier Akkumulatoren-Batterien von ungefähr 1800 Ampère-Stunden Kapazität.

Ein anderes mit Erfolg angewandtes Mittel, die Oberleitung zu umgehen, besteht in der Anwendung der Akkumulatoren, die „geladen“, oder durch geladene ersetzt werden müssen und dann während der Fahrt Strom an die Fahr-Elektromotoren abgeben. Dieses Mittel wird zu den ausgezeichnetsten zählen, wenn es gelingt, leichtere, transportfähigere Akkumulatorsysteme herzustellen.

Dann wachsen auch die Aussichten „Automobile“ elektrisch anzutreiben.

Als neben den Gleichstrom-Elektromotoren immer mehr der Drehstrom aufkam, mit dem auch die neuerdings versuchten elektrischen Vollbahn (Schnellbahnen) betrieben werden, führte die Firma Siemens & Halske A.-G. auch die Drehstrom-Gruben-Lokomotive ein, mit welcher im folgenden die Reihe der elektrischen Gruben-Lokomotiven und ihrer „Verwandten“ abgeschlossen werden soll.

#### Dreiphasen- (oder Drehstrom) Gruben-Lokomotive.

Im Anfange des Jahres 1901 wurde die erste mit Drehstrom angetriebene Gruben-Lokomotive auf der III. Tiefbausohle (386 m) des Kaliwerkes der „Gewerkschaft Herzynia“ bei Vienenburg von der Siemens & Halske A.-G. mit gutem Erfolge in Betrieb gesetzt.

Strom-Erzeugung. Der in der Zentrale am Schacht II erzeugte Drehstrom von 500 Volt auf 3000 Volt transformiert, wird durch ein dreifach verseiltes Grubenkabel von  $3 \times 35$  qmm Kupferquerschnitt auf die etwa 700 m vom Schachte II entfernte oben genannte Tiefbausohle geleitet, hier auf 500 V zurücktransformiert und zum Speisen der elektrischen Lokomotiven verwendet.

Die Stromzuführung zu den Elektromotoren derselben erfolgt aus der dreiteiligen Oberleitung aus blanken Kupferdrähten von 8 mm Durchmesser, welche mittelst Bahn-Isolatoren und Querhölzern an der Firste aufgehängt sind, durch federnde Gleitschuhe und dreipolige Stromabnehmer. Die Entfernung zwischen Leitung und Schienenuoberkante beträgt 2,3 m. Die Stromabnehmer besitzen 6 Gleitschuhe, 3 Stück für die Hin-, 3 für die Rückfahrt, welche abwechselnd an die Leitung gelegt werden. Beim Rangieren ist ein Umlegen der Leitschuhe nicht erforderlich. In den Weichen besteht die Leitung aus verzinktem Winkeleisen, aus denen die „Luftweichen“ hergestellt sind und die mittelst eines Stellwerkes je nach der Fahrriichtung umgelegt werden. Verkuppelung der Luft- und Fahr-Weichen schließt Entgleisen der Stromabnehmer aus. Überhaupt erfolgt das Befahren der Weichen mit einer weit größeren Sicherheit als man vorher angenommen hatte.

Jede der 3 Lokomotiven mit je 2 Elektromotoren (D.M. 19/8) leistet 15 Pferdekkräfte, wiegt etwa 3,5 t und befährt eine doppelgleisige, in festem trockenem Anhydrit liegende, 675 m lange Förderstrecke von etwa 1,4 : 1000 Neigung, deren Spurweite 0,560 m und Schienenhöhe 78 mm beträgt.



Die vollständig eingeschlossenen Elektromotoren, welche je in einem festen Rahmen und an den beiden Laufachsen der Wagen federnd aufgehängt sind, übertragen ihre Bewegung durch Zahnräder auf die Laufräder.

Die Leistung der Lokomotiven und die Wirtschaftlichkeit des Betriebes sind gut.

Jede Lokomotive zieht mit einer Geschwindigkeit von 12 km/Stunde 30 beladene Wagen von je 650 kg Nutzlast bei 10 Kilowatt/Stunde Kraftbedarf.

Die größte Leistung betrug 1000 Wagen von je 650 kg Nutzlast auf 675 m Länge in 7,5stündiger Schicht.

Die Kosten der gesamten elektrischen Neuanlage des Kaliwerkes mit Einschluß der Verzinsung und Amortisation des Anlagekapitals stellen sich auf 7,6 Pfennige und Kilowatt-Stunde.

Auf Grund dieser Zahl ergeben sich als Kosten für 1 Tonnen-Kilometer der unterirdischen Lokomotiv-Förderung,

10 Kilowatt/Stunden	× 7,5 Stunden	× 7,6 Pfennig	= 570,00 Pfennig.
Bedienung: 2 Führer	zu 4,00 Mark	. . . . .	= 800,00 „
2 Weichensteller	„ 3,50 „	. . . . .	= 700,00 „
1 Bahnwärter	„ 4,00 „	. . . . .	= 400,00 „
zusammen			= 2470,00 Pfennig.

Die Fördermenge beträgt dagegen:

$$1000 \text{ Wagen zu } 0,65 \text{ Tonnen} = 650 \text{ Tonnen,}$$

also die Leistung längs der Strecke:

$$650 \text{ Tonnen} \times 0,675 \text{ Kilometer} = 439 \text{ Tonnen-Kilometer.}$$

Es kostet danach bei der gegenwärtigen elektrischen Förderung:

$$1 \text{ Tonnen-Kilometer} = \frac{2470}{439} = 5,7 \text{ Pfennige.}$$

Bei der früheren Pferde-Förderung kostete:

$$1 \text{ Tonnen-Kilometer} = 14,0 \text{ Pfennige.}$$

Das Zahlenbeispiel hat noch den besonderen Wert, daß es zeigt, in welcher Weise Maschinen-Arbeit und Menschen-Arbeit sich in die Kosten teilen, daß die Maschinenkosten nur etwa  $\frac{1}{4}$  der Gesamt-Betriebskosten ausmachen.

#### b) Die elektrische Strecken-Förderung mit „Seil ohne Ende“ im Karl-Stollen bei Diedenhofen.

Nachdem der elektrische Lokomotiv-Betrieb in die Grubenstrecken eingezogen war und sich aufs beste bewährt hatte, lag es nahe, auch die Ketten- und Seil-Förderungen elektrisch anzutreiben.

Die folgende mustergültige, gegenwärtig wohl auch die längste und leistungsfähigste elektrische Seilförderung, liefert zugleich den Beweis, wie durch günstige Verhältnisse und zweckmäßige Einrichtungen die Leistungen vergrößert und die Betriebskosten vermindert werden können. Die elektrische Seilförderungs-Anlage, mittels welcher die Firma „Röchlingsche Eisen- und Stahlwerk“ zu Völklingen in Lothringen ihre Minette-Erze aus dem Bergwerk „Röchling“ bei Algringen durch den nahezu 5000 m langen „Karl-Stollen“ gegenwärtig bis zum Mundloch bei Metzingen befördert, von wo sie dann umgeladen in 50 t Wagen auf einer 6 km langen Transportbahn bis zur neuen Hochofenanlage bei Diedenhofen gebracht werden, ist (nach Heise, Diedenhofen) in mancherlei Beziehung ausgezeichnet und soll später verlängert werden.

1. Als Antriebsmaschine dient ein von Cockeril-Seraing nach dem System Delamare-Deboutville erbauter einzylindriger Hochofen-Gichtgas-Motor, welcher bei  $n = 100$  Umdrehungen in 1 Minute etwa 200 Pferdekkräfte leistet.

2. Zur elektrischen Kraftübertragung wird ein Strom von 10 000, später 20 000 Volt verwandt.
3. Auf der ungewöhnlich langen, übrigens schnurgeraden Förderstrecke von 5000 m Länge läuft ein einziges endloses Seil von 10 000 m Länge.
4. Die ungewöhnlich hohe Leistung beträgt in 10—12 stündiger Schicht gegenwärtig 6 285 Tonnen-Kilometer.

Das Gewicht der Wagen (mit Rädern von 400 mm Durchmesser,  
700 mm Spurweite und Halmay-Schmierbüchsen)

ist . . . . .	750 kg.
„ „ „ Ladung . . . . .	1500 „
also zusammen . . . . .	2250 kg.

d. i. nahezu das Dreifache des Gewichtes der Westfälischen Förderwagen.

**Primärstation.** Die auf der Primärstation vom Gichtgas-Motor mittelst Riemen angetriebene 12 polige Drehstrom-Dynamomaschine der Firma Brown, Boverie in Baden, erzeugt bei  $n = 350$  Umdrehungen in 1 Minute einen Strom von 1000 Volt und 138 KW (entsprechend etwa 180 Pferdekraften, von denen etwa  $\frac{2}{3}$  zu anderen Zwecken ausgenutzt werden.

**Kraftübertragung.** Der Strom für die Seilförderung wird durch Transformatoren mit Ölisation und Wasserkühlung (von 600 Pferden für die spätere Erweiterung entworfen) auf 10 000 Volt (später 20 000 Volt) gebracht, dann durch Hochspannungs-Luftleitung aus  $3 \times 5$  mm dicken Kupferdrähten bis zur 6000 m entfernten Sekundärstation fortgeleitet.

Hierbei soll die befürchtete Einwirkung auf die benachbarten Telegraphenleitungen nicht eingetreten sein.

**Sekundärstation.** Hier treibt der ankommende, durch 120 pferdigen Transformator wieder auf 1000 Volt Spannung zurücktransformierte Strom, den 12 poligen Drehstrom-Elektromotor an, welcher bei  $n = 480$  Umdrehungen in 1 Minute 80 Pferdekraften leistet und mittelst Zahnradübersetzung die Treib-Seilscheibe bewegt. Der Seilantrieb ist von der Firma Heckel in St. Johann-Saarbrücken auf möglichste Schonung des 19 000 kg schweren, 12 000 Mark kostenden Seiles durch geradlinige Führung und 3,85 m große Scheiben Durchmesser ausgeführt.

Um am Umfange der Treib-Seilscheiben die Reibung zu erzielen, welche für den Seilzug von 2569 kg zur Fortbewegung der Wagen erforderlich ist, wurde das Seil in der Weise wie in beistehender Figur 107 die Pfeile mit den laufenden Zahlen 1, 2, 3, 4 andeuten über die beiden Antriebsscheiben A, B und die wagrecht liegende Spansscheibe C gelegt. Durch die beiden vom Elektromotor angetriebenen Zahnräder D, E werden die verzahnten Scheiben A und B in entgegengesetzte Drehung versetzt, wie es der Seil-Kreuzung wegen erforderlich ist. Die Seil-Kreuzung (ich möchte sagen ein notwendiges Übel) wurde gewählt, um einen großen, vom Seil umspannten Bogen ( $\alpha$ ) zu bekommen\*).

Um außerdem die Reibung zwischen Scheibenumfang und Seil zu vergrößern und letzteres zu schonen, sind die Scheibenumfänge mit Klötzen von hartem Holz ausgefüttert, auf deren Hirnholz das Seil läuft. Durch die unmittelbar hinter die Antriebsscheiben gelegte Spansscheibe wird der Wert „t“ in der unten angegebenen

\*) Die bekannte Formel  $T = t e^{f\alpha}$  zeigt, daß die Reibung am Umfang einer Scheibe  $= T - t = t(e^{f\alpha} - 1)$  außer von dem Reibungskoeffizienten  $f$ , der durch die Natur der Reibflächen bedingt ist, noch wesentlich abhängt von dem umspannten Bogen, der beim gekreuzten Riemen etwa  $\frac{3}{4}\pi$  beträgt. Diese für Seiltriebwerke, Bandbremsen und dergl. Vorrichtungen wichtige Angelegenheit ist ausführlich behandelt im Lehrbuch der Mechanik, O. Hoppe, S. 305—312.

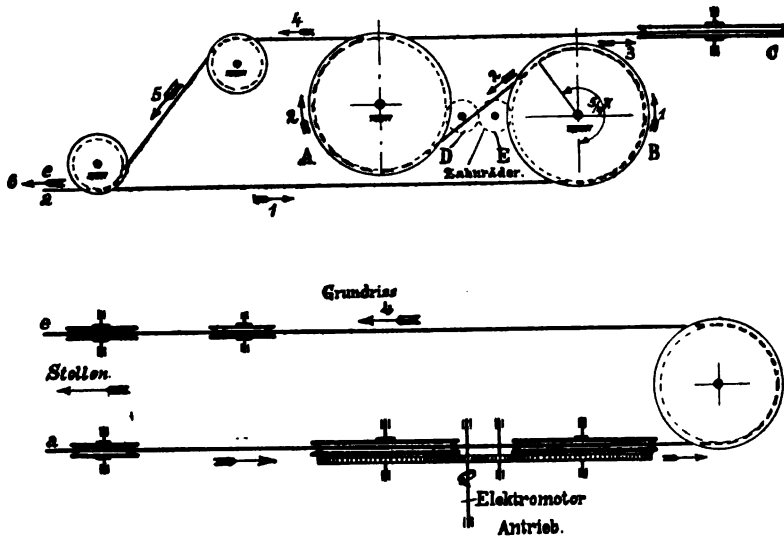
Formel bedingt. Die Spann- und Leitscheiben sind mit Leder gefüttert und mit Mollerupp Schmier-Presse versehen. Die Streckenrollen (Heckel) haben Ringschmierung.

Das Seil ist 23 mm dick, aus 6 Litzen nach „Albertschlag \*)“ gefertigt und hat eine Bruchfestigkeit von etwa 29 000 kg.

Anstatt der sonst wohl beliebten Knoten am Seil sind nur die bekannten Dreh-Gabeln als „Mitnehmer“ gewählt, die zuverlässig und gut wirken, wenn die Entfernung der Wagen mindestens 30 m beträgt.

In 10 stündiger Schicht ist auf eine tatsächliche Förderung von 3000 Tonnen zu rechnen.

Fig. 107.



Erforderlicher Seilzug und Nutzleistung der Anlage.

Die zu bewegende Last ist: an Voll-Wagen	116 . 2250 =	261 000 kg
„ Leer- „	116 . 750 =	87 000 „
„ Seil-Gewicht	10 000 . 1,9 =	19 000 „
	<hr/>	<hr/>
	Zusammen Q =	367 000 kg

Wird als Widerstandskoeffizient der Wagen angenommen:

$$K = \frac{\text{Zugkraft } P}{\text{Last } Q} = 0.007,$$

so beträgt die Zugkraft zum Fortbewegen der Wagen auf wagrechter Strecke . . . . . P = 2569 kg

Rechnet man noch 20 % hiervon hinzu als Reibung  
in den Zahnradern des Antriebes }  
„ „ Scheiben } W = 514 „  
im Seil (Steifigkeit) }

so ergibt sich als Gesamtwiderstand auf dem Treib-  
scheibenumfang reduziert . . . . . = 3083 kg.

\*) Nicht „Längschlag“, wie es in der Quelle heißt. Ich vermute, daß diese Bezeichnung auf folgenden Irrtum zurückzuführen ist. Bei den vom Hannoverschen Oberbergrat Albert, Clausthal 1834, erfundenen Drahtseilen hatten die Drähte in den Litzen und die Litzen im Seile gleichen Drehsinn. Später kam der sog. Kreuzschlag auf, bei welchem die Litzen in entgegen-

Soll die Fahrgeschwindigkeit  $v = 1$  m sein, so beträgt die vom Elektromotor zu leistende Arbeit in 1 Sek.:

$$N = \frac{3083 \cdot 1,0}{75} = \sim 40 \text{ Pferdekräfte.}$$

Da der Elektromotor aber für 80 Pferdekräfte entworfen ist, genügt derselbe für die zukünftige doppelte Leistung.

#### Kostenberechnung.

Die Gesamtanlagekosten betragen . . . . .	200 000 Mk;	
es ergibt sich also bei 10 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> jährlicher Amortisation und Verzinsung als Amortisationsbetrag für jeden Arbeitstag		67,00 Mk.
Das Seil kostet . . . . .	12 000 „	
rechnet man 2 Jahre (à 300 Tage) als Betriebsdauer für das Seil, so betragen die Seil-Kosten für jeden Arbeitstag . . . . .		20,00 „
Ferner setzen sich die Betriebskosten auf jeden Tag zusammen aus den Löhnen für 5 Aufgeber, 3 Abnehmer, 3 Streckenwärter, 1 Maschinist, 1 Schmied, 1 Schlosser zu . . . . .	59,20 „	} 86,20 „
dazu kommen für Materialien . . . . .	27,00 „	
Danach berechnen sich die Kosten für 1 Tonne Kilometer (tkm) für Amortisation und Verzinsung auf . . . . .		1,1 Pfg.
„ Seil . . . . .		0,3 „
„ Betriebskosten . . . . .		1,4 „
		<u>2,8 Pfg.</u>

Wenn die Betriebskraft aber erst vollständig (80 Pferde anstatt 40) ausgenutzt wird, werden sich wahrscheinlich ergeben

2 Pfennige als Gesamtkosten auf 1 tkm.

Dieser ungewöhnlich geringe Betrag ist dem Umstande mit zuzuschreiben, daß wegen der Gichtgas-Ausnutzung keine Dampferzeugungskosten erwachsen.

In der folgenden kleinen Tabelle sind die Ergebnisse im Karl-Stollen in Lothringen verglichen mit den Zahlen, welche sich im Mittel im westfälischen (Ruhr-) Kohlengebiete ergeben haben:

	Lothringen	Westfalen
Längste Seil-Förderanlage . . . . .	2680 m	5000 m
Größte Förderleistung in 1 Schicht .	1430 tkm	6285 tkm
Kosten für 1 Tonnenkilometer (tkm)	5,5 Pfennige (im günstigsten Falle)	2,8 Pfennige

Bei der durch Dampfkraft angetriebenen elektrischen Streckenförderung der Zeche Ewald bei Herten i. W., deren elektrischer Teil von der E.A.G., vormals

gesetzter Richtung zusammengeschlagen werden. Ein Engländer Lang (ausgesprochen „Läng“) ließ sich viel später das Albert-Seil in England als seine Erfindung patentieren. Und dieses Seil mag wohl von den Fabrikanten als Läng-Seil oder „Längsseil“ angeboten werden. Ich habe über diese Erfindungsgeschichte berichtet in „Stahl und Eisen“ 1896, Nr. 12 u. 13 und „Glückauf“ 1903, Nr. 14, unter der Überschrift: „Das Drahtseil, seine Erfindung, Eigenschaften und Zukunft“, in der Näheres zu finden ist. Genauere Angaben zu finden in der 4. Lieferung meiner „Beiträge zur Geschichte der Erfindungen“. G. D. Baedeker, Essen-Ruhr 1906, unter dem Titel: „Das Drahtseil. Seine Erfindung (1834) und Einführung, seine Eigenschaften, Herstellungsweise und seine Zukunft. Lebensskizze des Erfinders, des Oberbergrates Albert (1787—1846) zu Clausthal“.

Lahmeyer in Frankfurt, deren mechanischer Teil von C. W. Hasenclever Söhne in Düsseldorf geliefert, im Jahre 1895 in zwei Strecken dem Betriebe übergeben wurde, sind die Gesamtkosten . . . . . 3,5 Pfg. auf 1 t km, während die bisherigen Pferdebetriebskosten . . . . . 12,0 „ „ 1 t km betragen.

Bei dieser Anlage betreibt eine 110 pferdige Dampfmaschine eine 4 polige Dynamomaschine mit 74 000 K W Nutzleistung bei 300—350 V Spannung, welche etwas „überkompoundiert“\*) ist, damit sie bei voller Belastung die Spannungsverluste in den Leitungen deckt. Ihr Trommel-Nutenanker ist im Kollektor und in den Wickelungen mittels Glimmer isoliert.

Die Kupferleitung besteht im Innern des Gebäudes bis zum Schaltbrett aus isolierten, im Freien aus blankem Seil, im Schacht aus eisenarmiertem Bleikabel mit Kupferseele, welche mittels eisernen Schellen in 4 bis 5 m Abstand an den Schachthölzern befestigt ist und zu je einem Elektromotor von 45, bezw. 30 Pferden führt. Beide EM wirken durch Riemen auf je eine Vorgelegewelle, die mittels 2 Stirnrädern die Hauptwelle antreibt.

Die 4 rillige Antriebsscheibe hat 2 m, die 3 rillige Gegenseibe 1,8 m Durchmesser. Es beträgt die Seilgeschwindigkeit 0,6 m/Sek., also der Weg 36 m in 1 Min., die Wagenentfernung voneinander 8 m.

Wenn in 7 Stunden 1900 Wagen mit je 0,6 t Nutzlast befördert werden, so ergeben sich in 1 Stunde 271 Wagen mit 162,6 t Gesamtladung. Die Hanfknoten des 25 mm dicken Seiles legen sich gegen die auf jedem Wagen angebrachte Gabel.

#### Kurze Zusammenstellung einiger Anlagen elektrischer Streckenförderungen.

Von der Firma E. A. G. vormals Schuckert & Co. wurden folgende ausgeführt:

1. Die Grubenlokomotive für das Kohlenbergwerk „Altgemeinde“ in Bockwa mit 2,3 t Selbstgewicht hat einen 6 pferdigen EM, 150 kg Zugkraft an den Rädern und 2,8 m/Sek. Geschwindigkeit.
2. Die Akkumulator-Lokomotive für das Steinkohlenbergwerk „Vereinigter Bonifazius“ zu Krey bei Gelsenkirchen mit 3,3 t Selbstgewicht hat 2 EM von zusammen 5 Pferdekräften, 226 Zugkraft an den Rädern, 1,6 m/Sek. Geschwindigkeit. Die entladene Batterie wird in kurzer Zeit und leicht vom Gestell abgehoben und durch eine geladene ersetzt. Die Batterie hat 39 Zellen und 63 Ampère-Stunden Kapazität.
3. Zwei Lokomotiven für das Differdinger Hüttenwerk von je 8078 kg Selbstgewicht haben 1400 kg Zugkraft bei 1,8 m/Sek. Geschwindigkeit.
4. Eine Rangier-Lokomotive 1898 für die Fabrik chemischer Produkte „Union“ in Glienken bei Stettin mit 11 t Selbstgewicht leistet mit 2 EM 38 Pferdekräfte bei 1050 kg Zugkraft und 2,4 m/Sek. Geschwindigkeit.

\*) Bei vollkommener „Compoundierung“, d. h. Wickelung des Nebenstrom- und Hauptstrom-Drahtes um die Magnetschenkel der Dynamomaschine würde die Klemmenspannung für alle äußeren veränderlichen Widerstände den erforderlichen Wert haben.

Da die Compound-(Verbund-) Maschine als eine Nebenschluß-Maschine mit Magnet-Verstärkung durch Hauptstrom-Wickelung angesehen werden kann, so gilt für die sog. Compoundierung eines Generators folgende Regel: Die Nebenschlußwicklung wird für die niedrigste Netzspannung, die Hauptstromwicklung dann für eine Zusatzspannung bemessen, durch welche der Spannungsabfall, der bei der größten Belastung in der Maschine und in den Leitungen entsteht, derart gedeckt wird, daß an den Verbrauchsstellen die Spannung unveränderlich bleibt.

5. Die Drehstrom-Lokomotive im Jahre 1900 für die Kaiserl. Zuckerfabrik Timaschew in Rußland gebaut, leistet mit einem Drehstrom-EM 14,5 Pferdekkräfte bei 4 t Selbstgewicht, 342 kg Zugkraft,  $n = 580$  Umdr./Min. und 11 km/Stunde Geschwindigkeit und hat 1 m Spurweite.
6. Eine Rangier-Lokomotive mit 2 Elektromotoren und Akkumulatoren-Betrieb, hat 23,5 t Eigengewicht und leistet 42 Pferdekkräfte bei 850 kg Zugkraft und 3,5 m Geschwindigkeit/Sek.

Die Vollbahn-Lokomotive für die Wiener Lokalbahnen soll die von verschiedenen Ziegeleien nach der Ziegelstation Vösendorf geschafften Ziegelwagen in Zügen nach Wien bringen. Ein Güterzug besteht aus 12 Ziegelwagen von je 13 t Bruttogewicht. Die Lokomotive besteht aus zwei Drehgestellen mit je 2 Elektromotoren von je 150 Pferdekkräften Leistung. Die größte Zugkraft an den Triebrädern ist 6000 kg.

7. Die Oberschlesische Kleinbahn\*), welche Beuthen, Kattowitz, Myslowitz und durch Abzweigungen auch die Städte Königshütte und Lipine miteinander verbindet und seitens der Firma „Oberschlesische Kleinbahnen und Elektrizitätswerke A.-G.“ in Kattowitz der E.A.G. vorm. Schuckert & Co. übertragen wurde, bekommt den gesamten Betriebsstrom von der Zentrale in Nieder-Heiduck, in welcher 4 Wasserrührkessel von je 186 qm wasserberührter Heizfläche den Betriebsdampf von 10 Atm. Überdruck erzeugen für 4 stehende Compound-Dampfmaschinen von je 230 indizierten Pferdekkräften, erbaut von der Sundwiger Eisenhütte, vorm. Gebr. v. d. Beck & Co. in Westf. mit Kolbenschieber und Achsenregulator (System Dörffel) am Hochdruck-, dagegen mit Corliß-Steuerung am Niederdruckzylinder. Von den durch Riemen angetriebenen Dynamomaschinen sind zwei für Gleichstrom, ist eine für Drehstrom eingerichtet und dient die vierte als Reserve. Die Gleichstrommaschinen mit 600 Volt Spannung werden durch eine Pufferbatterie von 290 Elementen und 296 Ampèrestunden Kapazität unterstützt. Zum Laden auf 800 Volt dient eine Zusatzmaschine. Der Drehstrom, durch drei Transformatoren von je 170 Kilowatt auf 4800 Volt Spannung gebracht, wird durch eine Leitung von 11,2 km Länge bis zur Unterstation Rosdzin übertragen. Für die Fernleitungen sind unterirdisch eisenbandarmierte dreifach verseilte Kabel von  $3 \times 50$  qmm Querschnitt, oberirdische blanke Kupferdraht-Leitungen von 8 mm Durchmesser verwendet. Auf der Unterstation wird der Drehstrom durch 140 Kilowatt Transformatoren auf 365 Volt zurücktransformiert und dann durch rotierende Umformer von je 120 Kilowatt in Gleichstrom von 600 Volt verwandelt, der zur Speisung der Strecke Kattowitz-Mislowitz dient. Auch in der Unterstation ist eine Pufferbatterie von 290 Elementen und 200 Ampèrestunden und eine Zusatzmaschine zum Aufladen aufgestellt. Auf der Strecke ist Fürsorge getragen, daß der Betrieb nicht ins Stocken gerät, wenn einzelne Streckenteile schadhaf werden sollten. Die Zuleitung zu den Wagen erfolgt oberirdisch durch blanken 8,3 mm starken Leitungsdraht. Die zum Verkehr dienenden 20 vier- und 5 zweiachsigen Elektromotor-Wagen sind an jeder Achse mit einem 12,5 pferdigen Elektromotor ausgerüstet. Auch die vorhandenen 20 vierachsigen Anhängewagen können leicht zu Elektromotoren-Wagen umgebaut werden, falls es erforderlich wäre.

\*) Diese Anlage ist etwas ausführlicher geschildert, weil sie die übrigen an Großartigkeit übertrifft.

Die Elektromotoren-Wagen an sich bieten nichts Besonderes. Ihre Elektromotoren können, wie oben bereits an der Gruben-Lokomotive geschildert wurde, hintereinander und parallel geschaltet auch elektrisch gebremst werden, durch Umwandlung in Dynamomaschinen. Der Fahr-schalter, durch dessen Kurbel-Drehung die verschiedenen Schaltungen veranlaßt werden, hat die gewöhnliche Einrichtung. So werden wir auch hier durch die Kleinbahn-Anlage wieder an die Einrichtung unserer Gruben-Lokomotive erinnert.

Dasselbe gilt für die folgenden elektrisch angetriebenen Transportmittel.

c) Die einschienige\*) Schwebbahn (System Langen).

Sie unterscheidet sich nur bezüglich ihrer mechanischen Anordnung wesentlich von den vorhinbehandelten besonders dadurch, daß die Ein-Schiene\*), auf welcher die (mit 500 Volt und 36 Pferdekraften) elektrisch angetriebenen Räder laufen, so hoch gelegt ist, daß der „Lokalverkehr“ unter ihnen in keiner Weise gehindert wird, ebenso auch ungünstige Bodenverhältnisse weniger als bei den gewöhnlichen Eisenbahnen in Frage kommen. Die Wagen (und damit ihre Schwerpunkte) hängen nach unten, können sich also nicht von der Schiene abheben und müssen sich beim Befahren der Kurven ganz von selbst sanft in die Richtung der Fliehkraft einstellen. Jeder Wagen bildet gewissermaßen theoretisch ein Zentrifugal-Pendel, welches sich in die Resultierende von Schwer- und Zentrifugalkraft einstellt.

Die erste Schwebbahn ist von der „Internationalen Gesellschaft für Unternehmungen“, welche die Patente angekauft hat, auf der Strecke Barmen-Elberfeld-Vohwinkel angewendet und seit Anfang des Jahres 1901 im Betriebe. Sie läuft zum Teil über dem Wupper-Fluß und über den städtischen Straßen. Es betragen: der kleinste Krümmungshalbmesser 8 m, die stärkste Steigung 4,5<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, die Fahrgeschwindigkeit 40 km/Std., der Fassungsraum der Wagen 50 Personen. Die Schwebbahnen haben wesentliche Vorzüge vor den gewöhnlichen Straßen- und Hochbahnen: erfordern geringere Grundfläche, verdunkeln die Straßen weniger als die Hochbahnen, gestatten geringere Krümmungshalbmesser bei derselben Fahrgeschwindigkeit, fahren geräuschloser und sind weniger gefährlich als alle anderen. Da sie außerdem unter sich den Straßenverkehr nicht stören, in engen Straßen eingebaut werden können, so möchte ihnen wohl in vielen Fällen die Zukunft gehören.

Die Telpherage (1886), von ihren Erfindern, den Engländern Jenkin und Perry „Cross Over Parallel System“ genannt, eine Verbindung der Drahtseilbahn mit der elektrischen Lokomotive, könnte als Vorläufer der Langenschen Schwebbahn angesehen werden. Sie besteht im wesentlichen aus einer durch die Luft gespannten Drahtseilbahn, längs welcher die Wagen, aber nicht wie bei der allgemein bekannten Drahtseilbahn von Adolf Bleichert (Gohlis-Leipzig) mittelst eines Draht-Zugseiles gezogen, sondern durch eine elektrische Lokomotive gezogen oder geschoben werden. Genaue Angaben und Zeichnungen über Zuführung und „übers Kreuz geführten“ Lauf des elektrischen Stromes, Lokomotive und Lastwagen, sowie über den praktischen Wert und die Konstruktion der „Telpherlinie“ bringt R. Rühlmann in der Zeitschr. des V. d. Ing. 1886 S. 929 u. ff.

d) Gleislose elektrische Bahn für Personen und schweren Lastentransport.

Aus dem Voranstehenden ging hervor, wie das Pferd bei den alten Schienengleis-Pferdebahnen mehr und mehr durch den Elektromotor ersetzt wird. Seit

\*) Eingehende Versuche ergaben, daß die einschienige Bahn der ursprünglich angeordneten zweischienigen vorzuziehen war.

einigen Jahren hat Ingenieur Max Schiemann in Dresden noch einen bedeutenden Schritt weiter getan, den der Zivilingenieur M. Stobrawa in Köln a. Rh. in der vom Ministerium der öffentlichen Arbeiten herausgegebenen „Zeitschrift für Kleinbahnen“ 1903 Heft 4 durch die Worte kennzeichnet: „Auf Grund der Erfahrungen an der von Lombard-Gérin und Stoll versuchten, aber erst von Max Schiemann in Dresden mit Erfolg erbauten gleislosen elektrischen Bahn im Bieltal bei Königstein in der sächsischen Schweiz (siehe Beschreibung Elektrot. Zeitschrift 1901 Heft 47 S. 964) und aus deren fast 1½-jährigen Betriebe, der sich etwa seit Jahresfrist auch auf den Hüterverkehr erstreckt, sind in Gemeinschaft mit dem Verfasser Konstruktionen entstanden, die es ermöglichen, die Gewähr einer ausschließlich für den großen Lastenverkehr bestimmten gleislosen elektrischen Bahn „unter den schwierigsten Verhältnissen“ zu übernehmen. In einem Zeitraume von nur 3 Monaten ist in Grevenbrück in Westfalen im Auftrage des Elektrizitätswerkbesitzers Wilhelm Hüttenheim für die Grevenbrücker Kalkwerke eine gleislose elektrische Bahn für die Beförderung von täglich 20 Bahnwagen Steine auf 1,5 km Entfernung errichtet, auch sind die erforderlichen Betriebsmittel dazu geliefert worden. Ihre landespolizeiliche Prüfung und Abnahme erfolgte am 6. Februar 1903. Sie führt von einem Kalkbruch nach dem Bahnhof und benutzt auf ihrem Wege die schmale, zwischen Berg und Fluß eingeeengte Provinzialstraße, biegt nach 600 m in die mit spitzem Winkel einmündende nur 4,2 m breite Lennebrücke mit einem Halbmesser von 6 bis 7 m ein, überschreitet diese auf 100 m Länge mit Steigungen bis 1 : 23,5 und führt dann auf der auf beiden Seiten bebauten Provinzialstraße durch den Ort Grevenbrück weiter zum Güterbahnhof, bei dessen Eintritt wiederum eine scharfe Krümmung von fast einem Halbkreis mit 6 bis 7 m Halbmesser zu beschreiben ist.

Mit Ausnahme der Brücke, die schlechtes Kopfsteinpflaster hat, und der Ladestelle am Bahnhof, sind die Straßen chaussiert, jedoch durch den starken Fuhrwerksverkehr uneben.

Die feste Anlage der gleislosen elektrischen Bahn besteht aus einer an Holzmasten und Auslegern über der Straße gespannten Leitung, die ähnlich wie bei elektrischen Straßenbahnen ausgeführt ist, jedoch 2 Fahrdrähte von Profilkupfer zur Hin- und Rückleitung des von dem Elektrizitätswerk des Herrn Hüttenheim in Grevenbrück gelieferten Stromes besitzt. Die Leitungsstangen stehen in der Baumreihe oder Grabenkante der Chaussee in etwa 35 m Abstand; die Leitungshöhe beträgt 5,5 m, so daß der Straßenverkehr durch die Leitungsanlage keinerlei Beeinträchtigung erfährt.

Die Betriebsmittel bestehen aus einem Triebwagen und vorläufig 6 Anhängewagen mit festem Kasten von 3 cbm Inhalt zur Aufnahme der Steine.

Der Triebwagen (D.R.G.M. Nr. 192950) hat die eigenartige Form der bisher nur auf Schienen benutzten elektrischen Lokomotiven mit mittlerem überdachtem Führerstand, ist symmetrisch gebaut — also gleich gut geeignet für Vorwärts- und Rückwärtsfahrt — und mit 2 Stromabnehmerstangen versehen, deren allseitige Beweglichkeit im Verein mit den eigenartig geformten Abnehmerschuhen dem Wagen gestattet, bis 3,5 m jederseits aus der Achse der Leitungen herauszufahren, ohne daß die Abnehmer entgleisen; auf einer bis 8 m breiten Straße kann der Zug daher jedem entgegenkommenden Fuhrwerk rechts ausweichen und jedes langsamer fahrende links überholen, also die bestehenden fahrpolizeilichen Vorschriften genau so einhalten, wie jedes andere Fuhrwerk. Da die Straßenbreite auf dem Lande meist nur 5 bis 6 m beträgt, hat sich die Ausweichfähigkeit als durchaus genügend erwiesen.

Der vierräderige Triebwagen ist 4,8 m lang und 1,90 m breit und besitzt eine vom Führer zu betätigende Lenkvorrichtung, welche die beiden in besonderen Untergestellten angebrachten Achsen in Bogen stets nach dem Mittelpunkt zu ein-



stellt. Jede Achse wird durch je einen gewöhnlich 17,5 und höchstens 25 PS leistenden Elektromotor angetrieben, dessen Kraft durch sinnreich konstruierte gedämpfte Kuppelungen auf beide Räder übertragen wird.

Es ist hier die Aufgabe zum erstenmal gelöst, bei einem Triebwagen, der nicht auf Schienen geht, alle 4 Räder durch nur 2 Motoren auf einfache Weise ohne Verwendung von Differentialgetrieben anzutreiben und doch noch spielend leicht lenkbar zu erhalten. Durch diese vollkommene Ausnutzung des Lokomotivgewichts als Reibungsgewicht ist es in Grevenbrück möglich geworden, mit der nur 5,62 t schweren Maschine Anhängelasten von dem 4- bis 5fachen Gewicht zu schleppen.

Die Motoren sind mit doppelten Zahnradvorgelegen, in dichten Gehäusen laufend, versehen, im Schwerpunkt federnd aufgehängt, überhaupt ist die Maschine mit vorzüglichster Abfederung durch Blatt- und Spiralfedern ausgestattet, um alle Stöße auf schlechtem Pflaster vom Mechanismus abzuhalten und den Führerstand von Erschütterungen frei zu halten. Der Aufhängepunkt der Motoren und der Drehpunkt der Gestelle fällt in einem exzentrisch gelegenen Zapfen zusammen, der gleichzeitig die Verbindung mit dem Oberkasten bewerkstelligt.

Der Triebwagen ist im übrigen mit Schaltwerken, mechanischer und elektrischer Bremse, Sandstreuern, Signalhorn und elektrischen Scheinwerfern zur Beleuchtung der Straße und des Zuges bei Fahrten in der Dunkelheit ausgerüstet.

Die Anhängewagen haben ein Eigengewicht von 2,25 t und eine Tragfähigkeit von 5 bis 6 t; sie sind sehr widerstandsfähig, gefedert und mit abklappbaren Seitenborden und Bremsen versehen. Ihre Länge beträgt 4,2 m und ihre größte Breite 1,85 m. Ähnlich wie beim Zugwagen sind die beiden Achsen in je einem Drehschemel gelagert, deren gleichzeitige Mittelpunkt-Einstellung in Bogen hier aber durch Kreuzstangen erreicht ist. Die Wagen werden derart zu Zügen zusammengeskuppelt, daß die Kuppelstange des in der Fahrrichtung vorderen Gestells, die gleichzeitig dessen Lenkstange bildet, mit dem Kastenrahmen des voraufgehenden Wagens verbunden wird. Dadurch wird erreicht, daß jeder Wagen genau den Spuren seines Vorderwagens folgt und sich auch die engsten Krümmungen mit Zügen befahren lassen. Es ist hierbei allerdings zu beachten, daß Radstand, Wagenlänge und Länge der Kuppelstange im richtigen mathematischen Verhältnis zueinander stehen. Dieser genauen Spurhaltung, die bei einer Zuglänge von 20 m in überraschende Erscheinung tritt, zollte auch die Abnahmebehörde am 6. Februar ihre besondere Anerkennung.

Als Schlußwagen eines Zuges kann auch ein gewöhnliches Landfuhrwerk angehängt werden, bei dem bekanntlich die auf fester Achse steckenden Hinterräder einen engeren Kreis zu beschreiben pflegen.

Auch dieser Versuch wurde bei der Abnahme mit einem angehängten Personenwagen (Kremser) und einem mit 80 Zentner beladenen Lastfuhrwerk durchgeführt.

Sämtliche Räder sind mit glatten, eisernen Reifen versehen, deren Breite beim Triebwagen 15 cm, bei den Anhängewagen 12 cm beträgt.

Die Zugleistung der Maschine hängt vom Wetter und dem Grade der Schlüpfrigkeit der Straße ab; die Beförderung von zwei angehängten Wagen, entsprechend einem Gesamtgewicht des Zuges von 20 bis 24 t, ist aber bei jeder Witterung gesichert und erfolgt unter den ungünstigsten Umständen — bei Glatteis und Schnee, die im Jahre nur wenige Tage einzutreten pflegen — unter Beihilfe von sogenannten Eisstollen, dreieckigen eisernen Querrippen, die zeitweilig auf die glatten Räder des Triebwerkes aufgeschraubt werden, um deren Gleiten zu verhindern.

Bei gutem Wetter, also während des größten Teils des Jahres, wird die Zahl der angehängten Wagen 3 Stück betragen, welche Zuglänge zunächst durch die Aufsichtsbehörde genehmigt ist. Die Stärke der Motoren und die Schwere des

Triebwagens ist aber so bemessen, daß unter günstigen Witterungsverhältnissen 4 beladene Wagen geschleppt werden können, das Gesamtzuggewicht also etwa 35 t betragen kann.

Die von der Gemeinde Monheim a. Rh. nach dem Bahnhof Langenfeld erbaute und im Mai 1904 eröffnete, sowie die von den Gemeinden im Veischedetal von Grevenbrück nach Bilstein-Kirchveischede erbaute und im Juni 1904 dem Betriebe übergebene 8 km lange gleislose Bahn liefern den besten Beweis, daß dieses Beförderungsmittel sich bewährt. Die Räder sind nicht mit Gummi-, sondern mit Eisenreifen versehen. Im Winter werden die glatten Elektromotor-Laufräder durch verzahnte ersetzt. Der Strom von 600 V für die Monheim-Bahn kostet  $13\frac{1}{2}$  Pfg. KW/Stde., der von 550 V für die Veischede-Bahn 12 Pfg./KW/Stde. Die Preise für beide Bahnen betragen 6 Pfg./km für 1 Person und 22 bis 25 Pfg. für 1 tkm. Die Orts- bzw. Landes-Polizeibehörde genügt zur Genehmigung der „gleislosen“ und deshalb nicht unter das Kleingesetz fallenden Bahnen. Die Postbehörde verlangt nur den üblichen Schutz ihrer Leitungen gegen Berührung und unmittelbaren Stromübergang.“ (Siehe auch Z. d. V. d. Ing. 1905 S. 60.)

### Ahhang zur Streckenförderung.

Für meine Leser, welche mit der Berechnung von Anlagen, wie solche im Voranstehenden geschildert wurden, sich zu befassen haben, ist vielleicht die folgende kurze, immerhin aber ziemlich umfassende Zusammenstellung willkommen, die ich für den Berg- und Hüttenkalender bearbeitete. Es sind u. a. berechnet in einem Beispiele eine Förderung mit „Seil ohne Ende“, in einem anderen Beispiele die Förderung mittels Lokomotive.

#### a) Auf wagerechten Bahnen.

Es sind nur die Bewegungswiderstände: Gleitende Reibung bei Schlitten, Zapfen- und Rollende Reibung bei Räderfuhrwerken, bergmännischen Wagen zu überwinden.

##### α. Schlittenfuhrwerk.

Für Schlitten mit Holzkufen,

1. auf glatten Holz- oder Steinbahnen ist der „Widerstandskoeffizient“:

$$\frac{\text{Zugkraft } P}{\text{Last } Q} = K = 0,4 \text{ ungeschmiert; } = 0,15 \text{ Seife; } = 0,05 \text{ Talg;}$$

2. auf glatter Eis- oder Schneebahn:

$$K = 0,035.$$

Für Schlitten mit Eisen beschlagenen Kufen:

$$K = 0,02 \text{ auf Eis und Schnee.}$$

##### β. Räderfuhrwerk.

Zugkraft = Rollende Reibg. + Zapfenreibg.

$$P = a \frac{Q}{r} + f \frac{d}{2r} Q,$$

a = 0,084 cm für nicht sehr hartes Holz auf Holz (Tannenholz),

= 0,05 „ „ sehr hartes Holz auf hartem Holz (Eichenholz),

= 0,05 „ „ gußeiserne Räder auf eisernen Schienen.

r cm Halbmesser des Rades, d cm Durchmesser der Zapfen; f Zapfenreibungskoeff.

Beispiel. Für r = 50 cm (Eisenbahnwagenrad);  $d/2 = 4$  cm; a = 0,05;

f = 0,04 ist:

$$P/Q = 1/50 (0,05 + 4 \cdot 0,04) = Q \cdot 1/50 (0,05 + 0,16),$$

$$P/Q = 1/250 = 0,004 \text{ für gewöhl. Eisenbahnen bei mäßiger Geschw.}$$

Reibungswiderstände bei den Fuhrwerken und Bahnzuständen verschiedenster

Art:

- K = 0,004 auf gewöhnl. Eisenbahnen, mäßige Geschw.,
- = 0,01 auf Eisenbahnen bei großer Geschwindigkeit,
- = 0,013 auf Asphaltstraßen und vorzügl. Steinpflaster,
- = 0,015 auf vorzüglichen Chausséen,
- = 0,018 auf gutem Holzpflaster,
- = 0,023 auf guter Chaussée,
- = 0,080 auf guten Erdwegen,
- = 0,010 auf vorzüglich gewarteten bergmänn. Förderwagen und Bahnen,
- = 0,02—0,03 bei gewöhnlicher Streckenförderung.

Auch für die maschinelle Drahtseilförderung kann in regelrechten Fällen im Mittel angenommen werden:

$$K = 0,02—0,03.$$

Bei der Förderung dieser Art auf Zeche Erin bei Castrop („Glückauf“ 1893, S. 882) soll trotz der dort vorhandenen Kurven mit 45 Rollen die erforderliche Zugkraft nur 0,02 des in Bewegung befindlichen Gewichtes betragen.

Beispiel. Fördergeschwindigkeit  $v = 0,5$  m. Förderung 100 Wagen in einer Stunde, dann sind 20 beladene, 20 leere Wagen in Bewegung: Gewicht eines beladenen Wagens = 1500 kg, Gewicht eines leeren = 300 kg, zusammen:

$$20 \cdot (1500 + 300); 36\,000 \text{ kg} + \text{Seilgewicht } 1200 \text{ kg} = 37\,200 \text{ kg.}$$

Die erforderliche Leistung =  $(37\,200 \cdot 0,02) \text{ kg} \cdot 0,5 = 372 \text{ kgm}$ , oder:

$$N = 372/75 = 5 \text{ Pferde.}$$

Die Antriebsmaschine ist auf 8 Pferdekkräfte berechnet.

#### b) Auf geneigten Bahnen.

Zu den Bewegungswiderständen tritt noch der Herabgleitungsantrieb; deshalb ist bei dem Neigungswinkel  $\alpha$  der Bahn:

$$\text{Zugkraft } P : \text{Last } Q = K = \sin \alpha + \cos \alpha (a/r + f d/2r).$$

Für kleine Werte von  $\alpha$  kann  $\cos \alpha = 1$  gesetzt werden und  $\sin \alpha$  mit  $\tan \alpha$  vertauscht werden. Soll die Bahn solche Neigung  $\alpha$  haben, daß die Zugkraft für den leeren Zug aufwärts gleich ist der Zugkraft für den vollen Zug abwärts, so ist für  $T$  kg als Gewicht der leeren Wagen,  $Q$  kg als das der Ladung,  $f$  als Reibungskoeffizient:

$$\begin{aligned} \text{tg } \alpha = f Q : (2 T + Q) &= 0,005 \text{ für } Q = 2 T \text{ und } f = 0,01, \\ \alpha &= 17'. \end{aligned}$$

Beispiel: Eine elektr. Gruben-Lokomotive vom Gewichte 2000 kg soll sich und 20 Wagen mit der Geschwindigkeit  $v = 2,5$  m auf einer Bahn von 0,001 Steigung emporziehen; jeder Wagen hat 450 kg Ladung und 300 kg Eigengewicht, dann ist die erforderliche Zugkraft genau genug:

$$\begin{aligned} P &= [2000 + 20 (450 + 300)] [\sin \alpha + \cos \alpha (a/r + f d/2r)] \\ P &= 17\,000 [0,001 + 0,015] = 272 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Dieselbe Kraft muß die Lokomotive am Umfange der Triebräder (als „Adhäsionswiderstand“) äußern. Die erforderliche Leistung ist dann

$$N = \frac{272 \cdot 2,5}{75} = 9 \text{ Pferde.}$$

Man könnte die vorletzte Gleichung auch schreiben, indem man die Klammerwerte mit 1000 mal nimmt:

$$\begin{aligned} P &= 17 [ 1 + 15 ] = 272 \text{ kg, oder allgemein:} \\ P &= Q_a [ s + K ]. \end{aligned}$$

(In dieser Formel sind also die Werte von  $K$  tausendmal größer als in der obigen Zusammenstellung.)

In der Gleichung von der letzten Form bedeutet dann:

P in Kilogrammen die Zugkraft, welche erforderlich ist, um die Gesamtlast  $Q_a$  (zusammengesetzt aus Nutz- und toter Last) in Tonnen auf einem Bahngleise emporzuziehen, welches  $s$  m Steigung auf 1000 m Bahnlänge hat, wenn zur Überwindung der rollenden Reibung an den Umfängen der Räder und der gleitenden Reibung an den Zapfen  $K$  kg Zugkraft auf je 1 Tonne auf horizontaler Strecke erforderlich sind. Auf Luftwiderstand, der bei den schnell laufenden Wagen der Schnell-Vollbahnen sehr erheblich sein kann, wurde in der Formel keine Rücksicht genommen.

Nach der obigen Zusammenstellung ist anzunehmen:

$K = 4$  kg für gewöhnliche gut gewartete Eisenbahnen,

$K = 10$  kg für 20 kg für Gruben- und Straßenbahngleise je nach der Sorgfalt, mit welcher sie ausgeführt und gewartet sind.

Für gleislose Bahnen (Asphalt, Chaussée, Pflaster) gibt obige Zusammenstellung ebenfalls Auskunft.

Sehr zu empfehlen ist das Buch: Die Grubenbahnen unter besonderer Berücksichtigung des Lokomotivbetriebes. Vom Oberingenieur F. Schulte-Dortmund. (Verlag von G. D. Baedeker-Essen. Ruhr) 1906.

## B. Die elektrischen Schacht-Fördermaschinen

### der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft.

(Läßt man auch hier als allgemeine Wahrheit in der Technik und Wissenschaft gelten, daß die Erfahrungen und Beobachtungen der Vergangenheit und Gegenwart die Gesetze und Maßnahmen für die Zukunft bestimmen, so darf man bezüglich der elektrisch angetriebenen Fördermaschinen schon heute, wenn auch nicht erschöpfend, so doch grundlegende Vorschläge für die Zukunft machen. In diesem Sinne möchte die Überschrift gedeutet sein und unser Aufsatz die Leser zu eigener Prüfung anregen.)

Einleitende Bemerkungen über die Schachtförderung im allgemeinen, insbesondere über die Anforderungen an die Elektrotechnik.

Außer den zur Erzielung einer möglichst großen Wirtschaftlichkeit erforderlichen Eigenschaften: Anpassungsfähigkeit, Einfachheit, Betriebssicherheit, Leistungsfähigkeit, Dauerhaftigkeit, durch welche alle unsere Maschinen sich auszeichnen sollen, verlangen wir noch von der Schacht-Fördermaschine möglichst vollkommene Regulierbarkeit unter den schwierigsten Verhältnissen. Denn hier handelt es sich bei jedem Aufzuge um Kraft- und Bewegungs-Schwankungen zwischen so weiten Grenzen wie kaum bei einer anderen Arbeitsmaschine, selbst die Lokomotive nicht ausgenommen.

Das eine Mal soll beim An- und Endlauf unter einem großen Gewichtsüberschusse von mehreren Tausend Kilogrammen die Geschwindigkeit des Förderseiles zwischen den Grenzen Null und 20 m/Sek. möglichst rasch sich ändern, trotz der ungewöhnlich großen zu beschleunigenden fortschreitenden und rotierenden trägen Massen, und dann an einer bestimmten Stelle das schnell ankommende Fördergefäß mit der größten Genauigkeit sanft eingestellt werden. Und derartige Aufzüge erfolgen in raschem Wechsel wohl 20—81\*) mal in 1 Stunde, bei „Etagen“-Förderung noch wesentlich erschwert durch wiederholtes „Umsetzen“ („Käpsen“) der Förderschale.

\*) 81 Züge in 1 Stunde aus 200 m Teufe wurden mit der Thiederhaller elektrischen Fördermaschine bei den Abnahmeversuchen bewerkstelligt, wohl die größte bis dahin jemals ermöglichte Zahl, die übrigens bei geringerer Förderteufe noch entsprechend hätte erhöht werden können.

Das andere Mal bei sogen. „Revisionsfahrten“ mit unbelasteten Förderschalen oder nur mit einem Manne auf einer Förderschale, wobei die Gewichtsüberschüsse hauptsächlich von dem Gewichte der im Schachte hinabhängenden Seilrümmen herrühren und mit dem Auf- bzw. Abwickeln derselben auf den Korb und von dem Korbe derart veränderlich sind, daß sie bei ein- und demselben Aufzuge zuerst widerstehen, dann verschwinden und zuletzt antreiben, verlangt man eine durchaus unveränderliche Geschwindigkeit von weniger denn 0,3 m/Sek. Bei elektrisch angetriebenen Fördermaschinen fällt diese Forderung um so mehr ins Gewicht, weil der antreibende Elektromotor von Natur ein „Schnellläufer“ ist.

Früher wurden die Fördermaschinen für Hauptschächte durch Zwillings-Dampfmaschinen ohne erhebliche Expansion für „blinde“ (d. h. nicht zutage ausgehende) Schächte durch Preßluft (anstatt des Dampfes) angetrieben. Gegenwärtig gelten als wirtschaftlich vollkommenste Maschinen die Tandem-Verbund-Maschinen mit möglichst starker Expansion. In Zukunft wird man nach den bei der später besprochenen Thiederhaller Anlage zuerst gemachten Erfahrungen die elektrisch angetriebenen Fördermaschinen nicht nur für blinde Schächte, sondern auch für Hauptschächte bevorzugen.

#### **Möglichst kurze Zusammenstellung\*) der wichtigsten Einrichtungen der neuesten elektrisch angetriebenen Schachtfördermaschinen für Lastenförderung und Seilföhrung (Menschenförderung).**

a) Die Bewegungs- und Sicherheitsvorrichtungen müssen mindestens gleichwertig sein den für die Dampf-Förderung bergpolizeilich vorgeschriebenen. Besonders sollte auch **direkte Kuppelung** des EM-Ankers mit der Seilkorbwelle vorausgesetzt werden, die zum erstenmale bei der 1898 in Betrieb gesetzten Fördermaschine der A.-G. Thiederhall bei Braunschweig angeordnet ist.

b) Bei allen zulässigen Belastungen müssen die Seilgeschwindigkeiten innerhalb der vorgeschriebenen Grenzen von Null bis zu einem Maximum (10 m bis 20 m), womöglich mit Hilfe der einfachsten Bewegungen der elektrischen Reguliervorkehrungen mittelst eines einzigen Steuerhebels beliebig geändert, die Maschine angelassen, abgestellt, umgesteuert, vollständig im Zaume gehalten, auch allmählich, im Notfalle sofort, zum Stillstande gebracht werden können. Wie überall, so ist auch hier die Einfachheit das Merkmal für die Güte.

Bei den heutigen vollkommensten elektrischen Förderanlagen\*\*) genügt, wie später ausführlicher auseinandergesetzt wird, zu dieser vollständigen Herrschaft über die Maschine tatsächlich ein einziger Steuerhebel.

Derselbe regelt Richtung und Stärke des Magnet-Feldes und damit „Spannung“ Anker-Stromes einer „Anlaßdynamomaschine mit Nebenschlußregulierung“, deren Ankerwelle auf gleichbleibender Umdrehungszahl  $n$  erhalten wird. Dieser geregelte Anker-Strom treibt dann erst den Förder-EM an, dessen Magnet-Feld durch Strom aus dem Netz gleichbleibend erregt wird, und bedingt dadurch den Wechsel der Seilgeschwindigkeit und Drehungsrichtung der unmittelbar gekuppelten Fördermaschine.

c) Aus wirtschaftlichen Gründen soll, trotz der unumgänglich notwendigen ungewöhnlichen Kraft- und Geschwindigkeits-Änderungen der Arbeitsmaschine (Fördermaschine), dennoch die stromerzeugende Kraftmaschine (Wärme- und Wasserkraft-Maschine) tunlichst gleichmäßig stark belastet mit ihrem größten Wirkungs-

\*) Nähere begründete Angaben sind im folgenden zu finden.

\*\*) Für Metallwalzwerke würde entsprechendes gelten.

grade arbeiten. Deshalb ist zwischen Kraft- und Arbeitsmaschine ein möglichst elastisches gleichsam versöhnendes Ausgleichmittel einzuschalten; also entweder:

1. eine Puffer-Batterie, wie zum ersten Male bei der mehrfach erwähnten Förderanlage der A.-G. Thiederhall bei Braunschweig, oder
2. eine Ilgner Anlaßmaschine („Ilgner Umformer“\*), bestehend aus Elektromotor, Schwungrad und Gleichstrom-Dynamomaschine mit Nebenschluß zum Regeln mittels Steuerhebel), wie bei der Maschine der Zeche Zollern II der Gelsenkirchener Bergwerks A.-G. Merlinde i. W., und anderen neuen Hauptschachtfördermaschinen, oder
3. eine Kombination beider Systeme (Puffer-Batterie und Umformer) ohne Schwungrad, wie bei der Fördermaschine auf dem Otiliae-Schacht der Berginspektion Clausthal.

Steuerung. Der oben genannte einzige Steuerhebel (welcher, wie vorhin bereits mit anderen Worten gesagt wurde, den schwachen\*\*) Strom des Nebenschlusses der Anlaß-Dynamomaschine, also das magnetische Feld dieser Maschine reguliert, deren Anker dann den Strom für den Fördererlektromotor liefert) beherrscht vollständig die Fördermaschine ohne Zuhilfenahme irgend einer Bremse, weit sicherer als bei den Dampf-Fördermaschinen. Die Stellungen sind denen des Steuerhebels der Dampf-Fördermaschinen nachgebildet.

Mittelstellung gibt Stillstand ( $e = \text{Null}$ ,  $i = \text{Null}$ ).

Kleinste Auslegung nach  $\left\{ \begin{array}{l} \text{vorwärts} \\ \text{rückwärts} \end{array} \right\}$  gibt  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Vorwärts-} \\ \text{Rückwärts-} \end{array} \right\}$  Drehung und genügt zum „Umsetzen“.

Vergrößerung der Auslegung vergrößert  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Spannung} \\ \text{und Strom} \end{array} \right\}$  der Umformer-Dynamomaschine, bezw. des Förder-EMs und damit die Geschwindigkeit der Fördermaschine.

Einer bestimmten Hebelstellung entspricht eine bestimmte Geschwindigkeit, unabhängig von der Größe der Belastung, selbst wenn diese Null oder sogar negativ würde. Bei negativer Belastung, also Herunterlassen von Lasten („Hängen“) wirken die Förder-EM stromerzeugend und treiben nach rückwärts die Umformer-Dynamomaschine an, welche bei 1 die Pufferbatterie ladet, bei 2 das Schwungrad beschleunigt.

Das „elektrische Bremsen“ (entsprechend dem Gegendampf geben), welches durch schnelles Zurückbewegen des Steuerhebels herbeigeführt wird, ist bei Köpeseiben nicht, wohl aber bei schweren Seilkörben bei flotter Förderung erforderlich, bedeutet aber nicht, wie das Gegendampfgeben, eine Arbeitsvergeudung, weil hierbei durch die jetzt antreibende Fördermaschine elektrische Arbeit wieder zurückgegeben wird, die ihr vorher, zwecks beschleunigter Förderung, zuviel mitgeteilt wurde.

Mechanische Bremse. Außer dem Steuerhebel ist meist noch ein zweiter Hebel zur Betätigung der Luftdruckbremse vorhanden, die aber nur die Maschine so lange halten soll, bis die Wagen abgezogen sind, also mit dem Steuern („Manövrieren“) nichts zu tun hat.

\*) Der Ilgner Umformer hier unterscheidet sich von den früher (am Ende der Akkumulatoren) besprochenen u. a. im wesentlichen durch das zwischen Elektromotor und Dynamomaschine eingeschaltete Schwungrad.

\*\*) Diese Feldregulierung, bei der es sich um die Regulierung eines nur schwachen Stromes handelt, hat gegenüber der Ankerregulierung, bei welcher der gesamte Betriebsstrom durch die Kontakte der Reguliervorrichtung fließt, einen zweifachen Vorteil. Sie führt auf eine einfache, billige, haltbare Einrichtung, die sich in den Kontakten nur wenig abnutzt, und vergeudet nur kleine Strommengen, ist also ökonomisch sowohl in bezug auf die Anschaffung als auch während des Betriebes.

Die Sicherheitsvorrichtungen gegen zu hohe Geschwindigkeit an der Hängebank und „Übertreiben“ über dieselbe wirken sicher bei jeder Belastung und bezwecken nachzuholen, was der Maschinist versäumt hat, nämlich den Steuerhebel selbsttätig noch zur rechten Zeit in die erforderlichen, bestimmten Stellungen hineinzuschieben. Sie werden betätigt durch zwei Kurvenstücke, die an der Teufenzeiger-Spindel angebracht sind. Letztere sorgen einmal dafür, daß die Fördergefäße etwa 3 m unter der Hängebank nur mit 1 m Geschwindigkeit eintreffen, ferner daß der Steuerhebel in die Nullstellung (Mittelstellung) verschoben wird, wenn die Schale über die Hängebank hinausgetrieben wird. Diese allmähliche Bremsung wirkt sanfter als die schnell einfallenden Dampfbremsen.

Wendepole. Zuletzt noch sei erwähnt, daß bei der gegenwärtig neuesten elektrischen Fördermaschine des Ottiliae-Schachtes durch „Wendepole“, die schon Seite 125 angedeutet wurden, das Funken an den Kollektoren verhütet wird\*).

Beste Strom-Art für Fördermaschinen. Beiläufig sei hier am Eingange unserer Betrachtungen schon darauf hingewiesen, daß die geschilderte Eigenart der Fördermaschine, besonders der großen Hauptschacht-Förderungen, mit ihren Bewegungsänderungen und ihrem deshalb weitgehenden Regulierbedürfnisse uns auf den Gleichstrom hinweist. Dagegen arbeitet der Wechselstrom und dessen Kombination, der Mehrphasen-Strom (sogen. Drehstrom) in solchen Fällen heute noch recht unwirtschaftlich, wiewohl er bei der Anschaffung auf eine verhältnismäßig einfache und billige Maschinenanlage führt und sehr wohl geeignet ist, die Kraft aus entfernten Zentralen am billigsten heranzuholen.

Beste Regulier-Mittel für elektrisch angetriebene Fördermaschinen. Auf den ersten Blick möchte die Erfüllung der oben hervorgehobenen Forderungen, welche die Fördermaschine an die Antriebmaschine stellt, nicht besonders schwierig erscheinen. Gibt es doch in der Technik Hilfsmittel genug, wie z. B. mechanische Bremsen, durch welche die Geschwindigkeiten herabgesetzt und Räderübersetzungen aller Art, durch welche Bewegungsänderungen ins Langsame und ins Rasche herbeigeführt werden können.

Aber alle diese Mittel sind „Verschwender“, vergeuden teuer erzeugte Arbeit. Unter den elektrischen Hilfsmitteln gehören hierher auch die oben genannten **Anlaß- und Regulier-Widerstände** im Haupt- oder Ankerstrom und zwar sowohl die festen, als auch die bei Gleichstrom durchaus verwerflichen Flüssigkeits-Anlasser, in denen das elektrische Arbeitsvermögen, besonders bei großen Maschinen, in höchst bedauerlicher Weise in große Mengen von Wärme umgesetzt wird, die dann außerdem noch auf umständliche und kostspielige Weise beseitigt werden muß. Und das alles auf Kosten des Wirkungsgrades der Maschine. Derartige Verluste müssen tunlichst vermieden oder durch passende **Nebenschluß-Regulierung** vermindert werden.

**Anmerkung.** Im Laboratorium hat Verfasser folgende Beobachtung gemacht, die ihm die Flüssigkeitsanlasser schon von vornherein als zweifelhaftes Reguliermittel erscheinen

\*) Solche Wende- oder Hilfspole, auch Kompensationsmagnete genannt, welche zwischen den Feldmagneten angebracht und vom Anker-Hauptstrom derart erregt werden müssen, daß sie denjenigen Kraftlinien entgegenwirken, die sonst im Anker (als sogenannte Rückwirkung) erzeugt würden, und bezwecken, daß der Strom genau in der Mittellinie zwischen den Haupt-Polen kommutiert wird und folglich die dynamische EMK für alle Stromstärken denselben Wert hat wie die statische und welche damit das Funken an den Bürsten bei den verschiedensten Bewegungsarten der Kollektoren verhüten, sind demnach besonders geeignet für die Nebenschlußmaschinen der Fördermaschinen. Aus einer Besprechung zwischen Detmar (Berlin), Oelschläger (Bradford, England), Max Deri (Wien) in der Elektrotechnischen Zeitschrift (1906, S. 109) unter der Überschrift „Beeinflussung des Gleichstrom-Maschinenbaues durch Einführung der Wendepole“ geht hervor, daß Deri dieselben schon seit mehreren Jahren bei seinem Maschinensysteme verwendet und daß sie es ermöglichen, Gleichstrommaschinen bis 3000 Volt ohne Schwierigkeit zu bauen.

ließen in allen den Fällen, in welchen es sich um Zuverlässigkeit und Sicherheit handelt. Taucht man die noch trockenen Elektroden allmählich in die Flüssigkeit ein, so nimmt der Strom auch allmählich, man darf wohl sagen, proportional zu. Zieht man aber die nun benetzten Platten wieder heraus, so ist es mit der Proportionalität vorbei. Auch die benetzten, nun wieder eingetauchten Platten verhalten sich anders wie die ursprünglich trockenen. Daß bei flotter Förderung die Flüssigkeit an den Platten in wallende Bewegung kommt, bringt noch größere Abweichungen. Außer diesen willkürlichen Erscheinungen, bei denen, ich möchte sagen, der Flüssigkeitsspiegel gleichsam an den benetzten Platten in die Höhe gestiegen ist und vielleicht die Kapillarität mitspielt, tritt noch folgender Vorgang hinzu: Der Gleichstrom zersetzt die 5<sup>o</sup>/<sub>o</sub>ige Soda-Flüssigkeit und macht durch eine derartige sofortige Umänderung der Widerstandsflüssigkeit die ganze Vorrichtung zu einem Reguliermittel, durch welches der Willkür Tür und Tor geöffnet werden. Deshalb werden die erforderlichen langsamen Revisionsfahrten unmöglich gemacht.

Bei einer durch Gleichstrom angetriebenen Fördermaschine mit dieser Vorrichtung ist deshalb zu erwarten, daß die Maschine im Augenblicke des ersten Eintauchens der Elektroden wohl noch stillsteht, im nächsten Augenblicke aber schon sich und damit die Förderschale stoßweise in Bewegung setzt. Es fehlen durchaus die allmählichen Übergänge. Alle Verbesserungsversuche bleiben fruchtlos. Der Flüssigkeitsanlasser mit Zubehör muß vollständig durch einen metallischen Widerstands-Regulator ersetzt werden. Kurz der Flüssigkeitsanlasser bei Gleichstrom erfüllt von den beiden wichtigsten Bedingungen, die wir an alle unsere Maschinen stellen: Arbeitsleistung und Zwangsläufigkeit, letztere gar nicht.

Da der Wechselstrom, also auch der Drehstrom, die Widerstandsflüssigkeit nicht zersetzt, ist hierbei der Flüssigkeitsanlasser anwendbar, aber seiner Unwirtschaftlichkeit wegen nicht das beste Reguliermittel.

Wir wissen längst, daß Wärmeerzeugung nicht nur in den Zapfenlagern unserer Maschinen, sondern überall da auf Verluste hinausläuft, wo sie nicht, wie z. B. bei Heizungen, Endzweck ist.

Von diesem Standpunkte aus betrachtet, sind deshalb alle arbeitötenden Hilfsmittel, z. B. die in der Anmerkung erwähnten Flüssigkeits- und metallischen Regulier-Widerstände, sowie auch die mechanischen Bremsen, unter Umständen auch die elektrischen Bremsen, bei denen der Strom auf Widerstände geschaltet wird, „notwendige Übel“, die gegen die Grundsätze der Wirtschaftlichkeit verstoßen, weil sie das Kapital verschleudern. Weit günstiger, als bei den mechanischen Bremsen schon liegt der Fall bei den elektrischen Bremsen. Denn letztere würden in Verbindung mit „Akkumulatoren“ (als Dauer-Speicher), oder mit „Pufferbatterien“ (als Dauer- und so zu sagen, Augenblick-Speicher) 70<sup>o</sup>/<sub>o</sub>, bei sehr sorgfältig ausgeführten Anlagen, noch mehr, der aufgenommenen Widerstandsarbeit jederzeit als Nutzarbeit wieder herausgeben. Durch die Bezeichnung „Augenblick-Speicher“ sollte darauf hingewiesen werden, daß die parallel zwischen Elektromotor und Dynamomaschine eingeschaltete Pufferbatterie\*) die Stromstöße, welche durch die Schwankungen der Fördermaschine in die Elektromotoren kommen, sofort aufnimmt und von der Dynamomaschine (Generator) abhält. Aus diesem Grund wirkt sie nicht nur als Speicher, sondern als „Ausgleicher“ und Schutzmittel gegen schädliche Stöße. In solchen Eigenschaften ist sie ein ausgezeichnetes, vielleicht das beste Mittel, welches wir bislang besitzen, die Wirtschaftlichkeit einer Anlage zu erhöhen. Ihren Namen teilt die Pufferbatterie mit den Puffern der Eisenbahnen, welche bekanntlich die Stöße der Wagen aufnehmen und schonend auf diese und deren toten und lebendigen Inhalt wirken sollen.

Will man mit den Pufferbatterien die „Schwungräder“ als „Ausgleicher“ vergleichen, so darf man nicht aus dem Auge verlieren, daß man bei letzteren, so vorzüglich sie mit ihren trägen Massen auch während einer einzigen Umdrehung oder während weniger Umdrehungen wirken mögen, doch nur sprechen darf von einem „Leben aus der Hand in den Mund“. Denn ein Schwungrad ist kein Kraftspeicher im obigen Sinne. Dasselbe wäre nicht imstande, übernommene mechanische Arbeit vom Morgen bis zum Abend aufzuspeichern. Auch schon

\*) Von der schon früher, unter den „Akkumulatoren“, gehandelt wurde.



seiner „Trägheit“ wegen darf das Schwungrad nicht im entferntesten mit der Pufferbatterie verglichen werden. Und doch legt man in vielen Fällen, z. B. bei der Thiederhaller elektrischen Fördermaschine der ersten, bei welcher die Pufferbatterie angewandt wurde (und auch bei der elektrischen Fördermaschine auf dem Ottilae-Schacht der Clausthaller Berginspektion) großen Wert darauf, die während der gewöhnlichen Arbeitsschicht aufgespeicherte elektrische Arbeit noch zu Licht- und Kraftzwecken auszunutzen, wenn der übrige Betrieb (Dampfkessel mit Dampfmaschine) ruht. Für Thiederhall hat sich tatsächlich gerade diese Ausnutzung der „Pufferbatterie“ als besonders wünschenswert erwiesen und wäre auch in Zukunft wohl kaum durch ein besseres Hilfsmittel zu ersetzen. Auch die Räderübersetzungen gehören wie bereits oben erwähnt wurde, zu den „Arbeitsverschwendern“ und sind zu verwerfen, wenn sie irgend zu umgehend sind, zumal sie auch noch die Sicherheit des Betriebes herabsetzen. Das erinnert uns an die oben gestellten Forderungen: Einfachheit, Betriebssicherheit, Leistungsfähigkeit, Dauerhaftigkeit, auf die wir nun in Kürze eingehen müssen.

Das einfachste, sicherste und deshalb beste, wenn auch nicht das billigste Mittel, ist die „direkte Kuppelung“ der Wellen des Elektromotors und des Seilkorbes.

Aus diesem Grunde wurde die direkte Kuppelung bei der Thiederhaller Anlage, und zwar hier zum ersten Male bei einer Schachtfördermaschine angewandt. Und in Zukunft wird wohl kaum eine große Hauptschacht-Fördermaschine ohne direkte Kuppelung als mustergültig angepriesen werden dürfen.

Soll zur Erzielung einer billigen Anlage für kleine und mittlere Schachtfördermaschinen (bis zu 100 Pferdekräften) doch eine Räderübersetzung gewählt werden, dann sollte der erforderlichen Sicherheit wegen nur ein einziges Räderpaar aus geräuschlos arbeitenden, kräftig bemessenen, genügend breiten Zahnrädern (womöglich Pfeilrädern aus bestem Stahlguß) höchstens 4—5 facher Übersetzung, dessen kleinstes Rad mindestens 30—50, ohne Spielraum geschnittene Zähne hat, zugelassen werden. Da der nun rascher laufende Förder-Elektromotor mit entsprechend größerem Wirkungsgrade arbeitet, würde auch in bezug auf die Ökonomie die Anlage noch befriedigend ausgeführt werden können.

Dank der „direkten Kuppelung“ und der „Pufferbatterie“, sowie einer besonderen vom Oberingenieur Meyer der Firma Siemens & Halske angegebenen Schaltung, nähert sich nun auch die Anlaß- und Regulierung-Vorrichtung der Thiederhaller Maschine hier bei einer elektrisch angetriebenen Fördermaschine zum ersten Male dem Ideale, welches dem Maschinentechniker vorschwebt: daß der Maschinenführer mittels der einfachsten Mittel und Bewegungen, d. i. der geringsten Zahl von Hebeln und mit der einfachsten und geringsten Vorlegung derselben seine Maschine bei jeder Belastung und selbst für die geringsten Geschwindigkeiten so mühelos spielend in die vorgeschriebenen gewünschten, tunlichst geräuschlosen Bewegungen so sicher versetzt, wie die Finger und anderen Gliedmaßen am eigenen Körper.

Um das zu erzielen, müssen so wie hier auch in Zukunft die Hebelstellungen für Stromgeben, Stromnehmen (elektrisches Bremsen) und Umsteuern derart aneinandergrenzen, daß sie durch möglichst geringfügige Hebelbewegungen erreicht werden.

Deshalb möchten bezüglich der Steuerung folgende beide Haupt-Forderungen, die durch die Thiederhaller Maschine zum ersten Male erfüllt wurden, für alle zukünftigen mustergültigen Fördermaschinen aufzustellen sein:

1. Eine ganz geringe Geschwindigkeit ( $v < 0,3$  m) muß für jede Belastung, auch bei unbelasteter Förderschale, dauernd bei festeingestelltem Hebel innegehalten werden können.

2. Die Fördergeschwindigkeit soll nur von der Stellung des Steuerhebels, nicht aber von der zufälligen Belastung (selbst wenn diese negativ, wie z. B. beim „Hängen“, wäre) abhängen und sanft ohne merkliche Stöße bei raschem An- und Abfahren, sowie bei flottem Auf- und Umsetzen („Käpsen“) verändert werden können. Kurz: Jeder Feststellung des Steuerhebels muß eine bestimmte Fördergeschwindigkeit entsprechen, was längst nicht bei allen (heutigen) elektrischen Fördermaschinen erfüllt und bei Dampffördermaschinen überhaupt nicht so sicher erreichbar ist. An der ruhigen Haltung, den kaum hörbaren abgemessenen Hantierungen des Führers am Steuerhebel schon allein könnte selbst der Laie, der voranstehende Regeln kennt, bei aufmerksamer Beobachtung sich ein nicht ganz unzutreffendes Bild von der Güte der Maschine bilden.

Eine vorzüglich durchdachte und ausgeführte Maschine wird schon den kleinsten Bewegungen des Führers willenlos folgen, wie ein wohlgeschultes Rasse-Pferd dem geringsten Drucke und leisesten Winke seines Leiters.

In bezug auf die Leistungsfähigkeit kann in Zukunft verlangt werden, daß die (mittelgroße) elektrische Schachtfördermaschine bei der Abnahme-Prüfung auf kurze Zeit etwa die doppelte garantierte Leistung ohne schädliche Erwärmung (bis 40° C über die Umgebung) verträgt. Die Thiederhaller elektrische Fördermaschine leistete bei den Abnahme-Versuchen spielend das 2,5 fache, ohne daß unliebsame Erwärmungen, Stöße und Störungen irgend welcher Art vorkamen.

Es könnte dieser Umstand noch als ein Beweis dafür angesehen werden, daß die Maschinenanlage keine sog. „gefährlichen“ Stellen enthält, vielmehr der allgemeinen Forderung des Maschinenbaues entsprechend in allen Bestandteilen und Querschnitten von „gleichem Widerstande“ ist.

Die Dauerhaftigkeit, die letzte und nicht unwichtigste der im Eingange aufgeführten Eigenschaften, welche die Wirtschaftlichkeit des flotten Betriebs einer Förderanlage bedingen, kann naturgemäß nur nach Verlauf mehrerer Betriebsjahre erkannt werden.

Als Beispiel muß deshalb wieder die seit dem 3. Juli 1899 im Dauerbetriebe bewährte Thiederhaller elektrische Fördermaschine gelten, weil sie unter allen bislang gebauten und in mehrjährigem Betriebe sonst auch wohl bewährten elektrischen Fördermaschinen die erste ist, welche seit einer Reihe von Jahren die im voranstehenden dargelegten und hierunter kurz zusammengestellten Forderungen, die wir in Zukunft an eine mustergültige Fördermaschine zu stellen haben mit Ausnahme einer einzigen, die im folgenden als IV. aufgeführt ist, erfüllt.

#### **Kurze Zusammenstellung der im voranstehenden begründeten fünf Forderungen an unsere zukünftigen großen Schacht-Fördermaschinen.**

I. Direkte Kuppelung zwischen Arbeitsmaschine (Fördermaschine) und Elektromotor, um die gefährlichen und gefährdenden, arbeitvergeudenden, Raum beanspruchenden, oft geräuschvollen Räderwerke zu vermeiden.

II. „Ausgleicher“ zwischen Förder-Elektromotor und Generator (stromerzeugenden Dynamomaschine), um die von der Arbeitsmaschine (Fördermaschine) auf den mit ihr gekuppelten Elektromotor übertragenen Arbeits- (Kraft- und Geschwindigkeits-)Schwankungen bzw. Stöße „auszugleichen“, d. h. von dem Generator möglichst fernzuhalten und damit den höchsten Grad der Wirtschaftlichkeit anzustreben, indem:

1. die Betriebsanlage im ganzen und in ihren Bestandteilen geschont wird, das Förderseil nicht ausgeschlossen\*), und dadurch eine Verminderung der Reparaturen und der Betriebsstörungen, also der Betriebskosten erwächst,
2. die Primärstation, d. i. die Kraftmaschine und der Generator nebst Zubehör mit Einschluß der Baulichkeiten, nur etwa für die mittlere, nicht höchste vorübergehend vorkommende Belastung der Arbeitsmaschine berechnet und hergerichtet zu werden braucht.

Mit dem Ausgleicher fällt deshalb die Primärmaschine angenähert nur etwa halb so groß aus, als ohne denselben. Und dadurch, daß die Kraftmaschine andauernd fast gleichmäßig belastet ist, wird sie konstant mit dem „ökonomischen Füllungsgrade“ arbeiten. Hieraus ergibt sich ferner eine Verminderung der Betriebskosten und dazu noch, wie oben gezeigt wurde, der Anlagekosten gegenüber der gewöhnlichen Dampf-Fördermaschine, obwohl letztere viel einfacher ist. Am vollkommensten unter allen Ausgleichern ist der „elektro-chemische (Pufferbatterie), weil er nicht nur augenblicklich wirkt, sondern, was für viele Fälle der Technik besonders wichtig ist, die Fähigkeit hat, seine aufgespeicherte Arbeit auf Verlangen nach längerer Zeit wieder herauszugeben.

Anmerkung. Daß die Anlagekosten für eine Pufferbatterie in wenigen Jahren durch Ersparung an Betriebskosten gedeckt werden können, ist in dem früheren Kapitel über Akkumulatoren unter „Pufferbatterien“ durch ein Zahlenbeispiel aus der Praxis angedeutet. Auch hat sich bis heute schon herausgestellt, daß die Befürchtungen, eine Pufferbatterie werde stark abgenutzt, durchaus unbegründet sind. Die Versicherungsprämien sind deshalb auch verhältnismäßig sehr niedrig.

III. Steuerung der Maschine mittelst der geringsten Anzahl von Steuerhebeln und der kleinsten Auslegungen derselben. Bewegung eines Hebels nur nach „vorwärts“ und „rückwärts“ wie bei den Dampfördermaschinen.

Hierdurch wird der Maschinenführer geschont und derart entlastet, daß er seine Aufmerksamkeit auch den übrigen Teilen seiner Maschine zuwenden kann, also auch in mehrfacher Beziehung die Betriebssicherheit erhöht.

IV. Möglichst „verlustlose Regulierung der Umdrehungs-Zahl und Richtung des Förder-Elektromotorankers“, bezw. der Geschwindigkeit des Förderseiles, durch Veränderung des „Nebenschluß-Stromes“, also des „magnetischen Feldes“, der Anlaß-Dynamomaschine (Fremderregung). Diese IV. Forderung einer sog. „Anlaßmaschine“, d. i. einer durchlaufenden Dynamomaschine mit regulierbarer und umschaltbarer Fremderregung zum Anlassen, zur Geschwindigkeitsveränderung und zur Richtungsveränderung, die einzige, welche von der Thiederhaller Fördermaschine noch nicht erfüllt wurde, aber bei dieser auch nicht derart ins Gewicht fiel, wie bei den größeren und schneller laufenden Maschinen, ist es nun auch, durch deren Erfüllung alle zukünftigen verbesserten Hauptschacht-Fördermaschinen vor der Thiederhaller Maschine im wesentlichen sich auszeichnen werden. Daß in dieser IV. Forderung nur von Gleichstrommaschinen die Rede ist, hat seine Begründung darin, daß wir bis heute noch kein Mittel kennen, durch Drehstrom unmittelbar dieselbe zu erfüllen.

V. Die doppelte Garantie-Leistung (angenähert) müßte eine Maschine von mittlerer Größe bei der Betriebsübergabe und später während kurzer Dauer zu leisten imstande sein, ohne daß sie schädliche Erwärmungen in ihren Teilen

\*) Genauere Auseinandersetzungen über diese wichtige Angelegenheit sind zu finden in „Glückauf“ 1901, Nr. 22, unter der Überschrift: „Die Pufferbatterie im allgemeinen, im besonderen die der A.-G. Thiederhall in Thiede bei Braunschweig. Von O. Hoppe.“ Essen, G. D. Baedeker. Man sehe auch das früher unter „Akkumulatoren“ Gesagte.

Wicklungen, Hilfsvorrichtungen) äußert\*). Hierbei ist allerdings, vorausgesetzt, daß von vornherein die Pausen so groß gewählt waren, daß eine derartige Steigerung überhaupt möglich ist.

**Kurze Entwicklungs-Geschichte  
der neueren elektrisch angetriebenen Fördermaschinen mit  
„direkter Kuppelung“.**

**Einleitende Bemerkungen.** Nachdem wir im voranstehenden die Bedingungen kennen gelernt haben, welche mustergültige elektrisch angetriebene Hauptschacht-Fördermaschinen erfüllen müssen, liegt es nahe, geschichtlich nachzuweisen, wie weit die aufgezählten 5 Forderungen an den ausgeführten Anlagen bereits erfüllt sind.

Wie die 1879 er erste Siemensche elektrische Lokomotive zugleich als erste Fördermaschine angesehen werden muß, die den bald darauf folgenden elektrischen Förder-Haspeln, zuerst mit Riemenantrieb, darauf mit Räderwerk, offenbar zum Muster gedient hat, so beginnt die Geschichte der eigentlichen Schacht-Fördermaschinen (als welche nur solche ohne Räderwerk angesprochen werden sollten) mit der elektrischen Fördermaschine der A.-G. Thiederhall bei Braunschweig, welche, wie schon oben hervorgehoben ist, am 3. Juli 1899 in Dauerbetrieb genommen wurde.

Die Entstehungsgeschichte der letzteren bildet deshalb den natürlichen Ausgangspunkt der neueren elektrisch angetriebenen Fördermaschinen überhaupt. Von diesen kommen demnach der Zeitfolge nach die folgenden in Frage.

1. Die (erwähnte) Thiederhaller Maschine mit zylindrischen Seiltrommeln wurde von der Siemens & Halske A.-G. in Berlin 1899 gebaut; ihr mechanischer Teil von der Nordhäuser Maschinenfabrik Schmidt, Kranz & Co. in Nordhausen, die Pufferbatterie von den Akkumulatorenwerken Pollak in Frankfurt a. M. und die Antriebsmaschine, eine liegende Verbundmaschine von 90 Pferdekraften Leistung von der Maschinenbau-A.-G. vormals Ph. Swiderski in Leipzig-Plagwitz geliefert.
2. Die Fördermaschine für Schacht Zollern II der Gelsenkirchener Bergwerks-A.-G. mit Koepe-Scheiben, gebaut von der Siemens & Halske A.-G. in Gemeinschaft mit der A.-G. Friedrich-Wilhelmshütte in Mühlheim (Ruhr), war ausgestellt in Düsseldorf 1902.
3. Die Fördermaschine (1400 kg Nutzlast, 15 m Seilgeschwindigkeit) für die Zeche Friedrich Franz (bei Lübtheen in Mecklenburg); ausgestellt im Schuckertschen Pavillon in Düsseldorf 1902 vom Bergwerksdirektor Buschmann in Gemeinschaft mit Schuckert & Co. in Nürnberg.
4. Die Fördermaschine für Zeche Preußen II der Harpener Bergbau A. G. war ausgeführt von der „Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft in Berlin, im mechanischen Teile von der Aktien-Gesellschaft Eisenhütte Prinz Rudolph Dülmen geliefert; die Antriebsmaschinen in der Primärstation, horizontale Zwillinge-Verbund-Maschinen von 800 Pferdekraften Leistung, wurden gebaut von der Sächsischen Maschinenfabrik, vormals Rich. Hartmann, Chemnitz.
5. Die Ilgner-Fördermaschine, zuerst aufgenommen und durchgebildet von den Siemens-Schuckert Werken, wird auch geliefert u. a. von der „A. E. G.“ in Berlin und ist gegenwärtig die beliebteste.
6. Die Fördermaschine auf dem Otiliae-Schacht der Clausthaler Berginspektion.

\*) Diese Sicherheit gewährt die Thiederhaller Maschine in besonders hervorragender Weise.

Sämtliche Maschinen sind mit „Thiederhaller direkter Kuppelung“ ausgestattet. Die Maschinen 1, 2, 3 haben Gleichstrom. Die Maschine 4 hat Mehrphasenstrom (Drehstrom). Bei 5 wird in der Primärstation (meist) Drehstrom erzeugt, auf weite Entfernung nach der Fördermaschine in der Sekundärstation fortgeleitet, hier durch eine gekuppelte Drehstrom\*)-Gleichstrom-Anlaßdynamomaschine (Umformer) in Gleichstrom umgewandelt zum Speisen des mit der Fördermaschine direkt gekuppelten Gleichstrom-Nebenschluß-Elektromotors. Auf der Kuppelwelle zwischen der Drehstrom- und Gleichstrommaschine ist nach Ilgner ein Stahl-Schwungrad als „Ausgleicher“ der Arbeits-Schwankungen angeordnet. Durch Gleichstrom läßt sich beim Förder-Elektromotor, wie schon früher angedeutet wurde, eine vollkommene Manövrierfähigkeit und Wirtschaftlichkeit bei großen Geschwindigkeits- und Belastungs-Schwankungen erzielen als durch Drehstrom. Deshalb wird hier naturgemäß der aus der Ferne herkommende Drehstrom in Gleichstrom für den Förder-Nebenschluß-Elektromotor umgewandelt.

Es mag nun eine kurze Entwicklungs-Geschichte der aufgezählten Maschinen 1 bis 6 folgen, um die schrittweise erfüllten Forderungen der Gegenwart zur Beachtung für die Zukunft deutlicher hervortreten zu lassen.

#### 1.

Der im Jahre 1897 an den Verfasser ergangenen Aufforderung, die für den blinden Schacht der A.-G. Thiederhall geplanten elektrischen Fördermaschinen in die Wege zu leiten, wurde um so lieber entsprochen, weil die Entscheidung über die Ausführung des Planes vollständig in des Verfassers Hand gelegt wurde und weil sich hier dem Elektro-Maschinentechniker die Gelegenheit bot, mitzuhelfen, eine vorbildliche elektro-maschinentechnische Anlage zu schaffen \*\*).

Die „direkte Kuppelung“ welche bei allen bisher gebauten elektrischen Fördermaschinen stets umgangen war, weil sie die Anlage wesentlich verteuert und die Ausführung ganz besonders erschwert, ihr wirtschaftlicher hoher Wert aber bislang noch nicht erprobt war, mußte zunächst angenommen werden, wiewohl alle Offerten mit Vorgelegen wesentlich billiger waren. Bei allen mustergültigen größeren Dampf-Fördermaschinen war die Räderübersetzung als unzulässig längst über Bord geworfen, deshalb durfte folgerichtig unsere elektrische Fördermaschine hinter den besten Dampf-Fördermaschinen nicht zurückstehen, wenn sie mustergültig werden sollte und späterhin den Dampf-Fördermaschinen das Feld streitig machen wollte. Es sei schon hier angeführt, daß die beiden auf den beiden Enden der Förderwelle fliegend aufgekeilten Gleichstrom-Nebenschluß-Elektromotoren „nebeneinander“ geschaltet auf 7 m Seilgeschwindigkeit, „hintereinander“ geschaltet auf 3,5 bis 3,7 m für Menschenförderung führen. Daß auch die anderen zwischenliegenden Geschwindigkeiten stoßfrei erreicht werden können, wurde bereits oben hervorgehoben.

Hiermit wurde die Forderung I (direkte Kuppelung) erfüllt.

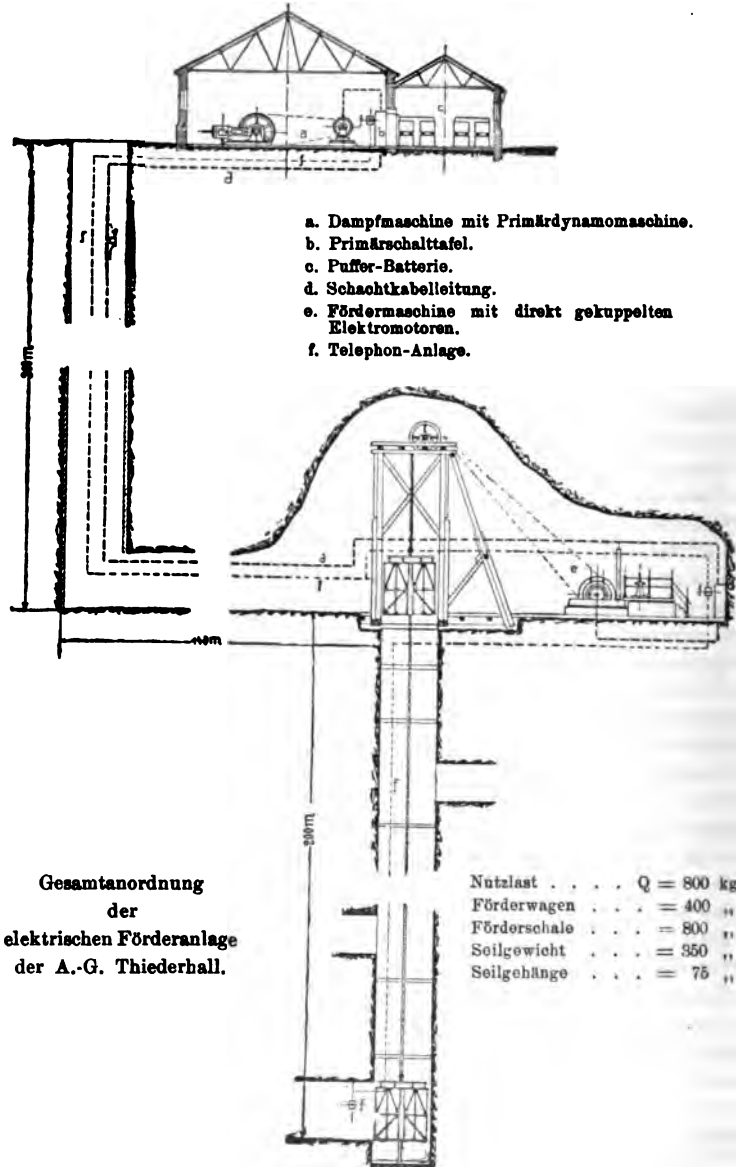
Dieser Schritt war der bedeutungsvollste, denn er hatte, wie wir bald sehen werden, alle anderen wichtigen Veränderungen und Verbesserungen, z. B. die Notwendigkeit eines „Ausgleichers“, zur Folge, der den bisher angewandten Förderhaspeln mit Räder-Vorgelegen fehlte.

\*) Es sei hier ausdrücklich hervorgehoben, daß bei dieser von der Primärstation her gespeisten Maschine kein Widerstand eingeschaltet wird, weil sonst die Kraftmaschine (Dampftr.) in der Primärstation veränderlich belastet würde, was gerade vermieden werden soll. Gerade die konstante Energie-Entnahme führt auf geringe Leitungsquerschnitte und Leitungsverluste, also die wichtigsten Forderungen der Wirtschaftlichkeit.

\*\*) Ich möchte nicht unterlassen, an dieser Stelle den beiden Herren Direktoren Hugo und Fink für das mir entgegengebrachte unbedingte Vertrauen und den beiden Herren Oberingenieuren der Firma Siemens und Halske, Köttgen und Philippi, für die Unterstützung im Streben, das Beste zu liefern, den verbindlichsten Dank auszusprechen.

Bei den elektrisch angetriebenen Pumpen und Ventilatoren war, wie wir wissen, die Kuppelung des Elektromotors mit der Arbeitsmaschine bereits eingeführt und erprobt. Es könnte deshalb den Technikern der Vorwurf gemacht werden, daß sie dieselbe nicht schon früher auch bei den Fördermaschinen angenommen

Fig. 108.

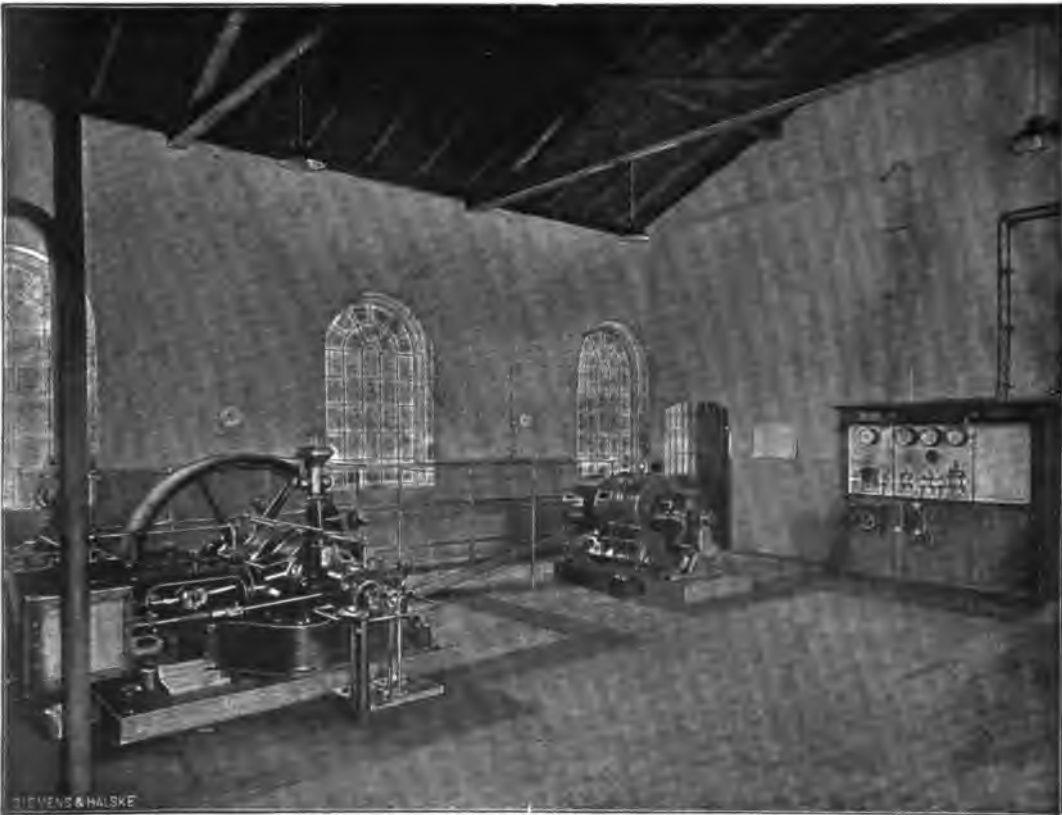


hätten. Dieser Vorwurf aber ist ungerechtfertigt, denn die Verkuppelung bei der Fördermaschine ist ein ganz anderes Ding wie dort: Bei den Pumpen und Ventilatoren ist Gleichförmigkeit Regel, bei den Fördermaschinen (besonders für geringe Teufe) dagegen Ausnahme. Auch konnte hier die Arbeitsmaschine sich nicht wesent-

lich verändern, konnte von ihren von Natur wechselvollen stoßweisen Bewegungen, ihren plötzlichen Kraft- und Geschwindigkeits-Schwankungen nicht lassen. All dieses Ungemach kam nun auch ungemildert in den Förder-Elektromotor. Denn selbst die nachgiebige Leder-Kuppelung der gleichmäßig laufenden Pumpen und Ventilatoren mußte bei der Fördermaschine, zumal wenn dieselbe zur „Fahrung“ (Menschen-Förderung) benutzt werden sollte, in eine unwandelbar feste und durchaus sichere verwandelt werden.

Wie nun hier die Arbeitsmaschine durch den festangekuppelten Elektromotor vollständig gebändigt, zwangläufig in jeden Bewegungszustand innerhalb der vorgeschriebenen Grenzen in raschen Wechsel versetzt werden sollte, so mußte um-

Fig. 109.



Oberirdische Primärstation der Thiederhaller elektr. Förderanlage.

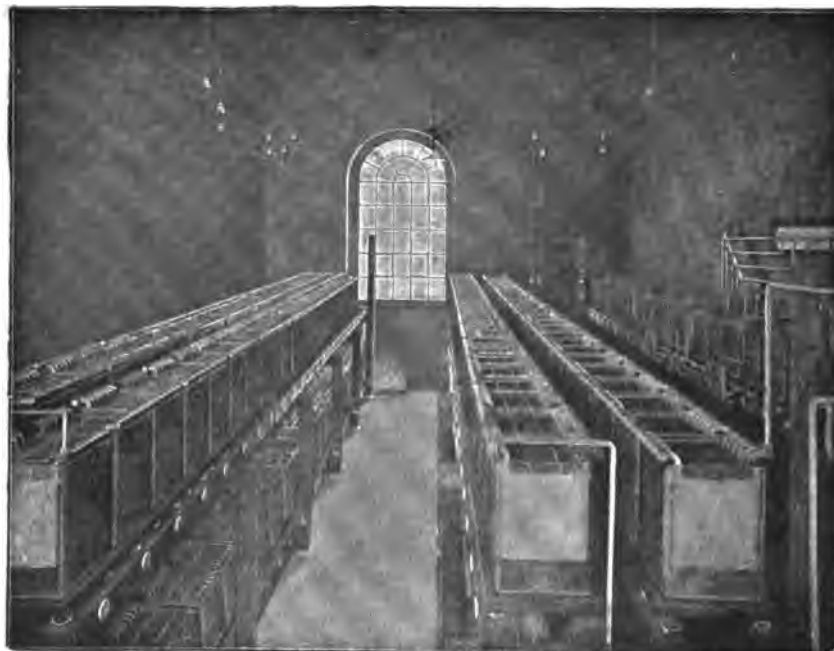
gekehrt zwischen Förder-Elektromotor und stromliefernder Dynamomaschine (Generator) ein möglichst nachgiebiges elastisches, der Natur des elektrischen Stromes zusagendes, gleichsam versöhnendes Ausgleichsmittel eingereicht werden, damit die Dynamomaschine möglichst wenig die antreibende Kraftmaschine (Dampfmaschine) hinderte, ihren gleichmäßigen, den besten Wirkungsgrad gewährleistenden Gang beizubehalten.

Aus diesen wichtigen Gründen und Überlegungen ging folgerichtig die Einführung der bereits oben mehrfach hervorgehobenen „Pufferbatterie“ hervor und damit wurde die Forderung II erfüllt.

Für die Thiederhaller und ähnlich liegende Verhältnisse war die Annahme der „Pufferbatterie“ noch aus anderen triftigen Gründen geboten. Die Grubenverwaltung wollte den normalen Betrieb nur während der Tagesschicht aufrecht erhalten, aber auch nachts und am Sonntag wichtige Grubenarbeiten vornehmen, für welche elektrischer Strom für Licht und Kraft vorrätig gehalten werden mußten. Ohne Pufferbatterie aber hätte die Dampfmaschine während dieser kurzen Arbeitszeiten und verhältnismäßig geringen Leistungen wie bei regelrechtem Betriebe unter Dampf gehalten werden müssen. Infolgedessen hätten sich verhältnismäßig hohe Kosten für Dampf und Wartung ergeben. Anders allerdings liegen die Verhältnisse, wenn die Fördermaschine an ein größeres, mit Strom gespeistes Netz angeschlossen ist.

Gegen die Pufferbatterie machten damals maßgebende Sachverständige geltend, daß dieselben sich zwar bei den elektrischen Straßenbahnen seit ihrer ersten An-

Fig. 110.



Erste Pufferbatterie einer elektrischen Schachtförderung.

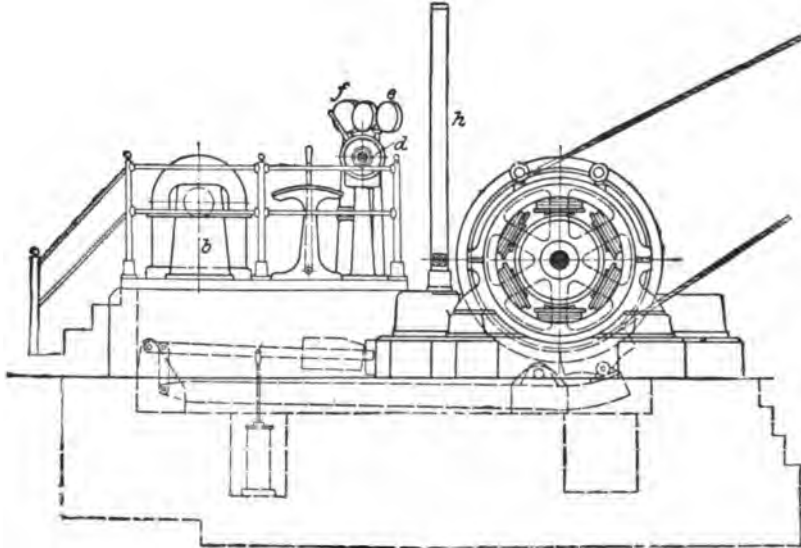
wendung 1896 auf der Strecke Zürich-Hirslanden bewährt habe, aber den überaus starken Stromstößen des Förder-Elektromotors gegenüber nicht widerstandsfähig genug hergestellt werden könne, deshalb bald zugrunde gehen müsse. Auch schon ihres hohen Preises wegen würde sie die Neu-Anlage zu sehr verteuern. Kurz, sie sei nicht nur unzureichend, sondern dazu auch unwirtschaftlich.

Erfahrungen lagen damals noch nicht vor, die diese gewiß ernstern und beachtenswerten Warnungen hätten widerlegen können. Es blieb dem Verfasser deshalb nichts anderes übrig, als sich auf die Reise zu begeben und durch eingehende Besichtigung und sorgfältige Prüfung einer größeren Anzahl in den verschiedenartigsten Betrieben verwendeten, zum Teil sehr angestregten, auch nicht immer mit Liebe und Sachkenntnis gepflegten Akkumulator-Batterien ein eigenes Urteil

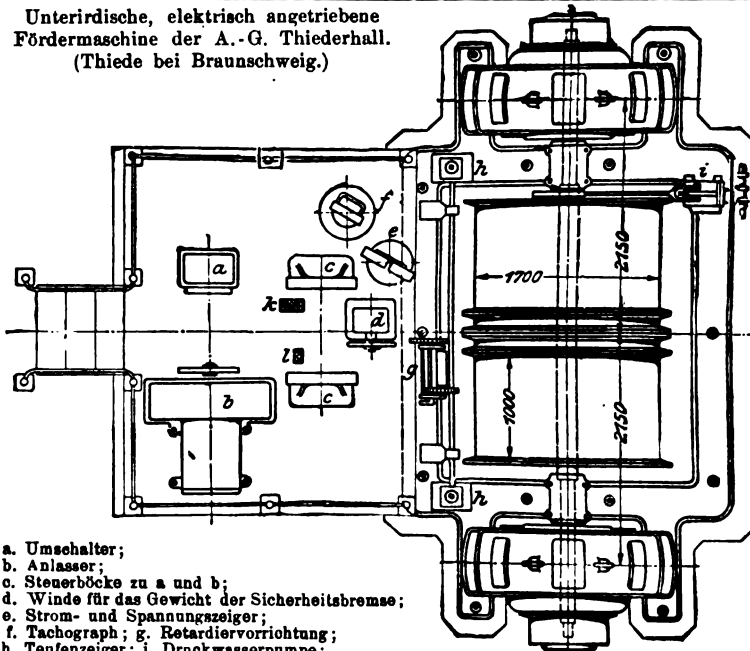


zu gewinnen, um der Verwaltung zu Thiederhall nach bestem Wissen einen zuverlässigen Rat erteilen zu können. Auf Grund dieser Beobachtungen entschied ich

Fig. 111.



Unterirdische, elektrisch angetriebene Fördermaschine der A.-G. Thiederhall.  
(Thiede bei Braunschweig.)



- a. Umschalter;
- b. Anlasser;
- c. Steuerböcke zu a und b;
- d. Winde für das Gewicht der Sicherheitsbremse;
- e. Strom- und Spannungszeiger;
- f. Tachograph; g. Retardiervorrichtung;
- h. Teufenzeiger; i. Druckwasserpumpe;
- k. Tritthebel zur Manövrierbremse;
- l. Tritthebel zur Retardiervorrichtung.

mich für den von der Firma Siemens & Halske angenommenen Plan mit Pufferbatterie. Bis heute hat sich die Pufferbatterie und die durch sie beeinflusste elektrische Förderanlage auf das (man darf wohl sagen) glänzendste bewährt.

Um nun aber ein für allemal die bislang herrschenden Zweifel zu klären, beschloß ich schon damals eine Lebensgeschichte dieser Pufferbatterie zu gewinnen, habe letztere deshalb seit ihrer Inbetriebsetzung (3. Juli 1899) von Zeit zu Zeit besichtigt und ferner, sowohl von seiten der Lieferantin (Akkumulatoren-Werke Pollak, A.-G. Frankfurt a. M.), als auch von der Direktion der A.-G. Thiederhall mir über den Zustand derselben berichten lassen. Die bislang innerhalb sechs Betriebsjahren gesammelten Erfahrungen sind günstig für die Puffer-Batterien.

Auch ist nicht daran zu zweifeln, daß Pufferbatterien aus allen guten Fabriken (von denen z. B. auch die Akkumulatoren-Fabrik A.-G. Berlin, Fabrik in Hagen i. W.\*) die mich über ihre Leistungsfähigkeit auf dem Laufenden erhält) zu ähnlichen Ergebnissen geführt haben würden.

Fig. 111 a.



Unterirdische Sekundärstation der elektr. angetriebenen Fördermaschine der A.-G. Thiederhall.

Und wenn man nach der ursprünglich in Fachkreisen entschieden ausgesprochenen Ablehnung heute schon sagen hört, daß „die Anwendung einer Pufferbatterie bei einer durch Gleichstrom betriebenen Schacht-Fördermaschine, für welche etwa Thiederhaller Verhältnisse vorliegen, eigentlich selbstverständlich sei“, so ist das der beste Beweis dafür, daß die Thiederhaller Erfahrungen bahnbrechend gewesen sind.

Die Forderungen III (Steuerung der Maschine mittels der geringsten Zahl von Steuerhebeln) und V (doppelte garantierte Leistung ohne gefährliche Erwärmung) wurden von der Thiederhaller Maschine ebenfalls erfüllt.

---

\*) Von der inzwischen die Akkumulatoren-Werke Pollak mit übernommen sind.



Der IV. Forderung dagegen genügt sie nicht.

Aber auch diese Forderung mußte in Zukunft erfüllt werden und zwar um so vollkommener, je größer die Fördermaschinen sind und je rascher bezw. mit je größeren Arbeits-Schwankungen sie laufen, wenn die elektrische Hauptschacht-Fördermaschine die längst bewährte, einfachere Dampf-Fördermaschine mit dauerndem Erfolge aus dem Felde schlagen wollte.

Daß unsere neue Maschinenanlage von Thiederhall die Aufmerksamkeit der Fachleute auf sich lenkte und der „blinde“ Schacht dort viel Besucher, sogar aus fremden Ländern, sah, kann bei der Neuheit der hier glänzend gelösten Aufgabe nicht befremden.

Besonders das ungewöhnlich leichte Spielen des Maschineführers am Steuerhebel bei den verschiedenartigsten Bewegungs- und Belastungs-Veränderungen, das überaus flotte und doch sanfte An- und Abfahren überraschte und gab schon äußerlich Zeugnis von der Sicherheit und Zweckmäßigkeit der Schaltung und Regulierfähigkeit, die bislang in gleichem Maße bei den besten Fördermaschinen noch niemals erreicht war.

## 2.

Maßgebende Herren der Gelsenkirchener Bergwerks-A.-G., die schon auf den Ausfall der Thiederhaller Maschine gewartet hatten, entschlossen sich deshalb ohne Bedenken, für ihren Hauptschacht Zollern II eine elektrisch angetriebene Fördermaschine der größten Dimensionen nach dem Muster unserer Maschine der Firma Siemens und Halske A.-G. mit der Bedingung in Auftrag zu geben, daß die Maschine im Frühjahr 1902 auf der Düsseldorfer Ausstellung im Gange vorgeführt werde. Die Maschine erfüllte diese Bedingung, ist deshalb in unserer geschichtlichen Reihe an zweiter Stelle aufgezählt. Um außer den Forderungen I, II, III auch der Bedingung IV zu entsprechen, also ein nahezu verlustfreies Regulieren zu ermöglichen, wurde die auch hier parallel geschaltete Pufferbatterie in vier Gruppen geteilt. Diese Gruppen wurden dann in einer solchen Reihenfolge entladen, daß sowohl die Spannung und damit die Geschwindigkeit der Maschine gleichmäßig sich veränderte, als auch die Anstrengung der einzelnen Elemente nahezu die gleiche blieb. Zu dem Ende wurde beim Aufzuge des linken Seiltrums die Entladung der Gruppe von links nach rechts, beim Aufzuge des rechten Seiltrums von rechts nach links bewirkt. Es zeigte sich jedoch, daß für den hier zur Verwendung kommenden Starkstrom eine dauerhafte Regulierungsvorrichtung des Anker- also Hauptstromes sehr umfangreich und nicht einfach genug ausfallen mußte. Es wurde deshalb von der Firma (Siemens-Schuckert-Werke) beschlossen, neben dieser auf der Düsseldorfer Ausstellung vorgeführten Einrichtung der Zollern II-Maschine noch das „System Ilgner mit schnelllaufendem Schwungrade“ mit Magnet- also Nebenstrom-Regulierung endgültig auf Schacht Zollern II aufzustellen, welches von den Sachverständigen als das zweckmäßigste Ausgleich-Mittel der Gegenwart angesehen wird.

Die Anlage arbeitet seit ihrer Inbetriebsetzung (Oktober 1903) bis heute zur vollkommensten Zufriedenheit.

Das Ilgner-System besteht aus:

1. dem bekannten rotierenden Umformer (der früher von uns beschrieben wurde),
2. dem Ilgner-Schwungrade, welches auf der gemeinschaftlichen Welle dieses Umformers zwischen Elektromotor und Generator aufgekeilt ist und bezweckt, die Umdrehungszahl der Umformer-Welle tunlichst konstant zu erhalten und dadurch die erheblichen Schwankungen der Arbeitsmaschine (Fördermaschine mit Förderelektromotor)

von der Kraftmaschine (Dampfmaschine, Turbine, Gaskraftmaschine) fernzuhalten, indem es überschüssige Arbeit (als lebendige Kraft) aufnimmt bezw. herausgibt,

3. der sog. Leonard-Schaltung\*) (eingeführt für Gleichstrommaschinen mit „Fremderregung“). Die Leonard-Schaltung beruht auf der Eigenschaft
  - a) des Generators, daß bei konstanter Umdrehungszahl  $n$  die Klemmenspannung  $e$  abhängt von der Magneterregung,
  - b) des Elektromotors, daß bei konstanter Magneterregung  $n$  abhängt von der Klemmenspannung  $e$ .

Die Steuerung der sog. Ilgner-Fördermaschine wird nun in folgender Weise ermöglicht:

Der mit der Seilkorbwelle gekuppelte Antrieb-Gleichstrom-Elektromotor erhält beständig konstanten Magnet-Erregerstrom aus dem Netz, dagegen den Ankerstrom von dem Nebenschluß-Generator (sog. „Anlaß“-Dynamomaschine) des Umformers. Diese Anlaß-Maschine, von möglichst gleicher Umdrehungszahl  $n$  infolge der Schwungradwirkung, erhält ihren schwachen Magneterreger-Strom von ebenfalls gleicher Spannung  $e$  aus dem Gleichstrom-Netz, dessen Stromstärke  $i$  nun aber durch Einschalten von Widerständen mittels des Steuerhebels in der Hand des Maschinisten nach Belieben geändert wird.

Durch diese Änderung der Erregerstromstärke  $i$  kann die Anker-Spannung der Anlaß-Dynamomaschine beliebig geändert werden zwischen

$$+ e_{\max}, \text{ Null}, - e_{\max}.$$

Diese veränderliche Anker-Klemmenspannung gelangt nun zum Förder-Elektromotor-Anker und verändert demnach dessen Umdrehungszahl entsprechend in

$$+ n_{\max}, \text{ Null}, - n_{\max}.$$

weil (wie oben hervorgehoben wurde) bei dem Gleichstrom-Nebenschluß-Elektromotor (Förderelektromotor) mit konstanter Magneterregung, die Umdrehungszahl  $n$  nur abhängt von der Anker-Klemmenspannung (dagegen weder von der Größe noch der Richtung der Stromstärke). Das negative Zeichen in  $-n$  bedeutet Rückwärtsdrehung. Auf diese Weise wird bei der beschriebenen Leonard-Schaltung die Umdrehungszahl  $n$  des Förder-Elektromotor-Ankers, also auch der damit verbundenen Seilkorbwelle praktisch ausschließlich durch die Erregerstrom-Stärke der Anlaß-Dynamomaschine bedingt. Folglich bestimmt nur die Stellung des Steuerhebels, mit welchem der Maschinist eine bestimmte  $\pm$ -Erregerstrom-Stärke der Anlaß-Dynamomaschine einstellt, die Fördergeschwindigkeit.

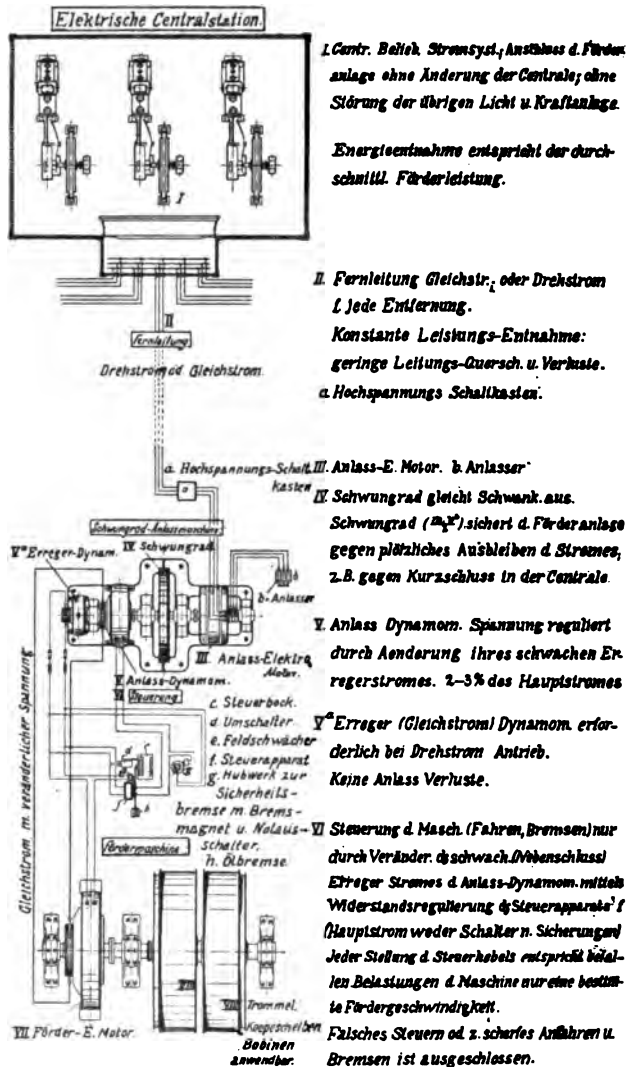
Steuerauslegung halb	bedingt halbe	Geschwindigkeit
„ ganz	„ ganze	„
„ vorwärts	„ Vorwärts-Beschleunigung	„
„ rückwärts	„ Rückwärts-Beschleunigung.	„

Steuerhebel schnell in die Mittel-(Null)-Stellung gebracht bedingt sofortiges Bremsen der Fördermaschine, weil der noch mit großer Umdrehungszahl  $n$  umlaufende Förder-Elektromotor zur Dynamomaschine wird, die den Strom in die in ihrer Spannung  $e$  herunterregulierte Anlaß-Dynamomaschine zurückgibt und hierdurch das Schwungrad beschleunigt. Jeder Stellung des Steuerhebels entspricht eine bestimmte Fördergeschwindigkeit gleichviel in welchem jeweiligen Bewegungszustande kurz vorher die Fördermaschine war und in welchem Belastungszustande sie sich befindet, ob beim Aufziehen oder Hängen, mit oder ohne Last. Beim

\*) Die Leonard-Schaltung eignet sich gleich gut auch als Regelungsmittel für die größten elektrisch angetriebenen hüttenmännischen Walzwerke und andere stark wechselnde Triebwerke, ermöglicht eine fast verlustlose Regulierung und ist anwendbar bei normal gebauten Elektromotoren.

„Hängen“ wird eine entsprechende mechanische Arbeit als Strom zurückgegeben zum Aufspeichern im Schwungrade. Diese aufgespeicherte Arbeit wird wieder herausgegeben, wenn die Fördermaschine mehr Arbeit zu leisten hat als die Kraftmaschine liefert. So wird dafür gesorgt, daß innerhalb nicht zu weiter Grenzen die ökonomische gleichförmige Leistung nicht gestört wird durch die größten Arbeitsschwankungen an der Arbeitsmaschine. Hingegen verrichten alle Widerstand-

Fig. 112.



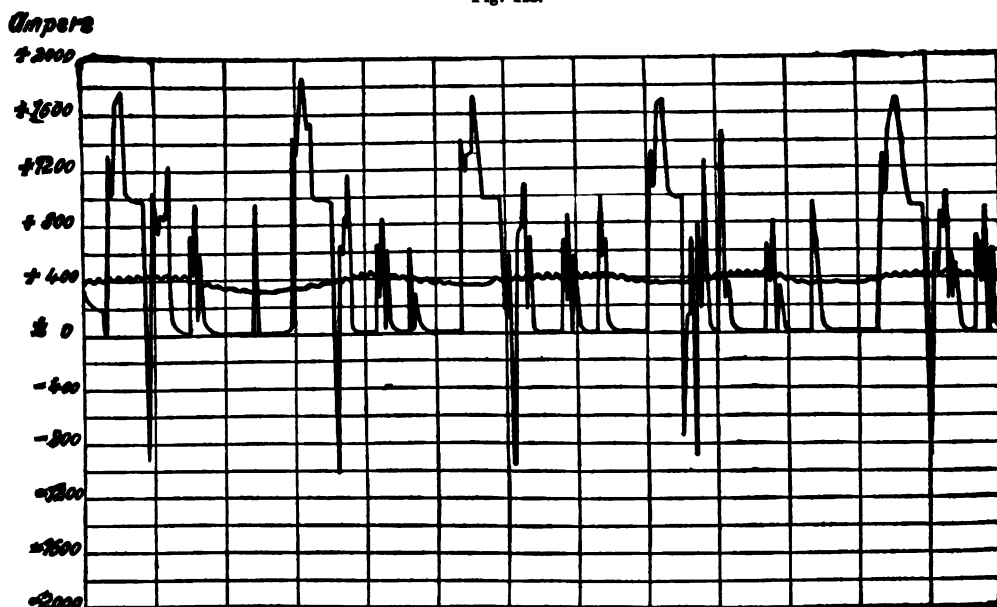
Einschaltungen auch bei den Dreiphasenstrom-Maschinen mechanische Arbeit, wie schon früher wiederholt hervorgehoben wurde.

Um die Zapfenreibung der Schwungradwelle zu vermindern, wird Öl unter die Lagerzapfen gepreßt. Durch Einkapseln des Schwungrades soll der Luftwiderstand verringert werden.

Die Figur 112 gibt den geometrischen Zusammenhang einer elektrischen Anlage mit Ilgner-Schwungrad-Fördermaschine.

Die Wirkungsweise des Ilgner-Umformers veranschaulichten die nebenstehenden Linien der Figur 113: Die Zickzacklinien, die Veränderlichkeit der Ströme auf der Dynamoseite bei fünf Förder-Zügen, dagegen die etwa 400 Amp. entsprechende Schlangen-Linie, die Gleichmäßigkeit des Stromes auf der Elektromotor-Seite, also auch im Netz. Die Abscisse bedeutet die Zeit. Bei jedem der fünf Förderzüge werden je sechs Wagen bezw. rund 4 700 kg mit 11 m/Sek. Geschwindigkeit gezogen. Die Fördermaschine läuft mit sehr hoher Stromstärke an, arbeitet nach der Anlaufperiode kurze Zeit mit der größten Geschwindigkeit oder geringem Stromverbrauch, wird dann kräftig elektrisch gebremst und fährt langsam ein. Die durch Zacken dargestellten Stromstöße zwischen zwei Förderzügen entsprechen dem Umsetzen der Förderschale.

Fig. 113.



Durch Messung ist festgestellt, daß die Zollern II-Fördermaschine im Durchschnitt eines 24 stündigen Versuches verbrauchte

14,226 kg Dampf für die effektive Schacht/Pferd/Stunde.

(Man vergleiche auch die Angaben über Dampfverbrauch im Berg- und Hütten-Kalender unter „Dampfmaschine“.)

Eine tabellarische Zusammenstellung einiger ausgeführter elektrisch betriebener Fördermaschinen nach System Ilgner-Siemens-Schuckert mit den wichtigsten Zahlenangaben ist später gegeben.

### 3.

Die erste Hauptschacht-Fördermaschine mit „Anlaßmaschine“ mit oben geschilderter Leonard-Schaltung führte die Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, vormals Schuckert und Co. Nürnberg in ihrer Düsseldorfer Maschine 1902 praktisch vor. Diese Maschine ist deshalb in unserer geschichtlichen Reihe unter „3“ aufgeführt.

Sie erfüllte die Bedingungen I, III, IV, nicht aber die Forderung II, da sie weder die Pufferbatterie noch das Schwungrad als Ausgleichmittel aufwies. Übrigens zeichnete sie sich durch einen ruhigen Gang und besondere Einfachheit aus.

In unserer geschichtlichen Skizze darf nicht unerwähnt bleiben, daß dieselbe Firma in ihrer im Jahre 1897 eingereichten, die Thiederhaller elektrische Fördermaschine betreffenden Offerte bereits die Regulierung mit Leonard-Schaltung vorgesehen hatte. Der Verfasser glaubte aber damals das an sich gute Projekt nicht annehmen zu dürfen, weil er als Ratgeber der Aktiengesellschaft Thiederhall, dieser eine im Prinzip neue Einrichtung, für welche bis dahin jede Erfahrung fehlte, nicht empfehlen durfte.

Die Priorität des Gedankens aber, der sog. Leonard-Schaltung, der von Amerika hergekommen zu sein scheint, ist schwer nachzuweisen.

4.

Da gegenwärtig die Bergwerks-Zentralen vielfach mit Drehstrom ausgeführt werden, wählte die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft Drehstrom für ihre Preußen II Maschine. Sie erfüllt aber nur unsere Forderung I, dagegen nicht die Bedingungen II, III, IV, was zu erwarten war, da große Drehstrom-Elektromotoren, welche starken Schwankungen ausgesetzt sind, sich bis auf den heutigen Tag schwer, am wenigsten aber verlustfrei regulieren lassen. Es liegt deshalb in der Natur des Drehstromes, daß jede Bewegungsänderung an der Fördermaschine mit entsprechenden Verlusten in dem mit ihr fest gekuppelten Drehstrom-Elektromotor verbunden sein muß, welche also der Reihe nach erfolgen:

Beim Anlassen, bei der Geschwindigkeitsregulierung der normalen Fahrt, beim Gegenstrom geben, beim Einfahren in die Käps und beim „Käpsen“ (Umsetzen) selbst. Und da bei jedem Geschwindigkeitswechsel zwischen 0 und  $v$ , die in der bewegten Masse  $m$  aufgespeicherte lebendige Kraft (Arbeit)  $m v^2/2$  beträgt, so wachsen die Widerstände mit dem Quadrate der Geschwindigkeitsänderung.

Diese Verluste müssen deshalb bei der Preußen II Maschine, die mit 16 m Seilgeschwindigkeit fährt, erheblich sein. Wie groß sie aber tatsächlich sind, und wie weit sie die Wirtschaftlichkeit herabsetzen, müßte durch Messung der Erwärmung der Flüssigkeit im Flüssigkeits-Anlasser und der übrigen regulierenden Teile genau bestimmt werden. Die Widerstandsflüssigkeit (Sodawasser) wird behufs Abkühlung durch eine Pumpe in Kreislauf versetzt, welche ein kleiner Elektromotor antreibt, und dabei an einer wirksamen Kühlschlange vorbeigedrückt. Die Messungen scheinen deshalb keine erheblichen Schwierigkeiten zu bereiten.

Immerhin aber hat die „Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft sich durch ihre Drehstrom-Fördermaschine auf Schacht Preußen II ein großes Verdienst erworben. Denn diese Maschine ist tatsächlich die erste elektrisch angetriebene Hauptschacht-Fördermaschine, die auf einem Schachte unter voller Belastung in Betrieb gekommen ist und bewies, daß es überhaupt möglich ist, elektrisch mindestens ebenso gut zu fördern, wie mit Dampf.

Eine ideale Skizze der Maschine ist oben (Figur 79), eine tabellarische Zusammenstellung der wesentlichsten Bestandteile im beistehenden Übersichtsplan gegeben.

5.

Die Einrichtung der oben unter 5 aufgezählten Ilgner'schen Fördermaschine ist dort bereits im voranstehenden unter „2“ gegeben, so daß wir uns hier kurz fassen können. Dafür sind hierunter die wichtigsten Angaben über einige ausgeführte Anlagen tabellarisch zusammengestellt. Meistens werden Drehstrom und Gleichstrom in Verbindung so verwendet und ausgenutzt, wie die Natur der beiden Stromarten es nahe legt. Hochgespannter Drehstrom soll billig weite\*) Entfernungen

\*) Bei geringen Entfernungen könnte hier auch Gleichstrom gewählt werden, wie es bei der Zollern II-Maschine geschah.



**Elektrisch angetriebene Hauptschacht-Fördermaschine für Schacht I der Zeche Preußen II der Harpener Bergbau A.-G. Dortmund.**

Kraft-Maschine	Zwischen-Maschine			Arbeits-Maschine
	Maschinen-technische Bewegungsübertragung			
	Übersetzung	Elektrotechnische Bewegungsübertragung Dynamom. I Elektr. Leitung	Dynamom. II.	Übersetzung
<p>Liegende Verbundmaschinen mit Ventilsteuerung und Anschluss an eine Zentral-Kondensation,</p> <p>Dampf-Spannung 10 Atm.</p> <p>Durchmesser: 530 mm des Hochdruckzylinders, 910 mm des Niederdruckzylinders.</p> <p>Hub = 1100 m</p> <p><math>n = 94</math> Umdr. p. M.</p> <p><math>N_1 = 600 - 1000</math> ind Pferde.</p> <p>Das für die Dampfmaschine erforderliche Schwungradgewicht ist im rotierenden Teile der Dynamomaschine untergebracht.</p>	<p>Anker der Dynamomaschine sitzt direkt auf der Dampfmaschinenwelle</p>	<p>Zwei Drehstrom-Generatoren; je 500 KW.; Spannung 2000 Volt; Umdrehungszahl 94 Min.; 50 Polwechsell Sek. Erregung durch eine besondere Dampfdruckmaschine; als Reserve ist ein Umformer vorgesehen</p> <p>Dem Elektro-Motor liegt ein dreifach versellter Bleikabel mit Bandseilumarmierung von <math>3 \times 150</math> qmm Querschnitt.</p>	<p>Drehstrom-Elektromotor (Spezial-Ausführung für Förderbetrieb), Durchm. des Ankers = 44 m.; Breite = 0,65 m; nominelle Leistung = 900 effekt. Pferde bei <math>n = 51</math> Umdr. Min.; Leistung beim Anfahren = 1500 effekt. Pferdekkräfte.</p>	<p>Die Förderung erfolgt mit einer Treibschneibe (System Koepe) von 6 m Durchmesser Das Seil hat 45 mm Durchmesser Teufe 800 m; Nutzlast 2200 kg in</p> <p>4 Wagen à . . . . . 550 kg Gewicht eines Wagens . . . . . 350 " " der Schale . . . . . 3800 " " des Seiles pr. lfd. m . . . . . 6,7 "</p> <p>Die Geschwindigkeit bei Lastfahrt ist 16 m Sek., bei Seilfahrt 5 m Sek. Zwecks Schacht- und Seilreision kann bei jeder, auch negativer Belastung jede gewünschte Geschwindigkeit zwischen 16 und 0 m auf der ganzen Fahrt erhalten werden.</p> <p>Die Steuerung erfolgt durch einen Hebel, mit welchem sowohl die Drehrichtung eingestellt, wie auch die Geschwindigkeit geregelt wird. Letztere erfolgt durch einen Flüssigkeitswiderstand D.R.P. Nr 140476 mit feststehenden Elektroden und beständig zirkulierenden Flüssigkeit, der ein durchaus sanftes, stetiges Anfahren, ohne jeden Stoß ermöglicht, und die feinstufige Einstellung gestattet.</p>
<p>Der elektrische Teil der Anlage wurde von der A. E. G. Berlin geliefert, welche auch sämtliche Entwürfe ausarbeitete. Die Dampfmaschinen in der Zentrale lieferte die Süddeutsche Maschinenfabrik vom Richard Hartmann Chemnitz, den mechanischen Teil der Fördermaschine die Eisenhütte Prinz Rudolf Dülmen in Westfalen.</p> <p>Remerking Diese Anlage ist die erste große Hauptschachtfördermaschine mit elektrischem Antrieb. Sie wurde Anfang Dezember 1902 in Betrieb gesetzt und nach 8 Tagen von der Bergbehörde für Seilfahrt konzessioniert. Seitdem ist sie in ununterbrochenem Tag- und Nachtbetriebe. In gleicher Weise sind ausgeführt: zwei Fördermaschinen mit je 2400 kg Nutzlast aus 1000 m Teufe für die „Charbonnages du Grand Hornu“ in Belgien.</p>				

Zu 1.  
**Einige elektrisch betriebene Fördermaschinen. System Ilgner-Siemens-Schuckert,**  
 erbaut von den Siemens-Schuckert-Werken (G. m. b. H.) Berlin.

Name des Bergwerkes	Erbauer des mechanischen Teiles	Ständl. Fördermenge t	Teufe m	Größte Fördergeschw. m/Sec	Fördergeschw. m/Sec	Förderleistung kW	Nutzleistung kg	Mechan. Ausführung	Förder-Elektromotor (EM) Pferde	Anlassmaschine			Schwungradgewicht kg	Betriebsweise und Entfernung der Zentrale
										Elektro-Motor Leistung Pferde	Um-drehung	Dynamom. regulierb. Spannung Volt		
Kgl. Wirttemberg, Saline Friedrichshall, Jagstfeld	Königin-Marienhütte Zwickauer-Caindorf	77	188	7	2	1400	Zylinderische Trommeln ohne Unterseil	1 EM direktgek. Leistung ohne Anf. 305 voll. Fahrt 205 bis 96	90	525 bis 600	± 400	8780	Wasserkraft Drehstrom 2000 Volt, 1,5 km	
Vereinigte Glöcknitz-Friedenshoff-Zabrze O.-S. nung Hermisdorf (Breslau)	Donnersmarchhütte Zabrze O.-S.	50	vord. 200 später 350	5	2	1500	wie vor	1 EM mit ein-fachem Vorgelege	165	525 bis 600	+ 400	10250	Dampfstr. Drehstrom 2000 Volt, 1 km	
Zeche Zollern II Gelsenkirchen. Bergwerke-A.-G. Merklinde i. W.	Friedr.-Wilhelmhütte Maltheim (Ruhr)	170 bis 250	vord. 280 später 500	vord. 10 später 20	6	4200	Koepf-scheibe	2 EM direkt gekuppelt	300	350	± 500	40000	Dampfstr. Gleichstrom 500 Volt auf der Zeche	
Matthias Stinnes Essen-Ruhr Schacht III	In Betrieb gesetzt 1905	100	vord. 500 später 800	14 Mensch. 10	8	4800	Koepf-Sch. 6,5 m Durchm. 59mm Seil	2 EM direkt gekuppelt	500	375	± 400	80000	Umförner für 4 Förderm. Drehstr. 5000 Volt, 9 km	
Georg v. Giesche-Erben Schoppenitz O.-S.	1906	197	400	15	8	4400	Koepf-Sch. 6 m Durchm. 54mm Seil	2 EM direkt gekuppelt	—	—	—	—	Dampfstr. und Turbine Drehstr. 200 Volt, 1,35 km	

gleichsam überbrücken, der Gleichstrom die eigentliche Förderanlage auf der Sekundärstation wirtschaftlich gut ausnützen, das zwischen geschaltete Schwungrad die Schwankungen der Arbeitsmaschine (Fördermaschine mit Förderelektromotor) von der Kraftmaschine (Dampfmaschine, Turbine, Gaskraftmaschine) mit Dynamomaschine fern halten.

6.

Unsere kurze Entwicklungsgeschichte schließen wir mit der 1905 in Betrieb gesetzten elektrisch angetriebenen Schacht-Fördermaschine des Ottiliae-Schachtes der Clausthaler Inspektion. Diese erfüllt alle (V) Forderungen in gewünschter Weise. In ihr haben die Siemens-Schuckert-Werke die Erfahrungen und Vorzüge der Thiederhaller- und Zollern II-Maschine vereinigt. Sie hat Thiederhaller direkte Kuppelung und Pufferbatterie und anstatt der Hauptstrom-Regulierung der Thiederhaller Maschine die weit ökonomischer arbeitende Nebenschluß-Regulierung nach Muster der Leonard-Schaltung der Zollern II Maschine. Durch die Puffer-Batterie ist die Möglichkeit gegeben, auch wenn die Kraftanlage außer Betrieb gesetzt sein sollte, z. B. während der Nacht zu fördern, was die Ilgner-Maschine nicht ermöglicht. Bei der bedeutenden Förder-Teufe ist der Seilgewichts-Ausgleichung wegen die Köpe-Kraftscheibe gewählt.

Außerlich unterscheidet sich die elektrische Anlage der Sekundärstation (Fördermaschine) wesentlich dadurch, daß auf der Welle des mit konstanter Umdrehungszahl  $n$  rotierenden Umformers kein Ilgner-Schwungrad, sondern eine Zusatz-Dynamomaschine sitzt zum Auf- und Entladen der Pufferbatterie. Die Magneterregung dieser Zusatz-Dynamomaschine ist von dem Stromverbrauche des Förder-Elektromotors abhängig gemacht. Mit Wachsen desselben nimmt die Magneterregung und damit die Ankerspannung  $e$  ab und der nun höher gespannte Strom der Akkumulatorturbine kommt dem Förder-Elektromotor zu Hilfe, die Batterie entladet sich. Braucht dagegen umgekehrt der Förder-Elektromotor wenig, oder wie z. B. während der Förderpause gar keinen Strom, so verstärkt der aus dem Netz kommende Strom die Magneterregung, damit die Ankerspannung  $e$  der Zusatz-Dynamomaschine um etwa 50 Volt über die der Pufferbatterie und der Strom fließt aus der Zusatz-Dynamomaschine in die Pufferbatterie und ladet diese auf. Diese Entladung und Ladung erfolgt ohne jegliches Schaltungsmittel (Zellenschalter). Wir erkennen deshalb hier das Wesen der Pufferbatterie.

Die Regulierung der „Anlaß-Dynamomaschine“ durch den Maschinenführer mittelst des Steuerhebels erfolgt in genau derselben Weise wie oben unter „2“ geschildert ist.

Über den übrigen Teil der Anlage, in deren Primärstation im Zellerfelder Tale durch Sauggas-Maschinen und Wasserturbinen die Generator-Dynamomaschinen angetrieben werden, will ich mich nicht weiter auslassen, um der eventuell beabsichtigten Veröffentlichung der Gesamt-Anlage seitens der Beamten der Inspektion nicht vorzugreifen, nur noch bemerken, daß auch die Generatoren nachträglich mit Wendepolen ausgestattet sind.

### **Elektrische Förderanlage der Schächte III und IV der Gewerkschaft Matthias Stinnes in Carnap bei Essen a. R.**

Unser Kapitel über elektrisch angetriebene Schacht-Fördermaschinen soll abgeschlossen werden durch diese neue und gegenwärtig wohl großartigste und eigentümliche elektrische Schacht-Förderanlage Rheinlands und Westfalens.

Die Schächte an sich schon zeichnen sich durch ihre ungewöhnlich großen Durchmesser von 6,6 m und ihre je zwei vollständigen Fördereinrichtungen aus.



Vorläufig beträgt ihre Teufe 530 m, später 800 m. Mittels oberirdischer Bahn werden die Kohlen nach der 2 km entfernten Aufbereitung der alten Schächte, bezw. zum Versandt gefördert.

Die gesamte, elektrisch angetriebene maschinelle Anlage besteht in der Hauptsache aus 2 großen Rateau-Ventilatoren von je 8000 cbm/Min. Leistung und 4 elektrischen Fördermaschinen mit Ilgner-Drehstrom-Gleichstrom-Umformern. Der erforderliche Strom wird von dem 9 km entfernten Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerke zu Essen (Ruhr) in 2 Kabeln von  $3 \times 35$  qmm als Dreiphasenstrom von 10000 Volt und 50 Perioden zur Zeche geleitet und hier heruntertransformiert auf

500 V für Kraft- und

220 V für Licht.

Es liegt hier der eigenartige Fall vor, daß eine große Schachanlage ihren gesamten elektrischen Strom von einem städtischen Elektrizitätswerke bezieht.

Förder-Maschinen. Für jede der 4 Fördermaschinen beträgt:	
die Nutzlast bei der Kohlenförderung (8 Wagen mit 600 kg)	= 4800 kg
„ „ Berge „ (8 „ „ 700 kg)	= 5600 kg
„ „ Menschen „ (4 . 12 Mann zu je 75 kg)	= 3600 kg
die Seilgeschw. bei der Kohlen „	= 14 m
„ „ Menschen „	= 10 m
die Beschleunigung beim Anlauf	= 0,7 m/Sek.
„ Verzögerung beim Endlauf	= 1,0 m/Sek.
„ Dauer eines Aufzuges aus 530 m Teufe	= 55 Sek.
„ „ „ „ „ 800 m „	= 74 Sek.
„ Pause zwischen zwei Zügen bei regelrechtem Betrieb	= 98 Sek.
„ „ „ „ „ „ starkem „	= 70 Sek.

Die Leistung der Förderelektromotoren beim Anlauf ist	= 2000 PS
„ „ „ „ „ bei voller Fahrt	= 1120 PS
„ aus dem Netz zu nehmende Leistung ist im Mittel	= 500 PS
und erforderlich zum Ausgleich ein Schwungrad-Gewicht	= 80 t

In der Ausführung haben die Siemens-Schuckert-Werke zwei Ilgner-Umformer zusammgekuppelt (mittels einer Polysius-Patentkuppelung). Jede Hälfte hat ein Schwungrad von 40 t und unterscheidet sich von den früher beschriebenen nur dadurch, daß die Anlaß-Dynamomaschine in zwei zerlegt ist. Auch hat sich gezeigt, daß ein solcher Doppel-Umformer bei richtiger Schaltung der Anlaß-Dynamomaschine ausreicht für alle 4 Fördermaschinen. Es ist deshalb der zweite noch nicht eingebaut.

Jedes Schwungrad aus Kruppischem Spezialstahl wiegt	= 40 t
hat einen äußeren Durchm.	= 4,4m
„ eine Kranbreite	= 75 cm
„ „ Umlaufzahl	= 320—375/Min.
„ „ Umfanggeschwindigkeit von höchstens	= 88,5 m/Sek.
„ ein Arbeitsvermögen	= 9 500 000 mkg

Jeder zum Antrieb des betreffenden Schwungrades dienende Dreiphasen-Strom-Elektromotor hat eine Spannung	= 500 Volt
„ Stromstärke	= 53 Amp.
„ Periodenzahl	= 50/Sek.
„ Leistung	= 500 PS

und eine höchste Umlaufzahl	= 375/Min.
Jede Anlaß-Dynamomaschine hat eine Klemmenspannung	= 400 Volt
„ Stromstärke	= 2120 Amp.
„ Leistung	= 1150 PS
„ Umlaufzahl	= 320—375/Min.

Die Anlaß-Dynamomaschinen sind mit Wendepolen ausgestattet, um das Funken zu verhüten. Auch ist am Schaltbrett vorgesehen:

1. Jeden Anker auf jeden Förder-Elektromotor, ferner
2. jede Magnetpolarregung auf die Steuervorrichtung aller 4 Fördermaschinen zu schalten, um Betriebsstörungen vorzubeugen.

Nach Einbau des zweiten Doppel-Umformers würden insgesamt für die Förderung zur Verfügung stehen:

4 Dreiphasen-Elektromotoren mit einer Stromentnahme aus dem Netz = 2000 PS  
8 Anlaß-Dynamomaschinen mit einer Leistung von höchstens = 9200 PS  
4 Schwungräder von 4.40 t Gewicht und einem Gesamtarbeitsvermögen von 4.9500000 mkg.

Diese beiden doppelten Ilgner-Schwungrad-Umformer nebst Zubehör sind mit- samt den beiden oben erwähnten Ventilatoren in der Mittelhalle des Maschinen- gebäudes aufgestellt.

Die vier elektrisch angetriebenen Fördermaschinen stehen in zwei zu beiden Seiten dieser Haupthalle symmetrisch gelegenen Maschinenräumen.

Von diesen haben: die „Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft“ und die „Elek- trizitäts-A.-G. vorm. W. Lahmeyer & Co.“ je eine, die beiden anderen die Siemens- Schuckert-Werke geliefert. Letztere haben Koepe-Scheiben von 6,5 m Durchmesser bei 41 Umdrehungen in 1 Minute und zu beiden Seiten des Seillaufes Brema- scheiben von 6,25 m Durchmesser, gegen welche sich Doppel-Backen legen, die regellrecht beim Manöverieren mittels Hebels, im Notfalle durch ein Fallgewicht betätigt werden.

Durch die Luftdruck-Manöverierbremse mit horizontalem Luftdruckzylinder kann im Notfalle der Maschinist ein Arbeitsvermögen von 800000 mkg auf 22 m Weg in 3 Sekunden verrichten.

Die eigentliche Notbremsung erfolgt selbsttätig durch ein Fallgewicht beim Zuhochtreiben und wenn der Luftdruck unter dem im vertikalen Zylinder befind- lichen Kolben nachläßt.

Die beiden Nebenschluß-Elektromotoren haben unveränderte Erregung, Wende- pole und können beim Anlauf 2000 PS und bei voller Fahrt 1120 PS leisten.

Die Umlaufzahl der mit der Seilscheibenwelle direkt gekuppelten beiden Elektromotoren ist proportional der Anker-Klemmenspannung, bzw. dem Steuer- hebel-Ausschlag, durch welchen die Erregung der Anlaß-Dynamomaschinen, ent- sprechend der erforderlichen Spannung, geändert wird.

Steuer- und Bremshebel stehen zu einander in der schon früher hervorge- hobenen erforderlichen Abhängigkeit.

Bei Unachtsamkeit des Maschinisten drängt gegen Ende der Fahrt der Teufenanzeiger mittels eines Kurvenstückes den Steuerhebel automatisch in die erforderliche Stellung zurück. Auch wird der Elektromotor in eine bremsende Dynamomaschine verwandelt, beim zu schnellen Verstellen des Hebels in die Nullage.

Bei der Seilfahrt, für welche auch hier, wie bei Zollern II, 10 m Geschwin- digkeit bergpolizeilich zugelassen ist, wird der Steuerhebel-Ausschlag durch einen Magneten beschränkt.

Große Sorgfalt ist auch auf die Umformer-Wellen-Zapfen, die 6 m Umfangs- geschwindigkeit haben, und deren Verlagerung verwendet. Das Schmieröl wird durch eine Zentrifugalpumpe mit 12 kg Pressung/1 qcm unter die 30 cm dicken, 80 cm langen Zapfen gepreßt, die mit diesem spezifischen Auflagerdruck in ihren nachgiebigen Weißmetallagern ruhen.

### Der elektrische Kran\*).

Der elektrische Kran, dieses heute unentbehrliche, nicht ermüdende „Lasttier“ aus „Eisen und Kupfer“, welches Lasten zugleich heben und seitlich befördern soll, also dem Zwecke nach als eine Kombination der beiden vorher betrachteten Gruppen von Fördermaschinen aufgefasst werden könnte, ist ein Zeichen der Gegen-

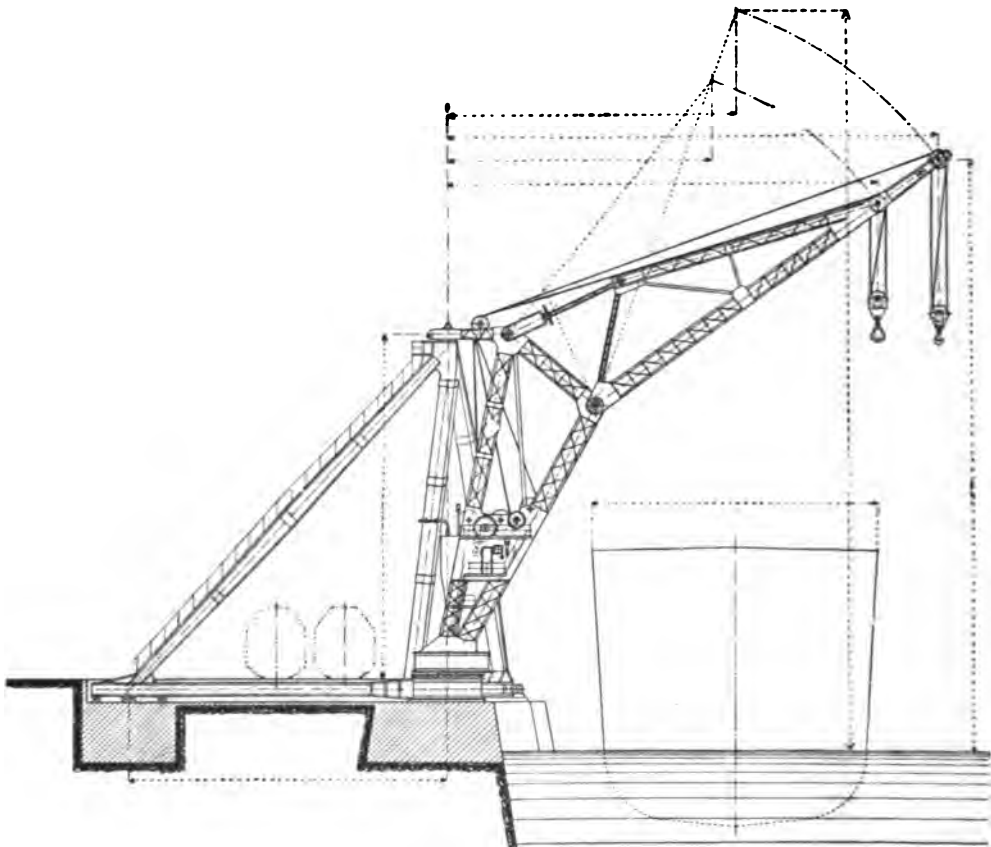


Derrick-Kran der Duisburger A.-G. vormals Bechem u. Keetmann.

wart, welches wie kaum ein anderes die Fortschritte der Elektro-Maschinenteknik, das Streben nach Wirtschaftlichkeit und nicht zum mindesten den Wettkampf, die beste Wohlfahrtseinrichtung für unsere Arbeiter zu schaffen, ausprägt. Die Macht-

\* ) In der Mehrzahl „Krane“ nicht „Kräne“.

haber alter Zeiten liessen erbarmungslos Hunderte von Arbeitern Lasten auf dem Boden fortschaffen, unbekümmert darum, ob die Ärmsten abgeschunden unter der Hetzpeitsche zusammenbrachen. Heute läßt der Ingenieure Schöpfung am Haken des elektrischen Laufkranes schwerere Lasten, durch eines Arbeiters schwachen Druck auf einen Hebel, spielend nach allen Richtungen des Wirkungsbereiches des Kranes durch die Luft fliegen. Und welcher gewaltige Abstand zwischen den ältesten Vorrichtungen an deren „Schnäbeln“ die alten kriegerischen Völker ihre Krieger gehoben und seitlich über die Mauer in die belagerte Stadt gesetzt haben sollen, und dem heutigen „Riesen-Kran“, der mit seinem Lasthaken hoch oben am Schnabel vom Ufer aus über das höchste Schiff hinwegragt?



Derrick-Kran.

Der elektrische Kran in seinen verschiedensten Formen und Verwendungen ist ein deutliches Beispiel des technischen Fortschritts aus ältester Zeit bis auf den heutigen Tag, welches lehrt, welchen Segen die Verquickung der Maschinenteknik mit der Elektrotechnik Menschen und Maschinen gebracht hat, und beweist damit zugleich die wirtschaftliche und kulturelle Bedeutung der fortschreitenden Technik überhaupt. Die Düsseldorfer Ausstellung zeigte ihn in bester Ausbildung und Ausstattung, wie er in vollendeten Formen heute in den mit besten Hilfsmitteln ausgestatteten Fabrikhöfen, Maschinenhallen, Werkstätten, Gießhallen, Stahlwerken, Bahnhöfen, Schiffswerften, Schiffen und sonstigen Arbeits- und Stapelplätzen spielend die größten Lasten bewegt. Und wer anders hätte beim Auf- und



Abbau der Ausstellung selbst tatkräftiger dem Ingenieur und Arbeiter mithelfen können, die schwersten Maschinenteile und sonstigen Gegenstände schnell und mühelos, sicher und genau an den rechten Platz zu versetzen als erster und letzter auf dem Plane, als der elektrische Kran?

#### Einteilung der Kran-Vorrichtungen.

Die verschiedenen Kran-Arten sind etwa folgende:

1. Der Dreh-Kran, zum Heben und Schwenken der Last, dessen Wirkungsbereich der Zylinder-Mantel ist.
2. Der Dreh-Kran mit Laufkatze auf dem Auslader-Schnabel, dessen Wirkungsbereich um den von jenem Zylinder-Mantel umschlossenen Raum erweitert ist.
3. Der Wipp-Ausleger-Kran (Scherenkran), dessen Schnabel in vertikaler Ebene auf und nieder bewegt werden kann.
4. Der Derrick-Kran (auch „Dreibeinkran“), der als eine Kombination von 1 und 3 aufgefasst werden kann.
5. Der Lauf-Kran, der die Last heben, ferner seitlich, sowie drittens vorwärts und rückwärts, also nach drei rechtwinklig zueinander stehenden Richtungen bewegen kann. Sein Wirkungsbereich ist der Raum eines Parallelepipeds.

Dann könnten noch der äusseren Form nach unterschieden werden:

Der Hammer-, Turm- oder Pyramiden-Kran, weil er einem grossen Hammer, dessen Stiel man senkrecht stellt, nicht unähnlich ist, und von einem feststehenden pyramidenförmigen Turm umschlossen ist, der die drehbare Kransäule stützt;

der Portal-Kran, wenn durch den Aufbau eine große Öffnung (Tor) gebildet wird, die unter ihm den Verkehr (selbst grosser Lokomotiven) ermöglicht;

der Bock- und der Verlade-Kran, welche beide die Aufgabe des Laufkranes auf freien Verladeplätzen übernehmen und von denen beim ersteren die 40 m lange Laufbrücke an den beiden Enden, beim letzteren der 80 m lange Lauf in der Mitte durch Böcke unterstützt ist.

Ferner sind hierher zu rechnen:

Der Lokomotiv-Kran, eine Kombination einer Rangier-Lokomotive mit einem darauf gestellten Drehkrane.

Der Schwimm-Kran, bei welchem an Stelle der Lokomotive ein schwimmender Unterbau tritt.

Im allgemeinen ist bei allen elektrisch angetriebenen Kranen empfehlenswert, für jede Bewegung einen besonderen Elektromotor anzuwenden. Danach würde z. B. der Laufkran drei gesonderte Elektromotoren erfordern, von denen die beiden zum Heben der Last und Fahren der Katze auf letzterer, dagegen der Elektromotor zum Kranfahren auf der Mitte des einen der beiden Laufstege aufgestellt sind, welche längs des Katzengleises angebracht sind, und außerdem dazu dienen, sämtliche Getriebe bequem und gefahrlos nachzusehen. Zuweilen wird bei den größeren Ausführungen noch ein vierter Elektromotor zum schnellen Heben kleiner Lasten vorgesehen. Man wendet aber auch das „Ein-Elektromotor-System“ an. Bei diesem wird mit Hilfe von „Wendegetrieben mit Reibungskuppelungen“ mittels eines einzigen Elektromotors die Hub-, Katzen- und Kran-Bewegung bewerkstelligt, zugleich aber der wesentliche Vorteil des elektrischen Antriebes, der sanfte An- und Endlauf zum Teil eingebüsst.

An die „Ein-Elektromotor“-Kran lässt sich angliedern die später geschilderte neue Einrichtung, die eine gute konstruktive Lösung für die Laufkatze zeigt und tunlichst befreit von dem eben gerügten Mangel, ihrer vielseitigen Anwendbarkeit wegen unsere Aufmerksamkeit verdient.

### Die Stromart, Schaltung und Steuerung.

Weshalb in den meisten Fällen der regulierbare Gleichstrom dem Drehstrom vorgezogen wird, beantwortet uns wieder der schon früher einmal gewählte derbe Vergleich.

Jedes brauchbare Lasttier wird beim Anziehen einer grossen Last zu deren Beschleunigung eine grosse Anzugskraft bei langsamem Gange entwickeln, dagegen mit abnehmender Belastung von selbst eine zunehmend beschleunigte Gangart annehmen. Dasselbe gilt im Grunde genommen von jeder Kraft abgebenden Maschine. Und soll dieselbe trotz der angedeuteten wechselnden Umstände doch einen gleichmässigen Gang beibehalten, so muß sie besonders beeinflußt, d. h. mittels einer Steuerung geregelt werden. Beim Kranbetriebe wünschen wir von der Antriebskraft eine unserer etwas derben Schilderung entsprechende Gangart.

Die Gleichstrom-, und zwar die Hauptstrom (oder Serien) -Elektromotoren sind deshalb besonders zu empfehlen, weil sie gerade obige schätzenswerte Eigenschaften besitzen:

1. sich auszeichnen beim Anlaufen unter Last durch grosse Anzugskraft zur allmählichen Beschleunigung der Maßen und kleine Umdrehungszahlen  $n$ , und
2. umgekehrt selbsttätig eine größere Umdrehungszahl  $n$  mit abnehmender Belastung annehmen.

Derselbe Hauptstrom-Elektromotor arbeitet also schneller, wenn er kleinere Lasten zu bewegen hat, entspricht also den Anforderungen der Wirtschaftlichkeit. Aber er würde bei Leerlauf, also bei unbelasteten Haken sogar „durchgehen“, wenn er nicht gesteuert würde.

Infolge der geschilderten Eigenschaft wird die bei Maximalbelastung vorhandene Arbeitsgeschwindigkeit bei entlasteten Haken erhöht

für die Fahrbewegung (Kran und Katze) bis zum 2 fachen Betrage,  
„ „ Hubbewegung „ „ 3 „ „

Der Fahr-EM ist als reiner Hauptstrom EM auszuführen, weil er durch die starre Verbindung mit dem Triebwerk (Räderwerk) gezwungen ist, unter Belastung anzulaufen.

Der Hub EM wirkt nur beim Lastheben als Hauptstrom EM, beim „Hängen“ als Dynamomaschine, welche bei den meisten Ausführungen auf einen reichlich bemessenen Stufenwiderstand arbeitet, durch den die Bewegung geregelt wird. Zum Festhalten der Last im Ruhezustande dient die elektromagnetische Sicherheitsbremse.

Da eine einfache und betriebssichere Steuerung, die von jedem Arbeiter ohne besondere Anweisung bedient werden kann, von Wichtigkeit für den Kranbetrieb ist, hat die E.-A.-G. vorm. Lahmeyer und Co. Frankfurt a. M. die denkbar einfachste Einrichtung in der Weise für ihre Laufkrane geschaffen, daß der Kranführer mit der Hand die Steuerhebel genau in derjenigen Richtung zu bewegen hat, in welcher die Last sich bewegen soll. Zu dem Zweck ist der mit der linken Hand zu bedienende Steuerhebel des Hub-Schalters (Kontrollers) wagerecht angeordnet für den ausgeschalteten Hub-EM und durch Heben und Niederdrücken des Hebels erfolgt entsprechende Auf- und Abwärtsbewegung des Lasthakens. Dagegen der mit der rechten Hand zu bedienende Steuerhebel der mittels Universalkuppelung (Cardanis Gelenk) verbundenen beiden Fahrschalter für die Kran- und Katzenbewegung ist vertikal angeordnet für die beiden ausgeschalteten Fahr-EM. Und durch eine Schräg- links oder rechts-Vorwärts-Bewegung wird eine genau entsprechende Bewegungsrichtung des Lasthakens veranlaßt. Kurz, der Führer sieht nur nach der Last. Und in der Richtung wie diese sich bewegen soll, bewegt er seine Hände an den beiden Steuerhebeln. Auch dafür ist gesorgt, daß diese Bewegungen kleine Hebelwege und geringe Anstrengung erfordern.

Die besonders sorgfältig ausgebildete Brems-Vorrichtung besteht aus einer mechanischen (Band-)Bremsen und in einem in den Hauptstromkreis des Hubmotors eingeschalteten kräftigen Brems-Magneten, der die Bremsen lüftet, sobald der Strom eingeschaltet wird. Der beim Anziehen und Abfallen des „Magnetkernes“ auftretende Stoß wird durch einen Luftpuffer gemildert.

Bei den Ausführungen der Duisburger M. B. A. G. vormals Bechem und Keetmann erhält der Hub-EM in der Endstellung des Steuerhebels zur Überwindung der Reibungswiderstände im Triebwerke einen Strom-Stoß, der dem leeren Haken eine Senkgeschwindigkeit erteilt, welche mindestens gleich der Hubgeschwindigkeit des leeren Hakens, also gleich der 3fachen Arbeitsgeschwindigkeit ist.

Gegen Beschädigung sind die EM durch vollständige Einkapselung geschützt, die Zapfen werden versehen mit Ringschmierung und bei sehr großen Lasten auf Rollen bzw. Kugeln gelagert. Die spielfrei geschnittenen Zähne der Räder laufen in Öl nahezu geräuschlos.

Der Drehstrom-EM eignet sich auch für den Drei-Elektromotoren-Betrieb, wiewohl er sich nicht durch die selbsttätige Umdrehungssteigerung bei abnehmender Belastung auszeichnet, vielmehr im allgemeinen seine Geschwindigkeit beständig beibehält. Um diesen Mangel zu mildern wählt man möglichst große Arbeitsgeschwindigkeiten. Da außerdem die Drehstrom-EM einfacher, vielleicht auch etwas widerstandsfähiger und betriebssicherer als Gleichstrom-EM sind und bei Leerlauf nicht durchgehen, wendet man sie ohne Bedenken überall da an, wo kein Gleichstrom-, sondern nur Drehstrom zur Verfügung steht.



Universal-Kontroller der EAG (Lahmeyer).

### Die Motorwinde.

Die „Motorwinde“, oder der vereinigte Hebe- und Transport-Kran mit unbegrenztem Arbeitsfelde von Kammerer (Charlottenburg) und Siemens-Halske A.-G. (Berlin). Man könnte diese eigenartige, zu besonderem Zwecke aus dem ursprünglichen Laufkrane herausgebildete Motorwinde auch als einen gleichsam zur Katze zusammengeschrumpften elektrisch angetriebenen Laufkran mit unbegrenztem Wirkungsbereiche auffassen\*). Man war bestrebt, die schätzenswerten Eigenschaften der elektrischen Kraftübertragung, die Schmiege- und Biegsamkeit auf den mechanischen Teil zu übertragen, um ein möglichst unbegrenztes Arbeitsgebiet für die neue Maschine zu schaffen, die dann aber auch ihrerseits sich diesem Grundgedanken unterordnen mußte. Zunächst soll die Bahn erforderlichenfalls in scharfen Krümmungen in beliebigen Richtungen verlaufen und möglichst leichten Anschluß an andere Bahnen mittels Drehscheiben und Weichen gewähren und wenn es zweckmäßig erscheint, einen Kreislauf bilden, um beliebige Arbeitsplätze durch hintereinander her laufende Motorwinden erreichen und bestreichen zu können.

\*) Als verwandte elektrisch angetriebene Transporteinrichtung können gelten die Langensche Hängebahn und das in England und Amerika längst bekannte und verbreitete „Telpherage-System“ der Engländer Jenkin u. Perry, welche beide oben behandelt wurden.

Zu dem Ende mußten Hub- und Katzenfahrwerk leicht und so eng zusammen gebaut sein, daß die Maschine nur einen kleinen Durchfahrtsquerschnitt erfordert und sich für möglichst schnelle Fahrt bei sicherer Manövrierfähigkeit eignet.

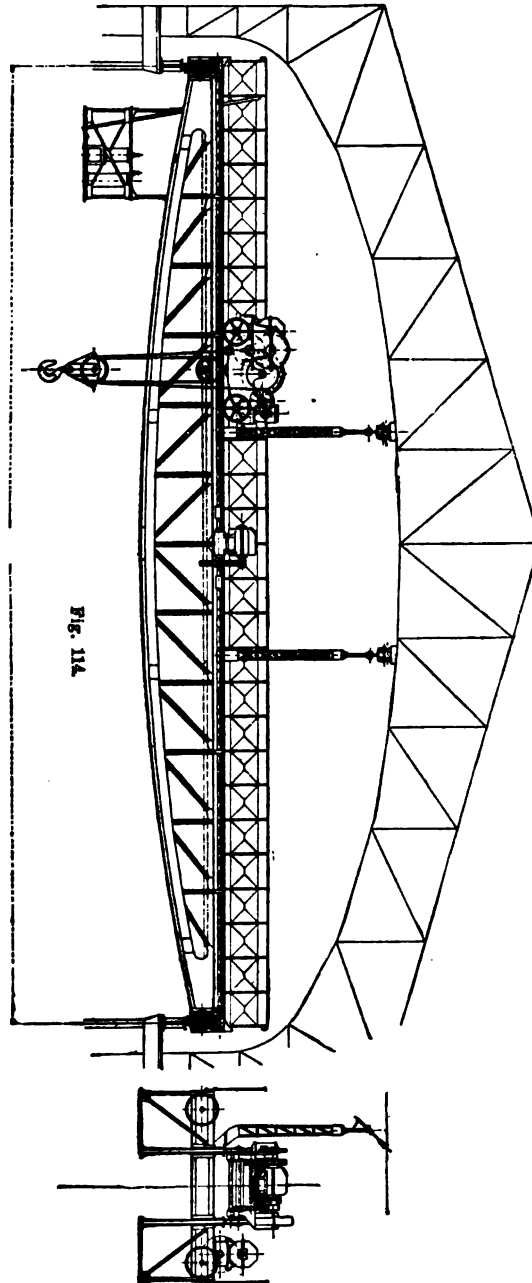
Sie hat deshalb nur einen Gleichstrom-Elektromotor, von dem aus alle Bewegungen zum Heben der Last und zum Katzenfahren abgeleitet werden, indem dessen Ankerdrehung mittels einer „elektromagnetischen Doppelkuppelung“ und geeigneter Räderübersetzung entweder auf die Laufrollen oder auf das Hubwerk übertragen wird.

Als Fahrbahn dient ein I-Eisensträger, auf dessen Untergurt die Rollen laufen, welche an der Oberseite des Stahlguß-Polgehäuses des eingekapselten Elektromotors sich befinden. Das Polgehäuse hängt also unter dem Eisensträger und dient zugleich als Gestell für das Hubwerk. Die Steuerung zum Einschalten entweder auf Hubwerk oder Laufwerk, ferner zum Umsteuern für Last und Fahrt wird sowohl von ebener Erde aus, als auch durch Zugschnüre, die an der Motorwinde selbst angebracht sind, „mit einem einzigen Griff ausgeführt, so daß Irrtümer unmöglich sind“; kann aber auch selbsttätig eingerichtet werden.

#### Zusammenstellung einiger Ausführungen von elektrisch angetriebenen Kranen.

1. Elektrisch betriebener Laufkran (Fig. 114) von 30000 kg Tragfähigkeit bei 21,34 m Spannweite, welcher von der Duisburger Maschinenbau-A.-G. vorm. Bechem und Keetmann in Duisburg a. Rh. erbaut, das Mittelschiff der Maschinenhalle der Düsseldorfer Ausstellung 1902 bestrich.

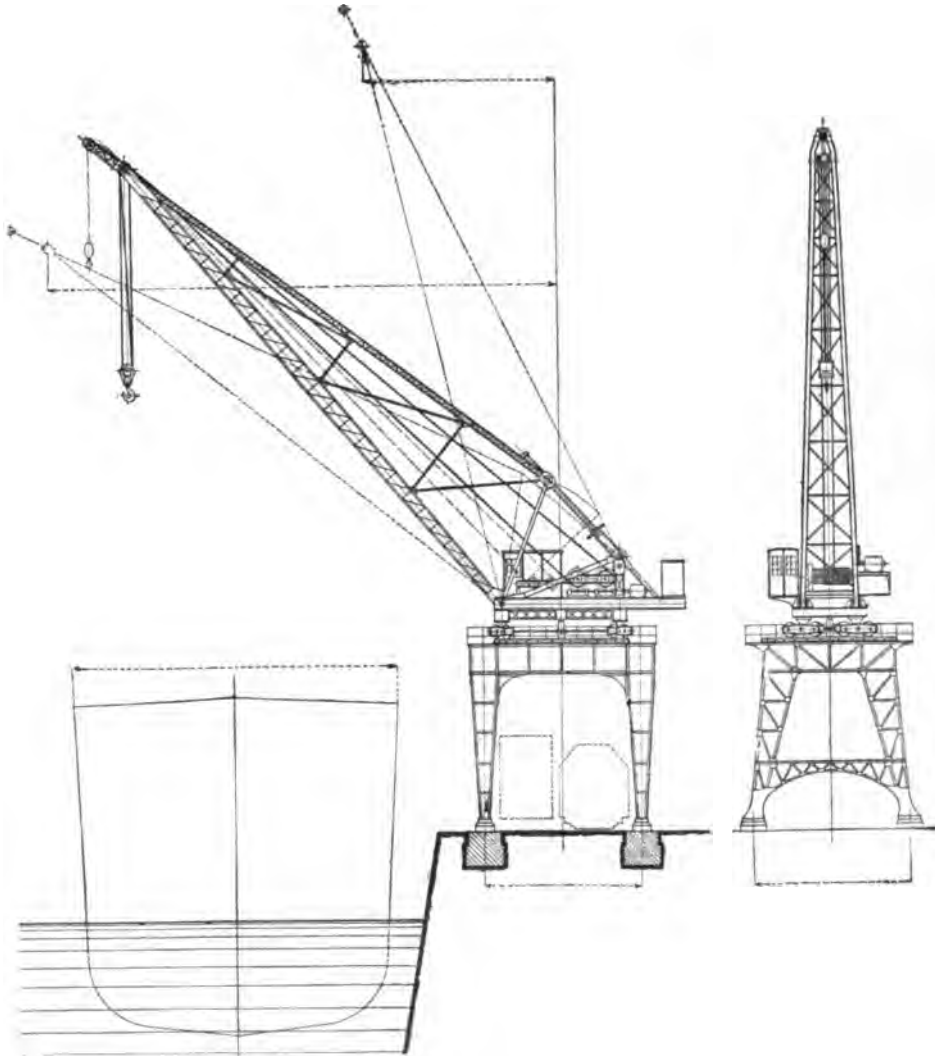
Mechanischer Teil. Die Kranbrücke besteht aus 2 Hauptträgern und 2 Bühnenträgern als Fachwerk mit parabolischem Untergurt, die durch Querverbindungen



derart versteift sind, daß selbst bei großer Fahrgeschwindigkeit keine Durchbiegung eintritt. Die zu beiden Seiten der Katzenfahrbahn angeordneten Laufbühnen gestatten in leichter Weise Besichtigung aller Triebwerke. Die Katze

besteht aus einem einzigen in Kruppschen Stahlformguß ausgeführten Gehäuse. Um geräuschlosen Gang zu erzielen, sind zu den Räderwerken nur Stirnräder mit spielfrei geschnittenen Zähnen angewandt und läuft das erste eingekapselte Räderpaar, ein Elektromotor-Ritzel aus Vulkanfiber und das damit in Eingriff stehende Rad mit Rotgußzahnkranz, in Öl. Sämtliche Lager, als offene und geschlossene Augen ausgeführt, sind unmittelbar in die festen Schilde der Katze eingegossen

Fig. 115.



und bilden eine dauernd sichere Unterstützung für die Wellenzapfen, von denen die raschlaufenden noch mit Ringschmierung versehen sind. Das Stahl-Drahtseil von 26 mm Durchmesser trägt in 6 Strängen und bietet 9fache Bruchsicherheit. Die Durchmesser der Rillen-Rollen und Trommeln sind mindestens 20mal so groß als der Durchmesser des Seiles, um letzteres zu schonen.

Elektrischer Teil. Von den drei Triebwerken, welche je durch einen umsteuerbaren Elektromotor angetrieben werden, sind das Kranfahrwerk auf der Mitte einer der beiden Laufbühnen, die beiden anderen in der Katze aufgestellt.

Die Gleichstrom-EM. und Apparate sind von der E.A.G. „Helios“, Köln-Ehrenfeld geliefert und leisten bei 220 Volt Spannung:

der Hub EM	30	Pferdekr.	bei 450	Umdr./Min.	bezw.	3 m	Hubgeschwindigk.
„ Katzenfahr-EM	6	„	„	600	„	22	„
„ Kranfahr-EM	30	„	„	600	„	63	„

Die Steuerung erfolgt von einem seitlich der Hauptträger unterhalb der Laufbühne aufgehängten Führerkorbe aus.

Der Eigenart des hier verwendeten Hauptstrom-EM entsprechend erhöhen sich mit abnehmender Belastung die Geschwindigkeiten selbsttätig.

2. Elektrisch angetriebener Portal-Drehkran neuester Bauart (Fig. 115) von 50000 kg Tragfähigkeit, welcher ebenfalls von der Duisb. M.B.A.G. vorm. Beckem und Keetmann 1902 für die Werft von Blohm & Voß in Hamburg geliefert wurde.

Mechanischer Teil. Der Ausleger mit verstellbarer Ausladung ist um 360° drehbar und ruht auf einem Kranwagen, der auf einem Portal läuft, welches zwischen seinen Füßen genügend Raum für zweigleisigen Verkehr bietet. Der Kranwagen drehbar um einen vertikalen Königszapfen stützt sich auf 8 Räder aus Stahlformguß, welche, zu je zweien durch einen Balancier vereinigt, über eine kreisförmige Laufbahn aus einem Stahlgußring mit eingelegten Stahlschienen rollen.

Eine vollständige Drehung beansprucht 2<sup>1/2</sup> Minuten. Beim großen Haken hängt die Last an 8, beim kleinen an 2 Strängen. In beiden Fällen werden gleichzeitig beide Seilenden, das eine von oben, das andere von unten, auf je eine Trommel aufgewunden, wodurch ein entgegengesetzter Drehsinn der Trommeln eines Paares erforderlich wird. Jedes Trommelpaar wird angetrieben durch ein Schneckenvorgelege aus 2 auf den Trommelachsen sitzenden Schneckenrädern, in welche auf derselben Welle befindliche Schnecken von entgegengesetzter Gewinde-Richtung eingreifen. Die hier verwendeten linken und rechten Schneckengetriebe bezwecken eine Umgehung der axialen Stützlager für die Schneckenwellen, weil letztere den Axialdruck in sich als Zug aufnimmt und nicht nach außen gelangen läßt. Da außerdem die eingekapselten Getriebe in Öl laufen, fällt der Wirkungsgrad sehr hoch aus. Beim kleinen Hubwerk werden die Schneckenwellen unmittelbar vom EM-Anker angetrieben, beim großen Hubwerk ist noch ein Zahn-Räderpaar vorgeschaltet.

Das Einziehen des Auslegers erfolgt durch 2 Schrauben-Spindeln aus bestem geschmiedeten Stahl, welche in reichlich bemessene, im Ausleger befestigte Muttern aus Manganbronze eingreifen. „Die Spindeln des Einziehwerkes besitzen entgegengesetztes Gewinde, so daß bei ihrem Antriebe die in den beiden Muttern auftretenden Reibungsmomente im Stirnverband des Anlegers sich aufheben und nicht nach außen gelangen.“ Der leichte Fachwerksaufbau des Kranschnabels bietet möglichst wenig Winddruck-Fläche.

Elektrischer Teil. Die Drehung des Kranes, die Verstellung der Ausladung, das Heben der großen und das Heben der kleinen Last besorgt je ein Gleichstrom-EM mit Umschaltvorrichtung.

Für die Lastbewegung gelten folgende Zahlen:

am großen Haken

50000 kg bei 18,75 m größter Ausladung mit 2,5 m Hubgeschw./Min.

75000 „ „ 18,75 „ „ „ als Probelast,

25000 „ „ 29,3 „ „ „

Leerer Haken mit 50 m Hubgeschwindigk./Min.

**Am kleinen Haken**

8000 kg bei 31,5 m größter Ausladung mit 15,5 m Hubgeschw./Min.

Leerer Haken mit 40 m Hubgeschw./Min.

Durch Anwendung von Hauptstrom-EM wird die Erhöhung der Hubgeschwindigkeiten mit abnehmender Last bis herab zum Leerlauf selbsttätig erzielt.

**3. Die Benrather Maschinenfabrik A.-G. bei Düsseldorf baut**

„Fahrbare elektrische Portalkrane von 10000 kg Tragkraft,“ für welche beträgt:

die Ausladung von Mitte Drehsäule 15 m, die Rollenhöhe über Schienenoberkante 16 m, die Spurweite 5 m, der Radstand 6 m, die lichte Portalhöhe über Schienenoberkante 5 m, der Hub 20 m.

Die elektrische Ausstattung derselben besteht in:

1 Hubwerk-EM von 35 Pferdek. und 12 m Geschwindigk./Min.

1 Drehwerk-EM „ 12 „ „ 60 „ „

1 Fahrwerk-EM „ 25 „ „ 25 „ „

Die „fahrbaren elektrischen Halbportal-Krane“ derselben Firma mit 3000 kg Tragkraft, von denen zur Zeit der Düsseldorfer Ausstellung 83 Stück für die neue Hafenanlage auf Hamburg-Kuhwärder in Ausführung begriffen waren, haben 11,0 m Ausladung, 15 m Rollenhöhe, 14 m Spurweite, 27 m Hub und eine den voranstehenden Angaben entsprechende schwächere elektrische Ausrüstung.

**4. Elektrisch angetriebener Drehkran (Hammer-, Turm- oder Pyramiden-Kran)** (Fig. 116) von 150000 kg Tragfähigkeit der Duisburger Maschinenbau-A.-G. vorm. Bechem u. Keetmann für die Kruppsche Germania-Werft bei Kiel. Während bei den oben beschriebenen Kranen mit veränderlicher Ausladung der Schnabel als tote Last mitbewegt werden muß, ist beim Hammerkran nur die rollende Reibung bei der Fortbewegung der Katze auf den horizontalen Ausleger zu überwinden; es kann deshalb die Fahrgeschwindigkeit besonders hoch gewählt werden. Er wird außer auf Schiffswerften auch auf den Arbeitsplätzen größter Hüttenwerke benutzt und die von ihm verlangte größte Tragfähigkeit ist aus der Förderung hervorgegangen, die schwersten auf den Hüttenwerken erzeugten Stücke z. B. Panzerplatten zu bewegen; seine Höhe wird durch die Höhe der Schiffsmasten bestimmt, über die hinweg er sich drehen soll.

Es wird in besonders großer Ausführung von der Benrather Maschinenfabrik bei Düsseldorf gebaut. Auf der Düsseldorfer Ausstellung war im Pavillon der Firma das Modell eines solchen Riesenkranes, genau im Maßstabe  $\frac{1}{25}$  des „größten Kranes der Welt“ ausgestellt, dessen Original im Februar 1902 auf den Howaldt-Werften in Kiel in Betrieb gesetzt wurde.

Die Abmessungen des Kranes sind die folgenden:

Größte Tragkraft 150 000 kg, Probelast 200 000 kg, größte Ausladung 42,5 m, Höhe der Laufbahn über Quai 47,5, ganze Länge des horizontalen Auslegers 72,8 m.

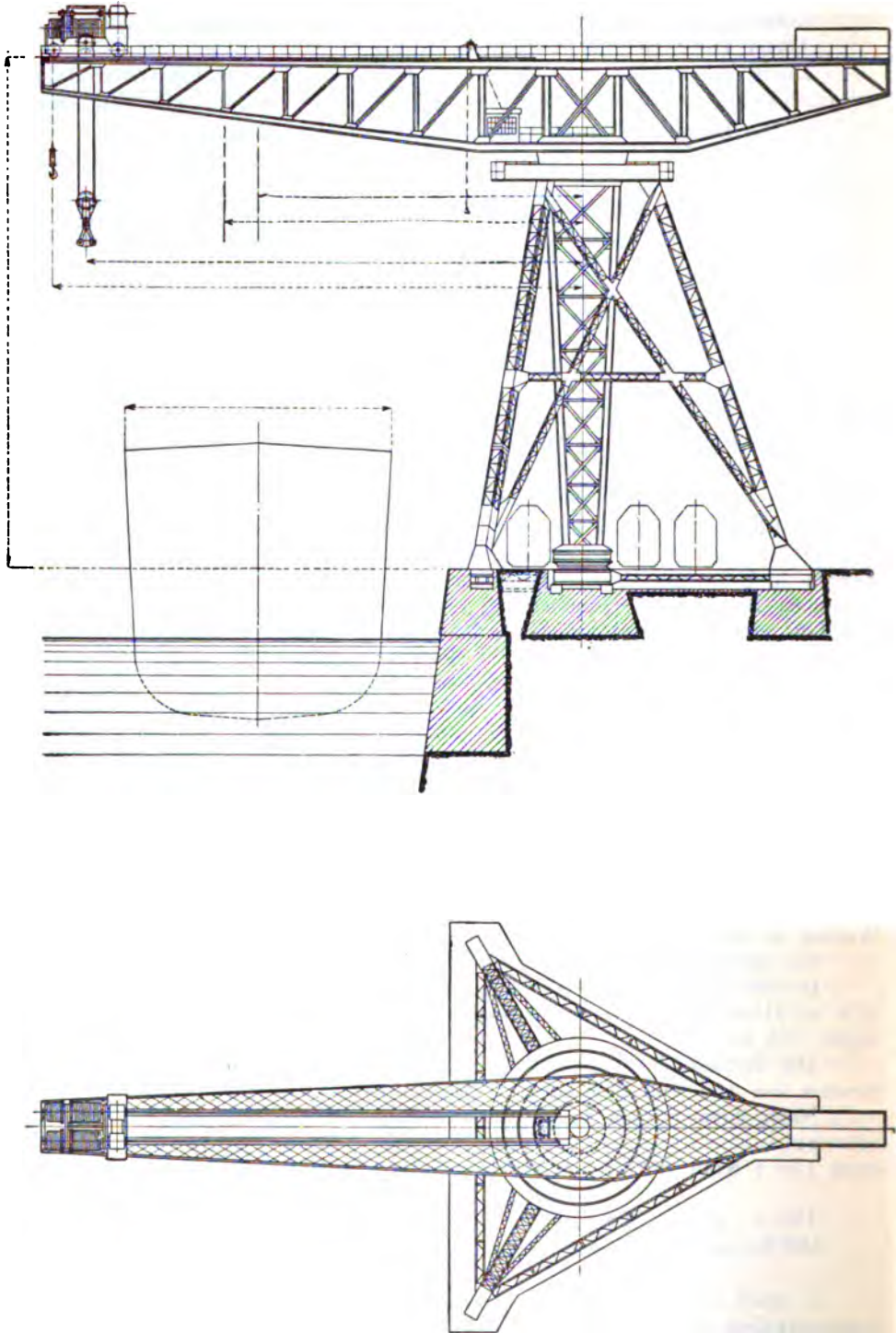
Der Betrieb dieses Benrather „Riesenkranes“ erfolgt mittelst Dreiphasen-Stromes von 190 Volt Spannung.

Nach ihrem System baute genannte Firma Riesenkrane für folgende Abnehmer:

einen 150 t Kran von 22 m Ausladung für die Hafenbau-Inspektion (Kaiserdock) in Bremerhafen,
„ 120 t „ „ 28,5 m „ „ Vulcain Belge Auvers,
„ 150 t „ „ 42,5 m „ „ Schiffwerft William Beardmore & Co. Ltd. Glasgow.

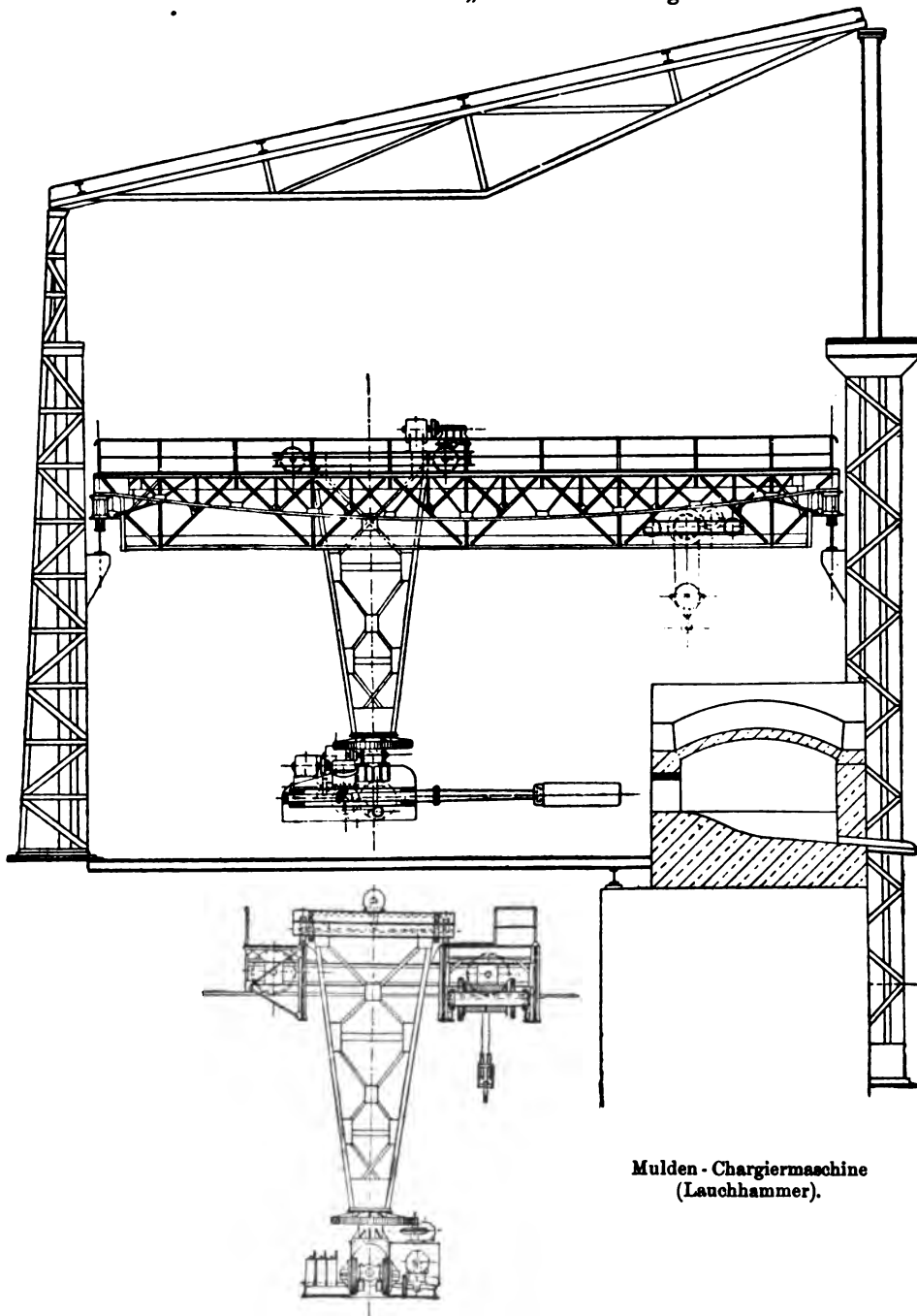
**5. Auch elektrisch angetriebene „Spezial“-Hilfsmaschinen** haben sich in den hüttenmännischen Betrieben in den letzten Jahren mit Erfolg eingebürgert, unter

Fig. 116.





anderen: der Chargier- oder Beschickungs-Kran in seiner mit Laufkran und Drehkran verbundenen Form als „Mulden-Chargiermaschine“ für



Mulden-Chargiermaschine  
(Lauchhammer).

Martinöfen (D.R.P. 100553 der A.-G. Lauchhammer), ausgeführt von der A.-G. Lauchhammer, der Benrather Maschinenfabrik A.-G. Benrath bei Düsseldorf, der

Duisburger M.A.G., vormals Bechem und Keetmann in Duisburg und von Ludw. Stuckenholz, Wetter a. d. Ruhr. Mit der Katze des Laufkranes ist ein Hängegerüst verbunden, in dessen unterem Teile eine auf Stahlkugeln laufende hohle Stahlgußsäule sich befindet, welche den Träger der eigentlichen Chargiervorrichtung bildet. Mehr denn 10 Bewegungen sind elektrisch leicht und rasch durch den Maschinisten vom Führerstande aus zu bewerkstelligen. Die Maschine packt die mit Schrott gefüllte Mulde, schiebt sie in den geöffneten Ofen und kippt sie an der rechten Stelle aus. Diese Maschine, ohne welche früher Arbeiter stundenlang vor der geöffneten Tür des glühenden Ofens stehend den Schrott mit Hand oder Schaufel in den Ofen werfen mußten, spart Arbeitskräfte, Zeit und Brennmaterial, schont die Gesundheit der Arbeiter und ermöglicht es, daß der Raum vor den Öfen frei bleibt.

### Schlußbemerkungen.

Unser Leitfaden hat in allen Betrieben, in die er uns hineinblicken ließ, zeigen wollen, eine wie gute Gehilfin die Elektrotechnik dem Maschinenbau geworden ist, um mit diesem vereint heilsam, sparsam, ratsam zu wirtschaften.

Auch war er bemüht, überall technisch-wissenschaftlich zu begründen und zu verallgemeinern.

Nun mag er am Schlusse seines wesentlichsten Teiles, vor Eintritt in die Sondergebiete, wie der elektrischen Bohrmaschinen, der drahtlosen Telegraphie, der magnetischen Aufbereitung, in einem kurzen Rückblicke auf kleinstem Raume nochmals einige auf den Gegenstand bezügliche Bemerkungen zusammenstellen.

**Generator, Elektromotor.** Der Generator bietet meist keine Schwierigkeiten, wenn ihm nur sein regelrechter, gleichmäßiger Gang durch die Antriebsmaschine gesichert wird; vielfach dagegen der Elektromotor, weil dieser sich der eigen- und verschiedenartigen Gangart der Arbeitsmaschine anbequemen muß und erst Aussicht auf Anwendung und Erfolg hat, wenn er vollständig in die wechselvollen Verhältnisse der Arbeitsmaschine, die er anzutreiben hat, sich schickt. Näheres hierüber ist früher unter der Überschrift „Elektromotor“ gebracht.

In dem EM ist eine Maschine gefunden, die für die meisten technischen Antriebe sich eignet, weil sie unmittelbar Drehbewegung erzeugt, die bei den meisten Arbeitsmaschinen selbst da gefordert wird, wo eine fortschreitende Bewegung Endzweck ist. Wir denken hierbei an den Transport sowohl von festen Massen durch Lokomotiven, Fördermaschinen, Aufzüge, durch die weiter unten erwähnten Rollgänge, als auch von flüssigen und gasförmigen Massen durch die Kapselräder und Zentrifugalmaschinen für Wasser und Luft. Denn in allen Fällen wird durch eine Drehkraft (Kraftmoment  $M = P \cdot r$ ) die fortschreitende Bewegung erzwungen (oder, wie z. B. bei den Bremsen, auch verhindert)\*).

\*) In den hier kurz angedeuteten und in unzählig vielen anderen Fällen können durch EM solche an den Arbeitsmaschinen wiederstehenden Drehkräfte überwunden werden, auf die deshalb hier in unseren „Schlußbemerkungen“ kurz eingegangen werden soll.

Wir unterscheiden zwei Fälle:

1. Handelt es sich nur um einen einfachen Gleichgewichts- (also statischen) Zustand, so gilt für alle Fälle das Grundgesetz der Statik, nämlich das allbekannte archimedische Hebelgesetz:

$$\text{Statisches Moment} = \text{Kraft} \cdot \text{Kraftarm} = \text{Widerstand} \cdot \text{Lastarm}$$
$$M = P \cdot l = W \cdot r$$

Dasselbe würde z. B. gelten bei allen Drehbewegungen für die Zapfenreibung:

$$M_1 = f \cdot G_1 \cdot d/2, \text{ wenn bedeuten:}$$

$f$  = etwa 0,1 den Zapfenreibungskoeffizient,  $G_1$  den Zapfendruck,  $d$  den Zapfendurchmesser.

2. Handelt es sich dagegen um Beschleunigung von Massen, oder auch um Verzögerung derselben durch Bremsen, so gilt das Grundgesetz der Dynamik, nämlich das Newton'sche Beschleunigungsgesetz, welches in der einfachsten Form ausgedrückt ist für fortschreitende Massen durch die Gleichung:

Wechselstrom, Gleichstrom. Beide haben ihre Vorteile und Nachteile und werden in manchen Fällen scheinbar ohne Auswahl angewandt und dennoch schicken sie sich nicht gleich gut für alle Verhältnisse.

Der Wechselstrom führt auf billigere Anlagen, zumal wenn es sich um Kraftübertragung auf große Entfernungen, z. B. über 1,5 km, handelt. Der Gleichstrom dagegen ist wirtschaftlicher, wenn es auf feine Regulierbarkeit und äußerste Sparsamkeit im Betriebe ankommt. Sein Verwendungsgebiet hat sich besonders vergrößert durch Anwendung der „Wendepole“, die das Funken am Kollektor selbst bei großen Bewegungs- und Kraftschwankungen verhindern und Gleichstrom-Dynamomaschinen bis 3000 Volt Spannung ohne Schwierigkeit ermöglichen sollen. Der Wechselstrom läßt sich durch Transformatoren hinauf und herunter transformieren, der Gleichstrom durch Akkumulatoren aufspeichern und mit Hilfe der „Leonard-Schaltung“ besonders in Verbindung mit Pufferbatterien bezw. Ilgnerschem Schwungrade auf das vollkommenste fast verlustlos regeln\*).

Der Bergmann nutzt die Vorzüge der Elektro-Maschinenteknik bereits seit Anfang der 80-er Jahre des vorigen Jahrhunderts, der Hüttenmann im großen wohl erst seit Verwendung der Ofengase mittelst Gasmaschinen, die zwar bereits 1886 durch Lürmann\*\*) vorgeschlagen, aber im großen erst 1896/98 bewerk-

Kraft = Masse . Beschleunigung,

$$P = m \cdot p.$$

Und es ist

- a) das Drehmoment zur Beschleunigung fortschreitender Massen vom Gewichte  $G$  kg (die z. B. an den Umfängen von Seilkörben hängen oder auf den Rollenmängeln der Rollengänge liegen und durch deren Drehung innerhalb  $t$  Sekunden in die Geschwindigkeit  $v_m$  versetzt werden sollen):

$$\mathfrak{M}_2 = G/g \cdot v/t \cdot r, \text{ wenn } r \text{ m den Halbmesser der Mängel bedeutet;}$$

dagegen

- b) das Drehmoment zur Beschleunigung rotierender Massen (der Seilkörbe und Rollen der Rollgänge selbst):

Kraftmom. = Trägheitsmom. . Winkelbeschleunigung

$$\mathfrak{M}_3 = J \cdot 2\pi n/60 \cdot t \text{ (Mechanik des Verfassers S. 256).}$$

Das während der Beschleunigungsperiode  $t$  Sek. von dem EM zu überwindende Gesamtmoment würde dann sein:

$$\mathfrak{M} = \mathfrak{M}_1 + \mathfrak{M}_2 + \mathfrak{M}_3 \text{ Meterkilogramm.}$$

Daß  $n$  die  $v$  entsprechende Anzahl der Umdrehungen in 1 Minute bedeutet, geht aus dem Zusammenhange der Formeln hervor.

- \*) Unter sonst gleichen Verhältnissen ist nach Gleichung 6 Seite 162

$$\mathcal{E}_a \cdot n = \text{Konstante,}$$

d. h. in demselben Maße, wie die Magneterregung oder Kraftlinienzahl  $\mathcal{E}_a$  also die Ampèrewindungszahl  $z \cdot i$  bezw.  $i$  verkleinert wird, vergrößert sich die Ankerumdrehungszahl  $n$ . Dementsprechend ist es möglich, bei Fördermaschinen und Metall-Walzwerken die Umdrehungszahl innerhalb weiter Grenzen zu regeln.

\*\*) Die Leistungsfähigkeit der Gichtgase eines Eisenhochofens ist bei günstigen Verhältnissen eine überraschend große.

Ein Hochofen erzeugt zwischen 40 Tonnen bis nahezu 600 t Roheisen in 24 Stunden, und zwar in Amerika bis 600 t/24 Std.

in Deutschland „ 400 t/24 Std.

Im Mittel sei angenommen 240 t/24 Std.

also 10 t in 1 Stunde.

Große neuere Gasmaschinen erfordern an Gichtgasen von etwa 900 Wärmeeinheiten

2,2 cbm für 1 indiz. Pferdekraft und Stunde,

also etwa 900 . 2,2 = 2000 WE/Pfd. i/Stde.

Nach Lürmann ist die Gaserzeugung für je 1 t Roheisen etwa 4200 cbm, von denen zu rechnen sind:

1. 0,10, also 420 cbm als Verlust,
2. 0,30, „ 1260 „ zur Winderhitzung,
3. 0,40, „ 1680 „ für die Dampfkessel des Hochofenbetriebes,
4. 0,20, „ 840 „ für andere Zwecke,

also:

0,40 zum unmittelbaren Ofenbetrieb,

0,60 zu Kraftzwecken.

stellt wurde durch den Hörder Bergwerks- und Hüttenverein zu Hörde in Westfalen mittels 600 pferdiger, von der Berlin-Anhalter Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft nach System Öchelhäuser gebauter Gichtgasmaschinen. Gegenwärtig bauen 1000 pferdige Gichtgasmaschinen eigener Systeme, unter anderen: Deutz-Köln; Gebrüder Körting-Hannover; und die Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg, welche äußerlich ihrer Maschine die längst bewährte Form der liegenden, doppeltwirkenden Dampfmaschinen mit Ventilsteuerung gegeben hat. Kleine Gichtgasmaschinen von 8—30 Pferdekraften wurden wenige Jahre früher 1894/95 in England nach Patent Thwaite und in Belgien von Kockerill-Seraing gebaut. Aber gegenwärtig baut die Großgasmaschinen auch das Ausland nach deutschen Mustern. Heute ringen unter den Kraftmaschinen um den Vorrang die Gichtgas- und Sauggasmaschine, die Dampfturbine in ihren verschiedenen Systemen (nach De Laval und Parsons) und die Heißdampf-Tandem-Lokomobile von Wolf-Magdeburg, von denen die erste unter sonst gleichen Verhältnissen über die billigste Kraftquelle verfügt. Doch darf hierbei nicht außer acht gelassen werden, daß es sich bei Verwendung der Gichtgase wohl um Abfallverwertung handelt, daß aber vor den Gichtgasmaschinen Hochofengase bereits zum Teil zur Befuerung der Dampfkessel der Dampfmaschinen ausgenutzt wurden. Deshalb müssen bei der Kostenberechnung, z. B. eines Hüttengebläses, diejenigen Kosten berücksichtigt werden, welche zuzuschlagen sind für die tatsächlich ausgenutzten Gase, einmal zur Erzeugung des Kesselampfes für die Dampfmaschine zum Betriebe des Gebläses, das andere Mal zum Antrieb der Gichtgas-Dynamomaschinen (Generator, Elektromotor), welche dasselbe Gebläse anzutreiben vermögen. Und dann sind noch in der Vergleichsberechnung einander gegenüberzustellen die Kosten für die Maschinenanlagen in dem einen und anderen Falle.

Ohne Berücksichtigung des elektrischen Antriebes könnte man rechnen, daß unter sonst gleichen Verhältnissen zum Dampfkesselbetrieb eines Dampfmaschinen-Gebläses etwa dreimal mehr Gichtgase erforderlich sind als zum Betriebe eines Gichtgasmaschinen-Gebläses\*).

Die großen Erfolge der Hoch- und Koksöfen-Gichtgasmaschinen haben nun auch die Direktion der Mansfelder Kupferschiefer bauenden Gewerkschaft zu Eisenleben veranlaßt, seit 1904 die Kupferofengase der Krughütte in Gichtgasmaschinen zum elektrischen Antrieb von rotierenden Hochdruckgebläsen (Jäger & Co., Leipzig) zu verwerten.

Diese billigen Kraftquellen haben nun auch eine Anwendung der Elektrizität in der Technik veranlaßt, an die man vorher nicht gedacht hatte. Heute betreibt man auf großen Eisenhüttenwerken elektrisch: die Zylinder-, Kapsel- und Schleuder-Gebläse, Gichtaufzüge, Gichtlockenwinden, Gießmaschinen; auf den Stahlwerken:

Diesen 60<sup>o</sup>%, unmittelbar in Gasmaschinen verwendet, würden demnach entsprechen

$$\frac{4200 \cdot 0,60}{2,2} = \text{etwa } 1150 \text{ Pfd. für } 1 \text{ Tonne}$$

$$= \text{„ } 11500 \text{ „ „ } 10 \text{ „ „}$$

d. h. für den oben angenommenen 240 t Ofen.

\*) (Gichtgas-Verbrauch (900 WE/cbm angenommen).

1. Bei unmittelbarer Verwendung in Gasmaschinen etwa 2,2 cbm/Pfd./Stde.

2. „ Verbrennung unter den Dampfkesseln der Hütten-Dampfmaschinen:

Die besten Dreiverbund-Dampfsm. mit Heizmantel (oder Dampf-Turbinen) erfordern an Dampf 6 kg/Pfd./Stde., also (für 1 kg Dpf. von 10 Atm. Überdruck  $181,2 + 433,9 + 45,9 = 661$  WE gerechnet)  $6 \cdot 661 = 3966$  WE. Wird für die durch diese Gichtgase gefeuerten Dampfkessel als Wirkungsgrad  $\eta = 0,7$  gerechnet, so wäre zur Erzeugung von 3966 WE an Gichtgasen  $\frac{3966}{0,7} = 5666$  cbm/Pfd./Stde., d. h. für dieselbe Leistung  $\frac{5666}{2,2} = \text{etwa } 2575$  mal mehr Gichtgase zur Verbrennung unter den Dampfkesseln erforderlich, als zur unmittelbaren Verbrennung in Gasmaschinen, wie oben angenommen wurde.

die Roheisenmischer (zur Überführung des Roheisens zu den Stahlwerken), die Bessemer-Birnen, die Beschickungs- oder Chargiermaschinen; auf den Walzwerken: die Walzenstraßen, Rollgänge (um das Walzgut an der Walzenstraße selbst und zwischen dieser und den Glühöfen fortzubewegen) und verschiedene andere Hilfsmaschinen zur Fortbewegung und Formveränderung\*).

---

\*) Wer sich eingehender über die hier nur kurz angedeuteten elektrischen Betriebe der Hüttenwerke unterrichten will, findet gründliche Belehrung in dem Buche „Elektrische Kraftübertragung“ von Philippi 1905. Leipzig, Hirzel; ferner in den Nachrichten der Siemens-Schuckertwerke G. m. b. H. 1904 unter „Elektrischer Antrieb von Walzwerken“ von C. Köttgen, auch der Aufsatz in „Stahl und Eisen“ 1899 „Elektr. Antrieb in Hütten- und Walzwerken, von O. Lasche ist beachtenswert.

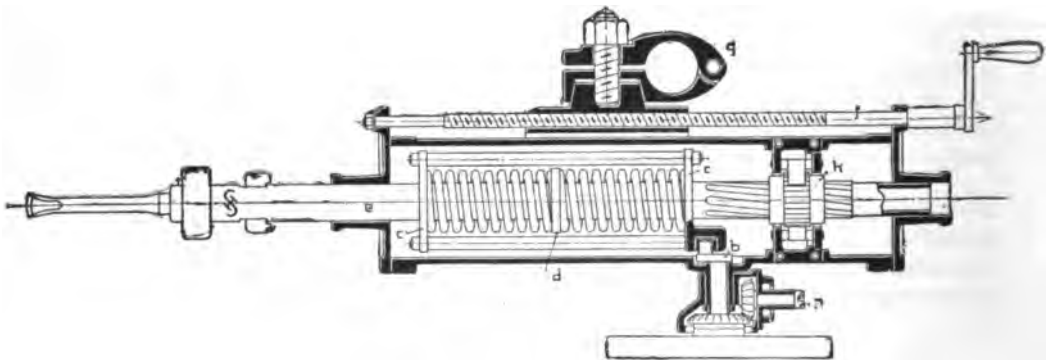
## Die elektrisch betriebenen Gesteinsbohrmaschinen.

Einleitung. Die Gesteinsbohrmaschinen lassen sich einteilen in solche mit:

- A. geradlinig hin- und hergehendem, stoßenden Meißel-Bohrer für hartes Gestein,
- B. drehendem, schneidend oder schabend wirkenden Bohrer für mildes Gestein.

Der stoßende Meißel-Bohrer (Fig. 117) muß nach jedem Schläge etwas gedreht („umgesetzt“) und mit dem Vertiefen des Bohrloches vorgeschoben werden. Das Umsetzen geschieht meist selbsttätig durch die Maschine in der Weise, daß

Fig. 117.



Stoßbohrmaschine (Siemens) im Durchschnitt.

der hin und hergehende, mit dem Bohrer verbundene „Stoßkolben“ e, (hinten) mit lang gezogenen Schraubengängen (Drall) versehen ist, die sich in einer mit Sperrklinken versehenen Drallmutter (Sperrrad h) bewegen. Da sich die Drallmutter wegen der Sperrklinken nur nach einer Richtung drehen kann, so muß sich bei der einen Stoßrichtung (gewöhnlich beim Rückwärtsgang) der Kolben drehen, während sich bei der anderen Stoßrichtung die Mutter dreht und der Kolben ohne Drehung vorwärts bewegt. Das Vorschieben des Bohrers mit dem Vertiefen des Bohrloches wird jetzt allgemein durch den Arbeiter besorgt (Fig. 117 a).

Dem Elektrotechniker lag es am nächsten, bei den Stoßbohrmaschinen zur Erzeugung der hin- und hergehenden Bewegung stromdurchflossene Drahtspulen, sogenannte „Solenoid“, welche das Bestreben zeigen, einen Eisenstab in sich hin-

einziehen, zu benutzen; dagegen bei den Drehbohrmaschinen die Drehbewegung von der Ankerwelle eines rotierenden Elektromotors mittelst geeigneter Übersetzungsarten bewerkstelligen zu lassen.

Fig. 117 a.



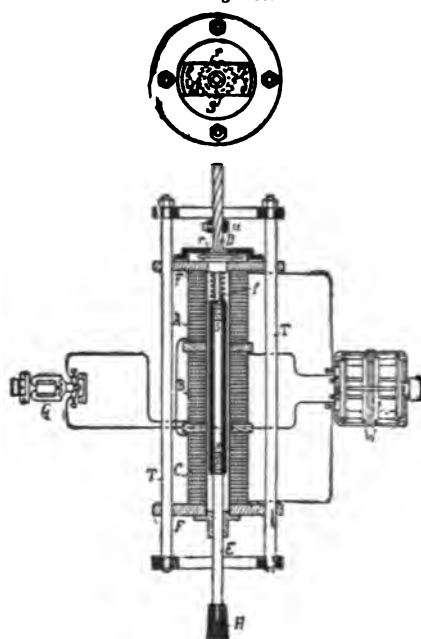
Stoßbohrmaschine (Siemens) im Betriebe.

### A. Stoßbohrmaschinen.

**Geschichtliches.** Im Jahre 1879 erfand Werner Siemens eine Anordnung, die „Solenoid-Maschine“, mittelst welcher er ohne Unterbrechung von Stromkreisen, also ohne Funkenbildung, direkt eine hin- und hergehende stoßende Bewegung erzielte (Fig. 118, 119 D.R.P. Nr. 9469 vom 22. Oktober 1879).

Von den drei hintereinander liegenden Spulen (Solenoiden) A, B, C, sind die mittlere von Gleichstrom, die beiden äußeren von Wechselstrom durchflossen. Die beiden äußeren Spulen sind so geschaltet, daß sie stets gleichnamige Pole einander zuehren, also den in ihrem Innern befindlichen Eisenkern („Bohrkolben“), der durch die Mittelspule zu einem Elektromagneten von gleichbleibender Polarität wird, abwechselnd bei jedem Stromwechsel in ihrer Mitte hineinzuziehen suchen und dadurch die hin- und hergehende Stoßbewegung des Bohrkolbens veranlassen.

Fig. 118.



Schaltungsschema der alten (1879) Solenoidbohrmaschine von Siemens.

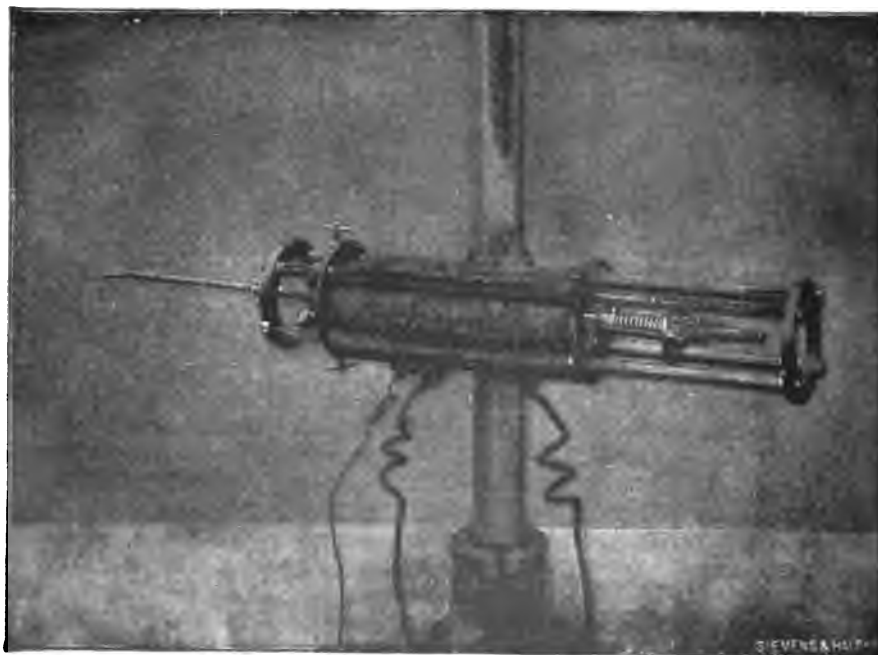
Die Maschine sollte als Stoßbohrmaschine und Hammerwerk dienen.

Als Stoßbohrmaschine besitzt der Apparat noch ein Drehwerk nach dem oben angegebenen Prinzip zum Umsetzen des Bohrers, und außerdem in seinem hinteren Teil noch eine Spiralfeder, welche als Pufferfeder die Maschine gegen Beschädigungen durch den Rückschlag des Bohrers schützt und die aufgenommene Arbeit zum Teil für den Vorstoß wieder verwertet.

Die Firma Siemens & Halske ließ wegen des geringen Wirkungsgrades derartiger Maschinen das Solenoidprinzip für den vorliegenden Zweck ganz fallen und suchte auf einem ganz anderen Weg das gleiche Ziel mit günstigerem Erfolge zu erreichen, wovon später gehandelt wird.

Die Solenoid-Maschine hat jedoch historischen Wert, da unter Benutzung des Siemensschen Grundgedankens später eine Stoßbohrmaschine an den Markt gebracht wurde, welche zum Teil von Nord-Amerika aus auch in Deutschland Eingang fand.

Fig. 119.



Alte (1879) Siemenssche Solenoidbohrmaschine im Betriebe.



Solenoid-Bohrmaschinen von Depoele, Thompson Houston, Marvin und der Union A.-G. Der Holländer van Depoele vernied die Verwendung zweier Dynamomaschinen zum Betriebe der Solenoidmaschine, nämlich einer Gleich- und einer Wechselstrommaschine, dadurch, daß er die mittelste der drei Spulen nicht mit Gleichstrom konstanter Stromstärke, sondern mit „pulsierendem Gleichstrom“ speiste, und beide Stromarten, den pulsierenden Gleichstrom für die mittlere Spule und den Wechselstrom für die beiden äußeren Spulen derselben gewöhnlichen Gleichstrom-Dynamomaschine entnahm, die außer den beiden gewöhnlichen feststehenden Stromabnehmerbürsten noch ein Paar um den Kollektor rotierender Bürsten besaß, welche den pulsierenden Gleichstrom, d. i. Wechselstrom liefern.

Die Zahl der Bürsten-Umdrehungen betrug im allgemeinen 400 in der Minute; jeder Umdrehung entspricht ein Gleichstromimpuls und eine volle Periode des Wechselstromes, sowie ein Hin- und Rückgang des Bohrers.

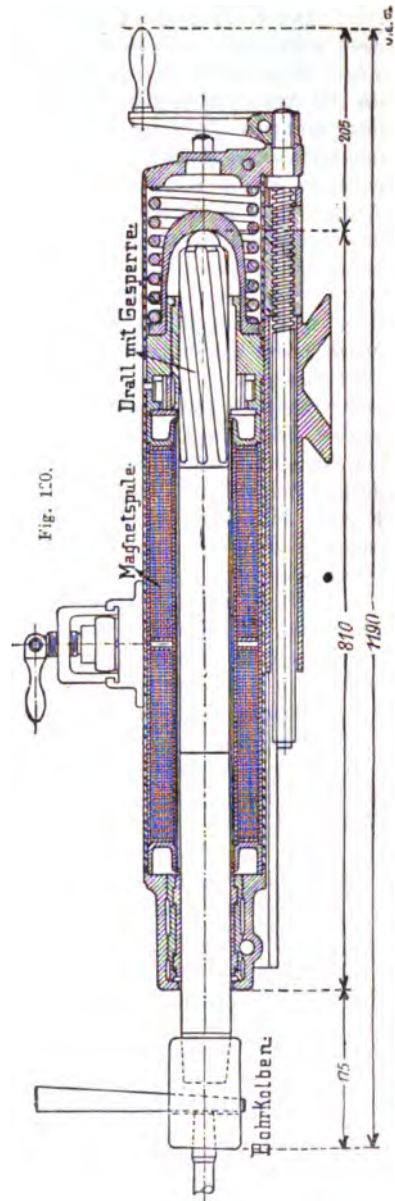
Die an der Bohr-Dynamomaschine befindliche zweite feststehende Bürste diente nur dazu, um Gleichstrom zur Erregung der Schenkel der Dynamomaschine entnehmen zu können.

Maschinen nach diesem, vorstehend in seinen Grundzügen dargestellten, Depoeleschen Dreispulensystem wurden von der Thompson-Houston International Electric Co. in Amerika und von der Union Elektrizitätsgesellschaft in Deutschland gebaut und in die Praxis eingeführt. So wurde beispielsweise eine von der Union E. G. ausgeführte Anlage dieses Systems schon im Jahre 1892 in Bindt in Ungarn eingerichtet und war mehrere Jahre mit einem zu damaliger Zeit durchaus befriedigenden Erfolge in Tätigkeit. Die Bohrmaschine hatte 180 mm Durchmesser bei 1320 mm Länge; das Gesamtgewicht der Maschine einschließlich Gleitschlitten betrug 152 kg.

Dieses van Depoelesche Drei-Spulensystem wurde später von der „Union“ gänzlich aufgegeben und durch ein Zwei-Spulensystem nach einem von Marvin angegebenen Schema ersetzt.

Herr Ernst Heubach, Ingenieur der Union E. G. behandelt das Prinzip dieser neueren Type in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Band 45 Nr. 42 vom 19. Oktober 1901 auf Seite 1496.

Bei den jetzigen Union-Maschinen (Fig. 120) besteht die Wicklung der Magnetspule aus blankem Kupferdraht von quadratischem Querschnitt von  $2 \times 2$  mm. Zwischen die einzelnen Windungen sind Glimmersegmente von 0,15 mm Stärke geschoben, während die übereinander liegenden Drahtlagen durch eine 3 mm



starke Bandwicklung aus Glimmer isoliert sind. Die Verwendung von Glimmer, welcher sehr hohen Temperaturen (selbst Rotglut) widersteht, ergab sich als notwendig, da infolge der großen Erwärmung welche die Solenoidmaschinen beim Arbeiten erfahren, die Baumwollumspinnung der älteren Maschinen verkohlte, wodurch die Maschine unbrauchbar wurde.

Der Kolben der Union-Maschine besteht aus 3 ungefähr gleich langen Teilen. Den mittleren Teil bildet der von den Spulen elektromagnetisch hin- und herbewegte Eisenkern: der vordere und hintere Teil des Kolbens besteht aus Bronze, da die aus den Spulen herausragenden Enden nicht magnetisch sein dürfen. Auf dem hinteren Teil des Kolbens befindet sich der Drall, der mit Hilfe der auf demselben passenden Drallmutter das Umsetzen des Bohrers in der oben angegebenen Weise bewirkt. Nach vorn wird der Hub des Kolbens nur durch das Aufschlagen des Bohrers auf das Gestein begrenzt, so daß der Kolben nach vorn aus der Maschine herausgezogen werden, aber auch in der Grube aus der Maschine herausfallen kann.

Nach hinten schlägt der Kolben gegen eine Pufferbüchse, die in einer Feder liegt und den Rückschlag zum Teil wieder für den Vorstoß nutzbar macht. Mittelst der am hinteren Ende angeordneten Kurbel kann die Maschine in einem Schlitten um 50 cm vor- und rückwärts verschoben werden. Ein am Schlitten angebrachter tellerförmiger Ansatz dient zum Befestigen des Stoßbohrers an Spansäulen oder an Dreifußgestellen. Das Ein- und Ausschalten geschah bisher an der Maschine selbst durch die gleichzeitig als Stromzuführung dienende Anschlußdose, welche das Ende eines von den Speiseleitungen abgezweigten biegsamen Kabels bildete. In jüngster Zeit verwendet man einen von der Maschine getrennten Fußschalter. Alle übrigen wesentlichen Einrichtungen sind aus Fig. 120 ersichtlich.

Die Länge der Maschine einschließlich Handkurbel und Kolbenkopf beträgt 1190 mm, ihr Gewicht mit Schlitten und Kolben 122 kg; der Energiebedarf beträgt nach Heubach (a. a. O.) bei der jetzt allgemein verwendeten Type H im Mittel 2,5 Kilowatt: an der Dampfmaschine sind bei einer kleineren Anlage von 2—4 Maschinen 4,5 Pferdekkräfte, bei einer größeren von 6 Maschinen 3,5 bis 4 Pferdekkräfte, für jede arbeitende Maschine zu rechnen. Es ist anzunehmen, daß dieser Energieverbrauch sich auf die kalte Maschine bezieht, denn wenn die Maschine nach etwa 1 stündigem Arbeiten eine bedeutend hohe Temperatur angenommen hat, so muß auch der Energiebedarf nicht unwesentlich zunehmen.

Die von der Union E. G. zurzeit verwendete Spezial-Bohrdynamomaschine besitzt nun 2 Kollektoren, nämlich den zur Selbsterregung der Dynamomaschine nötigen Kollektor mit den den Gleichstrom abnehmenden Bürsten und den als Stromwender dienenden, an den Bürsten Wechselstrom liefernden Kollektor; sowie ferner einen geteilten und einen ungeteilten Schleifring. Auf jedem Schleifring schleift eine stromführende Bürste, und außerdem an dem Vollring eine und an jeder Hälfte des geteilten Ringes ebenfalls je eine Abnehmerbürste. Sämtliche Bürsten sind feststehend. (Übrigens muß auf die Quelle verwiesen werden.)

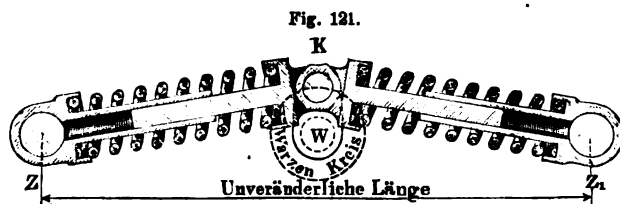
### Kurbelstoßbohrmaschine von Siemens & Halske.

Der geringe Wirkungsgrad und die starke Erwärmung der Solenoid-Bohrmaschinen veranlaßten die Firma Siemens & Halske, wie schon erwähnt, das Solenoid-Prinzip aufzugeben und den sich immer mehr entwickelnden rotierenden Elektromotor mit seinem hohen Wirkungsgrad für vorliegenden Zweck zu benutzen.

Der erste Gedanke, die hin und her gehende Bohrstange von einem rotierenden Elektromotor mittelst Kurbelwelle anzutreiben, rührt von Karl Hoff-

mann, Oberingenieur von Siemens & Halske, her. Bei dessen Anordnung saß der Elektromotor direkt an der Bohrmaschine. Der Antrieb der letzteren geschah zunächst mittelst zweier gewöhnlicher Spiralfedern und bei späterer Verbesserung durch Oberingenieur W. Meißner mittelst einer elastischen Doppelpfeuelstange ZKZ<sub>1</sub> (Fig. 121), welche an zwei Zapfen der Bohrstange angriff. Der auf der Ankerwelle W des Elektromotors sitzende Kurbelzapfen K drückte bei seiner Umdrehung die beiden auf der Pfeuelstange befindlichen Federn abwechselnd zusammen, wobei sich immer die andere Feder ausdehnte. Die Übertragung der Arbeit erfolgte von der Kurbelwelle durch die Federn auf den Bohrkolben. Auch schon bei dieser älteren Form der Kurbelstoßbohrmaschine ist die hin und hergehende Bewegung des Bohrkolbens unabhängig von der drehenden der Kurbel, so daß selbst im Falle, daß der Bohrer im Bohrloch festklemmte, die Kurbel ungehindert umlaufen konnte. (D. R. P. 61039 vom 28. Februar 1891.)

Abgesehen von dem hohen Gewicht dieser Maschine lag ein großer Übelstand in der geknickten Pfeuelstange, indem die Federn bei jeder Kurbeldrehung außer den wirksamen Längsschwingungen auch sehr heftige, auf die Pfeuelstange zerstörend wirkende Querschwingungen vollführten. In die Öffentlichkeit trat diese Maschine nur auf der Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt a. M. im Jahre 1891, wo sie neben der oben beschriebenen Siemensschen Solenoidmaschine ausgestellt war und in einem Gesteinsblock Bohrversuche ausführte. Beide Maschinentypen haben nur historischen Wert.



Die Konstruktion der gegenwärtig von der Firma Siemens & Halske gebauten Gesteinsbohrmaschinen rührt von Waldemar Meißner, Oberingenieur genannter Firma, her. Sie hat mit der älteren Kurbelstoßbohrmaschine den Antrieb durch einen Elektromotor mittelst Kurbelwelle und Federn gemeinsam, unterscheidet sich von derselben aber in folgenden Punkten:

1. Der Elektromotor ist von der eigentlichen Bohrmaschine getrennt und ist in einem besonderen, neben der Maschine auf der Erde aufzustellenden Kasten (Motorkasten) untergebracht.
2. Die Doppelpfeuelstange ist durch ein Kurbelschleifengetriebe ersetzt worden.
3. Die ursprünglich auf der Pfeuelstange sitzenden Federn sind direkt auf dem Bohrkolben, den sie umfassen, angebracht.
4. Die Übertragung der Drehbewegung vom Motorkasten auf die Kurbelwelle der Bohrmaschine geschieht mittelst einer mit Schnellkuppelung versehenen biegsamen Welle (D. R. P. 76660 vom 10. Dez. 1893).

Die Motorkasten werden für Gleich- und Drehstrom hergestellt (Fig. 122 und 123) und zwar normal für 110, 220 und 330 Volt Gleichstrom und 120 und 210 Volt Drehstrom von 50 Perioden in der Sekunde.

Einpferdige, zum Antrieb der Kurbelstoßbohrmaschinen gebräuchliche Elektromotoren könnten an sich unbedenklich ohne Anlaßwiderstände in Gang gesetzt werden, jedoch mit Rücksicht auf die Bohrmaschinen ist ein Anlasser zu verwenden. Letzterer befindet sich im Motorkasten neben dem Motor und kann

durch Umlegen eines an der Stirnfläche des Kastens außen angebrachten Handgriffes eingeschaltet werden. Im Motorkasten befinden sich ferner noch Schmelzsicherungen für jeden Pol, also bei Gleichstrom 2, bei Drehstrom 3 und außerdem ein Rädervorgelege, welches die hohe Tourenzahl des Motors (1200—1400) auf 500 Touren in der Minute herabsetzt.

Im Motorkasten endigt der elektrische Teil der ganzen Anordnung; von hier aus erfolgt die weitere Arbeitsübertragung auf rein mechanischem Wege, indem die mit 500 Touren sich drehende biegsame Welle die Kurbelwelle *b* (Fig. 117) mittelst eines Rädervorgeleges von der Klauenkuppelung *a* aus antreibt.

Die biegsamen Wellen (Stowsche Wellen), eine amerikanische Erfindung, sind im kleinen Maßstabe schon seit langem bei den Zahnärzten im Gebrauch. Sie bestehen aus einer rotierenden Seele und einem feststehenden Mantel. Im vorliegenden Falle besteht die Seele aus einigen, mit abwechselnder Drehrichtung übereinander gewickelten Stahldrahtspiralen.

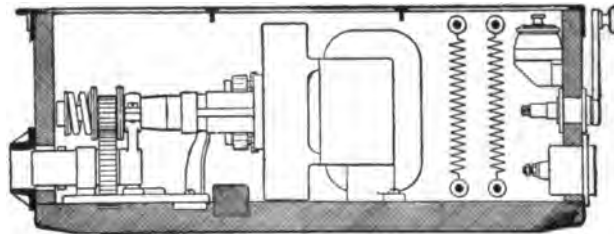


Fig. 122. EM-Kasten für Gleichstrom.

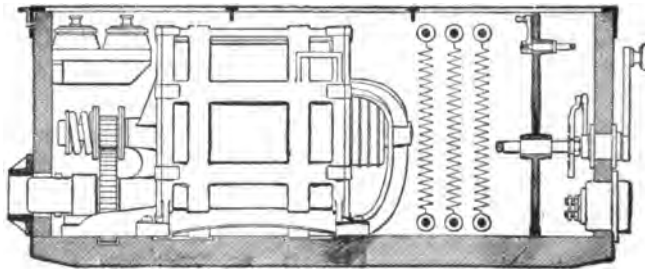


Fig. 123. EM-Kasten für Drehstrom.

Der Durchmesser der Seele beträgt 32 mm. Der Mantel ist eine aus rechteckigem Eisendraht von 6×8 mm Querschnitt hergestellte Spirale, welche noch mit einem Ledermantel umkleidet ist, um das Eindringen von Schmutz zu verhüten. Die Länge der biegsamen Welle beträgt etwa 2,5 m; sowohl die Seele, wie der Mantel sind mit passenden Endstücken versehen, welche ein schnelles Ankuppeln an Motorkasten und Bohrmaschine gestatten.

Das Getriebe der eigentlichen Stoßbohrmaschine (Figur 117) erläutert deren Konstrukteur Herr W. Meißner in einer Broschüre „Elektrisch betriebene Gesteinsbohrmaschinen“ Berlin 1900 (Druckschrift 80 von Siemens & Halske):

Der Name „Kurbelstoßbohrmaschine“ rührt von der antreibenden Kurbelwelle *b* her. Der Kurbelzapfen versetzt unter Vermittlung eines kleinen, leicht auswechselbaren bronzenen Gleitstückes in einer stählernen Gleitrinne einen rahmenartig gebildeten Schlitten (*c—c*) in hin und her gehende Bewegung. Zwischen die Endplatten dieses Schlittens sind nun gegeneinander zwei so starke Schraubenfedern eingespannt, daß das völlige Zusammendrücken einer derselben

(wobei die andere sich zugleich ausdehnt, aber zufolge der anfänglichen Spannung nie ganz lose werden kann) einen Druck von 800 kg erfordert. Zwischen den beiden Federn sitzt der flanschartig vorspringende Rand (d) der sogen. Stoßbüchse, innerhalb welcher der Kolben (e) drehbar, aber nicht längs verschiebbar gelagert ist, indem er zugleich durch die beiden ihn umfassenden Federn und durch Öffnungen in den Endplatten des Schlittens frei hindurchgeht. Wird der Schlitten langsam hin und her bewegt, so macht der durch die Federn unter Vermittlung der Stoßbüchse gefaßte Kolben diese Bewegungen genau so mit, als wäre er starr mit dem Schlitten verbunden. Erfolgt dagegen, wie in Wirklichkeit, die hin und her gehende Bewegung des Schlittens mit großer Geschwindigkeit ungefähr 7 mal in der Sekunde, so schlägt der Kolben unter der Wirkung seiner bedeutenden Masse (einschließlich derjenigen des mit ihm verbundenen Meißels) nach vorn und hinten durch. Der Hub des Kolbens wird zufolge dieses elastischen Durchschlagens beim Leerlauf der Maschine ungefähr doppelt so groß, als der Hub des Schlittens, welcher nur 4 cm beträgt. Jetzt ist aber der Kolben (wenn die Maschine nunmehr gegen das Gestein vorgeschoben wird), zufolge der durch die Federn bewirkten vollkommen elastischen Verbindung mit dem Schlitten ohne weiteres in der Lage, nicht bloß starke Stöße auf das Gestein auszuüben, sondern auch an jeder beliebigen Stelle festgehalten zu werden, ohne dadurch die Bewegung des Schlittens und somit des gesamten Antriebes zu hindern. Durch den letzteren werden nun vielmehr lediglich die Federn nach der einen oder anderen Seite hin in rascher Aufeinanderfolge zusammengedrückt und wieder entspannt, wobei, von der unvermeidlichen Reibungsarbeit abgesehen die Maschine unbelastet läuft.

Um diese eben so einfache wie wirkungsvolle Maschine für die Praxis tauglich zu machen, wurde, wie bereits oben angegeben ist, der Antriebs-Elektromotor vollständig von der Maschine getrennt in einem leicht transportablen Motorkasten untergebracht, ein Schwungrad, welches sich beim Transporte leicht abnehmen läßt, auf die Kurbelwelle gesetzt und die rasche Drehung der Elektromotorwelle durch die oben beschriebene biegsame Welle auf die Kurbelwelle übertragen (D.R.P. 76267 vom D.R.P. 76267 vom 25. VII. 1893).

Der Vorschub erfolgt in der gewöhnlichen Weise mittelst Schraube (f) und Handkurbel. Auch das Drehen nach jedem Schlag erfolgt, wie üblich, unter Vermittlung eines auf den Stoßkolben geschnittenen Schraubenzuges (Dralls) und einer zugehörigen einseitig gesperrten Mutter, jedoch mit der Abweichung von der sonst üblichen Ausführung, daß die Klinken-Federn des Drehwerks federnd gelagert sind (W. Meißner). Hierdurch wird erreicht, daß, wenn der Bohrer beim Aufschlagen auf das Gestein durch Abgleiten von einer schrägen Fläche eines eingeschlossenen härteren Partikels gewaltsam gegen die Sperrklinke gedreht wird, erstens ein Abscheeren der Sperrzähne verhütet wird, zweitens aber die hierbei auftretende Federung des Drehwerkes beim Abheben des Bohrers vom Gestein wieder aufgehoben wird, so daß ein Drehen des Bohrers nach jedem Schlag unter allen Umständen eintreten muß, was durch die bisweilen benutzte Anbringung eines Bremsbandes um das Sperrrad nicht erreicht wird. Die mit der Kurbelstoßbohrmaschine hergestellten Löcher werden demzufolge auch in allen Gesteinen, selbst in Konglomeraten, bei Anwendung eines gewöhnlichen Flaschmeißels stets vollkommen rund und gerade.

Das Einsetzen der Bohrer in die Maschine kann durch den zu diesem Zwecke der Länge nach durchbohrten Kolben (D.R.P. 77887 vom 20. 10. 1893) von rückwärts erfolgen, wodurch es möglich wird, meistens auch die tiefsten Löcher aus unveränderter Maschinenstellung und ohne unnötig vergrößerte Anfangsweite bohren zu lassen.

Es mag noch besonders darauf hingewiesen werden, daß die beiden den

Stoßkolben umgebenden starken Spiralfedern nicht als Pufferfedern aufgefaßt werden dürfen, wie bei der ältesten Siemensschen Solenoid- und der Union-Maschine die im hinteren Teile befindliche Feder. Vielmehr wird die gesamte vom Elektromotor auf die Kurbelwelle und den Schlitten übertragene Arbeit durch die Federn auf den Stoßkolben übertragen, ähnlich wie bei dem Federschnellhammer. Bei der Kurbelstoßbohrmaschine werden die Federn und der mit ihnen verbundene Stoßkolben in schnelle Schwingungen versetzt und die schwingenden Federn sind es, welche den Schlag des Bohrers auf das Gestein ausüben, weshalb die Federn auch als „Arbeitsfedern“ bezeichnet werden. Mit der gleichen Spannkraft, mit welcher die Federn den Bohrer gegen das Gestein schleudern, ziehen sie denselben auch aus dem Loch zurück, weshalb die Rückzugskraft der Kurbelstoßbohrmaschine eine außerordentlich hohe, von keiner anderen Maschine erreichte ist. Man kann dieselbe zwischen 300 und 800 kg liegend annehmen, je nach der Lage des Kolbens zu den Federn bei der Arbeit.

Der die Maschine antreibende Motor im Motorkasten ist ein einpferdiger Elektromotor; er verbraucht an elektrischer Energie 1000 Watt =  $1\frac{1}{3}$  Pferdekraft. Für 6 gleichzeitig arbeitende Bohrmaschinen sind einschließlich aller Verluste bei mäßigen Entfernungen 10 Pferdestärken an der Welle der Dampfmaschine oder Turbine zu rechnen.

Die Bohrmaschine arbeitet in Bergwerken an einer Spannsäule, in Tagebauen an einem vierbeinigen Freigestell und kann in beiden Fällen nach jeder beliebigen Richtung bohren und auf diese Richtung genau eingestellt werden. Die Schlagstärke der Maschine ist nach allen Richtungen dieselbe.

Von elektrisch betriebenen Stoß-Bohrmaschinen haben bisher nur die beiden oben beschriebenen Systeme der Union E. G. und von Siemens & Halske Bedeutung erlangt. Zu erwähnen wäre noch die ebenfalls durch Motorkasten und biegsame Welle angetriebene Stoßbohrmaschine von Dulait in Charleroi. Letztere beruht auf dem Prinzip des Daumenhammers, indem bei derselben eine mit einem Daumen versehene Welle dem Stoßkolben nach hinten schiebt und dabei eine Feder spannt, welche ihrerseits dem Kolben einen Schlag nach vorwärts erteilt, sobald der Daumen von der am Kolben sitzenden Triebsscheibe abgleitet.

## B. Drehbohrmaschinen.

Die elektrisch angetriebene Drehbohrmaschine verlangt eine andere Vorschub-Einrichtung als die Hand-Drehbohrmaschine, weil ihre Spindel sich naturgemäß viel schneller dreht. Bei der Hand-Drehbohrmaschine dreht sich die den Bohrer tragende Spindel meist in einer feststehenden Spindelmutter, die an einer Spannsäule befestigt ist. Die Spindel schiebt sich daher bei jeder Umdrehung um die Höhe eines Schraubenganges vor. Bei den schnell rotierenden, elektrisch angetriebenen Drehbohrern müßte man dann die Spindel mit einem unpraktischen sehr feingängigen Gewinde versehen. Statt dessen wendet man vielfach ein Differential-Getriebe an, bei welchem nicht nur die Spindel, sondern auch die Spindelmutter in Drehung versetzt wird. Drehen sich hierbei Spindel und Mutter nach derselben Richtung, so wird die Spindel um soviel Schraubengänge fortbewegt, als die Differenz der Umdrehungszahlen zwischen Mutter und Spindel beträgt. Bei der neuesten Type von Drehbohrmaschinen der Union E. G. (Fig. 124) ist dieses Prinzip ebenfalls verwendet. Die Achse des Elektromotor-Ankers trägt auf jedem Ende ein kleines Zahnrad, welches in ein größeres eingreift. Das größere auf der Kollektorseite (rechts) dreht die Spindel, das andere (links) die Spindelmutter. Umkehrung der Stromrichtung im Ankerkreis, bewirkt Umkehrung der Drehrichtung des Ankers, der Spindel, der Spindelmutter, also Rückwärtslauf

der Bohrspindel. Man kann jedoch auch den Bohrer einfach mit der Hand zurückziehen, nachdem man die zweiteilige Spindelmutter von der Spindel abgehoben hat.

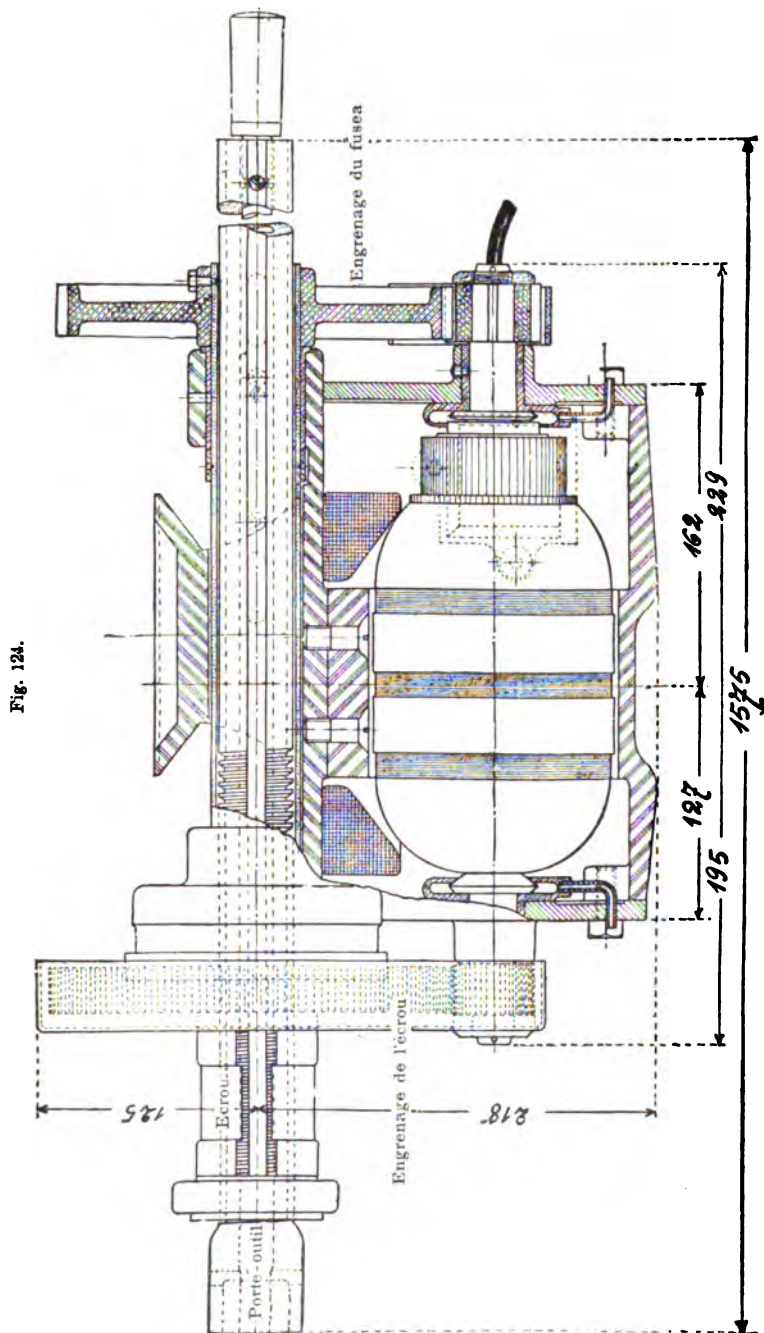


Fig. 124.

Dieselbe Tourenzahl des Elektromotors bedingt dieselbe Vorschubgeschwindigkeit des Bohrers. Bei Gleichstrom-Betrieb ist Selbstregelung der Tourenzahl

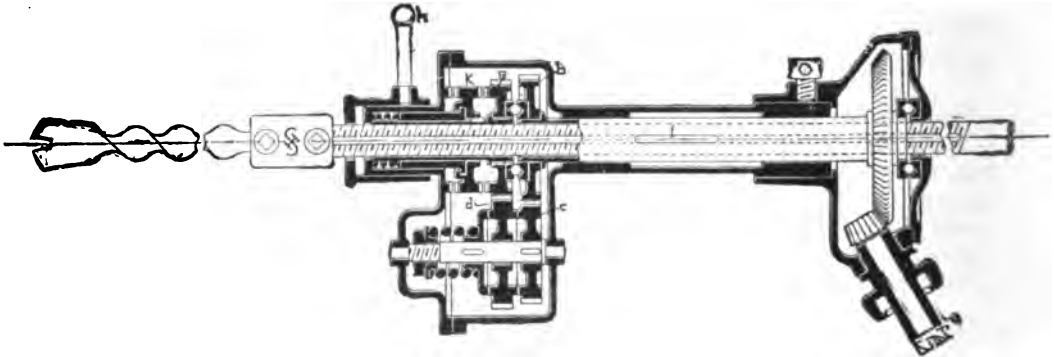


bezw. des Vorschubes innerhalb nicht zu weiter Grenzen der wechselnden Gesteins­härten möglich, wenn der Antriebs-Elektromotor Serienwicklung erhält. Bei Dreh­strom-Elektromotoren ist die Selbstregulierung der Tourenzahl nur in sehr geringem Maße vorhanden. Man wird bei wechselnden Gesteins­härten häufig gezwungen sein, ein angefangenes Bohrloch aufzugeben. Durch Auswechseln der Antriebs­räder der Spindel läßt sich zwar die Tourenzahl der Spindel und damit auch die Vorschubgeschwindigkeit des Bohrers der Gesteins­härte anpassen, aber naturgemäß nicht während des Bohrens.

Die von der Firma Siemens & Halske A.-G. gebauten, von W. Meißner entworfenen Drehbohrmaschinen für weiches Gestein besitzen ebenfalls einen Differential-Vorschub mit besonderen Einrichtungen, die der Firma durch Patente geschützt sind. (Selbstregelnder Vorschub D.R.P. Nr. 75303 und mechanischer Rückschub D.R.P. No. 112973). Die Maschinen werden in zwei Ausführungen hergestellt, nämlich für Antrieb durch biegsame Welle und Motorkasten (wie oben beschrieben), sowie für direkten Anbau des Motors. In beiden Fällen ist die Bohrleistung dieselbe und die Leistung des Antriebsmotors 1 PS.

Die Figur 125 veranschaulicht die Einrichtung der mittelst biegsamer Welle angetriebenen Maschine. Die biegsame Welle, durch eine Klauenkuppelung (a)

Fig. 125.



mit der am hinteren Ende der Maschine (rechts) befindlichen Antriebswelle gekuppelt, versetzt durch Vermittlung zweier konischer Räder das die Bohrspindel umgebende Rohr (Mitnehmerrohr) und damit auch die Spindel selbst in rechts drehende Bewegung. Die Spindel dreht sich in einer im vorderen (linken) Maschinen­ende befindlichen Mutter (Spindel­mutter oder Vorschubmutter). Da die Spindel linksgängiges Gewinde besitzt, so muß sie sich

1. rückwärts schrauben, wenn die Spindel­mutter feststeht, und zwar bei jeder Umdrehung um die Höhe eines Schraubenganges; dagegen
2. vorwärts schrauben, wenn die Spindel­mutter in derselben Richtung wie die Spindel, aber schneller als diese, sich dreht.

Die Ausführung dieses Prinzipes erfolgt bei der Drehbohrmaschine von Siemens & Halske in folgender Weise: Das auf dem vorderen Ende des Mit­nehmerrohres sitzende Zahnrad b setzt mittelst der Zahnräder c und d das Zahn­rad e in Drehung, und es ist das Übersetzungsverhältnis der Räder so gewählt, daß das Rad e schneller als das mit der Spindel gleich schnell rotierende Rad b, rotiert. Durch das mit seitlichen Kupplungszähnen versehene Kupplungsrad k, welches sich durch Verschieben des Handgriffes nach vorn oder hinten verschieben läßt, kann die Spindel­mutter entweder durch Kuppeln mit dem Maschinengestell festgehalten werden, wodurch die Spindel rückwärts geht; oder durch Kuppeln



mit dem Zahnrade e in schnellere Drehung versetzt werden als ihre Spindel, wodurch letztere vorwärts geschoben wird. Der Rücklauf (bei festgehaltener Spindel-mutter) erfolgt mit weit größerer Geschwindigkeit, als der Vorschub, da bei letzterem nur die Differenz der Umdrehungszahlen zwischen Spindel und Mutter in Betracht kommt. Auch behält der Antriebs-Elektromotor bei diesem Umsteuern immer dieselbe Dreheinrichtung bei. Man kann daher, da keine bewegten größeren Massen ihre Drehrichtung zu ändern haben, die Umsteuerung auf Rückwärtsgang nahezu augenblicklich ausführen. Dies gewährt auch während der Arbeit den großen Vorteil, daß man den Bohrer sofort auf kurze Zeit rückwärts laufen lassen kann, wenn man an dem veränderten Tone der Maschine wahrnimmt, daß der Bohrer im Bohrmehle festzulaufen droht.

Der wichtigste Unterschied der Drehbohrmaschine von Siemens & Halske gegenüber den anderen Systemen besteht in dem sich selbsttätig nach der Gesteinhärte regelnden Vorschub des Bohrers. Diese Regelung erfolgt dadurch, daß von den oben genannten beiden Rädern c und d nur c durch Nut und Feder mit der gemeinschaftlichen Achse gekuppelt ist, während d nur durch eine Preßfeder gegen c gedrückt und durch Reibung mitgenommen wird. Die Preßfeder wird nun durch eine vor derselben sitzenden Mutter so gespannt, daß d von c mitgenommen wird, solange der Bohrer mit voller Vorschubgeschwindigkeit in das Gestein eindringen kann. Sobald aber der Bohrer auf härteres Gestein stößt, gleitet das Rad d gegen c und der Bohrer dringt nur so schnell in das Gestein ein, als es die Gesteinhärte zuläßt. Der selbstregelnde Vorschub ermöglicht es daher, die Drehbohrmaschine auch in Gestein mit wechselnder Härte, wie z. B. in Kalisalzen mit Anhydritschnüren und in dem mit harten Kalkschichten durchsetzten weichen Eisenerz (Minette) in Luxemburg und Lothringen, mit bestem Erfolg anzuwenden.

Die Drehbohrmaschine mit direkt angebautem Elektro-Motor (Motormaschine) von Siemens & Halske beruht auf dem gleichen Prinzip, wie die vorstehend beschriebene Maschine; bedarf daher wohl keiner weiteren Erläuterung. Der Strom wird dem Motor durch einen Anschlußstöpsel zugeführt. Zum Ein- und Ausschalten des Motors dient ein am Motor befindlicher Dosenausschalter; die Drehstrom-Elektromotoren besitzen außerdem noch einen Umschalter. Der letztere hat den Zweck, eine etwa durch Vertauschung zweier Zuleitungen hervorgerufene falsche Drehrichtung des Motors wieder richtig zu stellen.

Das Gewicht der vollständigen Motormaschine beträgt 90 kg, während die Drehbohrmaschine (Fig. 125) für Antrieb durch biegsame Welle nur 37 kg wiegt.

Schlußbemerkung. Einige Ergänzungen sind zu finden in der ersten Auflage unseres Leitfadens auf den Seiten 150—165.

## Die elektro-magnetische und elektro-statische Scheidung (Aufbereitung).

Dieselbe bezweckt Trennung mineralischer Gemenge auf Grund ihres natürlichen, oder künstlich veränderten, magnetischen und elektrischen Verhaltens und wird mit Erfolg da angewandt, wo der zu geringe Unterschied in den spezifischen Gewichten der Gemengebestandteile eine Trennung derselben auf nassem Wege gegenwärtig unmöglich macht.

Man unterscheidet außer den künstlichen Dauermagneten (Stahlmagneten):

1. natürliche Dauermagnete sog. Ferromagnete und zwar:
  - a) Starkmagnete: Magneteisenstein oder Magnetit (Eisenoxyduloxyd  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) und Magnet-Kies ( $\text{F}_{11}\text{S}_{12}$ )\*);
  - b) Schwachmagnete: Spat, Rot-, Braun-, Chrom-, Raseneisenstein, Eisenglanz, Fahlerz, Zinkblende, Malachit, Kupferlasur, Buntkupfererz, Kupferkies, Wolframit, Monazit (mit Thor und Cer), ferner Schiefer, Glimmer, Asbest, Dolomit, Hornblende;
2. mehr oder weniger leicht magnetisierbare, d. h. für magnetische Kraftlinien durchlässige (permeable) Körper und unter diesen nach Faraday (1845);
  - a) paramagnetische Körper, welche, in Stabform zwischen die Pole eines kräftigen hufeisenförmigen Elektromagneten gebracht, sich in die Richtung der Kraft-Linien, also axial (oder polar) einstellen (Eisen, Nickel, Kobalt, Mangan, Palladium, Chrom, Platin, Osmium und fast alle Eisenverbindungen mit Ausnahme des Ferrozyankaliums; auch Sauerstoff als Gas, noch mehr aber im flüssigen Zustande, ebenso auch flüssige Luft);
  - b) diamagnetische Körper, welche scheinbar von den Polen abgestoßen, sich senkrecht zu den Kraftlinien, also äquatorial einzustellen suchen (besonders Wismut, dann auch Antinom, Zink, Zinn, Kadmium, Quecksilber, Blei, Silber, Kupfer, Gold, Kalkspat, Schwerspat, Phosphor, Schwefel, Schwefelkies oder Pyrit  $\text{F}_8\text{S}_2$ )\*).

\*) Auf die eigentümliche Erscheinung, daß das magnetische Verhalten des Eisens vom Schwefelgehalt abhängt, hat Wedding zuerst hingewiesen. In der Tat ist es auffallend, daß an sich nichtmagnetisches Eisen durch einen sehr geringen Schwefelgehalt (Magnetkies) sehr magnetisch wird, dann aber bei hohem Schwefelgehalt im Pyrit oder Markasit seinen Magnetismus nahezu vollständig verliert. Eigenartig ist es auch, daß der chemisch gebundene Wassergehalt die Magnetisierbarkeit des Eisens herabsetzt, also durch Rösten die Magnetisierbarkeit des Eisens wesentlich erhöht wird. Bemerkenswert ist noch, daß im allgemeinen die Oxyde stärker magnetisch sind als die entsprechenden Sulphide und Karbonate.

Den Para- und Dia-Magnetismus könnte man durch folgende Annahme in Zusammenhang zu bringen versuchen: Alle Körper, selbst Luft und der sog. Äther, sind mehr oder weniger magnetisch, bezw. magnetisierbar (permeabel für magnetische Kraftlinien) und erweisen sich:

paramagnetisch, wenn sie permeabler sind als das umgebende Mittel (Luft, Äther),

diamagnetisch, wenn sie weniger permeabel sind als das umgebende Mittel.

So zeigt sich konzentrierte Eisenchloridlösung in hohlem Glastroge zwischen den Polen eines kräftigen Elektromagneten paramagnetisch; dagegen ein in diese Flüssigkeit eingehängtes, mit verdünnter Eisenchloridlösung gefülltes Glasröhrchen diamagnetisch. Hiernach könnte man sagen, die verdünnte Lösung, weniger magnetisch als die konzentrierte, wird durch letztere aus dem magnetischen Felde herausgedrängt und somit den Diamagnetismus als einen schwächeren Grad des Paramagnetismus auffassen. Bezeichnete man die Permeabilität (Magnetisierbarkeit) der Luft mit 1,0, so wäre z. B. die des Wismut 0,99982, also nur sehr wenig davon verschieden; dagegen die des weichen Eisens unter gewöhnlichen Verhältnissen 3000.

Für die magnetische Aufbereitung gilt nach Delcassé und Plücker angenähert folgende Zahlenreihe der Magnetisierbarkeit:

Eisen . . . . .	100 000
Magnetit . . . . .	40 000
Eisenspat . . . . .	800
Mangansulfat . . . . .	100
Nickeloxyd . . . . .	40

Unter dieser Annahme könnte man den Diamagnetismus vergleichen mit dem Auftrieb leichter Körper in einer spezifisch schwereren Flüssigkeit und sagen:

Wie das Wasser (im Felde der Erdschwere) leichtere Körper verdrängt und der erdwärts gerichteten Erd-Anziehung entgegen nach oben treibt (Auftrieb), so verdrängen im Felde eines Magneten, von Kraftlinien durchflossene Luft oder Äther, alle Körper, welche weniger magnetisch sind, derart, daß sie entgegengesetzt der Pol-Anziehung, nicht axial in die Nord-Süd-Linie (wie die Paramagnete), sondern aus dieser Richtung heraus, in eine äquatoriale Richtung sich einstellen (wie die Diamagnete).

Auf das verschiedene magnetische Verhalten der Körper stützt sich die magnetische Aufbereitung, die naturgemäß um so schwieriger wird, je geringer der magnetische Unterschied der einzelnen Teilchen des meist pulverförmigen (trockenen) Gemenges ist, die man voneinander trennen will, und zu der man, wie bereits oben angedeutet wurde, übergeht, wenn die nasse Aufbereitung wegen des geringen Gewichts-Unterschiedes\*) der einzelnen zu trennenden Körper versagt.

\*) Folgende grundlegende kurze Andeutungen über die nasse Aufbereitung möchten dem Fachmanne hier im Vergleiche und Zusammenhange mit der magnetischen als Anregung zum Nachdenken und Forschen willkommen sein: Sämtliche Vorrichtungen unserer Aufbereitungsanstalten, so verwickelt sie auch erscheinen mögen, lassen sich meines Erachtens doch in nur vier Gruppen unterbringen; nämlich in solche, welche bezwecken:

1. Zerkleinerung (Fäustel in der Hand des Erzscheiders, Steinbrecher, Walzwerk, Mühle, Pochzeug),
2. Trennung der Körner nach dem absoluten Gewichte (Klassieren durch Siebe, Trommeln, überhaupt alle Mittel zur Trennung nach der Korngröße),
3. Trennung der Körner nach dem spezifischen Gewichte (Setzmaschinen, Herde),
4. Trennung zugleich nach dem absoluten und spezifischen Gewichte oder nach der sog. „Gleichfälligkeit“ (Sortierung durch Wasserstrom in Schlammgräben, Spitzkasten, Stromsetzmaschinen).

Daß es bei den wichtigsten Vorrichtungen der nassen Aufbereitung, den Setzmaschinen und allen anderen Vorrichtungen, bei denen die Gemenge aus geringer Höhe durch das Wasser fallen, vorzugsweise auf das spezifische Gewicht, dagegen nicht auf das absolute Gewicht (Korn-

**Anwendung.** Einfach und in Maschinenfabriken längst bekannt ist das Herausziehen der Eisen-Späne und anderer paramagnetischer Körper aus den Rotguß- (oder sonstigen nicht paramagnetischen Metall-) Spänen der Metall-Drehereien und Werkstätten mittels genügend starker Magnete (Elektromagnete). In entsprechender Weise befreit man längst Waschgold, Silber (Norwegen-) und Zinn (Sachsen)-Erze von beigemengtem Magneteisenerz (und zieht auch der Arzt den Eisenplitter aus dem Auge des Arbeiters).

Handelt es sich jedoch um die Trennung der Körperteilchen von geringem magnetischen Unterschiede, so sind besondere Hilfsmittel (Rösten) und sehr starke Elektromagnete zur Erzeugung von magnetischen Feldern mit hoher „Kraftlinien-Konzentration“ mit Zuhilfenahme verfeinerter künstlicher maschinentechnischer Vorrichtungen erforderlich.

Eine der ersten magnetischen Aufbereitungsmethoden wurde angewandt bei der Trennung eines Gemenges von Zinkblende und Spateisenstein, die auf nassem Wege nicht möglich war, wegen des geringen Unterschiedes im spezifischen Gewichte der Gemengeteilchen. Durch starkes Rösten des Gemenges wurde der Spateisenstein in stark magnetisches Eisenoxyduloxyd ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) verwandelt und nun die Trennung mittels magnetischer Scheidevorrichtungen ausgeführt.

Das Röstverfahren war aber umständlich und unwirtschaftlich.

Deshalb führte Wetherill (1896) die Anwendung sehr kräftiger Elektro-Magnete mit keilförmig zugeschärften Polschuhen zur Erzielung einer starken Kraftlinien-Konzentration zwischen diesen Pol-Schneiden ein, auf welche früher schon Mann aufmerksam gemacht hatte. Nach diesem Wetherill-Verfahren rechnete man für die Spateisenstein-Zinkblende-Separation etwa nur 1 Hektowatt Stromverbrauch auf 1 Tonne Gemenge, d. i. etwa den Verbrauch einer 32 kerzigen Glühstromlampe (Schnelle, Ingenieur der Metallurgischen Gesellschaft A.-G. Frankfurt a. M. „Die neuesten Fortschritte auf dem Gebiete der magnetischen Aufbereitung“. Craz und Gerlach Freiberg in Sachsen S. 6.)

In Deutschland haben sich besondere Verdienste um die Verbesserung und Einführung der magnetischen Aufbereitungen erworben: die Metallurgische Gesellschaft A.-G., Frankfurt a. M. und die Maschinenbau-Anstalt Humboldt, Kalk bei Köln, welche die Wetherill-Separatoren und vollständigen Anlagen seit mehreren Jahren baut, überhaupt diesen ganzen Geschäftszweig von der metallurgischen Gesellschaft übernommen hat. In ihren verschiedenen Versuchsanstalten werden die Apparate auf ihre Leistungsfähigkeit geprüft und verbessert. Auch der Mecher-

---

größe) in dem Maße, wie man bislang annahm, ankommt, habe ich auf Grund eigenhändiger, seit 1888 in verschiedenen Großbetrieben mit Betriebssetzmaschinen ausgeführter Versuche, entgegen den bis dahin allgemein herrschenden Anschauungen Rittingers und v. Sparres nachgewiesen und veröffentlicht in der Zeitschrift d. Ver deutscher Ing. 1891 (Bd. XXXV) S. 1213 unter der Überschrift: „Beiträge zur Klarstellung der Bewegungsvorgänge in der sog. hydraulischen Setzmaschine und daraus sich ergebende Vorschläge zur Vereinfachung unserer Erzaufbereitungsanstalten“. Unter anderen fand ich, daß man mit der in das Setzfaß gesteckten Hand und mittels eines in das Setzfaß eingestellten kleinen Setzgefäßes in Form eines kleinen Laternenzylinders oder eines größeren Glaszylinders, die unten mit einem Sieb abgedeckt waren, in wenigen Sekunden die Bewegungsvorgänge in der Setzmaschine, auf die es ankommt, fühlen und sehen kann. In den Glaszylindern zeigt sich deutlich, wie die entsprechende Schichtung nach wenigen Stößen im Setzfaß sich vollzogen hat und ob die Arbeit auf allen Stellen des Setzsiebes gleich gut ist. Den besten Beweis, daß ein „Setzen“ in der von mir gefundenen Weise, also ohne vorherige Trennung nach der Korngröße, möglich ist, liefern die Kohlen-Aufbereitungen „Baum“ in Herne, Westfalen. Daß die zu trennenden Gemengteile für sich bestehen müssen (also nicht eingesprenzt sein dürfen) und daß sie auch einen genügenden Unterschied im spezifischen Gewichte haben müssen, ist selbstverständlich. Je inniger die Verwachsung zwischen Erz und Gangart und je geringer der Unterschied der spez. Gewichte der zu trennenden Teilchen ist, desto schwieriger wird deshalb der Trennungsvorgang und desto verwickelter naturgemäß die Aufbereitungsanstalt.

nicher Bergwerks-Aktienverein, dessen Apparate in den Grusonwerken gebaut werden, gehört hierher. (Langguth, Elektromagn. Aufbereitung. Wilh. Knapp, 1903.)

Nach dem jetzigen Stande der magnetischen Aufbereitung, der schon einen hoffnungsvollen Blick in die Zukunft gestattet, könnte man die wichtigsten Vorrichtungen zur Trennung verschiedener permeabler Erzgemenge mittels kräftiger Magnete einteilen in solche, welche bezwecken:

- A. Wagerechte Ablenkung aus der lotrechten Fallbahn,
- B. Anheben des Materiales und seitliches Versetzen (Kreuzband-Type).

Zu B gehören folgende wesentliche Bestandteile:

1. Zweckmäßig gestaltete, meist keilförmig zugespitzte Pole kräftiger Elektromagnete zur Erzeugung von Magnetfeldern hoher Kraftlinien-Konzentration (Mann, Wetherill 1896):
2. Transportbänder oder Walzen (Scheidungsrollen) die eine zweifache Aufgabe zu erfüllen haben:
  - a) das Gemenge mit passender Geschwindigkeit gleichförmig durch das magnetische Feld zu führen,
  - b) die Magnetpole gegen Zubauen durch das angezogene Haufwerk schützen sollen (Abzugband).

Zu a. Bei der ersten und einfachsten Einrichtung dieser Art wird das Gemenge auf einem horizontalen Transportbänder in unmittelbare Nähe eines sehr kräftigen Elektromagneten gebracht, hier abgeworfen und damit freigegeben. Hierbei werden die magnetisierten Teilchen aus der vertikalen Fallrichtung in die horizontale Richtung abgelenkt, so daß das zu Boden fallende Produkt durch Scheidewände getrennt in gesonderten Gefäßen aufgefangen werden kann.

Zu b. Kreuzband-Type (Metallurgische Gesellschaft A.-G. und Humboldt).

Um sich von der äußeren durch die Arbeitsweise bedingten Gestalt ein ideelles Bild zu entwerfen, denke man sich zwei Messer (von weichem Eisen) auf einer Tischplatte so gelegt, daß ihre Schneiden in sehr geringer Entfernung voneinander einen Schlitz zwischen sich bilden; ihre Stiele dagegen als Elektromagnetkerne derart ausgebildet, daß ihre untere Begrenzung mit den Schneiden etwa in der Ebene der Tischplatte liegen.

Die Schneidenform und die geringe Entfernung der Pole erzeugen in dem Schlitz zwischen dem Nord- und Südpol ein sehr starkes magnetisches Feld, sobald der von einer kleinen Dynamomaschine (oder aus einer anderen Elektrizitätsquelle) kommende Strom die Solenoidwindungen der Kerne umkreist.

Das pulverförmige oder feinkörnige Gemenge wird nun auf einem Transportbänder senkrecht zu den Polschneiden unterhalb derselben, also etwa in der Ebene der Tischplatte gleichmäßig vorbei geführt.

Hierbei springen die magnetisierbaren Teilchen sofort vertikal in die Höhe unter die Polschneiden und würden diese zubauen, wenn nicht ein anderes Transportbänder (Abziehband) „gekreuzt“ zu dem ersteren unmittelbar unter den Polen (also in der Richtung des Schlitzes) entlang geführt würde. Dieses Abziehband verhindert die unmittelbare Berührung zwischen magnetisierten Körnern und Polen, führt die unter ihm hängenden magnetisierten Teilchen aus dem Kraftlinienfeld heraus und läßt sie dann früher oder später in darunter angebrachte Gefäße getrennt fallen je nachdem sie weniger oder mehr magnetisch sind. Auf diese Weise werden meist drei Sorten gewonnen, von denen die Mittelsorte oft noch eine weitere Scheidung zweckmäßig erscheinen läßt.

Die nebenstehenden Figuren A und B stellen die gegenwärtige „Kreuzband-Type“ der Maschinenbau-Anstalt Humboldt dar.

- c) Um die Transportbänder zu umgehen, gibt man das Gemenge unmittelbar auf magnetisierte, in Drehung versetzte Walzen auf.

Bei dem „Walzen-Apparate der Metallurgischen Gesellschaft“ rotiert entsprechend langsam zwischen dem Nord- und Südpole des Elektromagneten eine glatte Metallwalze, welche ähnlich wie der Anker einer Dynamomaschine durch Induktion in verschieden starke magnetische Zonen geteilt wird. Die Walze zieht infolgedessen das durch einen Aufgebetrichter zugeführte Gemenge mehr oder weniger stark auf ihre Oberfläche und läßt es an den verschiedenen Zonen fallen, je nach dem Grade der magnetischen Kraft der einzelnen Gemengteile.

Fig. A.

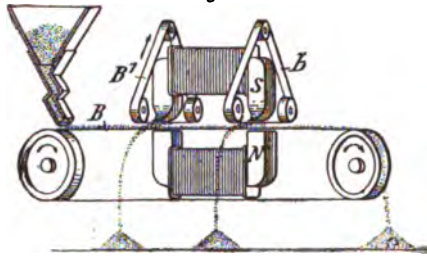
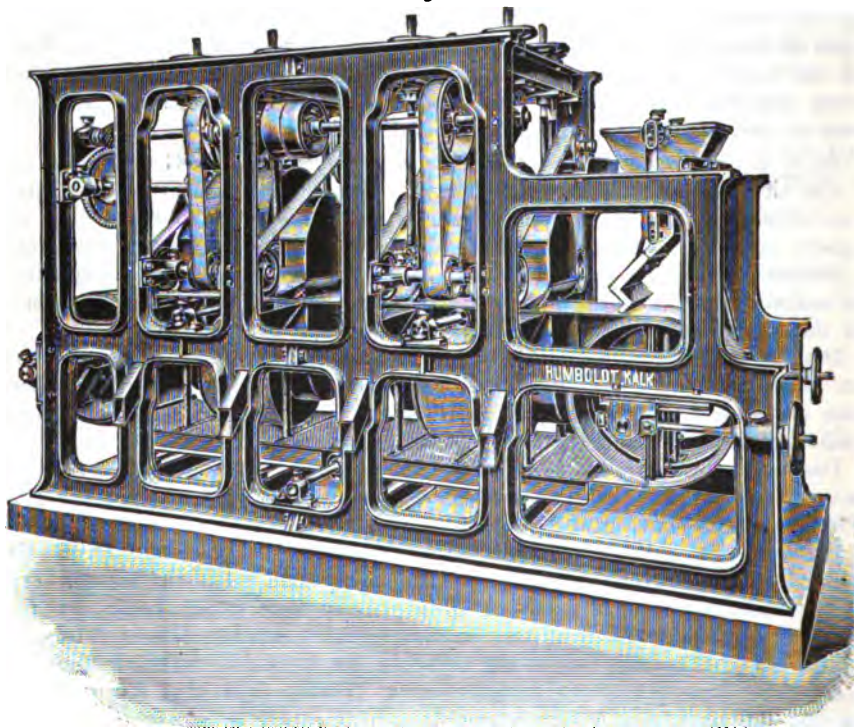


Fig. B.



Die am wenigsten magnetischen Teile fallen zuerst ab, das am meisten magnetische haftet am längsten an der Walzenoberfläche, folgt der Drehrichtung und fällt endlich erst ab in der Nähe der neutralen Zone am untersten Teile der Walze. Um die Scheidezone recht breit zu machen, stellt man die Pole des Elektromagneten zu beiden Seiten der Walze nicht horizontal einander gegenüber, sondern vielleicht den Nordpol da, wo am Zifferblatt einer feststehenden Uhr die

VII steht, und den Südpol etwa da, wo die II steht. Wenn die Walze sich im entgegengesetzten Sinne der Uhrzeiger dreht, nimmt die Scheidezone den Bogen VII bis II ein. Bei VII findet die Aufgabe des Materiales in gleichmäßig dünner Schicht unmittelbar auf die Walze statt. Das zuerst bei VII abfallende Material wird meist noch einer unterhalb liegenden Walze übergeben.

Die gegenwärtige Einrichtung der Walzen-Apparate der Maschinenbau-Anstalt Humboldt ist durch die Figuren C und D angedeutet.

Die heutigen Mechnischer Magnet-Scheider sind Verbesserungen der Scheider von Buchanan durch Ingenieur Langguth.

Bei den älteren (Fig. 126) liegen die zylinderförmigen Elektromagnete, von denen der eine nord-, der andere süd magnetisch ist, horizontal einander gegenüber, etwa wie die Walzen eines Gesteinswalzwerkes. Die Zylinder tragen an den beiden Enden die Wicklungen für den elektrischen Strom und stehen voneinander ab um die Korngröße des Gemenges. In diesem Spalt zwischen den beiden Walzen, in welchem die größte Kraftlinien-Konzentration stattfindet, wird das Haufwerk aufgegeben. Dadurch, daß die beiden Walzenumfänge sich hier nach aufwärts, also dem freien Falle entgegengesetzt bewegen, fällt nur das unmagnetische Erz durch den Spalt nach unten, das magnetisierte Erz wird mit in die Höhe genommen, über die Scheitel beider Walzen transportiert und auf den dem Spalt gegenüberliegenden Teilen der Walzenumfänge infolge der Schwer- und Fliehkraft um so eher abgegeben, je weniger magnetisch sie sind. Die Erz-Scheider erwiesen sich aber aus mancherlei Gründen als unvollkommen.

Bei den neuen Mechnischer Scheidern liegt die Nordpol-Walze höher als die andere jetzt festgelegte etwas keilförmige (Pol). Der Spalt ist größer gewählt. Das Gemenge wird auf einem geneigten Schieber dem tiefsten Punkte der oberen Walze oberhalb des Spaltes zugeführt. Das unmagnetische fällt über die Vorderkante des Schiebers herunter. Das magnetische Gemenge wird von der oberen Walze mit in die Höhe genommen und getrennt abgegeben, das weniger magnetische zuerst, und in voreinander liegenden Gefäßen aufgefangen (Fig. 127).

Die Maschinenbauanstalt Humboldt teilt mir mit, daß sie zurzeit beschäftigt ist mit der Ausführung eines neuen Separators, der sich durch ausserordentliche Leistungsfähigkeit und geringen Verschleiß auszeichnet.

Auch auf dem Gebiete der elektro-statischen Scheidung (also elektrischen, nicht magnetischen) konstruiert genannte Anstalt einen industriell brauchbaren Scheider sowohl, als auch eine brauchbare Elektrizitäts-Erreger-„Apparatur“ für 20000 bis 30000 (und mehr) Volt totale Spannung (zusammen mit der metallurgischen Gesellschaft). Diese elektrostatischen Scheider dienen zum Trennen der-

Fig. C.

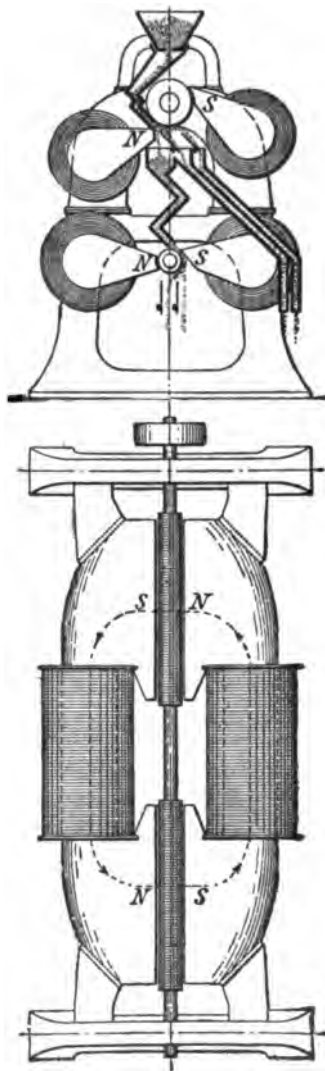
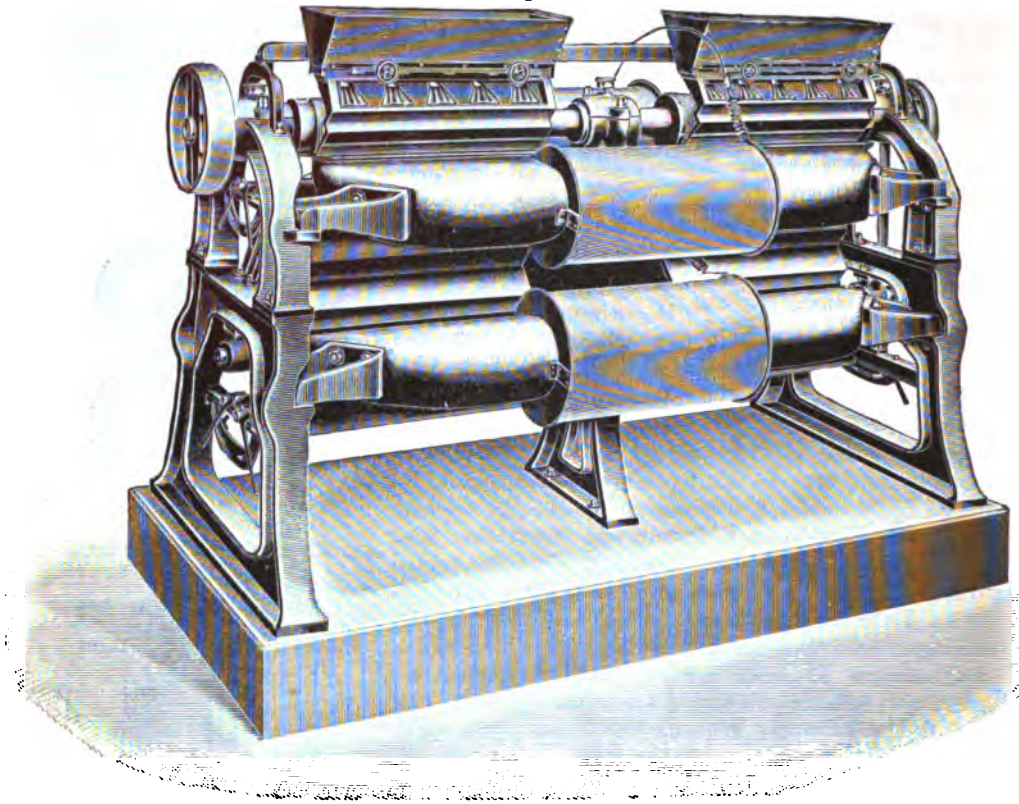




Fig. D.



jenigen schwach magnetischen Erze, die sich selbst mit den gegenwärtig besten magnetischen Scheidevorrichtungen nicht mehr scheiden lassen, (z. B. Kiesblenden,

Fig. 126.

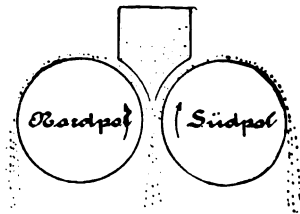
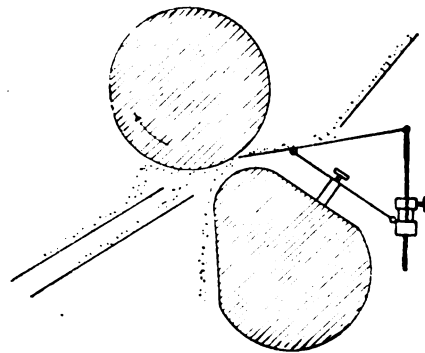


Fig. 127.



Kupfererzgemenge und dergl.) und beruhen auf der elektrischen Leitungsfähigkeit der Erzgemenge.



## Drahtlose Telegraphie.

---

**Einleitende Bemerkungen.** Die drahtlose Telegraphie, eine außerordentlich wichtige Anwendung der elektromagnetischen Forschung, kann als das vollkommenste, eigenartigste elektro-maschinentechnische Verkehrsmittel der Gegenwart angesehen werden.

Wir wollen versuchen, ihre Einrichtung, Wirkungsweise und die bei ihr auftretenden Bewegungsvorgänge zu vergleichen mit denen an den beiden ebenfalls vollkommensten Saiten-Instrumenten.

Die Geige (oder der Kontra-Baß) sei als „Sender“, das Klavier (oder der Konzertflügel) als „Empfänger“ der Wellenstrahlen in unserem Gleichnis aufgefaßt.

Wenn nun auch solcher Vergleich das allgemeine Kennzeichen seiner Sippe, das „Hinken“, nicht wird verbergen können, so erscheint er doch nicht ganz unpassend. Trifft man doch in Fach-Kreisen und -Zeitschriften der drahtlosen Telegraphie Bezeichnungen wie: „elektrischer Ober-, Grund-Ton“, „Stimmung“, „Resonanz“, selbst „Spektrum“ des „Senders“, der seine elektrischen „Wellenstrahlen“ nach dem „Empfänger“ der anderen Station sendet.

Bei unserer Betrachtung müssen wir die einzelnen Bestandteile der Geige im Zustande der Ton-Erregung, also in den Armen und Händen des Spielers, auseinanderhalten und unterscheiden deshalb: den Spieler als Motor oder Energie-Quelle in seiner „losen“ Verbindung („losen Kuppelung“) mit der Geige durch die Gelenke an Schulter, Hand, Fingern des den Geigenbogen führenden Spielers und insbesondere durch die von Natur mit unzähligen Widerhäkchen ausgestatteten Pferdehaare des Bogens, vermittels welcher die mechanische Arbeit (Energie) des Motors in Ton-Stärke und -Klang der Saite verwandelt wird. Während die Tonhöhe dadurch verändert wird, daß die Saiten mittels der Finger der linken Hand auf das Griffbrett gedrückt und dadurch verkürzt oder verlängert werden.

Eine Violinen-a-Saite zunächst auf eine sog. „stumme“ Violine (die anstatt des Resonanzkastens nur die Zarge enthält, welche bei einem regelrechten Instrumente den oberen und unteren Resonanzboden miteinander verbindet) gespannt, auf ihren Ton (Kammerton 435 Doppelschwingungen in einer Sekunde) gestimmt und nun möglichst stark gestrichen, überträgt ihre 435 Eigenschwingungen und Wellen kaum hörbar ringsum nach allen Seiten hin auf die umgebende Luft. Ein winzig kleiner Teil derjenigen Wellenstrahlen, von welchen das in unmittelbarer Nähe stehende Klavier (Flügel) getroffen wird, würde hier die gleichgestimmte Klavier-Saite treffen und nun derart in Mitschwingung versetzen, daß ein sehr aufmerksamer, scharfer Beobachter diese Mitschwingung wahrnehmen würde, sei es durch das Ohr als a-Ton, sei es durch das Auge an dem über die Mitte der Klaviersaite gehängten Papierschnitzelchen (Reiterchen), welches die Schwingungen

verrät. Hätte man auch auf die anderen Klavierseiten Reiterchen gesetzt, so würden diese in Ruhe zu verharren scheinen und damit beweisen, daß ihre Saiten durch die ebenfalls empfangenen Wellen nicht in Mitschwingung versetzt wurden. Doch bei genauer Prüfung zeigt sich, daß einige Saiten, besonders die höhere Oktave von a (mit 2.435 Schwingungen), nach Helmholtz\*) der „erste harmonische Oberton“, auch noch sichtbar mitschwingt und auch ihren feinen Ton hören läßt. Nur wenn wir die Klaviersaite a und diese höhere Oktave etwas verstimmen, würden beide auch nicht mehr wie vorher mitschwingen.

Das Schlußergebnis unserer Betrachtung ist, daß der durch die stumme Violine gebildete „geschlossene“ Schwingungskreis wohl befähigt ist, eine verhältnismäßig große Energie aufzunehmen, nicht aber auf größere Entfernung zu übertragen.

Jetzt soll unsere a-Saite auf einer regelrechten Geige mit Resonanzkasten aufgespannt sein. Befestigt am Seitenhalter läuft sie dann über den Steg auf dem Geigenkasten, am Griffbrett entlang über den Sattel am oberen Ende des letzteren hinweg in den Wirbelkasten hinein bis zu ihrem Wirbel, über den sie gewickelt ist und durch dessen Drehung sie auf ihren Ton gestimmt wird.

Ebenso kräftig angestrichen, wie vorhin auf der „stummen“ Geige, teilt die Saite die ihr mitgeteilten Eigenschwingungen (435/Sek.) unmittelbar durch den Steg nun auch der Decke (gewölbten und ausgeschweiften Oberplatte aus Fichtenholz mit zwei f-förmigen Schalllöchern), von dieser durch die „Stimme“ (ein dünnes, zwischen Decke und Boden gespreitztes Fichten-Stäbchen) dem Boden (Unterplatte aus Ahorn) mit, der durch die ringsherumlaufende Zarge mit der Oberplatte verbunden ist. Jetzt schwingt das ganze Geigen-System samt der im Resonanzkasten (Resonator, Kondensator) befindlichen Luft.

Viel gewaltigere, auch der Form nach eigenartige, weittragende Ton-Wellen werden nun von dem offenen Schallkörper der Geige ausgesandt, durch die Luft auf das weiter entfernte Klavier übertragen, von den auf gleichen Ton gestimmten Saiten durch stärkeres Zittern der Reiterchen, bzw. stärkeres Mitklingen des Klavier-Systemes geäußert.

\*) Nach Helmholtz' klassischen Untersuchungen (1862) über Ton-Bildung und Ton-Empfindung wissen wir, daß ein einfacher Grundton nicht für sich besteht, sondern daß jeder Grundton von „Obertönen“, deren Schwingungszahlen das 2, 3 . . . mehrfache von denen des Grundtones sind, begleitet ist, und daß entsprechend die Tonwelle ihre eigenartige Form und der Ton dadurch seinen eigenartigen Klang (Klangfarbe) annimmt, der uns in seiner Gesamtheit anspricht. Das Zustandekommen der Obertöne wird dadurch begünstigt, daß man die Saite nicht in der Mitte (im Schwingungsbauche), sondern etwa in  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{1}{3}$  ihrer Länge streicht (Geige) oder durch Hämmerchen anschlägt (Klavier) und dadurch zwingt, außer in ihrer ganzen Länge (Grundton) zugleich in einzelnen Abteilungen (Hälften, Dritteln . . .) zu schwingen, so daß diese mit den entsprechenden Obertönen den Grundton zu seiner Klangfarbe ergänzen. Durch das Mitklingen dieser Obertöne erscheint uns ein Ton von genau derselben Höhe (Schwingungszahl) und Stärke (Schwingungsweite) doch ganz anders, wenn er durch die menschliche Stimme oder ein Saiteninstrument (Geige, Flügel) oder ein Blasinstrument (Orgel, Trompete) hervorgebracht wird. So werden z. B. auf der Orgel die trompetenartig „schmetternden“ Töne dadurch erzeugt, daß man zugleich mit dem Grundtone eine Anzahl hochliegender Obertöne anbläst (Mixtur-Register). Auch die Vokale (a e i o u) sind die Ergebnisse des Zusammentönens von Grund- und bestimmten Obertönen, die durch die Mundhöhle durch Bildung eines Resonators von bestimmter Kapazität hervorgebracht werden. Zur experimentellen Darstellung dieser Tatsache eignet sich kein Instrument besser als die „Maultrommel“, ein in Lyraform gebogener Draht mit Stahlzunge, für einige Pfennige zu kaufen. Man legt das kleine Instrument gegen die nicht ganz geschlossenen beiden Zahnreihen bei zurückgezogenen Lippen und bringt nun die Stahlzunge in Schwingung. Bei richtig gestalteter Mundhöhle kann man dann deutlich die einzelnen Vokale weithin vernehmbar aushauchen (nicht sprechen). Dieser Schwingungskreis wäre als offener zu bezeichnen. Was hier gesagt ist, gilt entsprechend für alle Schwingungen, also auch in gewisser Weise für die elektrischen Schwingungen der „drahtlosen Telegraphie“. Und man wird dann unwillkürlich gezwungen, anzunehmen, daß die vom Sender zum Empfänger übertragenen Wellen je nach den zu ihrer Erzeugung benutzten Hilfsmitteln auch andere Formen und Eigenschaften haben müßten, wie auch oben für die beste Geige in den Armen des größten Künstlers anerkannt wurde.

Während also die Seite mit dem Geigen-Körper durch ihre „feste Kuppelung“ einen geschlossenen Schwingungskreis bildet, der besonders zur Aufnahme von Bewegungs-Energie, weniger aber zur Fernwirkung befähigt ist, bildet die „lose Kuppelung“ zwischen dem Resonanz-Kasten der Geige und der umgebenden Luft einen „offenen Schwingungskreis“, der besonders befähigt ist, die aufgenommenen Schwingungen und Wellen auf größere Entfernungen fortzupflanzen.

„Die Energieabgabe (Ton) des Gebers (der Geige) ist am größten, wenn zwischen dem geschlossenen Schwingungskreis und dem Luftkreis Resonanz vorhanden ist“\*).

Bei den Geigen, an welchen ich meine Beobachtungen angestellt habe, resonierten die Geigenkasten und der Hohlraum beim Anklopfen und Anblasen auf „d“. Es schien auch, als ob die angestrichene d-Saite weiter trug als die anderen drei Saiten e, a, g. Besonders deutlich klangen die Obertöne aus der Geige heraus beim Anschlagen der g-Saite, also der tiefsten Saite, was zu erwarten war.

Am leichtesten ansprechen, und den kräftigsten, klarsten, reinsten, vollsten, weittragendsten und eindringlichsten Ton aber wird unter sonst gleichen Verhältnissen diejenige „Stradivari“, „Guarneri“, „Amati“ geben, bei welcher alle Teile der „Schwingungskreise“ in dem besten Verhältnisse zueinander stehen: sowohl der den Ton einführende („induzierende“), also Bogen und Saite, als auch der den Ton verstärkende, insgesamt als Fassungsraum („Kapazität“) bezeichnete Teil des Geigen-Systemes. Zugleich müßte jeder die Schwingung hindernde und damit den Ton „dämpfende“ Widerstand in allen Teilen möglichst klein sein. Das Holz muß trocken, elastisch und so dünn als möglich sein (neutrale Faserschicht)\*\*).

Nun kommt aber zuletzt noch hinzu die Art der oben genannten „losen Kuppelung“ zwischen Spieler, bezw. Bogen und Saite. Denn dieselbe Geige muß einen ganz anderen Ton geben in den Armen eines Arbeiters, der den Bogen packt, fest wie seinen Hammerstiel, als unter den wunderbar geschulten, nachgiebig-losen und doch auch sehnigen Armen, Händen und Fingern eines Paganini, Vieuxtemps, Joachim, Sarasate.

Kurz: Lose Kuppelung zwischen Kraftquelle und Saite, Induktion und dazu gehörige Kapazität, möglichst geringe Dämpfung in allen Teilen der Geige, bedingen die Tonbildung und begünstigen die Tonübertragung.

Das gilt, richtig gedeutet, für „Sender“ sowohl als auch „Empfänger“ in der Musik und drahtlosen Telegraphie.

Stände es nun gar in unserer Hand, die Größenverhältnisse der Geige sowie die den Bogen führende Kraftquelle beliebig zu verändern, zu verstärken, so würde entsprechend auch die Wirkung, die Tonübertragung jeder Entfernung angepaßt werden können. So kämen wir auf der „Sende-Station“ zur Verursachung eines gewaltigen Tones mit langen mächtigen Wellen. Auf der Empfangs-Station würde dagegen die Wirkung um so sicherer zur Wahrnehmung gebracht werden, je feiner, empfindlicher und zuverlässiger hier der Empfänger ist.

\*) Man vergleiche hiermit, was Slaby in dieser Beziehung über die „Abstimmung funken-telegraphischer Sender“ im Dezemberheft der Elektrotechnischen Zeitschrift 1905, S. 1154 u. ff. sagt. U. a. weist Slaby auch darauf hin, „daß der Resonanzkasten einer Stimmgabel nicht genau mit derselben im Einklang sein darf; ferner daß die beiden Resonanzböden einer Geige auf verschiedene Höhe abgestimmt sein müßten, um ihnen das Maximum der Klangfarbe zu geben“. Ich glaube, daß hier Dämpfungs-Erscheinungen (also innere Reibung) eine Rolle spielen, die uns an die Hysteresis der Dynamomaschinen erinnern.

\*\*) Bei einer gebogenen Platte werden die äußersten Fasern auf der konvexen Seite gezogen (+ Spannung), verlängert; auf der konkaven zusammengedrückt (— Spannung) verkürzt, nur bei der durch den Schwerpunkt des Querschnittes verlaufenden Faser, der „neutralen“ oder „elastischen“, heben sich Verlängerung und Verkürzung auf (+ —). Bei jeder Schwingung wiederholt sich dieser mit Reibungsarbeit verbundene Vorgang, der dämpfend auf die Schwingung (den Ton) einwirkt. Man vergleiche hiermit in dem früheren Abschnitte „Elektro-Magnetismus“ unter „Die magnetischen Eigenschaften des Eisens“ die Erklärung der „Hysteresis-Arbeit“.

Wir werden bald sehen, daß wir für die „elektrischen Töne“ in dem Branly'schen Kohärer (Fritter) oder auch im elektrolytischen Empfänger mit Telefon-Hörer einen sog. „Detektor“ („Entdecker“) haben, wie er vollkommener kaum auf einem anderen technischen Gebiete angetroffen wird.

Unsere Schilderung hat uns folgerichtig darauf geführt, daß in den beiden Stationen prinzipiell verwandte Vorrichtungen zu erwarten sind; aber in das Elektrotechnische übersetzt: in den Apparaten und Maschinen der Sender-Station die Vertreter der Hochspannung- und Starkstrom-Technik im Verein mit der Maschinentechnik; in der Empfänger-Station, die der Niederspannung und Schwachstrom-Technik im Verein mit der Fein-Mechanik.

Da übrigens die Sender-Station auch Depeschen empfangen, die Empfangs-Station senden muß, so schließen wir weiter, daß beide Stationen sogar vollständig übereinstimmend derart einzurichten sind, daß durch möglichst einfache Umschaltung der Sender zum Empfänger wird.

Noch für einen sehr wichtigen Teil der drahtlosen Telegraphie, die „Luftleitungs-Drähte (sog. Antennen“\*) müssen aus der Akustik einige Beziehungen aufgesucht werden.

Die Länge einer tönenden Saite ist gleich  $\frac{1}{2}$  ihrer Tonwellenlänge. Es entsprechen die Befestigungspunkte der Saite den Schwingungs-Knoten, die Mitte dem für das Zustandekommen der Tonwelle maßgebenden Wellen-Bauche. Denkt man die schwingende Saite hier durchgeschnitten und die Hälfte in einen steifen elastischen Stahlstab verwandelt, so könnte man diesen als den einen Zinken der allbekannten Stimmgabel auffassen, zu deren Vervollständigung noch ein zweiter gleicher Zinken und ein kurzer Verbindungs-Bogen der beiden Zinken mit dem Stiel hinzuzufügen wäre. Bei solcher durch Anschlagen in Schwingung versetzten Stimmgabel also liegt an den Zinkenenden je ein Schwingungsbauch, an den beiden Verbindungspunkten zwischen Verbindungs-Bogen und Zinken je ein Schwingungsknoten, ist die Zinkenlänge =  $\frac{1}{4}$  Wellenlänge und der Schwingungskreis als „offener“ zu bezeichnen, der also, wie wir schon oben hervorhoben, sehr befähigt ist, die von einem geschlossenen Schwingungskreise erhaltenen Schwingungen und Wellen auf größere Entfernungen hin fortzupflanzen.

Die beiden Zinken der schwingenden Gabel sind in jedem Augenblicke in symmetrischer Schwingung begriffen, könnten auch, anstatt U-förmig zusammengebogen, gerade gestreckt sein. Dann würde in der Mitte der eine der beiden Schwingungsknoten liegen und die Zinken in entgegengesetzter Richtung schwingen. Die schwingende Gabel gibt am Stiele frei in die Luft gehalten nur einen schwachen Ton, der erst durch Kuppeln mit einem mitschwingenden Körper, z. B. einer Tischplatte, durch festes Aufsetzen des Stieles laut vernehmbar wird. Wir machen hier also eine ganz entsprechende Beobachtung wie bei der Saite ohne und mit Kuppelung.

Wir werden später sehen, daß den gerade gestreckten Zinken der Stimmgabel, bei der drahtlosen Telegraphie die sogen. Luftleiter-Drähte (Antennen) entsprechen\*\*), durch die an der Geberstation die elektrischen Wellen ausgesandt, an der Empfangs-Station aufgenommen, in den Empfänger-Apparat eingeführt und durch den „Detektor“ wahrgenommen werden.

Noch überzeugender kann die Übertragung der Wellen gezeigt werden, wenn man zwei gleichgestimmte, mit einem eingestimmten Resonanzkasten gekuppelte Stimmgabeln einander in einiger Entfernung gegenüberstellt. Schlägt man nun die eine Stimmgabel an, so wird durch die von ihr ausgehenden und

\*) antennae, Fühlhörner der Insekten und Krustentiere.

\*\*) Denen neuerdings am oberen und unteren Ende Drahtnetze („Endkapazitäten“) angehängt sind, um trotz geringer Länge dieselbe Wirkung zu erzielen.

durch die Luft übertragenen Wellen, die entfernte Stimmgabel in Mitschwingung versetzt, was man deutlich vernehmen kann, wenn man den Ton der angeschlagenen Stimmgabel vollständig dadurch unterdrückt, daß man ihre Zinken durch Umschließen mit der Hand zur Ruhe bringt. Wie hier zwei Stimmgabeln mit ihren Resonanzkasten einander gegenüber gestellt wurden, hätte die frühere Schilderung, anstatt das Klavier zu Hilfe zu nehmen, auch an zwei gegenüber gestellte ganz gleiche Geigen geknüpft werden können, um noch deutlicher die Übereinstimmung der „Sender“ und „Empfänger“ anzudeuten.

Anmerkung. Auch mathematisch ist der Zusammenhang zwischen den Schwingungen einer elektrischen Welle und eines beliebigen Körpers, z. B. eines Uhrpendels, nachzuweisen.

Für das mathematische Pendel ändert sich die Schwingungsdauer (Periode)

$$t = 1/n = 2 \pi \sqrt{1/g^*} \text{ Sekunden}$$

mit der Pendellänge  $l$  m und der Beschleunigung  $g = 9,81$  m des Ortes. Für das materielle oder mechanische Pendel einer Uhr, wäre zu setzen:

$$l = J/Mr,$$

wenn unter  $J$  dessen Trägheitsmoment in bezug auf den Drehpunkt  $M$  die Masse des Pendels,  $r$  der Abstand zwischen Dreh- und Schwerpunkt verstanden wird. Überhaupt jeder Körper an sich ist durch seine Elastizität und träge Masse auf eine bestimmte Eigenschwingung, sozusagen auf einen bestimmten Ton abgestimmt, dessen Höhe von seiner Schwingungszahl  $n$  bzw. Schwingungsdauer  $t$  abhängt, teilt seine Schwingungen der Umgebung mit, die dann in unser Ohr gelangen, hier Mitschwingungen hervorrufen, so daß wir denselben erzeugten Ton empfinden, hören. Zwei Töne, deren Schwingungszahlen dicht nebeneinander liegen, vernimmt das Ohr als Mißton, dasselbe gilt von allen nicht „harmonisch“ abgestimmten Tönen. In der drahtlosen Telegraphie würden unter entsprechenden Verhältnissen verworrene Mitteilungen zustande kommen.

Der Ton wird verändert durch Veränderung der Elastizität (auch Spannung) und Maße des schwingenden Körpers (Umspinnen der Saiten für tiefe Töne). Entsprechendes ließe sich von der Lichterzeugung und Lichtempfindung sagen.

Auch in der Elektrotechnik lassen sich elektrische Schwingungen mit ganz bestimmten  $n$  bzw.  $t$  erzeugen. Der Elastizität und Masse beim materiellen Körper (Pendel) entsprechen hier Kapazität  $C$  (z. B. die Elektrizitätsmenge, welche eine Leidener Flasche bei einer bestimmten Spannung aufnehmen kann) und Selbstinduktion  $L$  eines (z. B. zu einem Solenoid aufgewundenen) Leitungsdrahtes von bestimmtem Querschnitte. Die Schwingungsdauer wird dann ausgedrückt durch die mathematische Beziehung:

$$t = 1/n = 2 \pi \sqrt{L \cdot C^*}$$

Auf die Übereinstimmung der Pendel- und der letzten Gleichung kann hier nicht näher eingegangen werden. Nur soviel sei hervorgehoben, daß solche Schwingungen geregelt werden können durch  $C$  und  $L$ , mit genügender Leistungsfähigkeit (Energie) von dem Erregungs-Orte (Sender-Station) abgesandt sich eben-

\*) Vergleich zwischen dem Oszillationspendel und der Leydener Flasche. Hebt man ein Pendel aus seiner Gleichgewichtslage heraus, so „ladet“ man es gleichsam mit mechanischer Arbeit (Energie). Läßt man es los, so kehrt es sich „entladend“ zur Gleichgewichtslage zurück, schwingt aber darüber hinaus, „ladet“ sich also in entgegengesetztem Sinne usw., d. h. es schwingt so lange hin und her, bis die ursprünglich mitgeteilte mechanische Arbeit durch Widerstände aufgezehrt bzw. in Wärme umgesetzt ist. Ladet man nun die beiden Belegungen einer Leydener Flasche mit elektrischer Energie und entladet sie nun, indem man die innere Belegung (+ E) mit der äußeren (— E) in leitende Verbindung bringt, so führt hierbei die Elektrizität ähnliche Schwingungen, aber von weit größerer Frequenz  $n$  aus. Und die Schwingungsdauer hängt hier von den beiden Größen  $L$  und  $C$  ab.

falls nach allen Richtungen strahlenförmig ausbreiten und in entsprechender Entfernung durch die genügend empfindlichen Mittel („Detektoren“) einer Empfangs-Station, die auf gleiche Wellenlänge gestimmt sind, aufgefangen werden können. Auch handelt es sich hier, wie bei der Ton-Erzeugung und -Übertragung, um Grund- und Ober-Ton (Welle) und geht aus der letzten Gleichung hervor, daß man für einen Oberton das Produkt  $L \cdot C$  entsprechend verkleinern muß, dagegen für denselben Ton die (Draht-)Induktion  $L$  in derselben Weise verkleinern müßte, wie man die (Flaschen-)Kapazität  $C$  vergrößert. Vergleicht man hiermit das, was in der Elektro-Mechanik über Trägheit (Selbstinduktion) gesagt ist, so kommt man zu der Überzeugung, daß es unter sonst gleichen Verhältnissen vorteilhafter sein müßte,  $C$  zu vergrößern gegenüber  $L$ , als umgekehrt.

Auf den durch voranstehende Betrachtungen über Eigenschwingung, Mitschwingung, Resonanz, Selbstinduktion  $L$  und Kapazität  $C$  angedeuteten Prinzipien beruht die drahtlose Telegraphie.

### **Aufgabe, praktische Hilfsmittel, kurze Entwicklungsgeschichte der drahtlosen Telegraphie.**

Wie die immerhin nicht leichte Aufgabe der praktischen Musik darin besteht, ein Musik-Instrument (z. B. eine Geige) zu schaffen, welches imstande ist, nicht nur die erforderlichen Schwingungen hervorzubringen (stumme Geige), sondern auch die Fähigkeit hat, den den Schwingungen entsprechenden ideal schönen Ton auf genügend weite Entfernung derart zu übertragen, daß das gesunde Ohr des Beobachters ihn dort deutlich empfängt und wahrnimmt, so besteht das Problem der drahtlosen (Funken) Telegraphie darin:

1. ein elektrisches System (Sender) zu schaffen, das mit den einfachsten, zweckmäßigsten, billigsten Mitteln, elektrisch-magnetische Schwingungen nicht nur erzeugt, sondern auch derart aussendet, daß sie auf möglichst weite Entfernungen, z. B. bis auf 1000 km und darüber fortgepflanzt werden,
2. ein elektrisches System (Empfänger) zu schaffen, welches diese Wellen nicht nur empfängt, sondern auch derart durch Zeichen wahrnehmbar macht, daß der Beobachter auf der Empfangs-Station, daraus genau entnehmen kann, welche Zeichen von der Sender-Station abgegeben sind.

Und dann ist eben dasjenige System von der größten Güte, welches (wie schon vorhin angedeutet wurde) mit den einfachsten Mitteln und am billigsten die größte „Reichweite“ aufweist.

Gegenwärtig ziehen den größten Nutzen aus der drahtlosen Telegraphie die größeren Schiffe (Kriegs- und Handelsschiffe), für deren Beamte und Fahrgäste eine Unterhaltung mit dem Festlande oder mit einem anderen (gleichgestimmten) Schiffe wünschenswert ist, und Heereskörper, welche eine sofortige Verständigung zwischen den voneinander getrennten Abteilungen nötig haben, um den Spruch zu bewahren: „getrennt marschieren, vereint schlagen“. Und das würde besonders im Feindeslande gelten, wo der Bestand und Besitz der angelegten gewöhnlichen Telegraphenleitungen ein sehr unsicherer ist. Es sei nur daran erinnert, welchen großen Nutzen unsere Truppen in den letzten Kämpfen mit den wilden Volksstämmen von unserem Verständigungsmittel gehabt haben, oder hätten haben können \*).

\*) Nach Mitteilungen der „Gesellschaft f. d. T.“ heißt es in einem militärischen Berichte über das deutsche Kaisermanöver 1902: „Die Funkentelegraphie benutzte das System Braun-Siemens, das sich außerordentlich gut bewährt hat. Mit dem Morse-Schreibapparate arbeitete die

Aber auch die Zeit ist nicht mehr fern, in welcher der Berg- und Hüttenmann im In- und Auslande, das sofort gebrauchsbereite Verkehrsmittel besonders da anwenden wird, wo die Beschaffung der Kraftmittel (Steinkohlen, Ofengase) leicht ist.

Die praktischen Hilfsmittel, welche hierbei in Frage kommen, sind folgende:

A. Die Stromerzeuger für die Geber-Station, hierher gehören:

- a) elektrische Elemente oder die vorhandene elektrische Zentrale eines technischen Werkes oder einer Stadt, aus welcher dann auch meistens Gleichstrom bezogen wird,
- b) Dynamomaschinen, welche angetrieben werden durch irgend welche
- c) Kraftmaschinen, z. B.

I. Tierkraftm. durch Handkurbel- oder durch den Fußtritt-Antrieb eines Fahrrades\*) in welches die Dynamomaschine eingebaut ist (bis zu 100 Watt Leistung),

Fig. 128.



II. Wasserkraftm. (Turbinen, Pelton- oder andere schnelllaufende Wasserradmaschinen),

III. Windkraftm. mit Pufferbatterie,

IV. Wärmekraftm. und zwar:

1. Dampfkraftm. (weniger Kolben, als Turbo-Dynamom.) meist für feststehende Anlagen.
2. Gaskraft (Dowsen- oder Hochofen-),
3. Benzinmotor-Dynamomaschine und dann ist für militärische Zwecke\*) die Dynamomaschine aufgebaut entweder hinter dem

Station noch sicher bis auf 2 Tagemärsche, mit dem Hörapparate auf 3 bis 4 Tagemärsche“. Ferner soll in Deutsch-Südwest-Afrika sich die Kriegsbrauchbarkeit der Funkentelegraphie „glänzend“ erwiesen haben und sind durch die Fusion des hier erwähnten und des Slaby-Arko-Systems zu dem System „Telefunken“, sowie durch einschneidende Verbesserungen der letzten Jahre die erreichbaren Entfernungen bei demselben Energie-Aufwande wesentlich vergrößert.

\*) Später wird eine besondere Schilderung derartiger Anlagen gegeben. Die übrigen Ausführungen sind weiter unten zusammengestellt.

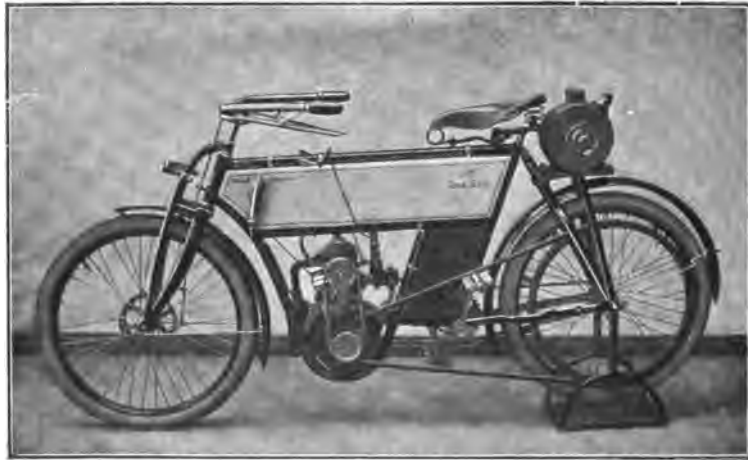
Sattel eines Motorrades oder auch fest in den Kasten eines von Pferden gezogenen Wagens.

**B. Die Induktoren und Transformatoren (Solenoid-Wirkung).**

Die ersteren, meist Ruhmkorff'sche Funken-Induktoren bezwecken den vorhandenen Gleichstrom in den für die Funken-Telegraphie erforderlichen hochfrequenten Wechselstrom zu verwandeln, die letzteren sollen diesen Wechselstrom für große Anlagen noch höher hinauf transformieren. Die heutigen Induktoren gleichen mehr einer Maschine als dem früheren physikalischen Apparate. Bei dem kleineren Einrichtungen wird im Prinzip noch der Wagnersche Hammer zur Unterbrechung des in die Primär-Spule eintretenden Stromes, bei größeren Anlagen die Quecksilber-Turbine (auf Schiffen mit Kardanischer Aufhängung) verwendet. Bei Anlagen von 3 bis 5 Pferdekräften wird das Induktorium meist durch einen Gleichstrom-Wechselstrom-Umformer gespeist und dann darauf gesehen, daß für beide „Resonanz“ mit 50 Perioden (wie bei den meisten Kraft- und Licht-Wechselstrommaschinen) vorhanden ist.

Bei dem Bau dieser wie der folgenden Maschinen muß außer auf Raumbeschränkung und Leichtigkeit auf größte Haltbarkeit gesehen und daran gedacht

Fig. 129.



werden, daß sie auch bei hohem Seegang der Schiffe und beim kriegsgebräuchlichen raschen Fahren quer über Gräben und Hohlwege doch an ihrer Zuverlässigkeit nichts einbüßen. Der erzeugte Hochspannungs-Wechselstrom dient meist zum Laden der Kondensatoren.

**C. Die Kondensatoren.** Für diese ist, anstatt der üblichen Paraffin-Papier-Isolierung die sicherere mit Hartgummiblättchen angenommen; außerdem wird durch eine parallelgeschaltete Funken-Sicherheitsstrecke das Durchschlagen unmöglich gemacht. Für Hochspannungskreise der Geberstrecke sind Leydener Flaschen-Batterien mit regulierbarer Kapazität gewählt, die gegen Zerschlagen und Durchschlagen zuverlässig geschützt sind. Auch die Unterteilung der Funkenstrecke ist sicher regulierbar.

**D. Die Luftleiter-Drähte oder Antennen.** Dieselben sind für die Sender- und Empfänger-Stationen gleich wichtig, weil sie den ersteren dazu dienen, die elektrischen Wellen auszusenden; den letzteren die Wellen aufzunehmen. (Ergänzende Bemerkungen darüber sind in früheren und späteren Auseinander-



setzungen zu finden.) Es sei noch bemerkt, daß die Schwingungen bei der Entladung eines Kondensators (Leydener Flasche) verlangsamt wird, „wenn einige Drahtwindungen von geeigneter Länge“ eingeschaltet werden (Selbstinduktion).

E. Die Detektoren, zu denen vor allen der Körner-Fritter (Branly) und der elektrolytische Detektor mit Telephon (Schlömilch) zählen, bezwecken die durch die Funkenstrecke des Gebers erzeugten elektrischen Wellen auf der Empfängerstation wahrnehmbar zu machen. Letztere hält die „Gesellschaft für drahtlose Telegraphie“ für den gegenwärtig vollkommensten Hörempfänger für drahtlose Telegraphie. „Sein durchaus sicheres Arbeiten, seine große Empfindlichkeit und Einfachheit machen ihn für jede funkentelegraphische Anlage unentbehrlich. Er besteht (nach Mitteilungen der Gesellschaft) im wesentlichen aus dem Detektor, dem Telephon und einer Stromquelle, die alle drei hintereinander geschaltet sind. Da die Spannung der Stromquelle regulierbar sein muß, ist den vier Trockenelementen ein Ohmscher Widerstand parallel geschaltet, von welchem ein fester und ein verschiebbarer Abzweig zur Zelle bezw. Telephon führt“. Alle diese feinen Apparate für Schwachstrom müssen auch gegen ein zufälliges Eindringen von Starkstrom sicher geschützt werden. Da in jeder Station der Geber und Empfänger abwechselnd auf denselben Luftdraht arbeiten, so ist vor allen Dingen ein Umschalter vorzusehen, welcher den Starkstrom ganz sicher ausscheidet und blockiert, sobald die Empfängerseite an den Luftleiter gelegt ist.

Die Einrichtung und die Eigenschaft des Körner-Fritter, den evakuiert zuerst Slaby-Arko eingeführt haben, sind später im Zusammenhange näher angegeben und besser zu verstehen. Vorgreifend soll nur noch angedeutet werden, daß der Fritter den Stromkreis eines Trockenelementes (1,4 Volt) schließt, wodurch ein (Telegraphen-)Relais betätigt wird. Das Relais schließt dann einen zweiten Elementen-Stromkreis, in dem der Morseschreiber und der Klopfers für die Fritterröhre liegen.

Die Relais-Zunge ist dabei (nach Angabe der „Gesellschaft“) so fein eingestellt, daß sie bei Vorschaltung von 10 000 Ohm Widerstand, also bei einer Stromstärke von 0,14 Milliampère noch sicher anspricht.

Die Gesellschaft „Telefunken“ unterscheidet nach ihren Mitteilungen vier hauptsächlichste Ausführungen:

1. den Demonstrations-Apparat, welcher die Prinzipien der drahtlosen Telegraphie klar legen soll, deshalb, zwar vereinfacht, doch genau den großen Anlagen nachgebildet ist und deshalb später von uns beschrieben wurde;
2. die tragbare Station, welche besonders wichtig für militärische Zwecke ist. Auch diese ist später von uns beschrieben;
3. die fahrbare Station, die ebenfalls militärischen Zwecken dient;
4. die festeingebaute große Station, welche auf Schiffen der Kriegs- und Handelsmarine sowie auch an Plätzen der Küste und des Binnenlandes aufgestellt wird.

Die geschichtliche Entwicklung\*) der heutigen, praktischen bewährten drahtlosen Telegraphie, wenn sie nicht auf die Erfindung der oben genannten einzelnen unentbehrlichen Hilfsmittel und auf die theoretische Entwicklung Maxwells und anderer zurückgreifen will, hebt an erst mit dem Jahre 1888, in welchem der leider zu früh verstorbene Bonner Professor Heinrich Hertz (geb. zu Hamburg 1857, gest. 1894 in Bonn) experimentell nachwies, daß sowohl die dynamischen Funken-Entladungen eines Induktors (Ruhmkorff, geb. in Hannover 1803, gest. in Paris 1877) in Folge der Selbstinduktion L, als auch die Entladungen

\*) Ergänzungen hierzu zu finden in dem früheren Anhang: „Über Wesen der Elektrizität“.

eines mit statischer Elektrizität geladenen Konduktors (Leydener Flasche 1745, Franklinschen Tafel 1747) von gewisser Kapazität C, Schwingungsbewegungen (Oszillationen von hoher Frequenz

$$n = 50 \text{ Millionen}$$

$$l = 6 \text{ m bis } 30 \text{ cm}$$

seien (vergleichbar den sichtbaren Schwingungen eines Pendels, einer Saite). Die Funkenstrecke (Entladestelle) sei dann der Ausgangspunkt konzentrischer elektrischer Wellen, die strahlenförmig mit der Geschwindigkeit des Lichtes ( $3 \cdot 10^8 \text{ m/Sek.}$ ) in der Luft drahtlos sich fortpflanzen. Und diese Strahlen äußerten sich auch durch „Schattenbildung“ Reflektion, Brechung, Polarisation, Beugung, Absorption (Umwandelbarkeit). Er entdeckte die Knotenpunkte und Bäuche dieser elektrischen Wellen und maß genau ihre Länge mittels eines Induktoriums der allereinfachsten Art, in Form eines aufgeschnittenen Kupferdraht-Ringes, an dessen Unterbrechungsstelle „Induktionsfunken“ zwischen hier an den Drahtenden angebrachten kleinen Metallkugeln übersprangen, wenn er es an die Stelle der Wellenbäuche, und das sich scheinbar teilnahmslos verhielt, wenn er es in die Knotenpunkte brachte. Damit war zugleich das charakteristische Merkmal der wechselnden Elektrizität, die „Induktion“ erkannt. Die heutigen Wellenmesser der drahtlosen Telegraphie beruhen auf demselben Prinzip<sup>\*)</sup> und weisen für die elektrischen Wellen Mitschwingung und Resonanz, also Erscheinungen nach, die man schon längst auch in der Akustik kannte.

Die Mitschwingung und Resonanz in der drahtlosen Telegraphie. Die eben erwähnte, in der Schall-Lehre (Akustik) sicht- und hörbare „Mitschwingung“ und „Resonanz“ hat im Laufe der Zeit hervorragende Bedeutung für die drahtlose Telegraphie gewonnen.

Wie von den Saiten einer Geige, den Zinken einer Stimmgabel oder den Stimmbändern der Kehle aus (Longitudinal-) Wellen von bestimmter Schwingungszahl (Tonhöhe) strahlenförmig nach allen Seiten sich ausbreiten und, wie wir früher an den aufgesetzten Reiterchen sahen, nur diejenigen Saiten des Klaviers in „Mitschwingung“ versetzen, welche auf dieselbe Tonhöhe oder auf die dazugehörigen sog. harmonischen Obertöne gestimmt sind, die anderen aber in Ruhe lassen, so breiten sich kräftige (jetzt aber Transversal-) Schwingungen elektrischer Wellen von der zeichengebenden Station ebenfalls kugelförmig nach allen Seiten im Raume aus und erregen auf den für den Zeichenempfang bestimmten Stationen die nach Vereinbarung „gleichgestimmten“ Luftleiter-Drähte. Auf diese Weise wird es ermöglicht, nicht gewünschten Stationen die Aufnahme der Depesche zu ersparen. So einfach auch dieser Gedanke erscheint, haben zu seiner Verwirklichung doch hervorragende Männer, vor allen Slaby-Arco (Berlin) und Braun (Straßburg i. E.) jahrelang forschen und versuchen müssen, um das heutige „drahtlos Telegraphieren“ auszubilden, welches die beiden ausführenden deutschen Firmen: die allgemeine Elektrizitätsgesellschaft (A. E. G.) und die Siemens-Schuckert-Werke, vereint zu der „Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H.“, Berlin SW, Lindenstraße 3 (Industrie-Palast) mit dem Namen „Telefunken“ bezeichnen.

<sup>\*)</sup> Die Gesellsch. f. d. T. mißt nach ihren Mitteilungen seit 1901 die Wellenlängen ihrer Sender und Empfänger. Das einfachste Instrument („Meßstab“) ist eine Selbstinduktions-Spule, deren Windungszahl variabel ist und in welcher von dem zu messenden Schwingungssysteme aus Schwingungen erregt werden, welche durch Resonanz eine maximale Spannung erhalten in dem Augenblicke, in welchem die Meß-Spule auf gleiche Schwingungszahl gestimmt ist. Diese Spannung wird sichtbar gemacht nach Slaby durch eine fluoreszierende Substanz. Genauer noch sollen wegen ihrer geringeren Dämpfung die Schwingungskreise (nach Doenitz) arbeiten, bei welchen der Eintritt einer maximalen Stromstärke bei Resonanz durch ein Hitzdraht-Thermometer angezeigt wird. Der Meßbereich solcher Wellenmesser ist 150 bis 1100 m Wellenlänge.

1898 begann Ferd. Braun (Straßburg) (wohl durch Marconi, von dem gleich die Rede sein wird, angeregt) seine Versuche mit der drahtlosen Telegraphie, die ihn, wie er mitteilt, darauf führten:

„Die Schwingungen in einem geschlossenem (aus Kapazität und Selbstinduktion bestehenden) Flaschenkreise (1900) zu erzeugen und sie von diesem zu übertragen auf den offenen Marconischen Sender, der sie dann in reinen, starken, langanhaltenden Wellenzügen ausstrahlt. Diese Kuppelung zwischen geschlossenem Flaschenkreise und offenem Antennen-Kreise ist heute wohl bei allen Systemen der drahtlosen Telegraphie angenommen, weil nach dieser Methode sowohl auf lange als kurze Wellen besser eingestellt und gearbeitet werden kann, als nach den früheren direkten \*)“.

„Die im Flaschenkreise aufgespeicherten großen Energiemengen lieferten der Antenne die ausgestrahlte Energie nach, wie aus einem Sammelbehälter, und hielt sie in Schwingung. Ferner teilt Braun mit, daß „die reinen und langen anhaltenden Schwingungen, die sich im Flaschenkreise erzielen lassen, erst eine abgestimmte Telegraphie ermöglicht hätten. Diese beruht, außer auf Verwendung schwach gedämpfter Senderwellen, darauf, daß man den Sender nun auch wieder als Empfänger benutzt.“ Der geschlossene Kreis hat sich aber besonders wirksam und erforderlich erwiesen bei Anwendung des verhältnismäßig dünnen Luftleiter-Drahtes am Luftballon oder Drachen, der überall bei vorübergehend (militärisch) eingerichteten drahtlosen Telegraphen-Stationen als Antenne anzuwenden ist.

Neben dem deutschen Systeme hat besonders auch Marconi sein System, mit dem er im Jahre 1896 (mit Benutzung des 1890 von Branly erfundenen Kohärers) überhaupt die drahtlose Telegraphie zum ersten Male praktisch (auf 10 km Entfernung) einführt, hoch entwickelt. Marconi benutzte eine Zeit lang als Antenne einen Blitzableiter. Einige geschichtliche Ergänzungen sind früher unter „Wesen der Elektrizität“ gegeben; worauf hier der Kürze wegen verwiesen wird. Nennenswert sind dann wohl noch die Firmen: Fessenden, De Forest, Lodge-Muirhead.

Anmerkung. Der natürliche Blitz als Funkenstrecke, seine elektrischen Wellen und „Antennen“. Unserem Gegenstande stehen noch sehr nahe zwei Beobachtungen, welche Verfasser in den Jahren 1881 und 1891, also längst vor Marconi machte und veröffentlichte in der Leopoldina (dem amtlichen Organe der Kaiserlichen Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher. Halle), Jahrgang 1893, unter der Überschrift: „Oberirdische und unterirdische Wirkungen eines Blitzstrahles“. Es möchte deshalb diesen Beobachtungen, die auch noch in anderen verwandten Beziehungen Beachtung verdienen, hier ein kleiner Platz eingeräumt sein.

Die Wirkung des ungemein heftigen 1881er Blitzschlages, der vor meinen Augen ein Wohnhaus (Müller am Bahnhof Clausthal-Zellerfeld) arg verwüstet hatte, war drahtlos und, wie bestimmt nachgewiesen ist, ohne sonstige leitende Vermittelung durch den festen Erdkörper hindurch auf ein 400 Meter unter dem Hause in der Grube ausgespanntes sehr langes Drahtseil übertragen, welches unter der „Firste“ (Decke) der sog. „tiefen Wasserstrecke“ des „Ernst August-Stollens“ befestigt, den Schiffern als Hilfsmittel diente, die „Schiffe“ (mit Erz beladene Boote), in denen sie standen, längs der Strecke fortzuziehen. Gerade diejenigen Schiffer, welche nach Ausweis ihrer amtlichen Vernehmung, im Augenblicke des Blitzschlages unter dem Müllerschen Hause sich befunden hatten, waren ganz besonders stark von der Blitz-Welle getroffen. Die Zeit konnte bei der amtlichen Ver-

\*) Es ist nicht entschieden, ob nicht auch Slaby gleichzeitig mit Braun auf denselben Gedanken gekommen ist. Soviel aber ist gewiß und auch in den beteiligten Fachkreisen anerkannt, daß auch Slaby auf technischem und wissenschaftlichem Gebiete sich soviel Verdienste um die Vervollkommnung der drahtlosen oder, wie er sie nannte, Funken-Telegraphie erworben hat, daß es unmöglich ist, hier darauf näher einzugehen. Keinenfalls aber möchte ich unterlassen, dem genannten Forscher an dieser Stelle meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen für die Lebenswürdigkeit und Hingabe, mit welcher er gelegentlich meines Besuches der Charlottenburger Hochschule mit einer größeren Zahl Clausthaler Studenten uns durch Wort, Bild und Experiment in die Geheimnisse der damals noch im Gärungsprozeß begriffenen „Funken-Telegraphie“ persönlich einweihte.

Hoppe, Elementarer Leitfaden der Elektrotechnik.

zu  
er.  
Stra  
htlos  
men:  
erke,  
SW,

ihrer  
Spule,  
re aus  
1 dem  
Span-  
sollen  
elchen  
r an-

nehmung genau festgestellt werden, weil die Schiffer genaue Fahrordnung beobachten mußten. Aber auch diejenigen Schiffer, welche an entfernten Stellen das Seil in den Händen gehabt hatten, waren stark erschüttert. Nach ihrer zu Protokoll genommenen Aussage „hätten sämtliche Schiffer bei dem Blitzschlage (von dem sie natürlich nichts gesehen hatten, überhaupt nichts wußten) furchtbar aufgeschrien“, die meisten hätten geweint und gejammert, einer (Kriegener), der den Schlag auch bekam, dagegen gelacht und die anderen verspottet. Die Wirkung des Schlages auf den Körper war demnach nicht bei allen Schiffern dieselbe. Dem Müller, auf dessen ruhige schlichte Aussage (auch nach dem Urteile der gegenwärtigen Bergbeamten) Gewicht zu legen war, hatte den Schlag besonders in den Armen empfunden; ihm war es übrigens, „wie wenn man mit aller Gewalt gegen einen Anderen anlauft und dabei einen starken Stoß bekommt“. Nach Rückkehr des Bewußtseins habe er zu seinen Kameraden gesagt: „Ich faß jetzt nicht wieder an (das Seil), wir wollen einen Augenblick halten“ (nicht ziehen).

Wegen anderer mit diesem Blitzschlage verbundener höchst interessanter Erscheinungen, die u. a. mit Hilfe der Firma Siemens und Halske es hier wohl zum ersten Male ermöglichten, die Wirkung nur eines Teilstrahles dieses Blitzes auf viele tausend Pferdekräfte zu schätzen, muß auf die Quelle verwiesen werden.

Nur meine 1891er Beobachtung, die ganz besonders auf die „drahtlose Telegraphie“ hinweist, soll noch aus meiner damaligen Veröffentlichung in der Leopoldina wiedergegeben werden: Mit Studierenden der Clausthaler Bergakademie war ich am 1. Juli 1891 nach der „Schwarzenhütte“ bei Osterode a. H. gegangen, um die dortige Seilbahn\*) zu besichtigen, die dazu dient, die im Kalksteinbruche gewonnenen Steine durch die Luft nach der einige 100 m davon entfernten Kalkhütte zu befördern. Das eiserne Laufseil ist auf dem Hüttenplatze durch einen Mauerklotz mit dem Erdboden verbunden, läuft dann, auf hohen hölzernen Böcken gelagert, mit geringem Ansteigen nach dem Steinbruche des Kalkberges und ist hier mit seinem anderen Ende im festen Gestein verankert. Hier läuft es zuvor durch ein kleines Gebäude. In letzterem standen wir zum Teil, um den darin aufgestellten Haspel, durch den die Bewegung der Gesteinskasten längs des Seiles vermittelt wird, zu besichtigen. So beobachtete ich neben dem Dozieren die starken Entladungen einer Gewitterwolke, die gerade vor uns in mindestens 5000 m Entfernung über den Vorbergen zwischen Clausthal und Osterode stand. Einer meiner Begleiter, Herr Kinné, hatte, das Gesicht mir, der Gewitterwolke den Rücken zugekehrt, die Hand auf das Laufseil gelegt. In dem Augenblicke, in dem ich einen prächtigen Blitzstrahl aus jener Wolke zucken sah, rief genannter Herr, indem er die Hand plötzlich vom Seile zog, daß er einen heftigen Schlag, wie von einer Leydener Flasche, vom Seile her in die Hand bekommen habe.

Meine damalige Voraussetzung, daß es sich hier um den deutlichen Beweis der Fortpflanzung einer elektrischen Welle handele, ist heute, nach den Erfolgen der drahtlosen Telegraphie, zur Gewißheit geworden. Die Drahtseile in der Grube und hier wirkten als „Antennen“. Als später in meiner Wohnung elektrische Beleuchtung angelegt wurde, habe ich anfangs nie unterlassen, ferne Gewitterschläge an dem Zucken der brennenden Glühlampen zu beobachten, um mich zu überzeugen, daß jede Leitung, wahrscheinlich jeder Leiter, als (wie man heute sagen würde) „Antenne“ wirkt.

Im Anfange der 90er Jahre benutzte der Professor Popoff an der Forstakademie in Kronstadt den inzwischen von Branly 1890 erfundenen, für elektrische Wellen ungemein empfindlichen Kohaerer (nach Reuleaux Fritter genannt), um entfernte Gewitter anzuzeigen und zu registrieren. Ob der genannte Forscher hierzu angeregt wurde durch meine 1881 und 1891er Beobachtung bzw. deren Veröffentlichung durch die in der Gelehrtenwelt weitverbreitete „Leopoldina“, weiß ich nicht. Auszüge hieraus brachte die „Deutsche Zeitung“, „Kölnische Zeitung“ und andere Fach- und Tageszeitungen des In- und Auslandes, auch das „Archiv für Post und Telegraphie“, veranlaßt durch Exzellenz Stephan. Weitere Veröffentlichungen meiner einschlägigen Beobachtungen möchten hier manchem Leser willkommen sein:

„Merkwürdige Wege und Wirkungen eines Blitzstrahles im Silbersegen (Schacht) bei Clausthal.“ Leopoldina XXXII, 1896.

„Blitzableiter an Eisentürmen.“ Zentralblatt der Bauverwaltung, herausgegeben im Ministerium der öffentlichen Arbeiten. Berlin 1896, Nr. 1.

„Der Blitzableiter, im besonderen an Eisentürmen.“ Ebenda 1896, Nr. 11. 17.

„Neue Anschauungen über Blitz, Blitzgefahr und Blitzableiter.“ Ebenda 1896, Nr. 42. 43.

„Zur Blitzableiterfrage.“ Ebenda, Nr. 50 A.

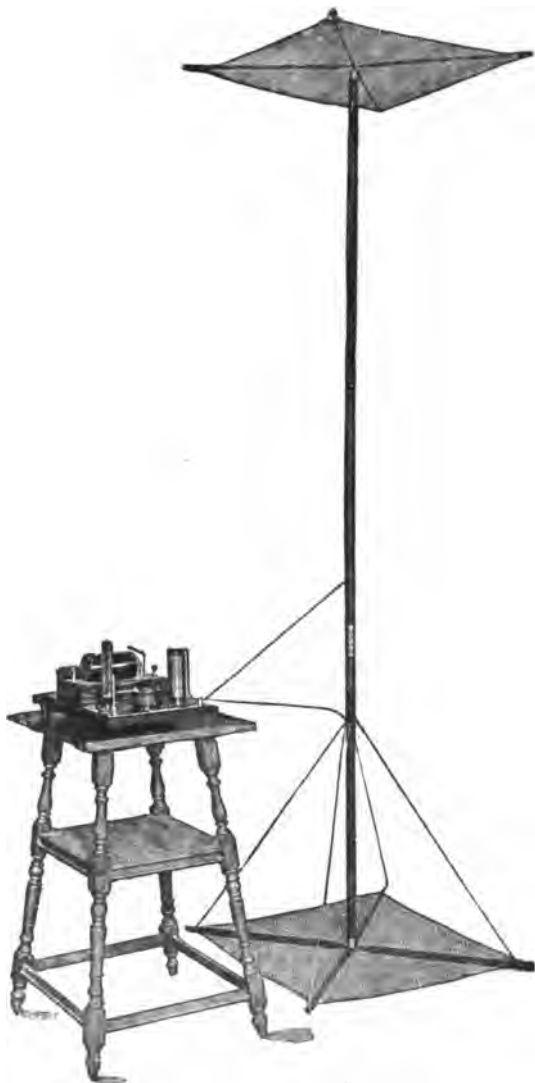
„Blitzwege und Wirkungen. Blitzgefahr und Blitzschutz. Fabelhafte Wünschelrute.“ Technische Woche 1905, Nr. 27. 28. 29.

\*) Unter den 1861 durch Freiherrn v. Dücker erfundenen und in Bad Oeynhausen und Bochum zuerst angelegten Seilbahnen, den Vorläufern der gegenwärtig schon bewährten Langenschen Schwebbahnen, ist diese Osteröder noch erwähnenswert, weil sie als dritte vom Erfinder selbst angelegt wurde (Berggeist 1869, S. 293, Nr. 49. 55; Notizbl. des Vereins für Fabrikation von Ziegeln, Tonwaren, Kalk, Zement 1871).

## Die Einrichtung der drahtlosen (Funken-)Telegraphie-Einrichtung in betriebsbereitem Zustande.

### 1.

„Demonstrations-Apparat für Funken-Telegraphie“. System Telefunken\*  
(Siehe beistehendes Bild.)



In diesem Apparate zur Klarlegung der Prinzipien der drahtlosen Telegraphie, der vollständig mit Geber, Empfänger und Luftgebilde in Berlin 350 Mk.

\*) Da unser Leitfadens besonders auch für die Studierenden der technischen Lehranstalten bestimmt ist, deren Lehr-Sammlungen einen derartigen Apparat wohl besitzen möchten, hielt ich dessen Beschreibung für zweckmäßig. Nach dem Durchstudieren dieser vereinfachten Einrichtung, welche nur das Unentbehrlichste enthält, wird das Verständnis des kurz gefaßten Stammbaumes einer vollständigen Anlage im „Einleitenden allgemeinen Überblick“ am Anfange unseres Leitfadens keine Schwierigkeiten machen.

kostet und für dessen Verpackung 10,50 Mk. berechnet wird, gibt die „Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. Berlin S W. Lindenstraße 3“ die neuesten Schaltungen und Abstimmungsweisen zwar wesentlich vereinfacht, jedoch „genau so wieder, wie sie bei großen Anlagen ausgeführt werden“. Der gesamte Apparat umfaßt einen vollständigen Geber mit zugehöriger Stromquelle, einen vollständigen Empfangsapparat (ohne Schreiber), sowie zwei gleiche Luftleitersysteme zum Senden und Empfangen.

Der Geber oder Sender (Schaltschema 1, 2) zur Erzeugung und Absendung der elektrischen Wellen läßt sich in 3 Hauptteile\*) trennen:

- A. die Kraftwelle,
- B. den geschlossenen Schwingungs-Kreis,
- C. „ offenen                    „                    „ .

- A. Die Kraftwelle ist, hier bei unserem Apparate, die elektrische Batterie E zur Erzeugung des niedrig gespannten Gleichstromes. Letzterer wird durch den Unterbrecher U in Wechselstrom verwandelt, der jedesmal beim Niederdrücken des Morse-Tasters (Zeichengebers) T\*\*), die Primär-Spule  $W_1$ , des Ruhmkorffschen Funken-Induktor, durchfließt. Die auf höhere Spannung transformierten Wechselstrom-Stöße der Sekundär-Spule des Induktoriums durchschwingen dann
- B. den geschlossenen Schwingungs-Kreis, in welchem liegen,
  - a) die eben genannte Sekundär-Spule des Induktoriums,
  - b) der Hochspannungs-Kondensator (Leydener Flasche)\*\*\*) mit regulierbarer Flaschen-Kapazität C,
  - c) die Erreger-Funkenstrecke F†), also die Stelle an welcher die elektrischen Entladungsfunken überspringen,
  - d) eine konstante Selbst-Induktion L (hier 7 Windungen auf einer Holz-Spule). Mit L direkt ††) gekuppelt ist

\*) Bei dem einfachsten Systeme fehlt der geschlossene Kreis, ist deshalb nur der offene Kreis (bestehend aus Kapazität, Selbstinduktion und Funkenstrecke) und die Kraftquelle (Hochspannungsquelle) vorhanden. Als einfachstes Gegenstück hierzu aus der Akustik könnte die oben erwähnte „Maultrommel“ gelten.

\*\*) Der Morse-Taster zum Geben der bekannten aus Punkten und Strichen bestehenden Morsezeichen schließt also den Hauptstrom beim Niederdrücken und öffnet ihn beim Loslassen in derselben Weise wie es beim gewöhnlichen Telegraphen-Apparate geschieht.

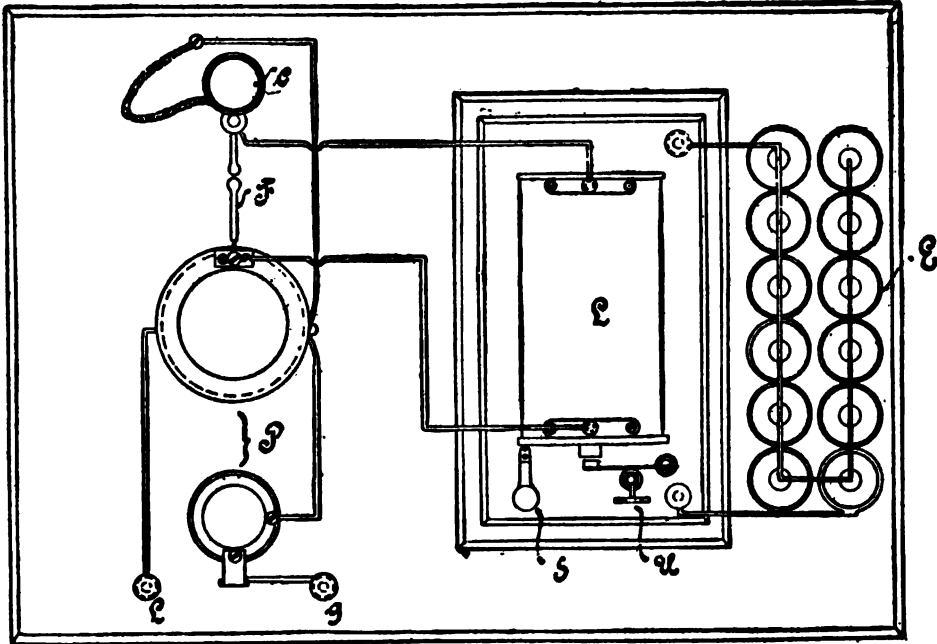
\*\*\*) Für Hochspannungskreise, welche eine Reichweite von 1000 km und darüber erreichen sollen, sind hier in den Geber-Stationen große Leydener Flaschen-Batterien in Gestellen vollständig gesichert untergebracht. Durchschlagen und Zerschlagen der Flaschen ist trotz der gewaltigen Stöße, denen sie in den militärischen fahrbaren Stationen ausgesetzt sind, ausgeschlossen.

†) „Bei den fahrbaren Geber-Militär-Stationen ist die Erreger-Funkenstrecke dreiteilig und regulierbar. Parallel zu den einzelnen Teilen liegen kleine Kondensatoren, welche die gesamte an die Funkenstrecke gelegte Spannung gleichmäßig auf 3 Einzelfunken-Strecken verteilen. Die Kondensatoren sind genau einander gleich. Auch alle 3 Teilfunken-Strecken sind genau gleich eingestellt. Die Maximalleistung der Maschine beträgt 3 mal 4 mm Funken. Bevor diese Unterteilung der Funkenstrecke eingeführt wurde, wuchs bei gesteigerter Spannung die Neigung zur Lichtbogen-Bildung bei „Fußblangen“ Funken, die dann unwirksam wurden, weil sie einen zu hohen Prozentsatz der Energie in Wärme umsetzten.“

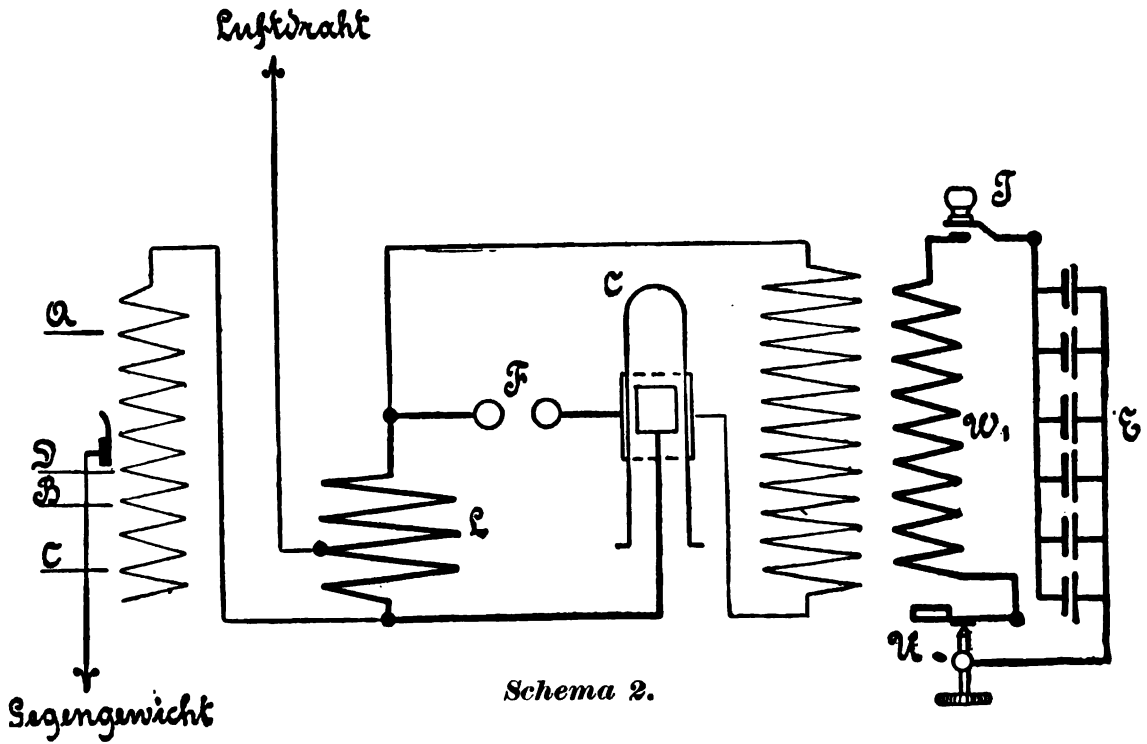
Diese fahrbaren Geber-Stationen sind für 2 Wellenlängen eingerichtet, von denen die eine der „Oberton“ der anderen (Grundton) ist. Zu dem Ende wird der von der Sekundär-Spule des Induktors kommende Erregerstrom durch Stöpselung entweder nur auf einen Teil der Kapazität C und Selbstinduktion L oder auf die ganze C und L eingeschaltet.

††) Außer dieser direkten Kuppelung wendet man in gewissen Fällen auch die indirekte (oder induktive) Kuppelung an, bei dieser bildet die Spule L die Primär-Spule eines Transformators, an dessen Sekundär-Spule dann die Antenne angeschlossen ist. Man sehe auch das, was Slaby über die zweckmäßige Anwendung der direkten und indirekten Kuppelung zur Übertragung der Grund- und Ober-Welle durch seine neuesten Forschungen gefunden hat. (Siehe unten am Ende unseres Kapitels unter „Abstimmung funkentelegraphischer Sender von Slaby“. E.T.Z. Dezemberheft 1905, S. 1158.)

Sebur



Schema 1.



Schema 2.

C. der offene Schwingungs-Kreis des Luftleiter-Systems, der die elektrischen Wellen ausstrahlt, enthält als wesentlichsten Bestandteil

- e) den in die Luft sich erstreckenden, besonders gut leitenden kupfernen Luftleiter-Draht (Antenne), welcher sowohl oben in der Luft, als auch unten unmittelbar über der Erdoberfläche in einem wagerechten Metallnetz (Endkapazität) endet und etwas unter seiner Mitte geteilt ist. Zwischen diese beiden Teile ist nun eingeschaltet eine konstante Selbst-Induktion (3 Windungen auf der Holz-Spule) zwecks Kuppelung, d. h. zur Energie-Übertragung vom geschlossenen auf den offenen Schwingungs-Kreis, und eine veränderliche Selbst-Induktion (blanke Spule), an welcher ein Kontaktschieber entlang gleitet, um die Wellenlänge des Luftleiter-Systems zu ändern (abzustimmen).

Regulierbare Selbst-Induktion und Flaschen-Kapazität C werden für 3 verschiedene elektrische Wellen (Grund- und Ober-Töne) so eingestellt, daß zwischen dem geschlossenen und dem offenen Schwingungskreise Resonanz vorhanden ist, „weil dann nach Angabe der Firma die Energie-Abgabe an den Geber am größten ist.“

Für die kürzeste Welle des Apparates (30 m)\* wird die Flasche soweit emporgehoben, daß nur die Führungshülse die gesamte Kapazität bildet und diese den äußeren Belag der Flasche nicht mehr berührt, ferner zugleich an der blanken Spule der Kontaktschieber in seine oberste Stellung (A) gehoben. Für die längste Welle (50 m) wird die Flasche soweit heruntergeschoben, daß der Führungsring den äußeren Flaschenbelag etwa 2 mm überlappt, zugleich der Schieber in seine tiefste Stellung (C) gebracht. Für die dritte zwischen (A) und (C) liegende Welle (B) sind die entsprechenden Stellungen ebenfalls am Apparate angegeben.

Der Empfänger (mit Körner-Fritter und Klopfer als Wellen-Detektor) (Schalt-schema 3, 4).

Die vom Sender (oder Geber) ausgestrahlten elektrischen Wellen treffen

C<sup>1</sup> den offenen Schwingungskreis, der dem des Senders vollkommen gleicht, und enthält:

- e<sup>1</sup> den Luft-Draht (Antenne) mit den beiden Endkapazitäten, unterhalb dessen Mitte eingeschaltet sind: sowohl die konstante Selbstinduktion P (Primärspule des Empfangs-Transformators der „losen“ Kuppelung) als auch die veränderliche Selbstinduktion L zur Regulierung (Abstimmung der Wellen-Länge). Mit diesem Luftkreise ist veränderlich gekuppelt

B<sup>1</sup> der geschlossene Schwingungskreis, welcher enthält:

- d<sup>1</sup> die Sekundärspule S des Empfangs-Transformators, besonders aber auch
- c<sup>1</sup> den Körner-Fritter F, der bei Empfang schon der schwächsten elektrischen Wellen anspricht, wenn in seinem Kreise Resonanz zum Sender vorhanden ist; ferner
- b<sup>1</sup> den Kondensator von der Kapazität C (die sehr groß ist gegenüber der des Fritters) und den parallel zum Fritter geschalteten Kondensator mit veränderlicher Kapazität C<sub>v</sub> zur Einstellung der Resonanz auf die 3 Wellen (A) (B) (C) des Senders.

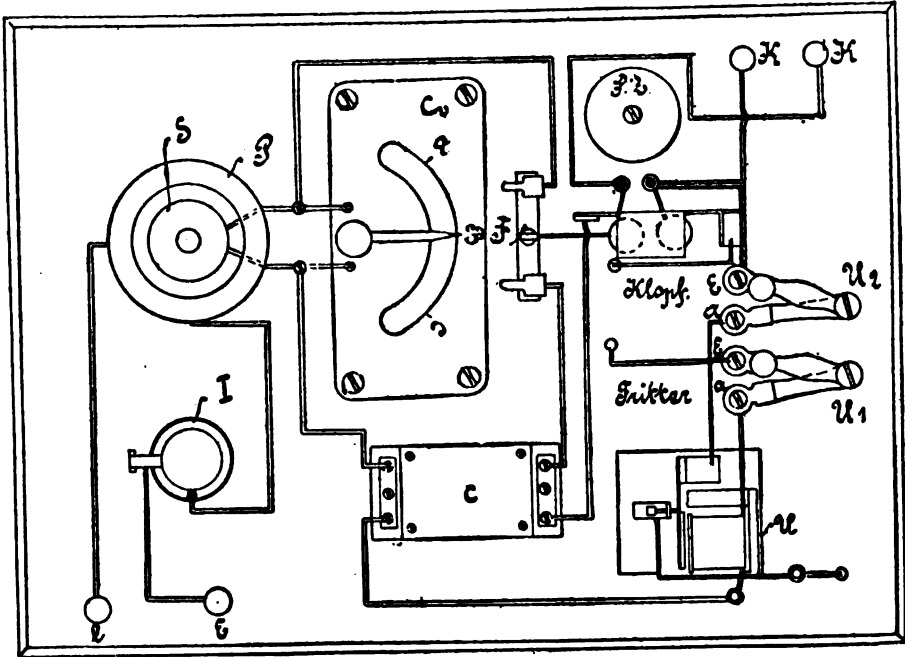
A<sup>1</sup>. Das (Telegraphen-) Relais\*\*) (in der Figur rechts unten), welches das Ansprechen des Fritters wahrnehmbar macht, besteht aus 2 kleinen Trocken-

\*) Bei den großen normalen Stationen neuester Konstruktion können die Längen der ausgesandten elektrischen Wellen von 100 m bis 1000 m und darüber hinaus verändert werden.

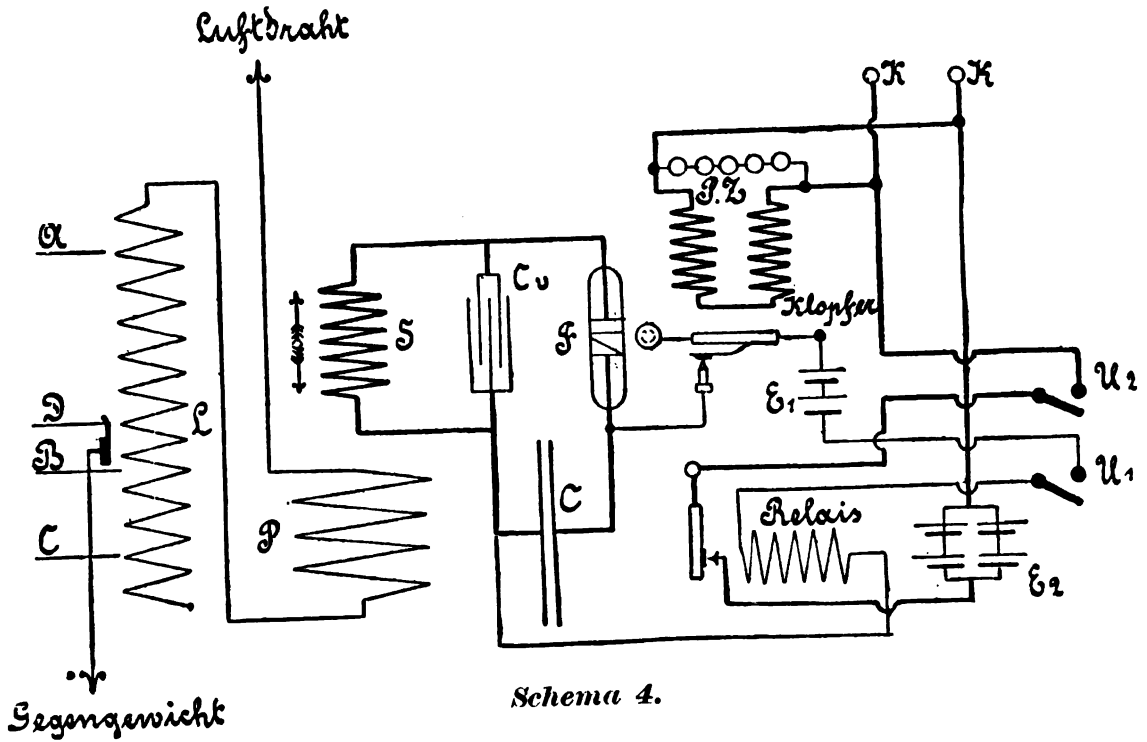
\*\*) Der Name Relais ist entlehnt den Pferde-Vorspann-Einrichtungen bei der Post und dann übertragen auf diejenigen Vorrichtungen der Telegraphenstationen, welche bezwecken, an



Empfänger



Schema 3.



Schema 4.

Elementen  $E_1$  (2,6 Volt), in deren Gleichstrom-Kreise außer dem Fritter selbst, noch die Sekundär-Wicklung S des Empfangs-Transformators, die Relais-Wicklung, die Unterbrechungsstelle am Klopfer (in der Figur rechts vom Fritter) und ein Schalter  $U_1$  liegen.

Der Fritter ist im Prinzip nichts anderes als ein Ausschalter des genannten Relais-Gleichstromes, der sofort zum Einschalter dieses Stromes wird, sobald er von elektrischen Wellen getroffen wird. Durch seine Vermittlung schließen also die elektrischen Wellen im Augenblicke ihrer Ankunft den Stromkreis der beiden erwähnten Trocken-Elemente  $E_1$ , der den in der Figur als „Relais“ bezeichneten Elektromagneten betätigt, welcher in demselben Augenblicke auch die Zunge (links vom Relais) nach der Pfeilspitze hinzieht. Hierdurch wird in demselben Augenblicke auch der durch die dicken Linien angedeutete Strom-Kreis der Batterie  $E_2$  (rechts unten) geschlossen, in welchem liegen: der an den Klemmen KK angeschlossene Morse-Schreiber oder eine elektrische Klingel von bekannter Art, ferner der Umschalter  $U_2$ , schließlich aber auch die Wicklungen der Elektromagnete für den Klopfer. Im Augenblicke des Eintreffens der elektrischen Welle, oder unmittelbar darauf, wird auch der Klopfer angezogen und durch Beklopfen des Fritterrohres die durch die elektrische Welle veranlaßte Leitfähigkeit wieder aufgehoben. Und nun ist wieder der als Ausschalter dienende Fritter geeignet gemacht, die Ankunft eines neuen Wellenzeichens in derselben vorhin geschilderten Weise wahrnehmbar zu machen. Der Morse-Schreiber- oder Wecker muß einen Widerstand von 2 bis 3 Ohm haben. Die parallel zur Klopfer-Wicklung eingeschaltete Polarisations-Batterie PZ soll durch ihre große Kapazität den Öffnungsfunken an den Relais-Kontakten beseitigen.

Kurz zusammengefaßt könnte man sagen: Das durch den Fritter beeinflusste Relais schließt die Batterie  $E_2$ , durch deren Arbeit betätigt werden die beiden in ihrem Stromkreis liegenden Apparate:

a<sup>1</sup> der Morse-Schreiber zum Aufzeichnen der empfangenen elektrischen Wellenzeichen und  
der Klopfer, welcher den Fritter durch Beklopfen wieder nichtleitend und zum Empfang einer neuen von der Sender-Station herkommenden elektrischen Welle geeignet macht.

Die Figur deutet noch an, daß sowohl am veränderten Kondensator  $C_7$ , als auch an der veränderlichen Selbst-Induktion eine den 3 Wellen des Gebers entsprechende Einstellung (Abstimmung) vorgenommen werden kann.

Schlußbemerkung. Der Fritter (oder Kohärer) F, ausgezeichnet durch ungewöhnlich große Empfindlichkeit, sicheres Arbeiten, „absolute Unverwüstlichkeit“, besteht aus einem meist luftleer gemachten Glas- oder Hartgummi-Röhrchen, in welches von beiden Seiten die Leitung-Enden mit ihren Enden aus gehärtetem Stahl hineintreten und mit Kolben verbunden sind, die einen schmalen keilförmigen Zwischenraum bieten zur Aufnahme von einigen Stahlkörnchen. Diese für gewöhnlich nicht leitenden Stahlkörnchen werden leitend, sobald sie von elektrischen Wellen getroffen werden und stellen dann die leitende Verbindung zwischen den Enden

Stelle der Schwachstrom-Zeichen, welche von der zeichengebenden Station durch die lange Telegraphenleitung zur Empfangs-Station kommen, stärkere zu setzen, die dann imstande sind, den die Depesche in Form von Punkten und Strichen aufzeichnenden Morse-Schreiber in genügend kräftige Bewegung zu versetzen. Das vom Schwachstrom erregte Relais hat deshalb nur die Bewegung einer kleinen Zunge zu veranlassen, die dann den Stromkreis einer besonderen, genügend starken elektrischen Batterie schließt, in welchem die genannten schreibenden Apparate liegen.

der Leitung her, die sofort wieder aufgehoben wird durch sanfte Erschütterung des Röhrens durch den Klopfer.

Die 2,25 m langen Luftleiter-Systeme, die (nach unserer Schilderung) oben und unten je ein Stück Kupfergaze als Endkapazität haben, sind zum Auseinandernehmen bequem fortzuschaffen und umgehen alle praktischen Schwierigkeiten „Erde“ (als Ableitung) zu bekommen.

Auch teilt die „Gesellschaft“ unter ihren neuesten Verbesserungen mit, daß sie überall für hoch frequente Wechselströme Kupferleiter verwendet, die aus sehr feinen isolierten Einzeldrähten nach neuem Verfahren hergestellt werden.

## 2.

### Die tragbaren Stationen der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. Berlin.

#### Allgemeines.

Diese Stationen sind konstruiert auf Grund der von der „Gesellschaft“ im Laufe des Jahres 1905 durch eingehende Versuche und Proben in der Praxis gemachten Erfahrungen und sollen sich auszeichnen durch:

1. Leichtigkeit und bequeme Handhabung der Apparate,
2. Äußerste Betriebssicherheit,
3. Erreichung eines hohen Wirkungsgrades bei relativ geringen Mitteln,
4. Kriegsbrauchbarkeit,
5. Erstklassiges Material, elegante und dauerhafte Konstruktion aller Apparate und Zubehörteile.

Die oben erwähnten Versuche haben ergeben, daß man mit 3 Masten von ca. 10 m Höhe mit einer speziellen, von der „Gesellschaft“ erdachten Antennen-Anordnung betriebssicher eine Reichweite von 25 km über flaches Land und dementsprechend mehr über See erzielen kann.

Eine vollständige Station setzt sich folgendermaßen zusammen:

I. Äußere Ausrüstung. Die zur Befestigung der Luftleiter (Antennen) dienenden Masten bestehen aus Stahlrohren, welche teleskopartig ineinandergeschoben werden können. In zusammengeschobenem Zustande sind dieselben ca. 2 m lang. Sie können auf bequemste Weise auf ca. 10 m auseinander gezogen und infolge ihrer Leichtigkeit (ca. 29 kg pro Mast einschließlich Versteifungs- und Abspannvorrichtung) bequem aufgestellt werden. Die Masten sind mit Rücksicht auf Stabilität mit Aluminium-Fußplatten versehen und, zweimal nach 3 Richtungen hin, durch in der Erde zu verankernde Stahlseile abgesehen. Außerdem ist jeder Mast gegen Zerknickung durch eine einfache Versteifungsvorrichtung geschützt. Sowohl beim Luftleitergebilde, als auch beim Gegengewicht kommt verziintes Kupferseil, bestehend aus 8 Drähten von je 0,4 mm Durchmesser zur Verwendung\*). Die Isolierung geschieht durch leichte Ambroin-Isolatoren. Zur äußeren Ausrüstung gehört außerdem noch eine Seiltrommel, auf welcher Luftleiter und Gegengewicht aufgewickelt sind.

II. Stromquelle. Eine kleine Gleichstrom-Dynamomaschine mit einer Leistung von etwa 80—100 Watt ist auf einem Fahrradgestell montiert (siehe

\*) Derartige Seile aus dünnen Drähten besitzen (wie schon oben hervorgehoben wurde) für hochfrequente Ströme eine weit größere Leitfähigkeit als dicke Drähte von gleichem Querschnitte, weil genannte Ströme nicht ins Innere des Leitungsdrahtes eindringen. Man wird hier unwillkürlich erinnert an die „neutralen Faserschichten“ gebogener und gedrehter Konstruktionsteile, die sich ebenfalls nicht an der Spannung beteiligen.

obige Photographie). Von dem Tretrade wird die Bewegung auf die Dynamomaschine mittels einer Schnur unter Benutzung einer entsprechend ausgebildeten, aus Aluminium bestehenden Scheibe übertragen. Das Übersetzungsverhältnis ist so gewählt, daß man bei normalem Treten eine Funkenlänge von 4 mm am Induktor erzielt. Das Gewicht der Tretdynamomaschine beträgt ca. 30 kg.

### III. Telegraphische Apparate.

A. Der Geber wiegt etwa 15 kg. Die Apparate des Gebers sind übersichtlich in einem mit Tragriemen versehenen Koffer von  $380 \times 380 \times 200$  mm montiert.

Der Geberkasten enthält:

- a) den Morse-Taster,
- b) den Induktor mit Hammer-Unternehmer.

Dieser ist so bemessen, daß er das Dreifache der verlangten Leistung ohne weiteres auszuhalten vermag. Er ist mit der Maschine zusammen so bemessen, daß er die Betriebsleistung mit geringstem Wattverbrauche (80 Watt) ergibt und am Hammer-Unterbrecher fast gar keine Funken auftreten können. Parallel zum Unterbrecher ist ein Primär-Kondensator aus Paraffin-Papier geschaltet;

- c) die Leydener Flaschenbatterie, welche aus 12 Röhrenflaschen besteht,
- d) die Erregerspule, welche mit dem Flaschengestell auf eine elektrische Welle von 363 m abgestimmt ist;
- e) die Funkenstrecke (mit Zinkpolen);
- f) die Anschlußdose für Luft-Draht und Gegengewicht mit Verblockung, d. h. automatischer Unterbrechung des Primärstromes beim Abschalten von Luft-Draht und Gegengewicht;
- g) den Steckkontakt zum Anschluß an die zur Stromquelle führenden Leitungen usw.

B. Der Empfänger wiegt etwa 6 kg; die Apparate sind ebenfalls in einem Koffer von  $220 \times 250 \times 120$  mm angeordnet.

Der Kasten enthält:

- a) einen Hörempfänger für elektrolytischen Detektor,
- b) ein Doppelkopf-Telephon,
- c) vier Trockenelemente,
- d) einen Transformator,
- e) einen sekundären variablen Kondensator,
- f) eine Gleichstromblockierung, d. h. eine automatische Unterbrechung des Gleichstromes beim Abschalten von Luft-Draht und Gegengewicht,
- g) eine Anschlußdose usw.

Der in Anwendung kommende Indikator ist der elektrolytische Wellendetektor (nach Schloemilch). Derselbe erfordert keine mechanische Erschütterung und ist imstande, auf jede Entfernung betriebssicher anzusprechen, ohne daß es nötig ist, ihm vonseiten des Personals besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Ferner ergibt er in unserer hier zur Verwendung gelangenden Spezialschaltung einen hohen Grad von Störungsfreiheit gegen atmosphärische Einflüsse.

IV. Transport der Stationen. Für den Transport der vollständigen Station sind 12 Mann erforderlich. Die Lastverteilung erfolgt in der Weise, daß sechs Mann die drei Masten und Zubehör, je ein Mann: 1 Feldtisch und 1 Feldstuhl, sowie 1 Sichel; Seiltrommel und Gegengewichtsstäbe; den Geber; den Empfänger und Beil und sonstiges Zubehör, das Tretgestell; die Dynamo tragen.

Bei Benutzung von 4 Pferden geschieht der Transport in folgender Weise:

Pferd A	trägt 1 Mast und Zubehör, Empfänger, 1 Tisch,
„ B	„ „ „ „ „ Geber, 1 Stuhl,
„ C	„ „ „ „ „ Gegengewichtstäbe, Zubehör,
„ D	„ „ „ „ „ Tretgestell, Dynamo, Luftdraht, Gegengewicht, sonstiges Zubehör wie Sichel, Beil etc.

Zum bequemen Tragen bzw. Befestigen an dem Sattelzeug werden die einzelnen Teile während des Transportes zum Teil in Tragtaschen aus wasserdichtem Segeltuch untergebracht. Das Gesamtgewicht der Station beträgt 170 kg (netto).

Der Transport der Station kann außerdem auf einem einspännigen, zweiräderigen Karren erfolgen, bei dem ein vierter Mast zur Reserve vorgesehen werden kann.

### Schlußbemerkungen.

Die Abstimmung funkentelegraphischer Sender. Slaby kommt durch seine neuesten Untersuchungen über die „Abstimmung funkentelegraphischer Sender“ im Dezemberheft der ETZ 1905 auf S. 1158 zu neuen Ergebnissen, die im folgenden in einzelnen Bruchstücken wiedergegeben sind:

1. Die Gleichstimmung der beiden Schwingungsbahnen (des gekuppelten Flaschenkreises und des Sendegebildes) vor der Kuppelung, die sog. „Resonanz des Systemes in sich“ ist weder für die gesamte Energieaufnahme des Sendegebildes noch für die Fernwirkung von ausschlaggebender Bedeutung.

2. Beim gekuppelten Sender spielt die an sich schwächere „Oberwelle“ eine wichtigere Rolle als die „Grundwelle“, weil „sie eine günstigere Lage des maßgebenden Strombauches im Sendedraht besitzt als letztere. Statt der Viertelwelle Marconis wird eine halbe Welle mit höher gerücktem Strombauch verwendet. Die Verwendung der Oberwelle gestattet günstige Fernwirkung bei verhältnismäßig geringer zusätzlicher Kapazitätsbelastung“.

3. Dagegen ist es möglich, bei Wahl ausreichender Kapazitäten mit der Grundwelle Fernwirkungen zu erreichen, welche die Maximalwirkungen der Oberwelle, allerdings mit erheblich vermindertem ökonomischen Wirkungsgrade, übertreffen.

4. Auch haben die Untersuchungen ergeben, daß stets eine größere, der aufgewendeten Energie proportionale Fernwirkung erzielt wird durch die Grundwelle bei der direkten Erregung, durch die Oberwelle bei der indirekten Erregung, daß also die direkte Erregung anzuwenden ist beim Arbeiten mit der Grundwelle, dagegen die indirekte Erregung bei Verwendung der Oberwelle.

Die bei direkter Erregung größere Gefährlichkeit bei der Bedienung fällt bei großen Stationen kaum ins Gewicht.

5. Die Berücksichtigung der Dämpfungsverhältnisse verlangt, daß zur Erzielung der günstigsten Fernwirkung die gemeinschaftliche Selbstinduktion der gekuppelten Schwingungsbahnen einen gewissen, wenn auch nur kleinen Wert besitzen muß. Bei Verwendung einer einfachen Luftfunkenstrecke hat sich für die günstigste Wirkung das Verhältnis  $\frac{\text{Kapazität des Sendegebildes}}{\sqrt{\text{Selbst-Induktion}}} = 6,8$  ergeben.

6. Auch muß der Kapazitätskreis außer der gemeinschaftlichen eine tunlichst geringe Selbstinduktion besitzen. Auch ist zur Erzielung guter Fernwirkung tunlichst induktionslose Erdung der Belastungskapazität zu erstreben.

7. Die auftretenden Wellen sind Grund- und Oberwelle des gesamten Systemes und nicht eines Teiles desselben. Eine partielle oder lokal auftretende Dämpfungs-

ursache wirkt darum auf das ganze System zurück. Der bisherigen „Schwungrad-Theorie“ gegenüber erscheint deshalb eine andere Auffassung berechtigter, nach welcher das gekoppelte System als ein Generator zu betrachten ist, welcher ähnlich wie eine elektrische Batterie Nutzarbeit nur leisten kann, unter Aufwand einer gewissen inneren Verlustarbeit. Das für alle elektrischen Generatoren mit konstanter EMK gültige Gesetz, daß die maximale Nutzarbeit geleistet wird, wenn die innere Verlustarbeit ebenso groß, d. h. der elektrische Wirkungsgrad  $= \frac{1}{2}$  ist, hat sich experimentell auch für das gekoppelte Schwingungssystem als zutreffend erwiesen. —

Die Nutzarbeit steigt mit der Verlustarbeit und da diese zum weitaus überwiegenden Teil durch den Funkenstrom bedingt ist, so ergibt sich, daß neben dem unter 2 erwähnten Vorteil des gekoppelten Senders ein weiterer in der Verstärkung des Funkenstromes begründet ist\*).

---

\*) Dieser Auffassung widerspricht nicht das, was ich in der Elektromechanik unter „Trägheit“ und „Selbstinduktion“ angenommen habe.

## Anhang.

### 1. Elektrische Gewinnung von Metallen und Metallverbindungen.

Von Borchers (Aachen).

1. Natrium. Rohstoffe: Natriumchlorid, Natriumnitrat und Natriumhydroxyd. Die elektrolytische Gewinnung von Natrium aus geschmolzenem Chlorid ist in großem Maßstabe noch nicht zur Ausführung gekommen. Stockem hat ein leicht schmelzbares Salzgemisch aufgefunden (NaCl, KF), welches die bisherigen Schwierigkeiten zu beseitigen Aussicht bietet. Aus wässrigen Lösungen von Natriumchlorid wird zwar Natriumamalgam gewonnen, welches jedoch meist sofort nach seiner Bildung wieder auf Natriumhydroxyd verarbeitet wird, da das Quecksilber keine hinreichend großen Natrium-Mengen ohne erhebliche Kraftverluste aufzunehmen imstande ist, um auf diesem Wege die Natriummetall-Gewinnung zu ermöglichen. — Aus geschmolzenem Natriumnitrat ist in der Chemischen Fabrik von Harrison Bros. & Co. in Philadelphia nach einem Verfahren von Darling gearbeitet worden, nach welchem außer Natrium auch die Salpetersäure des Nitrates gewonnen wird. — Die übrigen Fabriken gewinnen Natrium durch Elektrolyse von geschmolzenem Natriumhydroxyd, also nach Davys Verfahren unter Benutzung von Apparaten nach Castner sowie auch Rathenau-Suter.

2. Magnesium. Elektrolyse von geschmolzenem Carnallit, ausgeführt in zwei deutschen Fabriken nach zwei verschiedenen, geheim gehaltenen Methoden: Hemelinger-Verfahren und Verfahren Rathenau-Suter.

3. Calcium. Die Elektrochemischen Werke Bitterfeld gewinnen Calcium durch Elektrolyse elektrisch geschmolzenen Calciumchlorides nach einem durch diese Werke verbesserten Verfahren von Borchers und Stockem.

4. Aluminium. Nach Héroult-Kiliani wird Aluminium durch Elektrolyse von in geschmolzenen Salzen gelöster Tonerde bei hoher Stromdichte (7000 A/qm) abgeschieden. Die Schmelzwärme liefert der Elektrolysestrom selbst. Schmelzgefäße: Freistehende Eisengefäße mit Auskleidungen von Kohle, Kryolith oder anderen Aluminiumverbindungen. Anode: Kohleplatten. Kathode: Zu Beginn des Betriebes das mit Kohle ausgekleidete Gefäß selbst oder ein durch den Boden eingeführter gekühlter Metall- oder Kohleblock. (Nach Cowles: Reduktion von Tonerde bei Gegenwart von Kupfer durch elektrisch erhitzten Kohlenstoff, wird nicht mehr gearbeitet.)

5. Kupfer. Die elektrolytische Raffination des Kupfers (Anoden: Rohkupfer, Kathoden: Feinkupferbleche, Elektrolyt: sauer gehaltene Kupfersulfatlösung) ist seit 1873 auf den Mansfeldschen Werken (kleine Anlage), seit 1876

auf den Werken der Nordd. Affinerie Hamburg, seit 1878 in Oker in den Betrieb eingeführt (seit der Zeit in vielen anderen Werken). Gegenwärtig beste Arbeitsweise „Siemens-Gebr. Borchers“ besteht in Elektrolyse unter lebhafter Laugenzirkulation mit Luftblasen-Hebern, so daß jetzt mit Stromdichten von 100 bis 200 A/qm gearbeitet werden kann, wo früher mit 30 bis 50 A/qm gearbeitet werden mußte.

Zur direkten elektrolytischen Verarbeitung von Kupferstein nach einem Verfahren von Borchers, Franke und Günther wird eine große Versuchsanlage in Mansfeld errichtet.

6. Silber. Guldisches Silber wird in allen größeren Scheideanstalten elektrolytisch geschieden. Anoden: Blicksilberplatten in Leinenbeuteln hängend oder in Filterkästen liegend. Kathoden: Feinsilberbleche mit Abstreichvorrichtungen für das nadelförmig aufwachsende Silber. Elektrolyt: sauer zu haltende dünne Lösung von Silber- und Kupferniträt; Stromdichte bis zu 200 A/qm; Spannung 1,5 Volt pro Zelle. Das kristallinische Feinsilber wird von Zeit zu Zeit aufgehoben, gewaschen, getrocknet und eingeschmolzen. Gold wird als Schlamm aus der Anodenzelle alle Woche ein- oder zweimal entfernt und wie bisher verarbeitet. Für das Verfahren existieren vier verschiedene Apparatkonstruktionen: zwei von Möbius, die übrigen von Wohlwill und Balbach.

7. Gold. Platinmetalle enthaltendes Gold wird nach Wohlwill elektrolytisch geschieden. Anoden: Rohgold in kleinen Platten. Elektrolyt: stark salzsaure, warme Goldchloridlösung. Kathoden: Feingold. Stromdichte: 400 bis 1000 A/qm.

In Transvaal arbeiten viele Werke nach Siemens & Halske. Cyanidlaugerei der Erze und Amalgamationsrückstände. Elektrolytische Fällung des Goldes aus den Cyanidlaugen auf Bleikathoden, die von Zeit zu Zeit eingeschmolzen und abgetrieben werden.

Auf mexikanischen und kalifornischen Werken ist die elektrolytische Arbeitsweise einerseits durch Butters, andererseits durch Christy wesentlich verbessert worden. Butters arbeitet mit Bleisuperoxydanoden und Weißblechkathoden, an welchen im Gegensatz zu den Bleikathoden das Blei nicht haftet. Der Goldschlamm wird ständig nach dem Prinzip des Spitzluttensystems am Boden ausgetragen. Christy beschleunigt die Elektrolysierarbeit dadurch, daß er die Laugen in starker Strömung durch die als durchlochete rost- und gitterähnliche Platten ausgebildeten Elektroden schiebt.

8. Zink. In größerem Maßstabe während der letzten Jahre ausgeführte Versuche lassen erwarten, daß verschiedene bisher schwer verarbeitbare oxydische Zinkerze bzw. Röstprodukte sulfidischer Zinkerze sich mit Erfolg im elektrischen Ofen verschmelzen lassen, wobei sich durch zweckentsprechende Gattierung der Beschickung nach Dorsewagen aus kieselsäurereichen Erzen Siliziumkarbid und Grafit, nach Borchers Ferrosilizium als Schmelzrückstand gewinnen lassen. Südfranzösischen und schwedischen Werken sind einige Ofenkonstruktionen zum Verschmelzen von Zinkerzen patentiert worden, wobei auch auf die Verbrennung der Zinkdämpfe zu Zinkweiß Rücksicht genommen ist.

Durch Laugerei und chlorierende Röstung wird auf Grundlage der Ideen von C. Höpfner noch auf den Werken von Brunner, Mond & Co. in Northwich (England) gearbeitet.

9. Zinn. Zinnerze als Rohstoff für die elektrolytische Zinnengewinnung haben trotz vieler Vorschläge noch keine Anwendung gefunden. Auch die bei der Zinnraffination abfallenden Härtlinge (Zinneisen) werden nicht mehr elektrolytisch verarbeitet; in großem Maßstabe dagegen die Weißblechabfälle. Letztere werden in eisernen Körben von etwa 50 kg Fassungsvermögen als Anoden in



warmen Natriumhydroxydlösungen unter Benutzung der Wände der eisernen Elektrolysierbehälter und eingehängter Eisenblechplatten als Kathoden bei einer Stromdichte von 150 bis 200 A/qm, Kathodenfläche bei 1,5 V elektrolysiert. Die Entzinnung ist in 5 bis 7 Stunden vollendet. Da sich in den Laugen Stannate und Karbonate anreichern, müssen dieselben von Zeit zu Zeit regeneriert werden. Durch Kohlensäure werden getrennt mitgelöstes Blei und dann das Zinn gefällt, worauf die Laugen durch Kalk wieder kaustiziert werden.

10. Blei. Während der letzten drei Jahre sind in den Vereinigten Staaten und Canada zwei Versuchsbetriebe eingerichtet worden. In dem einen zu Niagara Falls wird nach Salom Bleiglanz elektrolysiert. Derselbe wird auf flache Hartbleipfannen geschichtet, mit verdünnter Schwefelsäure überdeckt, in welche der Boden einer zweiten Hartbleipfanne eintaucht. Es werden so Pfannensäulen gebaut, in denen der Bleiglanz die Kathode bildet und in schwammiges Blei übergeführt wird. — In dem anderen Betriebe zu Trail in British Columbia wird nach einem anderen Verfahren von Betts silberhaltiges Blei unter Verwendung eines Elektrolyten von Silizium-Fluor-Wasserstoffsäure bezw. deren Bleisalzen elektrolytisch raffiniert. Bekanntlich wird auf elektrolytischem Wege Blei niemals in dichter Form, sondern stets als Metallschlamm erhalten, welcher noch zusammengesmolzen werden muß.

11. Antimon. Laugerei armer Erze oder Saigerrückstände mit Schwefelnatriumlösungen und Elektrolyse der so erhaltenen Sulfantimonitlaugen mit Bleianoden und Eisenkathoden. (Verfahren von Borchers. Nur versuchsweise im Betrieb gewesen.)

12. Chrom. In geschmolzenem Zustande zuerst 1888 von Borchers durch Reduktion des Chromoxydes im elektrischen Ofen erhalten, wird heute meist als Ferrochrom durch direktes reduzierendes Verschmelzen von Chromeisenstein im elektrischen Ofen besonders auf südfranzösischen Werken fabrikmäßig dargestellt.

Unter großen Vorsichtsmaßregeln läßt es sich auch, wie schon Bunsen nachgewiesen hat, aus wässrigen Lösungen abscheiden. — Ganz kohlenstofffrei und frei von Eisen wird das Chrom heute vielfach durch Reduktion mittels Aluminium nach Goldschmidt hergestellt.

13. Nickel. Wesentliche Vereinfachungen der Nickelgewinnung sowohl aus kupferfreien wie aus kupferhaltigen Erzen bieten die neuen Verfahren von Borchers und Günther. Dieselben haben bewiesen, daß sich der Nickelkonzentrationsstein (etwa 75 % Ni) direkt in schwachsaurer warmer Nickelsulfatlösung als Anode verwandt auf Reinnickel verarbeiten läßt. — Auch Nickel-Kupferstein läßt sich nach einem noch nicht veröffentlichten Verfahren von Borchers und Günther direkt verarbeiten. Die Scheidung von Nickel-Kupferlegierungen ist sowohl von Wohlwill wie von Borchers und Günther schon früher mit Erfolg durchgeführt. — Für die Gewinnung dichten Elektrolytnickels ist für alle Fälle zu berücksichtigen, daß die Lösung nur schwach sauer sein darf, ziemlich warm gehalten werden muß (50 bis 90° C) und daß je nach dem Stande der Elektrolyse und der Reinheit des Elektrolyten eine zwischen 50 und 300 A/qm liegende zulässig ist.

14. Eisen. Eisengewinnung durch direktes elektrolytisches Verschmelzen von Erzen ist trotz der günstigen Berichte über das sogenannte Stassano-Verfahren und der von Harmet und Keller entworfenen Bilder solcher Anlagen ausgeschlossen. Dagegen haben einerseits Hérault in La Praz (Savoyen), andererseits Kjellin in Gysinge beachtenswerte Erfolge bei der Verarbeitung von Roheisen auf Spezialstahlsorten erzielt. Hérault dadurch, daß er zwischen die von oben in den Schmelzofen eintauchenden Elektroden und das zu raffinierende Metall eine Schlackenschicht legt, welche die direkte Berührung zwischen

Kohlelektroden und Metall verhindert und somit eine Entkohlung des Eisens ermöglicht; Kjellin dadurch, daß er den Erhitzungsstrom für das zu schmelzende Metall in diesem selbst durch Induktion erzeugt und somit die Elektroden überhaupt beseitigt. Durch diese beiden Verfahren ist es möglich geworden, auf das geschmolzene Eisen sowohl durch Oxydations- wie durch Reduktionsmittel einzuwirken und hohe Reinheitsgrade zu erzielen. Die Verfahren von Harmet und von Keller sind Nachahmungen des Héroultverfahrens.

15. Von beachtenswerten Metallkarbiden sind die nachstehenden dargestellt, welche sich nach dem Atomverhältnis ihrer Bestandteile wie folgt ordnen:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
CaC <sub>2</sub>	CeC <sub>2</sub>	U <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	WC	Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	Mo <sub>2</sub> C	Mn <sub>2</sub> C	Cr <sub>1</sub> C
SrC <sub>2</sub>	LaC <sub>2</sub>			Be <sub>4</sub> C <sub>3</sub>		W <sub>2</sub> C	Fe <sub>3</sub> C	
BaC <sub>2</sub>	YC <sub>2</sub>							
	ThC <sub>2</sub>							

Alle diese Karbide werden durch Reduktion der entsprechenden Metalloxyde mit elektrisch erhitztem Kohlenstoff erhalten, wie Borchers bereits in der ersten Auflage seiner Elektrometallurgie 1891 nachgewiesen hat. Analysen der einzelnen Karbide sind dann später von anderen Experimentatoren ausgeführt worden. Die verschiedenen Karbide unterscheiden sich unter anderem besonders auch durch ihr Verhalten gegen Wasser, mit welchem sie die verschiedensten Kohlenwasserstoffe liefern. Auch der Zerfall einiger der Karbide bei Steigerung der Temperatur und unter anderen Einflüssen nach ihrer Bildung hat wertvolle Aufschlüsse über die Entstehung des Graphits und anderer Modifikationen des Kohlenstoffes gegeben.

16. Silizide. Durch elektrisches reduzierendes Verschmelzen von Silikaten bzw. Kieselsäure und Metalloxydgemischen lassen sich zahlreiche Silizide erhalten, von denen bis jetzt Silizide des Eisens, Nickels, Kobalts, Chroms, Mangans, Kupfers der allgemeinen Formel M<sub>2</sub>Si, ein Eisensilizid FeSi und ein Wolfram-silizid W<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> isoliert sind.

Eisensilizid legiert sich scheinbar in allen Verhältnissen mit Silizium, da Ferrosilizium mit Siliziumgehalten von über 80% im elektrischen Ofen unter einer stark sauren Schlacke erschmolzen werden kann.

Ob auch die von de Chalmot erwähnten (J. of the Am. Soc. 1899, 21, 59) Silizide Fe<sub>3</sub>Si<sub>2</sub> und FeSi<sub>2</sub> als chemische Verbindungen oder als Legierungen der übrigen Silizide mit Silizium zu betrachten sind, ist noch nicht erwiesen.

## 2. Elektrochemie

und ihre

**physikalisch-chemischen Grundgesetze; Elemente und Akkumulatoren.**

**Einleitung.** Die chemischen Vorgänge oder „Reaktionen“ gehorchen dem Ohmschen Gesetze in seiner allgemeinen Bedeutung:

$$i = e/w \text{ oder } e = iw.$$

**e** ist die treibende Kraft der Reaktion oder die Energiedifferenz des Systems vor und nach der Reaktion\*).

**i** ist die „Reaktions - Geschwindigkeit“, d. i. die in der Zeiteinheit (1 Sekunde) umgesetzte Stoffmenge.

**w** ist der dem Stoffwechsel (der Reaktion) entgegenstehende Widerstand (z. B. Reibung, Trägheit, Massenanziehung etc.), ohne den alle Reaktionen unendlich schnell verlaufen würden.

**ei** ist die Leistung in der Zeiteinheit.

**em** ist dann die Arbeit, wenn in beliebiger Zeit die Stoffmenge **m** umgesetzt wird, d. i. dem chemischen Umwandlungsvorgang unterliegt.

Diese Arbeit ist entweder zur Herbeiführung der Reaktion aufzuwenden, z. B. zur Erzeugung von Eisen aus Eisenerz oder zur Gewinnung von Bleichlauge aus Kochsalzlösung durch Elektrolyse etc. Oder die Arbeit **em** läßt sich bei bestmöglicher Ausnutzung aus der von selbst verlaufenden Reaktion gewinnen, z. B. aus der Vereinigung von Kohle mit Sauerstoff (der Kohleverbrennung) oder der Reaktion zwischen Blei, Bleisuperoxyd und Schwefelsäure im Bleiakкумуляtor, oder aus der Ausfällung von Kupfer aus Kupfersulfatlösung durch Zink im Daniellelement zur Elektrizitätserzeugung etc.

Die physikalische Chemie befaßt sich mit allen in obigen Gleichungen vorkommenden Größen.

Die Elektrochemie, ein besonderer Zweig derselben, dem wir uns in folgendem vorzugsweise zuwenden, behandelt speziell die Umwandlung von elektrischer (also auch mechanischer) Energie in chemische und umgekehrt, also die Erzwingung von Reaktionen durch Elektrizität, oder die Gewinnung von elektrischer Arbeit aus der Energie chemischer Reaktionen.

\*) „Kraft“ und „Energie“ sind eigentlich zwei sich nicht deckende Begriffe, sondern es ist:

$$\text{Energie} = \text{Arbeitsfähigkeit} = \text{Kraft} \times \text{Menge};$$

der Kürze halber bezeichnet man aber in der Chemie mit dem Ausdruck „freie Energie der Reaktion“ die Arbeitsleistung, die mit dem Umsatz der Stoffmenge **l** (vergl. die 2. Fußnote S. 404) verbunden ist; in dieser im folgenden stets benutzten Definition decken sich die Begriffe: freie Energie, treibende Kraft und elektromotorische Kraft der Reaktion in Volt.

### Physikalische Chemie.

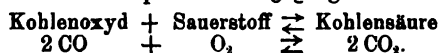
Man hat zu unterscheiden zwischen vollständig (bis zum völligen Verbrauch des sich umwandelnden Stoffes) verlaufenden und unvollständig (bis zu einem bestimmten, der Reaktion eigentümlichen Gleichgewicht) verlaufenden Reaktionen. Unvollständige Reaktionen können durch Änderung von Druck und Temperatur zu vollständigen werden und umgekehrt.

Beispiel. Wasser verdampft unterhalb einer gewissen (seiner kritischen) Temperatur nur so lange, bis die über dem Wasser befindliche Luft an Wasserdampf gesättigt ist. Die Sättigungskonzentration oder Sättigungsdruck ist abhängig von der Temperatur. Diese Reaktion ist eine unvollständige. Erniedrigt man aber bei gleichbleibender Temperatur den Druck des Wasserdampfes, wie der Wind es tut, indem er die wasserdampfreiche Luft von dem frisch beregneten Boden fortbläst, so verdampft alles Wasser, d. h. die Reaktion wird eine vollständige. Erhöht man den Druck, ohne die Temperatur zu ändern, so wird der Dampf vollständig kondensiert.

Die meisten chemischen Reaktionen sind unvollständig, z. B. die Verbrennung von Kohle mit Sauerstoff zu Kohlensäure, von Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser, die Fällung von Kupfer aus Kupfersulfat durch Zink usw. Das Kennzeichen dieser unvollständigen Reaktionen ist, daß sie von selbst ohne äußeres Zutun bis zu einem bestimmten Zustande, dem „Gleichgewichtszustande“, verlaufen.

Ein Gemisch von Kohlenoxyd und Sauerstoff ist bei 2500° C und Atmosphärendruck im Gleichgewicht, wenn es 80% Kohlensäure und 20% an ursprünglichem Gasgemisch enthält. Umgekehrt zerfällt Kohlensäure beim Erhitzen auf 2500° C im Betrage von 20% in Kohlenoxyd und Sauerstoff, bis derselbe Gleichgewichtszustand (80% : 20%) wie vorhin erreicht ist.

Man drückt diese Umkehrbarkeit der Reaktion nach van't Hoff aus, indem man an Stelle der Gleichheitsstriche zwei parallele entgegengesetzte Pfeile setzt:



Durch Zusammenpressen auf  $\frac{1}{10}$  Volumen bei Erhaltung derselben Temperatur liegt der Gleichgewichtszustand bei 91% : 9%. Bei Rückkehr des Druckes auf den ursprünglichen Zustand erscheint auch wieder der ursprüngliche Reaktions-Gleichgewichtszustand 80 : 20 und es wird auch genau die Arbeit wieder gewonnen, welche beim Komprimieren aufgewendet war.

Hieraus gibt sich der allgemein gültige Satz:

Jedes (nicht im Gleichgewicht befindliche) System (Gemisch einer Anzahl reaktionsfähiger Stoffe oder eine mechanische Anordnung) sucht zu seinem Gleichgewichtszustand zurückzukehren und vermag (freigegeben) dabei um so mehr Arbeit zu leisten, je weiter es vom Gleichgewichtszustand entfernt ist.

Diese mögliche Arbeit heißt „Arbeitsfähigkeit“ oder die „freie Energie“ des Systems und ihre Ermittlung gehört zu den Hauptaufgaben der theoretischen Elektrochemie.

Zur Berechnung der Arbeitsfähigkeit dienen zwei Wege:

1. aus der Wärmetheorie (thermodynamische Berechnung ohne Voraussetzungen).
2. aus der Gleichgewichtslehre oder der elektromotorischen Kraft, welche letztere den fast alleinigen Weg zur experimentellen Bestimmung bildet.

1. **Arbeitsberechnung aus der Wärmewirkung der Reaktionen.** Jede Reaktion ist mit einer ihr eigentümlichen Wärmebewegung, „ihrer Wärmetönung“, verknüpft, sie verbraucht oder erzeugt Wärme. In einem geschlossenen, allseitig von Wasser umgebenen Gefäß (Kalorimeter) vor sich gehend, erwärmt sie das Wasser oder entzieht ihm Wärme. Aus der Wärmekapazität des Kalori-

mers (seinem „Wasserwert“) und der Temperaturänderung des Wassers ergibt sich \*) die „Wärmemenge“. Als Wärmeeinheit (Kalorie, cal) wird die Wärmemenge bezeichnet, durch die sich 1 Gramm (g) Wasser von 15° auf 16° Celsius (C) erwärmen läßt.

Beispiel. Die Gleichung



bedeutet, daß die Vereinigung von 1 Mol.\*\*) NaOH mit 1 Mol. HCl zu 1 Mol. NaCl + 1 Mol. H<sub>2</sub>O eine Wärmemenge von 13700 cal erzeugt. Die Gleichung



besagt, daß bei der Auflösung von Kochsalz in viel Wasser (aqua) 1180 cal verschluckt (absorbiert) werden, welche die Umgebung des Reaktionsgefäßes oder die reagierende Masse selbst hergeben muß (indem sie sich abkühlt).

„Endotherme Reaktionen“ nennt man solche, die Wärme absorbieren („negative Wärmetönung“), „exotherme“ solche, welche Wärme hervorbringen („positive Wärmetönung“).

„Erster Hauptsatz der Wärmetheorie“ oder „Gesetz von der Erhaltung der Energie“. Lassen wir eine von selbst verlaufende Reaktion die Arbeit a leisten (wozu sie nach S. 402 befähigt ist), so wird dadurch die von ihr entwickelte Wärme kleiner. Es gilt die Gleichung

$$q = a + w.$$

q ist die Wärmetönung, d. h. die Wärmeentwicklung, wenn die Reaktion keine Arbeit leistet.

a ist die entzogene Arbeit.

w ist die bei der Entziehung von a übrigbleibende Wärmeentwicklung.

Beispiel: Der Vorgang im Daniellelement



ist exotherm; ohne Arbeitsleistung entwickelt er im Kalorimeter 25055 cal (q), wenn 1 Mol umgesetzt wird.

Ziehen wir den Vorgang zur Arbeitsleistung a

$$\text{von einer Pferdekraftminute heran } \left( a = \frac{75 \cdot 60 \cdot 1000}{424} = 10600 \text{ cal} \right),$$

so bleiben  $w = 25055 - 10600 = 14455 \text{ cal}$  zur Erwärmung der Umgebung (des Kalorimeters und der Reaktionsmasse selbst) übrig:

$$q = a + w.$$

Entziehen wir dem Vorgang mehr Arbeit als 25055 cal entspricht, z. B. 25255 cal, so müßte das Zuviel von außen zugeführt werden (die Reaktionsmasse kühlt sich ab), w wird negativ, also:

$$q = a - w.$$

Führen wir dagegen dem Element Arbeit zu, indem wir z. B. einen Akkumulator an dasselbe spannen, so wird  $w > q$ , also:

$$q + a = w; \quad q = -a + w.$$

Die Gleichung  $q = w + a$  ist als der mathematische Ausdruck des Gesetzes von der Erhaltung der Energie anzusehen\*\*\*).

\*) Einzelnes s. Nernst, Theor. Chem. 1908, 580.

\*\*) Mol. (Grammolekül) eines Stoffes ist diejenige Menge, deren Gewicht in Gramm gleich ist seinem Molekulargewicht (s. Tabelle S. 427), z. B. ist ein Mol. Na = 23,05 g, 1 Mol. Cl = 35,45 g, 1 Mol. Kochsalz (NaCl = Na + Cl) = 58,50 g, 1 Mol. Wasser H<sub>2</sub>O = 18 g, 1 Mol. Schwefelsäure (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) = 96 g usw.

\*\*\*) Von uns gewonnene oder von seiten der Reaktion abgegebene Wärme oder Arbeit bezeichnet man mit dem positiven, von uns aufgewendete oder von der Reaktion verschluckte mit dem negativen Vorzeichen.

**Zweiter Hauptsatz der Wärmetheorie.** Er lehrt, wie man die aus einer Reaktion im besten Fall zu gewinnende Arbeit, ihre „Arbeitsfähigkeit“, „maximale Arbeit“ oder „freie Energie“ berechnen kann. Er lautet:

$$A = q + \alpha (273 + t).$$

A ist die gesuchte maximale Arbeit, q wieder die Wärmetönung,  $t^{\circ}\text{C}$  die Temperatur und  $\alpha$  der Temperaturkoeffizient der maximalen Arbeit\*). Ist A unabhängig von der Temperatur ( $\alpha = 0$ ), so ist  $A = q$ , ist  $\alpha$  negativ, so ist  $A < q$ , ist  $\alpha$  positiv, so ist  $A > q$ . Beim absoluten Nullpunkt ( $-273^{\circ}$ ) ist stets  $q = A$ .

Beispiel: Beim Daniellelement ist  $q = 25055$  cal; die freie Energie A nimmt pro Grad um etwa 0,77 cal zu und ist bei  $0^{\circ}$  ( $T = 273$ ) 25263 cal, also:

$$\begin{aligned} A - q &= \alpha \cdot 273 \\ 25263 - 25055 &= 0,77 \cdot 273 \\ 208 &= 210. \end{aligned}$$

Die Rechnung stimmt hier, soweit es die Genauigkeit der kalorimetrisch gewonnenen Zahlen überhaupt erwarten lassen können.

**2. Arbeitsberechnung aus der Gleichgewichtslehre.** Sie geht von dem oben erwähnten Satz aus, daß die Arbeitsfähigkeit eines chemischen Systems oder einer mechanischen Anordnung um so größer ist, je weiter das System vom Gleichgewichtszustand entfernt ist.

Die Arbeit, die wir gewinnen können, ist  $e \cdot m =$  treibende Kraft  $\times$  Stoffmenge.  $m$  ist in jedem Falle durch Wägung zu bestimmen. Wir tun gut, die Berechnung für die Stoffmenge Eins, aber nicht 1 g, sondern, weil alle Gleichungen und Rechnungen dadurch einfacher werden, 1 Mol.\*\*\*) durchzuführen. Wie hängen die beiden Größen: freie Energie der Reaktion und Entfernung vom Gleichgewicht zusammen?

**Gleichung von van't Hoff.** Nach dem von Gay-Lussac erweiterten Boyle-Mariotteschen Gesetz

$$p \cdot v = R(273 + t)$$

übt ein Mol. eines Gases, welches in einem Gefäß von dem Volumen  $v$  eingeschlossen ist, bei  $t^{\circ}\text{C}$  auf die Wände des Gefäßes ein Druck  $p$  aus, der sich aus dieser Gleichung ergibt; der Druck wird hervorgerufen durch das allen Gasen innewohnende Bestreben, sich auszudehnen.  $R$ , die „Gaskonstante“, ist eine für alle Gase gleiche Größe, aber natürlich eine je nach dem gewählten Maßsystem sich ändernde Zahl\*\*\*). Zählt man nun die Temperatur nicht vom Eispunkte, wie beim Celsius-Thermometer, sondern von  $-273^{\circ}$  ab†), so lautet die Gleichung:

$$p \cdot v = R \cdot T.$$

Die Gleichung, die für ein Mol. eines jeden Gases, z. B. für 2 g  $\text{H}_2$  (Wasserstoff), 32 g  $\text{O}_2$  (Sauerstoff) gilt, sagt aus:

Steht ein Gas unter Atmosphärendruck (d. h.  $p = 1$  Atm. = 760 mm Quecksilber- oder Barometerdruck), so ist  $v = R T$ .  $R$  in Literatmosphären gezählt ist

\*) Näheres s. Nernst, Theor. Chem. 1906, 24. Die Gleichung lautet gewöhnlich

$$A = q + T \frac{dA}{dT}$$

dem mathematisch Erfahrenen ohne weiteres verständlich.  $273 + t^{\circ}\text{C} = T$  ist die „absolute Temperatur“.

\*\*) Vergl. Anmerkung S. 403. Überall, wo nichts anderes gesagt ist, sind die folgenden Zahlen und Rechnungen (ebenso wie die obigen Wärmetönungen) auf den Stoffumsatz von 1 Mol. Stoff bezogen.

\*\*\*) Siehe 1. Anmerkung S. 405.

†)  $-273^{\circ}\text{C}$  nennt man den „absoluten Nullpunkt“. Dort ist  $p = 0$ , die Gase üben also dort keinen Druck mehr aus. Man bezeichnet die absolute Temperatur  $273 + t$  stets mit  $T$ , die Celsiusstemperatur mit  $t$  oder  $\vartheta$ .

= 0,0821\*), also  $v = 0,0821 T$ . Bei  $0^\circ \text{C}$ , also  $T = 273^\circ$ , ist demnach das Volumen, welches ein Mol irgend eines Gases bei Atmosphärendruck einnimmt,  $0,0821 \times 273 = 22,42$  Liter.

Weitere Folgerungen aus der Gleichung: Bei konstanter Temperatur ist der Druck umgekehrt proportional dem Volumen. Erwärmung um  $t^\circ$  bei konstantem Druck erhöht das Volumen um  $\frac{0,0821 t}{p}$ , bei konstantem Volumen erhöht sie den Druck um  $\frac{0,0821}{v} t$ .

Für  $n$  Mol. ist  $p \cdot v = n R T$ .

Nach obiger Gleichung ergibt sich die Arbeit  $A$ , die ein sich vom Volumen  $v_1$  auf das Volumen  $v_2$  „isotherm“ (d. h. bei konstanter Temperatur) ausdehnendes Gas zu liefern vermag\*\*),

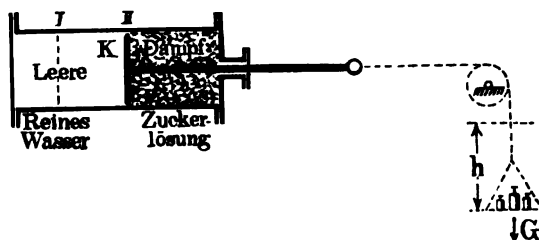
$$A = R T \ln \frac{v_2}{v_1} = 0,0821 \cdot 2,3026 T \log_{10} \frac{v_2}{v_1}$$

Für  $n$  Mol ist die Arbeit  $n$  mal so groß.

Die letzte Betrachtung bildet die Grundlage zur Berechnung der freien Energie chemischer Reaktionen und zur Nernstschen Formel für die Berechnung elektromotorischer Kräfte. Van't Hoff hat zuerst gezeigt, daß die Gasgleichungen auch auf verdünnte Lösungen anwendbar sind. Folgendes ist die Geschichte dieser einschneidenden Entdeckung.

**Osmotischer Druck.** Die lebendige Tier- und Pflanzenzelle bläht sich in reinem Wasser auf, weniger in Lösungen, und zwar um so weniger, je konzentrierter die Lösung ist. Bei großen Konzentrationen schrumpft sie sogar zusammen. Die Erklärung der Erscheinung ist folgende:

Fig. 180.



Wie ein Gas sich durch den leeren Raum zu verbreiten strebt, soweit die Schwerkraft es nicht hindert, so hat der gelöste Stoff, z. B. Kochsalz, ebenfalls das Bestreben, sich in einer Flüssigkeit, z. B. Wasser, auszudehnen. Wenn man also über eine Kochsalzlösung reines Wasser schichtet, so diffundiert bekanntlich Kochsalz der Schwerkraft entgegen in das reine Wasser hinein, bis die Konzentration überall dieselbe ist.

Wenn man nun ferner Gas auf die rechte Seite des Kolbens in Fig. 180 bringt und links den Raum leer läßt, so sucht das Gas in seinem Ausdehnungsbestreben den Kolben vor sich her nach links zu treiben. Geht der Kolben dabei von II

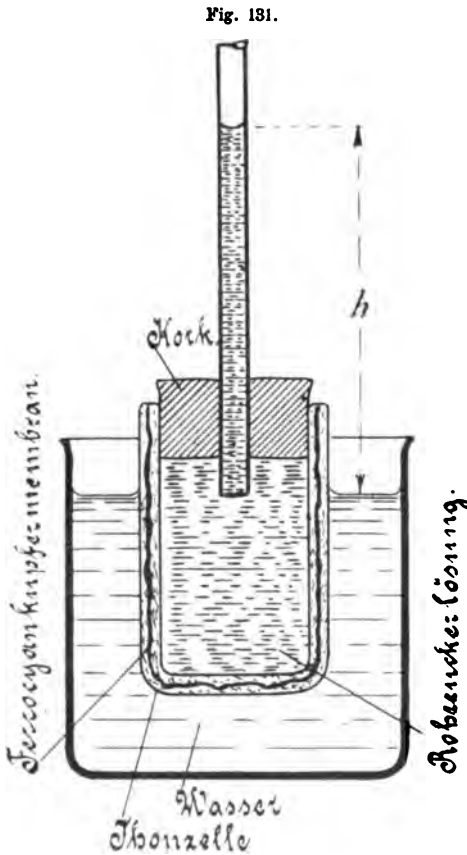
\*)  $R$  hat die folgenden Werte, wenn man die Arbeit wissen will in den Einheiten:

in elektrischem Maß	Wattsekunden	$R = 8,32,$
in absolutem Maß	Erg	$R = 83200000$
in Wärmemaß	Kalorien	$R = 1,985,$
in mechanischem Maß	Kilogrammometer	$R = 0,848,$
in Volumenergie	Literatmosphären	$R = 0,0821$

\*\*) Gewonnen aus der Differentialgleichung  $dA = pdv = RT \frac{dv}{v}$ . Vergl. Nernst, Theoret.

nach I, so leistet das Gas die Arbeit, die nötig ist, um das Gewicht  $G$  um die Höhe  $h$  zu heben. Man kann es so auffassen, als ob das Gas in dem leeren Raum löslich ist und das Bestreben hat, die Lösung überall gleich konzentriert zu machen (wie oben das Kochsalz in Wasser). Da der Kolben für den leeren Raum durchlässig, für das Gas aber undurchlässig ist, saugt das Gas den leeren Raum sozusagen in sich hinein.

Bringt man nach links reines Wasser, nach rechts eine Lösung, z. B. Rohrzuckerlösung, und wählt als Kolben eine Substanz, die für Wasser durchlässig, für die gelösten Rohrzuckermoleküle aber undurchlässig ist, dann sucht die Lösung Wasser durch den Kolben hindurch in sich hinein zu saugen und den Kolben nach links zu treiben. Sie übt also auf den Kolben so lange einen Druck aus, bis



der innere sogenannte „osmotische Druck“ der Zuckerlösung (der im Verlauf des Vorganges immer kleiner wird, weil die Konzentration [Zucker menge pro Volumeneinheit] sich verkleinert) eben so groß geworden ist wie der Druck, den das Gewicht  $G$  auf die Schale ausübt. Der osmotische Druck hat dabei „osmotische Arbeit“ geleistet, da er das Gewicht  $G$  um die Höhe  $h$  gehoben hat, während der Kolben von II nach I ging.

Die Haut der Zellen ist eine solche „halbdurchlässige“ oder „semipermeable“ Wand, durchlässig für Wasser, undurchlässig für gelöste Moleküle. Ist die Lösung in der Zelle konzentrierter<sup>\*)</sup>, ihr osmotischer Druck also größer als der der umgebenden Lösung, so saugt sie Wasser ein und bläht sich auf; im umgekehrten Fall schrumpft sie ein; sind die Drucke gleich, so geschieht nichts dergleichen; die Lösungen innen und außen sind dann „isomotisch“.

Zu genaueren Messungen eignen sich die lebenden Zellen nicht. Der berühmte Pflanzenphysiologe Pfeffer benützte 1877 als Ersatz die von Traube vorgeschlagene Ferrocyankupfermembran, eine Wand aus dem Niederschlag, der sich bei der Vermischung von Kupfersulfat und Ferrocyankalium (Blutlaugensalz) bildet. Er füllte einen

unglasierten, unten geschlossenen Tonzylinder mit Kupfersulfatlösung und tauchte ihn in Ferrocyankaliumlösung, so daß sich der Niederschlag in der Wand der Tonzelle bildete. Füllt man eine solche Zelle, sauber ausgewaschen, mit einer Rohrzuckerlösung und taucht sie, wie Fig. 131 zeigt, in Wasser, so saugt die Zuckerlösung Wasser auf, bis der hydrostatische Druck der Säule  $h$  ein weiteres Eindringen verhindert. Dieser hydrostatische Druck ist dann gleich dem osmoti-

<sup>\*)</sup> Hier, wie stets, ist die Konzentration als Mol. pro Liter, nicht als Gramm pro Liter aufzufassen (molekulare Konzentration, Molekulargehalt der Lösung, Normalität).



sehen, so daß man letzteren berechnen kann. Aus Pfeffers Messungen leitete van't Hoff das Gesetz ab, daß genau wie bei den Gasen (S. 404).

$$p \cdot v = 0,0821 T$$

ist, wo  $p$  der osmotische Druck ist. Er schloß daraus, daß man die Gasgesetze auch auf verdünnte Lösungen anwenden kann. Das Gesetz läßt sich so aussprechen, daß es für die Druckwirkung eines Stoffes ganz gleichgültig ist, ob man ihn in Gasform oder in gelöstem Zustand hat, gleiche Konzentration und Temperatur vorausgesetzt, nur daß im ersteren Fall der Druck ein Gasdruck auf die Wände, im zweiten ein osmotischer Druck auf die umgebenden halbdurchlässigen Wände ist.

Eine 4%ige Rohrzuckerlösung hat einen osmotischen Druck von 2,74 Atmosphären.

Eine  $n$  fach normale Lösung übt einen  $n$  mal so großen Druck aus als eine normale Lösung. Ebenso wie bei den Gasen ist es gleichgültig, welcher Natur der gelöste Stoff ist, ob Harnsäure, Rohrzucker, Wasserstoff, Borsäure etc. Sind die Lösungen von gleicher molarer Konzentration\*), so sind sie auch von gleichem osmotischem Druck.

Für dieses letzte Gesetz fand van't Hoff aber bald eine große Anzahl von scheinbaren Ausnahmen, deren Studium zu einer der folgenreichsten Theorien der Chemie geführt hat, der

**Dissoziationstheorie\*\*).** Van't Hoff fand nämlich, daß das Gesetz für die meisten organischen und viele anorganischen Stoffe Gültigkeit hat, nicht aber für die meisten Säuren, Basen und salzartigen Verbindungen, kurz, für alle diejenigen Stoffe nicht, die in wässriger Lösung den elektrischen Strom leiten. Er fand, daß alle diese Stoffe einen größeren osmotischen Druck ausüben, als das Gesetz  $p v = 0,0821 T$  fordert, und zwar ist die Abweichung um so größer, je besser der Stoff den Strom leitet und je verdünnter die Lösung ist. Van't Hoff führte deshalb in die Gleichung die empirische Größe  $i > 1$  ein:

$$p v = i R T.$$

Ein Mol. eines solchen Stoffes, in einem Liter Wasser gelöst, verhält sich osmotisch so, als wenn statt des einen Mol.  $i$  Mol. gelöst wären.

Nun kann man die Anzahl der gelösten Stoffe auch durch Messungen der Gefrier- und Siedetemperatur bestimmen. Löst man ein Mol. eines Stoffes, z. B. Harnstoff, Zucker oder dergl., in einem Liter Wasser, so liegt der Gefrierpunkt des Wassers nicht mehr bei  $0^\circ$ , sondern bei  $-1,86^\circ$ , und der Siedepunkt nicht bei  $100^\circ$ , sondern bei  $100,52^\circ$ . Die Gefrierpunktserniedrigung und Siedepunktserhöhung, die ein Mol. eines gelösten Stoffes dem Wasser erteilt, ist unabhängig von der Natur des Stoffes. Hierbei verhalten sich nun alle Stoffe wie beim osmotischen Gesetz, nämlich diejenigen, die in der Lösung den elektrischen Strom leiten, so, als ob nicht ein Mol., sondern mehr als ein Mol. gelöst sei, und zwar ist das Zuviel hier ebenso groß wie bei der osmotischen Druckmessung, nämlich  $i - 1$ .

\*) Gleiche molekulare Konzentration bedeutet gleiche Anzahl Mol. in demselben Lösungsvolumen; vergl. Fußnote S. 403.

\*\*\*) Über das für und wider die Dissoziationstheorie soll hier nicht in Erörterungen eingegangen werden. Sie hat uns als Wegweiser für die chemische Forschung in so hervorragendem Maße genützt, daß es Torheit wäre, sich ihrer nicht zu bedienen. Man bedient sich jeder Theorie so lange man ihr Nutzen abgewinnt, und verläßt sie nur, wenn man eine bessere an ihre Stelle setzen kann, d. h. eine Theorie, die dem Experiment noch besser standhält und ein noch besserer Wegweiser in unbekannte Gebiete ist. Vergl. über die Entwicklung der Dissoziationstheorie und ihre Vorzüge: Roloff, „Die Dissoziationstheorie“, Verlag von Springer-Berlin; Abegg, „Die Theorie der elektrolytischen Dissoziation“ aus der Sammlung chemischer Vorträge, Verlag bei Enke in Stuttgart; ferner Jones, „The theory of electrolytic Dissociation“, Verlag von Macmillan in New York und die großen Lehrbücher von Ostwald, Nernst, Le Blanc, Haber, Planck, Lüpke usw.

Ferner verhalten sich dieselben Stoffe in bezug auf ihre elektrolytische Leitfähigkeit, wie wir weiter unten genauer sehen werden, so, wie wenn sich nicht die sämtlichen gelösten Moleküle an der Stromleitung beteiligen, sondern nur ein Teil derselben. Dieser sich beteiligende Prozentsatz ist nun genau so groß, wie das Zuviel bei den osmotischen, den Gefrierpunkts- und den Siedepunktsmessungen, von jedem Mol. also nur  $i=1$  Mol.

Aus allem diesem zog Arrhenius den folgenreichen Schluß, daß von jedem gelösten Mol. eines Stoffes ein Teil, nämlich  $i=1$  Mol., in seine Bestandteile zerfällt. Ist  $i=1,5$ , so sind aus dem einen Mol. 1,5 Mol. geworden, indem die Hälfte in zwei neue Stoffe zerfallen ist. Diese neu entstandenen Stoffe sind es allein, die den Strom leiten.

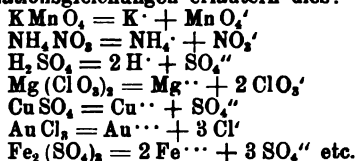
Beispiel. Der osmotische Druck von 1 Mol. = 74,6 g Kaliumchlorid in einem Liter Wasser gelöst, müßte 22,42 Atmosphären betragen, man findet aber tatsächlich 39,25 Atmosphären\*). Er ist also um 75% zu groß, die Lösung wirkt osmotisch wie eine 1,75 normale, d. h. es sind 75% des Salzes in zwei neue Stoffe zerfallen und  $i=1,75$ . Der Gefrierpunkt des Wassers wird durch Zusatz von 1 Mol. eines löslichen Salzes um 1,84° erniedrigt. Der Gefrierpunkt der obigen n. KCl-Lösung liegt bei etwa 3,22°, d. h. um 75% zu hoch; auch hiernach sind demnach 75% des Salzes zerfallen. Ähnliches findet man aus dem zu niedrigen Dampfdruck der Lösung. Schließlich weisen auch die Leitfähigkeitsmessungen darauf hin, daß nur 75% des Salzes sich an der Leitfähigkeit beteiligen.

Einen solchen Zerfall der Salze in ihren wässerigen Lösungen nennt man elektrolytische Dissoziation (auch wohl Ionisation) und die durch den Zerfall entstandenen Stoffe Ionen.

Die Gleichung  $KCl \rightleftharpoons K^+ + Cl^-$  sagt z. B., daß das Chlorkalium in wässriger Lösung bis zu einem bestimmten Bruchteile in Kaliumionen und Chlorionen zerfallen ist.

Diese Reaktion ist eine unvollständige (S. 402), es ist nur ein gewisser, von der Konzentration abhängiger Bruchteil des KCl dissoziiert. Aus elektrolytischen Gründen nimmt man an, daß die Ionen nicht einfache Kalium- bzw. Chloratome sind, sondern sich von diesen durch elektrische Ladungen unterscheiden, und da die Flüssigkeit elektrisch neutral ist, sind ebenso viel positiv geladene wie negativ geladene Ionen vorhanden. Man bezeichnet die positive Ladung durch einen Punkt ( $K^+$ ,  $Ag^+$ ,  $Na^+$ ), die negative durch einen Strich ( $Cl^-$ ,  $I^-$ ,  $NO_3^-$  etc.). Nun lehrt uns die Elektrochemie, wie wir später ausführlicher sehen werden, daß alle Atome, sofern sie chemisch gleichwertig sind, auch die gleichen Mengen Elektrizität aufnehmen, und zwar sind es stets 96 540 Coulombs, die mit einem Mol. eines einwertigen Stoffes verbunden sind.

Es tragen also 39,15 g Kaliumionen ebenso 96 540 Coulombs positiver Elektrizität, wie 23,05 g Natriumionen oder 107,98 g Silberionen usw. Ferner tragen 35,45 g Chlorionen oder 119 g  $MnO_4^-$ -Ionen oder 126,85 g Jodionen eine negative Ladung von 96 540 Coulombs. Zweiwertige Ionen tragen die doppelte Menge, also 64 g Kupferionen 2. 96 540 Coulombs. Folgende Dissoziationsgleichungen erläutern dies:



d. h. Kaliumpermanganat zerfällt in ein einfach positiv geladenes Kalium- und ein einfach negativ geladenes Permanganation,  
 Ammoniumnitrat zerfällt in ein einfach positiv geladenes Ammonium- und eine einfach negativ geladenes Nitration,  
 Schwefelsäure zerfällt in zwei einfach positiv geladene Wasserstoff- und ein doppelt negativ geladenes Sulfation,  
 Magnesiumchlorat zerfällt in ein doppelt positiv geladenes Magnesium- und zwei einfach negativ geladene Chlorationen,

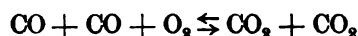
\*) Die in diesem Absatz genannten Zahlen sind nur zur Erläuterung gewählt, die wirklich beobachteten weichen etwas, aber wenig von den berechneten ab.

Kupfersulfat zerfällt in ein doppelt positiv geladenes Kupfer- und ein doppelt negativ geladenes Sulfation,  
 Goldchlorid zerfällt in ein dreifach positiv geladenes Gold- und drei einfach negativ geladene Chlorionen,  
 Eisenvitriol zerfällt in zwei dreifach positiv geladene Eisen- und drei doppelt negativ geladene Sulfationen etc.

Die Ladungen bedingen die Leitfähigkeit der Lösungen, indem die positiven Ionen zum negativen, die negativen zum positiven Pol gezogen werden. Auch erklären sie das Faradaysche Gesetz, daß gleiche Strommengen stets gleiche Äquivalentmengen der verschiedensten Stoffe durch den Elektrolyten transportieren und auf der Elektrode abscheiden (s. S. 426).

Elektrolysiert man z. B.  $\text{CuSO}_4$ -Lösung mit Cu-Elektroden, so daß ein Äquivalent\*) ( $= \frac{1}{2}$  Mol. = 31,8 g) Cu an der Anode aufgelöst, auf der Kathode abgeschieden wird, so sind 96540 Amp.-Sek. durch den Elektrolyten hindurchgegangen. (Näheres siehe die folgenden Abschnitte.)

Das Massenwirkungsgesetz lehrt, daß beim Gleichgewicht einer chemischen Reaktion die Konzentrationen der reagierenden Stoffe in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen und daß dieses Verhältnis unabhängig ist von der ursprünglichen Konzentration derselben. Die Gleichung



bedeutet, daß sowohl Kohlenoxyd sich mit Sauerstoff zu Kohlensäure vereinigen, als auch Kohlensäure in Kohlenoxyd und Sauerstoff zerfallen kann. Wir beobachten nur die Differenz der beiden Reaktionen, d. h. diejenige Reaktion, die mit der größten Geschwindigkeit verläuft. Die Geschwindigkeit jeder Teilreaktion ( $v_1$  und  $v_2$ ) ist aber proportional dem Produkt der aktiven Massen der reagierenden Stoffe\*\*). Die Geschwindigkeit der gesamten Reaktion  $v$  ist die Differenz beider, also:

$$v = v_1 - v_2 = k_1 \cdot [\text{CO}]^2 \cdot [\text{O}_2] - k_2 \cdot [\text{CO}_2]^2.$$

Dies ist das Gesetz der chemischen Kinetik.  $k_1$  und  $k_2$  heißen Geschwindigkeitskonstanten. Beim Gleichgewicht wird eben so viel Kohlensäure in jedem Augenblicke gebildet wie zersetzt,  $v$  ist = Null, und wenn wir  $\frac{k_1}{k_2} = K$  setzen, so ist

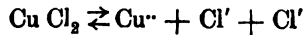
$$K = \frac{k_1}{k_2} = \frac{[\text{CO}_2]^2}{[\text{CO}]^2 \cdot [\text{O}_2]}.$$

$K$  ist die Gleichgewichtskonstante der Reaktion, die für jede Reaktion einen bestimmten Wert hat.

\*) Äquivalent eines Atoms oder Radikals nennt man diejenige Menge in g, die beim Übergang in ein Ion ein F Elektrizität aufnimmt. F nennt man zu Ehren Faradays die Elektrizitätsmenge 96 540 Coulombs. Äquivalentgewicht zweiwertiger Ionen ist also die Hälfte, ein Äquivalent dreiwertiger ein Drittel des Molekulargewichtes; z. B. Atomgewicht des zweiwertigen Cu 63,6 g, sein Äquivalentgewicht 31,8 g.

\*\*) Aktive Masse bedeutet die Anzahl Moleküle in der Volumeinheit; bei Gasen ist sie proportional dem Gasdruck, bei Lösungen ist sie die Konzentration. Die aktive Masse fester Stoffe ist konstant; so lange der feste Stoff zugegen ist, ist die Lösung resp. der Gasraum mit ihm gesättigt, und die Sättigungskonzentration ist eine dem betr. Stoff eigentümliche Konstante. Die aktive Masse des Lösungsmittels, z. B. des Wassers, kann man bei verdünnten Lösungen als konstant verrechnen, weil seine Konzentration durch die Reaktionen meist nur in einem zu vernachlässigenden Grade verändert wird. Wir bezeichnen von jetzt ab die aktive Masse resp. Konzentration durch das chemische Symbol in eckigen Klammern, z. B.  $[\text{CO}_2]$  = akt. Masse der Kohlensäure,  $[\text{KCl}]$  = Konz. der undissoziierten Chlorkaliummoleküle,  $[\text{K}^+]$  die der Kaliumionen etc.

Dies ist das Gesetz der chemischen Statik oder das Massenwirkungsgesetz. Es sagt aus, daß die Reaktion so lange verläuft, bis der Gleichung genügt ist. Für die Dissoziationsreaktion

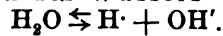


gilt die Massenwirkungsgleichung

$$K = \frac{[\text{Cu}^{++}][\text{Cl}']^2}{[\text{Cu Cl}_2]}$$

K nennt man hier die elektrolytische Dissoziationskonstante des Kupferchlorids; fügt man überschüssige Chlorionen hinzu, z. B. Kochsalz ( $\text{Na}^+ + \text{Cl}'$ ), so wird der Nenner zu groß, folglich muß die Dissoziation zurückgehen, bis das durch K definierte Dissoziationsgleichgewicht wieder erreicht ist.

Der Satz, daß die aktive Masse des Lösungsmittels konstant ist, ist u. a. wichtig für die Dissoziation des Wassers



$$K' = \frac{[\text{H}^+][\text{OH}']}{[\text{H}_2\text{O}]}$$

Nun ist  $\text{H}_2\text{O}$  konstant (s. Fußnote S. 409), wir können es in die Konstante  $K'$  einbeziehen ( $K = K' \cdot [\text{H}_2\text{O}]$ ), folglich

$$K = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}']$$

Fügen wir  $\text{H}^+$ -Ionen hinzu, d. h. machen wir die Lösung sauer (sämtliche Säuren spalten  $\text{H}^+$ -Ionen ab), so müssen zur Aufrechterhaltung des Wertes von K entsprechend  $\text{OH}'$ -Ionen verschwinden, die Dissoziation muß also zurückgehen. Messungen nach den verschiedenartigsten Methoden ergaben bei  $25^\circ$  den Wert für  $K = 1,2 \cdot 10^{-14}$ , bei  $18^\circ$  etwa  $0,8 \cdot 10^{-14}$ .

In neutralem Wasser befinden sich also bei etwa  $22^\circ$  pro ccm  $10^{-7}$  Mol. ( $= 17 \cdot 10^{-7}$  g/ccm)  $\text{OH}'$ -Ionen, und ebenso viel Mol. ( $= 10^{-7}$  g/ccm)  $\text{H}^+$ -Ionen. In einer 0,001 normalen  $\text{HCl}$ -Lösung, wo die Konzentration  $[\text{H}^+] = 10^{-3}$  ist, ist diejenige der  $\text{OH}'$ -Ionen  $= 10^{-11}$  usw. In allen wässrigen Lösungen, ob Säure-, Salz- oder Hydroxyd-Lösung (die Hydroxyd-Lösungen zeichnen sich dadurch aus, daß sie viele  $\text{OH}'$ -Ionen enthalten), ist bei  $22^\circ$  stets das Produkt  $[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}'] = 10^{-14}$ .

### Leitfähigkeit.

Man hat zwischen metallischer und elektrolytischer Leitfähigkeit zu unterscheiden. Erstere verursacht im Leiter keine bleibende Veränderung, letztere dagegen an den Elektroden chemische Reaktionen; im ersteren Falle wandert die Materie nicht mit der Elektrizität, im zweiten ist der Elektrizitäts-transport durch gleichzeitigen Transport von Materie bedingt. Man kann sich das so denken, daß bei den metallischen Leitern die Atome so nahe aneinander liegen, daß die Elektrizität ohne weiteres von einem zum anderen überspringen kann; in den Elektrolyten dagegen müssen sich die Atome erst durch Wanderung nähern, damit der direkte Elektrizitätsübergang stattfinden kann. Das geschieht aber um so leichter, je näher sich die Ionen liegen, je größer also die Konzentration ist, und um so schwerer, je größere Reibung die Ionen auf ihrem Wege zu überwinden haben. Letztere ist natürlich abhängig von der Natur des Lösungsmittels und des Ions. Die „K a p a z i t ä t“ der Ionen dagegen, d. h. die Menge Elektrizität, die ein jedes Ion auf seinem Wege mit sich trägt, ist zwar bei der Berechnung des Absolutwertes der Leitfähigkeit zu berücksichtigen, fällt aber bei dem Vergleiche der Beweglichkeiten der Ionen heraus, da nach S. 408 jedes Äquivalent-Ion dieselbe Ladung von 96540 Coulombs trägt\*).

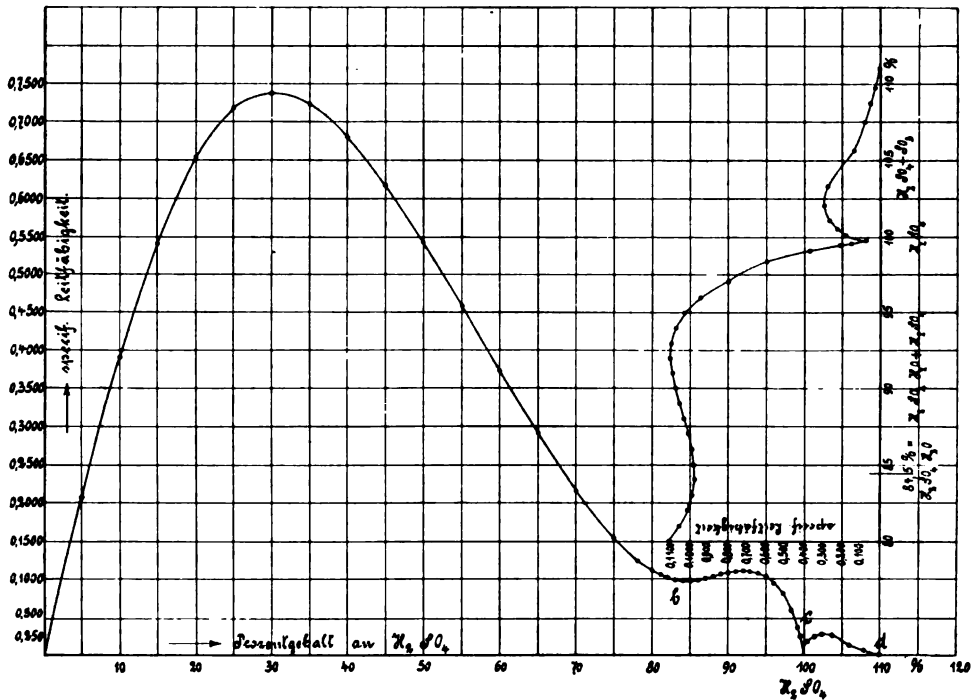
\*) Äquivalent-Ion nennen wir diejenige Menge des Ions in Gramm, die gleich ist dem Äquivalentgewicht des betr. Elementes (= Atomgewicht durch Wertigkeit); z. B. 1 g H, 35,45 g Cl, 63,6/2 g Cu, 96/2 g  $\text{SO}_4$ , 197,2/3 g Au etc.

Die geringste Reihung und also, gleiche Konzentrationen vorausgesetzt, die beste Leitfähigkeit haben die H<sup>+</sup>-Ionen; daher sind die Säuren die besten Elektrolyte (Stromfahrer). <sup>2</sup> so gut leitet das OH<sup>-</sup>-Ion (Basen sind die zweitbesten Elektrolyte) und <sup>1</sup> der Leitfähigkeit des H<sup>+</sup> oder weniger haben die übrigen Ionen (vergl. die Tabelle S. 413).

Eine an die Elektroden gelegte EMK zieht die positiven Ionen zum negativen Pol (Kathode\*), die negativen zum positiven (Anode\*). Die Summe\*\* der sämtlichen in der Zeiteinheit durch irgend einen Querschnitt des Elektrolyten wandernden Ionen, multipliziert mit n.96540 ist also die transportierte Stromstärke in Ampère (Amp. = Coulombs: Zeit; n = Wertigkeit).

Die Stromstärke in einer Elektrolysezelle ohne Polarisation (vgl. S. 424) ist proportional der angewandten EMK; diejenige, die man mit einem Volt bekommt, ist die Leitfähigkeit L der Zelle (entsprechend dem Ohm'schen Gesetz EMK = i w, w = <sup>1</sup>/L, i = EMK . L, i sei die Stromstärke, w der Widerstand). Hat der

Fig. 182.



Elektrolyt 1 qcm Querschnitt und 1 cm Länge, so ist die mittels 1 Volt in ihm erzeugte Stromstärke seine spezifische Leitfähigkeit  $\kappa$ .

Zur Messung der spezifischen Leitfähigkeit einer Lösung benutzt man die für metallische Leiter üblichen Methoden, nimmt aber, um die Polarisation auszuschalten, als Stromquelle einen Wechselstromerzeuger (am einfachsten ein Induktorium), und als Strommesser ein Telephon\*\*\*). Ist die Leitfähigkeit einer mit

\*) καθόδος = Abweg, ἀνοδός = Aufweg, ἀνω γωνία das Hinanfang, κάτω γωνία das Hinabwandernde (ὄδος = Weg, ἵον von ἵναμι, gehen), also Kathode u. Kation, nicht etwa Katode u. Kation.

\*\*\*) Summe, nicht Differenz, denn negative in einer Richtung fließende Elektrizität ist gleichbedeutend mit positiver in entgegengesetzter Richtung fließender.

\*\*\*\*) Genaueres über die Leitfähigkeitsmessungen in Elektrolyten s. das Buch von Kohlrausch u. Holborn: „Das Leitvermögen der Elektrolyte“, Verlag von Teubner-Leipzig, 1898.

dem fraglichen Elektrolyten gefüllten Zelle =  $L$ , die „Widerstandskapazität“ (Widerstand der Zelle, wenn sie mit einem Elektrolyten von der spezifischen Leitfähigkeit 1 gefüllt ist) der Zelle gleich  $C$ , so ist die spezifische Leitfähigkeit des fraglichen Elektrolyten

$$\kappa = L \cdot C.$$

Reine Stoffe leiten elektrolytisch bei gewöhnlicher Temperatur äußerst wenig. Z. B. ist die spezifische Leitfähigkeit des gewöhnlichen destillierten Wassers nur  $10^{-6}$ . Diese entstammt aber zum größten Teil den allerdings in äußerst geringer Menge noch in Lösung befindlichen Stoffen, wie Kohlensäure, gelöstes Glas u. dgl. Durch sehr sorgfältige, mehrfache Destillation und sonstige Reinigungsmethoden gewann Kohlrausch Wasser von der Leitfähigkeit  $0,04 \cdot 10^{-6}$ . Ebenfalls leitet die reine Schwefelsäure bei gewöhnlicher Temperatur sehr wenig.

Mischt man dagegen  $H_2SO_4$  und  $H_2O$ , so erhält man vorzüglich leitende Lösungen, weil das Wasser die Eigenschaft hat, die in ihm gelöste Schwefelsäure in ihre Ionen zu zerlegen.

Fig. 132 zeigt die spezifische Leitfähigkeit bei  $18^\circ$  der Mischung bei verschiedenen Schwefelsäurekonzentrationen. Auf der Abszisse ist die Konzentration, auf der Ordinate die spezifische Leitfähigkeit aufgetragen. Bei der Konzentration 0 ist die Leitfähigkeit so gut wie 0. Mit wachsender Konzentration durchläuft sie ein Maximum bei  $30\%$ , um dann wieder zu fallen. Bei der Konzentration 100 ist sie wieder so gut wie 0. An den Punkten b, c und d haben wir wieder reine Flüssigkeiten, nämlich  $H_2SO_4$ ,  $H_2O$  (das Hydrat der Schwefelsäure),  $H_2SO_4$  und  $SO_2$ . Zwischen diesen Punkten verläuft die Kurve wieder so, wie zum Anfang, nämlich mit einem Maximum. Zwischen  $H_2SO_4$  und  $SO_2$  kann man die Flüssigkeit als eine Mischung von  $H_2SO_4$  mit  $SO_2$  auffassen. Ähnlich verläuft die Kurve bei sämtlichen Lösungen, doch erhalten wir bei vielen löslichen Salzen nur den Anfang der Kurve, weil sie nur beschränkt löslich sind.

Die Äquivalentleitfähigkeit. Sie ist gleich spezifischer Leitfähigkeit dividiert durch Konzentration (in Äquivalent/ccm).

In einer in bezug auf die  $Na^+$ - und  $Cl^-$ -Ionen 4-normalen Kochsalzlösung mit der spezifischen Leitfähigkeit  $\kappa_1$  beteiligen sich alle 4 Grammoleküle an der Leitung zu gleichen Teilen, so daß also jedem der 4  $NaCl$ -Äquivalente die Leitfähigkeit  $\frac{\kappa_1}{4}$  zugehört; der Stoff hat in dieser Lösung die Äquivalentleitfähigkeit

$\frac{1000 \kappa_1}{4}$  \*). Ist die spezifische Leitfähigkeit einer  $n$ -normalen Lösung =  $\kappa$ , so ist  $\frac{\kappa \cdot 1000}{n}$  \*) die Äquivalentleitfähigkeit des gelösten Salzes bei der Konzentration  $n$ .

So z. B. ist die spezifische Leitfähigkeit einer  $0,0001 n$   $NaCl$ -Lösung =  $0,00001091$ , die einer  $5 n$  Lösung =  $0,2135$ , die betreffenden Äquivalentleitfähigkeiten sind also  $109,7$  und  $42,7$ .

Beweglichkeiten der Ionen. Die Stromleitung verteilt sich zwischen den beiden Ionen. Nennen wir die äqu. Leitf.  $\mathcal{A}$ , und die Leitfähigkeit von Kation resp. Anion  $l$  resp.  $l'$ , so ist  $\mathcal{A} = l + l'$ . Kohlrausch fand das wichtige Gesetz von der unabhängigen Wanderung der Ionen, wonach jedem Ion bei jeder Konzentration  $c$  ein bestimmter Leitfähigkeitswert  $l_0$  zukommt, der unabhängig ist von der Natur des anderen vorhandenen Ions.

Sind z. B. in  $0,1$  normaler Lösung die  $l$ -Werte für  $K$   $55,8$ , für  $Na$   $35,0$ , für  $Cl$   $56,5$  und für  $OH$   $157$ , so berechnen sich aus diesen Zahlen durch Addition die Äquivalentleitfähigkeiten für  $KCl$   $112,3$ , für  $NaCl$   $91,5$ , für  $KOH$   $212,8$  und für  $NaOH$   $192,0$ .

Wie ermittelt man nun die  $l$ -Werte sämtlicher Ionen für sämtliche Konzentrationen? Die Leitfähigkeitsmessungen ergeben die Summe je zweier solcher Werte aus der Gleichung  $\mathcal{A} = l + l'$ . Man erhält so eine Gleichung weniger als Unbekannte.

\*) Die Multiplikation mit  $1000$  rührt daher, weil wir die spezifischen Leitfähigkeiten für ccm angeben, die Normalkonzentrationen aber in Litern.

Eine weitere Gleichung liefern die Überführungsmessungen (vergl. S. 415), nämlich einen Wert für  $\frac{l}{L}$ . Eine solche Messung genügt, um für alle Ionen bei allen Konzentrationen die l-Werte zu berechnen. Folgende Tabelle enthält die von Kohlrausch ausgerechneten Zahlen:

**Ionen-Beweglichkeiten in wässriger Lösung bei 18°.**  
Elektrolyte aus 1- und 1-, oder 1- und 2-wertigen Ionen.

Konzentration C in Mol/Litr.	K	Na	Li	NH <sub>4</sub>	Ag	$\frac{1}{2}$ Ba	$\frac{1}{2}$ Sr	$\frac{1}{2}$ Ca	$\frac{1}{2}$ Mg	$\frac{1}{2}$ Zn	H	Verdünnung. $v = \frac{1}{C}$
0	65,3	44,4	35,5	64,2	55,7	57,3	54,0	53,0	49	47,5	318	∞
0,0005	64,1	43,3	34,4	63,0	54,9	53,8	50,0	48,9	45	43,5	315	2000
0,001	63,7	42,9	34,0	62,7	54,7	52,2	48,9	47,8	43	42,3	314	1000
0,005	62,3	41,4	32,6	61,2	53,2	48,2	44,9	43,9	40	38,4	311	200
0,01	61,5	40,5	31,6	60,2	51,9	45,7	42,4	41,4	37	35,9	310	100
0,02	60,0	39,2	30,3	59,0	50,0	42,7	39,4	38,3	34	32,9	307	50
0,03	59,2	38,3	29,4	58,1	48,6	40,5	37,2	36,1	32	30,7	305	33 $\frac{1}{2}$
0,05	57,9	37,0	28,2	56,8	46,6	37,7	34,4	33,4	29	27,9	302	20
0,1	55,8	35,0	26,1	54,8	43,3	33,8	30,5	29,4	25	24,0	296	10

	Cl	J	NO <sub>3</sub>	ClO <sub>3</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	$\frac{1}{2}$ SO <sub>4</sub>	$\frac{1}{2}$ C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$\frac{1}{2}$ CO <sub>3</sub>	OH	
0	65,9	66,7	60,8	56,2	33,7	69,7	63		174	
0,0005	64,8	65,5	59,6	54,6	32,8	65,4	59		171	Ferner ist ungefähr die Beweglichkeit. Br = Cl + 1 F = Cl - 20 BrO <sub>3</sub> = Cl - 19 JO <sub>3</sub> = Cl - 29 ClO <sub>4</sub> = Cl - 1 JO <sub>4</sub> = Cl - 17
0,001	64,4	65,1	59,3	54,1	32,6	64,0	58	69	171	
0,005	63,0	63,7	57,8	52,4	31,6	59,2	54	60	168	
0,01	62,0	62,7	56,8	51,3	30,8	56,1	51	55	167	
0,02	60,7	61,5	55,6	49,7	29,8	52,3	48	50	165	
0,03	59,8	60,6	54,7	48,4	29,0	49,7	46	47	163	
0,05	58,6	59,3	53,4	46,4	28,0	46,1	43	43	161	
0,1	56,5	57,3	51,4	43,2	26,4	41,9	39	38	157	

**Zweiwertige Ionen in gegenseitiger Verbindung.**

Konzentration.	$\frac{1}{2}$ Mg	$\frac{1}{2}$ Zn	$\frac{1}{2}$ Cu	$\frac{1}{2}$ Cd	$\frac{1}{2}$ Ca	$\frac{1}{2}$ SO <sub>4</sub>	Verdünnung.
0	48	47	49		53	70	∞
0,0005	42	40	44		46	63	2000
0,001	40	38	41	37	44	60	1000
0,005	34	31	31	30	35	51	200
0,01	31	27	27	26	31	46	100
0,02	27	24	22	21	—	41	50
0,03	25	22	20	18	—	38	33 $\frac{1}{2}$
0,05	23	19	17	16	—	34	20
0,1	20	17	15	13	—	30	10

Beispiel für die Benutzung dieser Tabelle. Man berechne die spezifische Leitfähigkeit einer 0,27%igen Zinkchlorid-Lösung. Sie enthält in 100 ccm 0,27, im Liter also 2,7 g ZnCl<sub>2</sub>. Da das Molekulargewicht des ZnCl<sub>2</sub> [2 (35,45) + 65,4 =] 133,3 und das Äquivalentgewicht wegen der Zweiwertigkeit des Salzes die Hälfte, also 67,6 ist, so ist der Äquivalentgehalt der Lösung = 0,04 pro Liter. Nach der Tabelle ist die Leitfähigkeit

\*) Zur Berechnung der Leitfähigkeit von H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> nicht brauchbar.

des  $\frac{1}{2}$  Zn $^{++}$  bei solcher Konzentration (durch Interpolation zu finden) = 29,4, die des Cl' = 59,2, die Summe = 88,6. Multipliziert man diesen Wert mit dem Äquivalentgehalt 0,00004 pro ccm, so ergibt sich die spezifische Leitfähigkeit der Lösung zu 0,035.

Tragen wir die bei verschiedenen Konzentrationen erhaltenen Werte vom Äquivalentleitvermögen  $\mathcal{A}$  auf der Ordinate, die dazu gehörigen Konzentrationen auf der Abszisse in ein Koordinatensystem ein, so erhalten wir Figuren von dem Typus der Fig. 133. Man sieht, daß die Äquivalentleitfähigkeiten mit wachsender Verdünnung d. h. abnehmender Konzentration asymptotisch einem Maximalwert

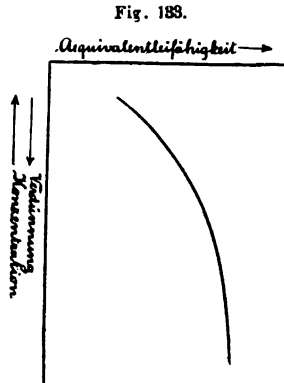


Fig. 133.

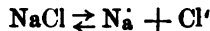
( $\mathcal{A}_0$ ) zustreben, den man die Äquivalentleitfähigkeit des Salzes bei unendlicher Verdünnung nennt. Derselbe ist nicht meßbar, aber durch Extrapolation zu ermitteln. Ihn kann man wieder wie oben zerteilen in die Leitfähigkeiten der Ionen  $l'_0$  und  $l''_0$  die sog. Ionenbeweglichkeiten, oder „Ionenleitfähigkeiten bei unendlicher Verdünnung.“ Sie stehen in den obigen Tabellen an erster Stelle.

**Dissoziationsgrad.** In Wirklichkeit bleiben die Ionenbeweglichkeiten bei allen Konzentrationen nahezu dieselben. Daß wir bei größeren Konzentrationen kleinere Werte finden, rührt daher, daß dort sich nicht alle Moleküle des gelösten Salzes an der Leitung beteiligen, sondern nur die dissoziierten. Ist der Dissoziationsgrad, d. h. der dissoziierte Bruchteil  $\alpha$ ,

so ergibt sich  $\mathcal{A}_c = l'_c + l''_c = \alpha \mathcal{A}_0 = \alpha (l'_0 + l''_0)$ . Aus dieser Gleichung erhält man

$$\alpha = \frac{\mathcal{A}_c}{\mathcal{A}_0}$$

$\alpha$  ist der für die Beurteilung der chemischen und physikalischen Eigenschaften der Lösungen, z. B. für die „Stärke“ der Säuren und Basen wichtige Dissoziationsgrad. Für die Dissoziation eines binären Elektrolyten, z. B.



liefert das Massenwirkungsgesetz (S. 409) die Formel

$$Kc_s = c_i^2,$$

wo  $c_s$  die Konzentration der undissoziierten Salzmoleküle,  $c_i$  diejenige der Ionen ist.  $K$  ist die Dissoziationskonstante. Die physikalische Bedeutung von  $K$  ist, daß  $2 K$  diejenige Konzentration angibt, bei der gerade die Hälfte des Salzes dissoziiert ist. Einige Dissoziationskonstanten sind

Trichloressigsäure	$K = 0,3$
Essigsäure	0,000018
Kohlensäure	0,000 000 304
Blausäure	0,000 000 0013

In derselben Reihenfolge stehen die Säuren auch in bezug auf ihre Stärke.

In einer normalen Lösung, wo die ursprüngliche Konzentration des Salzes = 1 ist, die des undissoziierten Salzes =  $1 - \alpha$ , die der Ionen aber  $\alpha$ , ergibt sich

$$K = \frac{\alpha^2}{1 - \alpha} \text{ oder nach der drittletzten Gleichung für } \alpha = \frac{\mathcal{A}_c}{\mathcal{A}_0} \text{ eingesetzt}$$

$$K = \frac{\mathcal{A}_c^2}{(\mathcal{A}_0 - \mathcal{A}_c) \mathcal{A}_0}$$

Man nennt diese Gleichung auch das Ostwaldsche Verdünnungsgesetz. Dasselbe gilt exakt nur für schwache Elektrolyte, versagt z. B. für starke Säuren, Basen und Salze. Die Ursache dieses Versagens ist nicht sicher festgestellt, vermutlich begünstigen die undissoziierten Moleküle die Wanderung der Ionen, so daß mit wachsender Zunahme der-



selben, d. h. mit wachsender Konzentration die Ionenbeweglichkeit scheinbar wächst. Für starke Elektrolyte hat van't Hoff die empirische Formel

$$Kc_0^2 = c^2$$

aufgestellt, mit Hilfe deren man den Dissoziationsgrad derselben bei allen Konzentrationen annähernd berechnen kann, wenn man K für eine Konzentration ermittelt hat.

**Temperatur.** Sie hat großen Einfluß auf die Leitfähigkeit der Elektrolyte. Der fast immer positive Temperaturkoeffizient\*) beträgt in mittlerer Temperatur bei verdünnten Lösungen von Salzen 2 bis 2,3%, von Säuren und einigen sauren Salzen 0,9 bis 1,6% von Ätzalkalien 1,9—2,0%. Der Temperaturkoeffizient ist für reine Stoffe im allgemeinen höher. So beträgt die spez. Leitfähigkeit des reinsten Wassers  $0,01 \cdot 10^{-6}$  bei  $0^\circ$ ,  $0,04 \cdot 10^{-6}$  bei  $18^\circ$  und  $0,17 \cdot 10^{-6}$  bei  $50^\circ$ . Bei sehr hoher Temperatur werden fast alle unsere chemischen Körper, auch die festen, gute Leiter. Sie werden weich genug, um in sich die Ionenwanderung zu gestatten.

**Lösungsmittel.** Außer Wasser gibt es noch eine Reihe weiterer Lösungsmittel, in denen gelöste Salze gute Stromleiter sind. So z. B. lösen sich in flüssigem Ammoniak viele anorganische Körper, und leiten dann ebenso gut, z. T. sogar besser, als in wässriger Lösung. Ferner sind die Alkohole Lösungsmittel, die gut leitende Lösungen geben. Die Leitfähigkeit hängt, wie immer, von der Dissoziation und der Ionenbeweglichkeit ab.

Erstere sinkt gewöhnlich, letztere steigt stets mit wachsender Temperatur. Über die Ionenbeweglichkeiten in nicht-wässrigen Lösungen wissen wir wenig. Die „Dissoziationskraft“, d. h. die Fähigkeit, die in ihnen gelösten Salze zu dissoziieren, scheint mit der Dielektrizitätskonstante der Lösungsmittel zusammenzuhängen, da man durchweg findet, daß Stoffe mit höherer Dielektrizitätskonstante auch die besseren Lösungsmittel zur Herstellung leitender Lösungen sind.

**Feuerflüssige Elektrolyte.** Setzt man eine EMK an einen Glasstab und erwärmt, so beginnt bei einer gewissen Temperatur ein merkbarer Stromdurchgang. Dieser erwärmt das Glas infolge der Jouleschen Wärme höher, dadurch wird die Leitfähigkeit und der Strom größer, usf. bis das Glas zerschmilzt. Feuerflüssige Salze leiten meist sehr gut, sie werden zur elektrolytischen Darstellung verschiedener Metalle, wie Al, Na, K, Mg etc. benutzt.

Auf der oben erwähnten Steigerung des Stromes durch seine eigene Joulesche Wärme beruht die Lichterzeugung mit sog. elektrolytischen Glühkörpern (Nernst-Licht). Stifte, die aus den Oxyden seltener Erden gepreßt sind, werden vorgewärmt, bis sie zu leiten beginnen. Der durchgehende Strom steigert die Temperatur, Leitfähigkeit und Stromstärke wachsen und die Stifte würden durchschmelzen, wenn nicht durch geeignete Vorschaltwiderstände die Steigerung der Stromstärke nur bis zu einer gewünschten Temperatur zugelassen würde. Man wählt eine Endtemperatur, bei der der größtmögliche Teil der Stromarbeit in Licht umgesetzt wird. — Die Nernstkörper leiten elektrolytisch, an der Kathode entsteht Metall, an der Anode Sauerstoff. Würde man sie in sauerstofffreier Atmosphäre benutzen, so würde die kathodische Metallabscheidung den Stift zerstören. In der Luft aber wird das Metall im Augenblick des Entstehens sofort wieder zu Oxyd verbrannt, d. h. in dem Stift tritt tatsächlich keine bleibende Veränderung ein.

**Überführungsmessungen.** Wir bedurften auf S. 413 noch einer Beziehung zwischen  $l$  und  $l'$ . Dieselbe wird von den klassischen Untersuchungen von W. Hittorf\*\*) geliefert. Fig. 134 stellt einen Elektrolysiertrog dar mit zwei Diaphragmen, z. B. aus unglasiertem Ton, die der Diffusion, aber nicht der Ionenwanderung erheblichen Widerstand entgegensetzen. In dem Troge befindet sich der Elektrolyt vor der Elektrolyse in überall gleicher Konzentration  $C_0$  (angedeutet durch die oberen  $\pm$ -Reihen). Setzen wir eine EMK an die Elektroden, so wan-

\*) Der Temperaturkoeffizient elektrolytischer Leiter ist meist positiv, d. h. die Leitfähigkeit steigt mit der Temperatur; metallische Leiter haben dagegen meist negativen Temperaturkoeffizienten, es gibt aber beiderseits Ausnahmen.

\*\*) Ostwalds Klassiker Nr. 21 u. 23, Verlag von Engelmann, Leipzig.

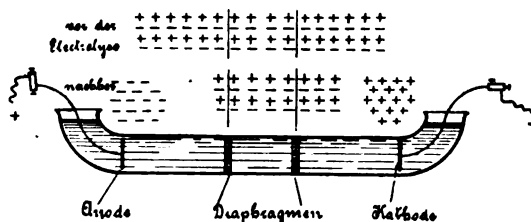
dern die Kationen (+) zur Kathode, die Anionen (—) zur Anode mit verschiedener Geschwindigkeit; abgeschieden aber werden sie an beiden Elektroden in gleicher Menge (angedeutet durch die neben der zweiten ±-Reihe isoliert stehenden + und — Zeichen). Wenn sich die Beweglichkeiten  $l:l' = 5:3$  erhalten, so ist das äußerste Kation links um 5 Wegeinheiten nach rechts, das äußerste Anion rechts um 3 Wegeinheiten nach links fortgeschritten. Nach der Elektrolyse ist also die Salzverteilung, wie die unteren ±-Reihen anzeigen, in der Mitte aber ist die Konzentration dieselbe geblieben. Man sieht, daß sich die Verarmung an Salz in den beiden Elektrodenräumen verhält wie die Wanderungsgeschwindigkeiten der hinwegwandernden Ionen.

Im Falle der Figur 134 also verhält sich die Verarmung an der Anode,  $C_0 - C_A$ , zu der Verarmung an der Kathode,  $C_0 - C_K$ , wie 5 zu 3. Mißt man nun die hindurchgegangene Strommenge und bestimmt nach der Elektrolyse die im Kathoden- und Anodenraum vorhandenen Salzmenge,  $C_K$  und  $C_A$ , so ist

$$C_0 - C_A : C_0 - C_K = l : l'$$

Die Konstanz der mittleren Lösung gibt ein Kriterium dafür, daß die Messung durch Diffusion nicht gefälscht ist. — Der Satz, daß die Verarmungen an den beiden

Fig. 134.



Elektroden sich wie die Wanderungsgeschwindigkeiten der hinwegwandernden Ionen verhalten, gilt nur, wenn, wie in obiger Figur die Ionen auch wirklich abgeschieden werden, d. h. aus den Elektrolyten verschwinden. Ist dagegen an der Anode frisches Salz entstanden, wie z. B. bei der Elektrolyse von  $\text{CuSO}_4$  zwischen Cu-Elektroden, oder ist an der Kathode das Metall nicht abgeschieden, sondern in der Flüssigkeit geblieben, wie z. B. bei den Alkalimetallen, so müssen wir die durch diese Vorgänge erzeugten Stoffe von der gemessenen Konzentration der Elektrodenräume abziehen, um die Verarmung in denselben zu ermitteln. Durch Messung der Strommenge mit Hilfe eines „Voltameters“ läßt sich die Menge des in Lösung gebliebenen oder von der Anode aufgelösten Stoffes leicht bestimmen, da sie ja der Strommenge nach dem Faraday'schen Gesetz proportional ist.

Hittorf berechnete aus seinen klassischen Versuchen das Verhältnis

$$n = \frac{l'}{l + l'}$$

n nannte er die „Überführungszahl des Anions“. Demnach ist

$$1 - n = \frac{l}{l + l'}$$

die Überführungszahl des Kations.

Die Überführungszahl einer normalen Chlornatrium-Lösung ist 0,637, die spezifische Leitfähigkeit bei  $18^\circ = 0,073$ . Letztere ist auf den ccm bezogen, die Konzentration aber auf Liter; folglich ist die Äquivalentleitfähigkeit = 73,4. Wir haben also:

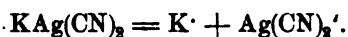
$$l + l' = 74,3 \quad \text{und} \quad n = 0,637,$$

folglich

$$l_{\text{Na}} = 0,363 \cdot 74,3 = 27,0 \quad \text{und} \quad l'_{\text{Cl}} = 0,637 \cdot 74,3 = 47,3.$$

Auf diese Weise sind die Zahlen der Tabellen S. 413 gewonnen.

Eine wichtige Anwendung finden die Überführungsmessungen zum Erkennen der Dissoziationsprodukte, der Ionen, eines Salzes. Man schichtet auf den Boden eines U-Rohres die zu untersuchende Lösung, darüber in die beiden Schenkel einen indifferenten Elektrolyten. Durch Probe nach der Elektrolyse erfährt man, welcher Bestandteil des unteren Elektrolyten zur Kathode gewandert ist. In einer Lösung von Silbercyankalium findet sich z. B. das Silber an der Anode, ist also im Anion, so daß die Dissoziationsformel ist



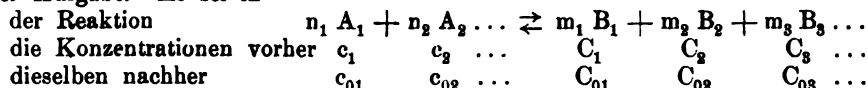
### Stromerzeugung und chemische Energie.

Wir erzeugen heutzutage unseren elektrischen Strom meist mittels Eisenmassen, die sich in einem magnetischen Felde bewegen. Wenn wir aber die Bewegung durch Dampfmaschinen hervorbringen, deren Kraft wir der chemischen Energie der Kohle verdanken, so ist es die chemische Energie, die uns hier den Strom liefert, aber auf einem Umwege über die Bewegungsenergie hinweg, der zu sehr großen Verlusten Anlaß gibt. Wir gewinnen bekanntlich nur 20% der chemischen Energie der Kohlenverbrennung als Bewegungsenergie in unseren Dampfmaschinen wieder, 80% gehen verloren für unsere Zwecke, außerdem von dem Rest noch einige Prozente bei der Umsetzung der Bewegungsenergie in elektrische Energie.

Erheblich günstiger liegt die Sache, wenn wir die auszunutzenden chemischen Reaktionen als galvanisches Element verwenden, d. h. unsere elektrische Energie elektrochemisch gewinnen. Viele Elemente arbeiten mit 100% Nutzeffekt. Kein Wunder, daß man eifrig nach einem galvanischen Element sucht, in welchem die Reaktion  $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$ , d. h. die Kohlenverbrennung, statt hat. Wichtig ist deshalb auch für jeden Techniker die Kenntnis des Weges, auf welchem wir die aus einer chemischen Reaktion zu gewinnende Maximalarbeit berechnen können.

### Berechnung der maximalen Arbeit chemischer Reaktionen.

Auf S. 405 ist die Arbeit berechnet, die bei der Ausdehnung, d. h. Konzentrationsverkleinerung eines Gases gewonnen werden kann. Ferner ist auf S. 407 die Anwendung der Gaseetze auf Lösungen gezeigt, indem statt der Gasdrücke die osmotischen Drucke eingeführt wurden. Das gibt uns einen Weg zur Lösung unserer Aufgabe. Es sei in



Die Gleichung bedeutet, daß  $n_1$  Moleküle des Stoffes  $A_1$ ,  $n_2$  Moleküle  $A_2 \dots$  sich vereinigen unter Bildung von  $m_1$  Molekülen  $B_1$ ,  $m_2$  Molekülen  $B_2$ ,  $m_3$  Molekülen  $B_3$  etc. Die Formel von van't Hoff (S. 404) liefert uns dann die Arbeit  $A$ , die geleistet wird, wenn die Stoffe  $A_1 A_2 A_3 \dots$  von den Konzentrationen  $c_1, c_2 \dots$  auf die Konzentrationen  $c_{01}, c_{02}, c_{03}$  sinken und gleichzeitig die Stoffe B von C auf  $C_0$  steigen:

$$A = RT \ln \frac{c_1^{n_1} \cdot c_2^{n_2} \cdot c_3^{n_3} \dots}{C_1^{m_1} \cdot C_2^{m_2} \cdot C_3^{m_3} \dots} \times \frac{C_{01}^{m_1} \cdot C_{02}^{m_2} \dots}{c_{01}^{n_1} \cdot c_{02}^{n_2} \dots}.$$

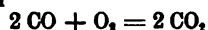
T ist die absolute Temperatur, R die Gaskonstante, ln bedeutet den natürlichen Logarithmus.

Lassen wir nun die Reaktion so lange verlaufen, bis sie von selber aufhört, d. h. bis zum Gleichgewicht, so sind die Konzentrationen mit dem Index 0 die Gleichgewichtskonzentrationen und der hinter dem Mal-Zeichen ( $\times$ ) stehende Bruch ist gleich der Gleichgewichtskonstanten K (vergl. Massewirkungsgesetz S. 410). Allgemein heisst die Energiegleichung also

$$A = RT \ln K + RT \ln \frac{\text{aktive Masse der verschwindenden Stoffe}}{\text{aktive Masse der entstehenden Stoffe}}.$$

Unter „aktive Masse“ verstehen wir hier die Konzentration mit derjenigen Zahl potenziert, die die an der Reaktion beteiligte Molekülzahl des betr. Stoffes angibt. A ist die maximale Arbeit, die wir aus der Reaktion gewinnen können, wenn das System sich in die Gleichgewichtslage begibt.

Beispiel: Für die Reaktion

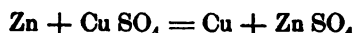


lautet obige Gleichung

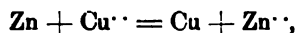
$$A = RT \ln K + RT \ln \frac{p_{\text{CO}}^2 \cdot p_{\text{O}_2}}{p_{\text{CO}_2}^2}$$

p sind die Gasdrücke der im Index stehenden Gase, die den Konzentrationen proportional sind. Weil 2 Moleküle CO und 2 Moleküle CO<sub>2</sub> beteiligt sind, erhalten ihre p-Werte die zweite Potenz.

Im Daniellelement findet die Reaktion



statt, d. h. Kupfer wird durch Zink aus der Lösung seines Salzes ausgetrieben. Da bei allen elektrisch wirkenden oder erzeugten Reaktionen nur die Ionen ins Spiel treten, so schreiben wir die Reaktion einfacher:



d. h. das Zink raubt dem Kupfer seine Ionenladung. Nach S. 409 Anm. ist aber die aktive Masse der Metalle, weil sie in fester Form zugegen sind, konstant, also

$$A = RT \ln \frac{c_{\text{Cu}}}{c_{\text{Zn}}} \cdot \frac{C_{\text{Zn}}}{C_{\text{Cu}}} = RT \ln K + RT \ln \frac{c_{\text{Cu}}}{c_{\text{Zn}}}$$

C<sub>Zn</sub> und C<sub>Cu</sub> sind die Konzentrationen der Zn<sup>··</sup>- resp. Cu<sup>··</sup>-Ionen beim Gleichgewicht, c<sub>Zn</sub> und c<sub>Cu</sub> beim Beginn der Reaktion.  $K = \frac{C_{\text{Zn}}}{C_{\text{Cu}}}$  ist, wie immer, die Gleichgewichtskonstante (Verhältnis der Konzentrationen nach erreichtem Gleichgewicht).

Umrechnung der Arbeit in elektrisches Maß (Voltcoulombs). Wir lassen das Element so lange arbeiten, bis ein Mol. umgesetzt ist (63,6 g Cu abgetrennt, 65,4 g Zn in Lösung gegangen). Da beide 2-wertig sind, so ist bei dem Vorgang die Elektrizitätsmenge  $2 \times 96\,540$  Coulombs = 2F\*) eingesetzt. Ist E die EMK des Elementes, so wird die Arbeitsleistung bei der Reaktion

$$A = 2 EF = 8,32 T \ln K \frac{c_{\text{Cu}}}{c_{\text{Zn}}}$$

(8,32 = R in elektrischem Maß nach S. 405). Für ein beliebiges Metallpaar mit gleicher Wertigkeit n ist (Division durch F = 96540 und Umwandlung von ln in log<sup>10</sup>)

$$E = \frac{0,0001983}{n} T \log^{10} K \frac{c_1}{c_2}$$

c<sub>1</sub> und c<sub>2</sub> sind die Konzentrationen der beiden Metallionen; für Zinn-temperatur (273 + 18<sup>0</sup>) gibt dies

$$E = \frac{0,0577}{n} \log K \frac{c_1}{c_2}$$

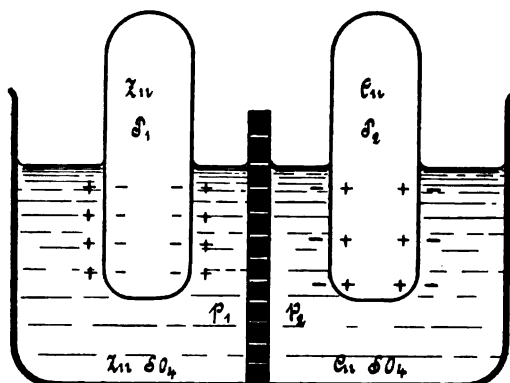
Nernstsche Formel. Zu derselben Gleichung gelangte Nernst auf einem elektrisch etwas anschaulicherem Wege:

Jeder Stoff hat das Bestreben, aus dem Zustand, in dem er sich gerade befindet, in einen anderen überzugehen, „sich zu verändern“. Wasser hat das Be-

\*) Mit F bezeichnet man zu Ehren Faradays die Ladung eines Gramäquivalents, 96540 Coulombs.

streben, in Dampfform überzugehen, Wasserdampf das Bestreben, sich zu kondensieren. Welcher Vorgang von beiden eintritt, hängt bei gegebener Temperatur nur davon ab, auf welcher Seite das grössere Bestreben vorliegt, d. h. mit welchem Vorgang am meisten Arbeit geliefert wird (vergl. S. 402). Jeder Stoff sucht um so energischer den anderen Zustand anzunehmen, je größer seine aktive Masse (S. 409) ist. Metall, welches in einer Flüssigkeit steht, hat das Bestreben, Ionenform anzunehmen ( $Zn \rightarrow Zn^{++}$ ), andererseits suchen die Ionen Metallform anzunehmen ( $Zn^{++} \rightarrow Zn$ ). Das erstere Bestreben nannte Nernst Lösungstension des Metalles (sie ist eine jedem Metall eigentümliche konstante Größe), das zweite ist gegeben durch den osmotischen Druck der Metallionen (um so größer, je konzentrierter die Ionen). Die Komponente dieser beiden Kräfte ist entscheidend dafür, was geschieht, ob Metall in Lösung geht oder abgeschieden wird. Zn in  $ZnSO_4$ -Lösung hat z. B. eine Tendenz Ionenform anzunehmen, da seine Lösungstension sehr groß ist. Das geschieht auch, aber nur in äußerst kleinen Mengen. Durch die Abspaltung der positiv geladenen  $Zn^{++}$ -Ionen vom Metall bleibt nämlich die Zinkplatte negativ geladen zurück, und diese in Anbetracht der großen Elektrizitätsladungen der Ionen starke elektrostatische Ladung verhindert das weitere Inlösunggehen. Wenn wir jedoch eine Ableitung der Elektrizität ermöglichen, so geht das Zn in Lösung. Bei Cu ist die Sachlage umgekehrt, es schlägt sich

Fig. 135.



vorausgesetzt daß der osmotische Druck der Cu-Ionen groß genug ist, spurenweise nieder, bis die dadurch entstehende positive elektrostatische Ladung des Metalles weiteren Niederschlag verhindert. Größerer Umsatz findet aber z. B. statt, wenn wir beide Systeme kombinieren — Nernsts eigene Worte darüber sind:

„Es tauche, wie die Fig. 135 zeigt, ein Zinkstab in eine Zinksalzlösung (z. B.  $ZnSO_4$ ) und ein Kupferstab in eine Kupfersalzlösung (z. B.  $CuSO_4$ ); dann wird das Zink vermöge seiner großen Lösungstension  $P_1$  eine Anzahl positiver Ionen in die Lösung entsenden, während umgekehrt, vorausgesetzt daß der osmotische Druck  $p_2$  der Kupferionen hinreichend groß ist, auf dem Kupferstabe sich Kupferionen niederschlagen und damit das Kupfer positiv laden werden. Wenn das Element ungeschlossen ist, so werden weder Zinkionen noch Kupferionen in merkbarer Menge in die Lösung übergehen können, weil der elektrolytischen Lösungstension dieser Metalle durch die entgegengesetzten Ladungen, welche sie und die Lösung durch Übertritt von Ionen (in unwägbaren Mengen) empfangen haben, das Gleichgewicht gehalten wird, und es ist somit ein chemischer Umsatz im Elemente ausgeschlossen. Dies ändert sich aber, sobald die beiden Pole des Elementes in leitende Verbindung gesetzt werden, dann wird die Reaktion vor sich

gehen können, weil hierdurch ein Ausgleich der elektrischen Ladungen, die mit der Auflösung bezw. Ausfällung der Metalle verbunden ist, ermöglicht wird, und zwar wird die Reaktion sich in dem Sinne abspielen, daß das Metall mit der größeren Lösungstension in Lösung geht, während das Metall mit kleinerer Lösungstension umgekehrt aus der Lösung ausfällt. Beim Daniellelement löst sich dementsprechend das Zink auf und die äquivalente Menge Kupfer wird aus der Lösung abgeschieden, indem die Kraft, welche die Zinkionen in die Lösung hineinzubringen strebt, größer ist als diejenige, welche das Kupfer in Lösung zu bringen sucht. Der Übertritt des Zinks in die Lösung und die Ausfällung des Kupfers hat aber als notwendige Folge eine Bewegung der positiven Elektrizität im äußeren Schließungskreise vom Kupfer zum Zinke, d. h. die Entstehung eines galvanischen Stromes in der erwähnten Richtung.“

Die Energie, mit der das Metall in die Lösung zu gehen strebt, d. h. die Arbeit des Vorganges Metall → Metallion im Betrage von 1 Mol. ist

$$A = \frac{RT}{n} \ln \frac{P}{p}$$

P ist die Lösungstension des Metalles, p der osmotische Druck der Metallionen; die Arbeit entspringt dem Sinken des Metalles von dem Druck P auf den Druck p. Nennt man C diejenige Ionenkonzentration, die dem Lösungsdruck P gerade das Gleichgewicht halten würde, und c die vorhandene Ionenkonzentration, so wird, da Druck und Konzentration proportional sind, unter Einführung des elektrischen Maßes

$$E = \frac{0,0001983 T}{n} \log \frac{C}{c} \text{ Volt.}$$

E ist die elektromotorische Kraft des Vorganges „Metall → Metallion“. Stellen wir das Metall in eine Lösung, die in bezug auf die Metallionen normal ist (c = 1), so nennt man

$$E = \frac{R \cdot T}{n} \ln C$$

das elektrolytische Potential des Metalles. Diese den einzelnen Metallen eigentümliche Konstante gehört zu den wichtigsten elektrochemischen Größen.

Folgende Tabelle gibt die wichtigsten elektrolytischen Potentiale. Die eingeklammerten Zahlen sind aus der Wärmetönung berechnet, also nur angenähert richtig (vergl. S. 404). Das <- Zeichen bedeutet, daß von dem betreffenden Metall eine Lösung mit der Ionenkonzentration 1 nicht bekannt ist, dass aber das Potential jedenfalls kleiner ist als die angegebene Zahl.

Metall.		Potential für H → H = 0.	Metall.		Potential für H → H = 0.
Kalium	K	(+ 3,20)	Nickel	Ni	+ 0,228
Natrium	Na	(+ 2,82)	Zinn	Sn	< + 0,192
Baryum	Ba	(+ 2,82)	Blei	Pb	+ 0,148
Strontium	Sr	(+ 2,77)	Wasserstoff	H	+ 0,00
Calcium	Ca	(+ 2,56)	Kupfer	Cu	- 0,829
Magnesium	Mg	(+ 2,54)	Quecksilber	Hg	- 0,750
		+ 1,491?	Silber	Ag	- 0,771
Aluminium	Al	+ 1,276?	Platin	Pt	< - 0,863
Mangan	Mn	+ 1,075	Gold	Au	< - 1,079
Zink	Zn	+ 0,770	Fluor	F	(- 1,96)
Cadmium	Cd	+ 0,420	Chlor	Cl	- 1,417
Eisen	Fe	+ 0,340	Brom	Br	- 0,998
Thallium	Tl	+ 0,322	Jod	J	- 0,520
Cobalt	Co	+ 0,282	Sauerstoff (in in Säure)	O	- 1,23

Die einzelnen Elektrodenpotentiale kann man natürlich nicht messen, denn wir können nur die EMK von Elementen ermitteln, die aus zwei Elektroden zusammengesetzt sind. Wir erhalten so stets nur die Summe zweier Elektrodenpotentiale, also ebenso viel Gleichungen wie Unbekannte. Kennten wir eine Elektrode von dem absoluten Potential Null, so würden wir aus der Messung gegenüber dieser das absolute Potential aller Elektroden erfahren. Da wir eine solche Elektrode nicht haben, so gehen wir so vor, wie bei den Atomgewichten, und setzen willkürlich die Lösungstension eines Metalles gleich 1 und demgemäß sein elektrolytisches Potential = 0. Obige Tabelle folgt dem Vorschlag von Nernst, der das Elektrodenpotential des Vorganges  $H_2 \rightarrow H \cdot = 0$  setzt\*).

Aus den Zahlen der Tabelle kann man nun direkt die EMK aller möglichen Elemente berechnen.

Beispiel: Das elektrolytische Potential des Kupfers ist  $-0,33$ , das des Zinks  $+0,77$  (beide Metalle in Lösungen stehend, die ihre Ionen in der Konzentration 1 enthalten). Schaltet man beide gegeneinander, z. B. im Daniellelement



so hat dieses die EMK  $+0,77 - (-0,33) = 1,1$  Volt. Ein Element aus Cu und Ag würde ergeben:  $-0,33 - (-0,77) = 0,44$  Volt. Aus den Potentialen von  $H = 0,0$  und  $O = -1,23$  ergibt sich die EMK der Knallgaskette ( $H_2 | Lösung | O_2$ ) zu  $1,23$  Volt.

Allgemeine Formel zur Berechnung der EMK von Elementen.

Das elektrolytische Potential eines Metalles in normaler Ionenlösung ist  $\varepsilon = \frac{RT}{n} \ln P$ ,

in einer Lösung von der Konzentration  $c$  ist das Potential  $\varepsilon = \frac{RT}{n} \ln \frac{C}{c}$ . Nennen

wir  $P_1$  und  $P_2$  die Lösungstensionen zweier Metalle und  $c_1$  und  $c_2$  ihre Ionenkonzentration in den sie umgebenden Lösungen, so hat das aus diesen beiden einander entgegengeschalteten Elektrodenkombinationen gebildete Element die EMK

$$E = \frac{RT}{n} \ln \frac{P_1 c_2}{P_2 c_1},$$

wenn beide Metalle  $n$ -wertig sind. Sind sie verschiedenwertig, so fällt das  $n$  aus dem Nenner fort und die Wertigkeit jeden Metalles tritt als Potenz bei den ihm zugehörigen  $P$ - und  $c$ -Werten auf. Diese berühmte Nernstsche Formel ist mit der Formel auf S. 418 identisch, wenn man für die Lösungstensionen die Gleichgewichtskonzentrationen einsetzt.

Konzentrationsketten. Sie bilden einen Spezialfall der Nernstschen Formel. Ein Element der Form



worin  $c_1 > c_2$  sein möge, liefert Strom, indem auf der verdünnten Seite Ag in Lösung geht, auf der konzentrierten abgeschieden wird, und zwar so lange, bis auf beiden Seiten die Konzentrationen gleich geworden sind. Die EMK dieser Kette ist

$$E = 0,058 \log \frac{c_1}{c_2}.$$

Die Formel entsteht aus obiger, indem sich die Lösungstensionen, die ja auf beiden Seiten gleich sind, herausheben.

\*) Nach einer Theorie von Helmholtz ist das Potential des Quecksilbers gegen eine Lösung beim Maximum seiner Oberflächenspannung gleich Null. Ostwald schlägt deshalb vor, die Nullage so zu nehmen, daß die Calomelektrode (s. S. 422) des Potential  $-0,56$  Volt hat, da man sich so wenigstens in der Nähe des absoluten Nullpunktes befindet. Um die Zahlen der Ostwaldschen Zählung auf die der Nernstschen umzurechnen, sind zu jenen  $0,277$  Volt zuzuzählen. Kontroverse darüber s. Zeitschr. physik. Chem. 35, 96, auch Jahrb. d. Elektroch. 7, 182 (1900).

Diese Gleichung kann dazu dienen, Ionenkonzentrationen zu ermitteln. Schaltet man eine Ag-Elektrode in normaler Ag-Ionenlösung gegen eine Ag-Elektrode, die in einer gesättigten AgJ-Lösung steht, so findet man eine EMK von etwa 0,46 Volt. Die Konzentration auf der einen Seite ist = 1, diejenige in der gesättigten AgJ-Lösung ist der gesuchte Wert x; die Formel lautet

$$0,46 = RT \ln 1/x,$$

woraus sich für die Löslichkeit des AgJ ergibt etwa  $10^{-8}$  Mol. = etwa  $2,35 \cdot 10^{-6}$  g pro Liter, d. h. eine Konzentration, die sich auf chemischem Wege nicht mehr ermitteln läßt. Unsere EMK-Messung leistet dies aber mit Sicherheit.

**Normalelektroden.** Sie dienen zur Ermittlung der Einzelpotentiale von Elektroden, indem man sie den zu bestimmenden Elektroden gegenüberstellt, und die EMK des so entstandenen Elementes mißt. Sie müssen leicht und sicher reproduzierbar sein und sehr konstantes Potential haben. Normalelektroden sind:

1. Wasserstoffelektrode. Platiniertes (mit Platinschwarz überzogenes) Platin, von Wasserstoff umspült und in einer Säure von der H-Konzentration 1 stehend verhält sich wie eine Elektrode von dem „Metall Wasserstoff“ und hat nach der Tabelle S. 420 das Potential 0,0.

2. Kalomelektrode. Quecksilber (Hg) auf dem Boden einer Flasche ist überschichtet mit einem Brei, der aus Hg, Kalomel (HgCl) und normaler KCl-Lösung zusammengerührt ist. Darüber eine normale KCl-Lösung (76,6 g KCl pro Liter). Potential — 0,283 Volt. Nimmt man eine 0,1 normale KCl-Lösung, so ist das Potential — 0,337 Volt („Dezinormalelektrode“). Die Reaktion besteht in Aufnahme bzw. Abgabe von Chlor.



Stromrichtung  $\rightarrow$ , Reaktion:  $\text{Hg} + \text{Cl}' = \text{HgCl}$

Stromrichtung  $\leftarrow$ , Reaktion:  $\text{HgCl} = \text{Hg} + \text{Cl}'.$

Solche Elektroden, die das Ion nicht aus dem Metall, sondern aus einer Verbindung hergeben (Cl' aus HgCl), nennt man umkehrbare Elektroden 2. Art; bildet das Elektrodenmaterial selbst Ionen ( $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}''$ ,  $\text{I} \rightarrow \text{I}'$ ), so heißt sie Elektrode 1. Art.

„Umkehrbar“ oder „reversibel“ sind solche Elektroden (überhaupt alle solche Vorgänge), bei denen in jedem Augenblick der Vorgang, der Arbeit geliefert hat, durch genau dieselbe Arbeit wieder rückgängig gemacht werden kann. Nicht umkehrbar ist z. B. eine Fe-Elektrode in wässriger neutraler Lösung. Als Anode gibt sie Eisensalz, will man aber durch Stromumkehr den Vorgang wieder rückgängig machen, so bekommt man kein Eisen, sondern Wasserstoff.

Folgende Potentiale sind für die Berechnung der EMK von Elementen nützlich; die Elektroden lassen sich z. T. auch als Normalelektroden verwenden.

Metall	Normalität der Lösung.	Salz	Potential
Zn	6,22	ZnSO <sub>4</sub>	0,782
"	1,0	"	0,801
"	1,0	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,775
"	1	KOH	1,286
Cd	1	CdSO <sub>4</sub>	0,439
"	1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,475
Pb	1,04	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (+ PbSO <sub>4</sub> )	0,284
Cu	1	CuSO <sub>4</sub>	— 0,308
Hg	1	Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (+ 1nK <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	— 0,644
"	1	KCl (+ HgCl)	— 0,283
"	1/10	"	— 0,337
Ag	1	AgNO <sub>3</sub>	— 0,778
PbO <sub>2</sub>	1,04	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	— 1,595
"	2,05	"	— 1,616



Bemerkt sei noch, daß bei allen vorgenannten Ketten ein kleineres Additions-glied hinzukommt, welches der Potentialdifferenz an der Berührungsfläche der beiden Flüssigkeiten Rechnung trägt und sich in gewissen Fällen nach einer von Nernst und Planck aufgestellten Formel berechnen läßt.

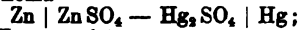
Einer anderen Berechnungsweise zur Ermittlung der EMK haben wir auf S. 404 gedacht. Die Gültigkeit der Helmholtzschen Formel  $E = q \pm T \frac{dA}{dT}$  beweist die Richtigkeit der angenommenen Reaktion und zugleich die Reversibilität des Vorganges.

**Sekundärelemente.** Solche Elemente, die wir bisher besprochen haben, nennt man Primärelemente; die in denselben verwendeten chemischen Stoffe werden außerhalb des Elementes regeneriert. Sekundärelemente nennt man solche, die erst durch von außen hinein geschickten Strom „geladen“ werden, d. h. die Regeneration kann in dem Element selber durch Strom stattfinden. Die Bezeichnung ist gleichbedeutend mit „Polarisationselementen“, die wichtigsten Sekundärelemente sind die Akkumulatoren (s. S. 431).

**Elementkombinationen der Praxis und zu Meßzwecken (Normalelemente):**

1. Clarkelement (vorzügliches Normalelement):

Aufgebaut nach dem Schema



der stromliefernde chemische Vorgang ist



oder

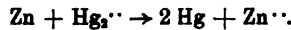
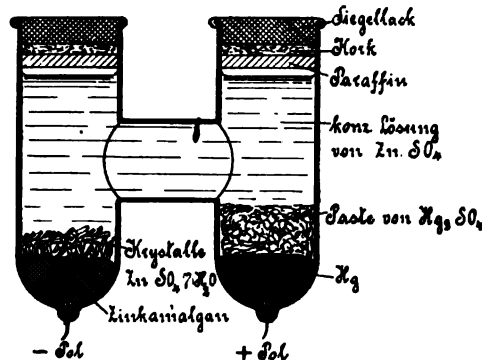


Fig. 136.



Die EMK ist gesetzlich festgelegt (nach den Messungen der physikalisch-technischen Reichsanstalt) auf

$$E_t = 1,4328 - 0,00119 (t - 15^\circ) - 0,000007 (t - 15^\circ)^2 \text{ internationale Volt.}$$

Das Element ist in verschiedenen Formen im Handel zu kaufen. Die von der Reichsanstalt angegebene Form ist in Fig. 136 dargestellt. Den - Pol bildet Zinkamalgam von etwa 10% Zn, überschichtet mit kristallwasserhaltigem festen  $\text{Zn SO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ . Den + Pol bildet Hg, überschichtet mit einer Paste von Quecksilbersulfat, Zinksulfatlösung und Quecksilber. Die Lösung ist gesättigte  $\text{Zn SO}_4$ -Lösung.

2. Weston-Kadmium-Element (vorzügliches Normalelement):

Genau wie voriges, nur statt Zn überall Kadmium. Das feste Salz hat die Formel  $\text{Cd SO}_4 \cdot \frac{2}{3} \text{H}_2\text{O}$ . Das Amalgam ist 12–13%ig. EMK (gesetzlich festgelegt)

$$E_t = 1,0186 - 0,000088 (t - 20^\circ) - 0,00000065 (t - 20^\circ)^2 \text{ internationale Volt.}$$

Es ist also sehr viel weniger abhängig von der Temperatur als das vorige und deshalb ihm im Laboratoriumsgebrauch vorzuziehen.



man in diesem Falle die Zersetzungsspannung des Kupferchloride, d. h. diejenige Spannung, die mindestens aufzuwenden ist, um bleibenden Stromdurchgang durch das  $\text{CuCl}_2$  und Zersetzung desselben zu erzwingen. Die Ausbildung einer Gegenkette, verursacht durch die Abscheidung auf den Elektroden, nennt man die Polarisation der Elektroden. Natürlich kann die Polarisationsspannung nie höher sein als die von außen angesetzte EMK. So lange die letztere unter der Zersetzungsspannung liegt, ist die Polarisation ihr gleich.

Der Stromstoß bei Spannungen unter der Zersetzungsspannung ist die Strommenge, die nötig ist, um die Elektroden so weit mit den Zersetzungsprodukten zu bedecken, daß sie eine der Polarisation gleiche EMK haben. Meist ist die dazu nötige Strommenge unmeßbar klein. Die Strommenge, die nötig ist, um so viel Zersetzungsprodukte auf den Elektroden abzuschneiden, daß sie auf 1 Volt geladen werden, nennt man die Polarisationskapazität der Elektroden.

Beispiele: Bei der Elektrolyse von HCl belädt sich die Kathode mit  $\text{H}_2$ , die Anode mit  $\text{Cl}_2$ , bis die Polarisation gleich der EMK ist. Höher als 1,4 Volt kann die Polarisation aber nicht steigen, denn die EMK der Kette  $\text{Cl}_2 | \text{HCl} | \text{H}_2$  beträgt nur 1,4 Volt. Gehen wir darüber hinaus, so findet lebhaftere Elektrolyse statt, d. h. die zwei Gase  $\text{H}_2$  und  $\text{Cl}_2$  entweichen in größeren Mengen. Dieselbe Spannung von 1,4 Volt erhalten wir, wenn wir zwei platinirte Pt-Elektroden in einer normalen HCl-Lösung gegeneinander schalten und an der einen Chlor, an der anderen Wasserstoff in die Höhe steigen lassen. Da wir die EMK solcher Ketten nach unserem vorigen Paragraphen berechnen können, so müssen dieselben Formeln und Zahlen auch zur Berechnung der Polarisation geeignet sein. Um z. B. Wasserstoff abzuschneiden, gebrauchen wir ein Potential (vergl. die Tabelle von S. 420) von Null Volt, um Chlor abzuschneiden, ein solches von 1,4 Volt, folglich um beide abzuschneiden:  $0 + 1,4 = 1,4$  Volt; um Zink abzuschneiden, sind 0,77 Volt nötig, um Chlor abzuschneiden 1,4, folglich um beide abzuschneiden, d. h. um Zinkchlorid zu elektrolysieren, 2,17 Volt.

Zur Abscheidung von  $\text{O}_2$  gebraucht man 1,23 Volt, für  $\text{H}_2$  0 Volt, also ist die Zersetzungsspannung des Wassers = 1,23 Volt. Dieselbe Spannung von 1,23 Volt hat aber ein Element aus zwei Platinelektroden, die eine mit  $\text{H}_2$ , die andere mit  $\text{O}_2$  bespült, d. h. die Knallgaskette. Der Versuch zeigt uns, daß oberhalb 1,23 Volt zwar Strom hindurchgeht, aber ein sehr kleiner. Das rührt davon her, weil wenig O-Ionen vorhanden sind. Erst bei 1,67 Volt, wo die Entladung der in verhältnismäßig großer Menge vorhandenen  $\text{OH}'$ -Ionen beginnt, ist die Steigerung der Stromstärke lebhafter.

Die Zersetzungsspannungen einiger Salze gibt folgende Tabelle.

Zersetzungsspannungen einiger Salze in normaler Lösung.

Säuren.		Salze.	
Schwefelsäure $\text{H}_2\text{SO}_4$	1,67	Zinksulfat $\text{ZnSO}_4$	2,35
Salpetersäure $\text{HNO}_3$	1,69	Zinkbromid $\text{ZnBr}_2$	1,80
Phosphorsäure $\text{H}_3\text{PO}_4$	1,70	Nickelsulfat $\text{NiSO}_4$	2,09
Monochloressigs. $\text{CH}_3\text{ClCOOH}$	1,72	Nickelchlorid $\text{NiCl}_2$	1,85
Malonsäure	1,69	Bleinitrat $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	1,52
Perchlorsäure $\text{HClO}_4$	1,65	Silbernitrat $\text{AgNO}_3$	0,70
Salzsäure $\text{HCl}$	1,31	Kadmiumnitrat $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$	1,98
Oxalsäure $\text{COOHCOOH}$	0,95	Kadmiumsulfat $\text{CdSO}_4$	2,03
Bromwasserstoffsäure $\text{HBr}$	0,94	Kadmiumchlorid $\text{CdCl}_2$	1,88
Jodwasserstoffsäure $\text{HJ}$	0,52	Kobaltsulfat $\text{CoSO}_4$	1,92
		Kobaltchlorid $\text{CoCl}_2$	1,78
Basen.			
Natronlauge $\text{NaOH}$	1,69		
Kalilauge $\text{KOH}$	1,67		
Ammoniak $\text{NH}_4\text{OH}$	1,74		

Diese Tabelle in Verbindung mit der Potentialtabelle S. 420 gibt durch Addition die Zersetzungsspannung aller Salze. Da die Polarisations-EMK gleich der Summe von Einzelpotentialen ist, ist auch bei ihr die Konzentration von Einfluß und zwar berechenbar nach der Nernstschen Formel. Ist  $e_1$  die Abscheidungs-

spannung eines Ions aus normaler Lösung (= elektrolytisches Potential), so ist

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + RT \ln c$$

diejenige aus einer Lösung von der Ionenkonzentration  $c$ .

**Gemischte Lösungen.** Sind in einer Lösung mehrere Ionen, so scheidet sich dasjenige am leichtesten ab, welches die kleinste Zersetzungsspannung hat.

**Beispiel:** Daher wird aus einer neutralen KCl-Lösung nicht Kalium, sondern Wasserstoff abgeschieden. Die Konzentration der H-Ionen in der neutralen Lösung beträgt ca.  $10^{-7}$  (vergl. S. 410); die Abscheidungsspannung des H aus solcher Lösung beträgt also  $0 + RT \ln 10^7 = \text{ca. } 0,4$  Volt. K<sup>-</sup>-Ionen bedürfen zu ihrer Abscheidung einer viel höheren Spannung. In einer normal alkalischen Lösung, in der die H<sup>-</sup>-Konzentration  $10^{-14}$  ist, ist die Abscheidungsspannung des H<sup>-</sup> etwa 0,8 Volt.

Die Tatsache, daß sich zuerst das Metall mit kleinerer Zersetzungsspannung abscheidet, erklärt viele elektrochemische Vorgänge und gibt ferner einen Weg zur analytischen Trennung von Metallen.

**Beispiel:** Die Zersetzungsspannung des  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  beträgt etwa 1,4 Volt (1,7–0,8), das Silber scheidet sich um etwa 0,4 Volt leichter aus als das Cu. Aus einer Mischung von  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  und  $\text{AgNO}_3$  scheidet sich also bei 1,38 Volt nur Ag aus, das Cu kann nicht ausfallen. Erst wenn die Konzentration der Ag<sup>-</sup>-Ionen so klein geworden ist, daß seine Abscheidungsspannung um 0,44 (Unterschied zwischen der Abscheidungsspannung des Cu<sup>++</sup> und der des Ag<sup>-</sup>) gestiegen ist, wird eine weitere Trennung unmöglich. Diese Konzentration ergibt sich aus der Nernstschen Formel

$$0,44 = 0,058 \log \frac{1}{c}, \text{ also } \log \frac{1}{c} = -\log c = -7,6$$

ferner  $\text{num } \log c = \text{num } \log (-7,6)$  und folglich  $c = 2,5 \cdot 10^{-8}$ .

Also bis zu einer Konzentration von  $\frac{1}{100 \text{ Millionen}}$  kann man das Silber aus der gemischten Lösung herauselektrolysieren, ohne daß Kupfer mit ausfällt.

Ag, Hg, Cu etc. scheiden sich leichter ab als H, weshalb man sie auch aus saurer Lösung ausfällen kann. Ni, Co etc. dagegen haben eine höhere Zersetzungsspannung als H<sup>-</sup>; so daß sie aus saurer Lösung nicht an der Kathode erscheinen, sondern statt dessen H<sub>2</sub> abgeschieden wird. In neutraler Lösung dagegen, wo die Abscheidungsspannung des H um 0,4 Volt höher liegt, ist eine Abscheidung von Ni und Co möglich. Macht man die Lösung alkalisch und schiebt dadurch die Abscheidungsspannung des H noch weiter hinauf, so erfolgt die Abscheidung dieser Metalle noch sicherer und quantitativer.

Um die Abscheidung eines Metalles zu erschweren, was bei der Elektroanalyse oft notwendig ist, macht man die Konzentration der betreffenden Metallionen kleiner. Bei H geschieht es z. B. durch Zusatz von Basen, d. h. von OH<sup>-</sup>, wodurch die H<sup>-</sup>-Konzentration in einer der Gleichung  $\text{CH}_3 \cdot \text{COH} = 10^{-14}$  (S. 410) entsprechenden Weise verringert wird. Oft kann man die Ionen durch Zusatz gewisser Stoffe binden. So z. B. bildet sich durch Zusatz von KCN zu Ag-Salzlösungen das komplexe Ion  $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$ , und es bleiben nur äußerst wenig Ag<sup>-</sup>-Ionen übrig, wodurch die Abscheidung des Ag so erschwert wird, so daß man aus einer KCN-haltigen Lösung unedlere Metalle vor dem Ag abscheiden kann\*). Man sieht, daß man, um die elektroanalytischen Vorschriften verstehen zu können, über die Abscheidungsspannung der Metalle und die Ionenkonzentration derselben in den für die Analyse zu gebrauchenden Lösungen orientiert sein muß.

**Faradaysches Gesetz.** Die Elektrizitätsmenge, die ein Grammäquivalent eines Elementes elektrochemisch zur Abscheidung bringt oder auflöst oder allgemein die durch den chemischen Umsatz eines Grammäquivalentes irgend welcher Stoffe erzeugt wird oder die solchen Umsatz hervorbringt, heißt das elektrochemische Äquivalent des Stromes und beträgt 96 540 Coulombs (Ampèrsekunden).

Eine Ampèrsekunde verursacht also umgekehrt einen Umsatz von  $\frac{1}{96\,540} =$

\*) Edle Metalle nennt man solche mit niedrigem, unedle solche mit hohem Abscheidungspotential. Das Abscheidungspotential ist gleichzeitig ein Maß für das Bestreben der Metalle, chemische Verbindungen einzugehen.

0,00001036 Grammäquivalenten chemischer Stoffe\*). Dividiert man das Molekulargewicht einer durch Elektrolyse entstehenden oder zerstörten Verbindung (bei den Elementen das Atomgewicht) durch ihre Wertigkeit, multipliziert mit der Anzahl durchgegangener Ampèresekunden und mit 0,00001036, so hat man die umgesetzte Menge Q in Gramm. Beispiel: Kupfer aus Cuproverbindungen wird durch eine Ampèresekunde ausgeschieden

$$Q = 0,01036 \cdot 63,6 = 0,6589 \text{ mg}$$

aus den Cuprverbindungen:  $Q = 0,01036 \cdot 31,8 = 0,3294 \text{ mg}$ ; Aluminium:  $Q = 0,01036 \cdot 9 = 0,0935 \text{ mg}$ .

Metall	Symbol und Wertigkeit	Atomgewicht <sup>***)</sup>	mg pro Amp. Sec.	g pro Amp. St.
Aluminium	Al···	27,1	0,0935	0,337
Antimon	Sb···	120,2	0,415	1,494
„	Sb·····		0,25	0,90
Baryum	Ba··	137,4	0,712	2,56
Blei (Plumbo)	Pb··	206,9	1,072	3,86
Brom	Br·	78,96	0,82	2,94
Cadmium	Cd··	112,4	0,583	2,10
Calcium	Ca··	40,1	0,2075	0,75
Chlor	Cl·	35,45	0,3677	1,322
Eisen (Ferro)	Fe··	55,9	0,290	1,04
„ (Ferri)	Fe···		0,193	0,694
Gold (Auro)	Au·	197,2	2,043	7,36
„ (Auri)	Au···		0,68	2,45
Jod	J·	126,85	1,314	4,725
Kalium	K·	39,15	0,406	1,46
Kobalt (Cobalto)	Co··	59,0	0,306	1,10
„ (Cobalti)	Co···		0,204	0,74
Kohlenstoff	C···	12,00	0,081	0,1115
Kupfer (Cupro)	Cu·	63,6	0,66	2,37
„ (Cupri)**)	Cu··		0,3294	1,186
Magnesium	Mg··	24,36	0,126	0,453
Mangan (Mangano)	Mn··	55,0	0,285	1,025
„ (Mangani)	Mn···		0,19	0,88
„ (Permanganat)	Mn·····		0,08	0,29
Natrium	Na·	23,05	0,24	0,86
Nickel (Niccolo)	Ni··	58,7	0,304	1,093
„ (Nicceli)	Ni···		0,203	0,732
Platin	Pt··	194,8		
Quecksilber (Mercuro)	Hg·	200,0	2,072	7,45
„ (Mercuri)	Hg··		1,036	3,73
Sauerstoff	O··	16,00	0,083	0,2985
Schwefel	S··	32,06	0,166	0,598
„	S····		0,083	0,298
Silber**)	Ag·	107,93	1,118	4,025
Strontium	Sr··	87,6	0,454	
Wasserstoff**)	H·	1,008	0,01046	0,03762
Wismuth	Bi···	208,5	1,08	3,89
Zink	Zn··	65,4	0,34	1,222
Zinn (Stanno)	Sn··	119,0	0,62	2,23
„ (Stanni)	Sn····		0,31	1,11

\*) Es darf nicht übersehen werden, daß das Faradaysche Gesetz sich nur auf den einen Faktor der elektrischen Arbeit, die Elektrizitätsmenge bezieht, nicht etwa auch auf die Spannung.

\*\*\*) nicht abgerundet, für Messungen der Strommenge in Voltmeter besonders geeignet.

\*\*\*) Das Atomgewicht dividiert durch die Wertigkeit (Anzahl Punkte oder Striche) gibt das Äquivalentgewicht.

Vorstehende Tabelle enthält in Reihe 1 die Metalle, Reihe 2 deren chemische Symbole mit Wertigkeit und Natur der Ionenladung, Reihe 3 Atomgewichte und 4 und 5 enthalten mgr / Amp.-Sek. und g / Amp.-Std. Außer für H, Ag und Cu sind die Zahlen abgerundet.

Die Menge entstehender oder verschwindender Verbindungen ist hiernach leicht zu finden. Bei der Elektrolyse von Alkalisulfaten entsteht an der Anode Schwefelsäure, an der Kathode Natronlauge. Das Äquivalent der ersteren ist  $\frac{1}{2}(1 + 1 + 32 + 64) = 49$ , es entstehen also anodisch  $0,01036 \times 49 = 0,507$  mg  $H_2SO_4$  pro Ampèrsekunde; das Äquivalent der NaOH ist  $23 + 16 + 1 = 40$ , so daß davon 0,414 mg entstehen.

### Zusammenstellung

einiger der wichtigeren elektrochemischen Reaktionen.

1. Kathodisch: Säuren und Salze der Metalle, die sich schwerer als H abscheiden, z. B. der Alkali- und Erdalkali-Metalle, der Erdmetalle, Mn, Mg etc., geben an der Kathode Wasserstoff, der, falls er keine Gelegenheit hat, andere in Lösung befindliche Stoffe zu reduzieren, gasförmig entweicht.

Die Überspannung. Der Wasserstoff, der nach seiner Abscheidung die Reaktion  $H + H = H_2$  (Bildung gasförmigen 2atomigen Wasserstoffs aus den einzelnen entladenen Atomen) eingehen muß, entweicht an verschiedenen Metallen bei verschiedener Spannung. Es ist das so aufzufassen, daß die Reaktion  $H + H = H_2$  durch die Natur des Kathodenmetalls eine mehr oder weniger große Erschwerung erleidet, so daß man zur Erzwingung derselben noch mehr Volt aufwenden muß als zur bloßen Entladung. Wenn am platinieren\*) Pt die zur Entwicklung von  $H_2$  nötige Spannung 0 Volt beträgt, so ist sie

	an Au	Fe	Pt	glatt	Ni	Cu	Sn	Pb	Zn	Hg
bei	0,02	0,08	0,09		0,21	0,23	0,53	0,64	0,70	0,78

Volt.

Die Überspannung erklärt folgende von der Regel S. 426 abweichende Tatsachen. Die Abscheidungsspannung des Zinks aus normaler  $ZnSO_4$ -Lösung beträgt nach S. 420 0,8 Volt, die der H-Ionen aus dieser neutralen Lösung nach S. 426 0,4; danach dürfte sich kein Zink aus dieser Lösung abscheiden lassen. Besteht aber die Kathode aus Zink, so ist die Abscheidungsspannung des H wegen der Überspannung  $0,4 + 0,7 = 1,1$ , d. h. höher als die des Zn, und die Überspannung ermöglicht somit die elektrolytische Gewinnung von Zn aus neutraler Lösung. — Die Reduktion der  $PbSO_4$  (Bleisulfat) bei der Ladung des Akkumulators wäre unmöglich, weil aus der sauren Lösung sich H viel leichter entlädt als Pb, wenn die Überspannung am Pb nicht so erheblich wäre.

Metallsalzlösungen mit Ausnahme der oben genannten geben an der Kathode Metall oder gleichzeitig Metall und Wasserstoff.

Häufig scheiden sich die Metalle nicht in einer glatten, wägbaren oder industriell verwendbaren Form ab, sondern in Form dunklen Schwammes. Der Schwamm entsteht vermutlich durch Mitabscheidung von H und seine Bildung läßt sich durch richtige Wahl der Konzentration, des Säuretiters und der Stromdichte (und diese ist vom Potential abhängig) vermeiden. — Man bekommt auch sonst bei sehr hohen, weit über der Abscheidungs-spannung des unedleren Metalles liegenden Spannungen gleichzeitige Ausscheidung zweier Metalle von verschiedenen Potentialen, z. B. Messing aus einer Cu- und Zn-baltenden Lösung. — Cu scheidet sich aus einer schwachsauren Lösung bei nicht zu großer Stromdichte meist gut ab, Zn dagegen sehr schwer, weshalb die Raffination des Kupfers sich verhältnismäßig einfach gestaltet, die des Zinks sich schwer durchführen läßt. — Oft geben die Metalle auf der Kathode Kristalle, die in die Lösung hineinwachsen (Bleibaum und Zinnbaum). Das tut auch Ag und man muß bei der Raffination des Silbers deshalb das Metall fortgesetzt von der Kathode abkratzen, damit es nicht zur Anode herüber wächst und Kurzschluß verursacht.

2. Anodisch: Mit Ausnahme von Cl, J, Br, S, P etc. scheiden sich die Anionen an der Anode schwerer ab als Sauerstoff. Es findet also meist  $O_2$ -Entwicklung statt; dabei bleiben H-Ionen zurück, wodurch die Lösung an der Anode sauer wird.

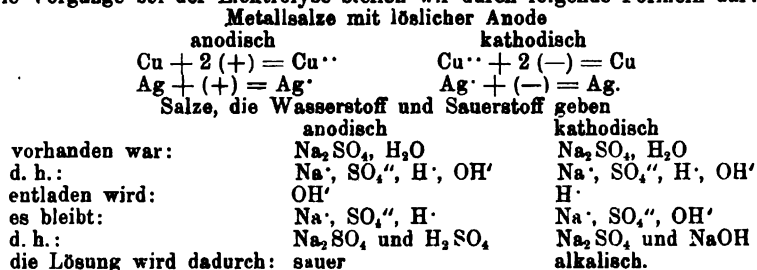
\*) Elektrolytisch mit Platinschwarz überzogen in einer Platinchloridlösung, der etwas Bleiacetat zugesetzt ist.

Diese anodische Reaktion tritt ein, wenn die Anode unlöslich ist, z. B. Kohle, Platin, Gold (außer im Chlorid), passives Eisen etc. Bei unedleren Metallen dagegen vereinigt sich das Anodenmetall mit dem entladene Anion, z. B.:

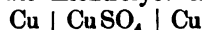


Weil z. B. an der Kathode das edlere Metall, d. h. dasjenige mit der kleineren Zersetzungsspannung, am ehesten abgeschieden wird, wird umgekehrt das edlere Metall anodisch am schwersten aufgelöst: Je unedler das Metall, desto lieber nimmt es Ladungen auf (man sagt, es habe eine größere „Elektroaffinität“), und desto schwerer gibt es sie wieder ab; das elektrolytische Potential ist ein Maß für diese Elektroaffinität. Dies ist unter anderem wichtig für die elektrolytische Raffination der Metalle.

Die Vorgänge bei der Elektrolyse stellen wir durch folgende Formeln dar:



Konzentrationspolarisation. Das zur Elektrolyse nötige Potential (die Zersetzungsspannung) ergibt sich aus der Differenz der beiden Abscheidungs- spannungen der Produkte. Bei der Elektrolyse einer Zelle

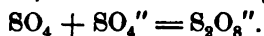


müßte also schon bei der Spannung Null Strom durchgehen.

Das ist auch der Fall bei unendlich kleinen Stromstärken; sowie die Stromstärke  $i$  endlich wird, ist der Arbeitsfaktor  $i^2 w$  aufzuwenden ( $w =$  Widerstand des Bades). Außerdem entstehen infolge der Überführung (vgl. S. 416) Konzentrationsänderungen, wodurch die Auflösungs- bzw. Abscheidungspotentiale gemäß der Nernstschen Formel sich ändern. Diese beiden Faktoren gestatten die Arbeit zu berechnen, die man zum Stromdurchgang durch die letztgenannte Zelle aufwenden muß.

Raffination von Metallen. Für die Kupfer-Raffination hängt man das zu raffinierende Cu, in Platten gegossen, als Anode in ein Bad mit etwa 4%iger  $\text{CuSO}_4$ -Lösung, und ihr gegenüber ein dünnes Cu-Blech. Das Cu der Anode löst sich auf und wird an der Kathode abgeschieden. Die in der Anode vorhandenen edleren Metalle (Ag, Au) bleiben zurück und fallen als sog. „Schlamm“ zu Boden; die etwa vorhandenen unedleren Metalle (Fe, Zn) gehen mit in Lösung, werden aber kathodisch nicht mit abgeschieden, so daß man auf diese Weise aus dem unreinen Cu das für elektrotechnische Zwecke so wichtige reine Cu bis zu 99,9% Reinheit gewinnt. Der Schlamm wird auf Silber und Gold verarbeitet; um diese zu trennen, gießt man den Schlamm in Platten, und verfährt genau so, wie beim Cu: die Silberanoden lösen sich auf, das darin enthaltene Gold bleibt als Schlamm zurück.

Sekundäre Reaktionen. Bei ihnen geht das entladene Ion mit der Lösung eine Reaktion ein. Unter ihnen sind die Oxydations- und Reduktionsvorgänge technisch wichtig; so z. B. wird anodisch aus Schwefelsäure und Sulfaten bei höherer Stromdichte durch Aneinanderlagerung zweier  $\text{SO}_4$ -Radikale, von denen das eine entladen ist, Überschwefelsäure gebildet nach der Formel

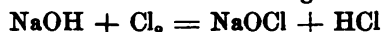


Ferner Oxydation von Mangansalz zur Übermangansäure, Ferrosalz zu Ferrisalz und weiter zu Eisensäure, Chromsalz zu Chromsäure, Kohlenstoff zu Kohlensäure,

Stickstoff zu Salpetersäure etc. An der Kathode erhält man Reduktion, z. B. Chromsäure zu Chromoxyd, Ferrisalz zu Ferrosalz, Schwefelsäure zu Schwefel, Salpetersäure zu Stickstoff und weiter zu Ammoniak etc. Dasjenige Potential, welches zu einem solchen Vorgang nötig ist, nennt man das Oxydations- bzw. Reduktionspotential des betreffenden Stoffes und dieses hängt ebenso von der Konzentration ab, wie die Reduktion der Metall-Ionen zu Metall.

Wie wir S. 424 sahen, ist jeder Reduktions- resp. Oxydationsvorgang an ein bestimmtes Potential gebunden. Da dieselben oft weit auseinander liegen, kann man durch geeignete Wahl des Potentials beliebige Reduktions- oder Oxydationsvorgänge an demselben Stoff hervorrufen. Z. B. erhält man bei der Reduktion von  $\text{HNO}_3$  mit geringem Potential salpetrige Säure, bei höherem Potential dagegen Ammoniak, bei anderem Hydroxylamin. Wie bei der Wasserstoffentwicklung ist auch hier die Natur des Kathodenmetalles oft von entscheidendem Einfluß. Wenn z. B. zur Reduktion eines Stoffes (bei organischen Reduktionen kommt dies oft sehr in betracht) ein höheres Potential nötig ist, als zur Entladung von  $\text{H}^+$ -Ionen, so kann man trotzdem die Reduktion erzwingen dadurch, daß man ein Kathodenmetall von hoher Überspannung (S. 428) wählt.

Kochsalzelektrolyse. An der Kathode entsteht  $\text{H}_2$  und  $\text{NaOH}$  (Natronlauge), an der Anode  $\text{Cl}_2$  (Chlor), beides verkäufliche Produkte. Trennt man Kathoden- und Anodenraum nicht durch ein Diaphragma, so diffundieren sich die beiden Produkte entgegen, und bilden nach der Gleichung



Natriumhypochlorit ( $\text{NaOCl}$ ). Diese Lösung wird entweder direkt zum Bleichen benutzt (elektrolytisches Bleichverfahren), oder das  $\text{NaOCl}$  wird durch weitere Elektrolyse zu Chlorat ( $\text{NaClO}_3$ ) oxydiert. Bei noch stärkerer Oxydation gelangt man unter geeigneten Bedingungen zu Perchlorat ( $\text{NaClO}_4$ ). Analoge Vorgänge finden bei der Elektrolyse von  $\text{NaBr}$  oder  $\text{NaJ}$ , und den Chloriden der Erdalkalimetalle statt.

Bei allen elektrolytischen Vorgängen bleibt das Faradaysche Gesetz stets gewahrt. So z. B. entsteht in  $\text{NaCl}$ -Lösung ein Mol. (= 40 g)  $\text{NaOH}$  bei einem Stromdurchgang von 96 540 Coulombs = 96 540 Ampèrsekunden. Um also 1 kg  $\text{NaOH}$  darzustellen, braucht man 2,4135 Millionen Coulombs = 630 Ampèrestunden.

Auch wenn unerwünschte Reaktionen nebenher stattfinden, z. B. Reduktion des schon gebildeten  $\text{NaOCl}$  an der Kathode, so gehorcht doch stets die Summe der stattfindenden Reaktionen dem Faraday'schen Gesetz. Wenn z. B. an der Anode durch 96540 Coulombs nur 0,7 Äquivalente Chlor entstehen, so ist die Summe der übrigen Reaktionen ( $\text{O}_2$ -Entwicklung + Chlorat- + Hypochlorit-Bildung etc.) 0,3 Äquivalente. Man sagt dann: die  $\text{Cl}_2$ -Bildung geschieht mit 70% „Stromausbeute“. Wieviel mal 96 540 Coulombs pro Mol. gebraucht werden, hängt in jedem Falle von der Wertigkeit der Reaktion ab.

Um z. B. 1 Mol. = 32 g  $\text{O}_2$  zu entwickeln, braucht man viermal 96 540 Coulombs, denn O ist zwei-,  $\text{O}_2$  also vierwertig.

Elektrolyse der geschmolzenen Salze. Man verwendet diese, um Metalle zu gewinnen, die sich aus wässriger Lösung nicht abscheiden lassen; um z. B. Natrium zu gewinnen, elektrolysiert man geschmolzenes Kochsalz. Ähnlich gewinnt man Kalium, Calcium, Magnesium etc. Für die Aluminium-Darstellung schmilzt man Kryolit (Aluminium-Kalium-Fluorid) ein, setzt  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Aluminiumoxyd) zu, und elektrolysiert mit solcher Stromdichte, daß die Stromwärme den Elektrolyten geschmolzen erhält. An der Kathode scheidet sich Al ab, und nicht K, da letzteres die höhere Abscheidungsspannung von beiden hat (vergl. S. 420); an der Anode scheidet sich aus demselben Grunde nicht Fluor (F), sondern  $\text{O}_2$  ab, so daß man durch fortwährenden Zusatz von  $\text{Al}_2\text{O}_3$  den Elektrolyten immer in derselben Zusammensetzung halten kann.

Elektrolyse organischer Stoffe. Für die präparative organische Elektrochemie kommen drei Gebiete in Betracht: Elektrolyse von Fettsäuren (z. B.



gibt Natriumazetat etwa 90% Ausbeute von Äthan), die elektrochemische Oxydation, die aber wegen verschiedener Schwierigkeiten noch keinen Eingang in die Technik gefunden hat, und die elektrochemische Reduktion. Man erhält durch Reduktion aromatischer Mononitrokörper in schwach saurer Lösung die entsprechenden Amine. In alkalischer Lösung wird das zuerst gebildete Hydroxylamin leicht zum entsprechenden Azokörper, und dieser durch weitere Reduktion zur entsprechenden Hydrazoverbindung oxydiert. Von Wichtigkeit ist die Reduktion von Karbonylgruppen. Ketone geben in saurer Lösung Pinakon, in alkalischer den entsprechenden Alkohol etc.

### Akkumulatoren.

Das wichtigste der Sekundär-Elemente (vergl. S. 423) ist der Akkumulator\*), im Besonderen der Bleiakкумуляtor, wiewohl sein großes Gewicht ihn für gewisse, z. B. Traktionszwecke, unpraktisch macht. Inwieweit die jüngst erfundenen alkalischen Akkumulatoren sich in der Praxis bewähren werden, ist noch nicht abzusehen.

**Bleiakkumulator.** Wenn man zwei Bleielektroden in Schwefelsäure taucht, so bildet sich zunächst oberflächlich durch chemische Auflösung  $\text{PbSO}_4$ , jedoch in sehr geringen Mengen. Schickt man Strom hindurch, so wird an der Kathode das  $\text{PbSO}_4$  zu Pb reduziert, an der Anode zu  $\text{PbO}_2$  oxydiert, so daß wir nunmehr ein Polarisationselement (vergl. S. 424) der Form



haben. Dasselbe kann Strom liefern und hat eine EMK von etwa 2 Volt. Da die  $\text{PbSO}_4$ -Bildung nur oberflächlich war, ist die Umwandlung in  $\text{PbO}_2$  ebenfalls nur oberflächlich, das heißt, das neue Element kann bei der „Entladung“ nur sehr wenig Strom liefern. Um die „Kapazität“ zu erhöhen, das heißt um den Bleiakкумуляtor zur Aufnahme von mehr Elektrizität zu befähigen, „formiert“ man ihn.

**Plantéformation.** Zu dem Zweck benutzte Planté (1860) eine große Reihe von aufeinander folgenden Ladungen und Entladungen, bei deren jeder die Auflockerung der Elektrode verstärkt, somit die Oberfläche, die sich mit  $\text{PbSO}_4$  bedecken kann, vergrößert wird. Durch die Planté'sche Formierung erhält man vorzüglich haltbare Elektroden, doch ist das Formieren mit viel Zeit- und Stromverlust, also viel Kosten verbunden.

**Masseplatten.** Nach der Methode von Faure (1880) und ähnlichen Methoden anderer Erfinder wird fein verteiltes Blei oder Oxyde des Bleis ( $\text{PbO}$  oder Mennige) zwischen die Maschen verschiedenartig geformter Gitter eingestrichen und eingewalzt. Es sind hunderte von Gitterformen vorgeschlagen worden, deren Zweck ist, die Masse möglichst fest zu halten. Die Gitter bestehen aus Hartblei (Sbhaltig). Bei der Ladung wird der Brei an der Kathode zu schwammigem Blei reduziert, an der Anode zu Bleisuperoxyd oxydiert.

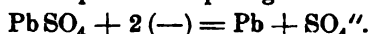
**Tudorformation.** Für Entladung mit starken Strömen sind diese nach Faure formierten Platten nicht so gut, weil die Masse leicht herausfällt. Um das zu vermeiden, rief Tudor die massiven Platten nur, und schmiert den Brei in die Riefen. Die aktive Masse fällt bei dem Gebrauch allmählich heraus, aber dann ist infolge des Gebrauchs inzwischen eine Planté-Formation der massiven

\*) Ein vorzügliches Buch über die Theorie des Akkumulators ist dasjenige von F. Dolezalek: „Die Theorie des Blei-Akkumulators“. Verlag von Knapp, Halle 1901, ferner über Konstruktionseinzelheiten und Behandlung des Akkumulators vergleiche das Buch Bernbach, Verlag von Wiegand 1905 und andere. Über Anwendung der Akkumulatoren und Pufferbatterien s. S. 174.

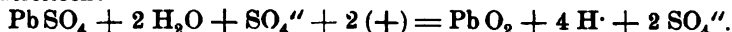
Bleiunterlage eingetreten, so daß die Platten nunmehr die Haltbarkeit der nach Planté formierten Platten haben. Solche „Tudor-Platten“ benutzt man gewöhnlich als positive Platten, und zwar für Akkumulatoren, die als Pufferbatterien dienen sollen, oder sonst für Zwecke, bei denen sie sehr starker und besonders ungleichmäßiger Beanspruchung ausgesetzt sind.

**Chemischer Vorgang im Bleiakкумуляtor.** Die Ladung des fertig formierten Akkumulators ergibt an der Anode Bleisuperoxyd, an der Kathode schwammiges Blei. Bei der Entladung entsteht an beiden Platten Bleisulfat.

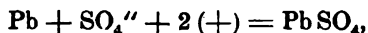
**Ladung.** Bei der Ladung wird die verdünnte Säure durch den Strom zerlegt. An der Kathode (Blei-Platte, negative Pol) wird das Bleisulfat ( $\text{PbSO}_4$ ) zu Blei reduziert. Dort findet also die Reaktion statt [2 (+) resp. 2 (—) bedeuten  $2 \times 96540$  Coulombs positive resp. negative Elektrizität]



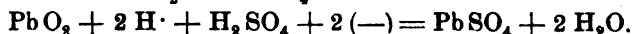
Sie ist also eine Elektrode zweiter Art (vergl. S. 422), die  $\text{SO}_4''$ -Ionen in Lösung schiebt. An der Anode (Bleisuperoxyd-Platte, + Pol) dagegen werden  $\text{SO}_4''$ -Ionen abgeschieden, die unter Mitwirkung des Wassers das  $\text{PbSO}_4$  unter  $\text{PbO}_2$ -Bildung zerstören:



**Entladung.** Bei der Entladung wird an der Anode (nunmehr die Bleiplatte)  $\text{SO}_4''$  entladen



an der Kathode ( $\text{PbO}_2$ -Platte) wird Wasserstoff entladen, der unter Mitwirkung der Schwefelsäure das  $\text{PbO}_2$  zu  $\text{PbSO}_4$  umwandelt



Faßt man diese vier Gleichungen zusammen, so erhält man für den stromliefernden Prozeß im Akkumulator die einfache Gleichung



bei der Ladung von rechts nach links, bei der Entladung von links nach rechts zu lesen\*).

Die dem Faradayschen Gesetz entsprechende quantitative Bildung von  $\text{PbSO}_4$  haben bereits Gladstone und Tribe nachgewiesen, die die obige Theorie des Akkumulators, die sog. „Sulfattheorie“, aufgestellt haben. Wie man sieht, bilden sich bei der Ladung 2 Moleküle Schwefelsäure und verschwinden 2 Moleküle Wasser. Bei der Entladung verschwinden 2  $\text{H}_2\text{SO}_4$  und entstehen 2  $\text{H}_2\text{O}$ .

Aus dem Faradayschen Gesetz folgt:

Für eine Ampèrestunde wird bei der Entladung verbraucht

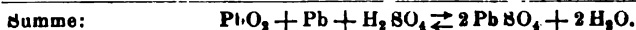
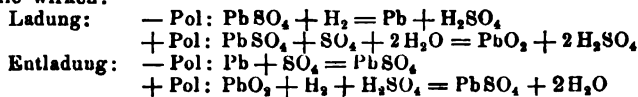
— Platte	Bleischwamm	3,86 g
+ Platte	Bleisuperoxyd	4,46 g
beide Platten	Schwefelsäure	3,65 g

erzeugt wird dagegen

beide Platten	Bleisulfat	11,30 g
	Wasser	0,67 g.

Bei der Ladung findet das Umgekehrte statt.

\*) Auf dasselbe kommt folgende Darstellung hinaus, die man in den meisten Lehrbüchern finden wird. Darnach werden als primäre Produkte der Elektrolyse  $\text{H}_2$  und  $\text{SO}_4$  aufgefaßt, die ihrerseits dann sekundär reduzierend resp. oxydierend auf die Elektrodenbestandteile wirken:



Folgende Fig. 156 a gibt eine gute Übersicht über diese Vorgänge (Hoppe: „Die Pufferbatterie“, Verlag von Baedeker-Essen, 1901.

Wegen einiger Nebenreaktionen (Selbstentladung etc.) erhält man im allgemeinen bei der Entladung nur 90—98% des zur Ladung gebrauchten Stromes wieder, d. h. der „Nutzeffekt“ beträgt 90—98% (s. S. 193).

**Elektromotorische Kraft.** Die EMK des Akkumulators ergibt sich nach den verschiedenen früher besprochenen Theorien, sowohl der Nernstschen Theorie (S. 418), wie nach der thermodynamischen (S. 404) und auch nach einer von Helmholtz aufgestellten Gleichung (aus dem Dampfdruck der benutzten  $H_2SO_4$ ).

Wir verzichten darauf, die Durchrechnung im einzelnen wiederzugeben\*) und bemerken nur, daß man für die Benutzung der Nernstschen Formel sich ein Bild über den Vorgang an der  $PbO_2$ -Elektrode machen muß. Es sind dafür verschiedene Theorien aufgestellt worden: Nach Elbs entsteht intermediär ein Tetrasulfat  $Pb(SO_4)_2$ , welches freiwillig in  $PbO_2$  und  $H_2SO_4$  zerfällt. Die Theorie hat manches für sich, würde aber einen Verlust von freier Energie involvieren, der nach den Versuchen von Dolezalek nicht vorhanden zu sein scheint, da man bei sehr geringer Stromentnahme genau die Energie wieder herausbekommt, die man hineingesteckt hat. Le Blanc nimmt an, daß vierwertige  $Pb^{IV}$ -Ionen an der Anode zu zweiwertigen umgeladen werden. Liebenow nimmt die Anwesenheit von  $PbO_2$ -Ionen an, die bei der Ladung gefällt werden, bei der Entladung in Lösung gehen. Die beiden letzten Annahmen führen bei der Ausrechnung schließlich zu derselben Formel für die EMK.

**Einfluß der Konzentration.** Weil bei der Ladung  $H_2SO_4$  entsteht und  $H_2O$  verschwindet, bei der Entladung  $H_2O$  entsteht und  $H_2SO_4$  verschwindet, d. h. die Konzentration sich ändert, so muß die Konzentration der  $H_2SO_4$  einen Einfluß auf die EMK des Akkumulators haben\*\*).

Die EMK gehorcht der Formel

$$E_z = 1,850 + 0,00057 z.$$

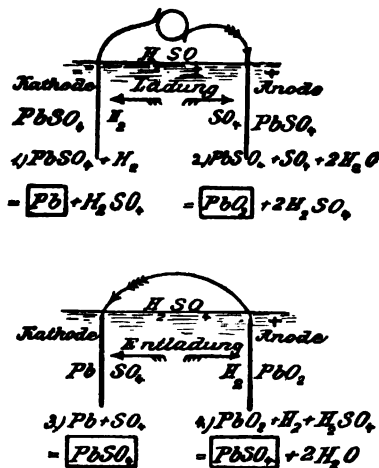
z ist der Säuregehalt in g/Liter. Bei kleinen Konzentrationen findet man für Zimmertemperatur annähernd

$$E_0 = 1,92 + 0,15 \log c.$$

\*) Vergl. darüber das in der Fußnote S. 431 erwähnte Buch von Dolezalek.

\*\*\*) Es ist allgemeines Naturgesetz, daß jeder Vorgang, der irgend eine Änderung der Reaktionsbedingungen, wie Temperatur, Druck, Konzentration etc. hervorruft, in bezug auf seine freie Energie (Reaktionsbestreben) von dieser Bedingung abhängig ist. Wenn z. B. bei einem Vorgang außer der maximalen Arbeit (vergl. S. 404) noch Wärme frei wird, so verringert die Temperaturerhöhung die freie Energie, d. h. die EMK des Vorganges. Oder wenn bei einem Vorgang sich das Volumen vergrößert, wenn z. B. bei einer chemischen Reaktion Gasentwicklung stattfindet, so muß gewaltsame Verkleinerung des Volumens, das heißt größerer Druck, verkleinernd auf die Energie des Vorganges wirken. Wenn schließlich bei einem Vorgang die Konzentration irgend eines Stoffes erhöht wird, so ist die freie Energie des Vorganges kleiner, je höher die Konzentration von vornherein ist. Alle 3 Sätze sind auch in ihrer Umkehrung richtig. Man kann sich das am besten so merken: Wenn viel Wärme vorhanden ist, also die Temperatur hoch ist, so widersetzt sie sich einer weiteren Temperatursteigerung, also jedem Vorgang, der mit Temperaturerhöhung verbunden ist. Ebenso widersetzt sich hoher Druck jedem Vorgang, der mit Druckerhöhung verbunden ist, resp. begünstigt jeden Vorgang, durch den der Wirkung des Drucks nachgegeben wird, d. h. das Volumen verkleinert wird. Bei der Wasserbildung im Knallgaslement (vergl. Seite 241) erniedrigt sich das Volumen, infolge dessen erhöht Druck die EMK dieses Elements. Der Ladung des Akkumulators, bei welcher  $H_2SO_4$  entsteht, widersetzt sich hohe Konzentration, folglich ist die EMK des Akkumulators größer bei höheren  $H_2SO_4$ -Konzentrationen.

Fig. 136 a.



Hier ist  $c$  die Säurekonzentration in Mol./Liter. Diese Gleichung gilt von  $2n$  bis  $0,0005n$   $H_2SO_4$ .

Der Temperatur-Koeffizient des Akkumulators ist verschieden, je nach der Säurekonzentration. Man erhält zwischen den Konzentrationen  $c=0,1$  bis  $c=0,0005$  für den Temperaturkoeffizienten  $\alpha$  (= Änderung der EMK pro Grad Temperatursteigerung in Millivolt)

$$\alpha = 0,52 \log c + \text{Konstante.}$$

Die Fig. 137 zeigt den Verlauf von  $\alpha$  mit der Säurekonzentration. Bei kleinen Konzentrationen ist der Temperaturkoeffizient stark negativ, d. h. die EMK des Akkumulators

Fig. 137.

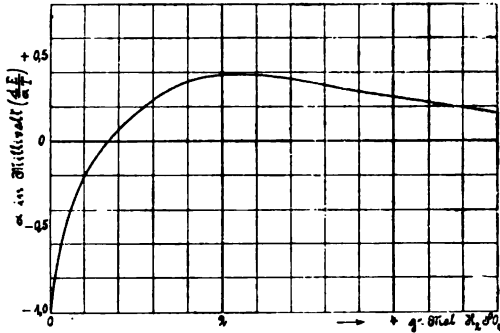
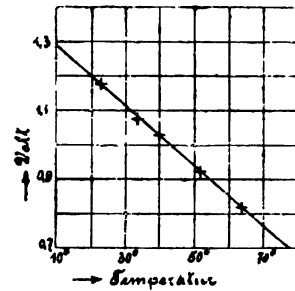


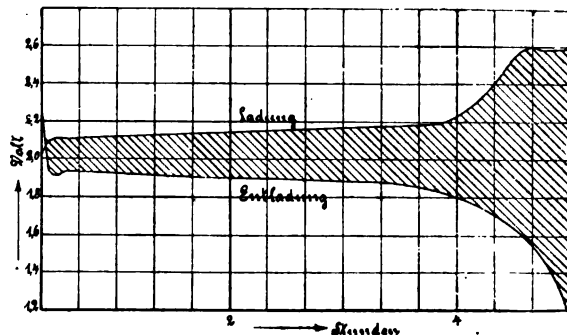
Fig. 138.



nimmt mit wachsender Temperatur ab. Mit wachsender Konzentration steigt der Temperaturkoeffizient schnell, aber verzögert, ist bei der Konzentration  $c=0,3$  gleich Null (d. h. hier ist die EMK unabhängig von der Temperatur und es wird nach der Gleichung S. 404 weder Wärme von der Umgebung aufgenommen, noch an diese abgegeben). Bei  $c=2$  hat der Temperaturkoeffizient ein Maximum, um dann langsam abzunehmen. Für jede Konzentration ändert sich die EMK linear mit der Temperatur, wie z. B. die Fig. 138 (für die Konzentration 0,0005 gültig) zeigt.

Lade- und Entladekurven. Fig. 139 zeigt dieselben. Angenommen, der Akkumulator sei entladen bis auf 1,3 Volt. Beim Beginne der Ladung

Fig. 139.



steigt die EMK schnell auf etwa 2,1 Volt. 2,1 Volt entspricht der EMK des Akkumulators bei der anfangs geringen Säurekonzentration. Die nun folgende langsame Steigerung bis 2,2 Volt rührt von dem Wachsen der Konzentration her. Schliesslich ist das  $PbSO_4$  verbraucht und es beginnt Entwicklung von  $H_2$  und  $O_2$  („Kochen“ des Akkumulators). Hierzu ist eine Spannung von ca. 2,58 Volt nötig, wegen der Überspannung (S. 428) um 0,64 mehr als an Pt-Elektroden.

Bei der Entladung sinkt die EMK schnell auf 1,9 Volt, dann langsam wegen Verringerung der Säurekonzentration und später schnell bis auf 0. Verloren geht eine Arbeit, die der zwischen den beiden Kurven liegenden schraffierten Fläche entspricht, also um so mehr, je länger man die Akkumulatoren lädt (kochen läßt) und je weiter man entlädt. Man bricht die Ladung also gleich nach dem starken Spannungsanstieg ab und entlädt nicht über 1,7—1,8 Volt. Daß die Kurven beim Normalverlauf auseinander liegen, daß also auch dann Kraftverlust stattfindet, liegt daran, weil bei der Ladung in den Plattenporen  $H_2SO_4$  entsteht, die langsam heraus diffundiert, daß also dort eine höhere Konzentration herrscht als in der übrigen Lösung, wodurch die zur Ladung nötige EMK höher ist, als der im Durchschnitt vorhandenen Konzentration entspricht. Bei der Entladung herrscht aus analogen Gründen in den Plattenporen eine zu kleine Konzentration (Wasserbildung) und deshalb liegt die Entladekurve stets niedriger als die Ladekurve. Läßt man dagegen den Stoffen Zeit zum diffundieren aus den Plattenporen heraus, d. h. lädt und entlädt man mit einer sehr kleinen Stromstärke, so rücken die Kurven immer näher zusammen und der Kraftverlust wird immer kleiner.

**Erholung.** Entlädt man mit sehr starkem Strom, so nimmt die Konzentration in den Plattenporen und damit die EMK stark ab, läßt man dann ohne Strom stehen, so gleicht sich die Konzentration durch Diffusion aus, die EMK nimmt wieder den Normalwert an, d. h. der Akkumulator „erholt“ sich.

**Sulfatisierung.** Läßt man einen Akkumulator zu lange ohne Strom stehen, so bildet sich durch chemische Auflösung des Pb allmählich eine dicke Kruste kristallisierten Bleisulfates („sulfatisierter Akkumulator“), die den Stromdurchgang hindert und den Akkumulator ruiniert.

**Verunreinigungen.** Die Sulfatisierung tritt im erhöhten Maße ein, wenn der Akkumulator durch edlere Metalle, wie Au, Pt, Ag etc., verunreinigt ist, weil dann der Widerstand, den das Pb der  $H_2$ -Entwicklung entgegensetzt, zu nichte gemacht wird (Vernichtung der Überspannung S. 428) und das Pb chemisch  $H_2$  entwickelt. Anwesenheit von Fe oder anderer Metalle von wechselnder Wertigkeit, verursacht Verluste. Denn bei der Ladung wird das Eisensalz an der Anode zu Ferrisalz oxydiert, dieses diffundiert zur Kathode, wo es wieder zu Ferrosalz reduziert wird; letzteres diffundiert zur Anode usf., d. h. es geht Strom durch den Akkumulator, der nicht zur Ladung, sondern zur Zunichtemachung der Folgen der Diffusion („Diffusions-, Konvektions- oder Reestrom“ genannt) dient.

**Kapazität eines elektrischen Sammlers** ist die Strommenge, welche man ihm bis zur völligen Erschöpfung entnehmen kann. Bei schwachem Strom ist sie nach dem Faradayschen Gesetz durch das Gewicht der aktiven Massen bestimmt, indem 3,86 g Bleischwamm und 4,45 g  $PbO_2$  bei der Umwandlung in Sulfat eine Ampère-Stunde liefern. Da man in der Praxis mit stärkeren Strömen arbeitet und auch weit vor der völligen Erschöpfung mit der Entladung aufhören muß, erreicht man die völlige Ausnutzung der aktiven Masse nicht. Für die Abhängigkeit der Kapazität [K] von der Stromstärke [J] sind verschiedene Gleichungen empirisch aufgestellt worden. Dolezalek leitete aus der Diffusion die Gleichung

$$K = \frac{A}{B + J}$$

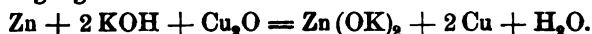
ab, die mit einer von Liebenow empirisch gefundenen identisch ist. Durch zwei Messungen ermittelt man die Werte der dem betreffenden Akkumulator eigentümlichen Konstanten A und B und kann dann K für alle Stromstärken berechnen. Die Kapazität ist von der Säuredichte abhängig und erreicht bei der Dichte 1,1 (= 16 %) ein Maximum. Mit wachsender Temperatur steigt die Kapazität sehr.

**Nichtbleiakkulatoren.** Der älteste derselben ist der Gasakkumulator. Man fängt die bei der Elektrolyse des Wassers entstehenden Gase  $H_2$  und  $O_2$  auf und verwendet sie zur Stromerzeugung. Technisch nicht brauchbar.

Der Kupfer-Zink-Akkumulator von Lalande ist die Kombination



der chemische Vorgang in demselben ist:



Er ist schwer zu behandeln, deshalb für die Technik unbrauchbar.

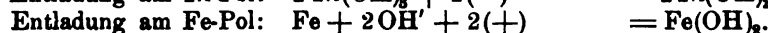
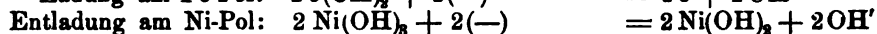
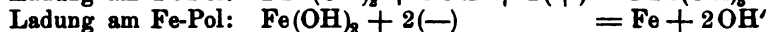
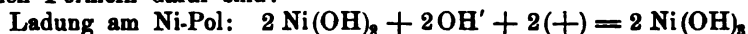
Der Kupfer-Alkali-Silbersuperoxyd-Akkumulator von Jungner hat nur 0,7 Volt, ist außerdem zu teuer.

Einen wesentlichen Fortschritt für den Nichtbleiakkumulator bedeutet die Verwendung des Nickeloxys, welches sich leicht zu dem höheren Oxyd oxydieren läßt ( $NiO \rightarrow Ni_2O_3$ ). Michalowski wählte die Kombination Zink-Alkali-Nickeloxys, die etwa 1,86 Volt hat, sich aber nicht bewährt zu haben scheint.

Jungner erfand den in neuerer Zeit sehr viel besprochenen Akkumulator Metall | Alkalilauge | Metallsuperoxyd.

Der Edison-Akkumulator ist ein Spezialfall des Jungner-Akkumulators: geladen:  $Fe \mid KOH \mid Ni(OH)_2$ , entladen:  $Fe(OH)_2 \mid KOH \mid Ni(OH)_2$ .

Es handelt sich also um eine einfache Übertragung von Hydroxyl (OH) von der Eisen- zur Nickelelektrode bei der Ladung, umgekehrt bei der Entladung. Die chemischen Formeln dafür sind:



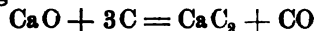
Die Gleichungen lassen sich zusammenfassen in die allgemeine Gleichung:



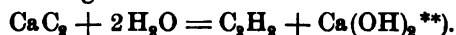
→ findet bei der Entladung, ← bei der Ladung statt\*).

**Calciumkarbid-Akkumulator.** Erwähnt als wichtiger Kraftakkumulator (oder besser Lichtakkumulator) sei noch das Calciumkarbid. Es wird erzeugt an Orten mit billigen Kraftquellen (Wasserkraft, Hochofengichtgase) und seine chemische Energie wird an anderen Orten zur Lichterzeugung benutzt. Da es durch elektrische Energie erzeugt wird, so ist das Acetylenlicht eigentlich nichts anderes als transportables elektrisches Licht.

Calciumkarbid entsteht durch Erhitzen einer Mischung von 56 Teilen Kalk mit 36 Teilen Kohle mittels des elektrischen Stromes in eigens dazu konstruierten Öfen. Nach der Gleichung



entstehen dabei 64 Teile Calciumkarbid und 28 Teile Kohlenoxyd. Letzteres läßt sich an Ort und Stelle zu Heizzwecken verwenden; das Karbid gibt mit Wasser Acetylen nach der Gleichung



\*) In neuester Zeit hat sich gezeigt, daß die Vorgänge im Jungner-Edisonakkumulator nicht so einfach sind, wie hier dargestellt; die Untersuchungen sind aber noch nicht zu einem endgültigen Resultat gediehen. Der Akkumulator ändert seine EMK mit der Laugenkonzentration, und zwar nimmt die EMK mit wachsender Konzentration ab. Das weist nach S. 433 Anmerkung darauf hin, daß sich wasserhaltige Hydroxyde bilden, d. h., daß sich auch Wasser an der Reaktion beteiligt (Anmerkung bei der Korrektur).

\*\*) Über Darstellung, Eigenschaften, Kosten, Verwendung etc. des Carbides und des Acetylens vergl. das vorzügliche Werk: Handbuch für Acetylen von J. H. Vogel, Verlag von Vieweg u. Sohn, Braunschweig 1904.

## Sach-Register.

- $A = \eta \mathfrak{B}_{\max}^{1.6} \cdot 10^{-7}$  Watt 115.  
 Abschmelzsicherungen (Sicherheitsventil) 118.  
 Abscheidungsspannung s. a. Zersetzungsspannung.  
 Absoluter Nullpunkt des Potentials 421.  
 Absolutes Maßsystem 23.  
 Ägir hat elektr. Einrichtung 10.  
 Äquival. Elektrochem. — 28.  
 — Grubenweite 278.  
 Äquivalent des Stromes 426.  
 Äquivalentgewichte (Tabelle) 427.  
 Äquivalentkonzentration (Definition) 409, 410,  
 Äquivalentleitfähigkeit 412, 414.  
 Äther 20, 49.  
 Akkumulator 3, 5, 117, 174, 197, 481.  
 — Einzelnes s. Bleiakкумуляtor und Nichtbleiakкумуляtor.  
 — in Lichtzentralen 177.  
 — -Batterie; Nutzen der — 180.  
 — (Ansammler) verwandelt elekt. Energie in chem. und umgekehrt 66.  
 — -Ladung 175.  
 — -Lampe 175.  
 — Sinsteden 1854, Planté 1860, 3, 175.  
 — Aufstellung, Wartung 177.  
 — -Betrieb; (Berechnung) 179.  
 Aktive Masse 409.  
 Albert erfand 1834 die Drahtseile 3, 305 Anm.  
 Alternator (Wechselstrom DM) 117.  
 Aluminium 430.  
 Amine 431.  
 Ampère  $\boxed{A}$  12, 23, 28, 31.  
 — -Gesetze (1820) 2, 72, 74.  
 — -Gestelle 74.  
 — meter 12, 17.  
 — -Regel 73.  
 — Windungen (z. i) 72, 107, 164, 166.  
 Amplitude 47, 94.  
 Amyl-Asetat Lampe 209.  
 Anion (Definition) 411.  
 An- und Endlauf (Trägheit) 87.  
 Anker (Induktor) 118. — Formen 187.  
 — Pacinotti-Gramme, Ring-, 118.  
 — Hefner-Trommel — 118.  
 — Schuckert-Flachring 137.  
 Anker, wechselt period. den Magnet. 119.  
 — s. Berechnung des — 161.  
 Ankerkern. Herstellung des — 161.  
 Ankerwicklung 133, Verbesserung der — 136.  
 Anlassen der Elektromotoren 140.  
 —; Nebenschluß — 142.  
 —, Hauptstrom — 142.  
 Anlassen des Ventilators auf dem Rammelter Schacht 288.  
 Anlaßwiderstände 149.  
 Anode (+ Elektrode) 66. Definition 411.  
 Anodische Elektrolysenvorgänge 428.  
 Anzahl der Kraftlinien (Feldstärke) 101.  
 Aperiodische Volt- u. Amperemeter 118.  
 Arago 72.  
 Arbeit durch ausdehnendes Gas 405.  
 Arbeitsberechnung aus Wärmewirkung 402.  
 — aus dem Gleichgewicht 404, 417.  
 Arbeitsfähigkeit 402, 404, 417.  
 Arbeitsmaschine bezweckt Orts- oder Formveränderung 6.  
 Arbeitsübertragung 6.  
 Arbeitsumrechnung, verschiedenes Maßsystem 418.  
 Arbeitsverbrauch der Lamp. 217.  
 Astatische Nadel 69.  
 Asynchron-Elektromotoren 117, 147.  
 Asynchronismus ist erforderlich 149.  
 Atome 20.  
 Atongewichte, Tabelle 427.  
 Aufgabe. Größe — der Technik 5.  
 — des Technikers 6.  
 Aufaden 67.  
 Auge und Ohr im Vergleich 96.  
 Ausschalthebel (Absperrentil) 118.  
 Ausstellung. Erste elektrot. (1881) 4.  
 Azokörper 431.  
 B ( $\mathfrak{B}$ ), Bedeutung 109 Anm.  
 Bajonett-Kontakt 219.  
 Basen, Elektrolyse 426.  
 Becquerel 93.  
 Beharrung 37.  
 Beispiele. Zahlen —:  
 — Mechanische Arbeit 42.

- Beispiele. Ohm-Gesetz 83.  
 — Joule-Gesetz 89.  
 — Messen der Ströme 91.  
 Beleuchtung. Elekt. — 200.  
 —; Preise der — 211.  
 —; Kraftverbrauch für — 211.  
 — Anlagen mit Glüh- u. Bogenl. 211.  
 —; Grundlegende Bemerk. über — 212.  
 —; Gefährlichk. u. Schutzmittel 246.  
 Bell führte (1877) das von Reis 1861 erfundene  
 Telephon ein 3.  
 Berechnung der Dynamom. 158.  
 Berechnung der elektromotor. Kraft der Gleich-  
 und Wechselstrommaschine 162.  
 — der elektr. Leitungen 78.  
 — für eine Schacht-Förderm. 44, 207.  
 — der Kraftübertragung von Lauffen nach Frank-  
 furt 84.  
 — von Widerständen u. Leiterquerschnitten 78, 88.  
 Berührungs-Elektrizität 66.  
 Beschleunigungswiderstand 40.  
 Beweglichkeit der Ionen 412.  
 Bewegungslehre = Mechanik 20.  
 Beziehungen zwischen e und q 84.  
 — — e und i 128.  
 Bifilare Wickelung 80.  
 Biot-Savart 2, 71.  
 Blei-Akkumulator 175, 481.  
 — Einfluß der Konzentration 438.  
 — Einfluß der Temperatur 434.  
 — Lade- und Entladekurve 434.  
 — Erholung 435.  
 — Sulfatisierung 435.  
 — Vereinigungen 435.  
 — Kapazität 435.  
 — chemischer Vorgang 432.  
 — elektromotorische Kraft 433.  
 — Ladung und Entladung 432.  
 Bleibaum 428.  
 Bleichverfahren 430.  
 Bleisicherung 84.  
 Blitz 38; — als Funkenstrecke 385.  
 Blitzableiter 39, 200.  
 Blitzgefährlichkeit eines Ortes 247.  
 Blitzwellen 97.  
 Bogenlampe 229.  
 — Kohlenstäbe der — 229.  
 — Lichtstärke der — 230.  
 — Temperatur — 230.  
 — Gleichstrom — 230.  
 — Wechselstrom — 230.  
 — Schaltung und Regelung der — 230.  
 — Tabellen 236.  
 — Verbesserungen der — 241.  
 Bremse, elektrische — 46.  
 Brit. Association-Einh. 27.  
 Bürsten 61, 118, 122.  
 Bunsenelement 424.  
 Busssole 99.  
 Calciumcarbid als Akkumulator 436.  
 Candle power 210.  
 Carlisle 2, 66.  
 CGS-System 4, 23.  
 Charakteristik 152, 155, 157.  
 Chemie; Elektro- 401,  
 Chemische Energie 417.  
 Chlorat 430.  
 Chlornatrium s. Natriumchlorid.  
 Chromsäureelement 424.  
 Clarkelement 423.  
 Compound-Dynamom. 126.  
 Coulomb [Cb] 23, 24, 26, 32, 65.  
 — = 1 Amp. in 1 Sek. 26, 82.  
 — -Gesetz (1785)  $P = k \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$   
 Cürie 93.  
 Dampf-Pumpe 252.  
 Dampfturbinen 131.  
 Daniell-Zink-Kupfer-Element 11, 68, 403, 404,  
 418, 421, 424.  
 Davys Lichtbogen 2, 76.  
 — Sicherheitslampe (1815) 248.  
 Deklination 99.  
 Depoele-Bohrmasch.-System 359.  
 Deprez (d'Arsonval, Weston) Galvanom. 70.  
 Diagramm (Schaulinie) 22.  
 Diamagnetisch 98.  
 Dichte 63, 64, 169.  
 Dielektrikum 59, 62, 86, 97.  
 Dielektrizitätskonstante 62.  
 — und Dissoziationskraft 415.  
 Differentillampe von v. Hefner-Alteneck (1879)  
 3, 233.  
 Differentillampe von Krizik mit kon. Kern 235.  
 Differenz, Gefäll-, Spannungs- 60.  
 Dimension 24.  
 Direkte Kuppelung (Thiederhall) 315, 322.  
 Dissoziationsgrad 414.  
 Dissoziationskonstante 410, 414.  
 Dissoziationskraft und Dielektrizitätskonstante 415.  
 Dissoziationsschemata 408.  
 Dissoziationstheorie 407.  
 Druck a. a. osmotischer und Gasdruck.  
 Doppel-T-Anker 121.  
 Drahtlose Telegraphie 37, 39, 47, 64, 875.  
 Drahtseil 3.  
 Drahtspule 72.  
 Drehstrom, Dreiphasenstr. (Drillingstr.) 4, 55, 184.  
 Dreieck-Schaltung 134.  
 Dreileiter-System 197.  
 Dreiphasen-Gruben-Lokomotive 302.  
 Dreiphasen-Leiter-System 197.  
 Dreiphasenstrom 134.  
 Drilling- oder Dreiphasen-M. 54, 184, 145, 150,  
 195.  
 — Gesetz der — 55.  
 Drillingstrom 195.  
 Drosselspule 38, 197.  
 Durchhang d. Leit. (Tabelle) 198.  
 Dy Fay 60.  
 Dyn 25, 65, 99.  
 Dynamoelekt. Maschine von Werner Siemens  
 (1866) 3, 126.  
 Dynamomaschine 53, 117.  
 —. Begriff 119.  
 —. Bestandteile der — 118.  
 —. Einteilung 117.  
 —. Größte, kleinste 4.



Dynamomaschine, Eigensch. u. Verwend. der — 127.  
 — Grundgleichung der — 161.  
 — n, Parallelschalten von — 167.  
 — Verbesserungen der — 136.  
 — Dynamometer; Elektr. — 74.  
 Dynamostahl 108, 115.

Edelgrad der Metalle 428.  
 Edisonakkumulator 436.  
 Edison-Glühlicht (1879), 3, 215.  
 Effektive Stromstärke 37, 51.  
 Einheiten. Mech., Calor., Elektrotechn. — 89.  
 Einheits-Pol 101; magnetom. Kräfteinh. 165.  
 Eisen. Eigensch. des — für Bau- bezw. elektro-  
 techn. Zwecke 112.  
 — — Bahnen; Entstehung der elektr. — 59.  
 — — Walzwerk 222.  
 — — Hüttenwerke 353.  
 Eisen-Nickel-Akkumulator 436.  
 Elektrizität. Herkunft der — 56.  
 — im Schiffbau 10.  
 — eine Bewegungstform des Äthers 93, 94.  
 — ist die allgemeine Kraft 97.  
 — Entstehung des Namens — 59.  
 —; Wesen der — 93.  
 Elektrische Beleuchtung 209, — Bohrm. 356.  
 — Belastung der Leitungsdrähte (Tabelle) 199.  
 — Zentrale (Diagramm) 178.  
 — „Fernwirkung“ (Energie-Übertragung u. Ver-  
 teilung) 5, 6B, 13, 201.  
 — Kraftübertr. Zwischenmaschine 8.  
 — — Lauffen 84, Niagara 9.  
 — Leiter 1. und 2. Klasse 63.  
 — Leitung Vorteile der — 9.  
 — Wellenbewegung von Hertz entdeckt 4.  
 Elektroaffinität 428.  
 Elektroanalyse 426.  
 Electrochemie 401.  
 Electrochemisches Äquivalent 426.  
 Elektroden (Anode [+], Kathode [-]) 66.  
 Elektrodenpotentiale 420.  
 Elektrolyse 66, 424.  
 — von Salzlösungen 428.  
 Elektrolyte 61, 63, 66, 93.  
 —, feuerflüssige 415.  
 —, Leitfähigkeit s. Leitf.  
 Elektrolytisches Potential 420.  
 Elektromagnet 75, 114, — Scheidung 368.  
 — — Magnetismus 98.  
 Elektro-Maschinentechnik 2, 117.  
 — — Chemie 401.  
 — — Mechanik 2, 20.  
 — — Physik 2, 56.  
 Elektromotor 4, 6B, 44, 54, 69, 129.  
 — und Dynamom. 120.  
 — — in den prakt. Betrieben 150.  
 — —, Generator 194.  
 — —, Gleichstrom 141.  
 — —, Wechselstrom 144.  
 Elektromotorische Kraft (EMK) 30, 60, 67, 122.  
 — — chemischer Reaktionen 420 s. a. Energie.  
 Arbeit.  
 — — des Bleiakкумуляtors 433.  
 — Kraft und Stromstärke 123.  
 — Gegenkraft 52.

Elektromotorische Kraft (e) u. Stromstärke (i) wie  
 Ursache und Wirkung 53.  
 — prop. der in 1 Sek. durchschn. Kraftlinien 56,  
 161.  
 Elektronen 20, 39.  
 Elektro-Physik 56.  
 Elektrotechnik. Bedeutung der — unter den techn.  
 Wissenschaften 1.  
 —. Geburtsjahr der — (1879), 3.  
 Elektrotechnik. Ausstell. Erste — (1881) 4.  
 — Zeitschrift erste — (1879) 3.  
 Elemente, Berechnung der EMK 421.  
 —, Polarisations- 423.  
 Elisabeth von England 58.  
 Elmore-Verfahren 68.  
 Endotherme Reaktionen 403.  
 Energie 401.  
 —, Berechnung aus Wärmewirkung 402.  
 —, chemische 417.  
 —, freie 402, 404.  
 —, Gesetz der Erhaltung 403.  
 Entladen 60.  
 Erde als Magnet 99,  
 — als Punkt gedacht 101.  
 „Erden“ 59, 197.  
 Erfindungsgeschichte der Dynamom. 126.  
 Erg 25.  
 Erregermaschine 128.  
 Ewing 75; über „Dynamostahl“ 115.  
 Exotherme Reaktionen 403.

F, Bedeutung des Buchstabens — 165.  
 Farad [F] 23, 24, 26, 33.  
 Faradays elektrolyt. Gesetz 86, 409, 426, 430.  
 — Induktions-Gesetze (1831) 2, 39, 52, 85, 87.  
 — (Kraft) -Linien 62, 73, 86, 102, 119, 124, 161.  
 Faure-Formation 431.  
 Faure verbessert (1830) den Planté-Formierungs-  
 prozeß 175.  
 Feld, Wirkungs — 86.  
 Feldmagnet 118.  
 Feld-Stärke (Kraftliniennzahl) 101, 103.  
 Felten u. Guillaume Leitungskabel 9.  
 Fernwirkungen 65, 86.  
 —, Gesetz der — 101, 213.  
 Ferrocyankupfermembran 406.  
 Fettsäuren, Elektrolyse 430.  
 Feuerflüssige Elektrolyte 415.  
 Finger Regel (Fleming) 124, 140.  
 Flachring 137.  
 Fluida 60.  
 Flüssigkeits-Anlasser 149, 318.  
 Flüssigkeitskette 422.  
 Fördermaschinen 5.  
 — für Schächte 314.  
 —, wichtigste Einricht. 315.  
 —, Diagramm für — 189.  
 —, Pufferbatterie für — 192.  
 —, Berechnung für eine elektrische Schacht —  
 44, 207.  
 Förderung 292.  
 —, Strecken — 293.  
 —, — — mit Lokom. 295, 302.  
 —, — — mit Seil ohne Ende 303.  
 Formation von Akkumulatoren 431.

Fortpflanzungsgeschw. der Elektr. 95.  
 Foucault-Ströme 50, Verhüt. d. — 161.  
 Franklin 61. — Tafel 63.  
 Freie Energie s. Energie.  
 Fremderregung 119, 127, 128, 141.  
 Frequenz  $n = 1/t$  96, 97, 128.  
 Fritter oder Kohaerer 61, 378, 383, 392.  
 Fundamental-Gesetz der Elektrizität 60.  
 Funken 124, — Telegraphie 380.  
 — -Induktor 64.  
 — -Löscher 142.  
 Funkenloser Lauf 125.  
 Funktion 22.

Galilei 37.  
 Galvanische Elektrizitätserzeugung s. Elemente etc.  
 Galvanische Elemente 423.  
 Galvanismus 66.  
 Galvanochromie 68.  
 —graphie 68.  
 —meter 17, 69, 70.  
 —plastik 68.  
 —skop 69, 70.  
 —stegie 68.

Gas, Arbeitsleistung bei Ausdehnung 405.  
 Gasgesetze 404.  
 —, Anwendung auf Lösungen 406.  
 Gaskonstante 404.  
 Gauß-Weber (1833) 2, 23. Observatorium 99.  
 Gefährlichkeit u. Schutzmittel d. Belenchtungsanl.  
 246.  
 Gefrierpunktniedrigung 407.  
 Gegenarbeit 40.  
 Gegenelektromotorische Kraft 45, 152 s. Polarisation.  
 Generator 117.  
 Geschlechtliche Aufzeichnungen 1, 126, 322.  
 Geschlossene Wicklung 136.  
 Geschmolzene Salze, Elektrolyse 430.  
 Gesetz der Erhaltung der Energie 403.  
 Gestänge, hydraul. — als Zwischenmasch. 204.  
 Gesteinsbohrmaschine 256.  
 — von Siemens oder elektrischer Hammer (1879)  
 3, 257.  
 Gewicht, ein unbestimmter Begriff 41.  
 — eine Induktionserscheinung 86.  
 Gichtgas — Verbrauch 354.  
 Gilbert 2, 58, 98.  
 Glas — Elektrizität (+) 60.  
 Gleichgewichtszustand 402.  
 Gleichgewichtstheorie zur Arbeitsberechnung 404,  
 417.  
 Gleichstrom 28, 126, 195.  
 —, Kraftübertragung durch — 33.  
 — -maschinen 117, 128.  
 Gleitlose Bahn 309.  
 Gleit- oder Schleifbügel 299.  
 Glimmer 123, 151.  
 Glühlampen 217.  
 —, Herstellung der — 218.  
 —, Lichtabnahme 223.  
 —, Lichtstärken der — 220.  
 — mit Bambuskohlenfaden von Edison (1879) 3,  
 218.  
 —, Nebeneinander-, Hintereinander-Schaltung 215.  
 —, Ökonomie der — 214, 221.

Glühlampen, Osmium — 226.  
 —, Tabellen 221.  
 —, Tantal — 227.  
 —, Verbesserung 225.  
 —, Wirkungsgrad 221.  
 —, Zahlenbeispiele 32, 222.  
 Gold aus Legierungen 429.  
 Gramme 3. — Pacinotti-Ring 118.  
 Gray 59.  
 Grove (1843) 3.  
 Grubenlokomotive 295.  
 —, elektr. — zu Zaukerode 295.  
 —, erste — (Siemens u. Halske, 1879) 3, 295.  
 Grubenweite (äquiv. Öffnung) 276.  
 Grundeinheiten, CGS, 23.  
 Grundgesetze, zwei — des Weltalls 21.  
 Grundgesetz aller Ströme 28.  
 Grundgleichungen:  

$$N = \frac{P \cdot v}{75} = \frac{P \cdot Rn}{71620} = \frac{QH}{75} = \frac{ei}{736} \text{ (S. 160).}$$

$$E = k \cdot p \cdot \epsilon_a \cdot Z_a \cdot n_{60} \cdot 10^{-9} \text{ Volt (S. 162).}$$
 Grundgleichung der elektr. Leitung 78.  
 Güteverhältnis 152, 202, 256.  
 Guericke, Otto von — 59.

H (§). Bedeutung 109\*.)  
 Hammerwerk, Elektrisches — 358.  
 Hartmann u. Braun 18, 93.  
 Harz-Elektrizität (—) 60.  
 Hauptbestandteile. Drei — einer Maschinen-An-  
 lage 6.  
 Hauptsatz I und II der Wärmetheorie 403 und 404.  
 Hauptspannung 135.  
 Hauptstrom-Masch. 126, 129.  
 Hefner-Alteneck (Trommelanker) 3.  
 Hefner-Kerze (HK), -Einheit 209.  
 Heizen, Mittel zum el. — 215.  
 Helmholtz 96, 376.  
 Helmholtzsche Formel 404, 423.  
 Henry 23, 24.  
 Herkunft der Elektrizität 56.  
 Heron von Alexandrien 120.  
 Hertz entdeckt 1886 die elektrische Wellenbewegung  
 4, 86, 94, 383.  
 Hilfspole 317 (Anm.).  
 Hintereinanderschalten 68.  
 Hittorf 93, 415.  
 Hittorfs Überführungsmessungen 415.  
 Hitzdraht-Ampèremeter 18.  
 Hörner-Blitzableiter 200.  
 van't Hoffs Energiegleichung 417.  
 Hydraul. Wasserwältigung 204.  
 Hydraul. Widder 38.  
 Hydrazokörper 431.  
 Hydroxylamin 431.  
 Hypochlorit 430.  
 Hysteresis (magn. Molekularreibung) 40, 112.  
 — -Arbeit 74, 114.  
 — — -Fläche, Bestimmung der — 115.

Ilgner Umformer 316, 330.  
 Impedanz 36.  
 „Induktion“ ist eine Bewegungserscheinung 52, 87.  
 — Apparat 93.

Induktion, Elektromotoren 117, 148.  
 — volta-el. und magneto-el. — 85.  
 Induktions-Erscheinungen 38, 57, 85.  
 Induktions-Widerstand 45.  
 Ingangbringen einer Centrale 119.  
 Inklination 99.  
 Innenpolmaschine 127.  
 Interferenz 49, 94.  
 Ion, Definition 408.  
 Ionen 61.  
 Ionenbeweglichkeit 412.  
 Ionenkonzentration durch EMK-Messung ermitteln 422.  
 Ionen, osmotischer Druck 419.  
 Ionisation s. Dissociation.  
 Isodynamen 99.  
 —gonen 99.  
 —klinen 99.  
 Isolator 60, 62.  
 Isolierringe 199.  
 Isoosmotisch, Definition 406.  
 Isotherm, Definition 405.  
  
 Jablonski-Kerze (1876) 3.  
 Joule (1850) 22, 83, Wärme- und Arbeitsgesetz 88.  
 Jungfrau, Ind. Kurve 114.  
 Jungner Akkumulator 436.  
  
 Kabel 199.  
 Kadmiun-Normalelement 423.  
 Kalomelektrode 422.  
 Kalorie 403.  
 Kalorimetrische Messungen 402.  
 Kapazität 33, 63, 64.  
 — des Akkumulators 435.  
 — der Ionen 410.  
 Karbonylgruppen, Reduktion 431.  
 Kation, Definition 411.  
 Kathode, Definition 411.  
 Kathode (— Elektrode) 66.  
 Kathodische Elektrolysenvorgänge 428.  
 Kepler-Huygens-Gesetze 93.  
 1 Kilowatt = 1000 Voltampère VA (oder W) 26.  
 Kinetik, chemische, Gesetz. 409.  
 Kirchhoff-Gesetze 83, 90.  
 Klangfarbe 94.  
 Kleist-Flasche 63.  
 Klemmenspannung 67, 129.  
 Knallgaskette 421, 425.  
 Kochen des Akkumulators 434.  
 Kochsalz s. Natriumchlorid.  
 Koersitivkraft 75, 112, 114.  
 Kohlen-Bürsten 61, 125.  
 Kohlenoxydknallgas, Gleichgewicht 402.  
 Kohlensäure, Zerfall zum Gleichgewicht 402.  
 Kohlensatz, elektrol. Messungen 93.  
 —, Gesetz von der Unabhängigkeit der Wanderung der Ionen 412.  
 Kokonfaden 104.  
 Kolben-Pumpen 242, 262.  
 Kollektor 118, 122, 132.  
 Kollektor-EM. 117.  
 Kommutator, Stromwender 67, 118, 123.  
 Kommutator-EM. 117.  
 Kompaß 99.

Kompensationsmagnete 125.  
 — Widerst. 215.  
 Kondensator 63.  
 Konduktor 59.  
 Kongreß. Erster internationaler — auf Pariser Ausstellung (1881) 4.  
 Konstante Elemente 68.  
 Konzentrationsketten 421.  
 Konzentrationspolarisation 429.  
 Konzentration und osmotischer Druck 406.  
 Kosten des elektr. Stromes 90.  
 Kraft-Linien (KL) 52, 78, 86, 100, 102, 119, 124, 164.  
 — — -Zahl 101.  
 — — als Solenoid aufgefaßt 107.  
 — -Quelle 13, 56.  
 — -Übertragung 13, 88, 201. Beispiele 202.  
 — — auf große Entfern.: großes e, kleines i 84.  
 — —, Vorteile 206.  
 — -Verteilung 18  
 Krane 341.  
 —, Chargier — 351.  
 —, Einteilung 343.  
 —, Hammer — 349.  
 —, Lauf — 346.  
 —, Portal — 348.  
 Kreiselpumpen 256.  
 — (Horcajo) 259.  
 — (Victor—Bauzel) 263.  
 — (Tabelle) 262.  
 Krupps „Dynamostahl“ 115.  
 Kupfersinkakkumulator 436.  
 Kupferraffination 428, 429.  
 Kupfer-Silberoxydakkumulator 436.  
 Kuppelung, direkte — 322.  
 Kurbel-Schleifen-Getriebe 52.  
 — -Stoß-Bohrmaschine 360.  
 Kurzschluß 84, 216, 219.  
 — -Anker 139.  
  
 Lade- und Entladekurven des Akkumulators 434.  
 Laden und Entladen der Akkumulatorbatterie 180.  
 Ladung eines Ions 408.  
 Lalande-Element 436.  
 Lampen: Liliput 211.  
 — Nerst 210.  
 — Osmium 210.  
 — Tantal 210.  
 — Begina 211.  
 — Exzello 211.  
 Land- und Seekabelwerke (Köln) 9.  
 Lauffen, Drehstrom-Kraftübertrag. von Lauffen nach Frankfurt 84.  
 Lavoisier 22.  
 Leclanché-Element 424.  
 Leerlauf 35, 45, 153.  
 Leerstrom 51.  
 Leistung der Maschine durch Volt u. Amp. zu bestimmen 159.  
 Leistungslinien 157.  
 Leiter der Elektrizität 59, 61.  
 — erster und zweiter Klasse 63.  
 Leitfähigkeit 410.  
 — des Kupfers 80.  
 — reiner Stoffe 412.

- Leitfähigkeit, spezifische 411.  
 — und Temperatur 415.  
 Leitungen 196. Berechnung der — 78.  
 —, Blanke — 198, 200.  
 —, Isolierte — 199.  
 Leitungs-Kabel 9.  
 — -Netz 44.  
 — und Verteilungs-System 196.  
 — -Widerstand 30, 78.  
 Lenz Gesetz (1834) 3, 87.  
 Leonard-Schaltung 142, 331, 353.  
 Leydener Flasche 63.  
 Licht, eine besondere Form der Elektr. 95.  
 Licht-Einheiten 209, 213.  
 — -Messung (Photometrie) 212.  
 — -stärken 210.  
 — regulatoren 231.  
 Lift 143.  
 Lösungen, Anwendung der Gasgesetze 406.  
 —, gemischte, Abscheidung von Metall 426.  
 Lösungsmittel, Dissoziationskraft 415.  
 Lösungstension von Metallen 419.  
 Lokomotive. Förd. mit el. — 295.  
 Longitudinal-Schwingungen 47.  
 Luftzwischenraum 167.  
 Lumen (Einheit) 213.  
 Lux (Einheit) 213.
- Magnesium 430.  
 Magnet, Entstehung des Namens 98.  
 Magnetelekt. Maschine (M. Induktor) 121, 127.  
 Magn. Fundamentalsätze 99.  
 Magn. Meridian 99.  
 Magn. Observatorium (unterird.) 99.  
 Magn. Schirmwirkung 103.  
 Magnetisches Feld 52, 100 u. ff.  
 Magnetische Induktion (Sättigung  $\mathfrak{B}$ , B) 111.  
 — Lasthebung 116.  
 Magnetischer Strom 159.  
 Magnetisierung durch Solenoidströme 76.  
 Magnetisierungskurven 108.  
 Magnetismus 57, 96.  
 Magneto-El. Gleichstrom. 123.  
 Magnetomot. Kraft-Einheit 165. Einheitspol 101.  
 Magnet-Pole 98.  
 Magnetrad 118.  
 Magnet-Schenkel oder Feldmagnete 118.  
 Magnetstein ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) 98.  
 Magnetwicklung 126.  
 Manganin. Widerst. des — s wenig abhäng. von der Temp. 79.  
 Maschinen 6, 6 A, 6 B (Tabellen).  
 —, Einteilung, Zweck aller — 5, 6.  
 Maschinenbau, Anford. an den — 167.  
 Masse, aktive 409.  
 Masse-Platten 431.  
 Massenwirkungsgesetz 409, 410.  
 Maßeinheiten 23—28 (Tabellen).  
 Maßsystem. Absolutes — 23.  
 Maximale Arbeit 404, 417.  
 Maxwell 4, 86, 94.  
 Mayer, Robert — (1842) 22, 56.  
 Mechanik. Einteilung der — 6 A.  
 Mechanische Arbeit 40.  
 „Mega“, „Mikro“ 26.
- Mehrpole Maschinen 133.  
 Membran für osmotische Druckmessung 406.  
 Messen der Ströme 91.  
 Meßvorrichtungen (Volt-, Ampèremeter) 17.  
 Metallabscheidung, Äquivalent 427.  
 Metallgewinnung. Elektrische — 397.  
 Metallionen s. Ionen.  
 Metallkäfig Faradays 59.  
 Metallsalze, Elektrolyse 428.  
 Mitschwingen 35.  
 Mittel- oder Null-Leiter 197.  
 Mol, Definition 403.  
 Molekular-Magnete 75.  
 — -Reibung 76.  
 Moleküle 75.  
 Motorwinde 345.  
 Multiplikator 69, 72.  
 Muschenbrock 63.
- Nachwirkung im Auge 130.  
 Natrium 430.  
 Natriumchloridelektrolyse 430.  
 Natriumsulfatelektrolyse 429.  
 Nebeneinanderschalten 68.  
 Nebenschluß- (Shunt)-Maschine 126, 129.  
 Nernst'sche Formel 418.  
 Nernst-Lampe 225, -Licht 415.  
 Netz 118, 122.  
 Neutralisation 403.  
 Newton (1642—1726) 21, 93.  
 — s Gravitation nicht unvermittelt u. zeitlos 86.  
 Niagara, Kraftübertragung 9.  
 Nicholson 2, 66.  
 Nichtbleiakkumulator 436.  
 Nickeloxydakkumulator 436.  
 Nitrokörper, Reduktion 431.  
 Niveau-Flächen, Bewegung auf — 105.  
 Nobili 69.  
 Nordpol der Erde, Südmagnetismus 99.  
 Normalelektroden 422.  
 Normalelement 423.  
 Normalflammen; Vergleich der — 210.  
 Null- oder Mittel-Leiter 134, 197.  
 Nuten im Anker 137.  
 Nutzleistung 152.
- Observatorium (unterird.) 99.  
 „Ökonomie“ der Lampe 214, 220.  
 Ørsted-Gesetz (1820) 2, 69.  
 Offene Wicklung 133.  
 Ohm  $\Omega$  23, 26, 31, 78.  
 Ohm's Gesetz (1827);  $i = e/w$  2, 13, 21, 77.  
 — —, gültig für jede Strömung 30, 77.  
 — — im Zusammenhang mit den Kirchhoff- und Joule-Gesetzen 31.  
 — —, Folgerungen aus dem — — 82.  
 Organische Stoffe, Elektrolyse 430.  
 Oscillograph 48.  
 Osmium-Lampe 226.  
 Osmotischer Druck 405.  
 — — von Metallionen 419.  
 Ostwald'sches Verdünnungsgesetz 414.  
 Oxydationsketten 424.  
 Oxydationsvorgänge 429.

Pacinotti-Gramme Ring 118.  
 Paraffin-Kerze 210.  
 Parallelschalten von Dynamom. 167.  
 Paramagnetisch 98.  
 Peltier 76.  
 Perchlorat 430.  
 Periode 95, 122.  
 Periodenzahl in 1 Sek. = Frequenz 123.  
 Permeabilität (Durchlässigkeit) 104, 107.  
 — -Koeffizient  $\mu = \frac{B}{H}$  111.  
 Personen-Aufzug (Lift) 143.  
 Persulfat 429.  
 1 Pferdekraft = 75 mkg = 75 · 9,81 = 736 VA  
 oder Watt 41.  
 Phasen 122.  
 Phasenlampen 168.  
 Phasen-(Leistungs-)Faktor  $\cos \varphi$  51.  
 Phasen-Spannung 134.  
 Phasenstrom 119.  
 Phasenverschiebung zwischen e und i bedingt die  
 Leistung 50, 123.  
 Photometrie 212.  
 Planté-Akkumulator (1860) 3.  
 Plantéformation 431.  
 Platinelektroden, platinirt 428.  
 Poggendorf 69.  
 Pol. Aussen-, Innen-Maschine 46.  
 Polarisation 424.  
 —, Berechnung 425.  
 —, Elektrische — 67, 86.  
 Polarisationselement 423.  
 Polarisationskapazität 425.  
 Polarität 57.  
 Pole einer Zersetzungszelle 67.  
 Polloser Magnet 100, 104.  
 Polschuhe 121.  
 Polsterberger Hubkunst-Anlage 6 B, 7.  
 Polwechsel 131.  
 Polzahl. Geringe — erford. große Umdrehungs-  
 zahl 131.  
 Potential. Bemerkungen über — 60, 101.  
 Potential (—Gefälle) Differenz 60, 67.  
 — Fläche 101.  
 — elektrolytisches — 420.  
 —, Nulllage 421.  
 Potentiale, einzelne 422.  
 Preise für 1 HK-Stunde 211.  
 Primärmaschine 6.  
 Pronys Brems-Zaum 153.  
 Pufferbatterie 5, 66, 117, 174, 180, 184.  
 — in el. Schacht-Förderanlagen 192, 1818.  
 —, Geschichtl. Bemerk. 185.  
 — und Schwungrad 318.  
 Pumpen 252.  
 — Ventile (Anmerk.) 252.  
 — Schnellläufer 254.  
 —, Kreisel — 256, 259.

Quecksilbernormalelektrode 422.  
 Quecksilber, Oberflächenspannung 421.  
 Querschnitt. Geringster zuläss. Leitungs- — 200.  
 — der Leitung  $q = \frac{il}{e}$ ; 78.

Œ, Bedeutung des Buchstabens — 165.  
 R, die Gaskonstante 404, 405.  
 Radioaktiv ist d. Erds substanz 93 (Elster, Geitel).  
 Raffination von Metallen 428, 429.  
 Reaktion 38.  
 Reaktionen, elektrochemische 428.  
 —, endotherme und exotherme — 403.  
 —, maximale Arbeit 418.  
 —, sekundäre 429.  
 —, vollständige und unvollständige — 402.  
 —, Wärmewirkung 402.  
 Reaktionsgeschwindigkeit 409.  
 Reduktionsketten 424.  
 Reduktionsvorgänge 429.  
 Regulator 168.  
 Regulierung, Nebenschluß — 142.  
 Reibung der Ionen 411.  
 Reibungswiderstand 22, 40.  
 Reihenschaltung 126.  
 Reis erfand 1861 das Telephon 3.  
 Remanenz 75, 112, 114.  
 Repulsions-EM. 118.  
 Reversible Vorgänge 422.  
 Rheostat 80.  
 Richtung des Stromes 12, 124.  
 Righis Oszillator 96.  
 Ring-Anker 136.  
 Ringschmierung der Lager 167.  
 Rohhaut-Räder, gepreßt 6 B.  
 Röntgen-Strahlen 93.  
 Rotor 146, 268.  
 Ruhe, Anfangs- und Endzustand der Bewegung 20.  
 Ruhmkorff 38, 382.

Ⓢ, Bedeutung des Buchstaben — 165.  
 s = 0,0175 für Leitungs-Kupfer 80.  
 Sättigung 75, 102, 111.  
 Säuren, Elektrolyse 438.  
 Salpetersäure, Elektrolyse 430.  
 Salze, geschmolzene, Elektrolyse 430.  
 —, Zersetzungsspannung 425.  
 Sammelschienen 118.  
 Schablonen-Wicklung 137.  
 Schachtförderung 314.  
 Schacht-Fördermaschinen: Regulierbarkeit 314.  
 — Wichtigste Einrichtungen (Puffer-Batterie;  
 Ilgner Umformer; elektr. u. mech. Bremsen;  
 Sicherheitsvorrichtungen; Wendepole); 315 u. ff.  
 — Beste Stromart für — 317.  
 — Beste Reguliermittel für — 317.  
 — Direkte Kuppelung für — 319.  
 — Die beiden Hauptforderungen an — 319.  
 — Überschlagsberechnung einer — 207.  
 — Fünf Forderungen an die zukünftigen — 320.  
 — Kurze Entwicklungsgeschichte der — 322.  
 — Die Thiederhaller — 323.  
 — mit Ilgner Schwungr. u. Leonard-Schltg. 331,  
 356 (Tabelle).  
 —, durch Dreiphasenstrom angetrieben 334.  
 — mit Pufferbatterie u. Leonard-Schaltung 337.  
 — der Gewerkschaft Matthias Stinnes 337.  
 Schalttafel 118.  
 Schaltung, Parallel- u. Reihen 81, 215.  
 — Dreieck —, Stern — 134, 159.  
 Schaulinien (Diagramme) 22, 35, 52, 54, 55, 97,  
 109, 110, 113, 122, 153, 155, 157, 178, 189.

Scheidung. Elektr. — 368.  
 Schenkelkreuz 118.  
 Schiffsschwingung 36.  
 Schlagwettergruben 119, 251.  
 Schleifen-Wicklung 138.  
 Schleifring 118, 122.  
 Schlitzkanal 300.  
 Schlüpfen 43, 149, 267.  
 Schlußbemerkungen (Generator, Elektromotor;  
 Wechselstrom, Gleichstrom) 352.  
 Schmelzsicherungen 84.  
 Schnellläufer. Dampfmasch. — 4.  
 Schutzmittel in Schlagwettergruben 250.  
 Schwebebahn (Langen) 309.  
 Schwefelsäure, spez. Leitfähigkeit 411.  
 Schweigger 69.  
 Schwimm-Regel von Ampère 73.  
 Schwingungszahl  $n = 1/t = \text{Frequenz}$  95.  
 Seebeck 2, 76.  
 Seil ohne Ende. Förderung 303.  
 Seilzug 305.  
 Semipermeable Wände 406.  
 Sekundärbatterie 46.  
 Sekundärelemente 423.  
 Sekundäre elektrolytische Reaktionen 429.  
 Sekundärmaschine 6.  
 Selbsterregung 126.  
 Selbstinduktion 37, 161.  
 Serien-Dynamomaschine 126.  
 Shunt-M. 126.  
 Siedepunkterhöhung 407.  
 Siemens-Einheiten SE 27 Anm.  
 — (Wern.) erfand die „Dynamo-elekt. Maschine“  
 (1866) 3.  
 Siemens u. Halske führen die elektr. Gruben- u.  
 Straßen-Lokom. ein (1879) 3, 295.  
 — — führen die elektr. Gesteins-Bohrmasch. ein  
 (1879) 3, 351.  
 Silberchloridelement 424.  
 Silberraffination 428, 429.  
 Silbervoltmeter 26.  
 Silberwerte sind die Fundamentalwerte 28.  
 Sinusbusssole 70.  
 Sinuslinie 122.  
 Slaby u. Braun (Funkentelegraphie Anmerk.)  
 385.  
 Solenoide 17, 72, 75.  
 Solenoidbohrmasch. (1879) 3, 358.  
 Sonnenspektrum 96.  
 Spannung (e). Wahl der — 161.  
 —, Höhe — bei Dampf- u. Dynamomaschinen 8.  
 —, Potentialunterschied 14, 29.  
 —, Vorteil hoher —en 207.  
 Spannungsdifferenz 60.  
 Spannungsteiler 197.  
 Spannungsverlust (Spannungsabfall) 196.  
 Spermaceti-Kerze 209.  
 Spezifische Leitfähigkeit 411.  
 Spezifischer Leitungswiderstand 79.  
 Spitzenwirkung 64.  
 Statik, Gesetz des chemischen — 410.  
 Stehende Schwingungen 47.  
 Steig- oder Sprossenrad 41.  
 Sternschaltung 134.  
 Stoff, Kraft, Zeit, Raum 20.  
 Stowische biegsame Welle 362.

Straßen-Eisenbahn 295, 300.  
 Streckenförderung (Berechnung) 312.  
 Streuung der magn. Linien 122.  
 Strom, Äquivalent des 426.  
 — Elektrischer — 7, 28, 66.  
 — erzeugung 417.  
 —, Kraftlinien — 122.  
 —kurven (Deprez 1881) 155.  
 —. Magnetischer — 73, 106, 159, 164.  
 — Messung des —es 17.  
 — regulatoren (Rheostaten) 80.  
 — Richtung 124.  
 — Sammler (Kollektor) 118.  
 — stärke, -menge in Ampère 12, 23, 26, 30.  
 — Stärke (effektive) 51.  
 — stärken. Ermittlung von — 159.  
 — verzweigung (Kirchhoff) 90.  
 — wender (Kommutator) 67, 118.  
 — wattloser — 51.  
 —. Wirkungen des — 10.  
 Ströme, Messen der — 91.  
 Strömung, Allgemeines Gesetz der — 30.  
 Sulfattheorie 432.  
 Sulfatisierung des Akkum. 435.  
 Symmer 60.  
 Synchron 54, 147.  
  
 Tangentenboussole 70.  
 Technische Verwertung des elektr. Stromes 209.  
 Telefunken (Gesellch. f. drahtl. Telegr.) 80, 381.  
 Telegraphie. Drahtlose — 375.  
 Telephon 3, 6 B, 48, 92.  
 Telperage 309.  
 Temperatur, absolute 404.  
 Temperaturkoeffizient des Akkumulators 434.  
 Temperatur und Leitfähigkeit 415.  
 Teala 94, 97.  
 — Transformator 174, 201.  
 Thales v. Milet 58.  
 Thermoelektrizität 76.  
 Thiederhaller Fördermaschine 82, 323.  
 Trägheit ist die Grundeigenschaft des Stoffes 22,  
 37, 39, 50.  
 Transformator 4, 5, 117, 170.  
 — Kerne 171.  
 —. Beim Umwand. d. Stromes durch — bleibt  
 $[e \cdot i]$  konstant 173.  
 — Lampen 174.  
 Transversalwellen 46.  
 Tretrad 44.  
 Triller-Ank. 139.  
 Trolley (Kontaktrolle) 299.  
 Trommel-Anker Hafner-Alteneck (1872) 3, 137.  
 Tudorformation 431.  
  
 Überblick; Einleitender allgemeiner — 1.  
 Überführungsmessungen 415.  
 Überführungszahl 416.  
 Überkomponierung 307.  
 Überschwefelsäure 429.  
 Übersicht (tabellarische) über mech., calor., elektr.  
 Einheiten 89.  
 Überspannung des Wasserstoffs 428.  
 Uhrglas S-Regel 75.

Umdrehungszahlen 128, 181, 140.  
 —, Herabminderung der — 131.  
 Umfangsgeschw. der Dynamom. 83.  
 —, Große — der Dyn. haben zur Verb. der Dampf. beigetr. 4.  
 Umformer (der Stromarten) 194.  
 Umkehrbare Vorgänge 422.  
 Umkehrbarkeit 120.  
 Ummagnetisieren 186 Anm.  
 Umsteuerung 143, 150.  
 Unterbrechungsfunke 37, 39, 118.  
 Unterirdische Preßwasser-Wasserhaltungsm. 204.  
 — Streckenförderung mit elektr. Antriebe 303.

**V** = 1 Volt 13, 23, 26, 31.  
 van't Hoff'sche Gleichung 404.  
 Ventilatoren 277.  
 Verbesserungen der Ankerwicklung 136.  
 — der Lampen 214.  
 Verbund-Dynamomaschinen 126.  
 Verdünnungsgesetz 414.  
 Vergleich zwischen Dampf-, Wasser-, elektrisch. Ströme 11, 14.  
 — — Dynamom. und Seilscheibe eines Triebwerkes 8.  
 — — Eisen für Bautechnik u. Elektrotechnik 112.  
 — — Elektromotor u. Dynamom. 151.  
 — — elektr. Lokomotiv- u. Ketten- oder Seilbetrieb 294.  
 — — prakt. elektrisch. u. anderen Einheiten 27.  
 Vergleichsberechnung für eine Kraftübertragung 85.  
 Verkettung 134.  
 Verminderung des Spannungs-Verlustes 196.  
 Verteilungs- u. Leitungs-System 76.  
 Verwandlung des Wechsel- in Gleichstrom 123.  
 Verwandtschaft zw. Licht u. Elektr. 94.  
 Vollbelast. Masch. arb. am wirtschaftlichsten 167, 177.  
 Volt **V** 13, 23, 26, 31.  
 Volta (1800) 2, 66.  
 Voltcoulombs 418.  
 — -Elektrizität 66.  
 — -Element 66.  
 Voltmeter. Silber — 26.  
 Voltampère **VA** = Watt **W** 26.  
 Voltmeter 19.  
 Vorschaltwiderstand 140.  
 Vorteile der elektr. Kraftübertr. 206.

Wärme-Einheit 403.  
 — -Erzeugung 88.  
 — im Lichtbogen 230.  
 — theorie Hauptsätze 403, 404.  
 — tönung 402.  
 — -Verbrauch der Lampen 217.  
 — wirkung, Arbeitsberechnung aus 402.  
 Walrat-Kerze 207.  
 Walzenstraße 152.  
 Wanderung der Ionen, unabhängige 412.  
 Wasser, Dissoziation 410.  
 —, Leitfähigkeit 412.  
 Wasserkraft—Druckluft-Syndikat 206.  
 Wasseräulenm. (Winterschmidt 1748) 251.  
 Wasserstoff, Überspannung 428.

Wasserstoffelektrode 422.  
 Wasserverdampfung 402.  
 Wasserwältigung. Elektr. — 251.  
 Allgemeines, Geschichtl. Wahl des Systems 251.  
 Die Kolben-Pumpen 252. Eigenart der P. Ausführung des el. Teiles; Anstellung d. Maschine, Regelung der Umlaufzahl. Vergleich zwischen Dampf- und elektr. Wasserwältigung. Die Betriebssicherheit 255. Die Wirtschaftlichkeit. Das Güteverhältnis. Die Betriebskosten 256.  
 Die Kreisel-Pumpen 256.  
 Bewährte Ausführungen:  
 Hochdruck-Kreisel-P. der Gruben-Verw. in Horeajo in Spanien 259.  
 Verzeichnis einiger ausgeführter Hochdruck-Kreisel-Pumpen 262.  
 Hochdruck-Kreisel-P. auf Zeche Victor bei Rauxel (Westfalen) 263.  
 Kolben-Pumpen-Anlage zu Bockwiese bei Lautenthal 265.  
 Kolben-Pumpen-Anlage für Zeche Kaiserstuhl II. Dortmund 265. (Begründung, Bedingung, Ausführung, Messung.)  
 Sole-Pumpe zu Ploemnitz bei Bernburg 270.  
 Zwillingsdifferential-P. f. die Zeche Rheinpreussen bei Homburg 271.  
 Expresspumpe Schleifmühle auf Grube Altenwald (Saarbrücken) 272.  
 Abteufp. für Silberbergw. Ems und für Bliesenbach (Köln) 273.  
 Doppeltwirk. Zwillingsplungerp. für die Zeche Ewald in Westfalen 273.  
 Doppeltwirk. Plungerp. für die Emanuelsgrube (Waldenburg O/S) 274.  
 Doppeltwirk. Plungerp. für die Bradegrube (Waldenburg O/S) 274.  
 Doppeltwirk. Hochdruck-Expressp. für die Bergwerksgrube Frankenholz (Pfalz) 274.  
 Doppeltwirk. Hochdruck-Expressp. mit dir. Kuppelung f. Soc. Anon. des Charbonage La Hestre.  
 Doppeltwirk. Expressp. mit Rohaut-Eisenräder-Antrieb. Aach. Hütt. A. V. Esch.  
 Hochdruck-Zentrifugalp. direkt gekuppelt f. d. Bergw. G. Hibernia Herne.  
 Fahrbare Streckenp. mit Zahnradantr. f. A. G. für Bergb. Blei- und Zinkfabr. zu Stolberg.  
 Verschiedene el. ang. Wasserh. erbaut von Ehrhardt und Sehmer 275.  
 1 Watt **W** 23, 24, 26, 31.  
 Watt-Indikator 48.  
 Wattloser Strom 48, 51.  
 Weber 75.  
 Weber-Gauß. Abs. Einh. 23.  
 Wechsel 35, 48.  
 Wechselstrom 35, 121, 145, 195.  
 —, Kraftübertragung durch — 34.  
 — — -Maschine 94, 117, 128.  
 Wechselwirkung. Satz der — 22, 40, 45.  
 — — zwischen Elektriz. u. Magnetism. 70.  
 Wechselzahl der Maschinen 127.  
 — —, Pol-, bezw. Perioden- — 123.  
 Wellenbewegung beim elektr. Ströme 122.  
 — lehre 46, 86, 94.

- Wellen-Wicklung 138.  
 Wende- oder Neben-Pole (Mather) 125, 317, 353.  
 Wertigkeit der Metalle 427.  
 Wesen d. Elektrizität 93.  
 Weston-Normalelement 423.  
 Wetterofen 277.  
 Wetterwirtschaft mit el. Antriebe (Bewetterung, Ventilation) 276.  
 Einleitende Bemerkungen. Wetteröfen. Ventilatoren.  
 — Kurze Schilderung der — (Anmerkung) 276.  
 Elektr. Antr. für veränderl. Wettermengen 281.  
 Ventilatoranlage auf dem Rammelter Wetter-schachte (Saarbrücken) 283.  
 Verschiedene Ventilatoranlagen (Tabelle) 291.  
 Wheatstone-Brücke 91.  
 — Nebenschlußmaschine 126.  
 Wicklung, offene 133, geschl. 136.  
 — schritt 137.  
 — zahl 131.  
 Widerstand = Gefällverl. w. =  $al^2q$  30.  
 Widerstandsnormen 80.  
 Wirbelbewegung 48.  
 Wirbelströme 50, 161.  
 Wirkungen des elektr. Stromes 10.  
 Wirkungsgrad 33, 37, 152.  
 — der Bleiakumulatoren 177.  
 Zeitschrift. Erste elektrotech. — (1879) 3.  
 Zeitschriften. Aufzählung der elektrotechn. — 3.  
 Zellschalter für Akkumulatorbatterien 180.  
 Zentrifugalkraft, Verwertung d. — in der Technik 38.  
 Zersetzungsspannung 424.  
 Zink 428.  
 Zinnbaum 428.  
 Zirkularpolarisation 48, 49.  
 Zündvorr. für Gasmasch. 121.  
 Zusammensetzung von Kraftfeldern 116.  
 Zusatzmaschine 183.  
 Zwang; Natur folgt nur dem — 3, 87.  
 Zweileitersystem 196.  
 Zwillings- oder Zweiphasenmasch. 54.

## Berichtigungen.

Seite	28	Zeile	11	von oben	zu setzen:	19,76	anstatt	17,76.
„	37	„	16	„	„	„	„	Leitungen anstatt Leistungen.
„	41	„	24	„	„	„	„	P/p und G/g.
„	50	„	37	„	„	„	„	zeitlich anstatt seitlich.
„	77	„	1	„	„	„	„	zwei anstatt vier.
„	77	„	2	„	„	„	„	vier anstatt zwei.
„	91	„	12	„	unten	„	„	$\frac{1}{100}W_1$ anstatt $\frac{1}{100}$ .
„	93	„	1	„	„	„	„	Erds substanz anstatt Metalle.
„	95	„	19	„	oben	„	„	1/t anstatt $\frac{1}{t}$ .
„	96	„	29	„	„	„	„	gedeckte anstatt gedachte.
„	112	„	8	„	„	„	„	vielfacher, hervorragerender.
„	160	„	12	„	„	„	„	P R n 71 620
„	219	„	25	„	„	„	„	Bajonett anstatt Bayonett.
„	223	„	7	„	„	„	„	Niedrig anstatt Niedrich.
„	306	„	15	„	„	„	„	vertauschen: Lothringen mit Westfalen.
„	323	„	11	„	„	„	„	setzen: vollkommener.
„	387	„	1	„	„	„	„	streichen: -Einrichtung.

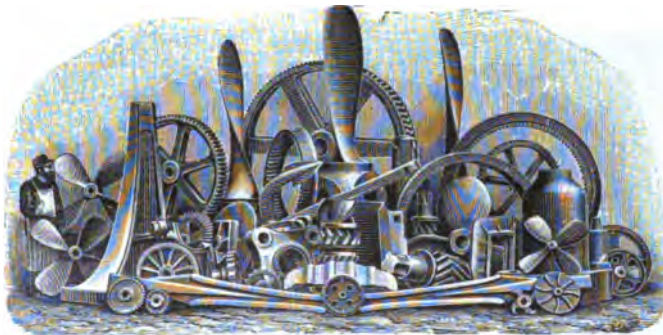


**Fried. Krupp Akt. Ges. Grusonwerk**

Magdeburg-Buckau.

## Stahlformgussstücke

jeder geeigneten Konstruktion und Grösse, sauber und dicht, in zweckentsprechender Härte und Zähigkeit.



Stahlformguss für Dynamobau (Dynamostahl).

## Hydraul. Bleikabelpressen

für Starkstrom- und Telephonkabel.

Vollständige Einrichtungen für Kabelfabriken.

## Krane jeder Betriebsart.

Kippvorrichtungen für Eisenbahnwagen.

Elektrisch betriebene Spills.

## Umlade- und Transportanlagen

für Massengüter.

# Elektrische Anlagen in Berg- und Hüttenwerken.

## Elektrische Lokomotiven

*für Berg- und Hüttenwerke.*

## Wasserhaltungen

*(mit Kolben- und Zentrifugalpumpen).*

## Walzwerkantriebe.

## Bergwerksanlagen

*mit vollständiger Ausrüstung.*

## Kraftzentralen

*für Berg-, Walz- und Hüttenwerke.*

## Hauptförderungen.



Elektrisch betriebene **Hauptschacht-Fördermaschine**, System **Ilgner**, für Zeche *Mathias Stinnes* in Brauck (Westf.) Nutzlast 4800 kg. Teufe 800 m. Maximale Fahrgeschwindigkeit bei Lastfahrt 14 m/sec., bei Seilfahrt 10 m/sec.

~~~~~  
*50 Hauptschacht-Förderanlagen nebst zahlreichen Nebenförderungen teils ausgeführt, teils im Bau.*  
~~~~~

**Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft  
BERLIN.**

# Hartmann & Braun A.-G.

Frankfurt a. M.

**Elektrische Mess-Instrumente**  
aller Art.

**Installations-Materialien und  
Spezialwerkzeuge** für moderne  
Leitungsverlegung.

Spezialität für Gruben und feuchte Räume:  
Wasserdicht abgeschlossene Messinstrumente.

Königl. Preuss. Staatsmedaille in Gold für gewerbliche Leistungen.

## Vertreter:

Für das Rheinische Gruben- und  
Hüttengebiet

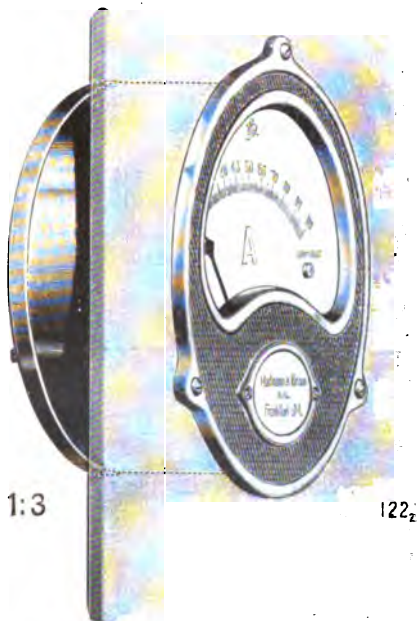
**J. H. Crämer**, Dortmund,  
Kaiser Wilhelm-Allee 34.

Für das Schlesische Gruben- und  
Hüttengebiet

**Georg Kleiner**, Breslau XII,  
Drabiziusstrasse 14.

Für das Saargebiet

**v. Horstig & Foerster**,  
Zivil-Ingenieure,  
Saarbrücken.



Wasserdicht abgeschlossenes Instrument  
in die Schalttafel versenkt.

Preislisten und Kosten-Voranschläge stehen zu Diensten.

# SIEMENS-SCHÜCKERTWERKE

G. m. b. H.

Berlin SW, Askanischer Platz 3



**Schwungradumformer der Förderanlage**  
der Zeche de Wendel, Pelkum bei Hamm i. W.



**Hauptschachtförderanlage**  
der Zeche de Wendel, Pelkum bei Hamm i. W.



Elektrisch betriebene  
**Muldenchargier- und  
 Blockeinsetzmaschinen**  
 nach eigenen Patenten  
 auf Hüttensohle und auf Kranträgern laufend

Aktiengesellschaft  
**Lauchhammer** Provinz  
 Sachsen.

**EIN TRIUMPF** —  
 DES EINGESCHLOSSENEN LICHTBOGENS



**H.E.L.I.A.** ca. 50% heller  
 als gewöhnliche Dauerbogenlampen.

**60 Stunden Kohlendauer.**

Für 3—6 Ampere bei 110 Volt. Absolut ruhiges Licht. Feuersicher.

**REGINULA** 30 Stunden Kohlendauer.

Betriebssicherste Miniaturlampe.

**REGINA** bis 300 Stunden Kohlendauer.

Konkurrenzlose Leistung.

**Regina-Bogenlampenfabrik Köln-Gülz.**

Älteste und leistungsfähigste Spezial-Fabrik für Bogenlampen mit  
 — längster Brenndauer. —

# **Emil Wolff** Essen-Ruhr

**Maschinenfabrik und Eisengießerei**

liefert als Spezialität seit 1895  
für Berg- und Hüttenwerke

**Elektrische Fördermaschinen und  
Förderhaspel ☞ Elektr. Aufzüge  
Elektrische Streckenförderungen.**

Spezial-Prospekte zu Diensten.

**Süddeutsche Kabelwerke A. G.**

**Mannheim.**

## **Gruben-Bleikabel**

für Stark- und Schwachstrom, sowie Bleikabel  
für alle anderen elektrotechnischen Zwecke.

**Isolierte Leitungsdrähte und Kabel,  
Guttapercha-Drähte, Wachs-Drähte,  
Isolier-Material.**





## Stählen's Ingenieur - Kalender für Maschinen- und Hütten-Techniker. Eine

gedrängte Sammlung der wichtigsten Tabellen, Formeln und Resultate aus dem Gebiete der gesamten Technik. Herausg. von C. Franzén, Zivil-Ingenieur, Köln und Professor K. Mathér, Ingenieur und Direktor der Kgl. Maschinenbauschule, Görlitz. In zwei Teilen. I. Teil: (in Brieftaschenform in weichem braunen Leder) in 4 Abschnitten. I. Abschnitt: Rein technischer Teil fest eingebunden in die Brieftasche. II. Abschnitt: Eisenhüttenwesen. III. und IV. Abschnitt: Terminkalender nebst Notizblock als 3 Einsteckheftchen, Faberstab und ausführlichem Eisenbahnfahrplan von Mitteleuropa. II. Teil: (für den Arbeitstisch) mit dem Gewerblichen und Literarischen Anzeiger und dem Bezugsquellen- und Adressen-Verzeichnis. Preis beider Teile zusammen nur **Mk. 4.-**.

Der bewährte Freund des Ingenieurs und Technikers hat in dem neuen Jahrgang eine Änderung zu seinem Vorteil erfahren, darin bestehend, dass der „Allgemeine technische Teil“ des Textes fest in die innere, aus weichem Leder bestehende Brieftasche eingebunden ist, so dass er früher mit diesem ein festes Buch bildet, während der Abschnitt Eisenhüttenwesen, wie bisher, zum Herauslegen eingerichtet ist. Der ganze Text ist in einer neuen scharfen, für das Auge sehr angenehmen Schrift neu gesetzt. Auch ist ein etwas schmaleres und höheres Format gewählt worden, wodurch das Buch an Handlichkeit und Bequemlichkeit des Mitführens in der Tasche gewonnen hat. Ein Teil der Textfiguren ist erneuert worden, und der Text ist durch zeitgemässe Änderungen und Ergänzungen vorzüglich auf der Höhe erhalten.

## Weinlig, Otto, Zerreiß-Tabellen. Tabellen zur Bestimmung der Elastizitäts-Grenze, Zugfestigkeit und Kontraktion bei Zerreißprobestäben aus Stahl, Eisen und Kupfer. — Preis in elegantem Umschlag **Mk. 3.50.**

**Stahl und Eisen:** Die weitgehenden Qualitäts-Ansprüche, die heute zu alle Erzeugnisse aus Eisen und Stahl gestellt werden, zwingen uns, die Fabrikation fortwährend durch Analysen und Zerreißproben zu kontrollieren. Besonders mit letzteren ist ja, wie jeder Hüttenmann weiss, ein zeitraubendes und umständliches und deshalb leicht zu Fehlern Veranlassung bietendes Rechnen verbunden, und ist daher das Erscheinen dieser Tabellen, welche das Rechnen ersparen, als sehr willkommen zu begrüssen. Entsprechend der Möglichkeit, genau zu messen und die Belastung ablesen, steigt die Tabelle in dem Stabdurchmesser um je 0,05 mm und für die Belastung um je 200 kg Zwischenwerte sind leicht zu interpolieren. Das Ganze ist übersichtlich und nicht zu ermüden bei grosser Genauigkeit. Besonders angenehm ist es, dass der Verfasser die Tabelle zur Verwendung der englischen Festigkeitsangaben in deutsche und umgekehrt mit aufgenommen hat. Diese Tabellen zeichnen sich durch grosse, leicht lesbare und das Auge nicht ermüdende Ziffern aus. Das Werkchen verdient beste Empfehlung.

## Wirtz, Wilhelm, Fördermaschinen. Die Wartung der Fördermaschine. Eine ideale und zugleich praktische Schilderung der bei der Führung der Fördermaschine in Betracht zu nehmenden Vorgänge und Möglichkeiten. Für die Fördermaschinenisten sowie für alle Interessenten der Bergwerksförderung geschildert. Preis: kart. **Mk. 4.-**

**Deutscher Maschinist und Heizer, Berlin:** Die Wartung der Fördermaschinen von Wih. Wirtz, Fördermaschinenist, ca. 110 Seiten stark. Preis 4 M. Zu beziehen von der Verlagsbuchhandlung G. D. Bodeker in Essen a. d. R. Wem ist nicht vor einiger Zeit das grosse Unglück auf der Zeche Kaiserstuhl bekannt, wo durch zu heftiges Aufschlagen des Förderkorbes bei der Seilfahrt auf der Zeichensohle eine Anzahl von Bergleuten getötet resp. zu Krüppeln geworden sind! Unser Kollege zeigt uns in dem Werk, welche Charaktereigenschaften jeder Fördermaschine haben müsste, und gibt auch eine Menge Winke und Ratschläge, um Änderungen in der Betriebsweise der Föderung zu erzielen, ebenso Neuerungen in Vorrichtungen, welche bezwecken sollen, das zu harte Aufsessen der Förderkorbes für den Bergmann weniger gefährlich zu gestalten. Als AM meines schreibt der Kollege: Es ist eine auffallende, aber in des einschlägigen Kreisen bekannte Tatsache, dass die Maschinenisten an Fördermaschinen aussergewöhnlich viel Nerven müssen, und zwar, was besonders tödlich ist, vielfach im Moment des Aufsessens der Förderkorbes auf die Aufsehvorrichtung, und führt auf das zu scharfe und immerwährende Fixieren der sich bewegenden Zeichen auf der Seiltrommel. Man zeigt und dass dadurch auf die Gehirns-Nerven ein sanftlicher Reiz ausgeübt wird, das den Föderung oft im Moment der Steuerungsbetätigung vollständig lehreracht und dadurch schon Unglücksfälle verursacht sind. Leider hat der Kollege gegen das Nerven sowie überhaupt in seinem Werk gegen die Abspannung der Fördermaschinen kein Mittel angegeben: wir wollen es gern tun: eine stündliche Arbeitzeit, Verbot der Anstellung von jugendlichen Personen unter 10 Jahren an Fördermaschinen die Anstellung von zwei Maschinenisten. Wir müssen es dem Verfasser hoch anrechnen, dass er Fördermaschinenisten in seinem Werk warm annimmt und auch sucht, in weiteren Kreisen bekannt zu machen. Das Buch macht in seinen allen Kollegen leicht verständlichen Schreibweise einen guten Eindruck, so dass wir das Buch allen denen, welche sich mit der Wartung von Fördermaschinen vertraut machen wollen, warm empfehlen können.

## Wolff, Emil, Maschinenfabrikant, Essen (Ruhr), Tabellen zur Bestimmung der Grubenweiten. Preis: kart. **Mk. 3.-**

Patentlösen zum Aufhängen **Mk. 3.-**. — Die Tabelle enthält die Formel  $A = \frac{0,38 \cdot V}{60 \cdot \sqrt{h}}$  sämtliche Werte von A von 0 bis 10—300 mm Wasserhöhe und ergibt die gesuchte