

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

3577

Gruber

Elektrotechnische

Grundlagen

62

Gründlagen
Elektronische
Gründlagen

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000294356

Elektrotechnische Grundlagen

von

Gewerbelehrer Gruber
Elektroingenieur

Mit 107 in den Text gedruckten
Zeichnungen und Schaltungsplänen

2. Auflage

W. H. G.



1918

Verlag der Barnewitzschen Verlagsbuchhandlung
Neustrelitz,

W. H. G.
427.

Gewerbl. Berufsschule Striegau
Inventar Seite *133* Tit. *D 36*
Nr. *12* Dat. _____

Elektrotechnische
Grundlagen

Uebersetzungsrecht vorbehalten,
Copyright by Barnewitzsche
Verlagsbuchhandlung, Neustrelitz
1918.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA

KRAKÓW

II 3577

Buchdruckerei der Landeszeitung, Neustrelitz.

Akc. Nr.

4154 | 49

Vorwort zur 2. Auflage.

Die 1. Auflage der „Elektrotechnischen Grundlagen“ war bereits nach wenigen Monaten vergriffen. Das Buch wurde in den Kreisen, für die es lt. Vorwort der 1. Auflage bestimmt war, ohne Ausnahme günstig aufgenommen; aber auch darüber hinaus hat es viele Freunde gewonnen, sodaß die „Elektrotechnischen Grundlagen“ als ein Buch für Schule und Praxis bezeichnet werden können.

Die 2. Auflage weist gegenüber der 1. einige geringe Aenderungen auf; neu aufgenommen ist ein Abschnitt über elektrochemische Zähler.

Altona, im Januar 1918.

Hans Gruber.

Vorwort zur 1. Auflage.

Die vorliegende Arbeit ist im Auftrage der Fürsorge für Kriegsbeschädigte in Altona herausgegeben.

Im Frühjahr 1915 wurden von der Fürsorgestelle Lehrgänge zur Ausbildung von Elektrotechnikern eröffnet, deren Leitung dem Verfasser des vorliegenden Buches übertragen wurde. Bis April 1917 sind in halb-jährigen Kursen rund 200 Teilnehmer, die sämtlich schon wieder der Industrie, staatlichen und kommunalen Betrieben zugeführt sind, ausgebildet worden. Der Unterricht besteht aus Vorträgen, Uebungen im elektrotechnischen Laboratorium, Fachrechnen und Fachzeichnen. — Die vorliegende Arbeit soll den Schülern eine Niederschrift des Vortrages „Elektrotechnische Grundlagen“ ersparen und ihnen außerdem ein Begleiter für die spätere praktische Tätigkeit sein.

Da sich der in den „Elektrotechnischen Grundlagen“ behandelte Lehrstoff mit dem Lehrplan unserer Elektrotechnikerklassen der städt. gewerblichen Fortbildungsschule deckt, so wird das Buch auch in diesen Klassen verwendet; vielleicht läßt es sich auch an Handwerker-, Fach- und anderen Fortbildungsschulen als Leitfaden für elektrotechnische Grundlagen einführen. Die rechnerischen Lösungen werden sowohl von den Kriegsbeschädigten als auch von den Fortbildungsschülern mit Hilfe des Rechenschiebers ausgeführt. Eine zu dieser Arbeit passende Sammlung von Rechenbeispielen ist in Vorbereitung.

Altona, im Juli 1917.

Hans Gruber.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Allgemeines	1
Energie, Elektrizität, Elektronen, positive und negative Elektrizität, ruhende und strömende Elektrizität.	
Leiter und Nichtleiter	1—2
Leiter 1. und 2. Klasse, Elektrolyse, Elektrolyte, Isolatoren, Erde, Widerstände.	
Elektrizitäts-Erzeugung	2
Reibungselektrizität, Galvanische Elektrizität, Pyro- und Thermo-elektrizität, Induktionselektrizität.	
Elektrische Spannung	2—5
Spannung, E M K, Voltmeter, Präzisions- und technische Instrumente, aperiodische Instrumente, Auspolen, Herstellung von Prüfungskurven, Hoch- und Niederspannung.	
Elektrischer Strom	6—9
Stromstärke, Strommesser, Hitzdrahtinstrumente, Nebenschlüsse, Shunt, Drehspulinstrumente, Korrektionsstabellen, Stromarten und Leitungssysteme, Strommenge, Amperestunde.	
Elektrischer Widerstand	9—22
Ohmsches Gesetz, Widerstandsbestimmung aus Strom und Spannung, Weicheiseninstrumente, Isolationsmesser, Selen als Widerstandsmaterial, spezifischer Widerstand, Widerstandsberechnungen, Leitwert und Leitfähigkeit, Schaltung von Widerständen, Meßbrücken, Isolationsmessungen.	
Spannungsverlust	22—24
Klemmenspannung, Spannungsabfall, Berechnung von Hausinstallationen, Steigeleitungen, Normalquerschnitte, Höchstbelastungen, Verlegungsvorschriften.	
Elektrische Leistung	24—27
Leistungseinheit, Wattmeter, Leistungsmessungen in Gleichstromkreisen, Sparschaltung, Leistungsübertragung, Leistungsverlust.	
Elektrische Arbeit	27—36
Energieverbrauch, Stromkostenberechnung, Zähler, Meßtransformatoren, Zählerablesung, Zähleraufschriften, Motorzähler, Verkehrsfehlergrenzen, Pendelzähler.	
Maschinenleistung	36—38
Mechanische Arbeit, mechanische Leistung, Wirkungsgrad, Leistungsbestimmung für Motoren und Generatoren.	
Wärmewirkung des elektrischen Stromes	39—42
Kochen, Heizen, Wirkungsgradbestimmung, Raumheizung, Sicherungen, Nennstromstärke, Grenzstromstärke, Thermo-elektrizität, Pyrometer.	

	Seite
Chemische Wirkung des elektrischen Stromes	42—53
Zersetzungszelle, Galvanoplastik, Galvanostegie, Voltameter, Polarisation, Akkumulatoren, Kapazität, Zellschalter, Aräometer, Edisonakkumulator, Galvanische Elemente, Schaltung von Elementen, elektrochemische Zähler.	
Magnetismus	53—54
Natürlicher und künstlicher Magnetismus, magnetische Energie, Koerzitivkraft, Kraftlinien, Feldstärke, Kraftfluß.	
Magnetisierende Wirkung des elektrischen Stromes	54—59
Elektromagnetismus, Uhrzeigerregel, Solenoid, Amperewindungen, magnetische Induktion, Berechnung magnetischer Kreise, Herstellung permanenter Stahlmagnete, Zug- und Tragkraft von Elektromagneten, magnetische Aufspannvorrichtungen.	
Mechanische Wirkung des elektrischen Stromes	59—63
Ampere'sche Schwimmregel, linke Handregel, Gleichstrommotor, Anker, Feld, Kommutator, Nutzlast, magnetische Funkenlöschung, Elektrodynamometer.	
Induktionselektrizität	63—74
Magnetische und elektrische Induktion, rechte Handregel, Periodenzahl, Wechsel- und Gleichstromgeneratoren, gegenseitige Induktion, Induktionsapparat, Transformator, Wirbelströme, Selbstinduktion.	
Phasenverschiebung	75—81
Phasengleichheit, Phasenverschiebung, $\cos \varphi$, wattlose Ströme, Effektivwerte, Wechselstromleistung, wirkliche und scheinbare Leistung, Wechselstromwiderstände, Ohmsche und induktive Spannung, Drosselspulen, Kondensatoren.	
Einphasenstrom	82—88
Prinzip des Einphasenstroms, elektrische Leistung, Bestimmung des Leistungsfaktors, Phasemesser, Frequenzmesser, Einphasenstromtransformator, Querschnittsberechnung, Einphasenstromzähler, Phasentransformator.	
Drehstrom	88—100
Prinzip des Drehstromes, Verkettung nach Stern- und Dreieck, Sternspannung, Phasenstrom, Stern-dreieck-Schalter, Drehstromleistung, Drei- und Zweiwattmetermethode, Bestimmung des Leistungsfaktors, Strom- und Spannungswandler, Drehstrom-Drei- und Vierleiterzähler, Drehstromtransformatoren, Querschnittsberechnung, Spannungsabfall, Generatorleistung.	
Quecksilberdampf-Gleichrichter	100—101
Prinzip des Gleichrichters, Apparate für Einphasen- und Drehstrom, Stromerhaltungsspule, Spannungsverhältnisse.	
Anhang	102—106
Belastungs- und Sicherungstabellen, Algebraregeln, Rechenschieberregeln.	
Sonstiges	107—112
Formelzeichen und Maßeinheiten, Stichwortverzeichnis, Namenverzeichnis.	

Allgemeines.

Wenn irgend ein System die Fähigkeit besitzt, eine Arbeit zu leisten, so bezeichnet man dies als **Energie**; dabei ist es ganz gleichgültig, ob die Energie bereits wahrnehmbar in Tätigkeit ist, oder ob sie sich, nur irgendwo aufgespeichert, im Ruhezustand befindet. Im ersteren Falle hat man es mit beweglicher (kinetischer) Energie, im letzteren mit einem ruhenden Kraftvorrat (potentieller oder statischer Energie) zu tun. Bis auf die Elektrizität und den ihr verwandten Magnetismus lassen sich die einzelnen Energie-Arten durch unsere Sinne wahrnehmen. Die Elektrizität dagegen kann nicht wahrgenommen werden, ihr Vorhandensein wird nur durch ihre Wirkungen bewiesen. Da sich nun die Energien untereinander umformen lassen, so kann man z. B. elektrische Energie in chemische oder mechanische verwandeln bezw. durch Elektrizität Wärme, Licht, Schall, Magnetismus usw. erzeugen.

Man nimmt an, daß das ganze Weltall von Elektrizität, deren Wesen aber noch unbekannt ist, erfüllt ist. Nach der Elektronentheorie gilt der Lehrsatz, daß sich die Elektrizität aus unendlich kleinen Atomen, die in diesem Falle **Elektronen** genannt werden, zusammensetzt. Um zum Ausdruck zu bringen, daß die Elektrizität in zwei entgegengesetzten Zuständen auftritt, führte man die Begriffe von **positiver (+)** und **negativer (-)** Elektrizität ein. Die Atome eines jeden Körpers verbinden sich mit einer bestimmten Anzahl Elektronen, die stets negativ elektrisch und beweglich sind; hierdurch wird der Körper elektrisch. Werden ihm noch weitere Elektronen zugeführt, so erscheint er negativ elektrisch, während ihn ein Abströmen der Elektronen positiv elektrisch macht.

In der Elektrizitätslehre unterscheidet man zwischen ruhender (statischer) und strömender (dynamischer) Elektrizität; die vorliegende Arbeit behandelt in der Hauptsache elektrotechnische Grundlagen der strömenden Elektrizität.

Leiter und Nichtleiter.

Körper in denen sich die Elektrizität nachweisbar bewegen kann, heißen **Leiter** oder **Konduktoren**; man unterscheidet Leiter I. und II. Klasse. Zur I. gehören alle Metalle, Graphit und Kohlen; die II. Klasse umfaßt solche Körper, die auf elektrischem Wege chemisch zersetzt werden oder, wie man sagt, eine **Elektrolyse** erleiden. Man nennt deshalb die Leiter II. Klasse auch noch **Elektrolyte**, z. B. Säuren, Salzlösungen, Laugen usw.

Körper, durch die der elektrische Strom nicht hindurchfließen kann, nennt man **Nichtleiter** oder **Isolatoren**; hierzu gehören: Asbest, Glas,

Glimmer, Guttapercha, Hartfeuerporzellan, Hart- und Weich-Gummi, Marmor, Papier, Paraffin, Preßspan, Schellack, Seide, Wolle usw.

Der Erdkörper (Erde) wird stets als Leiter angenommen; die Erde ist dann ein guter Leiter, wenn man den Uebergangswiderstand des metallischen Leiters zur Erde klein machen kann.

Wird ein leitender Körper so mit Isolatoren umgeben, daß er mit der Erde oder anderen Leitern keine leitende Verbindung mehr besitzt, so sagt man, der Körper ist **isoliert**.

Alle Leiter und Nichtleiter bezeichnet man als **Widerstände**, weil sie ein Fließen des elektrischen Stromes weniger oder mehr bezw. ganz zu verhindern suchen.

Elektrizitäts-Erzeugung.

Je nach der Erzeugungsart in der Elektrizitätsquelle unterscheidet man:

1. **Reibungselektrizität:** Sie erzeugt man durch Reiben von Glas, Schwefel, Siegellack, Hartgummi usw. mit Leder, Wolle, Pelz, Seide und dergl.
2. **Galvanische Elektrizität:** Ihre Erzeugung findet stets auf chemischem Wege statt, wobei zwei verschiedene Leiter I. Klasse in einen Leiter II. Klasse getaucht werden.
3. **Pyro- und Thermo-Elektrizität:** Hierbei werden bestimmte Kristalle oder Metalle nach besonderen Vorschriften bearbeitet und erwärmt und auf diese Weise ein elektrischer Strom erzeugt.
4. **Induktions-Elektrizität:** Es sind bei dieser Art der Stromerzeugung Drähte oder Stäbe auf maschinellm Wege in einem Magnetfeld so zu bewegen, daß sich Kraftlinien und Drähte schneiden (Stromerzeugung mittels Außenpolmaschinen), oder aber das Magnetfeld wird mechanisch, bezw. elektrisch bewegt und die Drähte sind ruhend angeordnet (Innenpolmaschine, Induktionsspule und Transformator).

Die elektrische Spannung.

Um Wasser zum Fließen zu bringen, muß ein Gefälle geschaffen oder ein Druck auf das Wasser ausgeübt werden; um den Pfeil einer Armbrust oder eines Flitzbogens zu bewegen, ist es notwendig, daß der Bogen eine bestimmte Spannung besitzt. Auch die Elektrizität kann sich bei geschlossenem Stromkreis nur bewegen, wenn zwischen den Enden oder Polen der Stromquelle eine **Spannung** vorhanden ist; eine Spannung zwischen zwei Punkten setzt aber einen Spannungsunterschied an denselben voraus. Die Fähigkeit einer Elektrizitätsquelle, Spannungsunterschiede zu erzeugen, nennt man **Elektro-Motorische Kraft**, oder kurz EMK. Durch die EMK wird also ein dauernder Spannungsunterschied zwischen den Polen einer Stromquelle hervorgebracht, während die hierdurch entstehende Spannung bei geschlossenem Stromkreis eine

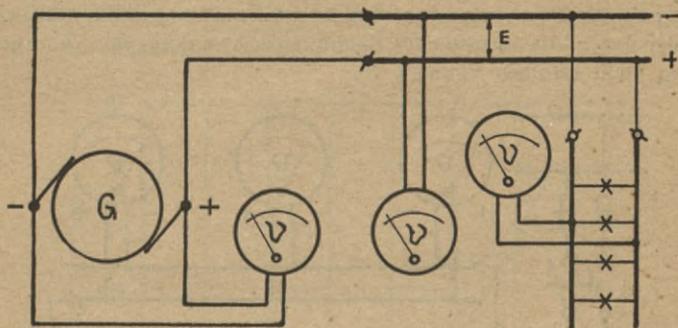
Bewegung der Elektrizität bewirkt; es sind demnach EMK und Spannung zwei verschiedene Begriffe, die sich wie Ursache und Wirkung zu einander verhalten.

Wie nun das Gefälle eines Flusses in Meter, die Größe des Luftdruckes in Millimeter, die Spannung einer Feder in Kilogramm gemessen wird, so mißt man die elektrische Spannung in Volt (V), Millivolt (mV) und Kilovolt (kV). Als Einheit der EMK und der Spannung gilt das Volt. Es wird dargestellt durch die EMK, die in einem Leiter, dessen Widerstand 1 Ohm beträgt, einen elektrischen Strom von 1 Ampere erzeugt.

$$1 \text{ mV} = \frac{1}{1000} \text{ Volt.} \quad 1 \text{ kV} = 1000 \text{ Volt.} \quad (1)$$

(2)

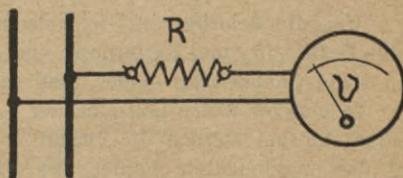
Auch die EMK wird in Volt gemessen; allerdings ist es notwendig, daß bei dieser Messung keine anderen Leiter an die Elektrizitätsquelle angeschlossen sind; es werden dann Spannung und EMK gleich groß sein.



Zeichnung 1

Die Spannung ermittelt man mit Meßinstrumenten, die Voltmeter oder Spannungsmesser genannt werden. Sie besitzen einen im Verhältnis zur Spannung hohen Widerstand. Voltmeter sind stets im Nebenschluß oder parallel an die Stromquellen bzw. Verbrauchsapparate zu schalten (Z. 1).

Soll ein und dasselbe Instrument zum Messen von verschiedenen Spannungen verwendet werden, so ist in Serie mit dem Spannungsmesser ein Widerstand R zu schalten, der Vorschaltwiderstand genannt wird (Z. 2).



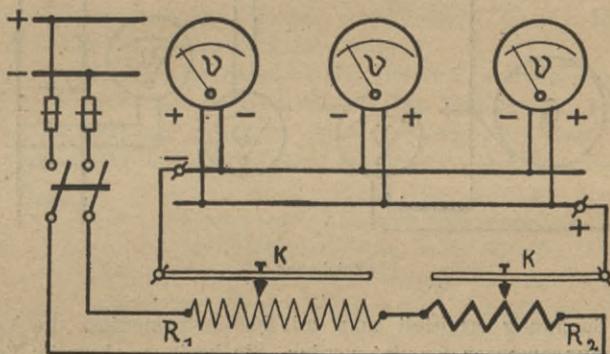
Zeichnung 2

Sind Voltmeter auf richtiges Anzeigen zu prüfen, so ist es notwendig, sie mit einem Normalinstrument zu vergleichen. In der Praxis unterscheidet man zwischen technischen und Präzisions-Instrumenten; erstere zeigen ziemlich genau an, besitzen eine Skala, die

zu Anfang unregelmäßig unterteilt ist und haben einen großen Stromverbrauch. Letztere zeigen dagegen sehr genau an, besitzen eine gleichmäßig unterteilte Skala und haben einen äußerst geringen Stromverbrauch. Um ein längeres Hin- und Herpendeln des Zeigers zu vermeiden, versieht man alle Meßinstrumente mit einer Bremse oder Dämpfung, wodurch ein rasches und sicheres Einstellen der Zeiger erreicht wird; man nennt solche Instrumente **a**periodisch.

Voltmeter-Eichung mittels eines Normal-Instrumentes.

Beim Anschluß der Instrumente ist darauf zu achten, ob die Anschlußklemmen mit **Polaritätszeichen** versehen sind; ist dies der Fall, so muß **polrichtig** angeschlossen werden, d. h. Plus an + und Minus an —. Als Stromquelle verwendet man am besten eine Akkumulatoren-Batterie, da beim Anschluß an das Netz eines Elektrizitätswerkes — infolge der in ihm auftretenden Spannungsschwankungen — eine genaue Eichung nicht erfolgen kann (Z. 3).



Zeichnung 3

Um die Polarität in Gleichstromkreisen festzustellen, taucht man beide Drähte in einer Entfernung von 8—10 mm in Wasser; dann steigen am — Pol Gasbläschen empor, man sagt: Der Minuspol gast.

In anderer Weise läßt sich der — Pol mit **Polreagenzpapier** (S. 42) finden; hierbei werden die Drähte in einer Entfernung von 8—10 mm auf das angefeuchtete Papier, das auf einer isolierenden Unterlage liegen muß, gedrückt. Am — Pol färbt sich dann das Papier rot.

Es ist noch zu bemerken, daß Instrumente, die auf der magnetisierenden oder auf der Wärmewirkung des elektrischen Stromes beruhen, beliebig angeschlossen werden können; Instrumente dagegen, die auf der chemischen oder ablenkenden Wirkung beruhen, sind stets polrichtig zu schalten.

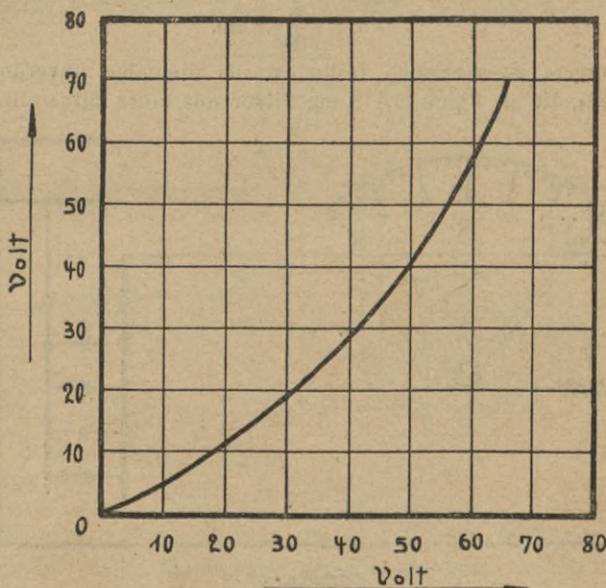
Durch Verschieben der Kontakte K (Z. 3.) kann man verschiedene Spannungswerte einstellen; R_2 dient zur Grob-, R_1 zur Feinregulierung.

Normal-Instrument	Untersuchtes Instrument
0	0
10	5
20	11
30	19
40	28
50	40
60	58
65	70

Die von den Instrumenten angezeigten Ausschläge werden in Tabellenform zusammengestellt und zur Herstellung der Eich- oder Prüfungskurven benutzt. Bei der Herstellung der Kurve trägt man auf **Koordinaten-Papier** den abhängigen Wert, auch **Funktionswert** genannt, als **Ordinate**, den unabhängigen als **Abszisse** auf. Z. 4 zeigt eine Eichkurve, zu deren Herstellung die Werte der nebenstehenden Tabelle benutzt wurden; die Angaben des Normalinstrumentes sind als Abszissen, d. h. in wagerechter Richtung, die Angaben des zu eichenden Instrumentes als Ordinaten,

d. h. in senkrechter Richtung aufgetragen.

Aus dieser sog. **graphischen** Darstellung läßt sich in besonders anschaulicher Weise ersehen, wie das untersuchte Instrument mit dem normalen übereinstimmt.



Zeichnung 4

Niederspannung und Hochspannung.

Nach den Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (VDE) unterscheidet man je nach der Größe der Gebrauchsspannung folgende Anlagen:

1. **Niederspannungsanlagen**, bei denen die Gebrauchsspannung zwischen irgend einer Leitung oder Phase und Erde 250 V nicht überschreitet.
2. **Hochspannungsanlagen**, die mit mehr als 250 V gegen Erde arbeiten.

Der elektrische Strom.

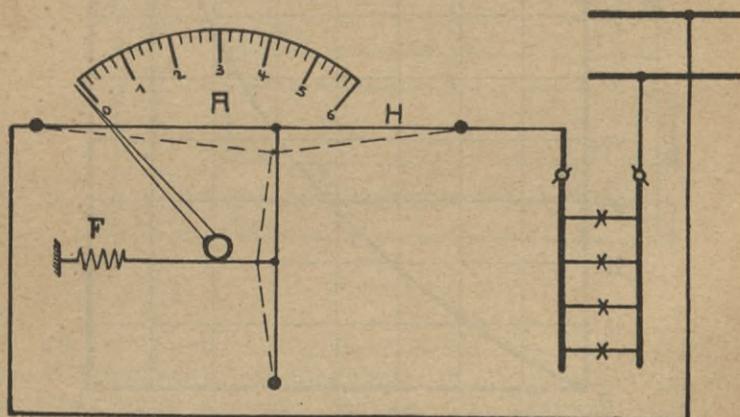
Als elektrischen Strom bezeichnet man die Bewegung der negativen Elektronen bei einem Spannungsausgleich. Die in 1 Sekunde durch den Querschnitt eines Leiters fließende Elektrizitätsmenge heißt **Stromstärke** oder **Strom**. Die Stromrichtung ist — an der allgemein üblichen Darstellung festhaltend — außerhalb der Stromquelle stets von + (Plus) nach — (Minus), innerhalb derselben stets von — nach +.

Ein elektrischer Strom kann nur fließen, wenn der Stromkreis geschlossen ist; dabei ist zu beachten, daß der für jeden Fall zulässige Höchststrom nicht überschritten wird. Man schützt die einzelnen Stromkreise selbsttätig gegen Ueberlastung, d. h. zu große Ströme, durch Einbau von Sicherungen (Seite 41) und selbsttätigen Höchststromschaltern.

Gemessen wird der elektrische Strom in **Ampere (A)** und **Milliampere (mA)**. Als Einheit des Stromes gilt das Ampere.

(3)
$$1 \text{ mA} = \frac{1}{1000} \text{ Amp.}$$

1 Ampere ist gesetzlich festgelegt als diejenige unveränderliche Stromstärke, die in 1 Sek. 1,118 mg Silber aus einer Silbernitratlösung



Zeichnung 5

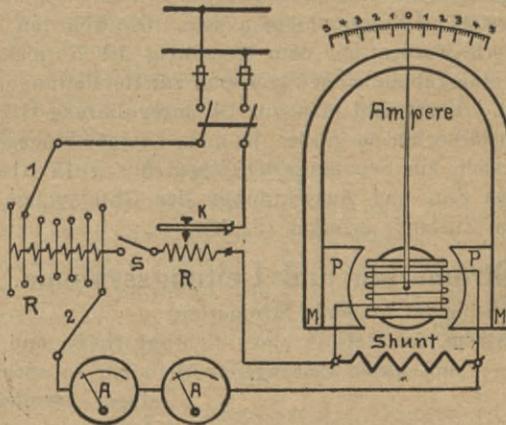
ausscheidet; aus Wasser, das mit Schwefelsäure angesäuert wurde, werden bei einem Druck von 760 mm und einer Temperatur von 0° Celsius in 1 Sek. 0,174 cm³ Knallgas ausgeschieden usw. (S. 44).

Zur Messung des Stromes verwendet man **Ampereometer** oder **Strommesser**; sie sind stets vor bzw. hinter dem Verbrauchsapparat anzuschließen, oder, wie man sagt, in Reihe oder in Serie mit dem Verbrauchsapparat zu schalten.

Z. 5 zeigt die Einschaltung eines **Hitzdraht-Amperemeters** in einen Glühlampenstromkreis. Der Hitzdraht H besteht aus Platinsilber und dehnt sich beim Stromdurchgang in der gestrichelten Weise aus. Infolgedessen kann sich die Feder F zusammenziehen, wobei eine Drehung des Zeigers nach rechts erfolgt. Das Instrument kann in Gleich- und Wechselstromkreisen mit derselben Skala Verwendung finden. Die Zeigerablesung darf erst nach einigen Sekunden erfolgen, da der Hitzdraht eine gewisse Zeit braucht, um sich richtig einzustellen. Als Dämpfung dient eine Wirbelstrombremse (S. 73). Hitzdrahtamperemeter sind keine Präzisionsinstrumente.

Durch die Einschaltung eines Strommessers darf der Widerstand des Stromkreises praktisch nicht vergrößert werden; deshalb besitzen Amperemeter einen verhältnismäßig geringen Widerstand, der bei Instrumenten, die eine Wicklung haben, durch wenige Windungen dicken Drahtes gegeben ist.

Soll ein und dasselbe Instrument für mehrere Meßbereiche verwendet werden, so ist parallel zum Amperemeter ein Widerstand zu schalten, der **Nebenschluß** oder **Shunt** genannt wird; sein Widerstand ist stets kleiner als der des Strommessers. Z. 6 zeigt ein **Drehspulen-**



Zeichnung 6

Instrument (System Deprez und d'Arsonval). Die Wicklung der Drehspule ist auf einem Aluminiumrahmen angeordnet, der auf einer drehbar gelagerten Eisentrommel befestigt ist. Diese Anordnung befindet sich zwischen den Polschuhen P eines permanenten Stahl-Magneten M. Ein durch die Spule fließender Strom übt ein Drehmoment (S. 61) aus, das um so größer ist, je mehr Strom durch die Spule hindurchgeht. Ein Drehspulen-Instrument kann nur in Gleichstromkreisen Verwendung finden, hat eine gleichmäßig geteilte Skala, ist vom Erdmagnetismus vollkommen unabhängig, besitzt größte Empfindlichkeit und gehört zur Gruppe der Präzisionsinstrumente. Durch Anordnung des Aluminium-

rahmens im magnetischen Felde werden bei jeder Zeiger-Bewegung Wirbelströme erzeugt, durch die eine ausgezeichnete Dämpfung erreicht wird.

Den Präzisionsinstrumenten ist meist eine sog. **Korrektionstabelle** beigegeben; sie ist in der Weise zu verwenden, daß man für den jeweiligen Zeigerausschlag den in der Tabelle angegebenen Wert zum abgelesenen hinzuzählt oder von ihm abzieht. Ist z. B. der vom Instrument angezeigte Wert 98,6 und es steht in der Tabelle für Skalenteil 98 eine Korrektion von $-0,2$, so ist der tatsächliche Wert 98,4.

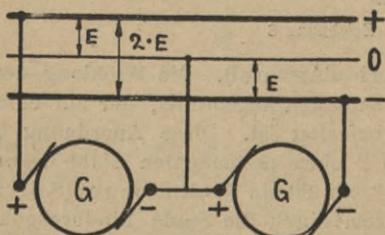
Vergleichung von Strommessern mit einem Normalinstrument.

Der Zweck des Versuches ist, Amperemeter daraufhin zu kontrollieren, ob die angezeigten Werte mit den Angaben eines Normalinstrumentes übereinstimmen; hierbei werden die zu untersuchenden Instrumente mit dem Normalinstrument und einem **Rheostat** d. i. einem regulierbaren Widerstand (Schieber- oder Kurbel-Rheostat, Glühlampensatz usw.) in Serie geschaltet. Z. 6 zeigt die Einschaltung eines Universalwiderstandes in den Prüfstromkreis; durch Verstellen der Kurbeln 1 und 2 am Widerstand R ändert man die Stromstärke ruckweise, durch Verschieben des Kontaktes K an R allmählich. Der Abzweig-Schalter S darf bei diesem Versuch nicht geschlossen sein. Die von den Instrumenten angezeigten Werte werden mit dem Ausschlag des Normalstrommessers verglichen, in eine Tabelle eingetragen und zur Herstellung der Prüfungskurven benutzt. Verwendet man zur Stromregulierung Glühlampen, so wird die Stromstärke um so größer, je mehr Lampen eingeschraubt sind. Es empfiehlt sich, zur Schonung der Augen nur gefärbte Lampen zu verwenden; das Ein- und Ausschrauben der Glühlampen, soll nur in ausgeschaltetem Zustande erfolgen (S. 74).

Stromarten und Leitungssysteme.

Man unterscheidet folgende Stromarten:

1. **Gleichstrom**, der stets in einer Richtung fließt, und zwar von $+$ nach $-$; sind nur 2 Leitungen vorhanden, so spricht man von



Zelchnung 7

einem **Zweileiter**-Gleichstromkreis, im Gegensatz zum **Dreileiter**-System, bei dem 3 Leitungen angeordnet sind. Während Zweileiterstromkreise nur 1 Betriebsspannung zwischen $+$ und $-$ besitzen (Z. 1), sind beim Dreileitersystem 2 Betriebsspannungen vorhanden. Z. 7 zeigt, daß zur Erzielung der beiden Spannungen zwei Stromquellen hintereinander oder in Serie geschaltet sind, und daß in der Mitte der beiden

Erzielung der beiden Spannungen zwei Stromquellen hintereinander oder in Serie geschaltet sind, und daß in der Mitte der beiden

Maschinen eine 3. Leitung, der sog. **Mittel-** oder **Nulleiter** an die Sammelschiene abgezweigt ist. Demnach sind die Spannungen zwischen einem **Außenleiter** und Nulleiter gleich groß, während die Spannung zwischen den beiden Außenleitern doppelt so groß ist. Der Querschnitt des Nulleiters wird meist nur halb so groß gewählt wie der Querschnitt eines Außenleiters (S. 27), weil im Nulleiter bei gleicher Belastung der beiden Netzhälften überhaupt kein Strom, bei ungleicher Belastung nur ein Teilstrom fließt, der sich als die Differenz der beiden Außenleiterströme ergibt. Der Mittelleiter wird fast immer geerdet, d. h. als blanker Draht in die Erde verlegt und darf nicht gesichert sein (S. 41).

2. **Wechselstrom**, der seine Richtung etwa 100 mal/Sek ändert; hierbei unterscheidet man zwischen Einphasen- und Mehrphasenströmen. Praktisch verwendet man von letzteren nur das Drehstromsystem.

Bei **Einphasenstrom** sind 2 Leitungen notwendig, bei **Drehstrom** drei und, wenn ein Nulleiter mitverlegt wird, vier.

3. **Elektrische Schwingungen**, die ihre Richtung/Sek 1000000 mal und mehr ändern. Zur Fortleitung dieser Ströme sind überhaupt keine Leitungen mehr notwendig, wie ihre Anwendung in der drahtlosen Telegraphie zeigt. Man nimmt an, daß die Elektronen durch den Aether, von dem das ganze Weltall erfüllt ist, in die Ferne wirken und so eine elektrische Ueberbrückung von Orten, die 10000 Kilometer und mehr voneinander entfernt sind, möglich machen.

Strommenge.

Während man die Elektrizitätsmenge, die in 1 Sekunde durch den Querschnitt eines Leiters fließt, Strom und Stromstärke nennt, bezeichnet man den in einer beliebigen Zeit durch den Querschnitt fließenden Strom als **Strommenge**. Setzt man den Strom I in Amp., die Zeit t in Sekunden ein, so ergibt sich die Elektrizitätsmenge oder Strommenge Q zu:

$$Q = I \cdot t \text{ Amperesekunden} \quad (4)$$

Die Einheit der Strommenge ist die Amperesekunde oder das **Coulomb (C)**; 1 Coulomb ist die Elektrizitätsmenge, die bei einem Strom von 1 Ampere in 1 Sekunde durch den Querschnitt der Leitung fließt. Die in 1 Stunde hindurchfließende Elektrizitätsmenge heißt eine **Amperestunde (Ah)**. Setzt man also in Formel 4 die Zeit in Stunden ein, so bekommt auch das Produkt die Bezeichnung Amperestunden.

$$1 \text{ Ah} = 3600 \text{ Coulomb.} \quad (5)$$

Der elektrische Widerstand.

Alle Leiter und Nichtleiter besitzen einen gewissen elektrischen Widerstand; deshalb ist auch der in einer Leitung fließende Strom — bei gleichbleibender Spannung — abhängig vom Widerstand des Stromkreises. In Wasserleitungsröhren wird das Wasser infolge der Reibungs-

widerstände um so langsamer fließen, je kleiner der Röhrendurchmesser ist; in gleicher Weise werden sich auch die Elektronen um so langsamer bewegen, je mehr Reibungswiderstände — gegeben durch kleine Querschnitte — sie beim Hindurchfließen durch eine Leitung zu überwinden haben. Weil demnach der Strom um so größer wird, je kleiner der Widerstand ist und umgekehrt, so sagt man: Der Widerstand ist dem Strome umgekehrt proportional.

Bleibt in einem Stromkreis der Widerstand unverändert, so kann man eine Aenderung der Stromstärke dadurch erreichen, daß man die Größe der zugeführten Spannung ändert. Wie man nun aus einer Wasserleitung um so mehr Wasser in der Zeiteinheit erhält, je größer das Gefälle oder der Druck ist, so erhält man auch einen um so größeren elektrischen Strom, je höher die Spannung ist und umgekehrt. Man sagt: Strom und Spannung sind einander direkt proportional, denn die Elektronen bewegen sich um so schneller, je größer die Spannung bzw. die EMK ist.

Die Einheit des Widerstandes ist das **Ohm** (Ω); den Widerstand von 1 Ω hat eine Quecksilbersäule von der Temperatur des schmelzenden Eises, deren Länge bei durchweg gleichem, 1 mm² gleich zu achtenden Querschnitt 1063 mm und deren Masse 14452,1 mg beträgt. Ein Widerstand von 1000000 Ohm heißt ein **Megohm** ($M\Omega$).

Das Gesetz von Ohm.

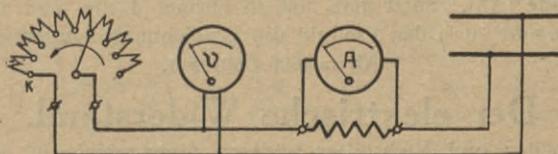
Der Zusammenhang zwischen Widerstand, Spannung und Strom wird durch das **Ohm'sche Gesetz** zum Ausdruck gebracht; bezeichnet R = Widerstand in Ω , E = Spannung in Volt, I = Strom in Amp., so ergibt sich:

$$(6) \quad R = \frac{E}{I} \quad \Omega$$

Hieraus ist ersichtlich, daß sich der Widerstand eines Leiters ergibt, wenn man die an seinen Enden herrschende Spannung durch den in ihm fließenden Strom dividiert. Die einfachste Art einer Widerstandsmessung ist demnach die Bestimmung des Widerstandes aus Strom und Spannung.

Widerstandsbestimmung aus Strom und Spannung.

Bei dem Versuch nach Z. 8 ist besonders darauf zu achten, daß das Voltmeter an die Anschlußklemmen desjenigen Leiters gelegt wird,



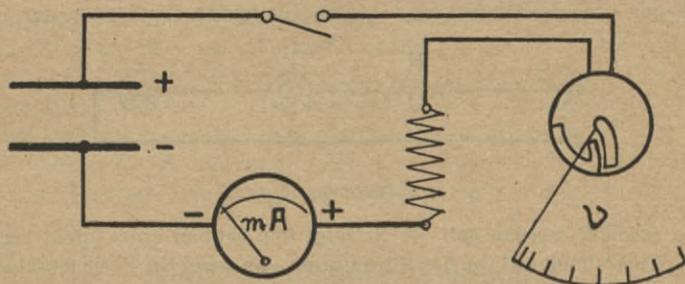
Zeichnung 8

dessen Widerstand ermittelt werden soll. Die Ablesung der Instrumente muß gleichzeitig erfolgen. Z. 8 zeigt die Prüfung eines Rheostaten,

dessen Widerstand um so kleiner wird, je mehr man die Kurbel dem Kurzschlußkontakt K nähert.

Sollen bei einer solchen Widerstandsmessung ganz kleine Stromstärken ermittelt werden, so verwendet man ein Milliampereometer, während für kleine Spannungen ein Millivoltmeter einzuschalten ist. Bei besonders genauen Messungen ist von der Gesamtstromstärke I zuerst der Voltmeterstrom abzuziehen und dann der Widerstand nach dem Ohm'schen Gesetz zu berechnen.

Z. 9 zeigt die Widerstandsbestimmung von einem Voltmeter, wobei gleichzeitig der Stromverbrauch des Instrumentes ermittelt wird. Dabei ist zu beachten, daß der Betriebsstrom von technischen Instrumenten oft bis zu 70 mA beträgt, während Präzisions-Voltmeter etwa 1—5 mA verbrauchen. Die Voltmeterskizze zeigt ein **Weicheiseninstrument**, bei dem die magnetisierende Wirkung des elektrischen Stromes benutzt wird.



Zeichnung 9

Während in Z. 33 die Zeigerbewegung durch Anziehung bewirkt wird, erfolgt sie in Z. 9 durch Abstoßung. Weicheisen- oder elektromagnetische Instrumente werden in Gleich- und besonders in Wechselstromkreisen viel angewandt; sie besitzen meistens eine Luftdämpfung, ungleichmäßig unterteilte Skalen und sind keine Präzisionsinstrumente. Die Widerstandsberechnung erfolgt bei Benutzung eines Milliampereometers nach folgender Formel:

$$R = \frac{E \cdot 1000}{I} \quad \Omega \quad (7)$$

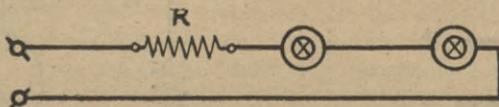
I = in diesem Falle der Strom in mA.

Aus Strom und Spannung läßt sich auch der Isolationswiderstand elektrischer Licht- und Kraftanlagen bestimmen (S. 20); es werden deshalb von den Fabriken sog. **Isolationsmesser** oder **Ohmmeter** hergestellt, bei denen die Meßspannung durch einige in den Apparat eingebaute Trockenelemente geliefert wird. Die Batterie ist über ein hochempfindliches Amperemeter an die zu prüfende Leitung gelegt. Je nach der Größe des nun fließenden Stromes wird der Zeiger des Instrumentes mehr oder weniger ausschlagen. Die Skala ist aber nicht in Ampere, sondern in Ohm geeicht, wobei die Berechnung des Widerstandes unter Zugrunde-

legung einer gleichmäßigen Elementenspannung für verschiedene Stromstärken erfolgt. Oft sind unter dem Zeiger nur eine Gradeinteilung und links und rechts davon Tabellen angebracht, aus denen man für jeden Zeigerausschlag den Widerstand in Ohm entnehmen kann.

Strom- und Spannungsregulierung.

Für die meisten Apparate wird die Betriebsstromstärke durch ihren eigenen Widerstand unveränderlich festgelegt sein. Soll jedoch aus irgend einem Grunde eine Aenderung der Stromstärke erreicht werden, so kann man dem Verbrauchsapparat entweder verschiedene Spannungen zuführen, oder aber es wird mit ihm in Serie ein Widerstand geschaltet. Die Ausführung des Widerstandes kann in zweifacher Weise erfolgen; nämlich regulierbar, wenn hintereinander verschiedene Widerstandswerte einzustellen sind und nicht regulierbar, wenn durch den Widerstand nur eine bestimmte und gleich bleibende Aenderung der Strom-

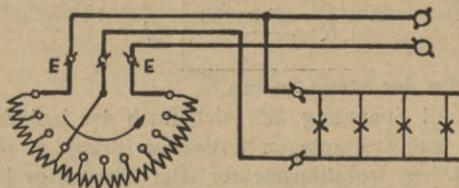


Zeichnung 10

stärke erreicht werden soll. Z. 10 zeigt den Einbau eines nicht regulierbaren Widerstandes R in den Stromkreis von zwei in Serie geschalteten Bogenlampen.

Z. 8 zeigt einen regulierbaren Widerstand, auch Rheostat genannt, bei dem durch Drehung der Kurbel in Richtung des Pfeils die Stromstärke immer mehr vergrößert wird; steht die Kurbel auf dem letzten, mit K bezeichneten Kontakt, so ist kein Widerstand mehr vorgeschaltet, der Stromkreis also **kurzgeschlossen**. Deshalb wird dieser Kontakt als **Kurzschlußkontakt** bezeichnet.

Soll die zur Verfügung stehende Betriebsspannung mit Hilfe eines Kurbel- oder Schieber-Rheostaten geändert werden, so ist der



Zeichnung 11

Widerstand nach Z. 11 zu schalten. Die beiden Enden E des Widerstandes werden an das Netz gelegt, während die Abzweigleitungen von der Kurbel und einem Endkontakt abgehen. Durch Drehen der Kurbel in Richtung des Pfeils wird eine immer größere Spannung abgenommen.

Steht die Kurbel auf dem letzten Kontakt, so liegt der angeschlossene Apparat an der vollen Netzspannung.

Die dem Verbrauchsapparat zur Verfügung stehende Stromstärke ist — bei gleichbleibender Netzspannung — abhängig von der Belastungsfähigkeit und dem Widerstande des Rheostaten.

Eine selbsttätige Regulierung des Stromes kann man durch Einbau von Eisenwiderständen in den Stromkreis von Glühlampen, Bogenlampen, Motoren usw. erreichen. Wie aus der Uebersichtstafel auf Seite 14 zu entnehmen ist, hat Eisen die größte Temperaturziffer; infolgedessen wird sich der Widerstand eines Eisendrahtes bei Erwärmung stark vergrößern. Eine größere Erwärmung tritt z. B. bei Zuführung einer höheren Spannung ein; durch Abstimmung der Eisenwiderstände kann man aber erreichen, daß trotz der Spannungserhöhung die Stromstärke nur in ganz geringem Maße anwächst.

An dieser Stelle möchte ich auch auf ein Metall hinweisen, das seine Leitfähigkeit von der es umgebenden Helligkeit abhängig macht; es handelt sich um das als Widerstandsmaterial für selbsttätige Schaltapparate und in der Fernphotographie verwendete Selen. Das Selen wird meistens in Form von Selenzellen in den Stromkreis geschaltet; befindet sich die Zelle im Dunkeln, so ist ihr Widerstand sehr groß (100000 und mehr Ω), während er sofort auf einen Bruchteil des früheren Wertes sinkt, wenn die Zelle von Lichtstrahlen getroffen wird.

Widerstandsberechnungen.

Der Widerstand einer Leitung ist um so größer, je länger sie ist, dagegen um so kleiner, je größer ihr Querschnitt ist. Bei jeder Widerstandsberechnung ist der **spezifische Widerstand** des Leitungsmaterials zugrunde zu legen. Der spezifische Widerstand gibt an, wie groß der Widerstand eines Leiters von 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt ist.

Bezeichnet ρ = spezifischen Widerstand, l = Leitungslänge in Meter (m), q = Leitungsquerschnitt in mm², so ergibt sich:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{q} \quad \Omega \quad (8)$$

Der Widerstand der Metalle wird bei Erwärmung größer, der Widerstand von Kohlen und Flüssigkeiten dagegen kleiner; die Widerstandsänderung läßt sich unter Berücksichtigung der in folgender Tabelle angegebenen Temperatur-Ziffern aus folgender Formel berechnen; bezeichnet R_1 = Anfangswert des Widerstandes in Ω , R_2 = Endwert des Widerstandes in Ω , τ = Temperatur-Ziffer (Temperatur-Koeffizient), T = Temperatur-Zunahme in ° Celsius, so ergibt sich:

$$R_2 = R_1 \cdot [1 + (\tau \cdot T)] \quad \Omega \quad (9)$$

Material	Spezifischer Widerstand ρ	Leitfähigkeit g	Temperatur-Ziffer τ
Aluminium	0,029	34,5	0,00375
Blei	0,21	4,77	0,0041
Bronze	0,0278	36	0,003
Eisen	0,143	6,99	0,0048
Gaskohle	60	0,0167	-0,0005
Graphit	12	0,83	—
Konstantan	0,48	2,08	praktisch 0
Kruppin	0,81	1,235	0,00065
Kupfer	0,0175	57,2	0,00395
Manganin	0,425	2,35	praktisch 0
Messing	0,08	12,5	0,0015
Neusilber	0,3	3,33	0,0003
Nickelin	0,4	2,5	0,00015
Osmium	0,1	10	0,004
Platin	0,094	10,64	0,0024
Silber	0,016	62,5	0,0038
Tantal	0,155	6,45	0,0034
Zink	0,0675	14,82	0,0037

Aus dieser Zusammenstellung ist ersichtlich, daß — gleiche Erwärmung vorausgesetzt — die Widerstandszunahme von Metallegierungen viel kleiner ist als die von reinen Metallen; dagegen ist der spezifische Widerstand von Legierungen stets größer als der von reinen Metallen. Deshalb verwendet man zur Herstellung von genauen Widerständen nur Legierungen, wodurch gleichzeitig auch an Material und Raum gespart wird.

Leitfähigkeit und Leitwert.

Die Fähigkeit eines Systems, den Strom gut zu leiten, ist vorhanden, wenn der Widerstand klein ist; umgekehrt ist die Leitfähigkeit klein, wenn der Widerstand groß ist. Demnach ist der umgekehrte oder reziproke Wert des Widerstandes der Leitwert, während das Umgekehrte des spezifischen Widerstandes Leitfähigkeit oder spezifischer Leitwert heißt. Die Einheit des Leitwertes ist das Siemens (S).

Da sich nun gewisse Rechnungen besser mit Widerständen, andere wieder besser mit Leitwerten ausführen lassen, so kann man je nach Bedarf eine Umformung der beiden Größen durch folgende Formeln erreichen; bezeichnet R = Widerstand in Ω , G = Leitwert in S, g = Leitfähigkeit, so ergibt sich:

(10)
(11)

$$G = \frac{1}{R} \text{ S}$$

$$\rho = \frac{1}{g}$$

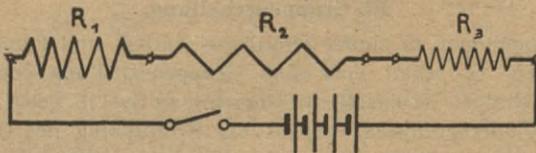
Bei einer Querschnitts-Bestimmung kann man demnach entweder nach Formel 8 mit dem spezifischen Widerstand ρ multiplizieren oder nach folgender Formel mit der Leitfähigkeit g dividieren:

$$q = \frac{l}{g \cdot R} \text{ mm}^2 \quad (12)$$

Schaltung von Widerständen.

I. Serienschaltung.

Hierbei werden die einzelnen Widerstände **hintereinander** geschaltet, d. h. Anfang des einen mit dem Ende des anderen Widerstandes verbunden (Z. 12).

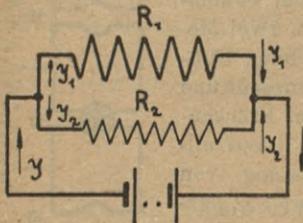


Zeichnung 12

Durch Serien- oder Reihenschaltung von Widerständen erreicht man eine Vergrößerung des Gesamtwiderstandes R_t und deshalb — bei gleichbleibender Spannung — eine Verkleinerung des Stromes; bezeichnet R_n den letzten Widerstand einer Serienschaltung, so ergibt sich:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad \Omega \quad (13)$$

II. Parallelschaltung.



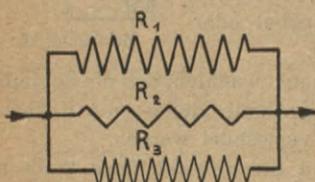
Zeichnung 13

1. Fall: 2 Widerstände sind parallel geschaltet (Z. 13).

Hierbei werden alle Anfänge in einem Punkt vereinigt, ebenso die Enden; deshalb sind die einzelnen Widerstände im **Nebenschluß** verbunden oder parallel geschaltet.

Der totale Widerstand R_t ergibt sich hierbei zu:

$$R_t = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad \Omega \quad (14)$$



Zeichnung 14

2. Fall: Mehr als 2 Widerstände sind parallel geschaltet (Z. 14).

Um hierbei den Gesamtwiderstand zu ermitteln, ist es am einfachsten, die Berechnung mit den Leitwerten durch-

zuführen; bezeichnet G_t = den Gesamt-Leitwert in Siemens, so ergibt sich:

$$(15) \quad G_t = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad \text{S}$$

Der Gesamt-Widerstand R_t ergibt sich dann nach Seite 14 zu:

$$R_t = \frac{1}{G_t} \quad \Omega$$

Durch Parallelschaltung von Widerständen erreicht man eine Verkleinerung des Gesamtwiderstandes und deshalb — bei gleichbleibender Spannung — eine Vergrößerung des Stromes.

III. Gruppenschaltung.

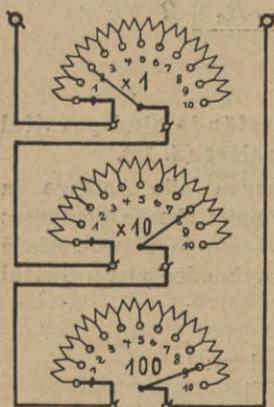
Verwendet man in einem Stromkreis Serien- und Parallelschaltung gleichzeitig, so erhält man eine Gruppenschaltung oder gemischte Schaltung. Hierbei ist zuerst die Berechnung der in Serie geschalteten Widerstände durchzuführen, worauf die Ermittlung des Gesamtwiderstandes R_t nach einer der Parallelschaltungsformeln erfolgt (oder umgekehrt).

Widerstandsmessung mit Meßbrücken.

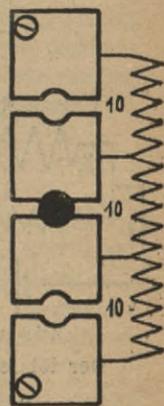
Schaltet man zum Zwecke einer Widerstandsbestimmung mehrere bekannte Widerstände über ein Meßinstrument mit einem unbekanntem Widerstand zusammen, so erhält man eine **Meßbrücke**. Hierbei erfolgt

die Ermittlung des unbekanntem Widerstandes durch Vergleichen mit bekannten Normalwiderständen; es kommen hauptsächlich zwei Methoden in Anwendung, nämlich: Die **Wheatstonesche** und die **Thomsonsche** Brückenmethode. Erstere dient allgemein zur Messung von Widerständen über 1Ω , letztere zur Messung von Widerständen unter 1Ω .

Zum Aufbau der Brücken verwendet man **Kurbel-** oder **Stöpsel-Rheostate**.



Zeichnung 15



Zeichnung 16

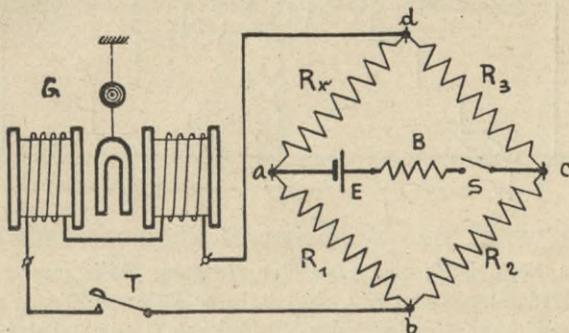
Bei der Kurbel-Anordnung (Z. 15) ist darauf zu achten, daß die Schleifbürste mit gleichmäßigem Druck über die Kontakte gleitet; die Kurbelgriffe sollen nur zum Drehen der Bürsten verwendet werden.

Bei der Stöpsel-Anordnung (Z. 16) sind die Kontaktstücke konisch ausgebohrt. Wichtig ist, daß die Stöpsel gleichmäßig und gut eingedrückt

werden müssen, weil man sonst durch unbekannte Uebergangswiderstände falsche Meßresultate erhält. Nach beendigter Messung sind alle Stöpsel wieder zu lösen; ebenso ist der Stöpselkonus öfters mit Putzpomade oder Petroleum leicht abzureiben.

Widerstandsmessung mit der Wheatstoneschen Brücke.

Z. 17 zeigt das Schema der Wheatstoneschen Brücke. Die Widerstände werden in Serie geschaltet; an die Knotenpunkte a c wird ein regulierbarer Ballast-Widerstand B, die Stromquelle E und der Schalter S angeschlossen. Zwischen b d liegt das Galvanometer G und eine Druck-



Zeichnung 17

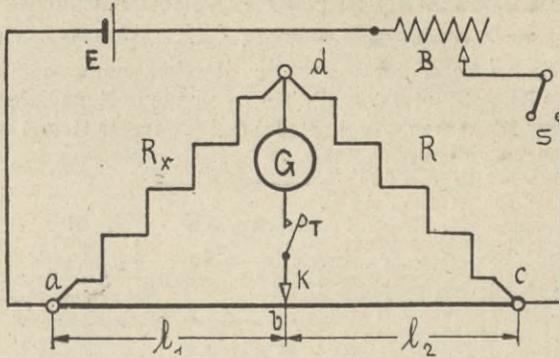
taste T. Bei Beginn der Messung werden auf R_1 und R_2 beliebige Werte eingestellt; hierauf stellt man auf R_3 , der nach unserer Schaltung den größten Regulierbereich haben muß, irgend einen Widerstand ein und drückt ganz kurz die Taste T. Der Zeiger des Instrumentes wird ausschlagen, und zwar um so mehr, je größer die Differenz zwischen dem Widerstand von R_x und den einregulierten Werten von R_1 , R_2 und R_3 ist. R_3 wird so lange reguliert, bis das Galvanometer keinen Ausschlag mehr zeigt; dann berechnet sich R_x aus der Formel:

$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2} \quad \Omega \quad (16)$$

Für ganz schnelle Messungen empfiehlt es sich, das Verhältnis von $\frac{R_1}{R_2}$ so einzuregulieren, daß $\frac{R_1}{R_2} = 1$ ist; dann kann der Widerstand von R_x ohne weiteres von R_3 abgelesen werden. Für besonders feine Messungen verwendet man Galvanometer, die an Stelle des Zeigers einen Spiegel tragen (**Spiegelgalvanometer**). Hierbei erfolgt die Beobachtung der geringen Ausschläge durch ein astronomisches Fernrohr, das 1–1,5 m vom Spiegel entfernt aufgestellt ist. Das Fernrohr hat nur 2 Linsensätze und zeigt deshalb ein umgekehrtes Bild der auf dem Stativ befindlichen, hell erleuchteten und gleichmäßig unterteilten Skala. Da bei dieser Ablesung nur ein Beobachter die Ablenkung beurteilen kann, so nennt man diese

Methode **subjektive** Beobachtung, im Gegensatz zur **objektiven**, bei der mehrere Personen die Ablenkung sehen können.

Nach Z. 18 wird an Stelle der Widerstände R_1 und R_2 ein sogen. **Meßdraht** verwendet; durch Anlegen des Kontaktes K unterteilt man den Meßdraht im Verhältnis l_1 zu l_2 und setzt diese Werte an Stelle von R_1



Zeichnung 18

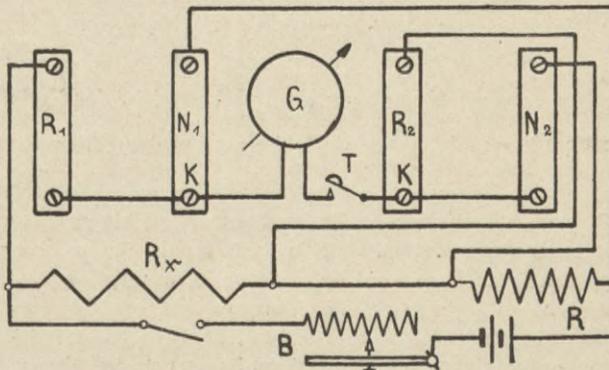
und R_2 in Formel 16 ein. Bei der Messung stellt man an R einen solchen Widerstandswert ein, daß bei der Feinregulierung durch Verschieben von K am Meßdraht der Schleifkontakt möglichst in die Mitte des Meßdrahtes zu stehen kommt. Wenn das Galvanometer G keinen Ausschlag mehr zeigt, dann berechnet sich R_x zu:

(17)

$$R_x = \frac{l_1 \cdot R}{l_2} \quad \Omega$$

Widerstandsmessung mit der Thomsonschen Brücke.

Die Thomsonsche Brückenschaltung zeigt Z. 19. Bei dieser Schaltung werden die Regulierwiderstände an den Klemmen K so unterteilt, daß



Zeichnung 19

N_1 und N_2 ein Vielfaches von R_1 und R_2 werden; man verwendet Kurbel- oder Stöpselwiderstände. Zwischen die Klemmen K wird das Spiegelgalvanometer G und die Taste T geschaltet. R_x ist der zu untersuchende Widerstand und R ein regulierbarer Widerstand mit möglichst großem Meßbereich. Die Elemente werden über den Schalter und den Ballastwiderstand B angeschlossen.

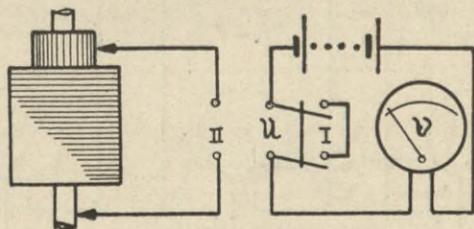
Vor der Messung sind auf beiden Seiten die gleichen Verhältnisse einzustellen, z. B. 1 : 10, 1 : 50, 1 : 100, 1 : 500 usw.; dann wird der Widerstand R so lange reguliert, bis das Galvanometer beim Niederdrücken der Taste T keinen Ausschlag mehr zeigt. Der Widerstand B muß am Ende der Messung kurzgeschlossen sein. Der unbekannte Widerstand R_x berechnet sich aus der Formel:

$$R_x = \frac{R \cdot R_1}{N_1} \quad \Omega \quad (18)$$

Für jeden Widerstand führt man noch 1 oder 2 Kontrollmessungen mit anderen Verhältnissen aus.

Isolationsmessungen an elektrischen Maschinen.

Durch Feuchtigkeit, Drahtbruch, Zerstörung des Isolationsmaterials, Ueberlastung, zu große Erwärmung usw. können an elektrischen Maschinen Störungen auftreten, die entweder den Betrieb ungünstig beeinflussen oder ganz zum Stillstand bringen. Die erste Arbeit wird in solchen Fällen sein, die Maschinen auf **Schluß** zu untersuchen, d. h. durch eine Isolations-



Zeichnung 20

messung festzustellen, ob die einzelnen Teile auch genügend gut von einander isoliert sind. Wird die Messung mit einem Voltmeter von hohem Widerstand ausgeführt, so erfolgt die Schaltung nach Z. 20.

Um z. B. den Isolationswiderstand des Kollektors gegen Körper festzustellen, bringt man zuerst den Umschalter U in Stellung I und notiert sich den Ausschlag des Voltmeters als E_k ; hierauf schaltet man auf Stellung II um und vermerkt sich den Ausschlag als E_x . Bezeichnet man den unbekanntenen Isolationswiderstand mit R_i und den bekannten Voltmeterwiderstand mit R , so ergibt sich:

$$R_i = R \cdot \left(\frac{E_k}{E_x} - 1 \right) \quad \Omega \quad (19)$$

Ergibt sich bei einem Versuch für $E_x = 0$ Volt, so wird der Ausdruck $\frac{E_k}{0} = \infty$, d. h. der Isolationswiderstand ist unendlich groß.

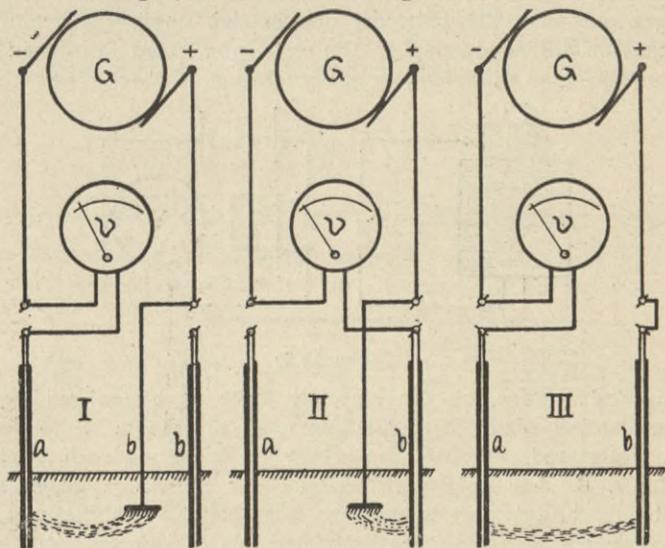
Isolationsprüfungen an elektrischen Anlagen.

Nach den Vorschriften des VDE ist vor der Inbetriebsetzung elektrischer Anlagen eine Isolationsprüfung auszuführen. Diese erstreckt sich auf folgende Messungen.

1. Bestimmung des Isolationswiderstandes der einzelnen Leitungen gegen Erde.
2. Bestimmung des Isolationswiderstandes der Leitungen gegeneinander.

Vor der Messung ist die ganze zu prüfende Anlage von der Stromzuführung abzuschalten; dann sind sämtliche Beleuchtungskörper durch die Schalter oder über Steckdosen anzuschließen, wobei jedoch die Glühlampen aus den Fassungen heraus gedreht werden.

Ebenso werden Bogenlampen, Motoren, Koch- und Heizapparate usw. abgetrennt, während alle Sicherungen gut einzuschrauben sind. Auch empfiehlt es sich, die Schalter zu öffnen und sich durch Augenschein zu überzeugen, ob der Stromkreis geschlossen ist.



Zeichnung 21

Für die Messung des Isolations-Widerstandes ergibt sich die in Z. 21 dargestellte Schaltung; es zeigt:

- I die Prüfung der Leitung a
 II „ „ „ „ b
 III „ „ von a und b gegeneinander.

Es ist darauf zu achten, daß der negative Pol der Prüfspannung an die zu untersuchende Leitung gelegt wird, während der positive Pol in Schaltung I und II zu erden ist.

Bei diesem Versuch muß die Meßspannung mindestens 100 Volt sein, besser ist es noch, man verwendet die Betriebsspannung. E_k wird gemessen, indem man das Voltmeter V an die Stromquelle G schaltet. E_x ist der Ausschlag des Voltmeters, wenn dasselbe an die zu untersuchende Leitung (a oder b) angeschlossen ist. Bezeichnet man mit R den Widerstand des Voltmeters, so ergibt sich der Isolationswiderstand R_i aus Formel 19.

Der geringste zulässige Isolationswiderstand berechnet sich für diese Messungen zu:

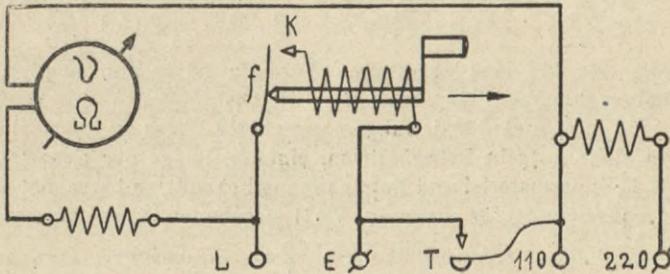
$$R_i = \text{Betriebsspannung} \cdot 1000 \quad \Omega \quad (20)$$

Ergibt der Versuch einen größeren Widerstand, so zeugt dieses von der guten Ausführung der Anlage; meist beträgt er dann einige Megohm.

Ist der Widerstand der Anlage zu klein, so darf sie nicht in Betrieb genommen werden. Es sind dann die Teilstrecken zwischen je 2 Sicherungen zu prüfen.

Auch in den Wechselstromanlagen erfolgt die Isolationsmessung am besten mit Gleichstrom; dabei ist bemerkenswert, daß bei Verwendung eines Drehspuleninstrumentes die Anlage ruhig unter der eigenen Spannung stehen kann, da hierdurch das Instrument nicht beeinflusst wird.

Für Isolationsmessungen mit Spannungen über 100 Volt werden ebenfalls besondere Ohmmeter oder Isolationsprüfer (Z. 22) hergestellt. Die Spannung erzeugt man sich hierbei durch einen sog. Induktor, dessen



Zeichnung 22

Kurbel, je nach der verlangten Spannung, mit einer bestimmten Umdrehungszahl gleichmäßig gedreht werden muß; beim Drehen der Kurbel bewegt sich diese in Richtung des Pfeils, sodaß der erzeugte pulsierende Gleichstrom über den Kontakt K zur Feder f fließen kann. Durch Niederdrücken einer Prüftaste T läßt sich die vom Induktor erzeugte Spannung nachmessen. Meist sind diese Isolationsprüfer noch mit besonderen Klemmen versehen, wodurch es möglich wird, auch mit der Netzspannung selbst Isolationsmessungen auszuführen. Z. 22 zeigt den Strom-

verlauf in einem tragbaren Meßapparat, der zu Spannungs- und Isolationsmessungen verwendet werden kann. Für eine bestimmte Spannung lassen sich auch hierbei die Ohm unter dem Zeiger oder in besonderen Tafeln angeben. Bei manchen Instrumenten läßt sich durch Anordnung einer besonderen Stromverzweigung ein und dieselbe Ohmskala für beide Spannungen verwenden.

Der Spannungsverlust.

In jedem Leiter tritt bei Stromdurchgang ein **Spannungsverlust** oder **Spannungsabfall** ein, dessen Größe vom Widerstand des Stromkreises und dem in ihm fließenden Strom abhängig ist. Aus diesen Gründen wird man auch an den Klemmen einer Stromquelle eine um so kleinere **Klemmenspannung** E_k messen, je mehr Strom ihr entnommen wird (und umgekehrt). Findet keine Stromabgabe statt, so wird ihre EMK gleich der Klemmenspannung sein (S. 50).

Es ist wichtig, daß die Verbrauchsapparate auch wirklich die Spannung erhalten, für die sie gebaut sind; deshalb muß bei Querschnittsberechnungen auf den Spannungsabfall Rücksicht genommen werden. Die Größe des Spannungsverlustes wird meistens durch Vorschriften der Elektrizitätswerke geregelt. Für Lichtanlagen soll er 2% der Netzspannung nicht übersteigen; für Kraftanlagen sind im Durchschnitt etwa 5% zulässig. Die Berechnung des Spannungsverlustes erfolgt aus dem Ohmschen Gesetz; bezeichnet E_v = Spannungsabfall in Volt, I = Strom in Ampere, R = Widerstand in Ω , E_k = Netzspannung in Volt, p = Abfall in % der Netzspannung, so ergibt sich:

(21)
(22)

$$E_v = I \cdot R \quad \text{Volt} \qquad E_v = \frac{E_k \cdot p}{100} \quad \text{Volt}$$

Mit den bis jetzt erläuterten Formeln ist es nun möglich, Querschnittsberechnungen für Zweileiter-Gleichstromkreise durchzuführen; dabei sind Hin- und Rückleitung in geeigneter Weise zu berücksichtigen. Sind in einer Aufgabe Betriebsstrom, einfache Länge der Übertragungsstrecke, Leitungsmaterial und Netzspannung bekannt, so berechnet sich der Leitungsquerschnitt für einen in Volt gegebenen Spannungsabfall zu:

(23)

$$q = \frac{I \cdot l \cdot \varrho}{E_v \cdot 0,5} \quad \text{mm}^2$$

Ist dagegen der Spannungsabfall in % der Netzspannung gegeben, dann gilt die Formel:

(24)

$$q = \frac{I \cdot l \cdot \varrho \cdot 100}{E_k \cdot p \cdot 0,5} \quad \text{mm}^2$$

Bei der Berechnung von Hausinstallationen ist zu beachten, daß in einem Stromkreis der Reihe nach Lampen abzweigelt werden; deshalb ist bei der Querschnittsberechnung die Summe der einzelnen Produkte,

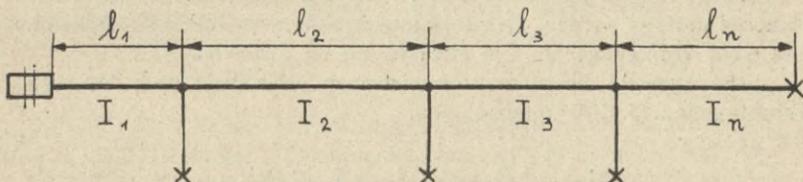
die sich aus Strom mal Länge für jeden Abschnitt ergeben, in die Formel einzusetzen. Aus Z. 23 ist ersichtlich, daß der in den einzelnen Abschnitten fließende Strom I_1, I_2 usw. um so kleiner wird, je weiter ein Abschnitt von der Sicherung bezw. von der Stromquelle entfernt ist. Bezeichnet man mit l_1, l_2 usw. die einfache Länge der einzelnen Abschnitte, so ist für Formel 23 die folgende zu verwenden:

$$q = \frac{[(I_1 \cdot l_1) + (I_2 \cdot l_2) + \dots + (I_n \cdot l_n)] \cdot \rho}{E_v \cdot 0,5} \text{ mm}^2 \quad (25)$$

Wird der Spannungsabfall in $\%$ der Netzspannung eingesetzt, so gilt:

$$q = \frac{[(I_1 \cdot l_1) + (I_2 \cdot l_2) + \dots + (I_n \cdot l_n)] \cdot \rho \cdot 200}{E_k \cdot p} \text{ mm}^2 \quad (26)$$

Zu beachten ist, daß sich der zugelassene Spannungsabfall bei Hausinstallationen zusammensetzt aus Abfall in der Steigeleitung + Abfall in der Verteilungsleitung. Durch die Steigeleitung wird der Strom den einzelnen Stockwerken zugeführt, durch die Verteilungs-



Zeichnung 23

leitungen den eigentlichen Verbrauchsapparaten. Gewöhnlich legt man von dem zugelassenen Spannungsabfall ungefähr 0,5 $\%$ auf die Steigeleitung und den Rest auf die Verteilungsleitung. In Altona gelten folgende Vorschriften:

Größter Spannungsverlust in Lichtleitungen = 1,5 $\%$ der Netzspannung; davon kommen 0,6 $\%$ auf die Steigeleitung und 0,9 $\%$ auf die Verteilungsleitungen. In Kraftanlagen ist ein Spannungsabfall von 3 $\%$ der Netzspannung zugelassen.

Für jeden berechneten Querschnitt q muß dann aus den im Anhang gebrachten Tabellen (S. 102—104) ein Normal-Querschnitt q_n gewählt werden; dabei ist zu beachten, daß der vorhandene Betriebsstrom nicht größer sein darf, als der für jeden Normalquerschnitt zugelassene Höchststrom.

Der bei Verwendung des Normalquerschnittes eintretende Spannungsabfall E_n berechnet sich in Volt aus:

$$E_n = \frac{E_v \cdot q}{q_n} \text{ Volt} \quad (27)$$

$$E_n = \frac{E_k \cdot p \cdot q}{100 \cdot q_n} \text{ Volt} \quad (28)$$

In $\%$ der Netzspannung ausgedrückt, ergibt sich:

$$p = \frac{E_n \cdot 100 \cdot q_n}{E_k \cdot q} \%$$

Oft ist es notwendig, bei einem gegebenen Durchmesser d den Querschnitt zu ermitteln oder für einen berechneten Querschnitt den Durchmesser zu bestimmen; hierbei gelten folgende Formeln:

(29)
(30)

$$q = 0,785 \cdot d^2 \quad \text{mm}^2$$

$$d = \sqrt{1,275 \cdot q} \quad \text{mm}$$

Mit den im Anhang (S. 102—104) unter Höchstbelastung angegebenen Stromstärken dürfen isolierte Leitungen und Schnüre, sowie blanke Kupferleitungen bis 50 mm² dauernd belastet werden.

Bei intermittierendem Betrieb dürfen Querschnitte über 95 mm² höher belastet und höher gesichert werden, vorausgesetzt, daß keine größere Erwärmung als bei Dauerbelastung mit den Tabellenwerten eintritt.

Der geringste zulässige Querschnitt beträgt in Gebäuden und im Freien, bei einer Entfernung der Befestigungspunkte von höchstens 1 m, für isolierte Leitungen 1 mm², bei einer Entfernung von mehr als 1 m 4 mm²; für blanke Leitungen in Gebäuden und im Freien ist mindestens 4 mm², für Freileitungen mindestens 10 mm² vorgeschrieben.

Freileitungen dürfen mit den im Anhang angegebenen Stromstärken dauernd belastet werden. Die Belastungstabellen für Kabel (S. 103) gelten bei einer Verlegungstiefe von etwa 70 cm im Erdboden.

Die Auswahl der Sicherungen ist auch bei Kabeln nach den Sicherungstabellen (S. 104) vorzunehmen.

Die elektrische Leistung.

Damit irgend ein Stromverbraucher seinen Zweck erfüllt, ist es notwendig, ihm eine bestimmte elektrische Leistung zuzuführen. Jeder Apparat darf nur an eine bestimmte Spannung angeschlossen werden, weil sein Widerstand bei einem gewissen Stromverbrauch für diese Spannung berechnet und ausgeführt wurde.

Die von Maschinen oder Apparaten gelieferte bzw. verbrauchte elektrische Leistung kann im Gleichstromkreise ermittelt werden:

1. als das Produkt aus Spannung mal Strom.
2. als das Produkt aus dem Quadrat der Stromstärke mal Widerstand; bezeichnet W = Leistung in Watt, E = Spannung in Volt, I = Strom in Amp., R = Widerstand in Ω , so ergibt sich:

(31)
(32)

$$W = E \cdot I \quad \text{Watt}$$

$$W = I^2 \cdot R \quad \text{Watt}$$

In der Praxis rechnet man teils mit **Watt**, teils mit dem 100fachen Wert, der als **Hektowatt** bezeichnet wird.

1 Watt ist die Leistung von 1 Ampere in einem Leiter von 1 Volt Endspannung.

Die Einheit der Leistung ist das **Kilowatt (kW)**.

(33)

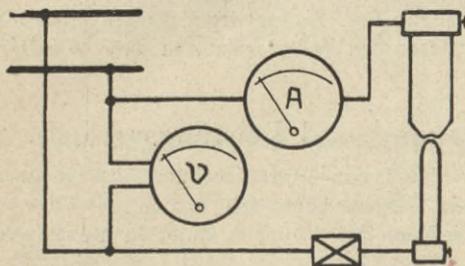
$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ Watt.}$$

Die Messung der elektrischen Leistung geschieht entweder mit einem Volt- und Amperemeter oder mit einem **Wattmeter**; letzteres ist die

Vereinigung von Volt- und Amperemeter in einem Instrument (Z. 25). Verwendet man das Wattmeter in Wechselstromkreisen, so erhält man die elektrische Leistung unter Berücksichtigung einer etwa vorhandenen Phasenverschiebung (S. 75).

Leistungsmessung mit Volt- und Amperemeter im Gleichstromkreis.

Z. 24 zeigt die Einschaltung der Instrumente in den Stromkreis einer Bogenlampe; dabei ist zu beachten, daß ein Teil der elektrischen



Zeichnung 24

Energie auch im Vorschaltwiderstand vernichtet wird. Das Voltmeter muß bei diesem Versuch direkt an die Netzspannung und nicht an den Verbrauchsapparat gelegt werden.

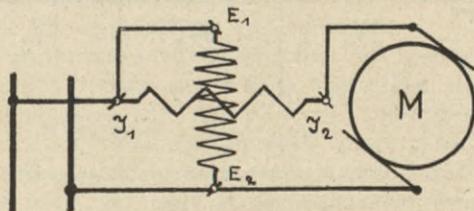
Soll der Wattverbrauch von Glühlampen ermittelt werden, so schaltet man, besonders bei der Untersuchung von Metalldraht-

lampen und bei Lampen mit geringen Lichtstärken, ein Milli-Ampere-meter in den Stromkreis. Dabei kann man aus den Angaben auf dem Lampensockel den **spezifischen Wattverbrauch**, der oft noch zur Vergleichung von Glühlampen benutzt wird, ermitteln. Der spezifische Wattverbrauch gibt an, wieviel Watt zur Erzeugung einer Normkerze notwendig sind.

Leistungsmessung mit dem Wattmeter.

Die Einschaltung eines Wattmeters erfolgt bei Gleichstrom und Einphasen-Wechselstrom nach Z. 25.

Der Ausschlag eines Wattmeters zeigt die Leistung entweder in Watt bzw. kW an, oder aber es bedeutet ein Skalenteil eine bestimmte Anzahl Watt; im letzteren Fall ist der Zeigerausschlag α mit der Zahl zu multiplizieren,



Zeichnung 25

die auf dem Instrument als Wattzahl für 1° der Skala angegeben ist; z. B. 1° = 25 Watt. Hat das Wattmeter zwei Stromklemmen J_1 und J_2 und zwei Spannungsklemmen E_1 und E_2 , so ist bei Beginn einer jeden Schaltung eine kurze Verbindung von J_1 nach E_1 oder von E_1 nach J_2 herzustellen und an J_1 ein vom Netz kommender Draht anzuschließen. Oft ist in Serie mit der Spannungsspule ein Vorschaltwiderstand zu

schalten, der jedoch niemals in die kurze Verbindung zwischen J_1 und E_1 oder J_2 und E_1 gelegt werden darf. Da ein Wattmeter für Gleich- und Wechselstrom zu verwenden ist, so braucht man auf polrichtiges Anschließen nicht mehr zu achten (S. 63).

Präzisionswattmeter sind meist nach dem **elektrodynamischen** Prinzip (S. 63), technische Wattmeter nach dem **Ferrarisprinzip** (S. 86) gebaut.

Die Eichung der Wattmeter wird zwecks Energieersparnis fast ausschließlich in **Sparschaltung** durchgeführt. Bei Gleichstrom verwendet man getrennte Strom- und Spannungsbatterien; erstere sind für große Stromstärken und kleine Spannungen (4–6 Volt), letztere für große Spannungen bei kleiner Kapazität. Bei Wechselstrom werden Meßstrom und Meßspannung ebenfalls getrennten Transformatoren oder Wandlern entnommen (S. 97).

Leistungs-Uebertragung und Leistungsverlust.

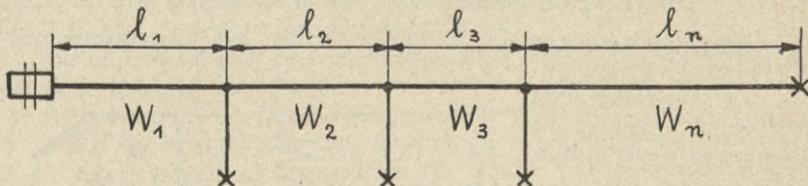
In vielen Fällen ist für eine Querschnittsberechnung die zu übertragende Leistung W gegeben; nimmt man den Spannungsverlust in Volt an, so gilt unter Verwendung der früher erläuterten Buchstaben die Formel:

$$(34) \quad q = \frac{W \cdot l \cdot \varrho}{E_k \cdot E_v \cdot 0,5} \quad \text{mm}^2$$

Wird jedoch der Spannungsabfall in % der Netzspannung eingesetzt, so ergibt sich:

$$(35) \quad q = \frac{W \cdot l \cdot \varrho \cdot 200}{E_k^2 \cdot p} \quad \text{mm}^2$$

Bei Berechnung von Hausinstallationen ist für $W \cdot l$ die Summe der einzelnen Produkte, die sich nach Z. 26 aus Watt mal Länge für



Zeichnung 26

jeden Abschnitt ergeben, in die Formel einzusetzen; es ergibt sich bei einem Spannungsabfall in Volt:

$$(36) \quad q = \frac{[(W_1 \cdot l_1) + (W_2 \cdot l_2) + \dots + (W_n \cdot l_n)] \cdot \varrho \cdot 2}{E_k \cdot E_v} \quad \text{mm}^2$$

Wird der Spannungsabfall jedoch prozentual eingesetzt, so gilt:

$$(37) \quad q = \frac{[(W_1 \cdot l_1) + (W_2 \cdot l_2) + \dots + (W_n \cdot l_n)] \cdot \varrho \cdot 200}{E_k^2 \cdot p} \quad \text{mm}^2$$

In jedem stromführenden Leiter wird außer dem Spannungsverlust auch noch ein **Leistungsverlust** eintreten, d. h. ein Teil der zu übertragenden Energie wird in den Leitungen in Wärme umgeformt und damit verloren sein. In Watt ergibt sich der Leistungsverlust L_v nach Formel 32 zu:

$$L_v = I^2 \cdot R \quad \text{Watt} \quad (38)$$

Hiernach berechnet sich q zu:

$$q = \frac{I^2 \cdot l \cdot \varrho}{L_v \cdot 0,5} \quad \text{mm}^2 \quad (39)$$

Bezeichnet ferner W = zu übertragende Leistung in Watt, v = Leistungsverlust in % von W , so gilt:

$$q = \frac{I^2 \cdot l \cdot \varrho}{W \cdot v \cdot 0,005} \quad \text{mm}^2 \quad (40)$$

Aus den Formeln 39 und 40 geht hervor, daß der Querschnitt dem Quadrat der Stromstärke direkt proportional ist, oder mit anderen Worten: Verringert man den zu übertragenden Strom um die Hälfte, so verringert sich der Leitungsquerschnitt auf $\frac{1}{4}$ des ursprünglichen Wertes. Diese Verringerung der Stromstärke wird bei einer bestimmten Leistung dadurch erreicht, daß man die Uebertragungsspannung z. B. nochmal so groß wählt; infolgedessen wird auch zwischen Querschnitt und Spannung ein Verhältnis bestehen, das durch folgende Formeln zum Ausdruck gebracht wird:

$$q = \frac{W^2 \cdot l \cdot \varrho}{E_k^2 \cdot L_v \cdot 0,5} \quad \text{mm}^2 \quad (41)$$

$$q = \frac{W \cdot l \cdot \varrho \cdot 200}{E_k^2 \cdot v} \quad \text{mm}^2 \quad (42)$$

Aus diesen Formeln geht hervor, daß der Querschnitt dem Quadrat der Spannung umgekehrt proportional ist, d. h. wenn die Spannung nochmal so groß wird, dann beträgt der Leitungsquerschnitt nur mehr ein Viertel des ursprünglichen Wertes. Andererseits wird es z. B. möglich sein, durch Verdoppelung der Netzspannung — bei gleichbleibendem Querschnitt und gleichen prozentualen Verlusten — eine 4mal so große Leistung wie die ursprüngliche zu übertragen.

Die bis jetzt gebrachten Querschnittsformeln gelten nur in Gleichstromkreisen, wobei sich ergibt, daß der prozentuale Wattverlust gleich ist dem prozentualen Spannungsverlust. Bei kurzen Uebertragungstrecken ist nachzuprüfen, ob der jeweilige gewählte Querschnitt mit dem vorhandenen Betriebsstrom belastet werden darf (S. 102, 103). Für Dreileiteranlagen wählt man den Querschnitt des Mittelleiters zu 50 oder 25 % des Außenleiterquerschnittes.

Die elektrische Arbeit.

Wenn ein elektrischer Apparat eine Anzahl Watt in irgend einer Zeit verbraucht, so bezeichnet man dies als **Energieverbrauch** oder **elektrische Arbeit** A_e ; ihre Einheit ist die **Kilowattstunde** (kWh). Sie wird ferner noch gemessen in **Joule** oder **Wattsekunden** und **Watt**

stunden (Wh); 1 Wattstunde ist die Arbeit von 1 Watt während einer Stunde. Unter kWh versteht man also eine bestimmte Menge elektrischer Energie, die sich für Gleich- und Wechselstrom als das Produkt aus Kilowatt bzw. Watt mal Stunden ergibt:

1 kWh	=	1000 Watt	in	1 Stunde
1 „	=	2000 „	„	0,5 Stunden
1 „	=	200 „	„	5 „
3 „	=	600 „	„	5 „
8 „	=	50 „	„	160 „ usw.

Bezeichnet A_e = elektrische Arbeit in kWh, t = Zeit in Stunden, W = Leistung in Watt für Gleich- und Wechselstromkreise, so gilt:

$$(43) \quad \boxed{A_e = \frac{W \cdot t}{1000}} \text{ kWh} \quad \boxed{W = \frac{A_e \cdot 1000}{t}} \text{ Watt} \quad \boxed{t = \frac{A_e \cdot 1000}{W}} \text{ Std.}$$

Diese Formeln gelten für Gleich-, Einphasen- und Drehstrom.

Ein Energieverbrauch findet auch statt, wenn eine gewisse Strommenge von einem Punkt höherer Spannung zu einem Orte niedriger Spannung abströmt. Hierbei ist die elektrische Arbeit das Produkt aus Strommenge mal Spannung; erstere ist nach Formel 4 durch $I \cdot t$ gegeben, sodaß für Gleichstromkreise folgende Formeln gelten:

$$(44) \quad \boxed{A_e = \frac{E \cdot I \cdot t}{1000}} \text{ kWh} \quad \boxed{I = \frac{A_e \cdot 1000}{E \cdot t}} \text{ Amp.} \quad \boxed{t = \frac{A_e \cdot 1000}{E \cdot I}} \text{ Std.}$$

Stromkosten-Berechnung.

Die dem Konsumenten verrechnete elektrische Arbeit wird ganz allgemein mit dem Ausdruck **Stromkosten** bezeichnet. Der Preis beträgt für 1 kWh im Durchschnitt:

für Licht	<i>M</i> 0,45
„ Kraft	<i>M</i> 0,2
„ Kochen und Heizen	<i>M</i> 0,1.

Je nach der Größe des Energieverbrauches werden von den Elektrizitätswerken bestimmte Rabatte gewährt; ebenso suchen die Werke durch sog. Doppeltarife den Energieverbrauch in den belastungsarmen Tagesstunden zu heben, in den Hauptbelastungsstunden dagegen herunterzudrücken. Bezeichnet S = Gesamtstromkosten in Mark, s = Preis für 1 kWh in Mark, A_e = Energieverbrauch in kWh in Gleich- und Wechselstromkreisen, so ergibt:

$$(45) \quad \boxed{S = A_e \cdot s} \text{ } \mathcal{M} \quad \boxed{A_e = \frac{S}{s}} \text{ kWh} \quad \boxed{s = \frac{S}{A_e}} \text{ } \mathcal{M}$$

Elektrizitäts-Zähler.

Die von einem Elektrizitätswerk abgegebene Energie und die von den Konsumenten verbrauchte Elektrizität werden durch elektrische Zählapparate, **Zähler** genannt, selbsttätig gemessen. Je nachdem ein Zähler auf der chemischen, magnetisierenden oder mechanischen Wirkung des elektrischen Stromes beruht, unterscheidet man: **Elektrochemische, Pendel-, oszillierende und Motor-Zähler.**

Da in vielen Fällen die einzelnen Faktoren der elektrischen Arbeit unveränderlich bleiben, so werden nur die veränderlichen Größen gemessen und es wird hiernach eine besondere Einteilung in folgende Gruppen vorgenommen.

1. **Zeitähler**, wenn die Zeit sich ändert, Strom und Spannung dagegen gleich bleiben.
2. **Voltstundenzähler**, wenn sich Spannung und Zeit ändern, der Strom dagegen unveränderlich bleibt.
3. **Amperestundenzähler**, wenn sich Strom und Zeit ändern, die Spannung dagegen gleich bleibt.
4. **Wattstundenzähler**, wenn sich Spannung, Strom und Zeit ändern.

Nach dem Leitungssystem, in dem ein Zähler Verwendung finden soll, unterscheidet man folgende Arten:

	Gleichstrom-Zweileiter-Zähler	
	„ Dreileiter- „	
Einphasenwechselstrom-Zweileiter-	„	
„ Dreileiter-	„	
Drehstrom-Dreileiter-	„	
„ Vierleiter-	„	

Niederspannungs- und Hochspannungszähler unterscheiden sich dadurch, daß erstere ohne weiteres eingeschaltet werden dürfen, während letztere in Wechselstromkreisen nur über Strom- und Spannungswandler, die auch Strom- und Spannungstransformatoren oder **Meßtransformatoren** (S. 97) genannt werden, anzuschließen sind. Andere Zählerbezeichnungen, die sich auf einen bestimmten Verwendungszweck beziehen, sind noch: Akkumulatoren-, Doppeltarif-, Pauschal-, Preis-, Rabatt-, Straßenbahnwagen- und Spitzenzähler, Zählerautomaten usw.

Motor-Zähler.

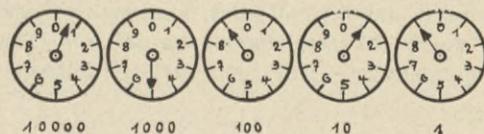
Alle Motorzähler sind nach dem elektrodynamischen Prinzip (S. 62) konstruiert; sie gleichen deshalb einem Elektromotor, dessen Anker über einen Kollektor, Bürsten und Vorschalt-Widerstände dauernd an die jeweilige Betriebsspannung gelegt wird. Der Stromverbrauch des Ankers beträgt 15 bis 25 mA, die Bürstenspannung 6 bis 12 Volt. Die Feldspulen sind mit dem Verbrauchsapparat in Serie geschaltet, weshalb auch

der Querschnitt ihrer Wicklung der Betriebsstromstärke entsprechend gewählt werden muß. Anker und Feld sind bei den meisten Konstruktionen eisenfrei ausgeführt. Die Umdrehungen des Ankers werden auf ein Zählwerk übertragen, wobei sich ergibt, daß jeder Zähler für 1 kWh eine bestimmte Anzahl Ankerumdrehungen besitzt. Um das Uebersetzungsverhältnis von Anker auf Zählwerk zu bestimmen, muß man die Ankerumdrehungen zählen, die notwendig sind, damit sich der Zeiger, der sich auf dem Zählwerk am schnellsten dreht, genau 1 Teilstrich oder 1 Abschnitt vorwärts bewegt. Aus der Zähleraufschrift ist dann ersichtlich, wieviel kWh, Wattstunden, Amperestunden usw. verbraucht sind, wenn sich das Zählwerk um 1 Abschnitt des kleinsten Meßbereiches vorwärts bewegt hat. Mit diesem Wert berechnet man sich die für 1 kWh notwendigen Ankerumdrehungen. Z. B.: Auf dem Zifferblatt, das die $\frac{1}{100}$ kWh angibt, wurden zur Vorwärtsbewegung des Zeigers um 1 Teilstrich 63 Ankerumdrehungen gezählt; demnach sind für 1 kWh = $63 \cdot 100 = 6300$ Ankerumdrehungen notwendig. Um einen möglichst genauen Wert zu erhalten, sind 8 bis 10 Messungen mit verschiedenen Belastungen durchzuführen; als Endresultat ist der Mittelwert aus den einzelnen Messungen einzusetzen.

Wir bezeichnen die Umdrehungszahl, die der Zähler für 1 kWh haben soll, mit U_s (Sollwert), mit U_h dagegen die Umdrehungszahl, die der Zähler wirklich hat (Habenwert).

Der Sollwert der Ankerumdrehungen ist bei modernen Zählern auf dem Zählerschild angegeben, oder aus dem angegebenen Uebersetzungsverhältnis zu berechnen; bei älteren Typen findet man oft recht umständliche Bezeichnungen, die immer erst eine besondere Berechnung von U_s nötig machen.

Das Zählwerk eines Elektrizitätszählers kann mit Zeigern oder springenden Ziffern ausgerüstet sein; während im letzteren Falle die Ablesung keine Schwierigkeiten macht, kann bei der Zeigerablesung leicht ein Ablesefehler unterlaufen. Empfehlenswert ist es, die Ablesung an dem Zifferblatt zu beginnen, dessen Zeiger sich am schnellsten dreht, und die anderen Ziffern dann nach links anzureihen. Steht ein Zeiger



Zeichnung 27

auf einem vollen Teilstrich, so ergibt sich aus der Stellung des Zeigers, der die Ziffer der nächst niedrigen Stelle anzeigt, ob der erstere Zeiger als auf, unmittelbar vor oder kurz hinter der betreffenden Ziffer stehend anzusehen ist. In Z. 27 sind demnach 04909 kWh abzulesen; wäre 05919 der richtige Wert, dann müßten der Zehner-Zeiger in der Nähe von 2 und der Tausender-Zeiger bei 6 stehen.

Zähler-Aufschriften.

a) 1 kWh = 5600 Ankerumdrehungen; hierbei ist:

$$U_s = 5600 \quad \text{U/kWh} \quad (46)$$

b) Bei 3300 Watt = 67,1 Ankerumdrehungen pro Minute; hierbei ist:

$$U_s = \frac{60000 \cdot \text{Ankerumdrehungen in 1 Minute}}{\text{Angegebene Wattzahl}} \quad \text{U/kWh}$$

c) 1 Ankerumdrehung = 1200 Wattsekunden (Joule); hierbei ist:

$$U_s = \frac{3600000 \cdot \text{Ankerumdrehungen}}{\text{Angegebene Wattsekunden}} \quad \text{U/kWh} \quad (47)$$

d) 1 Ankerumdrehung = 0,25 Wattstunden; hierbei ist:

$$U_s = \frac{1000 \cdot \text{Ankerumdrehungen}}{\text{Angegebene Wattstunden}} \quad \text{U/kWh} \quad (48)$$

e) 1 Einheit = 0,1 Amperestunden, E = 108 Volt; hierbei ist:

$$U_s = \frac{n \cdot 1000}{Ah \cdot E} \quad \text{U/kWh} \quad (49)$$

In dieser Formel bezeichnet n = Zahl der Ankerumdrehungen, die notwendig sind, damit sich der Zeiger auf der kleinsten Einheit um 1 Teilstrich vorwärts bewegt, E = die auf dem Zähler angegebene Spannung, Ah = angegebene Amperestunden.

Eichung eines Motorzählers.

Bevor ein Zähler in Betrieb genommen wird, ist derselbe zu **eichen**, d. h. es ist festzustellen, ob sein Habenwert mit dem Sollwert übereinstimmt. Ist der Zähler in Betrieb genommen, so soll er jährlich einmal beim Konsumenten nachgeprüft und reguliert werden. Da die Zählerangaben niemals ganz zuverlässig sind, so ist es erlaubt, den Zähler in Betrieb zu setzen, wenn seine Meßfehler die gesetzlich festgelegten und in folgender Tabelle angegebenen Werte nicht übersteigen.

Gesetzliche Verkehrsfehlergrenzen für Gleichstrom-, Einphasenstrom- und Drehstromzähler.

Die Abweichung der Zählerangaben von dem wirklichen Verbrauche darf die in folgender Tabelle angegebenen Werte, die in % der Belastung ausgedrückt sind, nach oben oder unten erreichen:

cos φ	Voll- last	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	4%
1	6,60%	6,67%	6,75%	6,86%	6,99%	7,20%	7,50%	7,99%	9,00%	12,00%	50,00%
0,9		7,61	7,70	7,82	7,94	8,15	8,45	8,94	9,95	12,95	50,95
0,8			8,26	8,37	8,50	8,71	9,01	9,50	10,51	13,51	51,51
0,7				8,93	9,06	9,27	9,57	10,06	11,07	14,07	52,07
0,6					9,64	9,84	10,15	10,64	11,65	14,65	52,65
0,5						10,66	10,93	11,45	12,46	15,46	53,46
0,4							11,99	12,48	13,49	16,49	54,49
0,3								14,53	15,54	18,54	56,54
0,2									18,41	21,41	59,41
0,1										31,03	69,03

Der Leerlauf eines Zählers nach vorwärts oder rückwärts darf nicht mehr als $\frac{1}{2}\%$ der auf dem Zählerschild angegebenen Leistung betragen.

Bei der Eichung führt man mehrere Messungen mit verschiedenen Belastungen durch, die von einem kleinsten bis zum größten Wert reichen müssen. Für jede Belastung wählt man eine bestimmte Drehzahl des Ankers, die für den kleinsten Wert z. B. zu 10 oder mehr angenommen werden kann und sich dann für jede nächste höhere Belastung um 10 bis 50 Umdrehungen erhöht. Die zu den verlangten Umdrehungen verbrauchte Zeit wird mit einer Stoppuhr festgestellt. Die jeweilige elektrische Leistung wird in Gleichstromkreisen durch Einschaltung von Strom- und Spannungsmessern, in Wechselstromkreisen mittels Wattmeters gemessen; bezeichnet U_h = Habenwert des Zählers, $W = E \cdot I$ = Wattverbrauch des Zählers, t = Zeit in Sekunden für jede Belastung, n = Drehzahl des Ankers in der Zeit t , so ergibt sich:

$$(50) \quad U_h = \frac{n \cdot 3600000}{W \cdot t} \quad \text{U/kWh}$$

Mit diesem Wert wird der Sollwert U_s verglichen; ein etwaiger vorhandener Fehler F berechnet sich in % des Sollwertes aus der Formel:

$$(51) \quad F = \frac{(U_h - U_s) \cdot 100}{U_s} \quad \%$$

Wird der Fehler positiv, so läuft der Zähler zu schnell, wird er negativ, so läuft er zu langsam.

In vielen Fällen muß dem Zähler eine Eichkurve beigegeben werden, bei deren Herstellung die Fehler als Ordinaten, die Belastungen als Abszissen aufgetragen werden. Die Uebereinstimmung von U_h mit U_s wird durch eine **Zählerkonstante** K zum Ausdruck gebracht; es ergibt sich:

$$(52) \quad K = \frac{U_s}{U_h}$$

Setzt man für U_h die Werte aus Formel 50 ein, so wird die Konstante:

$$(53) \quad K = \frac{W \cdot t \cdot U_s}{3600000 \cdot n}$$

Mit K ist der vom Zähler angezeigte Wert zu multiplizieren, um den tatsächlichen Energieverbrauch zu erhalten; wird K größer als 1, so läuft der Zähler zu langsam, wird K dagegen kleiner als 1, so läuft er zu schnell.

Eichung eines kWh anzeigenden Amperestunden-Zählers.

Aus Z. 28 ist ersichtlich, daß die Einschaltung eines Amperestundenzählers in gleicher Weise erfolgt wie die Einschaltung eines Strommessers.

Da die Drehung des Ankers von der Stromrichtung abhängig ist, muß auf polrichtigen Anschluß besonders geachtet werden.

Die Ankerwicklung des Zählers ist in der **Bremsscheibe** untergebracht, die aus Aluminium besteht und sich zwischen zwei permanenten Stahlmagneten dreht; letztere sind gleichzeitig Triebmagnete und Bremsmagnete. Die Bremswirkung wird

durch Wirbelströme (S. 73) hervorgerufen. Der Anker wird seines eigenartigen Aufbaues wegen **Scheibenanker** genannt.

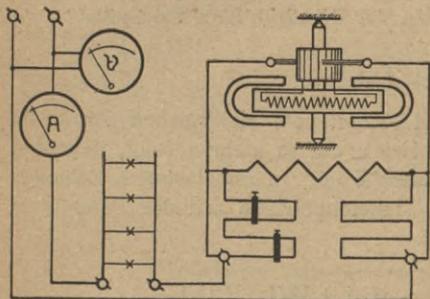
Amperestunden-Zähler werden meist unter Zugrundelegung der beim Konsumenten vorhandenen Gebrauchsspannung in kWh geeicht.

Eichung eines Kilowattstundenzählers im Zweileiter-Gleichstromkreis.

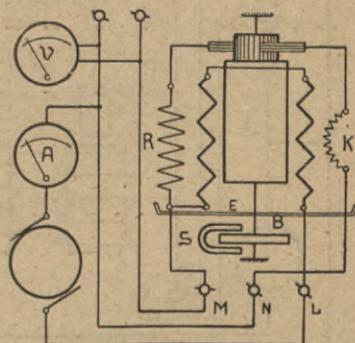
Z. 29 zeigt die Einschaltung eines kWh-Zählers, wobei darauf zu achten ist, daß die M-Klemme mit der stromliefernden Maschine und L mit den Lampen bzw. der Belastung verbunden wird.

Diese Zähler besitzen meist eisenfreie Anker, sodaß sie ohne Konstruktionsänderung in Einphasen-Wechselstromkreisen Verwendung finden können.

Durch die Anordnung der Bremsscheibe B im Felde eines permanenten Stahl-Magneten S wird erreicht, daß der Zähler möglichst gleichzeitig mit dem Abschalten der Belastung zu laufen aufhört. Dreht sich der Anker zu langsam, so sind die Bremsmagnete



Zeichnung 28



Zeichnung 29

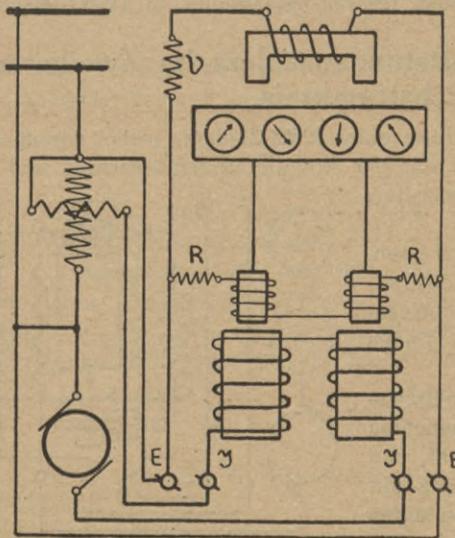
gegen den Scheiben-Mittelpunkt zu verschieben, läuft er zu schnell, so müssen sie dem Scheibenrand genähert werden, wodurch die Bremswirkung erhöht und die Drehzahl des Ankers verringert wird. Die Magnetverstellung wirkt nur bei größeren Belastungen. Zu einer Fein-Regulierung bei 5 bis 10% der Vollast verwendet man die **Kompensationsspule K**; stellt man letztere an den Anker heran, so wird die Drehzahl erhöht, während sie kleiner wird, wenn man die Spule vom Anker entfernt. Die Annäherung darf nicht zu groß sein, da sonst, besonders bei Erschütterung, leicht ein Leerlauf des Ankers eintreten könnte. In Serie mit K und dem Anker ist der Vorschaltwiderstand R geschaltet; dieser Stromzweig liegt im Nebenschluß zu der dickdrähtigen Feldspule.

Pendel-Zähler.

Hierbei werden ein oder zwei Pendel vom elektrischen Strome in der Weise beeinflusst, daß das Zählwerk um so mehr anzeigt, je größer der Stromverbrauch an der Konsumstelle ist. In unbelastetem Zustande wird das Zählwerk, das über ein Planetengetriebe mit den Pendeln in Verbindung steht, nicht fortbewegt.

Eichung eines Pendel-kWh-Zählers im Zweileiterstromkreis.

Z. 30 zeigt einen Aron-Zähler mit zwei elektrischen Pendeln; es ist ein selbsttätiger elektrischer Anzug vorhanden, der über einen regulierbaren Widerstand V parallel zu den Spannungsspulen geschaltet ist.



Zeichnung 30

Letztere liegen über R an der Betriebsspannung. Bei der Eichung ermittelt man den Wattverbrauch in bekannter Weise; besonders ist darauf zu achten, daß Strom und Spannung während der Messung möglichst unverändert gehalten werden. Die Eichung muß mindestens 40 Minuten (d. s. 4 Umschaltperioden) dauern, wobei die Instrumente jede Minute abzulesen sind. Den Berechnungen wird stets der Mittelwert zugrunde gelegt. Pendelzähler brauchen nur bei einer Belastung geeicht zu werden, da sie über ihren ganzen Meßbereich proportional messen; bezeichnet E = Spannung in

Volt, I = Strom in Ampere, W = Leistung in Watt, t = Zeit in Sekunden, so ergibt sich der Sollwert des Energieverbrauchs A_s zu:

$$A_s = \frac{E \cdot I \cdot t}{3600000} \text{ kWh} \quad (54)$$

$$A_s = \frac{W \cdot t}{3600000} \text{ kWh} \quad (55)$$

Für E , I und W sind die Mittelwerte der Messung einzusetzen. Mit dem Sollwert wird der vom Zähler angezeigte Habenwert A_h verglichen und dann die Zählerkonstante K aus folgender Formel berechnet:

$$K = \frac{A_s}{A_h} \quad (56)$$

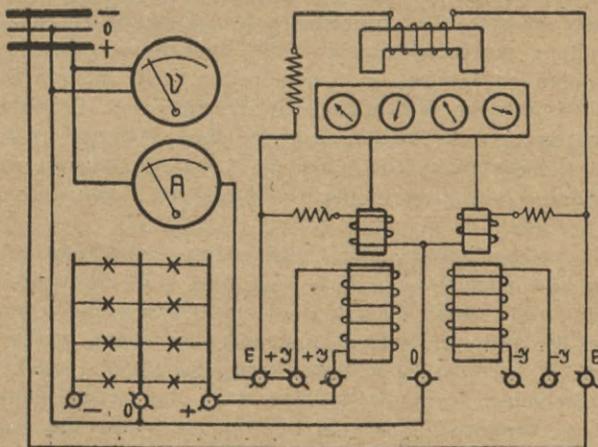
Wird die Zählerkonstante kleiner als 1, so zeigt der Zähler zu viel, ist sie dagegen größer als 1, so zeigt der Zähler zu wenig an.

Soll der Fehler F in % angegeben werden, so verwendet man die Formel:

$$F = \frac{(1 - K) \cdot 100}{K} \% \quad (57)$$

Eichung eines Pendel-kWh-Zählers im Dreileiterstromkreis.

Die Einschaltung geht aus Z. 31 hervor; es ist üblich, bei diesen Zählern jede Seite für sich zu eichen, um bei einem etwaigen Fehler



Zeichnung 31

sofort zu wissen, auf welcher Seite der Fehler zu suchen ist. Der Belastungsstrom kann nach Z. 31 nur durch die linke Stromspule fließen. Die Pendel sind an beide Außenleiter und den Mittelleiter, der Aufzug dagegen nur an die Außenleiter anzuschließen. Bei der Eichung verfährt man folgendermaßen: Die Beobachtung am $\frac{1}{10}$ Zifferblatt ergibt z. B. die

Vorwärtsbewegung von Teilstrich 2 nach Teilstrich 9; mithin beträgt die Zählerangabe $A_h = 0,7$ kWh. Ferner ergeben sich die Mittelwerte von $I = 9$ Amp. und $E = 108$ Volt; $t = 41$ Minuten 40 Sekunden. Der Sollwert des Energieverbrauches berechnet sich nach Formel 54 zu:

$$A_s = \frac{E \cdot I \cdot t}{3600000} = \frac{108 \cdot 9 \cdot 2500}{3600000} = 0,675 \text{ kWh}$$

Die Zählerkonstante ergibt sich zu: $K = \frac{A_s}{A_h} = \frac{0,675}{0,7} = 0,965$

Die auf Seite 26 erwähnte Sparschaltung findet auch beim Zähler-eichen Anwendung.

Maschinen-Leistung.

Zur Bestimmung der mechanischen Leistung ist es notwendig, die mechanische Arbeit zu kennen, die vollbracht werden soll. Da sich die mechanische Arbeit als das Produkt aus Weg mal Kraft ergibt, so mißt man sie in **Meterkilogramm** (mkg). Es ist streng darauf zu achten, daß bei allen Arbeitsberechnungen der in Krafrichtung gemessene Weg in m und die Kraft in kg eingesetzt werden; bezeichnet $A_m =$ mechanische Arbeit in mkg, $m =$ Weg in Meter, $P =$ Kraft in kg, so ergibt sich:

$$(58) \quad \boxed{A_m = m \cdot P} \text{ mkg} \quad \boxed{P = \frac{A_m}{m}} \text{ kg} \quad \boxed{m = \frac{A_m}{P}} \text{ m}$$

Wird die mechanische Arbeit in einer bestimmten Zeit vollbracht, so hat man es mit einer mechanischen Leistung zu tun. Als sich nach Erfindung der Dampfmaschine das Bedürfnis ergab, die Leistung von Maschinen zu messen und zu bewerten, griff man in England zu dem unvollkommenen Hilfsmittel, die Leistung mit derjenigen einer bestimmten Anzahl von Pferden zu vergleichen. Daraus ergab sich die Pferdekraft (Horse-Power, HP). Da die Leistungsfähigkeit der Pferde aber natürlich wechselt, so mußte die Pferdekraft durch feste Einheiten definiert werden.

Dies geschah, indem man 1 Pferdekraft = Leistung beim Heben von 550 Pfund (engl.) auf 1 Fuß (engl.) in einer Sekunde festsetzte. Die gleiche Größe wurde auch in anderen Ländern angenommen, aber nach deren Maßsystemen umgerechnet und abgerundet; in Preußen z. B. wurde sie als Leistung beim Heben von 480 Pfund (preuß.) in einer Sekunde festgelegt. An Stelle der dem Englischen entnommenen Bezeichnung Pferdekraft wurde in Deutschland später die Bezeichnung **Pferde-Stärke** (PS) gewählt, die auch richtiger ist, da es sich ja um eine Leistung und nicht um eine Kraft handelt.

Die Einführung des metrischen Maß- und Gewichtssystems wäre vielleicht der gegebene Anlaß gewesen, mit der willkürlichen Pferde-Stärke zu brechen. Man behielt jedoch die inzwischen gebräuchlich gewordene Größe bei und rechnete sie nur auf die neuen Maße um; es ergab sich:

$$1 \text{ PS} = \text{die Leistung von } 75 \text{ mkg in } 1 \text{ Sekunde} \quad (59)$$

Unabhängig von dieser Entwicklung schuf die Elektrotechnik neue, auf wissenschaftlicher Grundlage aufgebaute Maßeinheiten. Sie nahm als Leistungseinheit das Kilowatt an. Der Zusammenhang zwischen mechanischer und elektrischer Leistung ergibt sich aus folgender Darstellung. Nach dem sog. Jouschen Gesetz ist die Arbeit von 1 Wattstunde gleich einer Wärmemenge von 0,24 Grammkalorien; da 1 Grammkalorie gleichbedeutend ist mit einer Arbeit von 0,427 mkg, so ist:

$$1 \text{ Wattsekunde} = 0,102 \text{ mkg} \quad (60)$$

Aus vorstehender Gleichung ergibt sich die elektrische Leistung für 1 Sekunde zu 1 Watt; gleichzeitig erhält man die mechanische Leistung in PS, wenn man 0,102 mit 75 dividiert.

Es ergibt sich also:

$$1 \text{ Watt} = 0,00136 \text{ PS} \quad (61)$$

Hieraus berechnet man:

$$1 \text{ PS} = 736 \text{ Watt} = 0,736 \text{ kW} \quad (62)$$

Diese Umrechnung entfällt sofort, wenn man sich dazu entschließt, eine der beiden Leistungseinheiten fallen zu lassen. Es war nach langen Verhandlungen zwischen maßgebenden wissenschaftlichen und technischen Verbänden des In- und Auslandes die internationale Abmachung zustande gekommen, daß vom 1. Juli 1914 an als Einheit der mechanischen Leistung nur noch das Kilowatt zu gelten hat. Der Weltkrieg hat bis jetzt eine allgemeine Einführung des kW für die mechanische Leistung verhindert; deshalb wird auch in diesem Buche noch das PS verwendet.

Der Wirkungsgrad.

Bei allen Leistungsberechnungen ist der **Wirkungsgrad** η zu berücksichtigen; derselbe gibt an, wieviel % der in eine Maschine oder in einen Apparat hineingeschickten Energie wieder herausgeholt werden können. Der Wirkungsgrad der Maschinen und Apparate ist abhängig von der Konstruktion derselben und von den äußeren Verhältnissen, unter denen sie zu arbeiten haben; er kann höchstens 100 % sein, dann ist $\eta = 1$; praktisch läßt sich dieser Wert nie erreichen.

Für Berechnungen merke man:

$$\begin{aligned} \text{Wirkungsgrad } 100 \text{ } \%, \eta &= 1 \\ \text{„ } 90 \text{ } \%, \text{ „} &= 0,9 \\ \text{„ } 27,5 \text{ } \%, \text{ „} &= 0,275 \text{ usw.} \end{aligned}$$

Es sei für den Wirkungsgrad einer elektrischen Maschine oder eines elektrischen Apparates das Formelzeichen η_e gewählt, während für alle übrigen Fälle η_m zu setzen ist.

Je nach der Art der Aufgabe ist die theoretische Leistung N_t mit dem Wirkungsgrad zu multiplizieren oder zu dividieren; ergibt z. B. die Berechnung einer Dampfmaschine eine theoretische Leistung von 10 PS, und es ist infolge der auftretenden Verluste ihr Wirkungs-

grad $\eta_m = 70\%$, so erhält man die wirklich brauchbare oder effektive Leistung N , wenn man N_t mit dem Wirkungsgrad multipliziert. Es ergibt sich:

$$(63) \quad N = N_t \cdot \eta_m \quad \text{PS}$$

$$(64) \quad N = N_t \cdot \eta_m \cdot 0,736 \quad \text{kW}$$

Ist dagegen der Antriebsmotor für irgend eine Arbeitsmaschine zu berechnen, so ist zu berücksichtigen, daß ihr Wirkungsgrad auch eine Verringerung ihrer Leistung zur Folge hat. Es ist deshalb die wirklich notwendige oder effektive Leistung N des Antriebsmotors so groß zu wählen, daß die Verluste wieder gedeckt werden. In diesem Fall ist dann die theoretische Leistung durch η_m zu dividieren. Je nachdem für eine mechanische Arbeit die Zeit t in Sekunden, Minuten oder Stunden gegeben ist, gilt Formel 65, 66 oder 67:

$$(65) \quad N = \frac{m \cdot P \cdot 0,736}{t \cdot 75 \cdot \eta_m} \quad \text{kW}$$

$$(66) \quad N = \frac{m \cdot P \cdot 0,736}{t \cdot 4500 \cdot \eta_m} \quad \text{kW}$$

$$(67) \quad N = \frac{m \cdot P \cdot 0,736}{t \cdot 270000 \cdot \eta_m} \quad \text{kW}$$

In vorstehenden Formeln erhält man die Leistung in PS, wenn man 0,736 fortläßt.

Von elektrischen Maschinen besitzen große Transformatoren (ruhende Umformer) den größten Wirkungsgrad mit etwa 97%. Je kleiner die Leistung einer Maschine ist, desto geringer ist ihr Wirkungsgrad, z. B. besitzt ein Elektromotor von $\frac{1}{100}$ PS einen Wirkungsgrad von etwa 35%.

Unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades sind aber auch einem Elektromotor stets mehr Watt zuzuführen, als theoretisch notwendig wäre; bezeichnet N = die vom Motor verlangte wirkliche Leistung in PS, W = die bei Vollast vom Motor aufgenommenen Watt, η_e = Wirkungsgrad des Motors, so ergibt sich:

$$(68) \quad W = \frac{N \cdot 736}{\eta_e} \quad \text{Watt}$$

Diese Formel gilt für Gleichstrom-, Einphasenstrom- und Drehstrommotoren; soll der Wirkungsgrad oder die mechanische Leistung ermittelt werden, so gelten die Formeln:

$$\eta_e = \frac{N \cdot 736}{W}$$

$$N = \frac{W \cdot \eta_e}{736} \quad \text{PS}$$

Ist N in kW gegeben, so gilt für W :

$$(69) \quad W = \frac{N \cdot 1000}{\eta_e} \quad \text{Watt}$$

Soll dagegen die effektive Leistung N der Arbeitsmaschine eines Stromerzeugers bestimmt werden, so ergibt sich unter Berücksichtigung des Generatorwirkungsgrades η_e für Gleich- und Wechselstrommaschinen:

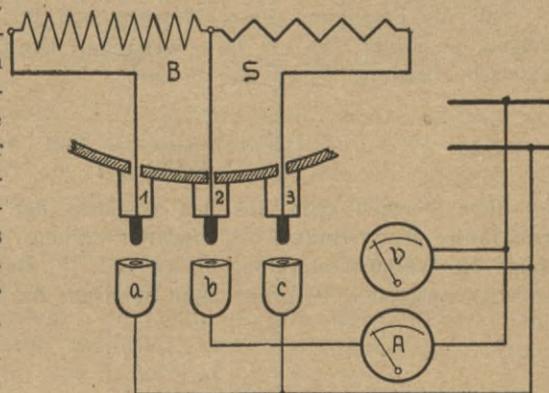
$$(70) \quad N = \frac{W}{736 \cdot \eta_e} \quad \text{PS}$$

Wärmewirkung des elektrischen Stromes.

Elektrizität wird in Wärme umgeformt, wenn ein Leiter vom Strom durchflossen wird. Während man beim Leitungsrechnen eine zu große Erwärmung durch Wahl entsprechender Querschnitte verhindern will, sucht man für Koch- und Heizzwecke möglichst viel Wärme durch den elektrischen Strom zu erzeugen. Beim elektrischen **Kochen** unterscheidet man zwei verschiedene Systeme, nämlich: Das Kochen mit Heizplatten und das Kochen in direkt geheizten Töpfen. Im ersten Falle lassen sich die gewöhnlichen Kochgeschirre verwenden, sofern sie einen glatten Boden besitzen. Allerdings ist das Kochen hierbei ziemlich unwirtschaftlich, da zu viel Wärme an die Luft abgegeben wird.

Viel wirtschaftlicher ist dagegen das Kochen mit direkt geheizten Apparaten, besonders wenn dieselben eine Regulierung des Stromverbrauches zulassen.

Letzteres wird in einfacher Weise durch Anordnung von 2 Heizelementen erreicht, die am Boden oder an der Seitenwand des Gefäßes angebracht werden. In Z. 32 ist das Prinzip der Stromregulierung gezeigt. Der Widerstand der Bodenheizung B ist in diesem Falle größer als der des Seitenelements S. Die Stromzuführung erfolgt



Zeichnung 32

über 3 Stöpsel a, b, c, von denen a und c an einen Pol des Netzanschlusses geschaltet sind, während b an den anderen Pol gelegt ist. Zum **Anheizen** wird a an 1, b an 2 und c an 3 angeschlossen; diese volle Stromstärke liefert sehr starke Hitze und bleibt so lange eingeschaltet, bis die Speisen zu kochen beginnen; zum **Garkochen** wird nur mehr ein Teil des ursprünglichen Stromes notwendig sein, dessen Größe sich in folgender Weise nach der geforderten Wärmemenge regulieren läßt:

Starke Hitze b an 2, c an 3

Mäßige „ a an 1, b an 2

Warmhalten a oder c an 1, b an 3 und umgekehrt.

Die Vorteile des elektrischen Kochens sind: Kein Feuer, keine Flammen, kein Ruß, keine Luftverschlechterung, schnelle Betriebsbereitschaft, sofortige Wärmeabgabe, einfache Regulierung, keine Explosions- und Vergiftungsgefahr und hoher Wirkungsgrad.

Bei direkt geheizten Kochtöpfen rechnet man im Durchschnitt mit einem Wirkungsgrad von 85–90%.

Wirkungsgrad-Bestimmung bei einem elektrischen Kochtopf.

Dieser Versuch (Z. 32) wird am besten mit der Flüssigkeitsmenge durchgeführt, für die der Apparat gebaut ist; man verwendet reines Wasser, wobei zu bemerken ist, daß zur Erwärmung von 1 Gramm Wasser um 1° Celsius eine Wärmemenge von 1 **Grammkalorie** (gcal) notwendig ist.

Die theoretische Wärmemenge Q_t , die man benötigt, um eine Flüssigkeitsmenge im Gewichte von G Gramm von einer Anfangstemperatur T_a auf eine Endtemperatur T_e zu erwärmen, ergibt sich zu:

$$(71) \quad Q_t = G \cdot (T_e - T_a) \quad \text{gcal}$$

Soll die Erzeugung dieser Wärmemenge in der Zeit t Sekunden erfolgen, so ergibt sich die für diesen Fall theoretisch notwendige elektrische Leistung W_t aus der Formel:

$$(72) \quad W_t = \frac{Q_t}{0,24 \cdot t} \quad \text{Watt}$$

Beim Versuch muß aus den Angaben der Meßinstrumente der praktische Wattverbrauch W_p ermittelt werden. Dabei zeigt sich, daß infolge der Wärmeausstrahlung an die Luft W_p stets größer ist als W_t ; den Wirkungsgrad η_e berechnet man dann aus der Formel:

$$(73) \quad \eta_e = \frac{W_t}{W_p}$$

Die Zeit ermittelt man wieder mittels Stoppuhr, die Temperatur mit einem Thermometer, das in den durchbohrten Deckel des Versuchstopfes eingepaßt ist.

Bei der **Raumheizung** wird die in Wärme umgesetzte elektrische Energie fast verlustlos ausgenutzt. Ein weiterer Vorteil ist der Umstand, daß die Wärme durch den elektrischen Ofen stets dort entwickelt werden kann, wo sie gerade verlangt wird.

Die schnellste Heizwirkung erreicht man mit solchen Oefen, deren Heizelemente möglichst offen liegen. Bei der Auswahl des Ofens für ein Wohnzimmer ist zu beachten, daß man für sog. Uebergangsheizung einen Verbrauch von etwa 30 Watt pro Kubikmeter anzunehmen hat. Ferner hat man sich zu überzeugen, ob die vorhandene Sicherung den Anschluß des Ofens an die Steckkontakte zuläßt.

Zu Heizzwecken wird der elektrische Strom noch verwendet bei Brennscheren, Heiß- und Warmluftapparaten, Heizteppichen, Leimkochern, LötKolben, Plättisen, Zigarrenanzündern und anderen technischen und medizinischen Apparaten.

Die Wärmewirkung des elektrischen Stromes findet ferner Anwendung bei der elektrischen Beleuchtung durch Glühlicht, Bogenlicht und leuchtende Dämpfe, beim elektrischen Schweißen, in der Elektro-Stahl-Industrie, bei verschiedenen Schaltapparaten der Stark- und Schwachstrom-Technik, z. B. den Blinkschaltern und automatischen Feuermeldern, bei Sicherungen usw.

Elektrische Sicherungen.

Um in elektrischen Verteilungsanlagen eine zu große Erwärmung der Leitungen zu verhindern, baut man Sicherungen ein, bei denen die Wärmewirkung des elektrischen Stromes in der Weise verwendet wird, daß bei Ueberlastungen oder Kurzschlüssen der Stromweg durch Schmelzen eines Metallstreifens unterbrochen wird. Die Größe der Sicherung ist für jeden Normalquerschnitt aus den Belastungstabellen (S. 104) zu wählen, sofern nicht eine kleinere Sicherung für den angeschlossenen Stromverbraucher verwendet werden muß. In Niederspannungskreisen verwendet man: **Blatt-, Lamellen-, Patronen-, Röhren-, Stöpsel- und Streifen-Sicherungen.**

Eine gute Sicherung soll unverwechselbar sein in Bezug auf Strom und Spannung. Das Sicherungsmaterial darf wenig explosibel sein; deshalb ist Silber dem Blei vorzuziehen. Das Abschmelzen der Streifen soll in einem geschlossenen Raume erfolgen, der möglichst wenig Luft enthält, oder aber es muß der erwärmten Luft der Abzug ermöglicht werden, z. B. durch offene Röhren. Es muß deutlich zu erkennen sein, in welchem Zustande sich die Sicherung befindet (Kennplättchen oder Kennstreifen). Die Größe der Sicherung soll leicht festzustellen sein, z. B. durch gefärbte Kennplättchen oder Paßschrauben; das Auswechseln muß in einfacher Weise erfolgen können.

Man unterscheidet bei Sicherungen zwischen **Nennstromstärke** und **Grenzstromstärke**; nach der ersteren werden alle Sicherungen bezeichnet. Dabei ist zu merken, daß jede Sicherung bis zu 25% über die Nennstromstärke dauernd belastet werden kann. Der Grenzstrom ist diejenige Stromstärke, bei der die Sicherung nach unendlich langer Zeit durchschmelzen würde; um hierbei zu einem praktisch brauchbaren Wert zu kommen, hat der VDE für jede Sicherung einen kleinsten und einen größten Prüfstromwert festgesetzt.

Nach den Verbandsvorschriften sind Sicherungen überall dort anzubringen, wo sich der Leitungsquerschnitt — nach der Verbrauchsstelle hin — vermindert. Lichtstromkreise in Hausinstallationen sollen höchstens mit 6 Amp. gesichert werden. Stromkreise, in denen hochkerzige Glühlampen von einer Leitung gleichen Querschnittes parallel abgezweigt werden, dürfen eine gemeinsame, dem Querschnitt entsprechende Sicherung bis höchstens 15 Amp. erhalten.

Mittel- oder Nulleiter dürfen nicht gesichert werden; zweigen dagegen isolierte Leitungen, die Teile eines Zweileitersystems sind, vom Nulleiter ab, dann dürfen sie gesichert, aber nicht mehr zur Schutzerdung benutzt werden. Wird ein solches System nur einpolig

gesichert, so sollen die Abzweigungen vom Mittelleiter besonders gekennzeichnet werden.

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß reparierte Sicherungsstöpsel oder Patronen nach den Vorschriften des VDE nicht verwendet werden sollen.

Thermoelektrizität.

Wie es möglich ist, durch Elektrizität Wärme zu erzeugen, so ist es auch möglich, Wärme in Elektrizität umzuformen. Die für diesen Zweck gebräuchlichen Apparate sind die **Thermoelemente** bezw. **Pyrometer**; sie enthalten 2 Drähte oder Bänder, die aus verschiedenen Metallen bestehen und an einem Ende miteinander verlötet sein müssen. Erwärmt man nun die Lötstelle, während die beiden anderen Enden kühl gehalten werden, so wird eine EMK erzeugt, deren Größe von der Temperatur der Lötstelle abhängig ist; schaltet man gleichzeitig in den Stromkreis der beiden Metalle ein Galvanometer, so wird der in dem System fließende Strom einen Zeigerausschlag hervorrufen. Da die Ablenkung dem Strom bezw. der EMK proportional ist, letztere aber von der Temperatur der Lötstelle abhängt, so läßt sich aus der Größe des Zeigerausschlages die Temperatur der Lötstelle feststellen; deshalb wird die Skala des Instruments gleich in ° Celsius geeicht. Pyrometer verwendet man zur Temperaturmessung von -190 bis $+1600$ ° C.*) Zu anderen technischen Zwecken kann man die Thermoelektrizität nicht verwenden, da sich nur ganz geringe Spannungen bezw. Ströme erzeugen lassen.

Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes.

Der elektrische Strom hat die Eigenschaft, den in einer sog. Zersetzungszelle befindlichen Elektrolyten zu zersetzen, d. h. aus einer Säure oder einer Lösung von Metallsalzen gewisse Bestandteile auszuscheiden; diese Erscheinung wird nun praktisch in verschiedener Weise ausgenutzt.

In der **Galvanoplastik** z. B. werden irgendwelche Gegenstände in Metall abgeformt, wobei nichtleitende Körper durch Einreiben mit Graphit leitend gemacht werden. Der abzuformende Gegenstand wird mit dem Minuspol der Stromquelle verbunden und in die Metallsalzlösung eingehängt.

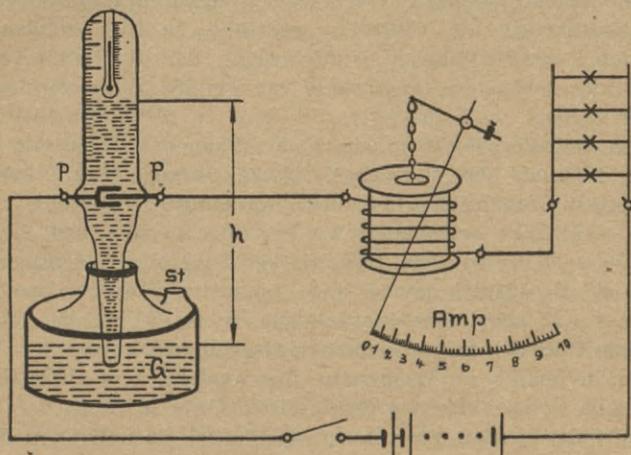
Sollen dagegen metallische Körper nur mit einem Metallüberzug versehen werden (Vernickeln, Vergolden usw.), so bezeichnet man dies als **Metallplattierung** oder **Galvanostegie**.

Bei dem früher erwähnten Polreagenzpapier wird ebenfalls durch die chemische Wirkung des Stromes die Stromrichtung festgestellt; hierbei wird weißes Fließpapier mit einer Mischung von schwefelsaurem

* Siehe auch: Gruber, Schwachstromtechnik.

Kalium und Phenolphthalein getränkt und getrocknet. Beim Gebrauch drückt man die beiden Stromdrähte auf das mit Wasser angefeuchtete Papier; infolgedessen wandert das Kalium als Metall vom Pluspol zum Minuspol und verbindet sich dort mit dem Wasser zu Kalilauge. Da sich aber das Phenolphthalein in der Kalilauge rot färbend löst, so wird auch das Polreagenzpapier unter dem Minuspol rot gefärbt.

Die Eichung eines Strommessers kann ebenfalls mit Hilfe einer Zersetzungszelle durchgeführt werden; die hierzu dienenden Apparate werden als **Voltmeter** bezeichnet. Die Stromzuführung erfolgt über die **Elektroden**, d. s. die in der Flüssigkeit angeordneten Metallstücke.



Zeichnung 33

Diejenige Elektrode des Apparates, die an den Pluspol angeschlossen wird, heißt **Anode**, die andere, an den Minuspol angeschlossene, **Kathode**. Beim Stromdurchgang wird die im Voltmeter befindliche Flüssigkeit zersetzt, und die einzelnen Bestandteile wandern an die Elektroden; man nennt daher diese Bestandteile auch **Ionen**. Da die Metalle und der Wasserstoff in Richtung des elektrischen Stromes zur Kathode wandern, so heißt man ihre Ionen **Kationen**, während die Nichtmetalle, wie Brom, Chlor, Fluor, Jod, gegen die Stromrichtung zur Anode wandern und **Anionen** genannt werden. Zur Eichung verwendet man **Silber-, Kupfer- und Knallgas-Voltmeter**.

Beim Silbervoltmeter dient ein Platintiegel, der mit 20–40 prozentiger Silbernitrat-(Höllenstein)-Lösung gefüllt ist, als Kathode, während die Anode aus einem Silberstab besteht.

Das Kupfervoltmeter enthält als Elektrolyt eine etwa 30 prozentige Kupfervitriollösung, während als Elektroden zwei Kupferplatten Verwendung finden.

Die Größe des Versuchsstromes wird nach bestimmten Formeln aus den an der Kathode abgeschiedenen Metallmengen ermittelt. Da

nur ganz geringe Mengen zu wiegen sind, müssen hochempfindliche Wagen vorhanden sein, die solche Einrichtungen wesentlich verteuern.

Am einfachsten gestaltet sich die Eichung mit einem Knallgasvoltmeter, das nach Z. 33 in den Stromkreis geschaltet wird.

Amperemeter-Eichung mit einem Knallgasvoltmeter.

Das Voltmeter besteht aus einem weiten Glasgefäß, in das ein in cm^3 geeichter Glaszylinder eingeschliffen ist; in letzterem befindet sich ein Thermometer, um die Temperatur des Wasserdampfes im Knallgas feststellen zu können. Aus dem Gefäß wird die aus 20% Schwefelsäure bestehende Flüssigkeit vor Versuchsbeginn durch Stürzen des ganzen Apparates in die Glasröhre gebracht; in ihr befinden sich 2 Elektroden P aus Platinblech so angeordnet, daß die gerade von der hufeisenförmig gebogenen im Abstand von einigen Millimetern umfaßt wird. Der Apparat wird in Serie mit dem zu eichenden Instrument über einen Regulierwiderstand an eine Akkumulatorenbatterie angeschlossen. Während des Versuches, dessen Anfang bzw. Ende nur mittels Stoppuhr festzustellen ist, muß die einmal eingestellte Stromstärke unverändert beibehalten werden. Rechnerisch läßt sich die bei dem Versuch verwendete Stromstärke für eine Wassertemperatur von etwa 20°C ziemlich genau nach folgenden Formeln berechnen. Bezeichnet $V_a =$ abgelesenes Gasvolumen in cm^3 , $V_r =$ das auf 0°C und 760 mm Quecksilbersäule reduzierte Gasvolumen in cm^3 , $B =$ Barometerstand in mm, $T =$ Temperatur des Knallgases in Grad Celsius, $I =$ die beim Versuch festzustellende Stromstärke in Amp., $h =$ Höhe der Wassersäule in mm, gerechnet vom Spiegel im unteren Gefäß bis zum Spiegel in der Glasröhre, $t =$ Dauer der Knallgasentwicklung in Sekunden, so ergibt sich:

$$(74) \quad I = \frac{V_r}{t \cdot 0,174} \text{ Amp.}$$

(75)

$$V_r = \frac{V_a \cdot [B - (0,0838 \cdot h)]}{760 \cdot [1 + (0,00367 \cdot T)]} \text{ cm}^3$$

Da es notwendig ist, die zu eichenden Instrumente auf eine größere Anzahl Punkte durchzueichen, so hat man mehrere Messungen auszuführen. Besonders ist darauf zu achten, daß die Knallgasentwicklung niemals so weit durchgeführt wird, daß der Flüssigkeitsspiegel in der Glasröhre unter die Platinelektroden sinkt. Um ein Zusammendrücken der Luft im Glasgefäß G zu verhindern, muß bei Versuchsbeginn der Stöpsel St herausgenommen werden.

Alle Voltmeter können nur zur Strommessung in Gleichstromkreisen Verwendung finden.

Polarisation.

Zwei in Schwefelsäure getauchte Bleiplatten werden an den in der Säure befindlichen Flächen zu schwefelsaurem Blei (Bleisulfat) umgewandelt; durch den elektrischen Strom kann man nun aus diesen Bleiplatten positive und negative Pole machen. Zu diesem Zweck schaltet man eine aus mindestens zwei Bleiplatten bestehende Zelle an

eine Stromquelle; der nun auftretende Strom heißt **Ladestrom**; er fließt vom + Pol der Batterie über die Elektroden und, um eine zu große Stromstärke zu verhindern, über einen Widerstand zum — Pol zurück.

Bei der hierbei eintretenden Elektrolyse wandert der ausgeschiedene Wasserstoff mit dem Strom und setzt sich an der als Kathode oder Minusplatte bezeichneten Elektrode fest, wobei er das Bleisulfat unter Bildung von Schwefelsäure zu reinem Blei reduziert. Das Kennzeichen der — Platte ist deshalb die **graue** Farbe. Der freiwerdende Sauerstoff, bezw. das Säureradikal wandert gegen die Stromrichtung zur Anode oder Plusplatte und verbindet sich dort mit dem Bleisulfat zu Bleisuperoxyd unter gleichzeitiger Bildung von Schwefelsäure. Das Kennzeichen der + Platte ist die **braune** Farbe. Auf diese Weise sind die beiden Elektroden zu + und — Polen gemacht worden, man sagt, sie sind **polarisiert**. Infolgedessen wird auch eine EMK zwischen den Polen vorhanden sein.

Je länger nun die Zelle eingeschaltet bleibt, desto mehr Wasserstoff und Sauerstoff wird an den Platten entwickelt; doch ist dieser Umformung von elektrischer Energie in chemische auch eine Grenze gesetzt, die durch die Größe der Bleiplatten gegeben ist. Unterbricht man die Stromzuführung, so zeigt sich, daß nun die Zelle imstande ist, selbst einen elektrischen Strom abzugeben, der **Polarisationsstrom** oder **Entladestrom** genannt wird. Da die Richtung des Polarisationsstromes aber dem Ladestrom entgegengesetzt ist, so wird bei der Entladung der Wasserstoff bezw. der Sauerstoff auch im entgegengesetzten Sinne ausgeschieden, d. h. an der — Platte wird Sauerstoff und an der + Platte Wasserstoff auftreten. Die Folge ist eine Vereinigung der beiden Gase zu Wasser, eine allmähliche Rückformung der beiden Polplatten zu Bleisulfat und ein allmähliches Aufhören des Entladestromes.

Akkumulatoren.

Das vorstehend erläuterte Prinzip wird bei den **Akkumulatoren** praktisch verwertet. Durch Verwendung von Akkumulatoren ist es möglich, elektrische Energie aufzuspeichern, wobei mit Gleichstrom direkt, mit Wechselstrom nur über Umformer und Gleichrichter (S. 100) geladen werden kann. Das Aufspeicherungsvermögen ist in der Hauptsache abhängig von der Plattengröße der positiven Platten; darum werden diese fast bei allen Fabrikaten als **Großoberflächen-Platten** ausgebildet, d. h. senkrecht zu den Plattenflächen sind schmale Zwischenräume angeordnet, sodaß die Säure auch die hierdurch entstehenden Rippen bespülen kann. Die negativen Platten sind meist **Masseplatten** bei denen zwischen zwei Bleigitter die sog. Masse, d. i. Bleiglätte mit besonderen Zusätzen, eingefüllt wird. Infolge dieser lockeren Anordnung der Masse wird erreicht, daß sowohl bei Ladung als auch Entladung die Platten chemisch gut durchgearbeitet werden.

Um nicht unnötig große und schmale Gefäße zu erhalten, schaltet man eine Anzahl Plus- und Minusplatten parallel, wobei negativseitig

stets 1 Platte mehr vorhanden sein muß. Die Brauchbarkeit der Akkumulatoren wird noch besonders erhöht, wenn zwischen die einzelnen Platten, an Stelle der üblichen Glasröhren präparierte Holzbrettchen eingelegt werden. Durch Anordnung dieser hölzernen Zwischenwände wird einmal eine Berührung krumm gewordener oder schief eingesetzter Platten ganz verhindert, während andererseits gewisse Substanzen, die sich aus den Brettern auslaugen, auf den negativseitig entstehenden Bleischwamm, der allmählich zusammensintert, lösend und auflockernd einwirken. Die einzelnen Bleiplatten werden über kräftige Bleischienen polrichtig miteinander verlötet.

Zum Füllen des Akkumulators verwendet man Schwefelsäure mit einem spezifischen Gewicht von 1,18.

Die Leistungsfähigkeit, das Aufspeicherungsvermögen oder die **Kapazität** der Akkumulatoren wird in **Amperestunden (Ah)** gemessen; sie kann für ein und denselben Akkumulator verschieden groß sein, je nachdem er in längerer oder kürzerer Zeit entladen wird. Der Ladestrom dagegen bleibt für die verschiedenen Gruppen einer Type derselbe. Ein Beispiel möge dies erläutern:

Type	Gruppe	Kapazität in Ah	Entladezeit in Std.	Maximale Stromstärke bei	
				Ladung	Entladung
J 8	a	216	3	72	72
	b	240	5	72	48
	c	265	7,5	72	35,5
	d	290	10	72	29

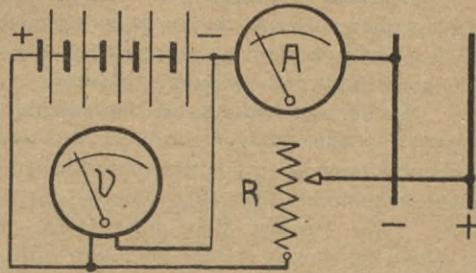
Die einzelnen Gruppen unterscheiden sich dadurch, daß sie einen von a nach d ständig sinkenden Entladestrom, dafür aber eine zunehmende Entladezeit und eine wachsende Kapazität besitzen. Deshalb ist es notwendig, um Zweideutigkeiten zu vermeiden, neben der Kapazität stets die Entladezeit mit anzugeben.

Die Spannung einer Zelle beträgt im Durchschnitt 2 Volt; sie steigt am Ende der Ladung auf 2,7 Volt, doch ist dieser Wert nur so lange vorhanden, wie der Ladestromkreis geschlossen ist. Die Entladung soll unterbrochen werden, wenn bei belastetem Stromkreis die Zellenspannung auf etwa 1,83 Volt gesunken ist.

Die Zellenzahl für eine bestimmte Spannung ergibt sich demnach, wenn man die gewünschte Spannung durch 1,83 dividiert; der in den Batterieleitungen auftretende Spannungsverlust muß durch Vergrößerung der Zellenzahl ausgeglichen werden. Um trotz der veränderlichen Zellenspannung die Betriebsspannung konstant zu halten, baut man in Zentralen zwischen Sammelschienen und Batterie **Zellenschalter** ein, durch die, je nach den Betriebsverhältnissen, zur sog. Stammbatterie Zellen zu- oder abgehaltet werden können.

Beim Laden erfolgt der Anschluß der Zellen an eine Ladespannung, die stets größer sein muß als die Batteriespannung am Ende der Ladung. Die Zellen dürfen nur über einen Widerstand geladen werden, der nach Z. 34 mit einem Amperemeter und der Batterie in Serie zu schalten ist. Auf polrichtiges Anschließen ist besonders zu achten.

Bei Verwendung von Glühlampen läßt sich der polrichtige Anschluß daran erkennen, daß die Lampen dunkler brennen als gewöhnlich, während bei polfalschem Anschluß die Lampen heller als sonst aufleuchten. Auch ist zu beachten, daß das Ein- und Ausschrauben der Lampen nur in aus-



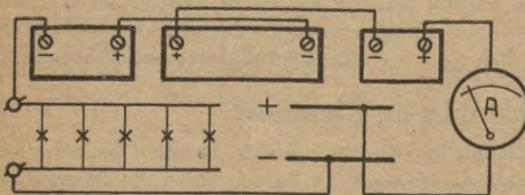
Zeichnung 34

geschaltetem Zustande erfolgen soll, um einen Kurzschluß durch Lichtbogenbildung in der Lampenfassung zu vermeiden. Die Einregulierung der Ladestromstärke erfolgt durch den Widerstand R, der entweder ein Glühlampen-, Kurbel- oder Schieberrheostat sein kann. Mit dem Voltmeter wird der Fortgang der Ladung beobachtet, wobei am Schlusse der Ladung eine Spannung gemessen werden muß, die dem Produkte aus Zellenzahl mal 2,7 gleich ist. Mit Hilfe des Amperemeters läßt sich die Ladestromstärke überwachen.

Kleinere Batterien (Automobil-, Schwachstrom-, Notbatterien usw.) werden gewöhnlich nicht durch Maschinen geladen, sondern direkt an die normalen Netzspannungen von 110 oder 220 Volt nach Z. 34 geschaltet. Wenn mehrere Batterien von kleiner Zellenzahl geladen werden, so sind diese untereinander nach Z. 35 in Serie zu schalten; hierbei ist ebenfalls darauf zu achten, daß das Produkt Gesamtzellenzahl mal 2,7 nicht größer ist als die zur Verfügung stehende Ladespannung.

Die Ladung muß so lange fortgesetzt werden, bis an den Plus- und Minusplatten starke und gleichmäßige Gasentwicklung eintritt.

Gegen Ende der Ladung hört nämlich die Umformung der Bleiplatten auf, und es findet nur noch eine Zersetzung der Säure statt;



Zeichnung 35

Wasserstoff- und Sauerstoffbläschen setzen sich auf den Bleiplatten fest, umschließen in die Luft zu entweichen; man sagt: Die Akkumulatoren gasen. Diese Erscheinung kann in schlecht gelüfteten Räumen zur

Knallgasbildung führen; deshalb darf ein Batterieraum niemals mit offenem Licht oder brennender Zigarre und dergl. betreten werden. Auch müssen alle Schalter und Steckkontakte außerhalb des Raumes angeordnet sein. Als Lichtquellen verwendet man nur Glühlampen, die in gasdichte Armaturen eingebaut sind.

Sämtliche Leitungen sind in Akkumulatoren-Räumen blank zu verlegen, sollen aber zum Schutz gegen chemische Einflüsse mit säurefestem Lack gestrichen werden; sehr gut hat sich auch das öftere Einfetten der blanken Drähte mit Zylinderöl bewährt.

Da bei der Ladung die Säuredichtung größer, bei der Entladung dagegen wieder kleiner wird, so läßt sich der jeweilige Zustand der Akkumulatoren auch aus dem spezifischen Gewicht der Säure mit Hilfe eines **Aräometers** feststellen; hierbei ist zu merken, daß die Senkwage umso mehr aus der Flüssigkeit steigt, je weiter die Ladung fortgeschritten ist und je dichter die Säure wird, dagegen umso tiefer einsinkt, je mehr entladen wird und je dünner die Säure ist; das spezifische Gewicht der Säure ist gegen Ende der Ladung etwa 1,2 und sinkt bei Entladung allmählich auf 1,17. Da die Flüssigkeit infolge Verdunstens und Gasens allmählich weniger wird, so muß der Akkumulator von Zeit zu Zeit nachgefüllt werden; für kleinere Batterien gilt die Regel: 5 mal destilliertes Wasser, das 6. Mal Säure nachfüllen. Beim Einfüllen ist darauf zu achten, daß die Flüssigkeit etwa 10 mm über den Platten steht. Durch Bedecken der einzelnen Gefäße mit Glasplatten wird das Entweichen der Flüssigkeit infolge Verdunstens und Gasens wesentlich eingeschränkt. Im übrigen muß man destilliertes Wasser nachfüllen, wenn die Säuredichte des geladenen Akkumulators größer ist als 1,2; ist sie dagegen kleiner als 1,2, so muß Schwefelsäure mit einer Dichte von 1,18 bis 1,25 aufgegossen werden.*)

Außer dem **Blei-Akkumulator** findet noch ein von Edison angegebener und nach ihm benannter **Edison-Akkumulator** Verwendung. In einem Eisengefäß befinden sich 2 Platten aus Stahlblech, die mit seitlichen Taschen ausgerüstet sind. Die Taschen der positiven Platte sind mit einer Mischung von Nickelhydroxydul und Graphit gefüllt, während sich in den Taschen der negativen Platte eine Mischung von Eisenhydroxydul, Eisenpulver und Quecksilberoxyd befindet; Graphit und Quecksilberoxyd dienen zur Verminderung des inneren Widerstandes. Der Elektrolyt ist 20 % Kalilauge. Die Durchschnittsspannung einer Zelle beträgt etwa 1,3 Volt; es werden also zur Erzielung einer größeren Spannung mehr Zellen in Serie zu schalten sein, als bei Bleiakkumulatoren.

Akkumulatoren werden auch oft als **Sekundärelemente** bezeichnet.

Galvanische Elemente.

Bringt man zwei verschiedene Leiter I. Klasse in einen Elektrolyten, so erhält man ein **galvanisches Element**, an dessen Polen ein Spannungsunterschied gemessen werden kann. Taucht man z. B. Kupfer und

*) Siehe auch: Gruber, Projekte und Kostenanschläge.

Zink in ein mit Schwefelsäure gefülltes Gefäß, so hat man ein galvanisches Element (Kupfer-Schwefelsäure-Zink), dessen Spannung etwas größer als 1 Volt ist. Schaltet man nun irgend einen Verbrauchsapparat an diese **Primärelement** genannte Stromquelle, so fließt ein elektrischer Strom. Hierbei wird der Elektrolyt, in diesem Falle die Schwefelsäure, zerlegt, und der ausgeschiedene Wasserstoff wandert in der Flüssigkeit mit dem Strom nach dem Kupfer, wo er sich in Form von Bläschen festsetzt. Hierdurch entsteht allmählich ein neues Element (Wasserstoff-Schwefelsäure-Zink), dessen EMK aber der ursprünglichen entgegengesetzt gerichtet ist; man sagt: Das Element polarisiert sich. Die ursprüngliche Stromstärke nimmt hierbei langsam ab, da der innere Widerstand des Elements immer größer wird.

In diesem Fall ist die Polarisation schädlich, und man muß deshalb ihre Entstehung verhindern. Dies geschieht durch Verwendung eines sog. **Depolarisators** in der Weise, daß entweder an Stelle des Wasserstoffes ein Metall ausgeschieden wird, oder daß der Wasserstoff im Augenblick des Entstehens gebunden wird.

Im ersten Falle verwendet man zwei verschiedene Säuren, im letzteren solche Materialien, die besonders viel Sauerstoff enthalten.

Zur I. Gruppe gehören folgende Elemente:

- a) Das **Daniell-Element**, bei dem ein mit verdünnter Schwefelsäure gefüllter Tonzylinder, der das Zink enthält, in eine dünnwandige Kupferröhre, die in eine Kupfervitriollösung getaucht ist, gestellt wird. Die beiden Flüssigkeiten sind durch den porösen Zonylinder, der auch **Diaphragma** genannt wird, voneinander getrennt, während der elektrische Strom in dem Diaphragma kein Hindernis findet. Die Spannung des Daniell-Elements beträgt ungefähr 1,07 Volt.
- b) Das **Maidinger-Element**, bei dem ein kleiner Kupferzylinder in einem besonderen Einsatzglas in das sog. Standgefäß eingestellt wird; in letzterem befindet sich der Zinkzylinder in einer 6% Bittersalzlösung. Der mit schwefelsauren Kupferoxyd-(Kupfervitriol-)stücken und Wasser gefüllte Glasballon wird so eingesetzt, daß aus dem im Kork befindlichen Glasröhrchen die Kupfervitriollösung in das Einsatzglas fließen kann; die Spannung des Elements ist etwa 1 Volt.
- c) Das **Krüger-Element**, auch Zink-Kupfer-Element genannt, bei dem die positive Elektrode als Bleiplatte ausgebildet und in eine Kupfervitriollösung getaucht ist, während sich die Zinkelektrode in einer Bittersalzlösung befindet. Da die spezifisch leichtere Bittersalzlösung auf der schwefelsauren Kupferoxydlösung schwimmt, tritt bei ruhigem Stehen keine Vermischung der Flüssigkeiten ein. Im Betrieb wird aus der Kupfervitriollösung Kupfer ausgefällt, weshalb von Zeit zu Zeit schwefelsaures Kupferoxyd nachzufüllen ist. Der Zinkzylinder wird allmählich aufgebraucht und ist schließlich

durch einen neuen zu ersetzen. Da die Bittersalzlösung im Laufe der Zeit immer gesättigter wird, so ist sie öfters mit Wasser zu verdünnen. Die Spannung des Krüger-Elements ist etwa 1 Volt.

Einige Elemente der II., Gruppe sind:

- a) Das **Bunsen-Element**, bei dem der positive Pol eine in Salpetersäure stehende Retortenkohle ist, während der Zinkzylinder wieder in verdünnte Schwefelsäure taucht; zur Trennung der Flüssigkeiten verwendet man ebenfalls ein Diaphragma. Bei geschlossenem Stromkreis wird der ausgeschiedene Wasserstoff die Tonzelle durchdringen und durch den Sauerstoff der Salpetersäure an die Kohle gebunden und unschädlich gemacht. Spannung etwa 1,9 Volt.
- b) Das **Chromsäure-Element**; es wird oft als Tauchelement bezeichnet, weil die Elektroden (Kohle und Zink) nur während des Betriebes eingetaucht werden sollen; ein Diaphragma ist nicht mehr notwendig, da nur eine Säure verwendet wird. Die Bindung des Wasserstoffes erfolgt durch den Sauerstoff des doppelchromsauren Kalis. Die Spannung ist etwa 2 Volt.
- c) Während die bisher erwähnten Elemente flüssige Depolarisatoren verwenden, benutzt man bei den als **Leclanché-, Salmiak- oder Braunstein-Elemente** bezeichneten Typen einen festen Depolarisator, und zwar Magansuperoxyd oder Braunstein, der Sauerstoff in großen Mengen gebunden enthält. Beim Stromdurchgang verbindet sich der freiwerdende Wasserstoff mit dem Sauerstoff zu Wasser. Kohle und Zink sind in eine Salmiaklösung getaucht. Die Spannung ist im Durchschnitt 1,5 Volt.
- d) Als Sprechbatterien in Telephonanlagen, bei Taschenlampen, elektrischen Uhren usw. verwendet man sog. **Trockenelemente**, die im Prinzip zu den Salmiakelementen gehören; nur wird als Elektrolyt eine mit Sägespänen, Asbest, Kieselgur und ähnlichen Stoffen gemischte, besonders kräftige Salmiaklösung verwendet. Trockenelemente sollen nicht an warmen Orten aufgestellt werden, da sonst ein Versagen infolge zu großer Trockenheit eintreten kann; ihre Spannung beträgt etwa 1,5 Volt.

Alle Zinkstäbe oder Zinkzylinder, die als Elektroden bei Primärelementen Verwendung finden, sollen auf chemischem Wege mit Quecksilber überzogen (**amalgamiert**) werden; hierdurch wird die Lebensdauer der Elemente bedeutend erhöht.

Wie auf Seite 22 bereits erläutert, ist bei allen Stromquellen ein Unterschied zu machen zwischen EMK und Klemmenspannung E_k ; letztere ist um den im Innern einer Stromquelle auftretenden Spannungsverlust kleiner als die elektromotorische Kraft E . Wird ein Element kurzgeschlossen, so ist die Kurzschlußstromstärke vom inneren Widerstand R_e abhängig; schließt man den Stromkreis dagegen über einen äußeren Widerstand R_a , so

berechnet sich die Stromstärke I unter Berücksichtigung von R_e aus folgender Formel:

$$I = \frac{E}{R_a + R_e} \text{ Amp.} \quad (76)$$

Demnach ergibt sich die EMK der Stromquelle aus Spannungsverbrauch im äußeren Stromkreis + Spannungsverbrauch im Inneren der Stromquelle zu:

$$E = I \cdot (R_a + R_e) \text{ Volt}$$

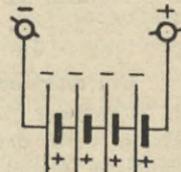
Schaltung von Primärelementen und anderen Stromquellen.

Je nachdem die Stromquellen miteinander verbunden werden, unterscheidet man Serien-, Parallel- und Gruppenschaltung.

Serien-Schaltung.

Hierbei werden nach Z. 36 die einzelnen Elemente der Reihe nach oder hintereinander so geschaltet, daß immer der positive Pol des einen Elements mit dem negativen Pol des anderen in Verbindung steht. Durch Serien-Schaltung von Stromquellen ergibt sich eine Vergrößerung der Spannung. Bezeichnet E_t = Gesamtspannung an den Sammelschienen in Volt, E = Spannung eines Elements in Volt, z = Anzahl der Elemente, so ergibt sich:

$$E_t = E \cdot z \text{ Volt}$$



Zeichnung 36

(77)

Vorstehende Formel hat nur Gültigkeit, wenn alle Elemente die gleiche Spannung haben. Besitzt jedes Element eine andere Spannung, dann läßt sich die Gesamtspannung nur durch Zusammenzählen der einzelnen Element-Spannungen (E_1 E_2 E_3 usw.) in folgender Weise berechnen:

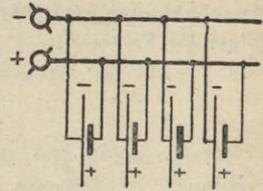
$$E_t = E_1 + E_2 + \dots + E_n \text{ Volt} \quad (78)$$

Die an den Sammelschienen zur Verfügung stehende Stromstärke dagegen ist höchstens gleich dem Strome eines Elements.

Parallel-Schaltung.

In vielen Fällen benötigt man mehr Strom, als 1 Element zu liefern imstande ist. Es sind dann zu diesem einen noch ein zweites oder drittes Element oder auch mehr hinzu zu schalten. Weil hierbei aber die Spannung nicht größer sein darf als die von 1 Element, so sind die Elemente parallel oder nebeneinander nach Z. 37 zu schalten. Durch

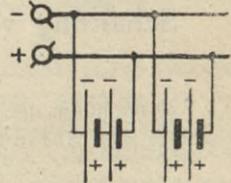
Parallelschaltung erhält man eine größere Stromstärke. Der Gesamtstrom ergibt sich wieder als die Summe der Einzelströme oder, wenn jedes Element den gleichen Strom I liefert, durch Multiplikation von I mit der Elementenzahl. Die Spannung an den Sammelschienen ist höchstens gleich der Spannung eines Elements. Wichtig ist, daß zu dieser Schaltung nur Elemente verwendet werden dürfen, deren Einzelspannungen gleich groß sind.



Zeichnung 37

Gruppen-Schaltung.

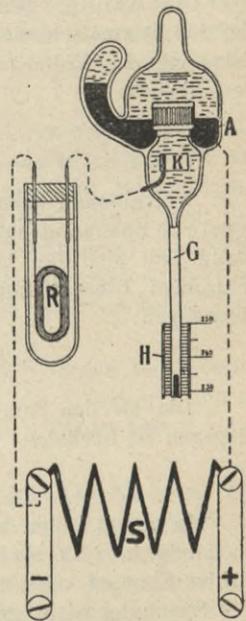
Hierbei wird nach Z. 38 stets die gleiche Anzahl Elemente in Serie zu einer Gruppe geschaltet und diese Gruppen werden wieder parallel an die Sammelschienen gelegt. Durch Gruppenschaltung lassen sich Spannung und Strom vergrößern. Die Gesamtspannung an den Sammelschienen ist abhängig von der Anzahl der Elemente, die in 1 Gruppe in Serie geschaltet sind, während der Höchststrom wieder aus den parallel geschalteten Gruppen zu berechnen ist.



Zeichnung 38

Elektrochemische Zähler.

Ein **elektrochemischer** Zähler ist im Prinzip ein Voltmeter (S. 43); je nach dem Konstruktionsprinzip wird das beim Stromdurchgang ausgeschiedene Metall entweder durch sein Gewicht auf ein Zählwerk einwirken, oder aber es wird Quecksilber ausgeschieden, das dann in einem am Zähler angebrachten Meßrohre gemessen wird. Da die ausgeschiedene Metallmenge sowohl von der Zeit als auch von der jeweiligen Stromstärke abhängig ist, so sind alle elektrochemischen Zähler Amperestundenzähler, die entweder in Ah oder unter Zugrundelegung einer gleichbleibenden Spannung in kWh geeicht sind. Z. 39 zeigt die Innenschaltung des **Stiazählers**; in dem Quecksilbervoltmeter bildet das in einer Rinne befindliche Quecksilber A die Anode, während die Kathode K aus Kohle besteht. Bis auf einen kleinen freien Raum ist der übrige Teil des Voltmeters mit einer wässrigen Jod-Kali-, Jod-Quecksilberlösung gefüllt. Um die Widerstandsschwankungen des Voltmeterstromkreises auszugleichen, ist mit der Zelle in Serie ein hoher Widerstand R geschaltet. Der Hauptstrom fließt über den Shunt S,



Zeichnung 39

der mit dem Verbrauchsapparat in Serie zu schalten ist. Auf polrichtiges Anschließen ist besonders zu achten. Da der durch die Zelle fließende Strom dem Hauptstrom in jeder Stärke genau proportional ist, zeigt auch der Zähler bei allen Belastungen genau an. Das beim Stromdurchgang an der Kathode K ausgeschiedene Quecksilber sammelt sich tropfenweise im Meßrohre G; die Ablesung des Energieverbrauchs erfolgt an der Skala H. Soll das gefüllte Meßrohr wieder entleert werden, so ist das Rohrgehäuse zu kippen, d. h. um etwa 180° nach oben zu drehen.

Magnetismus.

Man unterscheidet **natürlichen** und **künstlichen** Magnetismus; ersterer zeigt sich beim Magneteisenstein in der Weise, daß er Eisenfeilspäne anzieht und festhält. Diese Eigenschaft macht sich bei Stab- oder Hufeisenmagneten besonders stark an zwei Stellen, die man Pole nennt, bemerkbar; zwischen den Polen liegt die neutrale Zone, die fast keine magnetische Wirkung aufweist. Ein Magnet zieht außer Eisen noch Nickel, Stahl und Kobalt an. Wird ein Stahlstab gehärtet und an einem natürlichen Magneten gestrichen, so wird er selbst magnetisch und dann als künstlicher Magnet bezeichnet; man sagt, der Stahl wurde magnetisiert, magnetisch **influenziert** oder magnetisch **induziert** (Influenz, Induktion). Wird ein Magnet so angeordnet, daß er sich in horizontaler Ebene drehen kann, so stellt er sich annähernd in Nord-Südrichtung ein; die Ursache hierfür ist der Erdmagnetismus. Man bezeichnet den Pol, der sich in nördlicher Richtung einstellt, als **Nordpol**, denjenigen, der nach Süden zeigt, als **Südpol**. Werden zwei gleichnamige Pole einander genähert, so stoßen sie sich ab, während zwei ungleichnamige sich anziehen. Man bezeichnet dieses Anziehungs- und Abstößungsvermögen als **magnetische Energie**. Wird ein Weicheisenstück einem Magnetpol genähert, so induziert dieser im Weicheisenstück wieder Magnetismus, und zwar wird die eine Seite, die am Magnetpol liegt, ungleichnamig, die andere dagegen, die vom Pol entfernt liegt, gleichnamig induziert. Wir nehmen an, daß der Magnetismus vom Nordpol zum Südpol verläuft (Z. 47); im Innern des Magneten selbst strömt er vom Süd- zum Nordpol, sodaß eine geschlossene Kreisströmung entsteht (Z. 41). Bei den sog. Hufeisenmagneten ist zwischen den Magnetschenkeln ein besonders gleichmäßiges Magnetfeld vorhanden, das als **homogenes** Feld bezeichnet wird.

Jeder magnetisierte Körper wird sich nach der Magnetisierung in bestimmter Weise verhalten. Bleibt er dauernd magnetisch, so bezeichnet man ihn als **permanenten** Magneten; hierzu gehören alle aus gehärtetem Stahl hergestellten Magnete. Bleibt dagegen nur wenig Magnetismus zurück, der außerdem noch mit der Zeit vollständig verschwindet, so hat man es mit einem **remanenten** Magneten zu tun (Schmiedeeisen, Ankerbleche, Gußeisen, Stahlguß und ausgeglühter Stahl).

Soll die magnetische Kraft nur während des Magnetisierens im influenzierten Körper vorhanden sein, so ist hierzu Schmiedeeisen zu verwenden, das besonders gut ausgeglüht ist.

Alle magnetisierbaren Metalle denkt man sich aus Molekularmagneten zusammengesetzt, die selbst wieder Nord- und Südpol besitzen. Solange keine magnetische Induktion stattfindet, liegen die Molekularmagnete ungeordnet durcheinander; durch die magnetische Induktion jedoch werden sie allmählich gleichgerichtet. Dabei ist zu beachten, daß die Magnetisierung dann ihre Grenze erreicht hat, wenn alle Molekularmagnete gleichgerichtet sind; man nennt diesen Zustand **magnetische Sättigung** (Seite 56).

Die Kraft, die nach Aufhörung der Magnetisierung das Durcheinanderfallen der Molekularmagnete verhindert, heißt **Koerzitivkraft**; diese ist sehr groß bei gehärtetem Stahl und sehr klein bei ausgeglühtem Eisen.

Die Kraftlinien.

Durch die Kraftlinien bestimmt man sowohl die Richtung als auch die Stärke der magnetischen Kraft. Der in 1 cm^2 vorhandene Magnetismus wird als **Feldstärke** \mathfrak{H} bezeichnet; die Feldstärke gibt deshalb auch an, wieviel Kraftlinien $/\text{cm}^2$ vorhanden sind. Für den Ausdruck Kraftlinien $/\text{cm}^2$ wird die Bezeichnung **Gauß** gesetzt. Setzt sich die wirksame Fläche eines Magneten aus mehreren cm^2 zusammen, so nennt man die gesamte Kraftlinienzahl, die aus der ganzen Fläche ausströmt, den **Kraftfluß** Φ ; bezeichnet man mit q den Querschnitt der Fläche in cm^2 , so ergibt sich unter der Voraussetzung, daß die Kraftlinien senkrecht zur Fläche verlaufen:

$$(79) \quad \boxed{\Phi = \mathfrak{H} \cdot q} \text{ Kraftlinien} \quad \boxed{q = \frac{\Phi}{\mathfrak{H}}} \text{ cm}^2 \quad \boxed{\mathfrak{H} = \frac{\Phi}{q}} \text{ Gauß}$$

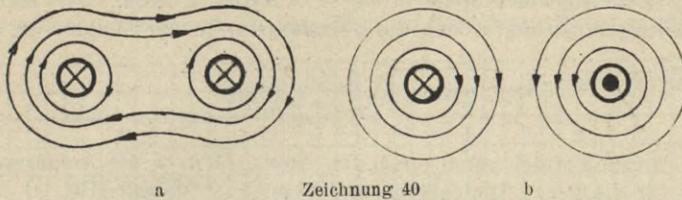
Bei allen magnetischen Berechnungen sind die Längen in cm, die Flächen in cm^2 einzusetzen.

Magnetisierende Wirkung des elektrischen Stromes.

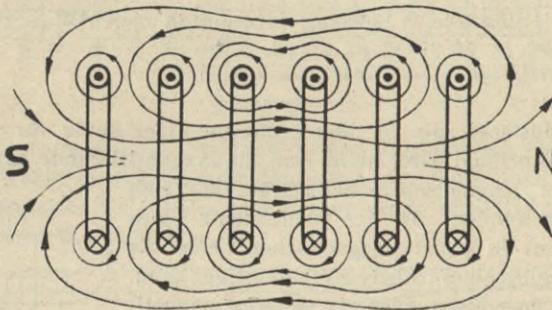
Wenn irgend ein Leiter vom Strom durchflossen wird, so entsteht in der Umgebung ein magnetisches Feld; man sagt, der Strom wirkt magnetisierend, und nennt diese Erscheinung **Elektromagnetismus**.

Wird ein gerader Leiter vom Strom durchflossen, so läßt sich durch die Magnetonadel beweisen, daß die Kraftlinien senkrecht zum Leiter in konzentrischen Kreisen verlaufen; die Richtung der Kraftlinien ermittelt man aus folgender Regel: Blickt man in Richtung des Stromes, so verlaufen die Kraftlinien im Drehsinne des Uhrzeigers.

Werden zwei parallel angeordnete Leiter von gleichgerichteten Strömen durchflossen, dann umfassen die Kraftlinien beide Leiter (Z. 40a),

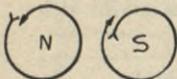


fließen die Ströme entgegengesetzt, so stoßen sich die Kraftlinien ab (Z. 40b). Wickelt man die Drähte zu einer Spule auf, so verlaufen alle Kraftlinien durch die Mitte der Spule, während durch die Endflächen nur ein Teil hindurchdringt; deshalb ist die magnetische Kraft einer Spule in ihrer Mitte am größten (Z. 41). Die Stromrichtung in der Spule ist durch \odot und \otimes , d. s. Vorder- und Rückansicht eines Pfeiles, der senkrecht zur Bildebene liegt, angedeutet; man nimmt an, daß der Strom bei den Punkten aus der Bildebene herausfließt, während er bei den Kreuzen in die Bildebene eindringt. Die Polarität an den



Zeichnung 41

Endflächen der Spulen läßt sich an der Bewegungsrichtung der Kraftlinien erkennen (Austrittsstelle—Nordpol, Eintrittsstelle—Südpol). Man kann die Pole auch nach der sog. **Uhrzeigerregel** bestimmen, wie Z. 42 zeigt. Diese Regel lautet: Blickt man auf die Polfläche und fließt der Strom in der Windung einer Spule mit der Drehrichtung des Uhrzeigers, so hat man einen Südpol vor sich; fließt der Strom dem Uhrzeiger-Drehsinn entgegen, so sieht man auf einen Nordpol.



Zeichnung 42

Wenn die einzelnen Spulen miteinander verbunden werden, ist darauf zu achten, daß auf einen Nordpol stets ein Südpol folgt und umgekehrt. Auch Hufeisenmagnete sind so zu verbinden, daß der eine Magnetschenkel ein Nordpol, der andere ein Südpol wird (Z. 43). Man nennt eine vom Strom durchflossene Spule ein **Solenoid**.

Die magnetische Kraft wird um so größer, je mehr Windungen die Spule besitzt und je größer der Strom ist, der durch die Wicklung fließt; bedeutet l = Länge der Spule in cm, I = Strom in Amp., w = Anzahl der Windungen, so ergibt sich die Feldstärke \mathfrak{H} in der Spulenmitte zu:

$$(80) \quad \mathfrak{H} = \frac{I \cdot w \cdot 1,256}{l} \text{ Gauß}$$

In dieser Formel nennt man den Ausdruck $I \cdot w$ die **Amperewindungen** für die ganze Spulenlänge und bezeichnet sie mit AW .

Die für 1 cm der Spulenlänge l erforderlichen Amperewindungen werden mit AW/cm bezeichnet und aus AW in folgender Weise ermittelt:

$$(81) \quad AW/cm = \frac{AW}{l} \qquad AW/cm = \frac{I \cdot w}{l}$$

Hieraus ergibt sich:

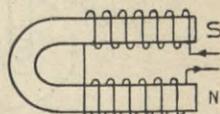
$$I = \frac{AW/cm \cdot l}{w} \text{ Amp.} \qquad w = \frac{AW/cm \cdot l}{I} \text{ Windungen}$$

Ist die Feldstärke \mathfrak{H} bekannt, so ermittelt man AW/cm zu:

$$(82) \quad AW/cm = 0,8 \cdot \mathfrak{H}$$

Die Feldstärke, die in dem Luftraum einer Spule für 1 cm² des Querschnittes erzeugt wird, heißt man die **magnetisierende Kraft** \mathfrak{H} . Zur Messung der magnetischen Feldstärke läßt sich Wismut verwenden, da der Widerstand eines Wismutdrahtes in einem magnetischen Felde bis auf das Doppelte seines früheren Wertes steigen kann.

Bringt man Eisen oder ein anderes magnetisierbares Metall in das Innere der Spule, so erhält man einen **Elektromagneten**; die Kraftlinienzahl pro cm² wird hierbei bedeutend erhöht, da die Kraftlinien durch das Eisen gewissermaßen aufgesaugt werden. Dieses Aufsaugen von Kraftlinien findet aber nur so lange statt, bis das Eisen **magnetisch gesättigt** ist.



Zeichnung 43

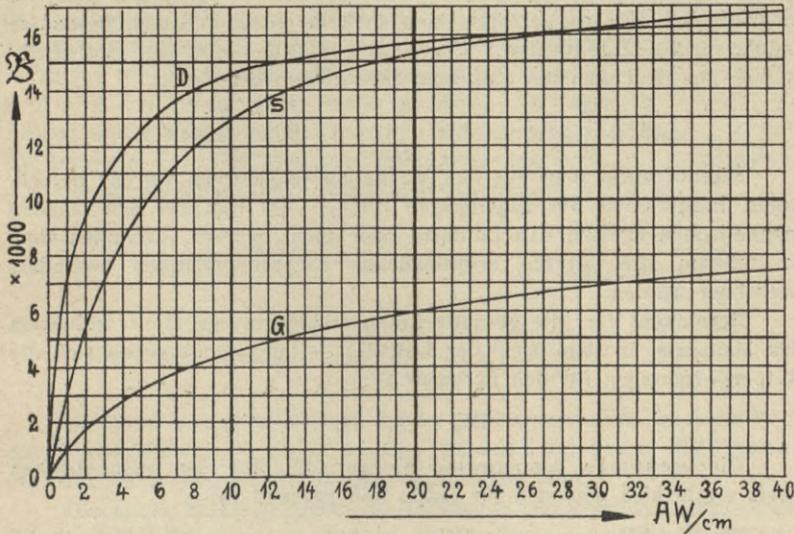
Man nennt die induzierte Kraftlinienzahl für 1 cm² die **magnetische Dichte** oder **Induktion** \mathfrak{B} . Das Verhältnis zwischen \mathfrak{B} und \mathfrak{H} wird durch die **magnetische Leitfähigkeit** μ zum Ausdruck gebracht; es ergibt sich:

$$(84) \quad \mathfrak{B} = \mu \cdot \mathfrak{H} \text{ Kraftlinien für 1 cm}^2 \qquad \mathfrak{H} = \frac{\mathfrak{B}}{\mu} \text{ Gauß}$$

Die magnetische Leitfähigkeit gibt an, wieviel mal mehr Kraftlinien im Metall entstehen, als unter sonst gleichen Verhältnissen in der Luft; μ wird auch oft als **Permeabilitätsfaktor** bezeichnet.

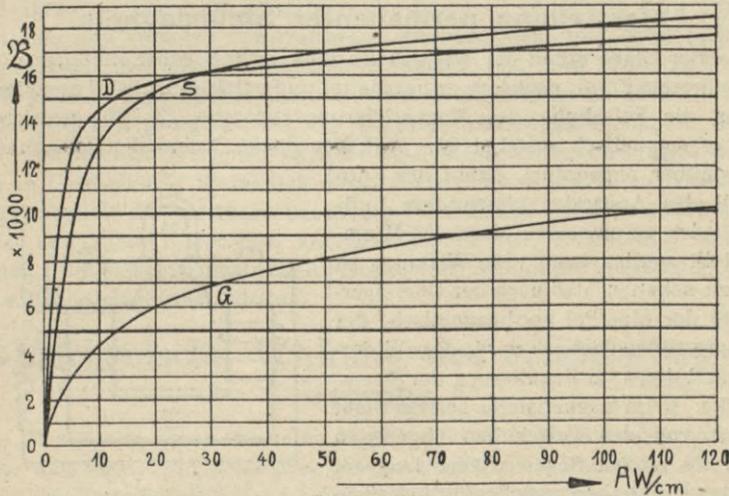
Berechnung magnetischer Kreise.

Hierbei werden \mathfrak{B} und AW/cm aus den Magnetisierungskurven (Z. 44 und 45) entnommen. In denselben ist der Zusammenhang zwischen



Zeichnung 44

\mathfrak{H} und \mathfrak{B} für Gußeisen (G), Stahlguß (S) und Dynamoblech (D) graphisch dargestellt, wobei in dem Koordinatensystem der Einfachheit halber als Abszissen gleich die AW/cm aufgetragen sind; als Ordinaten sind die Induktionen \mathfrak{B} aufgetragen.



Zeichnung 45

Aus den Magnetisierungskurven kann man für jede verlangte Induktion das zugehörige AW/cm herausgreifen und umgekehrt.

Der magnetische Kreis setzt sich in den meisten Fällen aus mehreren Teilen zusammen, die nach Länge, Querschnitt und Material verschieden sind. Bezeichnet q_1, q_2, q_3 usw. den Querschnitt für jeden Teil des magnetischen Kreises, so ergibt sich auch in jedem Fall eine besondere Induktion $\mathfrak{B}_1, \mathfrak{B}_2, \mathfrak{B}_3$ usw. Unveränderlich bleibt nur der Kraftfluß Φ , aus dem man die einzelnen Induktionen berechnet:

$$\mathfrak{B}_1 = \frac{\Phi}{q_1}; \quad \mathfrak{B}_2 = \frac{\Phi}{q_2}; \quad \mathfrak{B}_3 = \frac{\Phi}{q_3} \text{ usw.}$$

Hierauf sucht man aus den Magnetisierungskurven für die berechneten Induktionen die zugehörigen AW/cm . Da nun bei den meisten magnetischen Kreisen ein Luftspalt oder auch mehrere vorhanden sind, so müssen die hierfür erforderlichen Amperewindungen besonders berechnet werden.

Bezeichnet δ = die gesamte Luftspalllänge in cm, \mathfrak{B}_δ = Induktion des Materials, in dem sich der Luftweg befindet, so ergeben sich die Amperewindungen für den Luftspalt zu:

$$(85) \quad AW_\delta = 0,8 \cdot B_\delta \cdot \delta$$

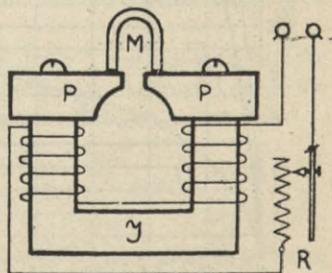
Die gesamte Amperewindungszahl AW_t für den magnetischen Kreis ergibt sich demnach für jeden Fall passend zu:

$$(86) \quad AW_t = (AW_1/cm \cdot l_1) + (AW_2/cm \cdot l_2) + \dots + (0,8 \cdot \mathfrak{B}_\delta \cdot \delta)$$

Ganz allgemein ist noch zu bemerken, daß man die Luftspalte bei Maschinen und Apparaten möglichst klein zu machen sucht, um für eine bestimmte Kraftlinienzahl nicht unnötig viel Amperewindungen aufwenden zu müssen.

Herstellung permanenter Stahlmagnete.

Der Stahl erhält im warmen Zustand mittels einer Ziehpresse die gewünschte Form; nachdem er bearbeitet und gehärtet ist, wird er so lange über die **Polschuhe** des Magnetisierungsapparates (Z. 46) gestrichen, bis er magnetisch gesättigt ist. Auf dem Joche \mathfrak{J} sind die Polschuhe P verstellbar angeordnet, damit der Luftspalt des Apparates gleich dem Luftspalt des permanenten Magneten M eingestellt werden kann. Die Wicklung ist so zu schalten, daß nach der Uhrzeigerregel der eine Pol nordmagnetisch, der andere süd magnetisch wird. Der Widerstand R dient zur Regulierung der Stromstärke. Beim Magnetisieren soll der Stahl rasch von den Polschuhen abgerissen und im großen Bogen wieder langsam zu den Polschuhen zurückgeführt werden.



Zeichnung 46

Zug- und Tragkraft von Elektromagneten.

Ein Elektromagnet kann auch zur Ausübung von Zug- und Druckkräften und zum Heben von Lasten Verwendung finden. Dabei ist zu beachten, daß die Zugkraft nur so lange mit der Stromstärke wächst, bis die magnetische Sättigung erreicht ist. Je nach dem Verwendungsgebiet des Elektromagneten legt man der Berechnung eine bestimmte Zugkraft in kg pro cm² Eisenquerschnitt zugrunde. Bei Schaltapparaten ist außerdem noch der Widerstand zu berücksichtigen, der durch das Gewicht des Ankers und oft noch durch besondere Spannungsvorrichtungen gegeben ist; bedeutet P = Tragkraft des Elektromagneten in kg, \mathfrak{B} = Induktion, q = Gesamtquerschnitt der Abreißfläche in cm², so ergibt sich:

$$P = \mathfrak{B}^2 \cdot q \cdot 0,00000004 \text{ kg}$$

$$q = \frac{P}{\mathfrak{B}^2 \cdot 0,00000004} \text{ cm}^2$$

$$\mathfrak{B} = \sqrt{\frac{P}{q \cdot 0,00000004}} \text{ Kraftlinien für 1 cm}^2$$

(87)

Es ist zu beachten, daß bei einem Stabmagnet als Querschnitt q nur 1 Abreißfläche in Frage kommt, während bei einem Hufeisenmagnet für q beide Abreißflächen einzusetzen sind.

Dienen die Elektromagnete zur Betätigung von Bremsen, Ausrückern, Weichen, Ventilen usw., so können sie für Zug- und Stoßwirkung ausgeführt werden. In der Augenheilkunde wird die elektromagnetische Zugwirkung noch bei den sog. Augenmagneten verwendet; in der Chirurgie werden ähnliche Apparate zur Entfernung von Stahl- und Eisensplintern, die in den Körper eingedrungen sind, benutzt.

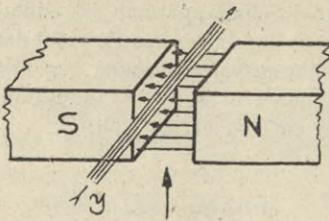
Die Hubmagnete werden für eine bestimmte Tragkraft berechnet und meist in Verbindung mit Kranen benutzt; sie dienen zum Transportieren und Verladen von Walzeisen, Blechen, Stahl- und Eisenblöcken, Eisenspänen und dergl. Hubmagnete werden bis etwa 50 000 kg Tragkraft gebaut; ihre Spulen sind meist aus Aluminium hergestellt, weil dadurch das Eigengewicht der Magnete bedeutend verringert wird.

Bei den elektromagnetischen Aufspannungsvorrichtungen wird das zu bearbeitende Werkstück elektromagnetisch festgehalten; dadurch ist es möglich, Arbeitsstücke mit geringer Aufspannungsfläche auf Hobel-, Fräs- und Schleifmaschinen, auf Drehbänken usw. noch sicher festzuhalten. Bei elektromagnetischen Planscheiben erfolgt die Stromzuführung über Schleifringe und Bürsten.

Mechanische Wirkung des elektrischen Stromes.

Bringt man einen Magneten in die Nähe einer Magnetnadel, so wird diese abgelenkt. Die Ablenkung ist um so größer, je kürzer der Abstand zwischen Magnet und Nadel ist und je kräftiger die vorhandenen Magnet-

felder sind. Da nun in der Umgebung eines stromdurchflossenen Leiters ebenfalls ein Magnetfeld vorhanden ist, so wird die Nadel auch abgelenkt, wenn man sie diesem Leiter nähert; ihre Ablenkung ergibt sich aus der Schwimmregel von Ampere. Für praktische Zwecke ist es nun oft notwendig zu wissen, in welcher Richtung ein stromdurchflossener Leiter abgelenkt wird, der sich in einem Magnetfeld befindet; hierbei läßt sich die



Zeichnung 47

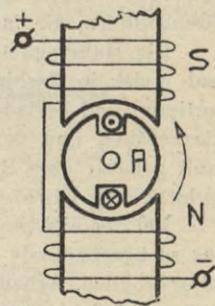
Bewegungsrichtung des Leiters nach Z. 47 aus der Schwimmregel in folgender Weise ermitteln: Denkt man sich in Richtung des Stromes schwimmend und sieht man dabei den Nordpol an, so wird der Leiter nach rechts abgelenkt. Die Bewegungsrichtung des Leiters läßt sich auch noch nach der **linken Handregel** bestimmen; sie lautet: Treten die Kraftlinien in

die vor den Nordpol gehaltene Fläche der linken Hand und fließt der Ankerstrom in Richtung der Fingerspitzen, so bewegt sich der Leiter in Richtung des abgespreizten Daumens. Kriegsbeschädigte, die die linke Hand verloren haben, benutzen bei dieser Regel an Stelle der linken Handfläche den Rücken der rechten Hand.

Die Ablenkung eines stromdurchflossenen Leiters im Magnetfeld und die Anordnung eines Stromwenders sind die Ursachen für das Zustandekommen einer Drehbewegung bei Gleichstrommotoren (Z. 48); hierbei wird der stromführende Leiter in Form von Spulen auf einen drehbar gelagerten und **Anker** genannten Eisenkern A so angeordnet, daß eine Zuführung des Stromes in die drehende Spule möglich ist. Durch den Anker wird zwischen den Polen $N \div S$ ein besonders kräftiges Magnetfeld geschaffen (S. 64).

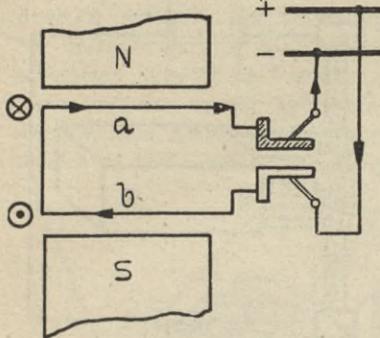
Um eine andauernde Ablenkung zu erreichen, muß der Strom nach Z. 49 und 50 in der Spule jedesmal in dem Augenblick gewendet werden, in dem eine andere Spulenseite (a oder b) unter den Nord- bzw. Südpol tritt. Zu diesem Zwecke führen die Enden der Wicklung an einen **Stromwender** oder **Kommutator**; derselbe ist im einfachsten Falle ein aufgeschnittener Ring, dessen Hälften so auf die Welle aufgesetzt sind, daß sie keine leitende Verbindung miteinander haben, aber den durch die Bürsten eintretenden Strom in die Ankerwicklung leiten. Die Hauptteile eines Gleichstrommotors sind demnach: 1. das **Magnetgestell** mit den **Polschuhen**, die die sog. Feld- oder Erregerwicklung tragen, 2. der **Anker**, 3. der **Kommutator** und 4. die **Bürsten**.

Aus Z. 49 ist ersichtlich, daß nach der linken Handregel die Spulenseite a nach hinten, die Spulenseite b nach vorn abgelenkt wird;



Zeichnung 48

im nächsten Augenblick wird durch die lebendige Kraft die Spulenseite b vor den Nordpol und a vor den Südpol gebracht (Z. 50). Da gleichzeitig aber die zu b gehörende Hälfte des Stromwenders unter die - Bürste tritt, die zu a gehörende dagegen unter die + Bürste, so wird die



Zeichnung 49

Spulenseite b in gleicher Weise wie vorher a, und die Spulenseite a wie vorher b abgelenkt; im nächsten Augenblick ist wieder der Zustand nach Z. 49 vorhanden u. s. f. Der Anker dreht sich deshalb im Sinne der Kreuze und Punkte, die in diesem Falle die Drehrichtung angeben.

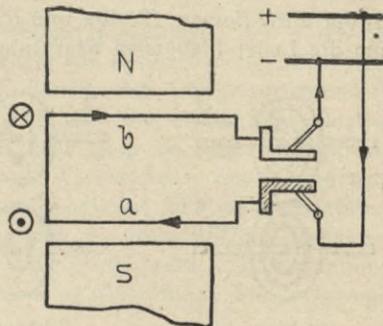
Die am Ankerumfang wirkende Kraft, mit der die Ablenkung erfolgt, wird als **Nutzlast, Zugkraft** oder **Umfangskraft** bezeichnet; sie ist abhängig von der Stärke der durch die Erregerwicklung geschaffenen Magnetfelder N, S, ferner von der Länge der Ankerdrähte und dem in ihnen fließenden Strome. Bezeichnet P = Zugkraft in kg, \mathfrak{S} = Feldstärke, l = Länge der wirksamen Ankerdrähte in cm, I_a = Ankerstrom in Amp., so ergibt sich:

Die Größe des **Drehmomentes** M_d ermittelt man durch Multiplikation der Zugkraft P mit ihrem Hebelarm r , der durch den Halbmesser der Riemenscheibe gegeben ist; je nachdem die Kraft in kg und der Radius in m oder cm eingesetzt werden, ergibt sich das Resultat in mkg oder cmkg.

Unter Benutzung der Umfangs- oder Riemengeschwindigkeit v_u (in m/Sek.) läßt sich die Nutzlast P (in kg) aus der mechanischen Leistung N (in PS) mit folgender Formel berechnen:

$$P = \frac{\mathfrak{S} \cdot l \cdot I_a}{9810000} \text{ kg} \quad (88)$$

Unter Benutzung der Umfangs- oder Riemengeschwindigkeit v_u (in m/Sek.) läßt sich die Nutzlast P (in kg) aus der mechanischen Leistung N (in PS) mit folgender Formel berechnen:



Zeichnung 50

Da $M_d = P \cdot r$ ist, so ergibt sich unter Verwendung der minutlichen Drehzahl n :

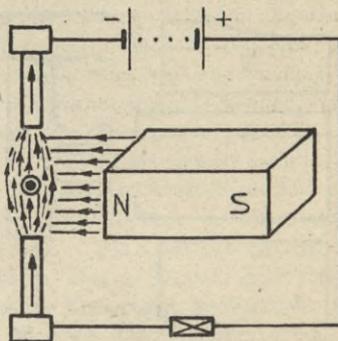
$$P = \frac{N \cdot 75}{v_u} \text{ kg} \quad (89)$$

Da $M_d = P \cdot r$ ist, so ergibt sich unter Verwendung der minutlichen Drehzahl n :

$$M_d = \frac{N \cdot 716}{n} \text{ mkg} \quad (90)$$

Magnetische Funkenlöschung.

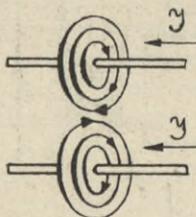
Die Erscheinung, daß ein vom Strom durchflossener Leiter im Magnetfeld abgelenkt wird, hat auch zur Herstellung der magnetischen **Funkenlösch-Vorrichtungen** geführt; hierbei wird der beim Ausschalten eines Stromkreises entstehende Lichtbogen durch die Wirkung eines permanenten Magneten oder auch eines Elektromagneten nach der linken Handregel abgelenkt und zum Erlöschen gebracht. Meist wird bei Verwendung eines Elektromagneten die sog. **Blaspule** mit dem zu schützenden Apparat in Serie geschaltet, sodaß sich ihre Wirkung mit der Größe des jeweils vorhandenen Betriebsstromes ändert. Bei Flammenbogenlampen gibt man dem Lichtbogen durch die Wirkung eines **Blasmagneten** die gewünschte Richtung. Aus Z. 51 ist ersichtlich, daß die Ablenkung des Lichtbogens im Sinne des \odot , d. h. nach vorn erfolgt.



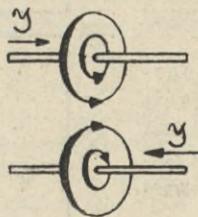
Zeichnung 51

Elektrodynamometer.

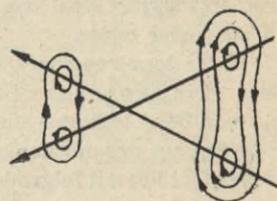
Die von stromdurchflossenen Leitern aufeinander ausgeübte mechanische Kraft wird auch noch **elektrodynamische** Wirkung genannt; werden zwei Leiter parallel angeordnet und in gleicher Richtung vom Strom durchflossen (Z. 40a und 52), so ziehen sie sich an, da sich die um die Leiter fließenden Kraftlinien zu verkürzen suchen. Fließen die



Zeichnung 52



Zeichnung 53

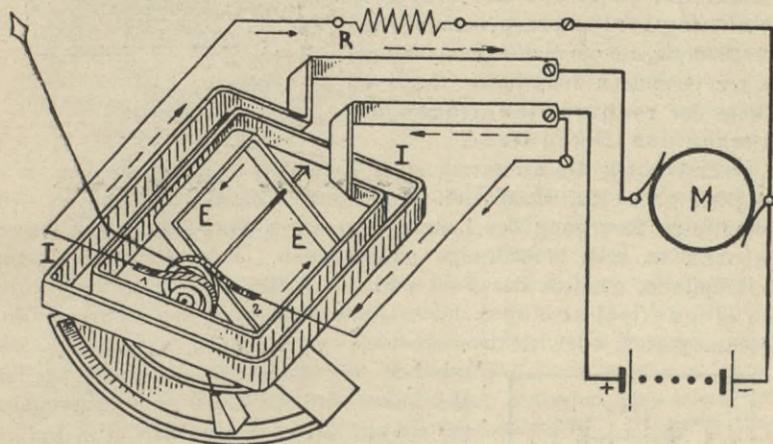


Zeichnung 54

Ströme aber in entgegengesetzter Richtung, so stoßen sich die Leiter ab (Z. 40b und 53). Gekreuzte Leiter suchen sich so einzustellen, daß sie parallel stehen und die Stromrichtung in ihnen die gleiche wird (Z. 54).

Dieses Prinzip wird bei elektrodynamischen Meßinstrumenten zugrunde gelegt; um die Kraftwirkung zu verstärken, wickelt man die stromdurchflossenen Leiter zu Spulen auf. Jedes Instrument besitzt mindestens 2 Spulen, von denen die eine in der anderen so drehbar

gelagert wird, daß sich die Ströme kreuzen. Z. 55 zeigt ein elektrodynamisches Wattmeter, bei dem die Stromspule I aus wenig Windungen dicken Drahtes besteht und fest angeordnet ist, während die aus vielen Windungen dünnen Drahtes bestehende und mit einem Vorschaltwiderstand R in Serie geschaltete Spannungsspule E drehbar gelagert ist. Die Stromzuführung zur E-Spule erfolgt über die schneckenförmig gebogenen Blattfedern 1 und 2, durch die gleichzeitig die Spannungsspule und der an ihr befestigte Zeiger in die Nulllage zurückgeführt werden. Die Anfänge der Strom- und Spannungsspulen, die oft mit + bezeichnet sind, müssen an die gleiche Leitung (Phase) angeschlossen werden.



Zeichnung 55

werden, da sonst das Instrument verkehrt ausschlägt. Der durch die Spulen fließende Strom sucht, unabhängig von seiner jeweiligen Richtung die bewegliche Spule so parallel zu stellen, daß die Stromrichtung in ihnen die gleiche wird. Deshalb braucht bei elektrodynamischen Instrumenten auf polrichtiges Anschließen nicht mehr geachtet werden, und sie können meistens für Gleich- und Wechselstrom mit derselben Skala Verwendung finden. Um eine möglichst gleichmäßige Unterteilung der Skala zu erhalten, wählt man die Ruhelage der drehbaren Spule symmetrisch zu ihrer Endlage. Eine aperiodische Zeigereinstellung kann durch Wirbelstrom- oder Luftbremsung (Dämpfung), wie Z. 55 zeigt, erreicht werden.

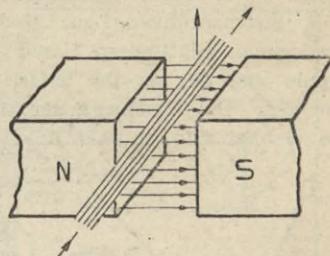
Induktionselektrizität.

Als **Induktionselektrizität** bezeichnet man solche elektrische Ströme, die entweder unter dem Einfluß von Magneten oder durch andere elektrische Ströme hervorgerufen oder **induziert** werden.

Wie es nun möglich ist, einen Leiter durch den elektrischen Strom in einem Magnetfeld zu bewegen, so läßt sich umgekehrt ein elektrischer Strom erzeugen, wenn ein Leiter in einem Magnetfeld bewegt wird.

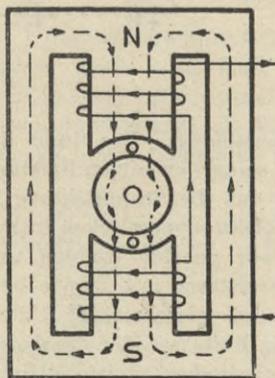
Es ist hierbei nur notwendig, daß die Bewegung des Leiters so erfolgt, daß die Kraftlinien **geschnitten** werden.

Z. 56 zeigt das Prinzip der Stromerzeugung durch Schneiden von Kraftlinien; hierbei ermittelt man die Richtung des induzierten Stromes nach der **rechten Handregel**, die folgendermaßen lautet: Treten die Kraftlinien in die unter den Nordpol gehaltene Fläche der rechten Hand ein und bewegt man den Leiter in Richtung des abgespreizten Daumens, so fließt der Strom in Richtung der Fingerspitzen. Kriegsbeschädigte, die die rechte Hand verloren haben, benutzen bei dieser Regel an Stelle der rechten Handfläche den Rücken der linken Hand.



Zeichnung 56

Erst durch die Stromerzeugung nach dem Induktionsprinzip ist es möglich geworden, Elektrizität in beliebigen Mengen zu erzeugen. Die geradlinige Bewegung des Leiters wird durch Verwendung von Generatoren in eine kreisförmige umgewandelt. Jeder Generator besitzt 2 Hauptteile, nämlich das **Feld** und den **Anker**. Das Feld kann durch ein magnetisches Magazin, d. i. eine Anordnung von mehreren Hufeisenmagneten, oder elektromagnetisch durch Spulen, die auf den Pol-



Zeichnung 57

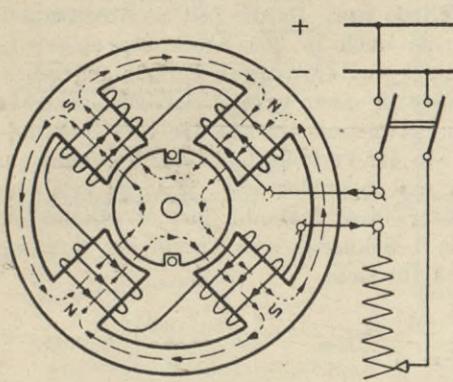
schuhen angeordnet sind, erzeugt werden. Der Anker wird aus Eisenblechen zusammengestellt und zwischen den Polschuhen drehbar gelagert; dadurch wird erreicht, daß der größte Teil der Kraftlinien vom Nordpol über das Ankereisen zum Südpol strömt. In den Nuten des Ankers sind die zu induzierenden Drähte untergebracht; solche Generatoren werden als **Außenpoltypen** bezeichnet. Im Gegensatz hierzu unterscheidet man noch **Innenpolmaschinen**, bei denen das Magnetfeld rotiert und die zu induzierende Wicklung ruhend angeordnet ist. Der magnetische Kreis wird in beiden Fällen durch das Gehäuse, das meist aus Stahlguß besteht, geschlossen. Z. 57 zeigt den Kraftlinienverlauf bei einer 2poligen Maschine; sind mehrere Pole vorhanden, dann ist die Wicklung so aufzulegen, daß auf einen Nordpol ein Südpol folgt und umgekehrt (Z. 58).

Die Generatoren.

Je nachdem einem Generator Gleichstrom oder Wechselstrom entnommen wird, unterscheidet man Gleichstrom- und Wechselstrom-Generatoren. Wichtig ist, daß in jedem Generator zuerst ein Wechsel-

strom erzeugt wird; dies kommt daher, daß jede Maschine zur Erzeugung eines besonders kräftigen Magnetfeldes abwechselnd mit Nord- und Südpolen im Erregerfelde ausgerüstet sein muß.

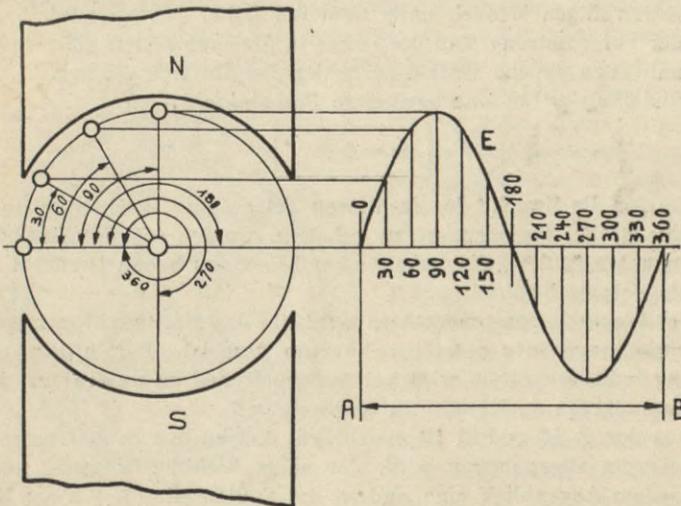
Der jeweilige Zustand des induzierten Wechselstroms während einer bestimmten Bewegung läßt sich graphisch durch die **Wechselstromkurve** darstellen, die



Zeichnung 58

bei modernen Maschinen annähernd der sog. Sinuskurve gleicht. Aus Z. 59 ist ersichtlich, daß bei einer Drehung des Ankers nach rechts die induzierte EMK und damit auch der induzierte Strom zur Hälfte positiv, zur Hälfte negativ verlaufen, da sich die Ankerdrähte an zwei entgegengesetzten Polen vorbei bewegen. Demnach muß bei der Bewegung des Leiters durch die neutrale Zone

ein Stromrichtungswechsel eintreten; auch sind die Spannungs- und Stromwerte in diesem Augenblick gleich Null, da keine Kraftlinien geschnitten werden. Man bezeichnet den elektrischen Zustand, der sich ergibt, wenn ein Ankerdraht von der neutralen Zone an einem Polpaar vorbei zur nächsten oder auch zur gleichen neutralen Zone bewegt wird, als **1 Periode** und stellt ihn graphisch durch Z. 59 dar. Dieser Wellenzug entsteht bei einer 2-poligen Maschine, wenn der Ankerdraht um 360°



Zeichnung 59

bewegt wird; da sich aber das gleiche Kurvenbild auch ergibt, wenn man den Leiter bei einer 4 poligen Maschine um 180° , oder bei einer 6 poligen um 120° bewegt usw., so bedeuten ganz allgemein diese 360 Grade eine elektrische Einteilung, und es ist demnach $1^\circ =$ der 360. Teil einer Periode. In diesem Sinne entsprechen $90^\circ =$ einer Viertelperiode, $180^\circ =$ einer halben Periode usw. Da die Zeit als Abszisse aufgetragen ist, so wird durch die auch in 360 Abschnitte eingeteilte Strecke $A \div B$ die Zeitdauer einer vollständigen Periode angegeben; ergibt sich nun z. B. die Periode in einer zehntel Sekunde, so erhält man in 1 Sekunde 10 Perioden. Man bezeichnet die in 1 Sekunde erhaltenen Perioden (Per) als die **Periodenzahl** oder **Frequenz** des Wechselstroms; diese wird um so größer sein, je mehr Pole eine Maschine besitzt und je größer ihre Drehzahl in der Minute ist; bezeichnet $f =$ Periodenzahl in 1 Sekunde, $a =$ Anzahl der Polpaare, $n =$ Drehzahl in 1 Minute, so ergibt sich:

$$(91) \quad \boxed{f = \frac{a \cdot n}{60}} \text{ Per} \quad \boxed{n = \frac{f \cdot 60}{a}} \text{ U/Min} \quad \boxed{a = \frac{f \cdot 60}{n}} \text{ Polpaare}$$

Die Periodenzahl eines Wechselstromes wird mittels besonderer **Frequenzmesser** (S. 84), die wie Voltmeter in den Stromkreis geschaltet werden, gemessen (Z. 88).

Um bei einem Wechselstrom Stärke- und Richtungswechsel nicht mehr wahrnehmen zu können, muß die Frequenz eine bestimmte Größe haben; in der Regel arbeiten die Zentralen mit der Frequenz 50, d. h. die normale Ausführung der Wechselstromgeneratoren erfolgt meist für 50 Perioden, seltener für 25.

Aus Z. 59 ist ersichtlich, daß sich die Größe der induzierten EMK mit dem jeweiligen Winkel, unter dem der Leiter bewegt wird, ändert. Unter der Voraussetzung, daß der Leiter in gleichen Zeiten gleiche Wege und damit auch gleiche Winkel zurücklegt, ergibt sich die sog. Winkelgeschwindigkeit ω für eine bestimmte Periodenzahl f zu:

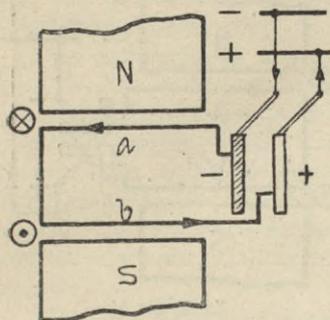
$$(92) \quad \boxed{\omega = 6,28 \cdot f}$$

Um für die Zwecke der drahtlosen Telegraphie Wechselströme mit besonders großer Periodenzahl zu erhalten, werden sog. **Hochfrequenz-Maschinen** konstruiert, die neben einer besonders hohen Drehzahl sehr viele Magnetpole besitzen.

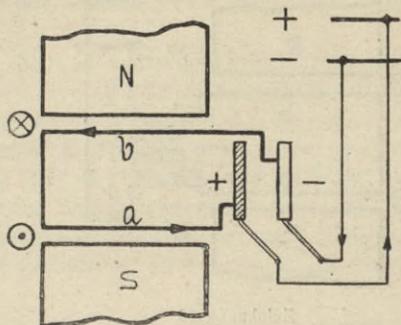
Bei **Wechselstromgeneratoren** wird die das Magnetfeld erzeugende Erregerwicklung stets mit Gleichstrom gespeist. Der in der Ankerwicklung induzierte Strom wird bei Außenpoltypen an Schleifringen, bei Innenpoltypen an Klemmen abgenommen.

Aus den Z. 60 und 61 ist ersichtlich, daß an den Schleifringen ein Wechselstrom abgenommen wird, der seine Richtung dauernd ändert, da in jedem Augenblick eine andere der Spulenseiten $a \div b$ am Nord- und Südpol vorbeibewegt wird. Die Stromabnahme erfolgt durch Bürsten

aus Metall oder Kohle, die auf den voneinander isolierten Ringen schleifen. Durch die \odot und \otimes soll die Drehrichtung des Ankers angedeutet werden. Die Richtung des induzierten Stromes wird nach der rechten Handregel bestimmt.



Zeichnung 60

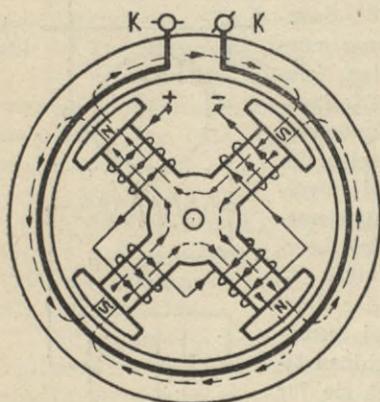


Zeichnung 61

Bei den Innenpolmaschinen (Z. 62) muß der zur Erregung der Feldmagnete N, S notwendige Gleichstrom über Bürsten und Schleifringe der drehenden Wicklung zugeführt werden; dieser Gleichstrom kann entweder einer Akkumulatorenbatterie oder einem Gleichstromnetze entnommen werden. In den meisten Fällen jedoch sitzt auf der gleichen Welle, auf der sich die Feldmagnete befinden, ein kleiner Generator, der den zur Erregung notwendigen Gleichstrom erzeugt. Der in der Gehäusewicklung induzierte Wechselstrom wird an die Klemmen K geführt und über die zugehörigen Apparate und Schalter mit den Sammelschienen verbunden.

Man bezeichnet bei Wechselstrommaschinen den feststehenden Teil als **Ständer** oder **Stator**, den drehenden als **Läufer** oder **Rotor**.

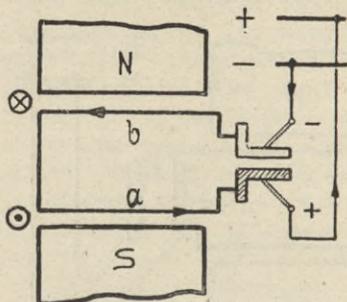
Soll mit einem Generator **Gleichstrom** erzeugt werden, so ist



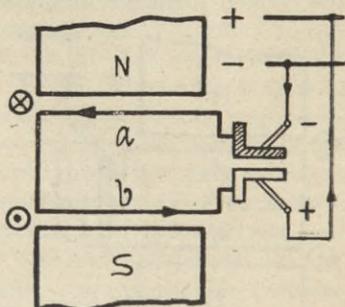
Zeichnung 62

es nur notwendig, den induzierten Wechselstrom durch eine mechanische Vorrichtung **gleichzurichten**. Dies geschieht in einfachster Weise dadurch, daß ein Schleifring in 2 Teile zerschnitten wird, die dann voneinander isoliert auf die Welle aufgesetzt und mit den Spulenseiten a ÷ b verbunden werden; diese Vorrichtung heißt **Kommutator** oder **Stromwender**, bzw. **Kollektor** oder **Stromabgeber**, da durch sie der Strom an die Bürsten, oder beim Motor an die einzelnen Spulen der Ankerwicklung abgegeben wird.

Da die Polarität an den Bürsten nicht mehr geändert wird, so bezeichnet man sie bei Gleichstrommaschinen als Plus- und Minusbürsten. Der Kollektor wird stets aus einer größeren Anzahl



Zeichnung 63



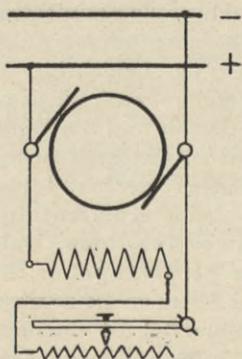
Zeichnung 64

Lamellen zusammengesetzt, die durch Glimmer oder Preßspan voneinander isoliert sind. Im Betriebe ist darauf zu achten, daß der Kollektor nicht rissig oder unrund wird, und daß er stets blank gehalten wird.

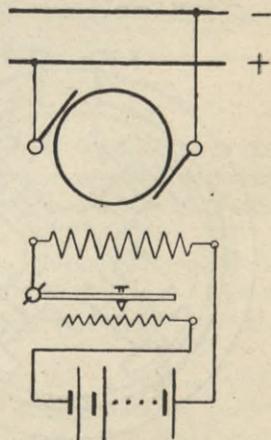
Gleichstrommaschinen können des Kollektors wegen nur als Außenpoltypen gebaut werden.

In elektrischen Gleichstromzentralen kommen fast ausschließlich **Nebenschluß-Generatoren** zur Verwendung; bei diesen Maschinen wird die Feldwicklung bei Selbsterregung (Z. 65) durch den eigenen Maschinenstrom gespeist, während bei Fremderregung (Z. 66) der Feldstrom einer anderen Stromquelle entnommen wird.

Der im Innern des Generators auftretende Spannungsverlust ergibt sich nach Seite 22 als das Produkt aus dem Belastungsstrom mal dem inneren Widerstand der Maschine. Da nun der Belastungsstrom bald klein, bald sehr groß sein kann, so wird auch der Spannungsabfall bald kleiner, bald größer sein. Hiermit ändert sich aber auch die Spannung an den vom Generator gespeisten Sammelschienen. Die Spannungsänderung beträgt bei selbsterregten Generatoren und unveränderter Magneterregung — zwischen Leerlauf und Vollast — 10 bis 20 % der Netzspannung; bei fremderregten Maschinen dagegen beträgt sie für den gleichen Fall nur etwa 7 bis 10 %.



Zeichnung 65



Zeichnung 66

Da jedoch die Klemmenspannung möglichst gleichmäßig gehalten werden muß, ist es notwendig, bei größer werdender Belastung auch den Erregerstrom zu verstärken und umgekehrt. Dies geschieht durch den Nebenschluß-Regulator, der entweder mit der Hand oder automatisch betätigt wird.

Bei selbsterregten Maschinen kann es manchmal vorkommen, daß der Generator nicht auf Spannung kommt. In diesem Falle ist der remanente Magnetismus in den Polschuhen durch irgend eine Ursache vernichtet worden. Weil nun keine Kraftlinien geschnitten werden können, kann auch keine Spannung induziert werden, und die Maschine bleibt spannungslos. In solchen Fällen muß, nachdem der Nebenschlußregulator auf großen Widerstand geschaltet ist, eine fremde Erregung stattfinden (Stark- oder Schwachstrombatterie oder permanente Stahlmagnete).

Um eine Akkumulatoren-Batterie mit einem Generator aufzuladen, muß seine Spannung um etwa 45 % über die Normal-Spannung erhöht werden können. Da normale Maschinen aber eine solche Spannungserhöhung nicht zulassen, so müssen Spezial-Generatoren verwendet werden, die aber so teuer sind, daß es meistens wirtschaftlicher ist, einen normalen Generator und eine sog. Zusatzmaschine zu verwenden.

Die Spannung der letzteren muß dann auch etwa 45 % der Normal-Spannung betragen; sie wird in Serie mit der Hauptmaschine und der zu ladenden Batterie geschaltet, wobei ihre Spannung so reguliert wird, daß sie der Differenz zwischen der jeweiligen Ladespannung der Batterie und der Spannung der Hauptmaschine gleich ist.

Die Leistung der Zusatz-Maschine ergibt sich als das Produkt aus der größten Spannungsdifferenz mal der maximalen Ladestromstärke der Batterie.

Der Antrieb des Zusatz-Generators erfolgt meistens durch einen direkt gekuppelten Elektro-Motor, wobei man diese beiden Maschinen dann als **Lade-Aggregat** oder **Zusatz-Aggregat** bezeichnet.

Die Generatoren werden angetrieben durch Wasser- und Dampfturbinen, Dampfmaschinen, Diesel-Motoren und sonstige Gas-Kraftmaschinen. Die Leistung der Antriebsmaschinen muß um so größer sein, je mehr Strom dem Generator entnommen werden soll. Die Ursache hierfür ergibt sich nach dem Gesetz von **Lenz** aus folgender Regel: Der durch eine Bewegung des Leiters induzierte Strom sucht stets die Bewegung zu verhindern, und zwar widersetzt er sich der Bewegung um so mehr, je mehr Strom dem Leiter entnommen wird.

Die in einem Generator induzierte EMK ist um so größer, je mehr Kraftlinien in der Zeiteinheit geschnitten und je mehr Windungen induziert werden; demnach ist die EMK abhängig von der Länge der induzierten Wicklung, von der Drehzahl und vom Kraftfluß; bezeichnet w = Windungszahl, ϕ = Kraftfluß, t = Zeit in Sekunden, in der w

Windungen den Kraftfluß ϕ schneiden, so ergibt sich die elektromotorische Kraft E zu:

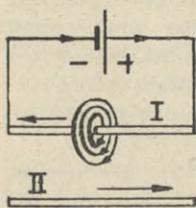
(93)

$$E = \frac{\omega \cdot \phi}{t \cdot 10^8} \text{ Volt}$$

Da bei einer ausgeführten Maschine die Windungszahl unveränderlich ist, so kann eine größere Spannung entweder durch Verstärkung des Erregerstromes oder durch Vergrößerung der Drehzahl erreicht werden.

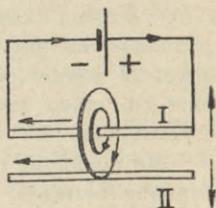
Gegenseitige Induktion.

Im einfachsten Falle werden 2 Leiter so angeordnet, daß der eine zum anderen parallel bewegt werden kann. Schickt man nun durch



Zeichnung 67

den Leiter I Gleichstrom, so entsteht in seiner Umgebung ein magnetisches Feld. Durch Bewegung des Leiters II wird in ihm ein Strom induziert, der bei Annäherung der beiden Leiter entgegengesetzte Richtung (Z. 67), bei Entfernung der Leiter voneinander gleiche Richtung (Z. 68) mit dem hin-



Zeichnung 68

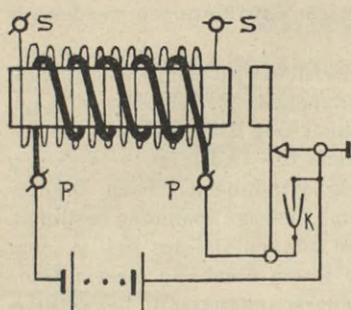
eingeschickten Strom aufweist. Man bezeichnet den Leiter, der zuerst vom Strom durchflossen wird, als **primären**, den anderen als **sekundären** Leiter.

Die Stromrichtung im sekundären Leiter ergibt sich hierbei aus der rechten Handregel. Durch andauerndes Hin- und Herbewegen des Sekundärleiters entsteht in ihm ein Wechselstrom.

Aus konstruktiven Gründen führt man nun solche Apparate, bei denen der Gleichstrom durch induktive Wirkung in Wechselstrom umgeformt wird, so aus, daß an Stelle des Leiters das Magnetfeld bewegt wird. Man erreicht dies, indem man in den Primär-Stromkreis einen selbsttätigen Schalter einbaut, der den Stromkreis regelmäßig öffnet und schließt; dadurch erhält man einen **intermittierenden** Gleichstrom. Beim Einschalten wachsen die Kraftlinien an, beim Ausschalten ziehen sie sich zusammen. Da diese Bewegungen der Kraftlinien mit den früheren Bewegungen des Sekundärleiters in ihrer Wirkung übereinstimmen, so ist beim Einschalten der induzierte Strom dem Primärstrom entgegengesetzt, beim Ausschalten dagegen gleich gerichtet. Eine praktische Anwendung dieser Gesetze haben wir beim Induktions-Apparat, beim Transformator, bei den als Asynchronmaschinen bezeichneten Motoren für Einphasen- und Drehstrom, bei Wirbelstrombremsen usw.

Der Induktionsapparat.

Z. 69 zeigt die Prinzipschaltung eines Induktionsapparates. Der primärseitig hineingeschickte Gleichstrom kann auf der Sekundärseite



Zeichnung 69

wieder als Wechselstrom abgenommen werden. Der Induktionsapparat besteht aus 2 übereinander angeordneten Spulen, von denen die primäre P aus wenigen Windungen dicken Drahtes, die sekundäre S aus vielen Windungen dünnen Drahtes besteht. Zur Stromunterbrechung dient der Wagner'sche oder Neef'sche Hammer.

Durch Parallelschalten eines Kondensators K zur Unterbrecherstelle wird eine Lichtbogenbildung verhindert und die sekundärseitig induzierte Spannung erhöht; letztere ist auch noch vom Verhältnis der Windungszahlen beider Wicklungen abhängig. Die Größe des induzierten Stromes dagegen ist durch die Ampere-Windungen der Primärspule bestimmt.

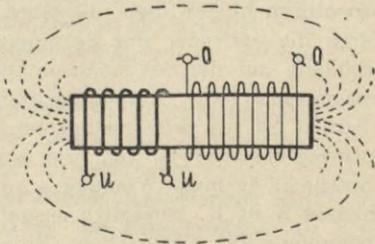
Der Transformator.

Der Transformator ist ein ruhender Umformer, durch den ein Wechselstrom von bestimmter Spannung und Stromstärke in einen Wechselstrom von anderer Spannung und Stromstärke transformiert wird. Bei der Umformung muß die elektrische Leistung theoretisch auf beiden Seiten gleich groß sein; praktisch wird sie sekundärseitig etwas kleiner, da gewisse Verluste in den Transformatoren unvermeidlich sind; sie besitzen je nach der Größe einen Wirkungsgrad von 90—98 %.

Der Kraftlinienweg ist beim Transformator durch Eisen geschlossen (Z. 86); sog. **offene** Transformatoren, wie Z. 70 zeigt, finden nur mehr selten Anwendung, da die starke Streuung der Kraftlinien einen schlechten Wirkungsgrad bedingt. Je nach der konstruktiven Ausführung unterscheidet man **Kern-** und **Manteltransformatoren** (Seite 85).

Der Eisenkörper eines Transformators wird aus Eisenblechen aufgebaut, um die Wirbelstromverluste zu vermindern; auch muß das Eisen, das durch fortwährendes Ummagnetisieren bzw. Erwärmen und Abkühlen sehr bald zu **altern** anfängt, bereits vor der Verwendung als Transformatorenblech künstlich gealtert werden.

Bei allen Transformatoren ist auf gute Kühlung besonders zu achten; sog. **Trockentransformatoren**



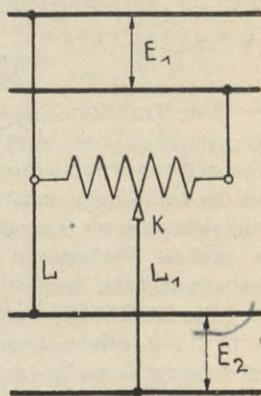
Zeichnung 70

werden entweder durch die umgebende Luft oder durch künstliche Luftströmung gekühlt. Für höhere Spannungen und größere Leistungen ist es jedoch üblich, den ganzen Transformator in ein mit säure- und wasserfreiem Oel gefülltes Gefäß zwecks besserer Kühlung und Fernhaltung der Luftfeuchtigkeit zu stellen; solche Ausführungen werden als **Oeltransformatoren** bezeichnet.

Das entstehende und verschwindende Kraftfeld wird beim Transformator in einfacher Weise durch den primärseitig fließenden Wechselstrom erzeugt. Als **Primärseite** des Transformators bezeichnet man die Wicklung, die mit Wechselstrom gespeist wird, während man die induzierte Wicklung die **Sekundärseite** nennt. Die aus wenig Windungen dicken Drahtes bestehende Wicklung ist für großen Strom und niedrige Spannung bestimmt, während die andere, die viele Windungen dünnen Drahtes besitzt, zum Anschluß an hohe Spannung bei kleinem Strom dient. In diesem Sinne unterscheidet man zwischen **Hoch- und Niederspannungsseite** bzw. **Oberspannungs- und Unterspannungsseite** eines Transformators.

Ist die Oberspannungs- bzw. Unterspannungswicklung als 1 Spule ausgeführt, so spricht man von konzentrischer oder **Zylinderwicklung**; in diesem Falle wird die Niederspannungswicklung unter der Hochspannungswicklung angeordnet. Sind dagegen die Wicklungen in einzelne Spulen unterteilt, die so aufgesetzt werden, daß auf eine Oberspannungsspule immer eine Unterspannungsspule folgt, oder umgekehrt, so bezeichnet man diese Anordnung als **Scheibenwicklung**.

Das Verhältnis der Ströme und Spannungen auf der Primär- und Sekundärseite nennt man das **Uebersetzungsverhältnis** des Transformators; dieses ist abhängig von den primär- und sekundärseitig vorhandenen Windungen. Da nach Gleichung 93 die induzierte $E = K$ der Windungszahl eines Leiters proportional ist, so werden auch die Transformatorspannungen von den Windungszahlen abhängig sein.



Zeichnung 71

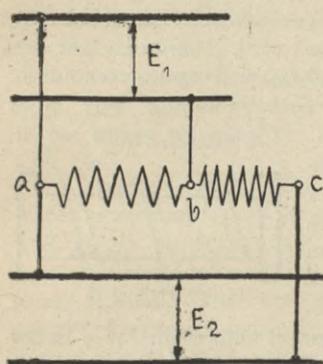
An dieser Stelle sei auch noch auf die sog. **Spar- oder Autotransformatoren** hingewiesen; dieselben besitzen eine oder zwei Wicklungen, durch die entweder eine Spannungsverminderung oder eine Spannungserhöhung auf der Sekundärseite erreicht wird. Z. 71 zeigt einen Spartransformator für Einphasenstrom, dessen Spannung sekundärseitig kleiner ist als primärseitig; im Prinzip hat man es hierbei mit einer Abzweigschaltung zu tun, die eine um so größere Spannungsabnahme ermöglicht, je mehr Windungen zwischen L und L_1 liegen. Oft wird der Kontakt K an L_1 beweglich ausgeführt, sodaß es möglich ist, beliebige Spannungswerte einzustellen. Eine solche Anordnung wird als **Reguliertransformator** mit Sparschaltung bezeichnet.

Z. 72 zeigt einen Autotransformator, der zur Spannungserhöhung verwendet wird; hierbei ist die primäre Wicklung durch die Strecke $a \div b$, die sekundäre durch $a \div c$ gegeben.

Wirbelströme.

Als **Wirbelströme** oder **Foucaultsche Ströme** bezeichnet man solche Induktionsströme, die bei Bewegung von größeren Metallmassen in einem Magnetfelde erzeugt werden. Die induzierte EMK wird stets sehr klein sein, dagegen können verhältnismäßig große Ströme entstehen. Ueber die Bewegungsrichtung der Wirbelströme weiß man, daß sie senkrecht zu den Kraftlinien und senkrecht zur Bewegungsrichtung des Leiters verlaufen.

Um nun die Bahn der Wirbelströme zu unterbrechen, ist es notwendig, die Metallmassen in bestimmter Weise zu unterteilen, wobei



Zeichnung 72

zwischen die einzelnen Metallstücke Isolierungen einzulegen sind. Man setzt daher den Anker einer Dynamomaschine aus Eisenblechen von etwa 0,5 mm Dicke zusammen, die durch Isolierlack oder durch aufgeklebtes Seidenpapier voneinander getrennt sind (Z. 20).

Die schädliche Wirkung der Wirbelströme besteht darin, daß sie die in Bewegung befindlichen massiven Leiter aufzuhalten suchen; es ist deshalb eine bestimmte Energiemenge aufzuwenden, um diese Bremswirkung zu überwinden.

In vielen Fällen läßt sich die Bremswirkung (Dämpfung) durch Wirbelströme auch nutzbringend verwenden, z. B. zum Abbremsen von Zählern, zur Verhinderung des Hin- und Herpendelns der Meßinstrumentenzeiger und zur Ermittlung der mechanischen Leistung bei Brems-Versuchen. In allen diesen Fällen spricht man von **Wirbelstrombremsen**.

In Z. 29 ist mit B die Brems Scheibe bezeichnet, die meist aus Aluminium besteht und sich bei Drehung des Ankers zwischen den Polen eines permanenten Stahlmagneten S bewegt. Durch die hierbei auftretenden Wirbelströme wird der Anker und damit auch das Zählwerk abgebremst, sobald die Belastung des Zählers abgeschaltet wird. Die Kraft der Wirbelstrombremsung ist der Geschwindigkeit der Scheibe direkt proportional.

Die oft zwischen Anker und Bremsmagneten angebrachte und **Streublech** genannte Eisenplatte E hat den Zweck, eine gegenseitige Beeinflussung der verschiedenen Magnetfelder zu verhindern.

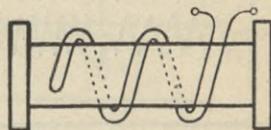
Bei manchen Meßinstrumenten, z. B. bei Drehspulensystemen, wird der permanente Magnet sowohl zur Erzeugung des Erregerfeldes, als auch zur Erzeugung der Wirbelströme benutzt; hierbei dient als massiver Leiter der Aluminiumrahmen, auf den die Drehspule gewickelt ist (Seite 7).

Die Selbstinduktion.

Die von den Windungen einer Spule erzeugten Kraftlinien schneiden beim Ein- und Ausschalten des Stromkreises auch durch die eigene Wicklung, wobei dann in der Spule selbst eine EMK erzeugt wird, die man als **Selbstinduktion** bezeichnet.

Der Selbstinduktionsstrom wirkt im Moment des Einschaltens dem ursprünglichen Strom entgegen, sucht also sein Anwachsen zu verhindern, während er beim Ausschalten dem abnehmenden Strom entgegen wirkt und die Stromunterbrechung zu verhindern sucht. Je schneller nun die Stromunterbrechung vor sich geht, desto mehr Kraftlinien schneiden in der Zeiteinheit den Leiter und desto größer wird die EMK der Selbstinduktion. Aus diesem Grunde sollen Elektromagnete nie plötzlich, sondern nur allmählich ausgeschaltet werden. Man erreicht dies, indem man mit dem Elektromagnet in Serie einen Vorschaltwiderstand schaltet, durch den die Stromstärke allmählich verringert wird. Hierdurch läßt sich eine Funkenbildung an der Unterbrecherstelle fast vollständig verhindern.

Während in Gleichstromkreisen die Selbstinduktion nur beim Schließen und Öffnen eines Stromkreises wirksam ist, kann sie in Wechselstromkreisen einen dauernden Einfluß auf das ganze System ausüben. Der jeweilige Spannungswert der Selbstinduktion ist neben Strom und Frequenz auch noch vom **Selbstinduktionskoeffizient** L abhängig; man versteht hierunter eine Zahl, durch die Quer-



Zeichnung 73

schnitt und Länge einer Spule, ihre Windungszahl und, wenn Eisen in der Nähe ist, die magnetische Leitfähigkeit (Permeabilität) desselben zum Ausdruck gebracht werden. Dabei ist zu merken, daß bei Spulen ohne Eisen für $\mu=1$ zu setzen ist. Die Einheit des Selbstinduktionskoeffizienten ist das **Henry**; 1 Henry ist der Induktionskoeffizient eines Leiters, in dem 1 Volt — durch die gleichmäßige Änderung der Stromstärke um 1 Ampere in 1 Sek. — induziert wird. Bezeichnet μ = magnetische Leitfähigkeit, q = Spulenquerschnitt in cm^2 , l = Spulenlänge in cm, w = Gesamtzahl der Windungen, so ergibt sich:

(94)

$$L = \frac{\mu \cdot q \cdot w^2}{l \cdot 79600000} \text{ Henry}$$

Wenn Selbstinduktionskoeffizient und Periodenzahl bekannt sind, so läßt sich die EMK der Selbstinduktion E_s , die auch oft **induktive Spannung** genannt wird, aus dem Strom I und der Winkelgeschwindigkeit (Formel 92) nach folgender Formel berechnen:

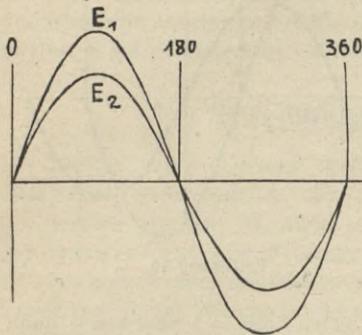
(95)

$$E_s = I \cdot L \cdot f \cdot 6,28 \text{ Volt}$$

In manchen Fällen benötigt man Spulen, die auf keinen Fall Selbstinduktion besitzen dürfen; es muß dann die Wicklung **zweifädig** oder **bifilar** aufgelegt werden, wie Z. 73 zeigt. Bei solchen Spulen ist die Stromrichtung in 2 nebeneinander liegenden Windungen entgegengesetzt; infolgedessen wirken sich auch die Magnetfelder entgegen und die Entstehung einer EMK der Selbstinduktion wird verhindert.

Die Phasenverschiebung.

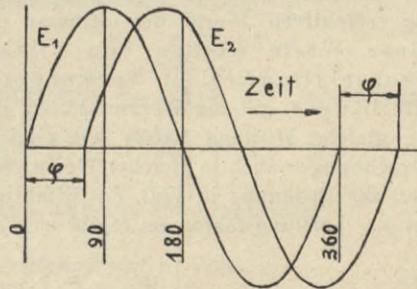
1. Eine **Phasenverschiebung** kann nur in Wechselstromkreisen vorkommen. Während 2 Gleichströme höchstens in ihrer Stärke und Richtung verschieden sind, können 2 Wechselströme in Stärke, Periodenzahl und Phase verschieden sein. Da sich Richtung und Stärke eines Wechselstromes in jedem Augenblick ändern, so hat man die Bezeichnung **Augenblicks-** oder **Momentanwerte** eingeführt.



Zeichnung 74

Man kann von **Phasengleichheit** zweier Wechselströme nur reden, wenn ihre Momentanwerte dieselben sind, d. h. sie müssen ihre Richtung und Stärke innerhalb der gleichen Zeitabschnitte ändern und gleiche Periodenzahl haben (Z. 74).
Zwei Wechselströme sind dagegen nicht in Phase, wenn ihre elektromotorischen Kräfte und damit auch die Ströme zu verschiedenen Zeiten ihre positiven und negativen Werte erreichen; da sie in diesem Falle dann nicht gleichzeitig durch Null gehen, so ändern sie auch ihre Richtung nicht gleichzeitig. Aus Z. 75 ist ersichtlich, daß die Kurve E_1 alle Werte früher erreicht als die Kurve E_2 ; bezeichnet man den Zeitraum, um den die einzelnen Werte der beiden Kurven gegeneinander verschoben sind, mit φ , so kann man sagen: Die EMK der Kurve E_1 eilt der EMK von E_2 um den Zeitabschnitt φ voraus. Schickt man deshalb zwei nicht in Phase befindliche Wechselströme durch einen gemeinsamen Leiter, so ergibt sich ein resultierender Strom, der wieder eine andere Phase besitzt als die beiden Ströme, die ihn erzeugten.

2. Die in einem Wechselstromkreis auftretende Selbstinduktion bewirkt, daß Spannung und Stromstärke nicht gleichzeitig ihre höchsten und niedrigsten Werte erreichen; es werden deshalb die beiden Kurven der Spannung und des Stromes gegeneinander verschoben sein (Z. 76), und zwar um so mehr, je größer die Selbstinduktion ist. Im ungünstigsten Falle tritt eine Verschiebung um 90° , d. i. $= \frac{1}{4}$ Periode, ein. Diese Verschiebung des Stromes gegen die Spannung heißt man nun auch **Phasenverschiebung**; sie ergibt sich als der **cosinus** des jeweiligen Phasenverschiebungswinkels φ . Die Größe der Phasenverschiebung ist deshalb durch den Ausdruck $\cos \varphi$ genau bestimmt.

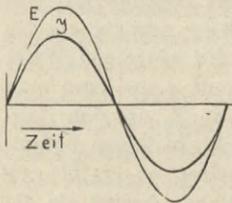


Zeichnung 75

Da sich die elektrische Leistung als das Produkt aus $E \cdot I$ ergibt, so wird sie für jeden Augenblick einen anderen Wert besitzen. An dem Punkt a ist die Spannung Null, deshalb wird auch das Produkt $E \cdot I = \text{Null}$ sein; der gleiche Fall tritt ein, wenn in Punkt b der Strom Null ist.

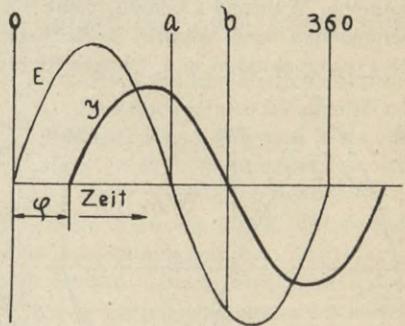
Man bezeichnet diesen Strom als **wattlosen Strom**, da er bewirkt, daß in diesem Augenblick die elektrische Leistung = Null wird. Die jeweilige Leistung eines Wechselstromsystems wird also durch die vorhandene Phasenverschiebung beeinflusst; da die Größe der letzteren durch $\cos \varphi$ genau bestimmt ist, so bezeichnet man $\cos \varphi$ auch oft als **Leistungsfaktor**.

Es ist zu beachten, daß $\cos \varphi$ im günstigsten Falle = 1 sein kann; dann ist keine Selbstinduktion vorhanden, man sagt: **Der Stromkreis ist induktionsfrei belastet**. Spannung und Stromstärke sind nicht mehr gegeneinander verschoben und erreichen gleichzeitig ihre höchsten und niedrigsten Werte; auch ändern sie ihre Richtung gleichzeitig, wie aus Z. 77 hervorgeht.



Zeichnung 77

Ist dagegen Selbstinduktion in einem Stromkreis vorhanden, so sagt man, er ist **induktiv belastet** und man wird dann mit einem $\cos \varphi = \text{kleiner als 1}$ rechnen müssen. Spannung und Stromstärke sind dann gegeneinander verschoben und erreichen nicht mehr gleichzeitig ihre Momentanwerte, wie Z. 76 zeigt.



Zeichnung 76

Wechselstromleistung.

Bei den meisten Berechnungen sind in Wechselstromkreisen die sog. **effektiven** Werte des Stromes und der Spannung einzuführen. Diese Werte werden von allen Meßinstrumenten, die in Wechselstromkreisen Verwendung finden, angezeigt. Da die Effektivwerte, auf die Wärmewirkung des elektrischen Stromes bezogen, die gleiche Wirkung haben wie Gleichstromwerte, so werden sie bei Berechnungen auch in gleicher Weise verwendet; bezeichnet $E = \text{Effektivwert der Spannung in Volt}$, $I = \text{Effektivwert der Stromstärke in Ampere}$, $\cos \varphi = \text{Leistungsfaktor}$, so ergibt sich die Wechselstromleistung W_w zu:

(96)

$$W_w = E \cdot I \cdot \cos \varphi \quad \text{Watt}$$

Bezeichnet ferner e_m = maximalen Spannungswert in Volt, i_m = maximale Stromstärke in Ampere, so berechnen sich diese Werte aus den effektiven zu:

$$e_m = \frac{E}{0,707} \text{ Volt} \quad (97)$$

$$i_m = \frac{I}{0,707} \text{ Amp} \quad (98)$$

In Wechselstromkreisen bezeichnet man das Produkt $E \cdot I \cdot \cos \varphi$ als **wirkliche Leistung**, $E \cdot I$ allein dagegen nur als **scheinbare Leistung**; letztere wird gemessen in **Voltampere** (VA) oder **Kilovoltampere** (kVA).

Wechselstromwiderstand.

Der in einer Leitung fließende Wechselstrom I hat außer dem **Ohm'schen** Widerstand R , der durch Länge, Querschnitt und Material des Leiters gegeben ist, auch noch den durch Selbstinduktion hervorgerufenen induktiven Widerstand R_s zu überwinden. Genau genommen ist aber kein Widerstand vorhanden, sondern es wird nur die zugeführte Spannung durch die entgegengesetzt gerichtete EMK der Selbstinduktion verkleinert.

Die Maschinenspannung E läßt sich demnach aus der Ohm'schen Spannung E_r und der EMK zur Ueberwindung der Selbstinduktion E_s in folgender Weise berechnen:

$$E = \sqrt{E_r^2 + E_s^2} \text{ Volt} \quad (99)$$

In gleicher Weise ergibt sich der gesamte Wechselstromwiderstand R_w aus der Formel:

$$R_w = \sqrt{R^2 + R_s^2} \Omega \quad (100)$$

Bezeichnet f = Periodenzahl, L = Selbstinduktionskoeffizient, so ergibt sich:

$$R_s = L \cdot f \cdot 6,28 \Omega \quad L = \frac{R_s}{f \cdot 6,28} \text{ Henry} \quad (101)$$

Aus obiger Formel ist ersichtlich, daß der induktive Widerstand R_s nur ein scheinbarer Widerstand ist, der um so größer wird, je größer Frequenz und Selbstinduktionskoeffizient sind. Da beide Widerstände vom gleichen Strom durchflossen werden, so ergeben sich:

$$E_r = I \cdot R \text{ Volt} \quad (102)$$

$$E_s = I \cdot R_s \text{ Volt} \quad (103)$$

Der gesamte Wechselstromwiderstand R_w ergibt sich demnach zu:

$$R_w = \frac{E}{I} \Omega \quad (104)$$

$$R_w = \sqrt{R^2 + (39,4 \cdot f^2 \cdot L^2)} \Omega \quad (105)$$

Unter Verwendung der Formeln 104 und 105 erhält man:

$$E = I \cdot \sqrt{R^2 + (39,4 \cdot f^2 \cdot L^2)} \text{ Volt} \quad (106)$$

Es bedeutet in Wechselstromkreisen $R = \text{Resistanz}$ oder Ohm'scher Widerstand in Ω , $R_s = \text{Induktanz}$ oder induktiver Widerstand in Ω , $R_w = \text{Impedanz}$ oder Wechselstromwiderstand in Ω .

Sind Phasenverschiebung und effektiver Spannungswert bekannt, so ergibt sich die Ohm'sche Spannung zu:

$$(107) \quad E_r = E \cdot \cos \varphi \quad \text{Volt}$$

Die induktive Spannung ergibt sich entweder nach Formel 103, oder aus Formel 99 zu:

$$E_s = \sqrt{E^2 - E_r^2} \quad \text{Volt}$$

Ist $\cos \varphi$ bekannt, so kann man unter Zuhilfenahme von **sinus** φ ($\sin \varphi$) die induktive Spannung in folgender Weise ermitteln:

$$(108) \quad E_s = E \cdot \sin \varphi \quad \text{Volt}$$

Drosselspulen.

Drosselspulen sind induktive Widerstände, die in Wechselstromkreisen und gemischten Stromkreisen Anwendung finden. Auf einem Eisenrahmen von bestimmtem Querschnitt ist die Wicklung angeordnet, durch die der Wechselstrom geleitet wird (Z. 82). Der Ohmsche Widerstand der Wicklung ist meistens klein; der Drahtquerschnitt ist der Betriebsstromstärke anzupassen. In der Hauptsache dienen die Drosselspulen zur Regulierung der Stromstärke in Wechselstromkreisen und zur Erzeugung einer Phasenverschiebung. Der Gesamtwiderstand R_w einer Drosselspule im Wechselstromkreis ergibt sich aus Formel 105.

Der Selbstinduktionskoeffizient L berechnet sich aus Gleichung 94. Es ergibt sich demnach, daß die Wirkung einer Drosselspule abhängig ist von der Windungszahl und dem Ohm'schen Widerstand der Wicklung, von der Periodenzahl des die Spule durchfließenden Wechselstromes und von der Größe des Eisenquerschnittes. Die in Z. 82 mit Z bezeichneten Zwischenlagen müssen aus nicht magnetisierbarem Material bestehen; die Drosselwirkung der Spule ist um so größer, je dünner diese Zwischenlagen gewählt werden.

Drosselspulen finden in der Hauptsache Anwendung als Vorschaltwiderstände in Bogenlampenstromkreisen, als Ersatzwiderstände in Glühlampen-Serienstromkreisen, zur Erzeugung eines Drehfeldes durch Phasenverschiebung bei Einphasenstrommotoren, bei Wechselstrommeßinstrumenten und Zählern, als elektrische Ventile in der Telegraphie und Telephonie und als Abschwächungswiderstände für Ueberspannungen in Hochspannungsstromkreisen.

Kondensatoren.

Als Ursache der Phasenverschiebung wurden bis jetzt nur induktive Widerstände erwähnt. Es gibt aber noch andere Widerstände, die ebenfalls eine Verschiebung von Strom und Spannung zur Folge haben; es sind dies die sog. **kapazitiven** Widerstände, die durch **Kondensatoren** gegeben sind. Während aber die induktive Belastung ein Nacheilen des Stromes hinter der Spannung zur Folge hat, bewirkt der Kondensator im Wechselstromkreis eine Phasenverschiebung in der Weise, daß der Strom der Spannung vorausseilt. Der Effekt ist in beiden Fällen der gleiche: Durch die vorhandene Phasenverschiebung wird die elektrische Leistung vermindert. Als Kondensator bezeichnet man 2 oder mehrere aufeinander liegende Metallplatten, die durch isolierende Zwischenwände voneinander getrennt sind. Die Platten werden **Belegung**, die Isolierschicht **Dielektrikum** genannt. Wird ein Kondensator an eine Gleichstromquelle angeschlossen, so nimmt er eine bestimmte Elektrizitätsmenge in sich auf, man sagt: Der Kondensator wird geladen. Die aufgenommene Menge wird um so größer sein, je höher die Ladespannung und je größer die Kapazität des Kondensators ist. Als **Kapazität** bezeichnet man das Aufnahmevermögen, das den Plattenflächen direkt und dem Plattenabstand umgekehrt proportional ist. Die Belegungen bestehen meistens aus Staniol, das Dielektrikum dagegen aus Glas, Glimmer, paraffiniertem Papier, Schellack usw. Ist der Kondensator geladen, so herrscht zwischen den Belegungen eine bestimmte Spannung, die schließlich so groß sein kann, daß über die als Dielektrikum dazwischen liegende Luftschicht eine Funkenentladung stattfindet. Da nun die Isolierfähigkeit von den oben genannten Dielektriken größer ist als die der Luft, so wird eine Entladung um so mehr verhindert, je besser das Dielektrikum isoliert. Die jeweilige Isolierfähigkeit wird durch die **Dielektrizitätskonstante** zum Ausdruck gebracht; diese beträgt für Luft = 1, Glas = 7, Glimmer = 6, paraffiniertes Papier = 3,5, Schellack = 3,2 usw.

Bei den Kondensatoren wird die Kapazität in Farad (F) gemessen; 1 Farad hat der Kondensator, der durch 1 Amperesekunde auf 1 Volt geladen wird. In der Praxis ist es jedoch üblich, mit dem millionsten Teil eines Farads zu rechnen; deshalb ist die Einheit der Kapazität das **Mikrofarad** (μ F).

$$1 \mu F = \frac{1}{1000000} \text{Farad} \quad (109)$$

Bezeichnet C = Kapazität in μ F, E = Ladespannung in Volt, Q = Elektrizitätsmenge (Strommenge) in Coulomb, so ergibt sich:

$$C = \frac{Q \cdot 1000000}{E} \mu F \quad (110)$$

Je nach dem Verwendungszweck lassen sich die Kondensatoren in Kaskaden- oder Serien-, in Parallel- und in Gruppenschaltung verbinden. Dabei ist zu beachten, daß die auf Seite 15 abgeleiteten Formeln* in kapazitiven Stromkreisen gerade entgegengesetzt zu verwenden sind. Bedeutet C = Gesamtwert der Kapazität in Mikrofarad,

C_1, C_2 usw. = die Kapazität der verschiedenen Kondensatoren in Mikrofarad, so ergibt sich für Parallelschaltung:

$$(111) \quad C = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad \mu F$$

Für Serienschaltung gelten demnach die auf Seite 15 angegebenen Formeln in folgender Abänderung; z. B. für 2 Kondensatoren:

$$(112) \quad C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad \mu F$$

Für mehrere in Serie geschaltete Kondensatoren erfolgt die Berechnung dann am einfachsten durch Zusammenzählen der reziproken Werte:

$$(113) \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

In Parallelschaltung werden vorwiegend Niederspannungs-, in Serienschaltung hauptsächlich Hochspannungskondensatoren verbunden.

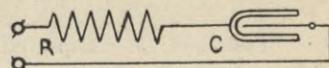
Wie aus den Z. 69, 78 und 79 ersichtlich ist, wird durch Einschaltung eines Kondensators die metallische Verbindung des Stromkreises unterbrochen; infolgedessen wird ein Gleichstrom in dem System nicht mehr fließen können. Erfolgt der Anschluß dagegen an ein Wechselstromnetz, so findet eine fortwährende Ladung und Entladung des Kondensators statt; der Wechselstrom wird durch den Kondensator hindurchfließen, trotzdem keine eigentliche metallische Verbindung besteht. Der vorhandene Widerstand berechnet sich bei kapazitiver Belastung nach Formel 114. Bezeichnet R_c = kapazitiven Widerstand in Ohm, f = Frequenz des Wechselstromes, C = Kapazität in μF , so ergibt sich:

$$(114) \quad R_c = \frac{1000000}{6,28 \cdot f \cdot C} \quad \Omega$$

Aus der Formel ist ersichtlich, daß der Widerstand des Kondensators der Frequenz und der Kapazität umgekehrt proportional ist.

Kondensatoren finden Anwendung in der drahtlosen Telegraphie, als Abschwächungswiderstände für Ueberspannungen in Hochspannungstromkreisen, als elektrische Ventile in der Schwachstromtechnik und zur Erzeugung einer bestimmten Phasenverschiebung in Wechselstromkreisen.

Eine kapazitive Belastung wird in Wechselstromkreisen besonders durch Kabel hervorgerufen.

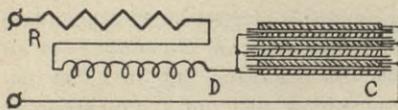


Zeichnung 78

In Z. 78 sind ein Ohmscher Widerstand R und eine Kapazität C in Serienschaltung an eine Wechselstromquelle angeschlossen. Hierbei berechnet sich der Gesamtwiderstand R_w aus:

$$(115) \quad R_w = \sqrt{R^2 + \frac{10^{12}}{39,4 \cdot f^2 \cdot C^2}} \quad \Omega$$

In Z. 79 sind ein Ohmscher, induktiver und kapazitiver Widerstand (R, D, C) in Serie geschaltet; da nun die Selbstinduktion ein **Nach-**



Zeichnung 79

eilen des Stromes hinter der Spannung, die Kapazität jedoch ein **Voraus-**eilen des Stromes vor der Spannung bewirkt, so muß dieser Gegensatz auch rechnerisch zum Aus-

druck gebracht werden; es ergibt sich dann der gesamte Wechselstromwiderstand R_w für Z. 79 zu:

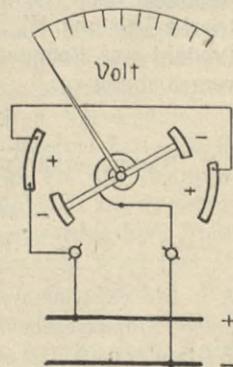
$$R_w = \sqrt{R^2 + \left[(6,28 \cdot f \cdot L) - \left(\frac{1000000}{6,28 \cdot f \cdot C} \right)^2 \right]^2} \quad \Omega \quad (116)$$

Wird in diesem Ausdruck der induktive Widerstand gleich dem kapazitiven, so heben sie sich in ihrer Wirkung auf und die Folge ist, daß Spannung und Strom wieder in Phase sind. Diesen Zustand sucht man in elektrischen Zentralen künstlich durch ruhende oder rotierende **Phasenregler** herbeizuführen; dadurch wird es möglich, die im Netze vorhandenen wattlosen Ströme aufzuheben und den Leistungsfaktor ganz erheblich zu verbessern, d. h. $\cos \varphi$ möglichst nahe an 1 heranzubringen.

Aus Formel 110 ist ersichtlich, daß sich die Spannung einer Stromquelle aus Kapazität und Elektrizitätsmenge berechnen läßt. Deshalb ist es möglich, mit Meßinstrumenten, die nach dem Kondensatorprinzip ausgeführt sind, Spannungsmessungen auszuführen. Man bezeichnet diese Instrumente als **elektrostatische Instrumente**; hierzu gehören: **Elektroskope** und **Elektrometer**.

Das in Z. 80 dargestellte Voltmeter soll das Prinzip der elektrostatischen Meßinstrumente zeigen; seine Wirkungsweise beruht auf der Anziehung und Abstoßung mehrerer mit ungleichnamiger Elektrizität geladener Körper. Elektrometer sind die einzigen Instrumente, die mit statischer oder ruhender Elektrizität betrieben werden; sie eignen sich besonders gut zur unmittelbaren Messung von Hochspannung.

Z. 81 zeigt das Prinzip eines **Multicellular-**Voltmeters, das sich zur elektrostatischen Messung von Niederspannung eignet. In dem Instrument wirken 2 senkrechte, einander gegenüber angeordnete Reihen von Metallzellen drehend auf ein System, das aus einer Anzahl übereinander liegender Aluminiumflügel besteht und an einem Metallband aufgehängt ist. Zur Spannungsmessung muß die Kurbel auf V gestellt werden, während nach beendeter Messung die Kurbel auf O zu stellen ist, wodurch sich Laderückstände ausgleichen können. Elektrometer können für Gleich- und Wechselstrommessungen Verwendung finden.

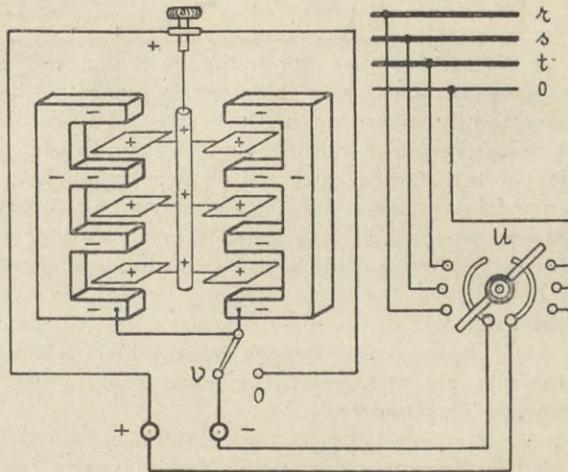


Zeichnung 80

Der Einphasenstrom.

Ein Wechselstromgenerator, der nur eine in zwei leicht erkennbare Enden auslaufende Bewicklung besitzt, liefert auch nur einen einfachen Wechselstrom oder **Einphasenstrom**. Da der Strom nur in 1 Bewicklung induziert wird, so ist für jeden Augenblick auch nur ein elektrischer Zustand oder eine Phase vorhanden. Die Bewicklung besteht je nach der Polzahl aus einer oder mehreren Spulen, die in Serie oder parallel geschaltet sein können.

Ist der Generator eine Außenpolmaschine (Z. 58), so erfolgt die Abnahme des Wechselstromes von der rotierenden **Ankerwicklung**



Zeichnung 81

über Schleifringe und Bürsten. Ist der Stromerzeuger dagegen als Innenpoltype ausgeführt (Z. 62), so erfolgt die Stromabnahme an den Klemmen der stillliegenden **Anker- oder Gehäusewicklung**. Die elektrische Leistung W_e eines Einphasenstromsystems ergibt sich als das Produkt aus Spannung mal Strom unter Berücksichtigung der Phasenverschiebung zu:

(117)

$$W_e = E \cdot I \cdot \cos \varphi \quad \text{Watt}$$

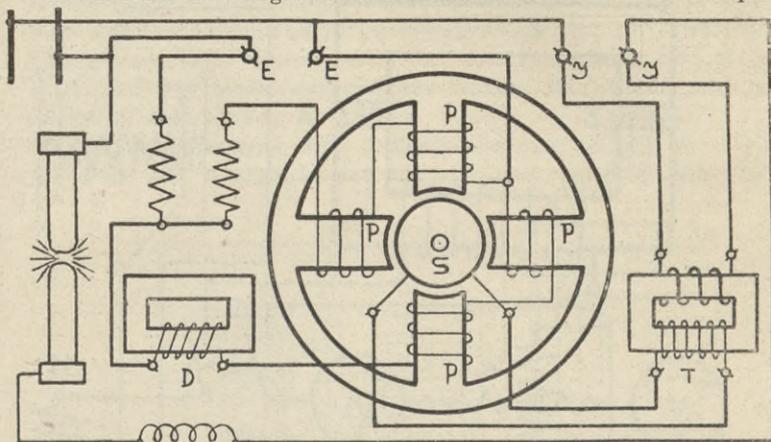
Hieraus erhält man:

$$I = \frac{W_e}{E \cdot \cos \varphi} \quad \text{Amp}$$

$$E = \frac{W_e}{I \cdot \cos \varphi} \quad \text{Volt}$$

Die experimentelle Bestimmung des Leistungsfaktors $\cos \varphi$ kann in einem Einphasenstromkreis unter Zuhilfenahme von Ampere-, Volt- und Wattmeter nach Z. 82 ausgeführt werden. H ist ein Heizgitter, dem in Stellung II ein Ohmscher Widerstand R, in Stellung I ein induktiver Wider-

der Zeiger des Phasenmessers keine bestimmte Ruhelage. Der Nullpunkt des Instrumentes liegt links, wenn nur die Rückwärtsverschiebung des Stromes gegen die Spannung gemessen werden soll, dagegen in der Mitte, wenn Vorwärts- und Rückwärtsverschiebung zu ermitteln sind. Die Angaben des Phasenmessers sind von der Frequenz

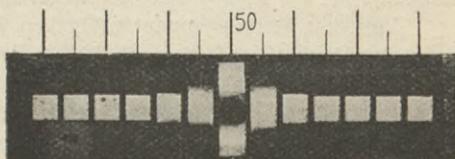


Zeichnung 83.

abhängig; daher wird das Instrument oft mit einem **Frequenzregler** ausgerüstet, durch den der Phasenmesser für die jeweilige Periodenzahl eingestellt wird.

Zur Ermittlung der Frequenz verwendet man einen **Frequenzmesser**, der nach Z. 88 eingeschaltet wird. Das Instrument besitzt eine Anzahl Stahlzungen S , die vor einem Elektromagneten m angeordnet sind. Der durch das Instrument fließende Wechselstrom versetzt demnach auf elektromagnetischem Wege die einzelnen Stahlzungen in Schwingungen.

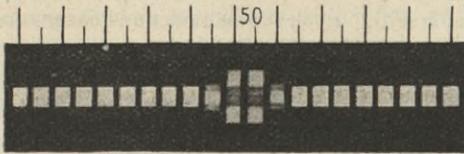
Meist werden die Zungen durch Anordnung von permanenten Magneten polarisiert; während nun beim einfachen Elektromagneten die Stahlzungen in 1 Periode 2 mal angezogen werden, findet bei der polarisierten Anordnung während 1 Periode einmal ein Anziehen, das andere Mal ein Abstoßen der Zungen statt. Da die



Zeichnung 84

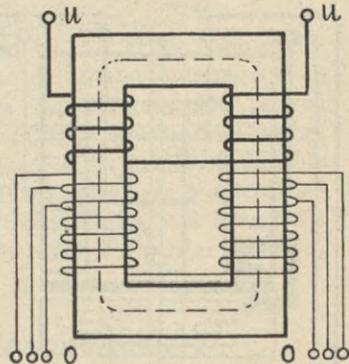
Zungen für verschiedene Schwingungszahlen abgestimmt sind, so wird die Zunge, deren Eigenschwingungszahl mit der aufgedrückten Frequenz übereinstimmt, ihre Resonanz durch ein besonders großes Schwingungsbild anzeigen. Durch Aufsetzen einer weißen Fahne F wird die Schwingung deutlich sichtbar gemacht. Z. 84 zeigt das Schwingungsbild

eines Wechselstromes, dessen Frequenz genau 50 ist; dagegen wird in Z. 85 eine Periodenzahl von 50,25 abzulesen sein.



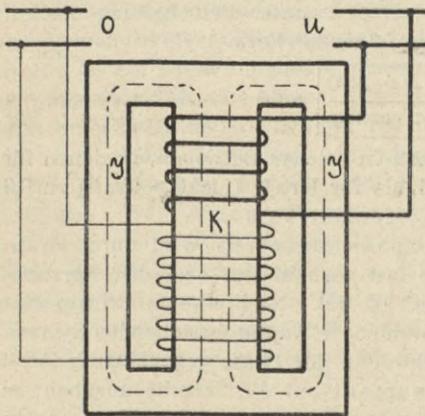
Zeichnung 85

sodaß nur eine Oberleitung vorhanden ist, bezw. die Stromabnahme für den Motor oder Transformator nur an 1 Leitung erfolgt. Wird Einphasenstrom für chemische Zwecke gebraucht, so ist er erst durch rotierende Umformer, in manchen Fällen auch durch Quecksilbergleichrichter (S.100), in Gleichstrom umzuformen; besonders gilt dies für die Ladung von Akkumulatoren. Durch Einbau von Transformatoren kann der Einphasenstrom auf jede gewünschte Größe gebracht werden. Zur Umformung finden Kern- und Manteltransformatoren Verwendung; während beim Kerntransformator (Z. 86) ein durchgehend gleicher Eisenquerschnitt vorhanden ist, muß der Kern K des Manteltransformators immer gleich dem doppelten Jochquerschnitt \mathfrak{J} sein (Z. 87).



Zeichnung 86

Die Wicklungen der Einphasenstromtransformatoren sind primär- und sekundärseitig meist für den Anschluß von 2 Leitungen (Z. 87) eingerichtet. Um aber bei eintretenden Spannungsschwankungen sekundärseitig trotzdem die verlangte Betriebsspannung einregulieren zu können, versieht man die Oberspannungsseite — seltener die Unterspannungsseite — mit verschiedenen **Anzapfungen**. Z. 86 zeigt einen Transformator mit 2 Anzapfungen.



Zeichnung 87

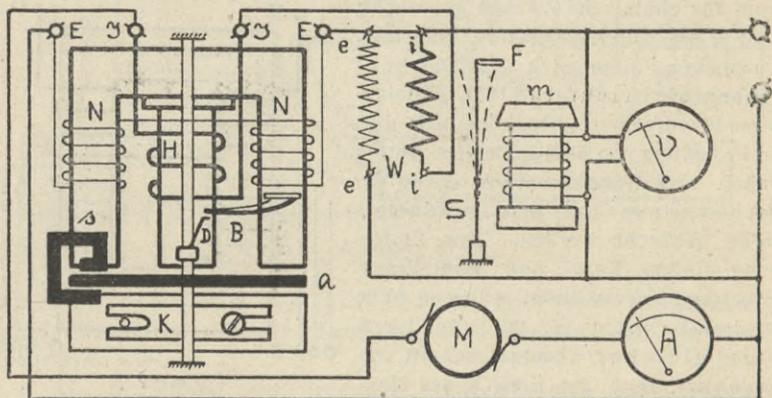
Wie auf Seite 71 bereits erläutert ist, wird infolge des Wirkungsgrades η die sekundärseitig abgenommene Leistung W_2 stets kleiner sein, als die primärseitig hineingeschickte W_1 ; deshalb gelten folgende Formeln:

$$(118) \quad \eta = \frac{W_2}{W_1} \quad W_2 = W_1 \cdot \eta \quad \text{Watt} \quad W_1 = \frac{W_2}{\eta} \quad \text{Watt}$$

Sind primär- und sekundärseitig noch verschiedene Phasenverschiebungen $\cos \varphi_1$ und $\cos \varphi_2$ vorhanden, so ergibt sich:

$$W_1 = E_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 \quad \text{Watt} \quad W_2 = E_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 \quad \text{Watt}$$

Für die Berechnung der Leitungsquerschnitte in Einphasenstromkreisen gelten bei induktionsfreier Belastung, z. B. durch Glühlampen, Kochapparate, Heizgitter, elektrische Oefen, Wasserwiderstände usw. die auf Seite 26 und 27 für Gleichstrom angegebenen Formeln, da $\cos \varphi = 1$ ist. Bei induktiver Belastung dagegen, z. B. durch Motoren-



Zeichnung 88

Transformatoren, Drosselspulen, Kondensatoren usw. ist $\cos \varphi < 1$, und es erfolgt die Querschnittbestimmung für die Betriebsspannung E und den gegebenen prozentualen Leistungsverlust v unter Beibehaltung der auf Seite 27 erläuterten Buchstaben aus folgender Formel:

$$(119) \quad q_e = \frac{W_e \cdot l \cdot \rho \cdot 200}{E^2 \cdot v \cdot \cos^2 \varphi} \quad \text{mm}^2$$

Den Leistungsfaktor nimmt man in solchen Betrieben, in denen für Licht mehr Energie benötigt wird als für Kraft (Licht $>$ Kraft) zu 0,9 an, während umgekehrt $\cos \varphi = 0,8$ gewählt wird.

Der Energieverbrauch im Einphasenstromkreis wird durch Wattstundenmotor-Zähler gemessen, die fast ausnahmslos nach dem Ferraris- oder Induktionsprinzip gebaut sind (Z. 88). Nach diesem Prinzip läßt sich eine Drehung der aus Aluminium oder Kupfer bestehenden System-scheibe a dadurch erreichen, daß zwei in der Phase gegeneinander verschobene Magnetfelder ein Drehmoment auf die Scheibe ausüben; es muß demnach zwischen dem von den Spannungsspulen N erzeugten Nebenschlußfeld und dem von der Stromspule H geschaffenen Haupt-

stromfeld eine Phasenverschiebung von genau 90° vorhanden sein. Das Drehmoment wird in diesem Falle der Betriebsspannung und dem Nutzstrom direkt proportional sein, ganz gleichgültig, welche Phasenverschiebung in dem Stromkreis vorhanden ist. Nebenschluß- und Hauptstromfeld, die nebeneinander angeordnet sind, wirken auf den Rand der Scheibe ein. Auf einem gemeinsamen Aluminiumrahmen sind ein kupfernes **Kompensationsblech** K und das die Spannungsspulen tragende Eisenjoch befestigt; auf letzteres ist noch die Stromspule mit ihrem Eisenkern aufgesetzt.

Die Verschiebung des Nebenschlußfeldes um 90° wird durch Anordnung von bestimmten Stromverzweigungen erreicht, die Ohmsche und induktive Widerstände enthalten. Die an einer senkrechten Achse befestigte Systemscheibe arbeitet über eine Schnecke und Schneckenrad direkt auf das Zählwerk, das den Energieverbrauch in kWh anzeigt. Durch eine Wirbelstrombremse, zu der man die im Felde eines Stahlmagneten s drehende Scheibe benutzt, wird der Zähler ordnungsgemäß abgebremst. Um die Reibungswiderstände im Zählwerk und in den Lagern auszugleichen, wird durch Verschieben des Kompensationsbleches ein zusätzliches Hilfsdrehmoment erzeugt. Das auf der Achse angebrachte Eisendrähtchen D muß dem Anlaufblech B so zugebogen werden, daß der Zähler ohne Belastung, auch bei einer Überspannung von etwa 20% , stehen bleibt; wird der Zähler dagegen belastet, so muß er bei $0,5\%$ der Vollast sicher anlaufen.

Eichung eines Einphasenstromzählers.

Bei der Eichung ist es notwendig, den Zähler nach Z. 88 nebst Volt- und Amperemeter, sowie Frequenzmesser und Wattmeter W in den Stromkreis zu schalten. Man bestimmt die Zählerkonstante für 10 , 50 und 100% der Vollast bei $\cos \varphi = 1$; außerdem macht man eine Messung mit etwa 50% der Vollast bei $\cos \varphi = 0,5$ bis $0,7$.

Die verlangte Phasenverschiebung wird durch einen besonderen **Phasentransformator**, **Phasenregler** oder **Phasenschieber** eingestellt; derselbe ist ein Drehstrommotor, dessen Stator und Rotor meist gleiche Mehrphasenwicklungen besitzen. Der Rotor läßt sich mit einem an der Welle befestigten Hebel um etwa 180° drehen und in jeder beliebigen Lage zum Stator feststellen. Hierdurch kann man eine Phasenverschiebung zwischen Stator- und Rotorspannung von 0° bis 90° einstellen. Bei einem Phasenverschiebungswinkel von 90° muß der Zähler auch bei Vollast stillstehen, da $\cos \varphi = 0$ ist. Mittels des Frequenzmessers ist zu kontrollieren, ob die Periodenzahl des Netzes mit der auf dem Zählerschild angegebenen übereinstimmt. Unter Benutzung der auf Seite 32 erläuterten Buchstaben berechnet sich die Zählerkonstante K aus folgender Formel:

$$K = \frac{E \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot t \cdot U_s}{3600000 \cdot n} \quad (120)$$

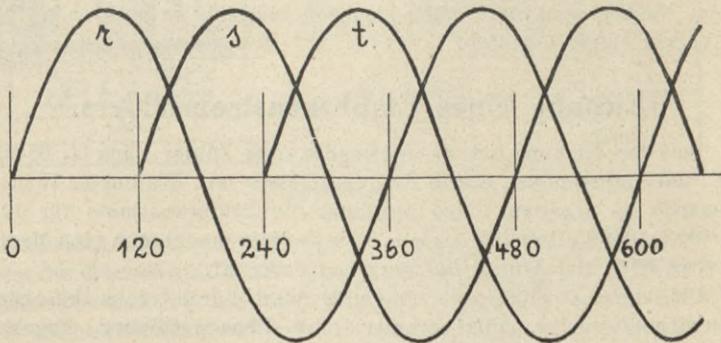
Um das gewünschte $\cos \varphi$ mit dem Phasenregler auch genau zu erhalten, wird die wirkliche Leistung aus den Angaben des Volt- und Amperemeters unter Zugrundelegung der gewünschten Phasenverschiebung aus Formel 117 berechnet und das Wattmeter auf diesen Wert durch Verstellen des Phasentransformators einreguliert. Aus der Rotorstellung allein läßt sich die Phasenverschiebung nicht genau bestimmen, da diese von dem Widerstand und den Wechselstromkonstanten der Belastung abhängig ist.

Die Größe der Sekundärspannung wird bei Veränderung der Phase nicht geändert; auch bleiben die Kurvenformen von Stator- und Rotorspannung einander gleich.

Bei der Ausführung der Schaltung ist darauf zu achten, daß die Spannung für Zähler, Watt- und Voltmeter an den gleichen Punkten abgenommen wird.

Der Drehstrom.

Legt man auf den Anker einer Wechselstrommaschine mehrere um einen bestimmten Winkel gegeneinander verschobene Einphasenstromwicklungen, so erhält man je nach der Zahl der Wicklungen **Zweiphasenstrom**, **Dreiphasenstrom** usw. Von allen Mehrphasenströmen hat



Zeichnung 89

nur der Dreiphasenstrom als sog. **Drehstrom** eine große Anwendung gefunden.

Bei einem Dreiphasenstromsystem verbindet man die Wechselstromwicklungsgruppen derartig, daß die einzelnen Phasen um 120° gegeneinander verschoben sind. Dadurch wird erreicht, daß bestimmte Momentanwerte der 3 Stromkreise in nacheinander folgenden Zeiten auftreten; deshalb sind in jedem Augenblick drei verschiedene elektrische Zustände oder drei Phasen vorhanden (Z. 89). Damit nicht von jedem Stromkreis 2 Leitungen nach außen geführt werden müssen, ist es notwendig, die 3 Wicklungsgruppen in bestimmter Weise zu verbinden oder, wie man sagt, zu **verketteten**. Den verketteten Dreiphasenstrom heißt man Drehstrom, da durch ihn ein magnetisches

Drehfeld erzeugt werden kann. Die Verkettung kann nach Stern (Y) und Dreieck (Δ) erfolgen.

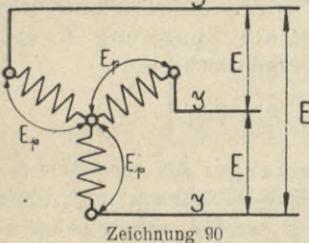
Z. 90 zeigt die Y Schaltung; hierbei werden die 3 Anfänge oder Enden der Wicklung in einem Punkt vereinigt, den man **Stern-** oder **Nullpunkt** nennt. Durch diese Verkettung ergibt sich zwischen den einzelnen Leitungen eine **verkettete Spannung** E , die $\sqrt{3}$ mal so groß ist wie die **Phasenspannung** E_p ; der verkettete Strom I dagegen bleibt so groß wie der Phasenstrom I_p . Man erhält:

$$E = \sqrt{3} \cdot E_p \quad \text{Volt} \quad I = I_p \quad \text{Amp} \quad (121)$$

(122)

In Y Schaltung lassen sich sowohl Stromerzeuger als auch Stromverbraucher schalten; während erstere eine Spannung liefern, die $\sqrt{3}$ mal so groß wie die Phasenspannung ist, herrscht an den einzelnen Phasen eines in Y geschalteten Verbrauchers eine Spannung E_p , deren Größe man erhält, wenn die aufgedrückte Spannung E durch $\sqrt{3}$ dividiert wird.

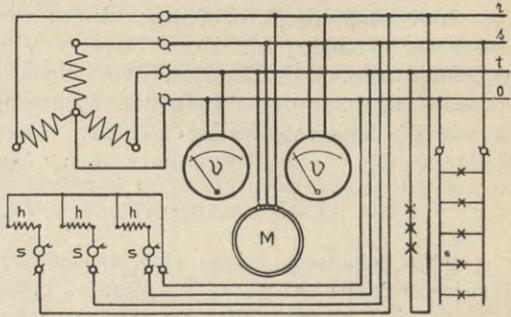
Aus den Sinuskurven in Z. 89 lassen sich die Momentanwerte der 3 Ströme eines Drehstromsystems ersehen. Da die Wicklungen gegeneinander um 120° versetzt sind, müssen auch die jeweiligen Strom- und Spannungswerte gegeneinander um 120° verschoben sein.



Wird nun dieser Drehstrom in eine dreiphasige Wicklung, deren Phasen wieder um 120° versetzt sind, geleitet, so entsteht ein magnetisches Drehfeld, dessen Drehzahl pro Sekunde von der Frequenz des Drehstroms abhängig ist.

Um in gemischten Betrieben zwei Betriebsspannungen zur Verfügung zu haben, ist es üblich, vom Nullpunkte aus noch eine 4. Leitung zu verlegen, die als Nulleiter bezeichnet wird. Parallele Glühlampenstromkreise werden bei Sternschaltung mit 4. Leitung stets zwischen einer Phase und Null an die sog. **Sternspannung** oder Phasenspannung E_p angeschlossen. Werden mehrere Glühlampen in Serie an höhere Spannungen in Stern ohne Nulleiter geschaltet, dann ist darauf zu achten, daß in jedem Zweige der 3 Phasen die gleiche Anzahl Lampen angeschlossen ist. Um in solchen Stromkreisen beim Durchbrennen einer Lampe einerseits eine Unsymmetrie des Systems zu vermeiden und andererseits auch das Erlöschen des ganzen Serienstromkreises zu verhindern, schaltet man parallel zu jeder Lampe eine Drosselspule als Schutzwiderstand (S.78). Aus Z.91 geht die Einschaltung von Glühlampen, Motoren und Kochapparaten in einem Vierleiter-Drehstromkreis hervor. Kochapparate, die in Y geschaltet sind, können eine dreifache Regulierung haben, sofern die Abschaltung der einzelnen Phasen durch die Schalter S von dem stromliefernden Werk zugelassen wird. Läßt das Werk den Anschluß an eine Phase und Null zu, dann bleibt die auf

Seite 39 besprochene vierstufige Regulierbarkeit der Apparate erhalten. Bei den in Δ geschalteten Kochapparaten sind die Heizelemente h für die zugehörige Phasenspannung zu verwenden; bei einer Betriebsspannung von 3×380 Volt wären demnach Heizelemente für 220 Volt einzubauen. Durch Verbindung des Nulleiters mit dem Kochapparat werden die nicht zu vermeidenden Ladeerscheinungen gefahrlos abgeführt. Besonders zu vermerken ist, daß



Zeichnung 91

nach den Vorschriften des VDE der Anschluß von Koch- und Heizapparaten zwischen 2 Leitungen von 3×380 Volt verboten ist.

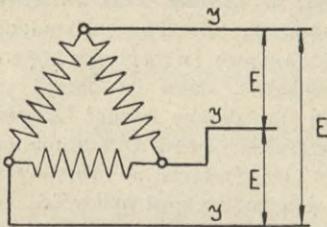
Z. 92 zeigt die Δ Schaltung; hierbei wird Anfang der einen Phase mit dem Ende der anderen verbunden; es sind demnach die 3 Phasen in Serie geschaltet. Der verkettete Strom I wird $\sqrt{3}$ mal so groß, wie der Phasenstrom I_p , während die verkettete Spannung E und Phasenspannung E_p gleich groß sind; es ergibt sich also:

(123)

(124)

$$I = \sqrt{3} \cdot I_p \quad \text{Amp} \quad E = E_p \quad \text{Volt}$$

In Δ Schaltung werden sowohl Stromerzeuger als auch Stromverbraucher verbunden. Glühlampenstromkreise können in Δ ohne weiteres zwischen die einzelnen Phasen gelegt werden, sofern Lampenspannung und die Spannung zwischen 2 Leitungen gleich groß sind; auf gleichmäßige Belastung der einzelnen Zweige braucht nicht mehr geachtet werden. Z. 93 zeigt ein in Δ geschaltetes Drehstromsystem. Der eine der beiden Kochapparate ist einphasig angeschlossen,



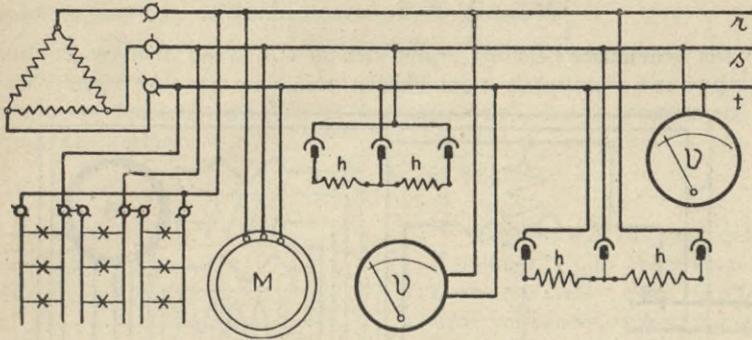
Zeichnung 92

während der andere über 3 Leitungen mit dem Drehstromnetz verbunden ist; in beiden Fällen aber werden Gleichstromapparate verwendet. Auch ist darauf zu achten, daß Zähler für ungleiche Phasenbelastung in die Leitung eingebaut sind. Bei der Dreieckschaltung nach Z. 98 hat man eine zweistufige Regulierbarkeit; durch Stromunterbrechung mittels Drehschalters

oder durch Abziehen eines beliebigen Zuleitungsgriffes sinkt die Stromstärke auf die Hälfte des vollen Stromes, wobei aus der dreiphasigen Stromzuführung eine einphasige wird.

Bei Drehstrommotoren wird die durch Δ bzw. Δ Schaltung eintretende Spannungsänderung in der Weise praktisch verwendet, daß

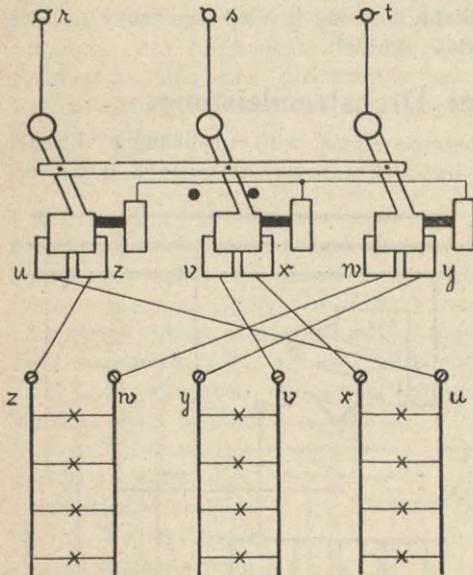
man die 3 Phasen des Stators mittels **Stern-Dreieck-Schalters** zum Anlassen in Δ schaltet und dann erst zur Betriebsschaltung auf Δ übergeht. Da die Drehzahl der Spannung proportional ist, die einzelnen



Zeichnung 93

Phasen aber bei Δ eine geringere Spannung erhalten als bei Δ , so wird der Motor in Δ langsam anlaufen und erst in Δ seine volle

Umlaufzahl erreichen. Z.94 zeigt das Prinzip eines Stern-Dreieck-Schalters, der nur zu Versuchszwecken mit 3 Glühlampensätzen verbunden ist; in der angegebenen Stellung sind die Lampen in Δ geschaltet, während eine Linksbewegung des Schalters die Lampen in Δ verbindet.



Zeichnung 94

Verwendet man z. B. 110 Volt Glühlampen und es beträgt die Spannung zwischen den Phasen r, s, t ebenfalls 110 Volt, so brennen die Lampen in Δ hell, während sie in Δ nur dunkelrot glühen.

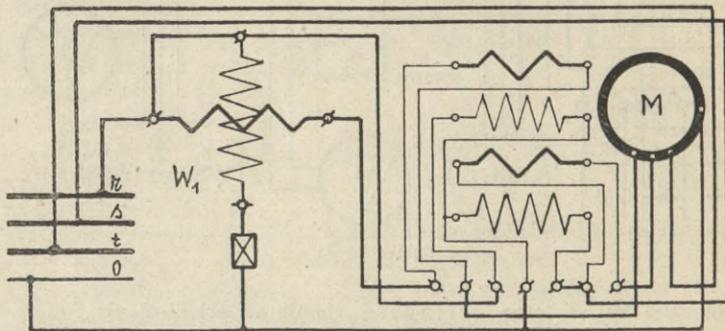
Wird dagegen ein Stromerzeuger von Δ auf Δ oder von Δ auf Δ umge-

schaltet, so wird seine Spannung in Δ Schaltung $\sqrt{3}$ mal größer sein als in Δ Schaltung. Bei Verwendung des in Z. 94 dargestellten Schalters werden die 6 Enden der Generatorwicklung anstelle der 3 Glühlampensätze eingeschaltet, während die Stromabnahme an den Klemmen r, s, t erfolgt.

Die mit W_d bezeichnete **Drehstromleistung** berechnet sich für Δ und Δ Schaltung aus den verketteten Strom- und Spannungswerten unter Berücksichtigung von $\cos \varphi$ nach folgender Formel:

$$(125) \quad W_d = \sqrt{3} \cdot E \cdot I \cdot \cos \varphi \quad \text{Watt}$$

Die **scheinbare** Leistung ergibt sich in V A, wenn man das Produkt aus Spannung zwischen zwei Phasen und dem Strome einer Phase



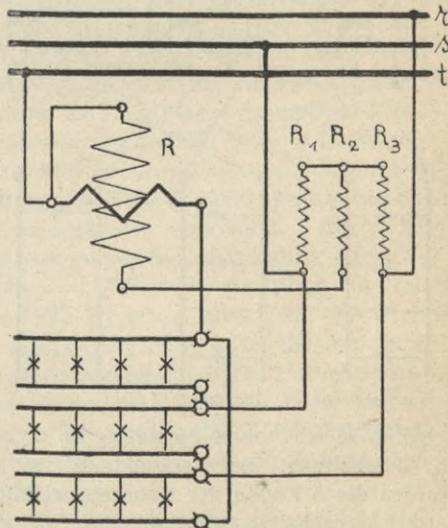
Zeichnung 95

mit $\sqrt{3}$ multipliziert; die **wirkliche** Leistung in Watt dagegen wird nach einer der folgenden Meßmethoden ermittelt.

Messung einer Drehstromleistung.

Die Leistung eines Drehstromsystems wird unabhängig von der Schaltung mit technischen und Präzisionswattmetern gemessen. Erstere sind nach dem Ferrarisprinzip gebaut, letztere beruhen auf dem Prinzip des Dynamometers; die Einschaltung der Wattmeter kann in verschiedener Weise erfolgen:

I. Bei **gleichbelasteten** Phasen führt man die Leistungsmessung mit 1 Wattmeter nach Z. 95 aus. Soll die Messung in einer Drehstromanlage erfolgen, in der kein Nulleiter vorhanden ist, so muß man das Wattmeter nach Z. 96 in den Stromkreis schalten; hierbei werden die beiden nicht mit der Stromspule verbundenen Leitungen s, r über die Vorschaltwiderstände R_1 und R_3 , mit dem Widerstand R_2 ,



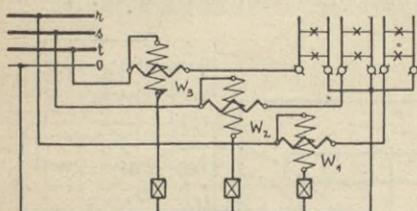
Zeichnung 96

der in Serie mit der Spannungsspule R liegt, in einem Punkt vereinigt; man hat damit gewissermaßen einen künstlichen Nullpunkt geschaffen. Jede Meßinstrumentenfabrik liefert für diese Messung einen besonderen Widerstandssatz, wobei folgende Beziehung zwischen der Spannungsspule R und den Widerständen zugrunde gelegt ist:

$$R + R_2 = R_1 = R_3$$

Bezeichnet man in beiden Schaltungen die durch das Wattmeter ermittelte Leistung mit W_1 , so berechnet sich die Gesamtleistung W_d nach der Formel:

$$W_d = W_1 \cdot 3 \quad \text{Watt} \quad (126)$$



Zeichnung 97

Die in Z. 101 angegebene Schaltung eines Wattmeters im Drehstromkreis ohne Nulleiter wird verwendet, wenn nur eine Phase belastet ist.

II. Bei **ungleichbelasteten** Phasen erfolgt die Leistungsmessung nach einer der folgenden Methoden:

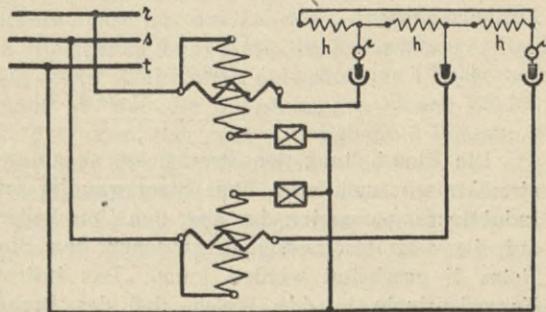
a) **Leistungsmessung mit 3 Wattmetern**; hierbei erfolgt die Einschaltung der Instrumente in das Vierleitersystem nach Z. 97. Die Spannungsspulen sind gleichmäßig am Nulleiter anzuschließen. Die Gesamtleistung W_d berechnet sich durch Zusammenzählen der einzelnen Phasenleistungen W_1, W_2, W_3 zu:

$$W_d = W_1 + W_2 + W_3 \quad \text{Watt} \quad (127)$$

b) **Leistungsmessung nach der Zweiwattmetermethode**; bei dieser am meisten gebräuchlichen Methode erfolgt die Einschaltung der beiden Instrumente nach Z. 98. Unter der Voraussetzung, daß beide Wattmeter gleichartig gebaut und gleichmäßig angeschlossen sind, bestimmt man die Gesamtleistung W_d aus den Einzelleistungen nach folgenden Regeln:

1. Die Angaben der zwei Wattmeter müssen **zusammengezählt** werden, wenn man an beiden Instrumenten **gleich** gerichtete Zeigeraus schläge erhält.

2. Schlägt dagegen ein Wattmeter nach der **verkehrten** Seite aus, so sind die beiden Enden seiner Spannungsspule miteinander zu vertauschen, um **wiedergleichgerichtete**

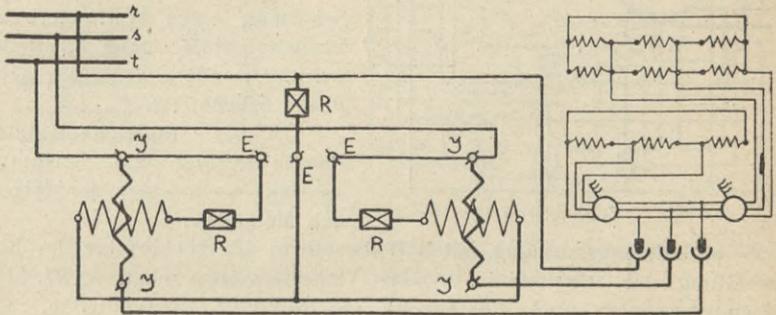


Zeichnung 98

Zeigerausschläge zu erhalten; in diesem Falle aber ist der kleinere Wattmeterwert von dem größeren **abzuziehen**.

III. Die Leistung eines ungleich belasteten Drehstromsystems kann auch durch eine einzige Ablesung bei Verwendung eines **Drehstromwattmeters** ermittelt werden. Ein solches Instrument besteht aus 2 Wattmetern, deren bewegliche Spulen auf derselben Achse sitzen, sodaß sich die ausgeübten Drehmomente im Instrument selbst addieren oder subtrahieren.

Z. 99 zeigt ein Drehstromwattmeter im Stromkreis eines großen Koch- oder Heizapparates; die Heizkörper sind über 2 dreipolige Schalter in 2 Stromkreise unterteilt, deren Energieaufnahme meistens so abgestimmt ist, daß durch Einschalten beider Stromkreise die größte



Zeichnung 99

Wärmeentwicklung stattfindet, während bei Ausschaltung des einen oder anderen Stromkreises die Wärmeentwicklung auf $\frac{2}{3}$ bzw. $\frac{1}{3}$ des Höchstwertes vermindert wird. Durch die in Δ verbundenen Heizkörper werden die einzelnen Phasen in jeder Regulierstufe gleichmäßig belastet.

Bei einer experimentellen Bestimmung des Leistungsfaktors $\cos \varphi$ im Drehstromkreis ist es notwendig, außer der wirklichen Leistung auch noch die scheinbare mit einem Volt- und Amperemeter zu messen; aus diesen Angaben berechnet sich $\cos \varphi$ dann aus Formel 125 zu:

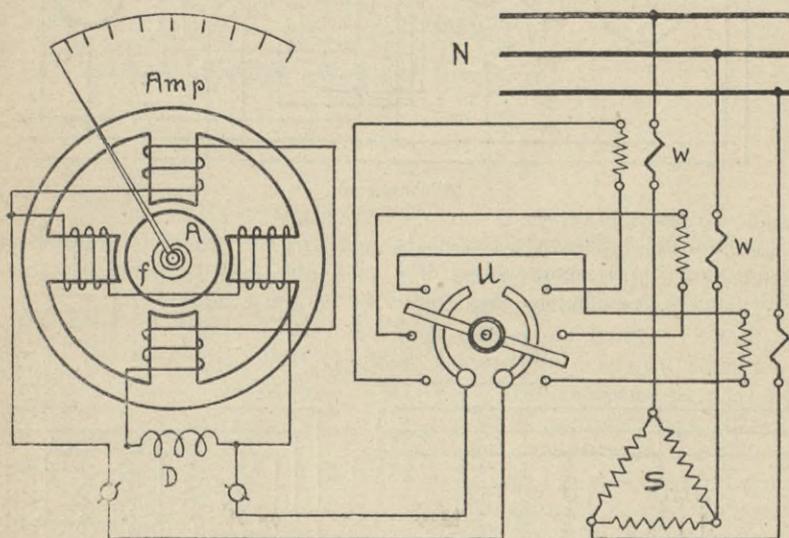
$$\cos \varphi = \frac{W_d}{E \cdot I \cdot \sqrt{3}}$$

Die Einschaltung der Strommesser kann in Einphasen- und Drehstromkreisen auch noch über **Stromwandler** erfolgen; Z. 100 zeigt ein Induktionsamperemeter, das über den Umschalter U und die Wandler W auf die einzelnen Leitungen zwischen dem Stromerzeuger S und dem Netze N geschaltet werden kann. Das Instrument wirkt nach dem **Ferrarisprinzip** in der Weise, daß das Drehfeld von 2 durch eine Drosselspule D in der Phase gegeneinander verschobene Wechselströme

erzeugt wird; die in der drehbar gelagerten Aluminiumtrommel A induzierten Ströme bewirken ein Drehmoment, durch welches die Tromme und der an ihr befestigte Zeiger im Sinne des Drehfeldes gedreht werden. Um eine dauernde Drehung zu verhindern, ist als Gegenkraft eine Feder f angeordnet, durch die der Zeiger bei Stromunterbrechung wieder in die Nullage zurückbewegt wird.

Eichung von Drehstrom-Induktionszählern.

Der Energieverbrauch in Drehstromkreisen wird meistens mit einem Drehstrom-Induktionszähler (Motorzähler) gemessen; er ist fast



Zeichnung 100

immer aus zwei Einphasenstromzählern zusammengesetzt, deren Wirkung über eine gemeinsame Achse auf das Zählwerk übertragen wird. Der Anschluß der Spulen erfolgt nach dem Prinzip der Zweiwattmeter-Methode.

Bei der Eichung dieser Zähler wird entweder nur 1 Phase belastet, wobei darauf zu achten ist, daß die 3 Spannungen in den Zähler eingeführt werden (Z. 101), oder aber man belastet die 3 Phasen, wobei sich die Eichschaltung dann aus Z. 102 ergibt.

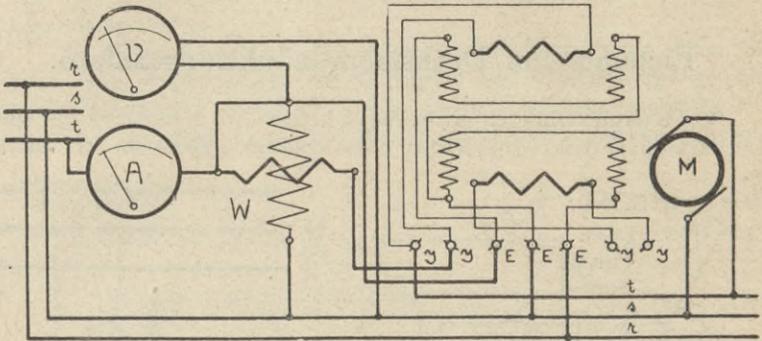
Nach Z. 101 eicht man zuerst die eine, dann die andere Seite des Zählers. Für jede Messung berechnet man die Konstante nach Formel 120. Der gesamte Fehler ergibt sich als Mittelwert der beiden Einzelfehler.

Bei der Eichung nach Z. 102 werden die 3 Phasen zuerst induktionsfrei, dann induktiv belastet; im ersten Falle schlagen beide

Wattmeter nach der gleichen Seite aus, und die Gesamtleistung W_d ergibt sich als die Summe der von den Wattmetern W_1 und W_2 angezeigten Teilleistungen. Die Konstante berechnet sich zu:

(128)

$$K = \frac{(W_1 + W_2) \cdot t \cdot U_s}{3600000 \cdot n}$$

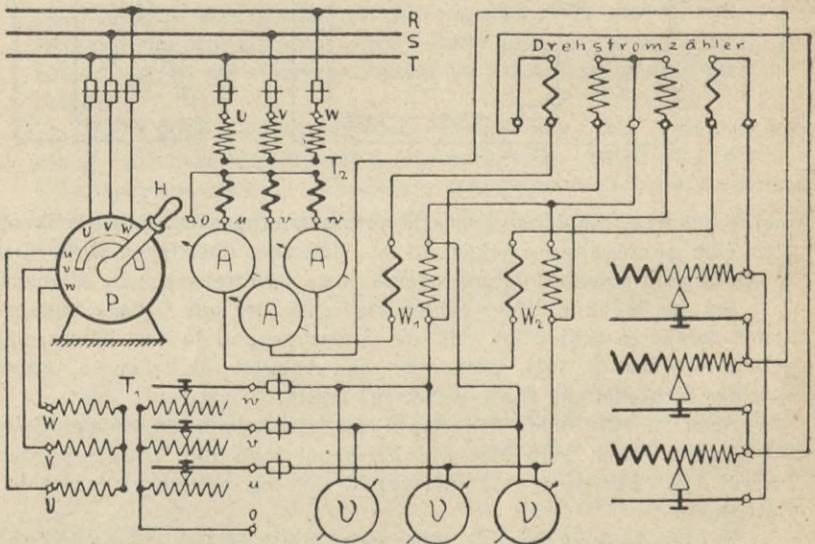


Zeichnung 101

Sind die 3 Phasen gleichmäßig und induktionsfrei belastet, so kann man die Gesamtleistung W_d auch noch aus den Angaben eines Volt- und Amperemeters nach folgender Formel ermitteln:

(129)

$$W_d = \sqrt{3} \cdot E \cdot I \text{ Watt}$$



Zeichnung 102

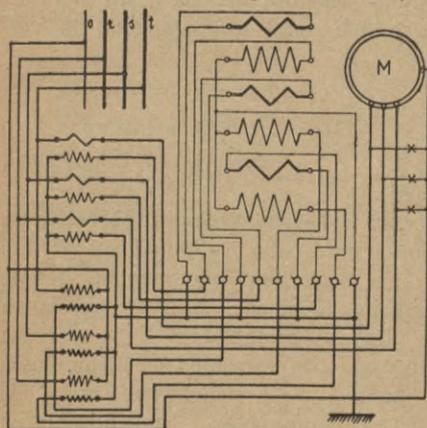
Im zweiten Falle wird bei einer gleichmäßigen induktiven Belastung der Ausschlag des einen Wattmeters mit zunehmender Phasenverschiebung immer kleiner; bei $\cos \varphi = 0,5$ wird der Zeiger dieses Instruments Null anzeigen. Bis zu diesem Punkte müssen die Angaben der beiden Wattmeter immer noch zusammengezählt werden. Wird $\cos \varphi$ jedoch kleiner als 0,5, dann schlägt das eine Instrument verkehrt aus, und es muß der Strom in der Spannungsspule durch Umschaltung gewendet (kommutiert) werden. Nach Seite 94 ergibt sich aber nun die Gesamtleistung W_d dadurch, daß man die Angaben W_x des umgeschalteten Wattmeters von dem Werte W des anderen Wattmeters abzieht. Die Konstante berechnet sich für diesen Fall zu:

$$K = \frac{(W - W_x) \cdot t \cdot U_s}{3600000 \cdot n} \quad (130)$$

Der Leistungsfaktor ergibt sich hierbei zu:

$$\cos \varphi = \frac{W - W_x}{E \cdot I \cdot \sqrt{3}} \quad (131)$$

Wie aus Z. 102² ersichtlich ist, wird der Meßstrom einem besonderen Stromtransformator T_2 entnommen, dessen Uebersetzungsverhältnis so ausgeführt ist, daß sekundärseitig große Ströme bei geringer Spannung (etwa 4—6 Volt) abgenommen werden können.



Zeichnung 103

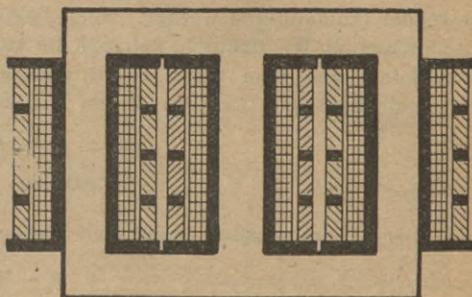
Die Meßspannung wird über den Phasenschieber P zu einem Spannungstransformator T_1 geführt; um eine große Regulierfähigkeit im Spannungskreis zu erhalten, ist derselbe als Reguliertransformator ausgeführt. Durch Verstellen des Hebels H am Phasenregler lassen sich die Phasen der Spannungskreise gegen die Phasen des Hauptstromes verschieben.

Die Einschaltung der Drehstrom-Vierleiterzähler erfolgt entweder nach Z. 95 oder nach der auf Seite 93 besprochenen Dreiwattmeter-schaltung, wie Z. 103 zeigt. In diesem Schema sind die Spannungsspulen des Zählers über Spannungswandler und die Stromspulen über Stromwandler angeschlossen. Um ein Uebergang von Hochspannung auf die Niederspannungsseite gefahrlos zu machen, ist der sekundäre Sternpunkt des Spannungswandlers geerdet; ebenso sind der Nullpunkt der Zählerspannungsspulen und die Sekundärspulen der Stromtransformatoren an Erde gelegt.

Drehstromtransformatoren.

Um Drehströme in beliebiger Weise umformen zu können, verwendet man Dreiphasen- oder Drehstrom-Transformatoren, die aus 3 Einphasenstrom-Transformatoren zusammengesetzt sind; es können aber die 3 Phasen auch auf 1 geschlossenen Eisenrahmen angeordnet sein, wobei dann wieder zwischen Kern- und Manteltransformatoren zu unterscheiden ist. Z. 104 zeigt

das Prinzip eines Kerntransformators für Drehstrom; die Wicklungen sind fast immer in mehrere Spulen unterteilt, sodaß bei evtl. Störungen die beschädigten Teile leicht ausgewechselt werden können. Außerdem werden durch diese Anordnung die Abkühlungsflächen vergrößert und die Spannungsunterschiede



Zeichnung 104

der einzelnen Spulen gegeneinander verkleinert. Man verwendet auch in Drehstromkreisen Trocken- und Öltransformatoren. Um eine besonders gute Kühlung zu erreichen, wird das Gehäuse oft noch mit Wasser bespült. Die Wicklungen können primär- und sekundärseitig in verschiedener Weise geschaltet werden; z. B.

$$\begin{array}{ll}
 \text{Y}/\text{Y} = \text{Stern auf Stern} & \Delta/\Delta = \text{Dreieck auf Dreieck} \\
 \text{Y}/\Delta = \text{Stern auf Dreieck} & \Delta/\text{Y} = \text{Dreieck auf Stern} \\
 \text{Y}/\text{YY} = \text{Stern auf Doppelstern} & \Delta/\text{YY} = \text{Dreieck auf Doppelstern}
 \end{array}$$

usw.

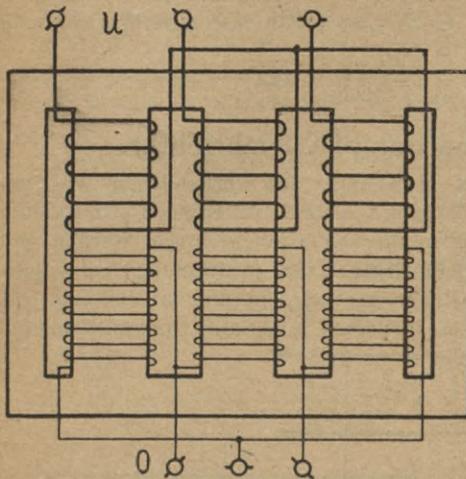
Die **Doppelsternschaltung** wird auch als **Zickzackschaltung** bezeichnet; bei Stern- und Doppelstern-Schaltung wird vom Nullpunkt aus oft ein Nulleiter abgezweigt, sodaß man dann auch hier den Seite 89 bereits erwähnten Vorteil von 2 Betriebsspannungen hat. Z. 105 zeigt einen Manteltransformator, bei dem die Unterspannungsseite U in Y , die Oberspannungsseite O in Δ geschaltet ist. Um verschiedene Spannungen an 1 Transformator abnehmen zu können, lassen sich sowohl in Y als auch in Δ verschiedene Anzapfungen anordnen. Transformatoren können in Serie und parallel geschaltet werden. Die sekundärseitig abgenommene Leistung W_2 wird infolge des Wirkungsgrades wieder kleiner sein als die Primärleistung W_1 (Formel 118); für verschiedene Phasenverschiebungen gelten bei Stern- und Dreieckschaltung die Formeln:

$$W_1 = \sqrt{3} \cdot E_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 \quad \text{Watt}$$

$$W_2 = \sqrt{3} \cdot E_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 \quad \text{Watt}$$

Zur Uebertragung großer Energiemengen auf weite Strecken verwendet man fast aussch. **Hochspannung** (meist Drehstrom, seltener Einphasenstrom und Gleichstrom); da die gewünschte Uebertragungsspannung aus konstruktiven Gründen meist nicht im Generator erzeugt werden kann, so wird

zwischen Wechselstrom-Generator und Fernleitung ein Transformator geschaltet. Andererseits muß an der Konsumstelle wieder Wechselstrom geringer Spannung zur Verfügung stehen, sodaß auch zwischen Fernleitung und Abnahmestelle wieder ein Transformator zu schalten ist.



Zeichnung 105

Im Betrieb der Ueberlandzentralen und auch in Drehstromanlagen der Großstädte werden oft sog. **Unterstationen** errichtet, die zur eigentlichen Stromversorgung der Konsumenten dienen, ihren Strom selbst aber aus den Hauptzentralen beziehen.

In Drehstromanlagen berechnet man den Leitungsquerschnitt für einen gegebenen prozentualen Leistungsverlust v unter Zugrundelegung einer verketteten Uebertragungsspannung E aus folgender Formel:

$$q_d = \frac{W_d \cdot l \cdot \varrho \cdot 100}{E^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot v} \text{ mm}^2 \quad (132)$$

Für l ist wieder die einfache Länge der Uebertragungsstrecke in Meter einzusetzen; $\cos \varphi$ ist nach den auf Seite 86 gemachten Angaben zu wählen. Der berechnete Querschnitt wird wieder auf den nächsten Normalquerschnitt abgerundet, wobei darauf zu achten ist, daß die vorhandene Betriebsstromstärke, die aus Formel 125 ermittelt wird, den im Anhang für jeden Querschnitt gegebenen Höchstwert nicht überschreitet. Bei der Leitungsverlegung erhält jede der 3 Leitungen den gewählten Querschnitt. Ein Vergleich der Resultate aus den Formeln 119 und 132 ergibt, daß bei Drehstrom, trotz der 3 Leitungen, weniger Draht notwendig ist, als bei Einphasenstrom, wenn in beiden Fällen die gleiche Leistung unter denselben Verhältnissen übertragen werden soll.

Die Größe des Spannungsverlustes berechnet sich für Drehstrominstallationen bei induktionsfreier Belastung unter Benutzung der früher erläuterten Buchstaben aus der Formel:

$$E_v = \frac{I \cdot l \cdot \varrho}{q_d \cdot 0,578} \text{ Volt} \quad (133)$$

Für induktive Belastung ergibt sich unter Berücksichtigung der jeweiligen Phasenverschiebung:

$$E_v = \frac{I \cdot l \cdot \varrho}{q_d \cdot \cos \varphi \cdot 0,578} \text{ Volt} \quad (134)$$

Die elektrische Leistung von Drehstrom- und Einphasenstrom-Generatoren wird fast immer in kVA angegeben; bezeichnet $N_s =$ scheinbare Leistung eines Stromerzeugers in kVA, so erhält man unter Verwendung von Formel 70:

(135)

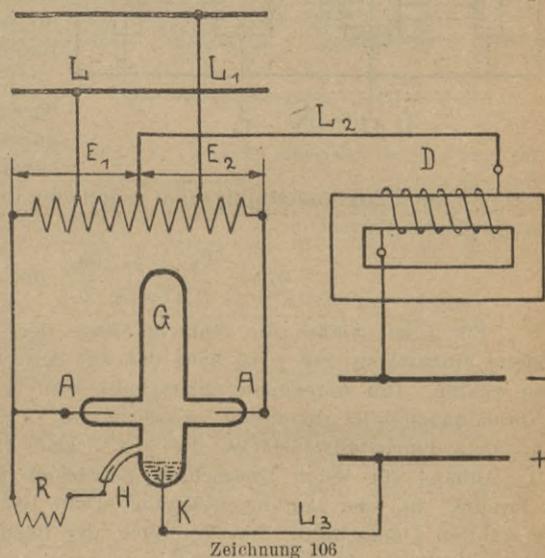
$$N_s = \frac{N \cdot 736 \cdot \eta_e}{\cos \varphi \cdot 1000} \text{ kVA}$$

Der Quecksilberdampf-Gleichrichter.

Für viele Zwecke ist es notwendig, den vorhandenen Wechselstrom in Gleichstrom umzuformen. Neben rotierenden Umformern und mechanischen bzw. elektrolytischen Gleichrichtern werden mit Vorliebe **Quecksilberdampf-Gleichrichter** zur Umformung verwendet.

Die Arbeitsweise eines solchen Apparates beruht auf der Tatsache, daß der elektrische Strom ein luftleeres und mit Quecksilberdampf

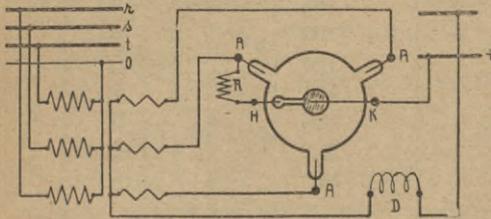
gefülltes Gefäß, in dem verschieden heiße Elektroden angeordnet sind, nur in einer Richtung durchfließen kann. Z. 106 zeigt die Prinzipschaltung eines normalen Gleichrichters der Westinghouse Cooper Hewitt G. m. b. H. Ueber die Leitungen L und L_1 wird der Spartransformator an den zur Verfügung stehenden Wechselstrom angeschlossen. Die Wicklung wird durch die in der Mitte abgezwigte Leitung L_2 so unterteilt, daß



Zeichnung 106

E_1 und E_2 gleich groß sind. Die Enden des Autotransformators sind mit den aus Graphit bestehenden Anoden A des stark evakuierten Glaskolbens G verbunden. Am unteren Ende des Gefäßes befinden sich zwei Elektroden aus Quecksilber, von denen die eine als Kathode K dient, während die andere als Hilfelektrode H zur Herstellung der ersten Zündung Verwendung findet. Während die über eine Drosselspule D geführte Leitung L_2 den Minuspol der Gleichstromseite bildet, stellt die von der Kathode abgezwigte Leitung L_1 den Pluspol dar. Vor Inbetriebsetzung muß der Gleichstromkreis geschlossen werden; zu diesem Zwecke kippt man den Glaskörper, wodurch Quecksilber von der Kathode zur Zündanode, die über einen Vorschaltwiderstand R an eine der Anoden geschaltet ist, fließen kann. Wird der hierdurch geschlossene Stromkreis in der Kathode wieder unterbrochen,

so entsteht ein Lichtbogen, durch den so viel Quecksilberdampf entwickelt wird, daß die Luftstrecke zwischen den Anoden und der Kathode leitend wird; der über diese Strecke fließende Strom erhitzt die Kathode auf mehr als 3000°C , während die Temperatur der Anode etwa 600°C beträgt; infolgedessen kann der Wechselstrom nur in einer Richtung durch das System fließen. Bei jedem Richtungswechsel tritt der Strom abwechselnd durch die eine oder die andere Anode ein und fließt aber stets über den Lichtbogen zur Kathode, sodaß hier der positive Pol der Stromabgabe entsteht. Um aber eine Unterbrechung des Stromkreises in



Zeichnung 107

dem Augenblick zu verhindern, in dem der Wechselstrom durch Null geht, schaltet man in den Gleichstromkreis die Drosselspule D, die infolge ihrer Selbstinduktion die Stromlieferung so lange übernehmen kann, bis wechselstrom-

seitig die Unterbrechung wieder vorüber ist. Man bezeichnet deshalb die in den Quecksilberdampf-Gleichrichterstromkreis eingeschaltete Drosselspule als **Stromerhaltungsspule**. Der obere Teil des Glaskolbens ist die Kondensationskammer, weil sich in ihr der Quecksilberdampf wieder verdichtet und an den Glaswänden zur Kathode zurückfließt.

Beim Drehstromgleichrichter, der nach Z. 107 in Δ Schaltung an die Sekundärseite eines Transformators gelegt ist, kann die Drosselspule in Wegfall kommen, da die gegenseitige Verschiebung der 3 Ströme um 120° eine Unterbrechung des Stromkreises an der Kathode verhindert. Das Spannungsverhältnis zwischen Einphasenstrom und Gleichstrom wird durch folgende Formel zum Ausdruck gebracht; bezeichnet E_e = Spannung des Einphasenstromes zwischen den Anoden, E_g = Gleichstromspannung, so ergibt sich:

$$E_e = (E_g + 15) \cdot 2,35 \quad \text{Volt} \quad (136)$$

Bezeichnet ferner E_d = verkettete Spannung der in Δ geschalteten Sekundärseite des Transformators, so ergibt sich:

$$E_d = (E_g \cdot 1,6) + 15 \quad \text{Volt} \quad (137)$$

Die Zahl 15 bezeichnet den im Glaskolben auftretenden Spannungsverlust.

Beim Betrieb ist darauf zu achten, daß die als Minimalgrenze festgesetzte Stromstärke nicht unterschritten wird, da sonst eine Unterbrechung des Stromkreises stattfindet; dagegen sind kurzzeitige Ueberlastungen zulässig.

Quecksilberdampf-Gleichrichter werden für Betriebsstromstärken von 3 bis 100 Ampere pro Glaskörper hergestellt. Der einer gewissen Abnutzung unterliegende Glaskörper ist von Zeit zu Zeit zu erneuern; seine mittlere Lebensdauer beträgt mehrere tausend Brennstunden.

Anhang.

Belastungstabelle für Freileitungen.

Querschnitt in mm ²	Zulässige Höchstbelastung in Ampere bei		
	Kupfer	Aluminium	Eisen
4	46	35	16
6	60	45	20
10	86	65	30
16	118	90	40
25	162	125	55
35	206	155	72
50	266	205	95
70	340	260	120
95	420	320	150

Belastungstabelle isolierter Leitungen für Innenverlegung.

Querschnitt in mm ²	Zulässige Höchstbelastung in Ampere bei			
	Kupfer	Aluminium	Zink	Eisen
0,5	7,5	5,5	—	—
0,75	9	7	—	—
1,0	11	8	—	—
1,5	14	11	9	—
2,5	20	16	11	8
4	25	20	13	10
6	31	24	16	12
10	43	34	23	17
16	75	60	40	30
25	100	80	52	40
35	125	100	65	50
50	160	125	83	64
70	200	155	105	80
95	240	190	125	96
120	280	220	145	112
150	325	255	170	130
185	380	300	200	152
240	450	350	240	180
310	540	430	288	216
400	640	500	340	256
500	760	600	400	304
625	880	690	470	352
800	1050	820	560	420
1000	1250	960	665	500

Tabelle des höchstzulässigen Dauerstromes für im Erdboden verlegte Bleikabel.

Querschnitt	Kupfer				Aluminium				Zink				Eisen			
	Zweileiterkabel		Vierleiterkabel		Zweileiterkabel		Vierleiterkabel		Zweileiterkabel		Vierleiterkabel		Zweileiterkabel		Vierleiterkabel	
	Einleiterkabel bis 700 Volt	von bis 3000 Volt 10.000 Volt	von bis 3000 Volt 10.000 Volt	von bis 3000 Volt 10.000 Volt	Einleiterkabel bis 700 Volt	von bis 3000 Volt 10.000 Volt	von bis 3000 Volt 10.000 Volt	von bis 3000 Volt 10.000 Volt	Einleiterkabel bis 700 Volt	von bis 3000 Volt 10.000 Volt	von bis 3000 Volt 10.000 Volt	von bis 3000 Volt 10.000 Volt	Einleiterkabel bis 700 Volt	von bis 3000 Volt 10.000 Volt	von bis 3000 Volt 10.000 Volt	von bis 3000 Volt 10.000 Volt
1	24	—	—	—	17	—	—	—	12	10	—	—	8	—	—	—
1,5	31	—	—	—	23	—	—	—	16	13	—	—	10	—	—	—
2,5	41	—	—	—	31	—	—	—	22	17	—	—	14	—	—	—
4	55	42	—	34	42	28	—	26	29	22	—	—	18	—	—	—
6	70	53	—	47	55	36	—	33	37	28	—	—	23	—	—	—
10	95	70	65	65	75	50	46	43	50	37	34	35	32	30	29	18
16	130	95	90	85	100	73	69	65	69	50	48	45	42	40	37	23
25	170	125	115	110	105	100	95	88	91	67	61	59	56	53	50	31
35	210	150	140	135	125	120	115	107	110	80	75	72	67	64	61	37
50	260	180	175	165	155	150	140	128	135	100	93	88	83	80	75	45
70	320	230	215	200	190	185	170	153	170	120	115	105	100	99	91	54
95	385	275	255	240	225	220	205	184	205	145	135	125	120	115	110	64
120	450	315	290	280	260	250	240	222	245	165	155	150	135	130	125	74
150	510	360	335	315	300	290	275	257	270	190	175	165	160	155	145	84
185	575	405	380	360	340	330	310	290	305	215	200	190	180	175	165	94
240	670	470	—	—	—	—	—	—	355	250	—	—	—	—	—	—
310	785	545	—	—	—	—	—	—	420	290	—	—	—	—	—	—
400	910	635	—	—	—	—	—	—	485	340	—	—	—	—	—	—
500	1035	—	—	—	—	—	—	—	555	—	—	—	—	—	—	—
625	1180	—	—	—	—	—	—	—	635	—	—	—	—	—	—	—
800	1380	—	—	—	—	—	—	—	740	—	—	—	—	—	—	—
1000	1585	—	—	—	—	—	—	—	850	—	—	—	—	—	—	—

**Belastungs- und Sicherungstabelle isolierter Leitungen
für Innenverlegung.**

Querschnitt mm ²	Kupfer		Aluminium		Zink		Eisen	
	Zulässige Höchstbelastung A	Stärke der Sicherung A						
1,0	11	6	8	6	—	—	—	—
1,5	14	10	11	6	9	6	—	—
2,5	20	15	16	10	11	6	8	6
4	25	20	20	15	13	10	10	6
6	31	25	24	20	16	10	12	10
10	43	35	34	25	23	20	17	15
16	75	60	60	35	40	35	30	25
25	100	80	80	60	52	35	—	—
35	125	100	100	80	65	60	—	—
50	160	125	125	100	83	60	—	—
70	200	160	155	125	105	80	—	—
95	240	200	190	160	125	100	—	—
120	280	225	220	200	145	125	—	—
150	325	260	255	225	170	125	—	—

Algebra-Regeln.

Eine Gleichung besteht aus 2 oder mehreren Seiten, die durch das = Zeichen voneinander getrennt sind.

Jede Seite enthält 1 oder mehrere Ausdrücke, die durch verschiedene Vorzeichen miteinander verbunden sind. Hat der Ausdruck, nach dem aufgelöst werden soll, ein — Vorzeichen, so ist er **zuerst** nach der entgegengesetzten Seite zu bringen, damit er + wird; befindet er sich dagegen unter einem Bruchstrich, so ist er **zuerst** auf die entgegengesetzte Seite zu bringen, damit er nicht mehr unter dem Bruchstrich steht.

Soll nach irgend einem Ausdruck aufgelöst werden, so muß derselbe allein abgeschrieben werden. Dann folgt sofort das = Zeichen; für den Fall, daß der Ausdruck mit einem anderen Faktor durch ein · Zeichen verbunden war, kommt nach dem = Zeichen sofort ein Bruchstrich. Hierauf wird die dem Ausdruck entgegengesetzte Seite ohne Aenderung abgeschrieben; dann werden die noch übrig gebliebenen Posten mit entgegengesetzten Vorzeichen angehängt.

Rechenschieber-Regeln.

Beim **Multiplizieren** stellt man mit einer **grünen 1** die erste Zahl der Aufgabe auf der roten Skala (*A*) ein; dann wird mit dem **Glasläuferstrich** auf der grünen Skala (*B*) die zweite Zahl der Aufgabe eingestellt und das Resultat unter dem **Läuferstrich** auf Rot abgelesen.

Besteht die Aufgabe aus drei oder mehreren Faktoren, so hat man nach jedem Verschieben des Glasläufers eine grüne 1 unter den **Läuferstrich** zu bringen und den nächsten Faktor mit dem Läuferstrich auf Grün einzustellen. Die Stellenzahl des Resultates erhält man durch Zusammenzählen der einzelnen Stellen, die entweder Plus- oder Minuswerte sein können; z. B. $9 - 7 + 5 - 4 - 1 = 2$ Stellen.

Man merke:

1245 = 4 Stellen	1,245 = 1 Stelle	0,001245 = - 2 Stellen
124,5 = 3 „	0,1245 = 0 Stellen	0,0001245 = - 3 „
12,45 = 2 „	0,01245 = - 1 Stelle	0,00001245 = - 4 „ usw.

Ergibt sich bei einer Multiplikation nach dem Verschieben des Glasläufers rechts vom Läuferstrich zunächst eine rote 1, so ist -1 Stelle zu merken, d. h. von der Gesamtstellenzahl ist eine Stelle abzuziehen; befindet sich rechts dagegen zunächst eine grüne 1, so ist nichts zu merken.

Beim **Dividieren** wird die erste auf dem Bruchstrich stehende Zahl mit dem **Glasläuferstrich** auf der roten Skala eingestellt; hierauf schiebt man die unter dem Bruchstrich stehende Zahl mit der grünen Skala (*B*) unter den **Läuferstrich** und liest das Resultat über irgend einer **grünen 1** auf Rot ab. Befinden sich unter dem Bruchstrich mehrere Faktoren, so ist der Läuferstrich nach jeder Verschiebung der grünen Skala wieder auf irgend eine **grüne 1** zu bringen und die nächste unter dem Bruchstrich stehende Zahl mit Grün unter den Läuferstrich zu schieben. Die Stellenzahl des Resultats ergibt sich, wenn man die Stellen unter dem Bruchstrich von denen auf dem Bruchstrich abzieht. Dabei ist zu beachten, daß Minusstellen beim Abziehen plus werden, z. B.: $4 - (-3) + 2 - 8 = 1$ Stelle. Ergibt sich beim Dividieren rechts vom Läuferstrich zunächst eine rote 1, so ist $+1$ Stelle zu merken, d. h. zur Gesamtstellenzahl ist eine Stelle hinzuzuzählen. Kommt rechts dagegen zunächst eine grüne 1, so ist nichts zu merken.

Zusammengesetzte Aufgaben beginnen stets mit einer Division, dann folgt die Multiplikation, hierauf wieder eine Division usw.

Beim **Quadrieren** wird mit dem **Glasläuferstrich** auf der weißen Skala (*D*) die Basis eingestellt und das Resultat unter dem **Läuferstrich** auf Rot abgelesen. Ergibt sich das Resultat auf der **rechten** Hälfte von Rot, so ist die Gesamtstellenzahl:

Stellenzahl der Basis · 2

 Stellen

Erscheint das Resultat auf der **linken** Hälfte von Rot, so berechnet man die Gesamtstellenzahl aus:

(Stellenzahl der Basis · 2) - 1

 Stellen

Z. B.:

6^2 ergibt $1 \cdot 2 = 2$ Stellen $0,2^2$ ergibt $(0 \cdot 2) - 1 = -1$ Stelle
 3^2 „ $(1 \cdot 2) - 1 = 1$ Stelle $0,008^2$ „ $-2 \cdot 2 = -4$ Stellen
 $0,5^2$ „ $0 \cdot 2 = 0$ Stellen $0,00012^2$ „ $(-3 \cdot 2) - 1 = -7$ Stellen
usw.

Man merke ferner:

$$10^2 = 100; 10^3 = 1000; 10^6 = 1000000; 1,54 \cdot 10^2 = 154;$$

$$1,54 \cdot 10^4 = 15400; 10^{-2} = \frac{1}{100} = 0,01; 10^{-4} = \frac{1}{10000} = 0,0001;$$

$$1,32 \cdot 10^{-5} = \frac{1,32}{100000} = 0,0000132 = 0,0,132; 0,0,21 = 0,00021;$$

$$0,0,4 = 0,00000004 = \frac{4}{100000000} = 4 \cdot 10^{-8} \text{ usw.}$$

Soll mit dem Rechenschieber die **Quadratwurzel** aus einem Wert gezogen werden, der größer als 1 ist, so unterteilt man die Zahl von rechts nach links in Gruppen von je 2 Ziffern, z. B.

$$\sqrt{\begin{array}{c|c|c|c} 6 & 44 & 00 & 00 \\ \hline 1 & 2 & 3 & 4 \end{array}} \quad \sqrt{\begin{array}{c|c|c|c|c} 81 & 50 & 00 & 00 & 00 \\ \hline 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array}}$$

Hat die erste Gruppe 1 Ziffer, so wird die Zahl mit dem **Glasläuferstrich** auf der linken Hälfte von Rot eingestellt, hat sie dagegen 2 Ziffern, so erfolgt die Einstellung auf der rechten Seite von Rot.

Abgelesen wird in jedem Falle unter dem **Glasläuferstrich** auf Weiß (*D*). Die Stellenzahl des Resultats ist gleich der Gruppenzahl. Man merke:

Zahl	Einstellen	Gruppen	Stellenzahl	Ergebnis
6400	Rechts	2	2	80
640	Links	2	2	25,3
64	Rechts	1	1	8
6,4	Links	1	1	2,53
0,64	Rechts	0	0	0,8
0,064	Links	0	0	0,253
0,0064	Rechts	-1	-1	0,08
0,00064	Links	-1	-1	0,0253

Soll die Quadratwurzel aus einem Wert gezogen werden, der kleiner als 1 ist, so gelten noch folgende Regeln: Ist die Anzahl der Nullen hinter dem Komma eine gerade Zahl, so wird auf der rechten Hälfte von Rot eingestellt; ist sie ungerade, so erfolgt die Einstellung links. Das Resultat erhält so viele Nullen hinter dem Komma, als die Grundzahl Gruppen von je 2 Nullen hinter dem Komma hat.

Zusammenstellung

der Zeichen für Maßeinheiten und der Formelzeichen.

A = Ampere	g = Leitfähigkeit
A_e = elektrische Arbeit	grcal = Grammkalorie
Ah = Amperestunde	H = Henry
A_h = Habenwert des Energieverbrauchs	\mathfrak{H} = Stärke des magnetischen Feldes
A_m = mechanische Arbeit	h = Höhe
A_s = Sollwert des Energieverbrauches	hW = Hektowatt
AW = Amperewindungen	J = Joule
AW/cm = Amperewindungen für 1 cm	I = elektrische Stromstärke
AW_δ = Amperewindungen für Luft	I_a = Ankerstrom
AW_t = Gesamtamperewindungszahl	I_p = Phasenstrom
a = Anzahl der Polpaare	i_m = maximale Stromstärke
B = Barometerstand	K = Zählerkonstante
\mathfrak{B} = magnetische Dichte	kV = Kilovolt
C = elektrische Kapazität	kVA = Kilovoltampere
C = Coulomb	kW = Kilowatt
d = Durchmesser	kWh = Kilowattstunde
δ = Luftweg	L = Selbstinduktionskoeffizient
E = Spannung und EMK	L_v = Leistungsverlust
E_k = Klemmenspannung	l = Länge
E_n = Normalspannungsabfall	M_d = Drehmoment
E_p = Phasenspannung	m = Weg
E_r = Ohmsche Spannung	mA = Milliampere
E_s = induktive Spannung	mV = Millivolt
E_t = Gesamtspannung	$M\Omega$ = Megohm
E_v = Spannungsverlust	MW = Megawatt
e_m = maximale Spannung	μ = magnetische Durchlässigkeit
η_e = elektrischer Wirkungsgrad	μF = Mikrofarad
η_m = mechanischer Wirkungsgrad	N = effektive Leistung
F = Fehler	N_t = theoretische Leistung
F = Farad	n = minutliche Umdrehungszahl
f = Frequenz bei Wechselstrom	Ω = Ohm
G = Leitwert	ω = Winkelgeschwindigkeit
	P = Kraft, Umfangs-, Trag- und Zugkraft

PS = Pferdestärke	T_a = Anfangstemperatur
p = prozentualer Spannungsabfall	T_e = Endtemperatur
Φ = Kraftfluß	t = Zeit
φ = Phasenverschiebungswinkel	τ = Temperaturziffer
Q = Elektrizitätsmenge, Strommenge	U_h = Habenwert der Ankerumdrehungen für 1 kWh
Q_t = theoretische Wärmemenge	U_s = Sollwert der Ankerumdrehungen für 1 kWh
q = Querschnitt	V = Volt
q_d = Querschnitt im Drehstromkreis	V_a = abgelesenes Gasvolumen
q_e = Querschnitt im Einphasenstromkreis	V_r = reduziertes Gasvolumen
q_n = Normalquerschnitt	v = prozentualer Leistungsverlust
R = Ohmscher Widerstand	v_u = Umfangs-(Riemen-)Geschwindigkeit
R_a = äußerer Widerstand	W = Watt
R_c = kapazitiver Widerstand	Wh = Wattstunde
R_e = innerer Widerstand	W = Gleichstromleistung
R_i = Isolations-Widerstand	W_d = Drehstromleistung
R_s = induktiver Widerstand	W_e = Einphasenstromleistung
R_t = Gesamtwiderstand	W_p = praktischer Wattverbrauch
R_w = Wechselstromwiderstand	W_t = theoretischer Wattverbrauch
r = Halbmesser	W_w = Wechselstromleistung
ρ = spezifischer Widerstand	W_1 = Primärleistung
S = Siemens	W_2 = Sekundärleistung
S = Gesamtstromkosten	w = Windungszahl
s = Preis für 1 kWh	z = Anzahl, Zahl
T = Temperaturunterschied	

Stichwortverzeichnis.

- Abszisse 5, 57
 Akkumulatoren 45
 Algebraregeln 104
 altern 71
 amalgamieren 50
 Ampere 6
 Amperemeter 6, 11
 Amperemeterreichung 44
 Amperesekunde 9
 Amperestunde 9, 46
 Amperestundenzähler 29, 33
 Amperewindungen 56
 Anhang 102
 Anker 60, 64
 Anode 43
 Antriebsleistung für Gleichstrom-
 Generatoren 38
 Antriebsleistung für Wechselstrom-
 Generatoren 38, 100
 aperiodisch 4
 Aräometer 48
 Arbeit, elektrische 27
 " mechanische 36
 Aufspannung, magnetische 59
 Augenblickswerte 75
 Auspolen 4
 Außenleiter 9
 Außenpolmaschine 64
 Autotransformator 72
 Batterie 47
 Belastungstabellen 102, 103, 104
 Belegung 79
 bifilar 74
 Blasmagnet 62
 Blasspule 62
 Bleiakкумуляtor 48
 Braunsteinelement 50
 Bunsenelement 50
 Chemische Wirkung 42
 Chromsäureelement 50
 $\cos \varphi$ 75
 " Anzeiger 83
 " Bestimmung im Drehstromkreis 94
 " Einphasenstrom-
 kreis 82, 83
 Coulomb 9
 Dämpfung 4, 63, 73
 Daniellelement 49
 Depolarisator 49
 Diaphragma 49
 Dielektrikum 79
 Dielektrizitätskonstante 79
 Doppelsternschaltung 98
 Drehfeld 89
 Drehmoment 61, 86
 Drehspulensystem 7
 Drehstrom 9, 88
 Drehstromleistung 92
 Drehstromtransformator 98
 Drehstromwattmeter 94
 Drehstromzähler 95
 Dreieckschaltung 90
 Dreileitersystem 8
 Dreileiterzähler 85
 Dreiphasenstrom 88
 Dreiwattmetermethode 93
 Drosselspule 78, 83
 Drosselwirkung 78, 83
 Edisonakkumulator 48
 Effektive Leistung 38
 Effektive Spannungs- und Stromwerte 76
 Eichkurven 5
 Einphasenstrom 9, 82
 Einphasenstromleistung 82
 Einphasenstromzähler 86, 87
 Elektrizität 1
 Elektrochemische Zähler 52
 Elektroden 43
 Elektrodynamometer 62
 Elektrolyse 1
 Elektrolyte 1
 Elektromagnetismus 54
 Elektromagnetische Instrumente 11
 Elektrometer 81
 Elektromotorische Kraft 2
 Elektronen 1
 Elektroskop 81
 Elektrostatische Instrumente 81
 Elemente 43
 Energie 1
 Energieverbrauch 27
 Entladestrom 45
 Erde 2
 Farad 79
 Feldstärke 54
 Ferrarisprinzip 86, 94
 Fremderregung 68
 Frequenz 66
 Frequenzmesser 66, 84
 Frequenzregler 84
 Funkenlöschung, magnetische 62
 galvanisch 2
 Galvanische Elemente 48
 Galvanoplastik 42
 Galvanostegie 42
 Gauss 54
 Gegenseitige Induktion 70
 Generatoren 64
 Gleichrichter 100
 Gleichstrom 8, 67
 Gleichstromgenerator 67
 Gleichstromzähler 29
 Grammkalorie 40
 Graphische Darstellung 5
 Grenzstromstärke 41
 Grobflächenplatte 45
 Gruppenschaltung von Stromquellen 52
 " Widerständen 16
 Hausinstallation 22
 Heizen 40
 Hektowatt 24
 Henry 74

Hitzdrahtinstrumente 6
 Hochfrequenz 66
 Hochspannung 5, 98
 Hochspannungsseite 72
 Hochspannungszähler 29
 Höchstbelastung 24
 homogen 53
 Hubmagnet 59
 Impedanz 78
 Induktanz 78
 Induktion, elektrische 2, 63
 " magnetische 53, 56
 Induktionsapparat 71
 induktionsfrei 76
 induktiv 76, 78
 Innenpolmaschine 64, 67
 intermittierend 70
 Ionen 43
 Isolationsmesser 11, 21
 Isolationsmessungen 19, 20
 Isolationsprüfer 11, 21
 Isolatoren 1
 Kapazität von Akkumulatoren 46
 " Kondensatoren 79
 kapazitiv 79, 80
 Kaskadenschaltung 79
 Kathode 43
 Kerntransformator 71, 85
 Kilovolt 3
 Kilovoltampere 77, 100
 Kilowatt 24, 37
 Kilowattstunde 27
 Klemmenspannung 22
 Knallgasvoltmeter 43, 44
 Kochen 29
 Koerzitivkraft 54
 Kollektor 67
 Kommutator 60, 67
 Kompensationsblech 87
 Kompensationsspule 34
 Kondensator 71, 79
 Koordinaten 5, 57
 Korrektionsstabellen 8
 Kraftfluß 54
 Kraftlinien 54
 Krügerelement 49
 Kupfervoltmeter 43
 Kurbelrheostat 10, 12, 16
 Kurzschluß 12
 Kurzschlußkontakt 10
 Laderegler 69
 Laderückstände 81
 Ladestrom 45
 Ladung von Akkumulatoren 47
 Läufer 67
 Leclancheelement 50
 Leistung, elektrische 24
 Leistungsfaktor 75, 76, 82, 94
 Leistungsmessung im Drehstromkreis 92
 " Einphasenstrom-
 kreis 25, 83
 Leistungsmessung im Gleichstromkreis 52
 Leistungsübertragung 26
 Leistungsverlust 27
 Leiter 1
 Leitfähigkeit, elektrische 14
 " magnetische 56
 Leitungssysteme 8
 Leitwert 14
 Lenzsches Gesetz 69
 Linke Handregel 60
 Magnetisierungskurven 57
 Magnetismus 53
 Mangansuperoxyd 50
 Manteltransformator 71, 85
 Maschinenleistung 36
 Masseplatte 45

Mechanische Arbeit 36
 " Leistung 36
 Mechanische Wirkung 59
 Megohm 10
 Mehrphasenströme 9
 Meidinglelement 49
 Meßbrücke 16
 Meßdraht 18
 Meßtransformator 29, 94, 97
 Metalllegierung 14
 Metallplattierung 42
 Mikrofarad 79
 Milliampere 6
 Millivolt 3
 Mittelleiter 9
 Momentanwerte 75
 Motorzähler 29, 31, 86, 95
 Multizellularvoltmeter 81
 Nacheilung 81
 Nebenschluß 7
 Nebenschlußgenerator 68
 Nebenschlußregulator 69
 negativ 1
 Nennstromstärke 41
 Nichtleiter 1
 Niederspannung 5
 Niederspannungsseite 72
 Niederspannungszähler 29
 Normalquerschnitt 23
 Nulleiter 9, 41
 Nullpunkt 89
 Nutzlast 61
 Oberspannungsseite 72
 Objektive Ablesung 18
 Öltransformator 72
 Offener Transformator 71
 Ohm 10
 Ohmmeter 11, 21
 Ohmsches Gesetz 10
 Ohmscher Widerstand 77
 Parallelschaltung von Stromquellen 51
 " Widerständen 15
 Pendelzähler 34
 Permanenz 53
 Permeabilitätsfaktor 56, 74
 Periode 65
 Periodenzahl 66
 Pferdestärke 36
 Phase 5, 75
 Phasengleichheit 75
 Phasenschieber 83
 Phasenregler 81, 87
 Phasenschieber 87
 Phasenspannung 89
 Phasenstrom 90
 Phasentransformator 87
 Phasenverschiebung 75
 Polarisation 44
 Polreagenzpapier 4, 42
 Polschuhe 58
 positiv 1
 Präzisionsinstrumente 3
 primär 70, 72
 Primärelement 49
 Primärleistung 85, 98
 Pyroelektrizität 2, 42
 Quecksilberdampfgleichrichter 100
 Querschnittsberechnungen 22, 26, 86, 99
 Raumheizung 40
 Rechenschieberregel 105
 Rechte Handregel 64
 Regulierttransformator 72
 Reibungselektrizität 2
 Remanenz 53
 Resistanz 78
 Riemengeschwindigkeit 61
 Rotor 67

- Ruhende Elektrizität 1
 Sättigung, magnetische 54, 56
 Salmiakelement 50
 sekundär 70, 72
 Sekundärelement 48
 Sekundärleistung 85, 98
 Selbsterregung 68
 Selbstinduktion 74
 Selbstinduktionskoeffizient 74
 Selen 13
 Serienschaltung von Stromquellen 51
 " " Widerständen 15
 Shunt 7
 Sicherungen 41
 Sicherungstabellen 104
 Siemens 14
 Silbervoltmeter 43
 Solenoid 55
 Spannung 2
 Spannungsabfall 22
 Spannungsmesser 3, 11, 81
 Spannungsregulierung 12
 Spannungsverlust 22, 99
 Spannungswandler 97
 Sparschaltung 26
 Spartransformator 72
 Spezifischer Leitwert 14
 " " Wattverbrauch 25
 " " Widerstand 13
 Spezifisches Gewicht von Akkumulatoren-
 säure 46
 Spiegelgalvanometer 17
 Subjektive Ablesung 18
 Schaltung von Kondensatoren 79
 " " Stromquellen 51
 " " Widerständen 15
 Scheibenwicklung 72
 Scheinbare Leistung 77, 92, 100
 Scheinbarer Widerstand 77
 Schutzwiderstand 89
 Schwingungen, elektrische 9
 Schwingungsbild eines Frequenzmessers 84, [85]
 Ständer 67
 Stahlmagnete 58
 Stammatterie 46
 Stator 67
 Steifleitung 23
 Stern-Dreieckschalter 91
 Sternpunkt 89
 Sternschaltung 89
 Stiazähler 52
 Stöpselrheostate 16
 Streublech 73
 Strömende Elektrizität 1
 Strom 6
 Stromabgeber 67
 Stromarten 8
 Stromerhaltungsspule 101
 Stromkostenberechnung 28
 Strommenge 9
 Strommesser 6
 Stromregulierung 12
 Stromstärke 6
 Stromtransformator 97
 Stromwandler 94, 97
 Stromwender 60, 67
 Tabelle der Leitfähigkeiten 14
 " " spez. Widerstände 14
 Technische Instrumente 3
 Temperaturziffer 13, 14
 Thermoelektrizität, 2, 42
 Thomsonsche Brücke 16, 18
 Tragkraft, magnetische 59
 Transformator 71
 Trockenelement 50
 Trockentransformator 71
 Überlastung 6
 Übersetzungsverhältnis 72
 Uhrzeigerregel 55
 Umfangsgeschwindigkeit 61
 Umfangskraft 61
 Unterspannungsseite 72
 Unterstation 99
 Verkehrsfehlergrenzen für Zähler 32
 Verkettung 88
 Verlegungsvorschriften 24
 Verteilungsleitungen 23
 Vierleiterzähler 97
 Volt 3
 Voltmeter 43
 Voltampere 77
 Voltmeter 3, 11, 81
 Voltmeterreichung 4
 Voltstundenzähler 29
 Vorseilung 81
 Vorschaltwiderstand 3
 Wärmewirkung 39
 Watt 24
 wattlos 76
 Wattmeter 4, 63
 Wattleistung 27
 Wattstunde 27
 Wattstundenzähler 29
 Wechselstrom 9
 Wechselstromgenerator 66
 Wechselstromkurve 65
 Wechselstromwiderstand 77, 78
 Weicheiseninstrumente 11
 Wheatstonesche Brücke 16, 17
 Widerstand 2, 9
 Widerstandsberechnung 13
 Widerstandsmessung aus Strom und
 Spannung 10
 Widerstandsmessung mit Meßbrücken 16
 Widerstandsschaltung 15
 Wirbelströme 73
 Wirbelstrombremsen 7, 33, 73
 Wirkliche Leistung 77, 83, 92
 Wirkungsgrad 37
 Wirkungsgradbestimmung bei Koch-
 apparaten 40
 Zähler 29
 Zählerablesung 30
 Zähleraufschriften 31
 Zählerkonstante 32, 87, 96, 97
 Zeitzähler 29
 Zellschalter 46
 Zickzackschaltung 98
 Zugkraft 59, 61
 Zusatzaggregat 69
 zweifädig 74
 Zweileitersystem 8
 Zweileiterzähler 33, 34
 Zweiwattmetermethode 93
 Zylinderwicklung 72

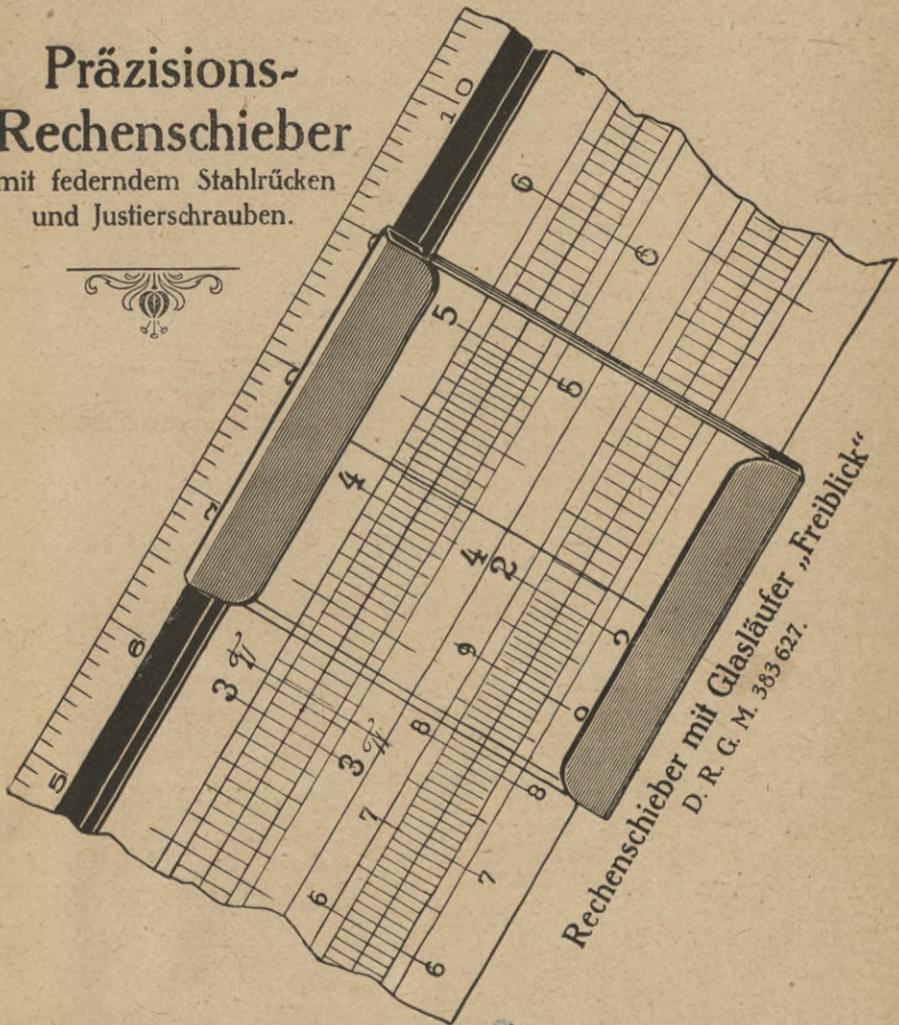
Namenverzeichnis.

- Ampère, (spr. anpäh'r), französischer Mathematiker und Physiker, geb. 1775 in Lyon, gest. 1836 in Marseille.
- d'Arsonval, französischer Physiolog, geb. 1851 in la Porcherie.
- Bell, englischer Physiolog, geb. 1847 in Edinburgh.
- Branly, (spr. brangli), französischer Physiker, geb. 1846 in Amiens.
- Braun, deutscher Physiker, geb. 1850 in Fulda.
- Bunsen, deutscher Chemiker, geb. 1811 in Göttingen, gest. 1899 in Heidelberg.
- Coulomb, (spr. kulong), franz. Ingenieur, geb. 1736 in Angoulême, gest. 1806 in Paris.
- Davy, (spr. dehwi), engl. Chemiker und Physiker, geb. 1778 in Penzance, gest. 1829 in Genf.
- Deprez, (spr. depreh), frz. Elektroingenieur, geb. 1843 in Châtillon-sur-Loing.
- Edison, (spr. eddiß'n), amerik. Erfinder, geb. 1847 in Milan.
- Faraday, (spr. färede), engl. Chemiker und Physiker, geb. 1791 in Newington, gest. 1867 in Hamptoncourt.
- Ferraris, italien. Physiker und Elektrotechniker, geb. 1847 in Livorno Vercellese, gest. 1897 in Turin.
- Foucault, (spr. fukoh), franz. Ingenieur und Physiker, geb. 1819 in Paris, gest. 1868.
- Franklin, (spr. fränklin), nordamerikanischer Staatsmann und Schriftsteller, geb. 1706 zu Boston, gest. 1790.
- Galvani, italien. Physiolog, geb. 1737 in Bologna, gest. 1798.
- Gauss, deutscher Mathematiker, Astronom und Physiker, geb. 1777 in Braunschweig, gest. 1855.
- Geissler, deutscher Feinmechaniker, geb. 1814 in Igelshieb, gest. 1879.
- Gramme, (spr. gramm), belgischer Elektrotechniker, geb. 1826 in Jehay-Bodignée, gest. 1901 in Bois Colombes bei Paris.
- Halske, deutscher Ingenieur, geb. 1814 in Hamburg, gest. 1890 in Berlin.
- Helmholtz, deutsch. Physiker u. Physiolog, geb. 1821 in Potsdam, gest. 1894.
- Henry, amerik. Physiker, geb. 1797 in Albany, gest. 1878 in Washington.
- Hertz, deutscher Physiker, geb. 1857 in Hamburg, gest. 1894 in Bonn.
- Hughes, (spr. juhs), engl. Prof., geb. 1831 in London, gest. 1900 in London.
- Joule, (spr. dschoul), engl. Physiker, geb. 1818 in Salford, gest. 1889 in Sale.
- Kirchhoff, deutscher Physiker, geb. 1824 in Königsberg, gest. 1887 in Berlin.
- Kohlrausch, deutsch. Physiker, geb. 1809 in Göttingen, gest. 1858 in Erlangen.
- Marconi, italien. Ingenieur, geb. 1874 in Griffone.
- Maxwell, engl. Physiker, geb. 1831 in Edinburgh, gest. 1879 in Cambridge.
- Morse, (spr. mohrs), amerik. Prof., geb. 1791 in Charlestown, gest. 1872 in Neuyork.
- Nernst, deutscher Physiker, geb. 1864 in Briesen.
- Ohm, deutscher Physiker, geb. 1787 in Erlangen, gest. 1854 in München.
- Reis, deutscher Physiker, geb. 1834 in Gelnhausen, gest. 1874.
- Rühmkorff, deutscher Feinmechaniker, geb. 1803 in Hannover, gest. 1877 in Paris.
- Siemens, deutscher Ingenieur, geb. 1816 in Leuthe, gest. 1892.
- Slaby, deutscher Elektrotechniker, geb. 1849 in Berlin, gest. 1913 in Charlottenburg.
- Tesla, amerik. Erfinder, geb. 1856 zu Smiljan in Kroatien.
- Thomson, (spr. tomms'n) Lord Kelvin, engl. Physiker, geb. 1824 zu Belfast, gest. 1907 in London.
- Thomson, engl. Physiker, geb. 1856 in Manchester.
- Volta, italien. Physiker, geb. 1745 in Como, gest. 1827 in Como.
- Watt, (spr. wott), engl. Feinmechaniker, geb. 1736 in Greenock, gest. 1819 in Geathfield.
- Weber, deutscher Physiker, geb. 1804 in Wittenberg, gest. 1891 in Göttingen.
- Wheatstone, (spr. wihtst'n), engl. Physiker, geb. 1802 in Gloucester, gest. 1875 in Paris.

Dennert & Pape

Fabrik wissenschaftlicher Instrumente
und Präzisions-Maßstäbe / Rechenschieber aller Systeme
Altona bei Hamburg, Friedenstraße 53 – 55.

Präzisions-
Rechenschieber
mit federndem Stahlrücken
und Justierschrauben.



Rechenschieber mit Glasläufer „Freiblick“
D. R. G. M. 383 627.

Normal-Rechenstäbe mit gefärbten Skalen
nach Ingenieur Gruber.

'S-90

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000294356