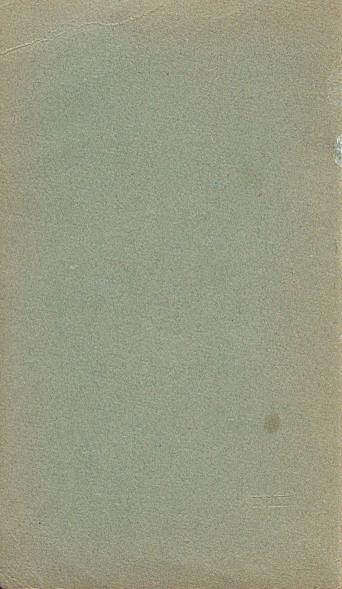
FACHBÜCHEREI FÜR KLEMPNER UND INSTALLATEURE



BANDIV. ELEKTROTECHNIK



Duch

FACHBÜCHEREI FÜR KLEMPNER UND INSTALLATEURE

BAND IV ELEKTROTECHNIK

*

AUE IN SACHSEN
HOHERE DEUTSCHE FACHSCHULE
FUR METALLBEARBEITUNG UND INSTALLATION

GEDRUCKT BEI C. M. GARTNER, SCHWARZENBERG I. SA.





I. Grundlagen der Elektrotechnik.

Einleitung.

Die Elektrotechnik ist heute auf der ganzen Welt verbreitet. Sie ist tief in unser Leben eingedrungen. Elektrische Energie spendet Licht, sie bügelt, kocht, heizt und entfernt Staub; sie treibt die Maschinen in der Industrie, im Verkehrswesen und in der Landwirtschaft. Sie hetätigt Signale, ermöglicht Gespräche mit und ohne Drahtleitungen auf alle Entfernungen. Es ist daher nicht zu verwundern, daß fast jeder von dieser geheimnisvollen Kraft mehr wissen möchte, als was er äußerlich davon hört und sieht. Wer einen Einblick in die Grundlagen der Elektrotechnik erlangt, wird hieraus großen Nutzen

ziehen und sich vor Schaden bewahren.

Die Chemie lehrt, daß alle Stoffe aus kleinsten Teilchen bestehen, den Atomen, die sich in ständiger schneller Bewegung befinden und zwischen sich Räume frei lassen, die weit größer sind, als die Atome selbst. Die Physik zeigt uns, daß die Geschwindigkeit der Atome mit der Temperatur der Körper wächst, und daß das Gefühl der Wärme, welches wir bei der Berührung eines warmen Körpers haben, garnichts weiter ist als der Schlag der bewegten Atome gegen unsere berührenden Finger. Die Atome der Körper bestehen aus einem Atomkern und anders gearteten winzigen Teilchen, welche den Kern mit riesiger Geschwindigkeit ständig umkreisen. Diese kreisenden Teilchen sind nichts weiter als Elektrizität. Diese Elektrizitätsatome heißen Elektronen. Sie haben immer die gleiche Größe und wiegen ca. 1/1800 ues Wasserstoffatoms. Der Atomkern weist eine positive Ladung auf, während die Elektronen negativ sind. Diejenigen Elektronen eines Atoms, welche am weitesten von dem Kern entfernt kreisen, können durch Reiben des Körpers oder durch starke Erhitzung derselben ab-gerissen werden. Der zurückbleibende Körper weist dann einen Mangel an negativer Elektrizität auf, d. h. er ist nun positiv geladen. Bringt man negative Elektrizität (Elektronen) in die Nähe des betrachteten Körpers, so strebt diese zu dem Körper, und wenn wir dies gestatten, strömen die Elektronen wieder zurück, so daß wieder der frühere, ungeladene (neutrale) Körper entsteht.

Spannung, Strom und Widerstand.

Die Elektronen können sich in manchen Stoffen frei bewegen. Man nennt solche Stoffe Leiter. Andere Stoffe, die keine Elektronen hindurchlassen, bezeichnet man als Nichtleiter oder Isolatoren. Elemente und Dynamomaschinen brauchen nach Vorstehendem nicht erst die Elektrizität zu erzeugen, sondern sie bewegen nur die bereits in den Leitern vorhandenen Elektronen. Sie sind für die Elektronen das, was die Pumpe in Fig. 1 für das Wasser ist.

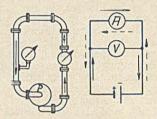


Fig. 1. Der Stromkreis

Eine Pumpe P treibt durch eine in sich geschlossene Röhrenleitung einen Wasserstrom, der von einem Wassermesser gemessen wird. Der Druck wird durch ein Manometer angezeigt. Daneben ist ein elektrisches Element dargestellt. Genau so wie der Druck der Pumpe das Wasser in Bewegung setzt, so treibt das Element die Elektronen durch den Draht und zwar in der Richtung der punktierten Pfeile. Der Elektronenstrom tritt also an der — Klemme aus dem Element heraus und kehrt durch die + Klemme wieder in das Element zurück. Die in der Elektrotechnik übliche Richtungsbezeichnung ist gerade umgekehrt und in Fig. 1 durch Pfeile in der Leitung gekennzeichnet.

Die elektrische Kraft, welche den Elektronenstrom durch den Draht hindurchtreibt, hat in dem Element ihren Sitz und wird Elektromotorische Kraft (E M K) genannt. Als Einheit für die Spannung gilt I Volt, benannt nach dem italienischen Forscher Volta.

Bei dem Wasservergleich liefert die sekundlich hindurchströmende Wassermenge ein geeignetes Maß, dementsprechend kann man die elektrische Stromstärke nach der sekundlich durch den Leiterquerschnitt hindurchfließenden Elektronenmenge beurteilen. Die hierfür geschaffene Maßeinheit nent man nach dem französischen Physiker Ampère,

1 Ampere.

Die Größe oder Stärke der Strömung des Wassers wird je nach den Leitungswiderständen sehr verschieden sein. Zunächst sind die zu überwindenden Widerstände vom Stoffe der Leitung abhängig. Ein rauhes Rohr behindert die Strömung mehr als ein glattes. Ferner wird der Widerstand um so größer, je länger das Rohr und je geringer sein Querschnitt ist. Der Widerstand eines elektrischen Stromkreises ist ebenso von der Länge und dem Querschnitt der Leitungsdrähte abhängig. Der Widerstand wird, nach dem deutschen Forscher Ohm, in Ohm, abgekürzt & (sprich: Omega), angegeben.

Das Ohm'sche Gesetz.

Man untersuche das Verhältnis von Strom, Spannung und Widerstand zueinander. Zu diesem Zwecke stelle man zunächst die Schaltung Fig. 2 her, bei welcher man an ein und denselben Draht R erst ein Element, dann zwei und zuletzt drei Elemente anschließt An dem Strommesser beobachtet man, daß bei zwei und drei Elementen, also zwei- und dreifacher Spannung, auch der gemessene Strom zwei- bezw. dreimal so groß ist wie zu Anfang. In Fig. 3 ist zuerst der ganze Draht vom Strom durchflossen, dann nur die Hälfte und schließlich braucht der Strom nur noch durch 1/8 des Drahtes. Es ist selbstverständlich, daß im zweiten Fall der Widerstand auch nur halb so groß ist und daß er zuletzt nur noch ein Drittel des Anfangswertes beträgt. Man beobachtet nun, daß die Stromstärke, trotzdem die Spannung die-selbe bleibt, im gleichen Maße wächst, wie der Widerstand abnimmt.

Diese Tatsache ist von Ohm (1827) festgestellt. Die Ergebnisse der beschriebenen Versuche faßt man in dem Ohm'schen Gesetz zusammen, welches eine der wichtigsten Grundlagen der Elektrotechnik bildet.

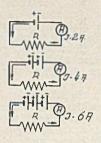


Fig. 2.

Der Strom wächst mit zunehmender Spannung.

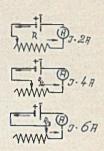


Fig. 3

Der Strom wächst mit abnehmendem Widerstand

Bezeichnet:

R den Widerstand eines Drahtes,

U die Spannung zwischen den Drahtenden u. J die Stromstärke in dem Draht, so kann man das Ohm'sche Gesetz durch folgende

Formel ausdrücken:

$$J = \frac{U}{R}$$

Als Einheiten dieser drei Größen sind die folgenden festgelegt:

- Die Einheit der Stromstärke ist das Ampere (1 A). Man versteht unter einem Ampere diejenige Stromstärke, welche in einer Sekunde aus einer Silbernitratlösung 1,118 mg Silber ausausscheidet. 1 Milliampere (1 m A) ist 1/1000 Ampere.
- Die Einheit des Widerstandes ist das Ohm (1 Man versteht unter einem Ohm den Widerstand, welcher ein Quecksilberfaden von 1,063 m Länge und 1 mm² Querschnitt bei 0° C dem elektrischen Strom entgegensetzt. Ein Megohm (1 M 2) ist eine Million Ohm.

3. Die Einheit der Spannung ist das Volt (1 V). Man versteht unter einem Volt diejenige elektromotorische Kraft oder Spannung, welche durch einen Widerstand von einem Ohm gerade einen Strom von einem Ampere zu treiben vermag. Ein Kilovolt (1 kV) ist 1000 Volt.

Beispiel: Ein Widerstand von 5,5 2 soll an eine 110 Volt Leitung angeschlossen werden. Wie groß wird die Stromstärke?

Nach Formel 1 ist
$$J = \frac{U}{R} = \frac{110}{5.5} = 20$$
 Amp.

Beispiel: Eine Heizsonne hat einen Widerstand von 48,4 2 und soll an 220 Volt angeschlossen werden, mit welcher Stromstärke belastet die Heizsonne den Stromkreis?

$$J = \frac{U}{R} = \frac{220}{48,4} = 4,55 A.$$

Das Ohm'sche Gesetz gilt auch für Teile eines Stromkreises. In Fig. 4 ist an eine Stromquelle eine Reihe von Widerständen angeschlossen. Die Klemmenspannungen an den einzelnen Widerständen berechnen sich:

$$U_1 = J \cdot R_1$$
; $U_2 = J \cdot R_2$; $U_3 = J \cdot R_3$

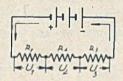


Fig. 4.

Das Ohmsche Gesetz gilt für jeden Teil des Stromkreises.

Beispiel: Die Widerstände in Fig. 4 seien $R_1 = 20^{-2}$, $R_2 = 30^{-2}$, $R_3 = 40^{-2}$. Die Spannung der Stromquelle betrage U = 220 Volt. Wie groß sind die Teilspannungen, wenn ein Strom von J = 2,44 A fließt?

$$\begin{array}{c} U_1 = J \cdot R_1 = 2,44 \cdot 20 = 48,8 \ V \\ U_2 = J \cdot R_2 = 2,44 \cdot 30 = 73,2 \ V \\ U_3 = J \cdot R_3 = 2,44 \cdot 40 = 97,6 \ V \\ \\ \text{Summe U} = \sim 220 \ V \end{array}$$

Spezifische

Widerstände, Leitwerte und Gewichte von Leitern.
Nicht alle Leiter bieten dem Strom den gleichen Widerstand, man muß daher zwischen guten und schlechten Leitern unterscheiden. Bestimmt man von jedem Leiter den Widerstand eines Drahtstückes von 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt, so stellt dieser den spezifischen Widerstand des betreffenden Stoffes dar

Den umgekehrten Wert des spezifischen Widerstandes e (sprich: roh) nennt man spezifischer Leitwert. Die Leitfähigkeit wird bezeichnet mit e (sprich: kappa). Von Kupfer ist z. B. e = 0,0175, demnach ist die Leitfähigkeit e = $\frac{1}{n}$ = $\frac{1}{0.0175}$ = 57.2

Das spezifische Gewicht 7 (sprich: gamma) gibt an, wieviele g ein cm³ oder wieviele kg ein dm³ des Materials wiegen.

Material	Spezifischer Widerstand 0	Spezilischer Leitwert $*=\frac{1}{\varrho}$	Temperatur- ziller α	Spezifi- sches Gewicht
Aluminium Blei	0,029 0,21	34.5 4.8	0,00375 0,0037	2,7 11,4
Bronze	0,0278	36,0	0,0037	8.8
Chromnickel	1,1	0.91	0.000079	8,39
Eisen	0.143	6.99	0.0048	7.86
Graphit	12.0	0,83		2,25
Kohle	100-1000	0,01 : 0,001	-0,0003 ÷-0,0008	
Konstantan	0,48	2,08	praktisch 0	8,8
Kruppin	0,81	1,235	0,00065	8,1
Kupfer	0,0175	57,2	0,00395	8,96
Manganin	0,425	2,35	praktisch 0	8,42
Measing	0,08	12,5	0.0015	8,3
Neusilber	0,3	3.33	0,0003	8,77
Nickel	0,13	7.7	0,0037	9.0
Nickelin	0,4	2,5	0,00015	8,88
Platin	0,094	10,64	0,0024	21.6
Quecksilber	0,95	1,05	0,00057	13.6
Silber	0,016	62,5	0,0038	10,55
Zink	0,0675	14,82	0,0037	7,2
Zina	0,13	7,7		7.2

Die Werte beziehen sich auf + 15° Celsius Temp.

Bezeichnet:

R den Widerstand des Leiters in 2.

I die Gesamtlänge der Leitung in m (Hin- und Rückleitung),

den spezifischen Leitungswiderstand,

q den Querschnitt der Leitung in mm3, dann ist:

$$R = \frac{\rho \cdot 1}{q}$$

Anstatt des spez. Widerstandes @ kann man auch den Leitwert z einsetzen, man erhält dann:

$$R = \frac{1}{x \cdot q}$$

Beispiel: Wie groß ist der Widerstand eines Kupferdrahtes von 120 m Länge und 1,5 mm² Querschnitt?

$$R = \frac{\varrho \cdot 1}{q} = \frac{0.0175 \cdot 120}{1.5} = 1.4 \cdot 2 \text{ oder } R = \frac{120}{57.2 \cdot 1.5} = 1.4 \cdot 2$$

Beispiel: Welche Länge erhält ein Aluminiumdraht von 2,5 mm² Querschnitt und 8 22 Widerstand?

$$R = \frac{\varrho \cdot 1}{q}$$
; $1 = \frac{R \cdot q}{\varrho} = \frac{8 \cdot 2.5}{0.029} = 690 \text{ m}$

oder: $R = \frac{1}{\kappa \cdot q}$; $1 = R \cdot \kappa \cdot q = 8.34,5.2,5 = 690 \text{ m}$

Bei Erwärmung eines Leiters ändert sich sein Widerstand. Bringt man z. B. einen Kupferdraht in einen Raum, in welchem eine erhöhte Temperatur herrscht, so wird sein Widerstand größer. Kohle und Flüssigkeiten dagegen vermindern ihren Widerstand bei wachsender Temperatur. Diese Widerstandsänderungen lassen sich unter Berücksichtigung der in der vorhergehenden Tabelle angegebenen Temperaturziffer «, welche angibt, um wieviel « ein Leiter von 1 » bei einer Temperaturerhöhung von 1 ° zuoder abnimmt, aus folgender Formel berechnen.

$$R_2 = R_1 \left[1 + (\alpha \cdot \partial) \right]$$

Es bedeutet:

R₁ = Anfangswert des Widerstandes (bei 15° C),

R₂ = Endwert des Widerstandes in Ω, α = Temperaturziffer bezogen auf 15 °C,

= Temperaturzunahme in Grad.

Beispiel: Wie groß ist der Widerstand eines Eisendrahtes, der von 15° auf 98° C erwärmt wurde, wenn sein Anfangswiderstand 235 a war?

$$R_2 = R_1[1 + (\alpha.9)] = 235[1 + (0.0048.83)] = 235(1 + 0.3981) = 329 \Omega$$

Beispiel: Die Magnetwicklung einer elektrischen Maschine hat bei 15°C einen Widerstand von 110 g "während des Betriebes erhöht sich der

Widerstand um 23°. Wie groß ist die Temperaturzunahme, wenn als Drahtmaterial Kupfer in Frage kommt?

$$R_2 {=} R_1 \left[1 + (\alpha \cdot \vartheta) \right]; \vartheta {=} \frac{\frac{R_2}{R_1} {-} 1}{\alpha} = \frac{\frac{133}{110} {-} 1}{\frac{0,00395}{0,00395}} = \frac{0.21}{0,00395} = 53.2^{\circ} \, \text{C}$$

Die Kirchhoff'schen Gesetze.

Jn einem Stromkreis ist die Stromstärke an jeder Stelle des Leiters gleich. Das erste Kirchhoffsche Gesetz drückt eine fast selbstverständliche Tatsache aus, nämlich: In einer Stromverzweigung ist der Hauptstrom J gleich der Summe aller Teilströme, oder die Summe der zufließenden Ströme ist gleich der Summe der abfließenden Ströme.

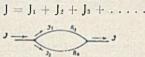


Fig. 5. Hauptstrom-Summe aller Teilstrome.

Der Strom verteilt sich umgekehrt proportional dem Widerstand der einzelnen Leitungszweige. (Fig. 5).

 $\frac{J_1}{J_2} = \frac{R_2}{R_1}$

Beispiel: Ein Strom von 12 Amp. fließt durch zwei parallel geschaltete Drähte von $R_1 = 10^{-2}$ und $R_2 = 20^{-2}$. Wie groß sind die Stromstärken J_1 und J_2 in den beiden Zweigen?

Nach den Kirchhoffschen Gesetzen ist:

$$\begin{array}{c} J &=& J_1 + J_2 \ J_1 &=& J_{-J_2} \\ J_2 &=& \frac{R_2}{R_1}; & J_2 &=& J_1 \\ J_2 &=& J_1 - \frac{R_1}{R_2} \\ & J_1 = : J_{-J_1} \frac{R_1}{R_2} \\ J_1 + J_1 \frac{R_1}{R_2} = J & & \\ J_1 &=& \frac{J}{1 + \frac{R_1}{R_2}} = \frac{12}{1 + \frac{10}{20}} = \frac{8 \text{ Amp.}}{1} \\ J_2 &=& J_{-J_1} = 12 - 8 = \frac{4 \text{ Amp.}}{1} \end{array}$$

Die Schaltung von Widerständen.

In der Hauptsache unterscheidet man zwei verschiedene Schaltungsarten, nämlich: die Hintereinander- oder Reihenschaltung (Fig. 6), bei der der Strom hintereinander durch alle Energieverbraucher hindurchfließt, und die Parallelschaltung (Fig. 7), bei der nur ein Teil des Gesamtstromes durch jeden Energieverbraucher fließt. Durch Hintereinanderschaltung von Widerständen (Energieverbraucher) erreicht man eine Vergrößerung des Gesamtwiderstandes und deshalb (bei gleichbleibender Spannung) eine Verkleinerung des Stromes. Bezeichnet R den Gesamtwiderstand und R₁, R₂ usw. die Widerstände der einzelnen Energieverbraucher, so ergibt sich:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

$$R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

$$R_3 + R_4 + \dots$$

Fig. 6. Hintereinanderschaltung.

Da bei der Parallelschaltung der Gesamtleitwert des Stromkreises größer wird, muß der Gesamtwiderstand kleiner sein. Sind nach Fig. 7 nur zwei Widerstände parallel geschaltet, so ergibt sich

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\xrightarrow{\beta_2}$$

Fig. 7. Parallelschaltung.

Sind dagegen wie in Fig. 8 mehr als zwei Widerstände parallel geschaltet, so berechnet sich der Gesamtwiderstand:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots}$$

Durch Parallelschaltung von Widerständen erreicht man eine Verkleinerung des Gesamtwiderstandes und deshalb (bei gleichbleibender Spannung) eine Vergrößerung des Stromes. Bei parallel geschalteten Widerständen herrscht an allen Widerständen dieselbe Spannung.

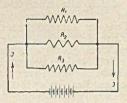


Fig. 8. Parallelschaftung.

Beispiel: Welcher Gesamtwiderstand ergibt sich, wenn zwei parallel geschaltete Widerstände von 26 und 41 $^{\Omega}$, ein Widerstand von 106 $^{\Omega}$ und drei parallel geschaltete Widerstände von 11, 14 und 19 $^{\Omega}$ hintereinander geschaltet werden?

$$R_{I} = \frac{R_{1} \cdot R_{2}}{R_{1} + R_{2}} = \frac{26 \cdot 41}{26 + 41} = \frac{26 \cdot 41}{67} = \underline{15.9} \ \underline{\mathscr{Q}}$$

$$R_{III} = \underline{\frac{106 \ \mathring{}}{1}} = \underline{\frac{1}{1 + \frac{1}{14} + \frac{1}{19}}} = \underline{\frac{1}{0,0909 + 0,0714 + 0,0527}}$$

$$R_{III} = \underline{\frac{1}{0,215}} = 4.66 \ \mathring{}$$

$$R = R_{I} + R_{II} + R_{III} = 15.9 + 106 + 4.66 = 126.56 \ \mathring{}$$

Das Faradaysche Gesetz.

Leitet man einen Strom durch eine metallhaltige Flüssigkeit (Elektrolyt), so wird dieselbe zersetzt, und zwar setzt sich das Metall an der Elektrode ab, die mit dem negativen Pol der Stromquelle verbunden ist. Diese Elektrode heißt Kathode, während die andere, an welche eine Zersetzung stattfindet, Anode genannt wird. Allgemein ist zu merken, daß die Metalle sowie auch der Wasserstoff an derjenigen Elektrode zur Abscheidung kommen, an welchem der Strom aus der Flüssigkeit heraustritt. Bei Wechselstrom findet überhaupt keine Abscheidung statt.

Faraday hat nachgewiesen, daß die Menge des durch den elektrischen Strom abgeschiedenen Stoffes um so größer ist, je größer der Strom und je länger die Einschaltzeit ist. Außerdem hängt sie natürlich auch von der Art der Stoffe ab.

Bezeichnet:

J die Stromstärke in A, t die Zeit in Stunden.

g das elektrochemische Äquivalent, d. h. die von

1 Ah niedergeschlagene Metallmenge,

"die Stromausbeute, d. h. wieviel % der theoretisch berechneten Menge wirklich niedergeschlagen werden,

G die abgeschiedene Metallmenge in g,

so ist nach Faraday:

$$G = g \cdot J \cdot t \cdot \alpha$$

An der Kathode abgeschiedener Bestandteil	Elektro- chemi- sches Äqui- valent g in g	An der Kathode abgeschiedener Bestandteil	Elektro- chemi- sches Aqui- valent g in g
Aluminium Blei Cadmium Chrom Gold Gold Gold(cyankalisches Bad) Kupfer (saures Bad) Kupfer	0,3366	Messing	1,2
	3,859	Nickel	1,095
	2,096	Platin	1,818
	0,32	Quecksilber	3,728
	2,453	Sauerstoff	0,299
	3,68	Silber	4,026
	1,186	Wasserstoff	0,0374
	2,372	Zink	1,219
	1,1	Zinn	2,218

Beispiel: Wieviel g Silber werden von 5 Amp. in 3 Stunden niedergeschlagen, wenn die Stromausbeute 80% beträgt?

$$G = g \cdot J \cdot t \cdot \alpha = 4,026 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 0,8 = 48,31 \text{ g.}$$

Beispiel: Wie lange müssen die Waren im Silberbade bleiben, wenn 60 g Silber darauf niedergeschlagen werden sollen?

G = g . J . t . a; t =
$$\frac{G}{g \cdot J \cdot a}$$

t = $\frac{60}{4,026 \cdot 5 \cdot 0.8}$ = 3.47 Stunden
t = 3 Stunden 28 Minuten.

Der elektrische Strom vermag in gleicher Weise auch feuerflüssige Verbindungen zu zerlegen. Aluminium wird z. B. durch den Strom aus einer feuerflüssigen Lösung von Tonerde abgeschieden.

Leistung und Arbeit.

Die von Maschinen und Apparaten gelieferte oder verbrauchte elektrische Leistung, die in Watt (W), Voltampere (VA) oder Kilowatt (kW) gemessen wird, kann in Gleichstromkreisen ermittelt werden:

1. als das Produkt aus Spannung mal Stromstärke, 2. als das Produkt aus dem Quadrat der Strom-

stärke mal Widerstand,

3. als dem Quotient aus dem Quadrat der Spannung dividiert durch den Widerstand.

Bezeichnet N = Leistung in Watt, U = Spannung in Volt,

J = Stromstärke in Amp.,

 $R = Widerstand in \Omega$, so ergibt sich

 $\begin{array}{ccc} N = U \cdot J & \text{Watt} \\ \text{oder} & N = J^{\underline{a}} \cdot R & \text{Watt} \end{array}$

oder $N = \frac{U^*}{R}$ Watt.

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

1000 W = 1 kW = 102 kgm
736 W = 1 PS = 75 kgm
1 kW =
$$\frac{1000}{736}$$
 = 1,36 PS
1 PS = $\frac{336}{1000}$ = 0,736 kW.

Beispiel: Ein Voltmeter von 2500 2 Widerstand wird in eine Anlage mit 110 Volt Netzspan-nung eingeschaltet. Welche Leistung wird in demselben verbraucht?

$$N = \frac{U^2}{R} = \frac{110^2}{2500} = 4.84 \text{ Watt}$$

Beispiel: Das Amperemeter einer Schalt-tafel zeigt 24 Amp. an, das Voltmeter zeigt 220 Volt. Wie groß ist die in der Anlage verbrauchte Leistung?

$$N = U \cdot J = 220 \cdot 24 = 5280 \text{ W} = 5,28 \text{ kW}$$

= 5,28 \cdot 1,36 = 7,18 PS.

Die Einheit der elektrischen Arbeit ist die Wattstunde, es ist die von einem Watt innerhalb einer Stunde verrichtete Arbeit.

1 Kilowattstunde (kWh) = 1000 Wattstunden (Wh) 1 Wattstunde = 3600 Wattsekunden (Ws)

1 Wattsekunde = 1 Joule (J).

Bezeichnet: A die elektrische Arbeit in Wh,
N die Leistung in W,
t die Zeit in Sekunden,

so ergibt sich:

$$A = N \cdot t \text{ oder } A = U \cdot J \cdot t$$
oder
$$A = J^2 \cdot R \cdot t \text{ oder } A = \frac{U^2}{R} \cdot t \text{ Wh.}$$

Beispiel: Wie teuer kommt die Brennstunde von einer Metallfadenlampe, 16 HK, bei einem Strom-

preis von 40 Pfg. pro kWh?

Der Wattverbrauch einer Metallfadenlampe beträgt ca. 1,1 Watt pro Kerze, folglich ist der Verbrauch einer 16 HK-Lampe $16 \cdot 1,1 = 17,6$ Watt. $A = N \cdot t = 17,6 \cdot 1 = 17,6$ Wh = 0,0176 kWh a 40 Pfg.

 $= 0.504 = \sim 5 \text{ Pfg}.$

Beispiel: Eine Treppenbeleuchtung besteht aus 4 Metalldrahtlampen a 16 HK. Die Lampen sind im Monat Dezember von 1730 bis 2130 eingeschaltet. Der Preis für 1 kWh beträgt 45 Pf. Was kostet die Beleuchtung im Monat Dezember, wenn 1,1 Watt pro Kerze gerechnet wird?

 $A = N \cdot t = 4 \cdot 16 \cdot 1, 1 \cdot 4 \cdot 31 = 8729,6 \text{ Wh}$ = 8,7296 kWh a 45 Pfg. = 3,93 RM.

Beispiel: Wie viele kWh verbraucht ein 110 Volt Gleichstrommotor, der 72 Amp. aufnimmt und 4 Stunden in Betrieb ist?

 $A = U \cdot J \cdot t = 110 \cdot 72 \cdot 4 = 31680 \text{ Wh} = 31,68 \text{ kWh}.$

Bei jeder Maschine tritt neben der heabsichtigtigten Energieumwandlung auch stets Wärmeentwicklung auf. Die Leistungsabgabe, für welche die Maschine bestimmt ist, heißt Nutzleistung. Die Leistungsaufnahme einer Maschine ist stets größer als die Nutzleistung, weil sie auch den Leistungsverlust decken muß. Das Verhältnis der Nutzleistung N2 zur Leistungsaufnahme N1 heißt der Wirkungsgrad der Maschine.

 $\eta = \frac{N_2}{N_1}$

Beispiel: Eine elektrische Maschine liefert bei der Klemmenspannung U=600 V einen Strom von 167 Amp., ihr Wirkungsgrad beträgt $\eta=0.92$. Zu bestimmen ist die Nutzleistung und die Leistungsaufnahme.

Nutzleistung

$$N_2 = U \cdot I = 600 \cdot 167 = \sim 100\,000 \text{ W} = 100 \text{ kW}.$$

Die Leistungsaufnahme folgt aus

$$\eta = \frac{N_z}{N_1}$$
; $N_1 = \frac{N_z}{\eta} = \frac{100}{0.92} = 108.7 \text{ kW}$

Das Joulesche Gesetz.

Jeder von einem elektrischen Strom durchflossene Körper erwärmt sich. Nach Versuchen von Joule ist die von einem elektrischen Strom in einem Draht erzeugte Wärmeleistung von dem Quadrat der Stromstärke und von der Größe des Widerstandes abhängig und beträgt

$$N = J^2 \cdot R$$

Die Wärmearbeit in der Zeit t ergibt sich hieraus zu

$$A = J^2 \cdot R \cdot t$$
.

Aus diesen Formeln erhält man die Wärmeleistung in Watt, Wärmearbeit in Wattsekunden bzw. Wattstunden, je nach der Maßeinheit für die Zeit.

In der Wärmelehre pflegt man die Wärmearbeit in Kilokalorien (kcal) anzugeben. Eine Kilokalorie bedeutet die Wärme, durch welche 1 kg Wasser um 1 °C erwärmt wird, und ist gleichwertig der mechanischen Arbeit von 427 kgm. Da nun 1 kgm der elektrischen Arbeit von 9,81 Ws entspricht, so folgt

1 kcal =
$$427 \cdot 9.81 = 4190 \text{ Ws} = 1.16 \text{ Wh}$$
.

Für die Umrechnung des elektrischen Maßes in das Wärmemaß erhält man hieraus die Beziehungen:

1 Wh = 0.860 kcal und 1 kWh = 860 kcal.

Bedeutet Q die Wärmemenge in kcal,

A die Arbeit in kWh,

so berechnet sich

$$Q = 860 \cdot A$$
.

Da immer ein Teil der zugeführten Wärmemenge

durch Ausstrahlung verloren geht, berechnet sich die nutzbare Wärmemenge:

$$Q_n = 860 \cdot A \cdot \eta$$
.

Beispiel: Welche Wärmemenge erzeugt ein elektrischer Ofen bei einem Energieverbrauch von 30 kWh?

$$Q_n = 860 \cdot A \cdot \eta = 860 \cdot 30 \cdot 1 = 25800 \text{ kcal.}$$

Beispiel: Welche Wärme wird in einem Heizwiderstand von 5 a erzeugt, wenn er 11/2 Minuten lang von 15 Amp. durchflossen wird?

$$\begin{split} Q_n &= 860 \cdot A \cdot \eta \; ; \; Q_n = 860 \; J^2 \cdot R \cdot t \cdot \eta \\ &= \frac{850 \cdot 15^2 \cdot 5 \cdot 1.5}{1000 \cdot 60} = 24,19 \; \text{ kcal.} \end{split}$$

Beispiel: Ein elektrischer Kochtopf mit einem Anschlußwert von 660 Watt für eine Füllung von ½ 1 Wasser ist 4 Minuten eingeschaltet. Um wieviel Grad C erwärmt sich das Wasser, wenn der Wirkungsgrad 80% beträgt?

$$Q_n = 860 \cdot A \cdot \eta$$
: $Q_n = 860 \cdot N \cdot t \cdot \eta = 860 \cdot 0,66 \cdot \frac{4}{60} \cdot 0,8$
= 30,27 kcal; $\frac{30,27}{0.5} = 60,54 \circ$.

Magnetismus.

Man unterscheidet natürliche und künstliche Magnete. Die ersteren finden sich in der Natur als Eisensteine, die letzteren können aus einem Stück Stahl hergestellt werden. Läßt man bewegliche Magnete aufeinander einwirken, so beobachtet man zuweilen Anziehung, zuweilen Abstoßung zwischen den Polen verschiedener Magnete. Nordpol ist derjenige Poleines beweglichen Magneten, welcher nach dem Nordpol der Erde zeigt. Ungleichnamige Pole, wie Nord- und Südpol, ziehen sich an, gleichnamige Pole, wie Nordpol und Nordpol, stoßen sich ab.

Ein gutes Bild von der Kraftwirkung eines Magneten bekommt man durch den Versuch mit Eisenfeilspänen. Diese ordnen sich dann bogenförmig von einem Pol zum andern und geben damit die Richtung der magnetischen Kraftlinien an. Legt man vor die Pole eines Hufeisenmagneten ein Stück weiches Eisen, so zeigt das Kraftlinienbild nach Fig. 9,

daß ein großer Teil der Kraftlinien ihren Weg durch das vorgelagerte Eisen suchen. Bei stärkerer Annäherung des Eisens gehen noch mehr Kraftlinien durch dieses, woraus hervorgeht, daß das weiche Eisen dem Durchtritt der magnetischen Kraftlinien einen viel geringeren Widerstand bietet als andere Stoffe. Die Richtung der magnetischen Kraftlinien

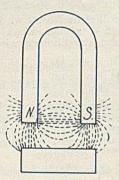


Fig. 9. Huleisenmagnet mit Eisenanker.

ist ein für allemal festgelegt worden, und zwar nimmt man an, daß die Kraftlinien am Nordpol austreten

und durch die Luft zum Südpol gehen.

Einen Raum, durch den magnetische Kraftlinien gehen, nennt man ein magnetisches Feld. Die Gesamtzahl der Kraftlinien, welche dem Nordpol eines Magneten entströmen und dem Südpol zufließen, nennt man den Kraftfluß des Magneten, bezeichnet mit fosprich phi). Die Einheit des Kraftflusses ist ein Maxwell, das ist also eine Kraftlinie. Die Zahl der Kraftlinien, welche durch 1 cm² des Magnetquerschnittes geht, nennt man die Kraftliniendichte oder magnetische Induktion, bezeichnet mit dem deutschen Buchstaben 3. Die Einheit der Kraftliniendichte ist ein Gauß, also eine Kraftlinie je cm². Bezeichnet man ferner den Querschnitt der Abreißfläche mit F, so entsteht folgende Beziehung:

 $\phi = F \cdot \mathfrak{B}.$

Die Tragkraft P, welche ein Magnet auf ein Stück

Eisen ausübt, ist durch die Zugkraft aller Kraftlinien bestimmt, und berechnet sich aus der Formel:

$$P = \frac{F.93^2}{8.\pi 981000}$$

Ein Magnet kann nicht beliebig stark magnetisiert werden, vielmehr erreicht man bald die sogenannte Sättigungsgrenze. Bei Schmiedeeisen und bei Stahl liegt die Sättigungsgrenze etwa bei 17000 bis 20000 Gauß, bei Gußeisen dagegen bei 10000 Gauß. Dauermagnete müssen aus hartem Stahl, und zwar am besten aus Wolframstahl, hergestellt werden.

Beispiel: Ein Hufeisenmagnet hat eine Abreißfläche von 6 cm² und vermag gerade noch ein Eisenstück von 2 kg zu tragen. Wie groß ist seine Kraftliniendichte und sein Kraftfluß?

$$P = \frac{F \cdot 93^{\circ}}{8 \cdot \pi \cdot 981 000}$$
; $93 = \sqrt{\frac{2 \cdot 8 \cdot \pi \cdot 981 000}{6}} = 2860$ Gauß.

Der Kraftfluß •, welcher vom Nordpol zum Südpol geht, ist also:

$$\Phi = F \cdot \mathfrak{B} = 3 \cdot 2860 = 8580 \text{ Maxwell.}$$

Elektromagnetismus.

Jeder stromdurchflossene Leiter besitzt um sich herum ein magnetisches Feld. Man kann dieses magnetische Feld durch Eisenfeilspäne zur Darstellung bringen, und zwar steckt man am besten den Leiter durch ein Loch eines Kartons, wie Fig. 10 zeigt.

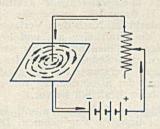


Fig. 10. Kraftlinienbild des Stromes.

Streut man unter ständigem Klopfen Eisenfeilspäne auf, so ordnen sich diese in Kreisen um den Leiter an, und zwar in der Nähe des Leiters am dichtesten. Die Richtung der magnetischen Kraftlinien ist durch die Stromrichtung bestimmt. Es läßt sich folgende Regel aufstellen:

Bewegt man einen Korkenzieher in Richtung des Stromes, so fließen die Kraftlinien im Drehsinne des Korkenziehers.

Bei einem geraden Leiter braucht man sehr starke Ströme, um ein kräftiges magnetisches Feld zu be-

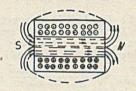


Fig. 11. Kraftlinienbild einer Spule.

kommen. Wickelt man aber den Leiter zu einer Spirale (Solenoid), so vermag schon ein geringerer Strom ein wesentlich stärkeres Feld in dem Hohlraum der Spirale zu erzeugen. Einen weiteren Schritt kann man dadurch tun, daß man viele Windungen nebeneinander und übereinander zu einer Spule aufwickelt. Das dann entstehende Kraftliniembild ist durch Fig. 11 dargestellt, wobei die Spule durchschnitten gedacht ist. Nach dem Verlassen der Spule breiten sich die Kraftlinien aus und kehren genau so zum anderen Spulenende zurück wie bei einem Stabmagneten zum Südpol. Sobald der Strom ausgeschaltet wird, verschwinden die Kraftlinien und eine Umpolung der Stromrichtung ruft einen umgekehrt gerichteten Kraftfluß hervor.

In Maschinen und Apparaten soll der Kraftfluß einen ganz bestimmten Weg nehmen. Dies läßt sich erreichen, indem man den Kraftlinienweg durch Eisen ausfüllt. Durch den geringen Widerstand, welchen das Eisen dem Kraftfluß bietet, vermag bereits ein kleiner Strom einen größeren Kraftfluß zu erzeugen, als dies ohne Eisen der Fall sein würde.

Bei Erreichung eines bestimmten Stromes nimmt der Kraftfluß nur noch wenig zu, weil die Sättigungsgrenze des Eisens erreicht ist, wie aus Fig. 12 hervorgeht.

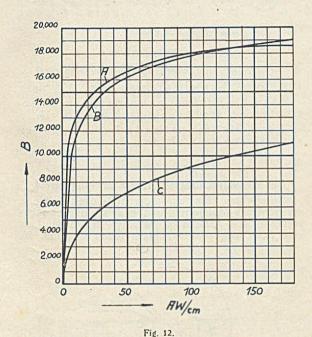


Fig. 12.

Magnetisierungslinien.

A = Dynamoblech. B = Stahlguß. C = Gußeisen.

Die Wirkung elektrischer Ströme aufeinander.

Für die Wirkung elektr. Ströme aufeinander gilt folgendes Gesetz:

Werden zwei parallele Leiter von zwei gleichgerichteten Strömen durchflosFig. 13.

Fig. 14.

Fig. 15.







- Stromrichtung nach hinten
- Stromrichtung nach vorn

sen, so ziehen sie sich an. Fig. 13.

Sind die Ströme entgegengesetzt gerichtet, so stoßen sie sich ab. Fig. 14.

Zwei sich kreuzende Leiter suchen sich gleich zu richten. Fig. 15.

Der stromdurchflossene Leiter im Magnetseld.

Bringt man einen stromdurchflossenen Leiter in ein ruhendes Magnetfeld und zwar so, daß er senkrecht zu den Kraftlinien gerichtet ist, so führt er eine Bewegung senkrecht zum Felde aus. Fig. 16.

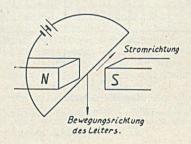


Fig. 16.

Den Zusammenhang zwischen der Richtung des Stromes, der Kraftlinien und der Bewegung des Leiters prägt man sich am besten durch die Linke-Hand-Regel ein: Hält man die linke Hand so, daß die Kraftlinien senkrecht in die Handfläche eintreten, der Strom von der Handwurzel nach den Fingerspitzen fließt, dann gibt der abgespreizte Daumen die Bewegungsrichtung des Leiters an.

Der Induktionsstrom.

Bewegt man einen geschlossenen Leiter in einem magnetischen Felde so, daß er Kraftlinien schneidet, so fließt in ihm ein Induktionsstrom. Fig. 17.

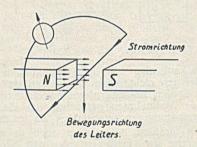


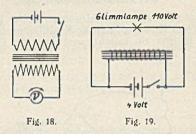
Fig. 17.

Die Richtung dieses Stromes ergibt sich aus der Rechte-Hand-Regel:

Hält man die rechte Hand so, daß die Kraftlinien senkrecht in die Handfläche eintreten, der gespreizte Daumen die Bewegungsrichtung des Leiters angibt, dann fließt der Strom in Richtung von der Handwurzel nach den Fingerspitzen.

In der Sekundärspule zweier auf einem Eisenkern befindlichen Spulen fließt ein Induktionsstrom von wechselnder Richtung, wenn der Primärstromkreis geöffnet oder geschlossen, gestärkt oder geschwächt wird. Fig. 18.

Ebenso entsteht in der primären Spule selbst ein Induktionsstrom, wenn die Stromstärke sich ändert. Man nennt diesen Strom Selbstinduktionsstrom. Man kann mit Hilfe dieser Erscheinung eine 110 Volt-Glimmlampe mittels einer 4 Volt-Batterie und einer Spule zum Aufleuchten bringen. Fig. 19. Die Selbst-



induktion kann also sehr hohe Spannungen hervorrufen. Bei den elektrischen Maschinen sind überall dort, wo Spulen zu- und abgeschaltet werden, entsprechende Maßnahmen getroffen, um die Selbstinduktionsspannungen unschädlich zu machen.

Wie in Drähten, so werden auch in massiven Leitern, wenn sie Kraftlinien schneiden, Ströme induziert. Man nennt sie Wirbelströme. Diese sind immer so gerichtet, daß sie die Bewegung des Leiters zu hemmen suchen. Bei den Elektrizitätszählern wird die Beschleunigung durch eine Wirbelstrombremse abgebremst. Die Eisenkerne der Maschinen und Transformatoren für Wechselstrom setzt man immer aus Blechen zusammen, um den Wirbelstrom zu unterdrücken.

II. Die Messung der elektrischen Größen.

Die zur Messung der elektrischen Größen verwendeten Instrumente beruhen in ihrer Wirkungsweise im wesentlichen darauf, daß man durch den elektrischen Strom mechanische Kräfte auf die beweglichen Teile des Instrumentes ausüben läßt, die meist eine Drehbewegung, seltener eine Vorwärtsbewegung verursachen. Die Bewegung wird durch geeignete Vorrichtungen auf ein Zeiger- oder Zählwerk übertragen. Bei der Ablenkung aus den Nulllagen werden bei den Zeigerinstrumenten Gegenkräfte ausgelöst, die das System wieder in die Nulllage zurückzubringen versuchen. Diese Gegenkräfte werden je nach Konstruktion hervorgerufen durch Verdrehung von Fäden, durch Federn, Schwerkraft oder äußere Magnetfelder. Durch das Zusammenwirken der ablenkenden und der gegenwirkenden Kräfte kommt nach Ausklingen der schwingenden Bewegung eine neue Ruhelage des Systems zu Stande. Die meisten Instrumente besitzen, um eine möglichst rasche Ablenkung zu ermöglichen, eine Vorrichtung zum Abdämpfen der Schwingungen

Bei wissenschaftlichen oder technischen Untersuchungen, z. B. bei der Prüfung elektrischer Maschinen, verwendet man Feinmeßgeräte, bei Betriebsmessungen werden Betriebsmeßgeräte verwendet. Die letztgenannten Instrumente werden als Montageinstrumente tragbar und als Schalttafelinstrumente in Anlagen eingebaut hergestellt. Sie können mit unmittelbarer Zeigerablesung oder mit Schreibvor-

richtung ausgerüstet sein.

Unter der Bezeichnung Meßwerk versteht man die Einrichtung zur Erzeugung und Messung des Zeigeranschlages. Das Instrument besteht aus Meßwerk und Gehäuse. Unter Meßgerät versteht man das Instrument mit sämtlichem Zubehör. Meßgröße ist die Größe, zu deren Messung das Meßgerät bestimmt ist. Der Anzeigebereich ist der Bereich, in dessen Grenzen die Meßgröße ohne Rücksicht auf Genauigkeit angezeigt wird. Meßbereich ist der Teil des Anzeigebereichs, für den die Bestimmungen

über Genauigkeit eingehalten werden. Dieser um-

- a) bei Instrumenten mit durchweg genau oder angenähert gleichmäßiger Teilung den ganzen Anzeigebereich der Skala,
- b) bei Instrumenten mit ungleichmäßiger Teilung den besonders gekennzeichneten Teil des Anzeigebereichs. Skalen mit unterdrücktem Nullpunkt beginnen nicht mit Teilstrich Null, sondern mit einem höheren Wert.

Infolge der mechanischen Unvollkommenheit der Meßgeräte besteht stets ein Unterschied zwischen der Anzeige und dem wahren Werte der Meßgröße, den man als Anzeigefehler bezeichnet. Er wird in Hundertteilen des Endwertes des Meßbereiches angegeben.

Zur Prüfung elektrischer Maschinen werden nur Feinmeßgeräte verwendet, die zur Gewährleistung einer sicheren Ablesung Schneidenzeiger und Skala mit Spiegelunterlage besitzen. Um die Lagerreibung der beweglichen Organe möglichst gering zu halten, sind diese durch Stahlspitzen in Steinlagern gelagert.

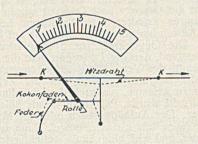
Die Dämpfung kann durch Luftdämpfung erfolgen, indem durch die Zeigerbewegung ein Flügel durch einen abgeschlossenen Luftraum oder ein kleiner Kolben in einem kreisförmig gebogenem Rohr mitbewegt wird, so daß die Luft verdrängt werden muß, siehe Fig. 4. Da der entweichenden Luft nur ein geringer Durchströmquerschnitt zur Verfügung steht, tritt vorübergehend eine Kompression ein, die die Dämpfung bewirkt.

Eine andere Methode der Dämpfung ist die Wirbelstrombildung in einer Metallscheibe, die sich zwischen den Polen eines Hufeisenmagneten bewegt oder durch Bewegung einer kurzgeschlossenen Windung in einem Magnetfeld.

Elektrochemische Elemente.

Die zersetzende Wirkung des elektrischen Stromes kann auch zur Messung des Stromes verwendet werden, da die Gewichtsmenge der ausgeschiedenen Substanz gemäß dem Faradeyschen Gesetz der Stromstärke verhältnisgleich ist. Die hierzu verwendeten Instrumente heißen Voltometer und können natürlich nur für Gleichstrom verwendet werden. Ihre Anwendung erstreckt sich nur auf Laboratoriums-Messungen.

Die Erscheinung, daß ein stromdurchflossener Leiter die sogen. Joulesche Wärme sich erwärmt und dadurch ausdehnt, kann zur Messung der Stromstärke verwendet werden. Der vom Strom durch-



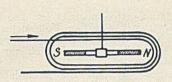
Hitzedraht-Instrument. Fig. 1

flossene Hitzdraht K — K aus Platin-Silber oder Platin-Iridium ist durch eine Blattfeder gespannt. Bei der Erwärmung und Ausdehnung des Hitzdrahtes zieht die Feder den als Spannvorrichtung dienenden Faden nach links, wodurch eine Rolle mit Zeiger be-

tätigt wird.

Der Nullpunkt ist abhängig von der Temperatur. Er muß deshalb vor jeder Messung eingestellt werden. Das Hitzedraht - Instrument ist in gleicher Weise für Gleich- und Wechselstrom geeignet. Die Angabe des Instruments ist unabhängig von der Periodenzahl. Aus diesem Grunde findet es Anwendung sowohl zu Strom- als zu Spannungsmessungen in der Hochfrequenztechnik.

Wie bereits oben dargelegt, wird ein Magnet, in das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule gebracht, durch dieses abgelenkt. Dieser Vorgang findet Anwendung beim Galvanometer, Fig. 2, das aus einer feststehenden Spule und einem beweglichen



Galvanometer. Fig. 2

Magneten S — N besteht. Der Magnet kann mit Rücksicht auf Gewicht und Trägheit nur sehr kleine Abmessungen erhalten. Infolgedessen beschränkt sich die Anwendung dieser Instrumente auf Feinmessungen. Die Gegenkraft zur Spulenwirkung gibt der Widerstand, den der Faden, an dem die Magnet-Nadel hängt, der Verdrehung entgegensetzt.

Um die Instrumente nicht mit der Zeigerkonstruktion zu belasten, wodurch ihre Empfindlichkeit herabgedrückt würde, baut man sie als Spiegel-Oalvanometer. Der Aufhängefaden oder die Magnetnadel trägt einen sehr kleinen Spiegel. Eine auf diesen geworfener und auf eine Skala reflektierter Lichtstrahl zeigt auf dieser die Größe des Ausschlages an.

Drehspul-Instrumente. Fig. 3

Bei den Drehspul-Instrumenten ist die stromdurchflossene Spule drehbar angeordnet. Sie wird von den Polen eines permanenten Magneten N—S umfaßt. Die Stromzuführung erfolgt durch den Aufhängedraht oder durch Spiralfedern. Sobald die Spule vom Strom durchflossen wird, dreht sie sich und verstellt den Zeiger. Durch die Drehung wird die Feder gespannt und dadurch die Gegenkraft erzeugt. Die Dämpfung erfolgt durch Wirbelstrom mittels des die Spule tragenden Zylinders aus Aluminiumblech.

Wegen des konstanten Magnetfeldes sind diese Instrumente nur für Gleichstrom verwendbar. Da die Meßgenauigkeit bis 0,1 % reicht, ist es das ge-

gebene Feinmeßgerät für Gleichstrom.

Weicheisen-Instrument. Fig. 4

Das in Fig. 4 gezeigte Weicheisen-Instrument besteht aus einer festen, stromdurchflossenen Spule

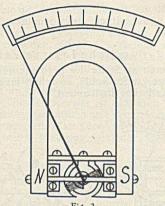


Fig. 3.

Spule und einem beweglichen Eisenplättchen E, das durch die magnetische Wirkung der Spule in diese hineingezogen wird. Als Richtkraft dient meist die Schwerkraft, als Dämpfung, wie in Fig. 4, meist Luftdämpfung. Bei genügender Kleinheit des Eisenplättchens ist Remanenz und Hysteresis vernachlässigbar, so daß die gleiche Skala für Gleich- und Wechselstrom verwendbar ist.

Diese Instrumente sind stark überlastbar und deshalb als Betriebs- und Schalttafelgerät sehr geeignet; ihre Angaben sind für diese Zwecke von Frequenz und Temperatur hinreichend unabhängig. Sie



Fig. 4.

sind sowohl als Spannungs- wie Strommesser gebräuchlich und besitzen außerdem den Vorzug der Billigkeit.

Elektrodynamische Instrumente. Fig. 5

Nimmt man an Stelle des permanenten Magneten in Fig. 4 eine zweite Spule, so erhält man ein sogen. elektrodynamisches Instrument.

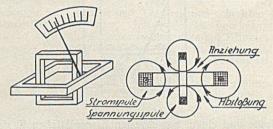


Fig. 5.

Der Meßstrom wird der beweglichen Spule durch 2 Spiralfedern zugeführt, die gleichzeitig die Richtkraft für das bewegliche Organ liefern. Beim Strommesser für niedrige Ströme bis ~ 1 Amp. werden beide Spulen untereinander geschaltet. Bei höheren Strömen wird die bewegliche Spule im Nebenschluß zur festen Spule einschließlich eines temperaturunabhängigen Widerstandes geschaltet. Beim Spannungsmesser schaltet man wieder beide Spulen hintereinander einschließlich Vorwiderstand. Beim Leistungsmesser, Wattmeter, führt die feststehende Spule den Strom, die bewegliche liegt an der Spannung. Die Skala für den Strom- und Spannungsmesser ist ungleichmäßig, für den Leistungsmesser gleichmäßig.

Die Instrumente sind sowohl für Gleich- als für Wechselstrom verwendbar, da beim Wechsel der Stromrichtung beide Spulen ihren Magnetismus ändern. Von der Frequenz sind sie in weiten Grenzen unabhängig, sie sind aber empfindlich gegen fremde Magnetfelder. Eisenlose elektrodynamische Meßgeräte sind die gegebenen Feinmeßgeräte für Wechselstrommessungen. Als Dämpfung wird meist Flü-

gel- oder Kolbenluftdämpfung verwendet.

Elektrostatische Instrumente.

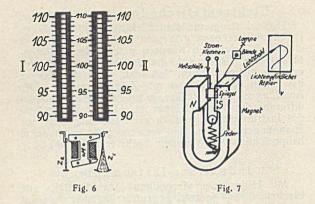
Diese Instrumente sind Elektrometer, mit denen Potentialdifferenzen gemessen werden. Zwischen 2 elektrisch geladenen Körpern verschiedenen Potentials treten Kräfte auf, die dadurch kenntlich gemacht werden können, daß man einen der Körper beweglich anordnet und mit Zeiger versieht. Der Anschlag ist umso größer, je größer die Spannungsdifferenz der beiden Körper ist. Da der Widerstand des Instrumentes unendlich groß ist, kann man nur Spannungen messen. Man verwendet die Instrumente hauptsächlich zur Messung höchster Spannungen.

Induktions-Instrumente.

Mit Hilfe eines vierpoligen Magnetgestells aus Blechen, dessen je zwei gegenüberliegende Pole mit in Reihe geschalteten Wicklungen versehen sind, wird ein Drehfeld erzeugt. Dies wird dadurch erreicht, daß die beiden Wicklungsgruppen mit Strömen beschickt werden, die in ihrer Phase um 90° verschoben sind. Dies Drehfeld induziert in einer zwischen Spitzen gelagerten und den Zeiger tragenden Aluminium-Trommel Ströme, die die Trommel in Drehung zu versetzen suchen. Dieser Bewegung entgegen wirken Federkräfte. Die Dämpfung erfolgt durch Wirbelstrombremse. Die Instrumente sind nur für Wechselstrom verwendbar. Man benutzt sie meist als Leistungs- und Leistungsfaktormesser, seltener als Strom- und Spannungsmesser.

Vibrations-Instrumente. Fig. 6

Diese dienen zum Messen der Periodenzahlen von Wechselströmen, sogen. Frequenz-Messer. Sie beruhen auf der Erscheinung der Resonanz. In einem an zwei Federn beweglich gelagerten Zungenkamm sind eine Reihe genau abgestimmte Stahlzungen eingespannt. Das Ganze wird dem Einfluß eines Elektromagneten M ausgesetzt, dessen Wicklung im Nebenschluß an ein Wechselstromnetz angeschlossen ist, dessen Frequenz gemessen werden soll. Die Stahlzunge Z₁, deren Eigenschwingung mit der Periodenzahl des Wechselstromes in Resonanz steht, gerät in lebhafte Schwingungen.



Oszillograph. Fig. 7

Der Oszillograph dient zur Darstellung des zeitlichen Verlaufes der schnell veränderlichen Wechselstromgrößen. Er ist ein Drehspul-Instrument, Fig. 7, dessen bewegliches System so leicht ist, daß es den schnellen Änderungen der Strom- und Spannungswellen des Wechselstromes folgen kann. Zwischen den Polen eines kräftigen Elektro- oder Dauermagneten befinden sich eine oder mehrere Meßschleifen. Diese tragen einen kleinen Spiegel, auf den der dünne Lichtstrahl einer Lampe fällt. Dieser Strahl wird vom Spiegel reflektiert und als Lichtpunkt auf eine umlaufende, mit lichtempfindlichem Papier überzogene Trommel geworfen. Die vom Wechselstrom durchflossenen Meßschleifen werden nun im Takt des Stromes abgelenkt und erzeugen durch Reflexion des Lichtstrahles ein kurventreues Bild Strom- und Spannungswellen.

Kennzeichnung der Meßgeräte.

Die Meßgeräte erhalten folgende Kennzeichen auf der Skala:

1. Symbole des Meßwerkes; A mit Richtkraft B ohne Richtkraft

A B	
UU	Drehspulinstrumente
land	Dreheisen- (Weicheisen-) Instrumente
	Elektrodynamische Instrumente, eisenlos;
(+) (+)	eisengeschirmt;
	eisengeschlossen.
(%)	Induktionsinstrumente
T	Hitzdraht-Instrumente
	Elektrostatische Instrumente
Ψ	Vibrations-Instrumente

2. Klassenzeichen; dies dient zur Kennzeichnung dafür, daß sämtliche Bestimmungen für die betreffende Klasse erfüllt sind:

E für Feinmeßgeräte 1. Klasse F für Feinmeßgeräte 2. Klasse G für Betriebsmeßgeräte 1. Klasse H für Betriebsmeßgeräte 2. Klasse.

3. Lagezeichen, zur Kennzeichnung der Gebrauchslage. Es bedeutet:

	senkrechte Lage,
<u> </u>	schräge Lage,
	wagerechte Lage.

4. Stromartzeichen, zur Kennzeichnung der Stromart, für die das Gerät verwendet werden kann. Es bedeutet:

= 1	Gleichstrom
~	Wechselstrom
~	Gleich- und Wechselstrom
~	Zweiphasenstrom
*	Drehstrom gleiche Belastung
*	Drehstrom ungleiche Belastung
*	Vierleitersysteme.

5. Prüfspannungszeichen, zur Kennzeichnung der Betriebsspannung und der Prüfspannung.

Prüfspannung	_Betriebsspannung	Prüfspannungszeichen	
500 V	nicht über 40 V	schwarzer Stern	
1000 V	bis 100 V	brauner Stern	
2000 V	bis 650 V	roter Stern	
3000 V	bis 900 V	blauer Stern	
5000 V	bis 1500 V	grüner Stern	

| U F # (roter Stern)

senkrechte Lage, Drehspulinstrument, Feinmeßgerät 2. Klasse, Gleichstrom, Prüfspannung 2000 V.

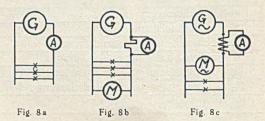
6000/100 V

senkrechte Lage, Weicheiseninstrument, Betriebsmeßgerät 1. Klasse, Wechselstrom, Prüfspannung 2000 V; Spannungswandler mit Übersetzungsverhältnis 6000/100 V.

Die Meßverfahren.

Strommessung.

Ein Strommesser muß, wie die Fig. 8a zeigt, in die Leitung geschaltet werden, deren Stromstärke man messen will. Der Eigenverbrauch eines Amperemeters beträgt, wenn Ri der innere Widerstand des Instrumentes ist, $N=J^{z}\cdot Ri$ W.



Sind die zu messenden Stromstärken für das Amperemeter zu groß, so schaltet man einen Widerstand parallel, Fig. 8 b. Soll der Meßbereich des Instrumentes um das n-fache erweitert werden, so ist der erforderliche Nebenschlußwiderstand R n aus folgender Gleichung zu errechnen:

$$Rn = \frac{Ri}{n-1}$$

hierin ist Ri der innere Widerstand des Instrumentes. Der Hauptstrom in der Stromverzweigung ergibt sich zu

$$J_n = J_i \cdot \frac{R_i}{R_n}$$
;

hierin ist Ji der vom Instrument angezeigte Strom. Bei Wechselstrom verwendet man an Stelle der Nebenwiderstände Stromwandler. Das sind kleine Transformatoren mit einem bestimmten Übersetzungsverhältnis. Ist dieses z. B. 500/5, so ist bei einem Primärstrom von 500 Amp. der durch das Instrument fließende Sekundärstrom 5 Amp. Fig. 8 c.

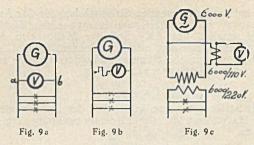
Spannungs-Messung.

Zur Bestimmung der Spannung dienen Spannungsmesser, auch Voltmeter genannt. Es besteht kein grundsätzlicher Unterschied zwischen Spannungs- und Strommessern. Ein für schwache Ströme empfindlicher Strommesser kann im allgemeinen auch für Spannungsmessungen verwendet werden. Im Gegensatz zum Strommesser muß beim Spannungsmesser der Eigenwiderstand möglichst groß sein, damit der durch das Instrument fließende Strom möglichst gering ist.

Zur Spannungsmessung wird das Voltmeter stets an die Punkte angeschlossen, zwischen denen die Spannung gemessen werden soll. Fig. 9a zeigt die Schaltung zur Messung der Spannung zwischen den Leitungen a u. b. Der Eigenverbrauch des Instrumentes an elektrischer Leistung ergibt sich aus der Gleichung

 $N_v = \frac{U^2}{Ri}$

Der Meßbereich kann durch Anwendung von Vorschaltwiderständen erweitert werden, Fig. 9b. Soll der Meßbereich auf das n-fache erweitert werden,



so ergibt sich der Vorschaltwiderstand aus der Formel Rv = Ri (n - 1)

Beispiel: Ein Gleichstrom-Spannungsmesser mit Ri = 1500 a hat einen Meßbereich von 110 V.

Wie groß muß der Vorschaltwiderstand sein, wenn der Meßbereich auf 520 V erhöht werden soll? $n = \frac{520}{110} = 4.73$; $Rv = Ri (n-1) = 1500 \cdot 3.73 = 5600 \, \text{g}$.

Welche Stromstärke fließt bei einer Spannung von 450 V durch das Instrument?

$$Ji = \frac{U}{Ri + Rv} = \frac{450}{1500 + 5600} = 0.0632 \text{ A}.$$

Wie groß ist hierbei der Leistungsverlust?

$$Nv = \frac{U^2}{Ri + Rv} = \frac{450^2}{1500 + 5600} = 28 \text{ W}.$$

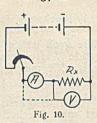
Zur Messung hoher Wechselstromspannungen verwendet man Spannungswandler mit einem bestimmten Übersetzungsverhältnis, Fig. 9 c. Der Spannungsmesser wird dann an die Sekundärwicklung angeschlossen.

Beispiel: Ein Spannungsmesser liegt an einem Spannungswandler mit einer Übersetzung von 6000/110 V. An welcher Spannung liegt das Instrument bei einer Netzspannung von 5500 V?

$$U = \frac{5500 \cdot 110}{6000} = 101 \text{ V}.$$

Widerstandsmessung.

Die Bestimmung eines Widerstandes kann indirekt durch Strom- und Spannungsmessung erfolgen. Fig. 10.



Der unbekannte Widerstand Rx ist in einen Stromkreis gelegt, dessen Stromstärke J durch Amperemeter gemessen wird. Die zwischen den Enden des Widerstandes bestehende Spannung U wird durch Voltmeter gemessen.

 $Rx = \frac{U}{I}$

Beispiel: Wie groß ist der Widerstand einer Spule, wenn die Stromstärke $J=2,46\,$ A, die Spannung an den Enden $U=3,93\,$ Volt gemessen wurde?

$$Rx = \frac{U}{J} = \frac{3.93}{2.96} = 1.6 \ \Omega.$$

Methode der Wheatstonschen Brücke.

Der Strom verzweigt sich in A (Fig. 11). Der Zweigstrom J. fließt durch Rx und R, der Zweigstrom J. von A über C nach B. Im allgemeinen wird zwischen C und D ein Strom fließen. Man kann nun C solange verschieben, bis CD stromlos wird. Dann gilt die Beziehung

 $Rx = R \cdot \frac{l_1}{l_2} ...$ $A = \frac{l_1}{l_2} ...$ $R_{1} \cdot \frac{l_{1}}{l_{2}} \cdot \frac{l_{1}}{l_{2}} \cdot \frac{l_{2}}{l_{3}} \cdot \frac{l_{4}}{l_{2}} \cdot \frac{l_{4}}{l_{4}} \cdot \frac{l_{4}$

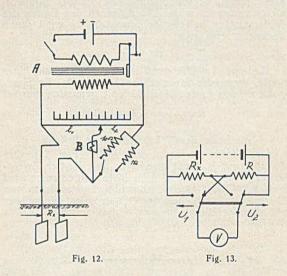
Fig. 11.

Ist der Widerstand R bekannt, kann Rx berechnet werden.

Beispiel: Wie groß ist der Widerstand einer Spule, wenn folgende Werte gemessen wurden: $R = 1100 \, \Omega$, $l_1 = 278 \, \text{mm}$, $l_2 = 722 \, \text{mm}$.

$$Rx = 1100 \cdot \frac{278}{722} = 424 \, \Omega$$
.

Zur Messung von Flüssigkeits- oder Erdwiderständen verwendet man Wechselstrom, der durch einen Induktor erzeugt wird, Fig. 12. A ist der Induktor. B ein Telephon, das hier den Strommesser



ersetzt. Das Telephon zeigt solange ein Geräusch an, als es vom Wechselstrom beeinflußt wird, das Geräusch verschwindet bei Stromlosigkeit.

Vergleichs-Methode.

Ein bekannter und ein zu messender Widerstand Rx werden hintereinander geschaltet, Fig. 13. Die Spannungsunterschiede U1 und U2 an den En-

den der Widerstände werden durch ein Voltmeter gemessen. Der unbekannte Widerstand ist dann

 $Rx = R \cdot \frac{U_1}{U}$.

Beispiel: Wie groß ist der Widerstand einer Spule, wenn der Spannungsunterschied an den Enden der Spule zu 0,215 V, derjenige an den Klemmen des bekannten Widerstandes R = 0,1 \(\Omega \) zu 0,322 Volt gemessen wurde?

$$Rx = R \cdot \frac{U_1}{U_2} = 0.1 \cdot \frac{0.215}{0.322} = 0.0668$$

Voltmeter-Methode.

Legt man nach Fig. 14 den Spannungsmesser V zunächst an die Klemmen einer Stromquelle, indem man den Schalter in Stellung 1 bringt, so zeigt er deren Spannung U an. Schaltet man dann das Instrument in Reihe mit dem unbekannten Widerstand Rx,



so zeigt es jetzt die Spannung $U_1 = J \cdot Ri$, wobei J die im Stromkreis herrschende Stromstärke und Ri den Eigenwiderstand des Instruments bedeutet. Sind alle übrigen Widerstände klein, so ist $J = \frac{U}{Ri + Rx}$ und mit der obigen Gleichung

 $Rx = Ri \cdot \left(\frac{U}{U_1} - 1\right)$ Dieses Verfahren wird hauptsächlich zum Messen großer Widerstände, z. B. Isolationswiderständen, verwendet

Isolations-Prüfung von Leitungen.

Nach den VDE-Vorschriften darf der Fehlerstrom in Niederspannungsleitungen auf jeder Teilstrecke zwischen zwei Sicherungen oder hinter der letzten Sicherung im allgemeinen 0,001 Amp. nicht überschreiten. Der Isolationswiderstand für 1 Volt Betriebsspannung muß also

$$R = \frac{U}{J} = \frac{1}{0.001} = 1000 \,\Omega$$

sein. Die Messung soll tunlichst mit einer Spannung gleich der Betriebsspannung, mindestens aber mit 100 V erfolgen und wird in der Regel nach der Voltmeter-Methode ausgeführt. Fig. 15.



Es sei U_1 der Spannungsverlust im Instrument. Der Fehlerstrom ist $Jx = \frac{U_2}{R_1^2}$, da durch das Instrument der gleiche Strom fließt. Der Isolationswiderstand ist dann bei einer Netzspannung U zu errechnen aus der Bezichung

$$Rx = \frac{U - U_1}{Jx} = Ri \frac{U - U_1}{U_1}.$$

Beispiel: Die Netzspannung wurde zu 223 V gemessen, der Spannungsabfall U_1 war 28 V, das Instrument hatte einen Widerstand von 50 000 Ω . Wie groß war der Isolationswiderstand?

$$Rx = 50000 \frac{223-28}{28} = 348000 \, \Omega = 0.348 \, M \, \Omega.$$

Fig. 16 zeigt die Messung des Fehlerstromes zwischen Isolation und Erde.

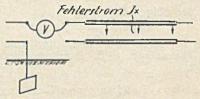


Fig. 16.

Für Isolationsmessungen ohne Betriebsspannung benutzt man einen Kurbelinduktor als Stromquelle, Fig. 17. Die Spannung des Induktors muß auf den Wert gebracht werden, für den das Instrument geeicht ist.

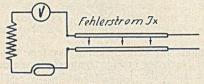
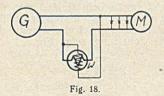


Fig. 17.

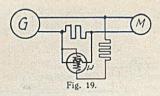
Leistungsmessung.

Die Leistung eines Gleichstromes kann indirekt durch Messung von Spannung und Stromstärke ermittelt werden als Produkt aus diesen beiden Größen. Sie kann aber auch direkt mit Hilfe von Leistungsmessern, sog. Wattmetern, gemessen werden. Die Wattmeter sind besonders für Wechselstrom von Bedeutung, weil bei diesem die Ermittlung der Leistung aus Stromstärke und Spannung wegen der meist vorhandenen Phasenverschiebung nicht möglich ist. Die Wattmeter sind meist elektrodynamische Instrumente, bestehend aus einer festen und einer beweglichen Spule. Die feste Spule wird nach Art eines Strommessers in den Stromkreis geschaltet, die drehbare, aus dünnem Draht bestehende Spule wird wie ein Spannungsmesser angeschlossen, Fig. 18.



Um den Meßbereich des Instrumentes zu erweitern, kann man die Stromspule mit einem Nebenwiderstand, die Spannungsspule mit einem Vorwiderstand versehen, Fig. 19.

Bei Wechselstrommessung verwendet man für das Stromsystem meist Stromwandler und bei höheren



Spannungen für das Spannungssystem Spannungswandler. Nach der in Fig. 20 angegebenen Schaltung läßt sich auch der Leistungsfaktor der Anlage bestimmen. Ist N die Leistungsangabe des Wattmeters W, U die durch Voltmeter V gemessene Spannung und J die durch Amperemeter A gemessene Stromstärke, so ist der Leistungsfaktor



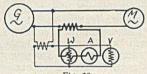


Fig. 20.

Die Spannungssysteme der Meßinstrumente werden in Nebenschaltung, die Stromsysteme in Reihenschaltung an die Meßwandler angeschlossen.

Die Leistung bei Drehstrom kann in der Weise bestimmt werden, wenn bei Sternschaltung der Verkettungspunkt zugänglich ist, daß man die Leistung jeder Phase durch je ein Wattmeter mißt. Die Gesamtleistung ist dann gleich der Summe dieser 3 Leistungen. Die Schaltung zeigt Fig. 21.

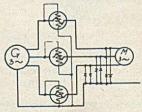


Fig. 21.

Sind die drei Phasen des Drehstromes gleichmäßig belastet, so genügt die Leistungsmessung einer Phase; es genügt also ein Wattmeter. Die Gesamtleistung ergibt sich dann durch Multiplikation des Meßwertes mit 3. Ist der Nullpunkt des Drehstromsystems nicht zugänglich, so kann man sich künsteinen Nullpunkt nach der in Fig. 22 angegebenen Art schaffen.

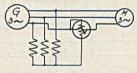


Fig. 22.

Bei Drehstromwattmetern als Schalttafelinstrumente muß die Skala so geeicht sein, daß sie unmittelbar die volle Leistung abzulesen gestattet.

Zur Feststellung der vollen Drehstromleistung genügen aber auch 2 Wattmeter, wenn die Schaltung nach Fig. 23 erfolgt.

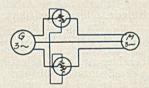
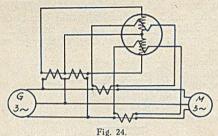


Fig. 23.

Die Stromspulen der Wattmeter werden in irgend 2 Leitungen gelegt und die Spannungsspulen mit ihren freien Enden an die dritte Leitung angeschlossen. Die Gesamtleistung des Drehstroms ist bei dieser Zweiwattmeter-Methode gleich der Summe der von den beiden Wattmetern angegebenen Leistungen. Auf Grund dieser Schaltung werden Drehstromleistungsmesser für beliebig belastete Phasen gebaut, in denen die Meßsysteme zweier Instrumente vereinigt sind und auf eine gemeinsame Anzeigevorrichtung wirken, sodaß die Gesamtleistung direkt

abgelesen werden kann. Fig. 24 zeigt die Schaltung eines derartigen Instrumentes im Anschluß an Meßwandler.



Arbeitsmessung.

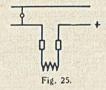
Die von einem elektrischen Strom geleistete Arbeit ergibt sich aus dem Produkt aus Leistung und Zeit. Sie läßt sich auch mit Hilfe von besonderen Instrumenten, den Elektrizitätszählern, direkt messen. Diese werden, wie die Leistungsmesser, von Strom und Spannung beeinflußt, Außerdem wird durch ein Zählwerk die Umdrehungszahl des beweglichen Organs registriert. Solche Arbeitsmesser werden als Wattstundenzähler bezeichnet und sind zu unterscheiden von den Amperestundenzählern, die nur das Produkt von Stromstärke und Zeit angeben, also die Elektrizitätsmenge. Trotzdem können die Amperestundenzähler zur Arbeitsmessung verwendet werden, wenn die Spannung annähernd unverändert ist. Sie werden dann auf Wattstunden geeicht. Ihr Vorzug liegt in dem geringeren Eigenverbrauch.

Elektrolytische Zähler.

Die auf Elektrolyse beruhenden Zähler wirken als Amperestundenzähler. Ein Instrument dieser Art ist der Stiazähler, bei dem eine mit einer Quecksilbersalzlösung gefüllte Zelle verwendet wird. Die Zelle wird unter Verwendung eines Nebenwiderstandes von dem zu messenden Strom durchflossen. Das sich am negativen Pol ausscheidende Quecksilber wird in einem Maßrohr aufgefangen. Aus der Höhe des in diesem angesammelten Quecksilbers können die Amperestunden, und bei konstanter Spannung auch die Wattstunden abgelesen werden.

Magnetelektrische Zähler.

Diese Zähler bestehen aus einem zwischen permanenten Magneten drehbar gelagerten Anker, die Stromzufuhr erfolgt über einen kleinen Silberkollektor. Die Schaltung des Instruments geht aus Fig. 25 hervor. Der Zähler mißt also Amperestunden.



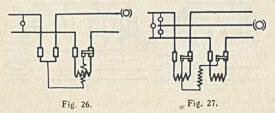
Um die Drehzahl des Ankers proportional der Stromstärke zu machen, ist eine Wirbelstrombremse angebracht.

Elektrodynamische Zähler.

Die Wattstundenzähler für Gleichstrom sind sämtlich auf dem elektrodynamischen Prinzip aufgebaut. Man unterscheidet Motorzähler, oszillierende Zähler

und Pendelzähler.

Der Motorzähler besteht aus einer drehbar angeordneten Spannungsspule, die als eisenloser Anker ausgebildet ist und deren Stromzufuhr über einen kleinen Kollektor erfolgt. Der Anker steht unter dem Einfluß feststehender Stromspulen. Die Umdrehungen des Ankers werden durch ein Zählwerk registriert. Die Bremsung erfolgt durch Wirbelstrom. Die Schaltung für einen Zweileiterzähler ist aus Fig. 26, die für einen Dreileiterzähler aus Fig. 27 zu ersehen.



Beim oszillierenden Zähler wird der empfindliche Kollektor vermieden, indem die Drehung der Spannungsspule durch zwei Anschläge begrenzt wird, durch die die Richtung des in ihr fließenden Stromes umgekehrt wird. Hierdurch wird eine hin- und herpendelnde Bewegung erzielt.

Der Pendelzähler besteht aus zwei gleichen Pendeln, die mit je einer Spannungsspule versehen sind und vor festen Stromspulen schwingen. Durch geeignete Schaltung wird bei Stromdurchgang das eine Pendel verlangsamt, das andere beschleunigt. Die Differenz der Schwingungszahlen beider Pendel ist der zu messenden Arbeit verhältnisgleich und wird durch die Differentialgetriebe gemessen. Die Pendelzähler werden sowohl für Gleich- als auch für Wechselstrom gebaut.

Induktionszähler.

Die Wirkungsweise der Induktionszähler ist die gleiche wie die der Induktions-Instrumente, nur mit dem Unterschied, daß das bewegliche System nicht durch Federn gehalten wird, sondern frei drehbar ist. Diese Zähler haben gegenüber den dynamischen Zählern den Vorteil, daß dem beweglichen System kein Strom zugeführt wird. Sie sind für Gleichstrom nicht verwendbar, aber es sind die meistverwendeten Instrumente für ein- und mehrphasigen Wechselstrom. Fig. 28 zeigt die Schaltung eines derartigen Instrumentes für Drehstrom ohne Nulleiter, Fig. 29 für Drehstrom mit Nulleiter.

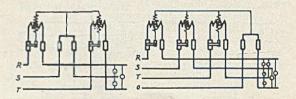


Fig. 28.

Fig. 29.

Zähler für besondere Tarife.

1. Münzzähler geben bestimmte Arbeitsmengen für den Verbrauch frei, sobald der entsprechende Kaufpreis unter Verwendung einer festgesetzten Münzsorte in den Apparat geworfen wird. Ist das Guthaben verbraucht, so schaltet ein Schalter selbsttätig die Anlage ab. Zur Kontrolle ist ein normales Zählwerk vorhanden.

2. Mehrfachtarifzähler sind Zähler mit zwei oder mehr Zählwerken, von denen jedes den Verbrauch während einer anderen festgesetzten Tageszeit mißt.

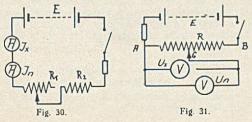
3. Maximaltarifzähler zählen den Gesamtverbrauch während bestimmter Zeiträume, z. B. während 30 Min., und schieben dabei einen Zeiger vorwärts, der in der Endlage stehen bleibt. Ist die Belastung bei einer späteren Teilzählung größer, so wird der Zeiger entsprechend weiter vorgeschoben.

4. Blindverbrauchszähler messen den Blindverbrauch und werden angewendet, wenn Stromtarife eingeführt sind, nach denen zu den Kosten für den Wirkverbrauch Zuschläge für den Blindverbrauch

bezahlt werden.

Eichung von Strommessern.

Strommesser werden meist durch Vergleich mit Normalinstrumenten geeicht. Die Prüfung der Normalinstrumente kann auf das genaueste durch einen Stromkompensator geschehen. Die Schaltung geht aus Fig. 30 hervor. Die Akkumulatorenbatterie ist mit dem zu eichenden Instrument Jx, mit dem Normalinstrument Jn und mit den Regulierwiderständen in Reihe geschaltet. Die Genauigkeit wird meist auf den Höchstwert der Anzeige bezogen. Der Fehler gilt als positiv, wenn der gemessene Wert Jx größer ist als Jn.



Spannungsmesser werden in ähnlicher Weise durch Vergleich mit Normalinstrumenten geeicht, die ihrerseits wieder mit einem Spannungskompensator geprüft werden können. Die Schaltung geht aus Fig. 31 hervor. An der Akkumulatorenbatterie E liegt der Widerstand R in der Anordnung als sog. Spannungsteiler. An den Klemmen A und C liegen in Parallelschaltung das zu eichende Voltmeter mit der Anzeige Ux und das Normalinstrument mit der Anzeige Un.

Eichung von Leistungsmessern.

Die Eichung erfolgt ebenfalls am einfachsten durch Vergleich mit Normalinstrumenten. Die Schaltung ergibt sich aus Fig. 32. Die Strompfade des zu eichenden Instrumentes und des Normalinstrumentes werden in Reihe, die Spannungspfade parallel angelegt.

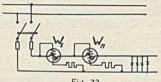


Fig. 32.

Als Normalinstrumente gelten die eisenfreien elektrodynamischen Leistungsmesser. Diese können mit Gleichstrom geeicht werden und zeigen dann im Wechselstromkreis die Leistung $N=U\cdot J\cos \varphi$ ohne weiteres richtig an. Induktionsinstrumente können nur mit Wechselstrom geeicht werden, weil sie bei Gleichstrom keinen Ausschlag geben.

III. Die Gewinnung der elektrischen Energie.

Gleichstromerzeuger.

Allgemeines.

Jede elektrische Maschine, die mechanische Lei-stung in elektrische verwandelt, heißt Dynamo oder Generator; dient sie umgekehrt zur Umwandlung elektrischer Leistung in mechanische, so wird sie Elektromotor genannt. Die Umkehrung ist bei allen elektrischen Maschinen möglich. Je nach der Stromart, die von der Maschine geliefert, bezw. aufgenommen wird, unterscheidet man Gleichstrom-, Wechselstrom- und Drehstrommaschinen.

Die wesentlichsten Bestandteile einer solchen Maschine sind das Magnetfeld und ein beweglicher Leiter. Das Magnetfeld wird entweder durch permanente Hufeisenmagnete oder durch Elektro-Magnete erzeugt. Der Leiter ist als geschlossene Drahtwindung auf einem Drehkörper, Anker genannt, gewickelt, mit dessen Hilfe der Leiter in einem Mag-netfeld bewegt wird und Kraftlinien schneidet. Maschinen mit permanenten Magneten nennt man magnetelektrische Maschinen.

Diese finden heute nur noch als Zündmaschine und Kurbelinduktor Verwendung. Im Jahre 1866 wurde von Werner von Siemens das heutige dynamoelektrische Prinzip aufgestellt. Danach verliert ein einmal magnetisiertes Stück Eisen nie seinen ganzen Magnetismus. Dieser Restmagnetismus reicht aus, um in den Ankerwindungen beim Drehen des Ankers einen geringen Strom zu erzeugen. Schickt man diesen schwachen Strom durch die Magnetwindungen, so entsteht ein stärkeres magnetisches Feld, welches wiederum eine stärkere Stromstärke erzeugt. Es findet also eine gegenseitige Verstärkung des Stromes und des Magnetfeldes statt bis zur Sättigung der Magnetpole.

Die Entstehung des Stromes in der Dynamomaschine.

Die Magnete einer Dynamomaschine müssen stets paarweise vorhanden sein und zwar stets abwechselnd ein Nord- und ein Südpol. Der Luftraum zwischen Anker und Magnetpol muß möglichst klein gehalten werden, um den schädlichen Luftwiderstand möglichst zu verkleinern. Anker und Magnete sind aus einzelnen voneinander isolierten Blechscheiben zusammengesetzt, um Wirbelstrombildung zu verhüten.

Wickelt man auf den Anker eine Spule und dreht den Anker in der Pfeilrichtung, so entsteht nach dem Induktionsgesetz in der Spule ein Strom. Die Richtung dieses Stromes stellt man fest nach der "Rechten-Hand-Regel".



Fig. 1.

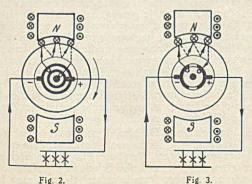
Wird jetzt, wie Fig. 2 zeigt, Anfang und Ende dieser Spule mit zwei voneinander isolierten Schleifringen verbunden, so kann man von diesen den erzeugten Strom abnehmen. Die Schleifringe sind hier der Einfachheit halber übereinander angedeutet. Dieser induzierte Strom hat eine wechselnde Richtung. Dreht man die Spule in die Südpolhälfte, so stellt man fest, daß sich die Stromrichtung geändert hat. Die Bürste, welche vorher den Strom abgenommen hat, führt ihn jetzt zurück. Wir haben also einen Strom von wechselnder Richtung, einen Wechselstrom erzeugt.

Nimmt man jetzt an Stelle der beiden Schleifringe zwei voneinander isolierte Schleifringhälften und führt den besprochenen Versuch noch einmal durch, so kann man feststellen, daß der erzeugte Induktionsstrom stets gleiche Richtung hat. Aus dem vorher erzeugten Wechselstrom ist ein Gleichstrom geworden.

Sobald nun mehrere Spulen auf den Anker gewickelt werden, müssen die Schleifringhälften in soviele Teile geteilt werden, wie Spulen vorhanden sind. Anfang der einen und Ende der nächsten Spule werden jetzt zusammen mit einem Teilstück der Abnahmevorrichtung in leitende Verbindung gebracht. Sobald jetzt der Anker in Umdrehungen versetzt wird, nehmen die Bürsten einen Gleichstrom ab und leiten ihn in das angeschlossene Netz. Den so geteilten Schleifring nennt man Kollektor oder Kommutator. Sämtliche Segmente des Kollektors müssen voneinander und von der Welle gut isoliert sein. Die Bürsten müssen stets in der neutralen Achse, d. h. der Linie, welche senkrecht zur magnetischen Achse liegt, aufliegen. Werden die Bürsten aus die-ser Stellung verschoben, tritt sofort eine Funkenbildung ein.

Trommelwicklung.

An Stelle des vorher beschriebenen Ringankers wird heute nur noch der Trommelanker verwendet. Dieser hat den Namen nach seiner trommelartigen Form. Er bietet dem Ringanker gegenüber entschiedene Vorteile. Die Drähte im Innern des Ringes schneiden keine Kraftlinien, kommen daher für die Stromerzeugung nicht in Frage, sind also nur Verbindungen. Weiter läßt sich ein Ringanker bedeu-



tend schlechter wickeln als ein Trommelanker. Letzterer hat geringeren Durchmesser, dafür größere Länge. Die Umdrehungszahl kann also bedeutend gesteigert werden, ohne daß durch die Zentrifugalkraft die Wicklung leidet. Die Wicklung des Ankers wird nach einem ganz bestimmten Wicklungsschritt in die Nuten des Ankers verlegt. Die fertige Wicklung eines Trommelankers zeigt Fig. 4.



Fig. 4.

Einfluß der Wicklungsart auf die EMK und Stromstärke des Ankers.

Die im Anker erzielbare Spannung ist, welches auch die Wicklungsart sei, von der Zahl der in jedem der parallelen Ankerzweige hintereinander geschalteten wirksamen Drähte abhängig. Die Spannung ist also um so höher, je geringer die Zahl der parallelen Ankerzweige ist, aus denen sich die Wicklung zusammensetzt. Bei mehrpoligen Maschinen wird daher für höhere Spannungen die Reihenschaltung bevorzugt, für geringere Spannungen die Paralleloder Reihenparallelschaltung. Die dem Anker entnehmbare Stromstärke steht im umgekehrten Verhältnis zur Spannung. Sie ist also um so größer, je kleiner diese ist, d. h. aus je mehr parallelen Zweigen die Wicklung besteht.

Bei der gleichen Drahtzahl und unter sonst gleichen Verhältnissen kann nach vorstehendem z. B. bei einer vierpoligen Maschine mit einem Reihenanker eine doppelt so hohe Spannung erzielt werden wie mit einem Parallelanker, denn dieser besitzt doppelt soviel parallele Zweige wie jener, und es entfällt daher auf jeden Zweig nur die halbe Anzahl Drähte. Dafür kann aber der Reihenanker auch nur mit einer halb so großen Stromstärke wie der Parallelanker beansprucht werden.

Ankerrückwirkung und Bürstenverschiebung.

Unter Ankerrückwirkung versteht man die durch den Ankerstrom hervorgerufene Verzerrung und Schwächung des magnetischen Feldes.



Fig. 5.

Denken wir uns in Fig. 5 den Anker stromlos und die Magnetschenkel erregt, so werden die Kraftlinien von dem Nordpol zum Südpol fließen. Durch Influenz werden jetzt im Anker die entgegengesetzten Pole s und n entstehen. Es steht also dem Magnetnordpol im Anker ein Südpol und dem Magnetsüdpol im Anker ein Nordpol gegenüber. Wird nun aber nur der Anker vom Strom durchflossen, so kann man feststellen, daß der Anker selbst als ein Magnet wirkt; denn sämtliche Kraftlinien treten an der einen Seite aus dem Anker heraus- und gehen an der anderen Seite in den Anker hinein. Wir haben also dort, wo die Kraftlinien heraustreten, einen Nord- und am anderen Ende einen Südpol. Die Stärke dieser Ankerpole richtet sich nach der Stärke des durch den Anker fließenden Stromes. Dieses sogenannte Ankerfeld steht demnach, wie Fig. 5 zeigt, quer zum Magnetfeld.

Wie aus den vorstehenden Abhandlungen zu er-

sehen ist, wird der Strom stets in der neutralen Achse abgenommen. Verschiebt sich nun die magnetische Achse, so wird die neutrale Achse mit verschoben, und zwar um so mehr, je größer die Stromstärke in dem Anker wird. Hieraus ergibt sich, daß die Bürsten bei steigender Belastung verschoben werden müssen, und zwar bei der Dynamomaschine in der Drehrichtung — und bei dem Motor entgegengesetzt der Drehrichtung. Durch diese Bürstenverschiebung entsteht aber ein weiterer Nachteil, nämlich die Schwächung des magnetischen Feldes.

Um die lästige Bürstenverschiebung und damit verbundene Funkenbildung am Kollektor zu vermeiden, baut man Gleichstrommaschinen heute ausschließlich mit Wendepolen, auch Hilfspolen genannt. Die Hilfspole sitzen zwischen je einem Nordund einem Südpol des Erregerfeldes und haben den Zweck, die Rückwirkung des Ankers aufzuheben oder zu kompensieren. Man nennt daher diese Maschinen kompensierte Maschinen. Die Wendepole sind mit dem Anker hintereinander geschaltet. d. h. der Ankerstrom geht erst um die Wendepole und dann in den äußeren Stromkreis. Hierdurch werden die Wendepole je nach Stärke des Ankerstromes erregt. Die Wicklung der Wendepole ist derart, daß die magnetische Wirkung des Ankers aufgehoben wird. Es wird also dem früheren Ankersüdpol ein

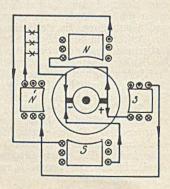


Fig. 6.

Hilfssüdpol und dem Ankernordpol ein Hilfsnordpol gegenübergestellt. Durch diese Anordnung wird die magnetische Kraft des Ankers unwirksam; es können also die Bürsten in der einmal eingestellten Stellung stehen bleiben.

Gleichstrommaschinen.

Nachdem über den prinzipiellen Aufbau der Dynamomaschine Klarheit herrscht, sollen im folgenden kurz die verschiedenen Arten von Gleichstrommaschinen besprochen werden. Man unterscheidet:

die fremd erregte Maschine,
 die Nebenschlußmaschine,

3. die Hauptschlußmaschine (Hauptstrommasch.), 4. die Doppelschluß- bezw. Compound-Maschine.

Zu 1:

Die fremd erregte Maschine.

Bei ihr wird der Elektromagnet durch eine fremde Stromquelle z. B. eine Akkumulatorenbatterie erregt. Der Anker wird wie üblich durch einen Motor angetrieben. Durch das Schneiden der Kraftlinien entsteht eine EMK (Elektromotorische Kraft). Die zwischen Leerlauf und Vollast auftretende Spannungsänderung schwankt je nach der Maschinengröße und den besonderen Verhältnissen zwischen 4 und 10%. Die fremd erregte Maschine wird in Anlagen mit Akkumulatorenbatterien verwendet.

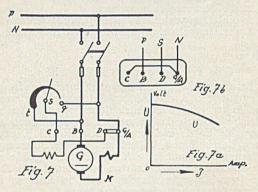
Die Selbsterregung.

Werner v. Siemens fand, wie bereits früher erwähnt, daß es nicht notwendig ist, eine fremde Stromquelle anzuwenden. Ist das Eisen der Feldwicklung einmal magnetischt geworden, so bleibt immer ein kleiner Rest Magnetismus in den Schenkeln des Magneten zurück, auch wenn der Strom unterbrochen wird. Läßt man den Anker nun rotieren, so wird auf Grund dieses schwachen Magnetismus eine schwache elektromotorische Kraft (EMK) erzeugt. Hat man die Enden der Feldwicklung mit den Bürsten verbunden, so fließt ein schwacher Strom durch die Wicklung, der aber bewirkt, daß der Magnetis-

mus der Pole stärker wird. Dies geht so weiter, bis das Eisen gesättigt ist.

Die Nebenschlußmaschine.

Bei der Nebenschlußmaschine wird für die Erregung der Magnete ein Teil des im Anker AB erzeugten Stromes abgezweigt. Die Enden der Magnetwicklung werden mit CD bezeichnet. Die Wendepolwicklung ist immer mit GH benannt. In Fig. 7 ist das Ende H jedoch nicht nach dem Klemmbrett geführt. Die Regulierung der Spannung erfolgt durch den Widerstand st. q ist der sogenannte Kurzschlußkontakt, damit beim Ausschalten des Widerstandes



keine gefährliche Selbstinduktionsspannungen ent-

stehen können.

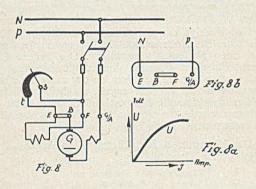
Die Betriebseigenschaften gehen aus der Kurve Fig. 7a hervor. Man erkennt, daß die Spannung mit zunehmender Belastung abnimmt. Gewöhnlich liegt die zwischen Vollast und Leerlauf auftretende Spannungsänderung zwischen 10 und 25%.

Soll der Generator in umgekehrter Drehrichtung betrieben werden, so sind die Klemmen nach Fig. 7b

anzuschließen.

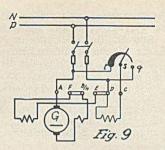
Die Hauptschlußmaschine. Fig. 8.

Bei der Hauptschlußmaschine durchläuft der ganze Maschinenstrom (Hauptstrom) die Magnetwicklung. Der im Anker entstehende Strom durchläuft hintereinander die Magnetwicklungen und den äußeren Stromkreis. Aus der Betriebskurve in Fig. 8a geht hervor, daß die Hauptschlußmaschine eine um so größere EMK erzeugt, je größer die Belastung ist. Bei einer Belastung gleich Null ist auch die EMK gleich Null. Bei Umkehr der Drehrichtung ist das Klemmbrett nach Fig. 8b anzuschließen. Die Maschine eignet sich zum Betrieb von Anlagen, bei denen es auf genaue Einhaltung einer bestimmten Stromstärke ankommt; z. B. zur Speisung von Scheinwerfern.



Die Doppelschlußmaschine.

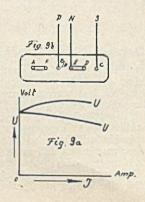
Die Doppelschluß- oder Kompoundmaschine ist eine Kombination der beiden zuletzt besprochenen Maschinentypen. Sie hat sowohl eine Hauptstromwie auch Nebenschlußwicklung. Die Doppelschlußmaschine bietet die Möglichkeit, eine bei allen Belastungen gleichbleibende Spannung zu erhalten, indem die Hauptschlußwicklung so bemessen wird, daß durch sie der Spannungsabfall ausgeglichen wird. Durch stärkere Hauptschlußerregung kann man auch eine mit der Belastung zunehmende Spannung erhalten, dann ist die Maschine überkompoundiert.



Durch Überkompoundieren kann ein unerwünschter Spannungsverlust in den Verteilungsleitungen ausgeglichen werden.

Fig. 9 zeigt die Schaltung einer Doppelschlußmaschine. Die Nebenschlußwicklungen erhalten auch
hier einen Nebenschlußregulator. Die äußere Charakteristik einer derartig überkompoundierten Maschine ist in Fig. 9a zu sehen, in der auch die Kurve
eingetragen ist, die sich ergab, als bei der betreffenden Maschine die Hauptschlußwicklung kurz geschlossen wurde, die Nebenschlußwicklung also allein
wirksam war.

Das Klemmbrett Fig. 9b zeigt den Anschluß bei umgekehrter Drehrichtung.



Drehrichtung und Polarität.

Die Drehrichtung und damit auch die Polarität einer fertig geschalteten Maschine sind durch die zufällig vorhandene Art des remanenten Magnetismus bedingt. Soll die Drehrichtung der Maschine geändert werden, so müssen, damit sie ihre Erregung nicht verliert, die Enden der Magnetwicklung in bezug auf ihre Verbindung mit dem Anker vertauscht werden. Dabei ändert sich aber auch die Polarität der Maschine. (Fig. 7b, 8b und 9b).

Spannung und Drehzahl.

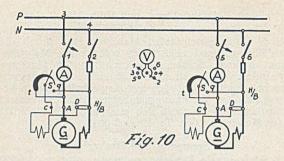
Als normale Betriebsspannungen gibt es 110, 220 und 440 Volt. Wegen der Spannungsverluste in den Verteilungsleitungen muß die Klemmenspannung der zur Stromerzeugung dienenden Maschinen um einige Prozent höher gehalten werden. Die Gleichstromaschinen können für beliebige Umdrehungszahlen gebaut werden. Je höher die Umdrehungszahl, destokleiner und billiger ist im allgemeinen die Maschine.

Parallelbetrieb von Gleichstrommaschinen.

Wenn eine Dynamomaschine zur Speisung des Stromverteilungsnetzes nicht ausreicht, was in größeren Anlagen zumeist der Fall ist, so werden mehrere Maschinen in Parallelschaltung an das Netz angeschlossen, d. h. sie geben gleichzeitig Strom in ein gemeinsames Netz ab. Die Gesamtstromstärke ist dann gleich der Summe der Stromstärken der einzelnen Maschinen; die Spannung bleibt unverändert, vorausgesetzt, daß Spannung und Polarität aller Maschinen vor der Parallelschaltung gleich ist. Der Parallelbetrieb von Hauptschlußmaschinen kommt praktisch nicht in Betracht.

Doppelschlußmaschinen bedürfen zum Zwecke der Nebenschlußschaltung einer Ausgleichleitung, welche an diejenigen Bürsten angelegt wird, von der die Hauptstromwicklung der Magnete ausgeht.

Von großer Wichtigkeit ist der Parallelbetrieb von Nebenschlußmaschinen. Fig. 10 stellt das Schaltschema zweier Nebenschlußmaschinen dar, die auf eine gemeinsame Sammelschiene arbeiten. Tritt der Fall ein, daß während des Betriebes die Spannung einer der Maschinen sich ändert, etwa infolge Ab-



nahme der Geschwindigkeit der Antriebsmaschine, so fließt ein Strom von der Maschine höherer Spannung zu der Maschine niederer Spannung. Gegen diesen Rückstrom kann man sich schützen, indem man für jede Maschine selbsttätige Minimal- oder Rückstromschalter verwendet. Das Voltmeter besitzt einen Umschalter, der es ermöglicht, mit einem Instrument beide Maschinen- und die Sammelschienenspannung zu messen. Die Belastungsstromstärke wird bei jeder Maschine durch ein besonderes Amperemeter angezeigt.

Nebenschlußmaschine und Akkumulatorenbatterie.

Nebenschlußmaschine mit Das Schema einer Akkumulatorenbatterie zeigt Fig. 11. Die Nebenschlußmaschine liefert den Strom und die Batterie ist mit der Maschine parallelgeschaltet, bezw. die gleichnamigen Pole liegen an derselben Leitung. Batterie und Maschine können sowohl im Einzel- als auch im Parallelbetrieb Strom in das Leitungsnetz senden. Die positive Leitung der Maschine enthält eine Schmelzsicherung und einen einpoligen Ausschalter, die negative Leitung einen Umschalter und außerdem einen Überstrom-Rückstrom-Automaten. Soll die Maschine auf das Netz arbeiten, so ist der Umschalter auf N zu bringen, dagegen ist er für die Ladung auf L einzustellen. Die Batterie kann durch zwei einpolige Schalter vom Netz getrennt werden. Die Lade- und Entladespannung können mittels des Doppelzellenschalters unabhängig voneinander geregelt werden. Für den Spannungsmesser ist ein Umschalter mit folgenden Stellungen vorgesehen:

1-2 Maschinenspannung,3-4 Batterieladespannung,5-6 Baterieentladespannung.

Der in das Verteilungsnetz fließende Strom wird durch einen Wattstundenzähler (Wh) gemessen.

Nebenschlußmaschine, Zusatzmaschine und Akkumulatorenbatterie.

Wenn die Spannung der Maschine zum Laden der Batterie nicht erhöht werden kann, wird eine Zusatzdynamo angewandt. Die Verwendung einer solchen ist für größere Anlagen immer zweckmäßig, weil eine größere Dynamomaschine sich für die normale unveränderliche Spannung vorteilhafter bauen läßt, als eine solche, deren Spannung zum Laden in weiten Grenzen veränderlich sein muß.

Wechselstrom.

Ein elektrischer Strom, welcher in Spannung und Stromstärke dauernd schwankt und bei jedem Durchgang durch einen Pol seine Richtung wechselt, heißt

Wechselstrom.

Ein Draht dreht sich in einem gleichförmigen magnetischen Felde mit gleichmäßiger Geschwindigkeit im Sinne des Pfeils Fig. 12. Die Kraftlinien sind durch gestrichelte Linien angedeutet. Bei der Drehung werden Kraftlinien geschnitten und dadurch in ihm eine EMK erzeugt. Trägt man die Werte der

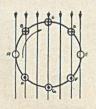
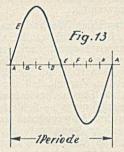


Fig. 12,

EMK nach Fig. 13 maßstäblich auf, so entsteht ein

sinusförmiger Wechselstrom.

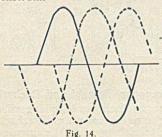
Bei nicht gleichförmigem magnetischen Felde wird der Verlauf der EMK mehr oder weniger von der Sinuskurve abweichen. Den Stromverlauf während eines zweimaligen Richtungswechsels nennt



man eine Periode. Die Periodenzahl pro Sekunde heißt Frequenz. In Deutschland hat man für Lichtund Kraftanlagen eine Frequenz von 50 Herz (= 100 Polwechsel/sec.).

Drehstrom.

Ordnet man 3 Spulen innerhalb des Magnetfeldes an und zwar so, daß sie genau um 120° gegeneinander versetzt sind, so kann man von jeder Spule einen Wechselstrom abnehmen. Die Werte dieser 3 Ströme sind dann ebenfalls um 120° gegeneinander verschoben. Fig. 14. Diesen Dreiphasenstrom bezeichnet man als Drehstrom.

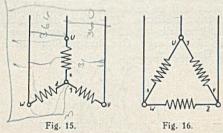


Wechselstromerzeuger.

Bei den Wechselstrommaschinen unterscheidet man die Außenpol- und die Innenpolmaschine. Bei der Außenpolmaschine, bei der das Magnetgestell fest mit dem Gehäuse verbunden ist, rotiert der Anker. In diesem Falle wird der Wechselstrom den Schleifringen entnommen.

Als Normaltype der Wechselstrommaschinen ist die Innenpolmaschine anzusehen. Bei dieser Maschine sind die erregenden Magnete auf dem Rotor, während der Anker sich auf dem feststehenden Gehäuse befindet. Diese Bauart bietet gegenüber der Außenpolmaschine den Vorteil, daß der in der Ankerwicklung induzierte Strom von festen Klemmen, also nicht durch Vermittlung von Schleifringen entnommen wird. Die den Magnetstrom liefernde Gleichstromerregermaschine kann mit der Wechselstrommaschine unmittelbar zusammengebaut sein. In grö-Beren Anlagen werden vielfach besonders angetriebene Erregermaschinen aufgestellt. Von den Wechselstrommaschinen haben die Drehstromerzeuger eine größere Bedeutung erlangt. Die Wicklungen der drei Phasen einer Drehstrommaschine können entweder in Stern, Fig. 15, oder in Dreieck, Fig. 16, geschaltet werden.

Die Klemmen der Maschine werden in jedem Falle mit UVW bezeichnet.



Frequenz, Polzahl und Drehzahl.

Bei einer zweipoligen Maschine wird mit jeder Umdrehung eine Periode des Wechselstromes erzeugt. Zur Erzielung einer bestimmten Frequenz bei gegebener Polzahl der Maschine ist eine ganz bestimmte Umdrehungszahl erforderlich. Bedeutet:

> p=Polpaarzahl, f=Periodenzahl, n=Drehzahl pro Minute, so ist $n = \frac{60 \cdot f}{2}$

Da der normale Wechselstrom eine Frequenz von 50 Hz besitzt, ergibt sich für eine vierpolige Maschine eine Tourenzahl von

 $n = \frac{60.50}{2} = 1500$ Umdrehungen pro Min.

Die Leistung der Wechselstrommaschinen.

Die Leistung einer Wechselstrommaschine ist außer von der Stromstärke und der Spannung auch noch von der zwischen diesen beiden Größen herrschenden Phasenverschiebung abhängig. Da jede Maschine für eine bestimmte Stromstärke und Spannung gebaut ist, gibt man die Leistung in Kilovoltampere (kVA) an. Die Leistung einer Drehstrommaschine ist N=1,73·U·J·cos·φ.

Bei induktionsfreier Belastung ist die scheinbare Leistung in kVA gleichbedeutend mit der wirklichen Leistung in kW; bei induktiver Belastung dagegen ist diese je nach dem auftretenden Leistungsfaktor cos wkleiner.

Beispiel: Wie groß ist die Wirkleistung einer Drehstrommaschine für eine Scheinleistung von 50 kVA bei $\cos \cdot \tau = 1$; $\cos \cdot \tau = 0.8$ und $\cos \cdot \tau = 0.6$? $N = 1.73 \cdot U \cdot J \cdot \cos \tau = 50 \cdot 1 = 50 \text{ kW}.$

 $N = 1,73 \cdot U \cdot J \cdot \cos \varphi = 50 \cdot 1 = 50 \text{ kW}.$ $N = 50 \cdot 0,8 = 40 \text{ kW}.$ $N = 50 \cdot 0,6 = 30 \text{ kW}.$

Die Stromstärke ist in jedem Falle die gleiche. Es ist z. B. bei 380 Volt

 $J = \frac{N}{1.73 \cdot U \cdot \cos_{s} \varphi} = \frac{50000}{1.73 \cdot 380 \cdot 1} = \sim 76 \text{ Amp.}$

Einzelbetrieb einer Drehstrommaschine.

In Fig. 17 ist die Schaltanordnung einer Drehstromanlage dargestellt. In jede der drei vom Drehstromgenerator zu den Sammelschienen R, S und T führenden Leitungen ist ein Strommesser eingeschal-

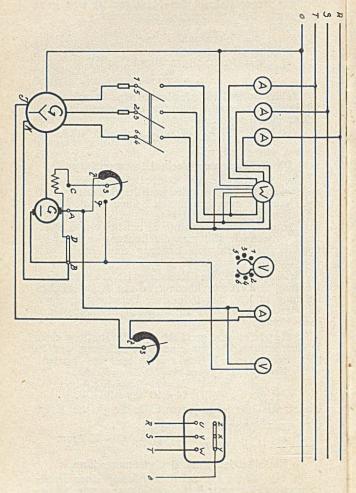


Fig. 17.

tet. Die Spannungen der drei Phasen lassen sich mittels eines Voltmeterumschalters mit einem einzigen Voltmeter messen. Im Schema ist ein Leistungsmesser vorgesehen, dessen innere Schaltung dem Dreiwattmeterverfahren entspricht. Die Wicklung des Drehstromgenerators ist in Stern geschaltet, sodaß z. B. die Spannungen 380 und 220 Volt zur Verfügung stehen.

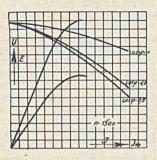


Fig. 18.

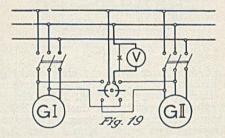
Der Erregerstrom wird von einer direkt gekuppelten Erregermaschine (Nebenschlußgenerator) geliefert. Ihre Spannung wird mit Hilfe des Nebenschlußreglers eingestellt und durch ein besonderes Voltmeter angezeigt. Die Spannungsregelung der Drehstrommaschine erfolgt mittels eines Regulierwiderstandes im Erregerstromkreis. Der Erregerstrom kann von einem besonderen Amperemeter abgelesen werden. Der Verlauf der Leerlaufkennlinie in Fig. 18 zeigt die Abhängigkeit der EMK vom Erregerstrom, bei einer konstanten Drehzahl. Es sind die Kurven der verketteten und der Phasenspannung gezeichnet. Die Außenkennlinien in Fig. 18 lassen erkennen, daß die zwischen Leerlauf und Belastung auftretende Spannungsänderung bei $\cos \tau = 1$ erheblich kleiner ist, als bei einem schlechteren Leistungsfaktor.

Spannungsregelung.

In allen größeren Kraftwerken erfolgt die Konstanthaltung der Spannung durch selbsttätige Regler. Sehr verbreitet ist der Tirrillregler, er gehört zu der Klasse der Schnellregler und wirkt in der Weise, daß er die Spannung der Erregermaschine der Belastung der Drehstrommaschine entsprechend, einstellt.

Parallelbetrieb von Drehstrommaschinen.

Um eine Drehstrommaschine mit einer anderen parallel zu schalten, genügt es nicht, sie auf die gleiche Spannung zu bringen, die die im Betrieb befindliche bereits liefert, sondern es muß auch ihre Umdrehungszahl so beeinflußt werden, daß sie Strom von gleicher Frequenz gibt, ferner müssen die Spannungen der beiden Maschinen im Augenblick des Parallelschaltens phasengleich sein. Sind diese Bedingungen erfüllt, so laufen die Maschinen synchron. Um den synchronen Zustand zu erkennen, benutzt man einen Synchronismusanzeiger.



Ein viel verwendeter Synchronismusanzeiger ist die Phasenlampe in Verbindung mit dem Phasenvoltmeter Fig. 19. Beim Einregulieren der Umlaufzahl der zuzuschaltenden Maschine leuchtet die Lampe periodisch auf, zwischendurch immer wieder dunkel werdend. Die Schwankungen des Lichtes treten immer langsamer auf, je mehr man sich dem synchronen Zustand nähert, bis bei vollem Synchronismus die Lampe dunkel bleibt und das Voltmeter den Wert Null anzeigt. In diesem Moment muß die zweite Maschine zugeschaltet werden.

Sind die Maschinen einmal parallel geschaltet, so bleibt der Synchronismus im allgemeinen auch bestehen, da eine synchronisierende Kraft auftritt.

IV. Fortleitung und Verteilung elektr. Energie.

Die Betriebsspannung.

Die Spannung einer elektrischen Anlage ist abhängig von der Größe der zu übertragenden Leistung und der Ausdehnung des Leistungsnetzes. Je größer die Leistung, desto größer wird bei konst. Spannung auch die Stromstärke und diese bedingt wiederum einen entsprechend größeren Querschnitt. Um mit einem günstigen Drahtquerschnitt auszukommen, muß man eine angemessene Spannung anwenden. Der Leitungsquerschnitt und damit das Leitungsgewicht ist, bei gleichem prozentualen Leitungsverlust, dem Quadrate der Übertragungsspannung umgekehrt proportional. Bei der doppelten Spannung gebraucht man also nur den vierten Teil des Leitungsmaterials.

Für Gleichstrom sind, abgesehen vom Bahnbetrieb, die Spannungen 110, 220 und 440 Volt normal

(DINORM 196).

Für Drehstrom-Niederspannanlagen hat man 220 und 380 Volt als Normalspannungen.

In Drehstrom-Hochspannungsanlagen sind die Spannungen 6000, 15000, 35000, 60000, 100000 und 200000 Volt als Normalspannungen festgelegt.

Als Hochspannungsanlagen gelten nach den Vorschriften des V. D. E. solche Anlagen, bei denen die Spannung zwischen beliebigen Leitern und Erde 250 Volt überschreitet.

Verteilungssysteme.

Das Zweileitersystem.

Bei wenig ausgedehnten Ortsnetzen oder Eigenanlagen verwendet man das Zweileitersystem und zwar sowohl für Gleichstrom als auch für einphasigen Wechselstrom.

Fig. 1. Von der Zentrale führen zu den verschiedenen Verbrauchsstellen je zwei Leitungen, die beliebig verzweigt werden können.

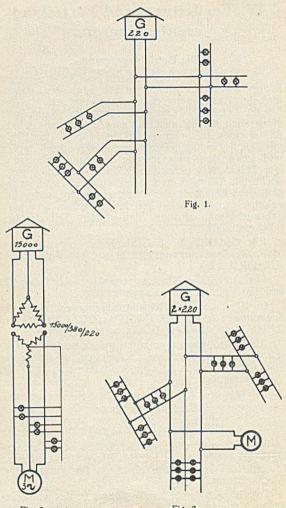


Fig. 3.

Fig. 2.

Liegt die Zentrale außerhalb des Versorgungsgebietes, so werden Speisepunkte angeordnet, die durch Speiseleitungen von der Zentrale aus, gespeist werden. Sind mehrere Speisepunkte vorhanden, so werden diese durch Ausgleichleitungen miteinander verbunden.

Das Dreileitersystem.

Das Zweileitersystem wird bei einer Energieverteilung auf einen größeren Umkreis unwirtschaftlich. In diesem Falle verwendet man das Dreileitersystem; dieses arbeitet mit einer Übertragungsspannung, die ein Mehrfaches der Gebrauchsspannung beträgt. Fig. 2. Die Spannung wird gewöhnlich zu 220 oder 440 Volt gewählt. Der Mittelleiter teilt die Spannung in der Weise, daß zwischen dem Mittelleiter und jedem Außenleiter nur die halbe Spannung herrscht. Die Motoren werden dann an die Außenleiter angeschlossen, die Lampen werden zwischen Außenleiter und Mittelleiter angeschlossen und auf beide Netzhälften möglichst gleichmäßig verteilt. Der Mittelleiter in Dreileiteranlagen darf nicht gesichert werden.

Das

Drehstrom-Drei- und Vierleitersystem.

Das bevorzugteste Wechselstromsystem ist das Drehstromsystem. Der hochgespannte Drehstrom wird mittels drei Leitungen den einzelnen Transformatoren zugeführt. Fig. 3. Der Transformator speist dann das Ortsnetz, welches heute fast ausschließlich nach dem Vierleitersystem gebaut wird. Man hat dann zwei Spannungen, 380 Volt für Motoren und 220 Volt für Lampen zur Verfügung.

Das Leitungsnetz.

Leitungsarten.

Für die Übertragung und Verteilung der elektrischen Energie kommen hauptsächlich Leitungen aus Kupfer, daneben solche aus Aluminium zur Anwendung. Nachfolgend wird, wo nichts anderes vermerkt ist, Kupfer als Leitungsmaterial vorausgesetzt.

Bezeichnung	Aufbau	Verwendung					
ВС	Kupfer, hart, gezogen, unverzinnt	Als Starkstromfreileitung.					
NL NE NBE	NLC, mit Kupferleiter, weich, unverzinnt, NLA, mit Aluminiumleiter, weich. Beflechtung mit getränkter Baumwolle. NE, mit Papier- und Juteumbüllung. NBE, außerdem mit Bleimantel. Farbe: grau.	Nicht zur Verlegung im Erdboden. Zur Verlegung im Erdboden und bei che mischer Einwirkung.					
PLW	PLWC, mit Kupferleiter, unverzinnt. PLWB, mit Bronzeleiter. PLWA, mit Aluminiumleiter. Leiter mit wetterfeste Masse überzogen, darüber mit 2 Lagen getränktes Papier, 1 Lage wetterfest getränkte Baumwollbespinnung und 1 Lage wetterfest getränkte Baumwollbesleichtung. Farbe: rot.	Als Freileitungen und für Installationen in Freien, bei chemischen Einflüssen.					

b) Isolierte Leitungen. (schwarz-rote VDE- und Firmenkennfäden)

NRA NRAN NRG	Gummiaderleitungen mit glatten oder gerilltem ein an- liegendem, gefalztem Metallmantel (nicht Bleimantel). Bei Mehrfachleitungen sind die Hohlräume mit Jute oder Bitumen ausgefüllt. NRAN, mit Beidraht unter dem Metallmantel. NRG, wie NRA, aber mit Gummifüllung. (Einfachleitungen müssen, Mehrfachleitungen können mit einem Beidraht versehen sein.)	Verlegung, die es tungsverlauf ohn zu erfolgen. De Schutzleiter, er geerdeten Nulle führender Leiter	en, zur erkennbaren s ermöglicht, den Lei- e Aufreißen der Wände ir Beidraht dient als kann in Netzen mit iter auch als strom- benutzt werden, so- rke dieses zulassen.		
NRU	Rohrdraht mit Gummi als Füllmaterial. Der längsgefalzte, glatte oder gerillte Metallmantel ist mit einer chemisch und elektrisch widerstandsfähigen, äußeren Umhüllung versehen.	Beidrahtverwendung wie bei NRA und NRG	Zur festen Verlegung in feuchten oder		
NBU	Wie NRU, aber mit nahtlosem Bleimantel anstelle des gefalzten Metallmantels.	Beidraht nur für Nullung, Erdung oder	durchtränkten Räu- men sowie im Freien. Verlegung im Erd- boden nicht zulässig.		
NBEU	Wie NBU, aber mit zusätzlich doppelter Eisenbandbe- wehrung in der äußeren Umhüllung	(nicht als stromfüh- renderLeiter zulässig)	Doden ment zulassig.		
NFA	Kupferleiter mit Gummihülle umgeben, Beflechtung aus Baumwolle, Glanzgarn oder Seide.	tungskörpern, al schluß ortsverän braucher nicht a	in und an Beleuch- is Zuleitung zum An- derlicher Energiever- mlässig). Bei Spiral- NFSA — mit Stahl- zu verwenden.		
	NRAN NRG NRU NBU	liegendem, gefalztem Metallmantel (nicht Bleimantel). Bei Mehrfachleitungen sind die Hohlräume mit Jute oder Bitumen ausgefüllt. NRAN mit Beidraht unter dem Metallmantel. NRG, wie NRA, aber mit Gummifüllung. (Einfachleitungen müssen, Mehrfachleitungen können mit einem Beidraht versehen sein.) Rohrdraht mit Gummi als Füllmaterial. Der längsgefalzte, glatte oder gerillte Metallmantel ist mit einer chemisch und elektrisch widerstandsfähigen, äußeren Umhüllung versehen. NBU Wie NRU, aber mit nahtlosem Bleimantel anstelle des gefalzten Metallmantels. NBEU Wie NBU, aber mit zusätzlich doppelter Eisenbandbewehrung in der äußeren Umhüllung Kuplerleiter mit Gummihülle umgeben, Beflechtung aus Baumwolle, Glanzgarn oder Seide.	Iliegendem, gefalztem Metallmantel (nicht Bleimantel). Bei Mehrfachleitungen sind die Hohlräume mit Jute oder Bitumen ausgefüllt. NRAN mit Beidraht unter dem Metallmantel. NRAN, mit Beidraht unter dem Metallmantel. NRAN, mit Beidraht unter dem Metallmantel. (Einfachleitungen müssen, Mehrfachleitungen können mit einem Beidraht versehen sein.) Rohrdraht mit Gummi als Füllmaterial. Der längsgefalzte, glatte oder gerillte Metallmantel ist mit einer chemisch und elektrisch widerstandsfähigen, äußeren Umhüllung versehen. NBU Wie NRU, aber mit nahtlosem Bleimantel anstelle des gefalzten Metallmantels. NBEU Wie NBU, aber mit zusätzlich doppelter Eisenbandbewehrung in der äußeren Umhüllung Kuplerleiter mit Gummihülle umgeben, Beflechtung aus Baumwolle, Glanzgarn oder Seide. Kuplerleiter mit Gummihülle umgeben, Beflechtung aus Schluß ortsverän braucher nicht drahtzügen ist		

Be	zeichnung	Aufbau	Verwendung						
Pendelschnüre	NPL NPLR	Kupferleiter mit Baumwolle besponnen und mit Gummi- hülle umgeben. Die Ader und die anliegende Trag- schnur sind gemeinsam mit Baumwolle, Glanzgarn oder Seide umflochten. Zwei Adern, Tragschnur oder Tragseilchen und Füllmaterial sind rund verseilt und mit Baumwolle, Glanzgarn oder Seide beflochten.	Als Träger von Leuchten, z.B. Schnur- und Zugpendel.						
chlußleitungen	NSA	Kupferleiter bis 2,5 mm² mit Baumwolle besponnen, mit Gummihülle umgeben und einer Beflechtung aus Baumwolle, Glanzgarn oder Seide. Bei flachen Schnüren sind zwei nebeneinander liegende nackte Adern gemeinsam beflochten. Bei runden Schnüren sind die Adern, Füllmaterial und etwa vorhandene Tragschnur rund verseilt und gemeinsam beflochten.	In trockenen Räumen zum Anschluß orts- veränderlicher Energieverbraucher.						
Bewegliche Anschlußleitungen	NWK	Kupferleiter bis 2,5 mm² mit Baumwolle besponnen, mit Gummihülle umgeben und mit gummiertem Baumwoll- band bewickelt. Zwei oder mehrere Adern sind mit Füllmaterial rund verseilt und mit Faserstoff beflochten Darüber folgt eine zweite Beflochtung aus Hanfkordel oder dergl. Etwa vorhandene Schutzleitung liegt inner- halb der inneren Beflechtung.	In Werkstätten und Wirtschaftsräumen zum Anschluß ortsveränderlicher Energie- verbraucher.						

Anschlußleitungen	NLHG	Kupferleiter mit Baumwolle besponnen und mit Gummihülle umgeben. Zwei oder mehrere Adern sind verseilt und gemeinsam mit Gummi umpreßt. Wie NLH, aber mit Beflechtung aus Baumwolle, Glanzgarn oder Seide.	Zum Anschluß von Tischlampen, leichten Handgeräten und Elektrowärmegeräten (Bügeleisen u. ä.).
	NMH	Wie NLH, aber Gummihülle der Adern und Gummimantel im allgemeinen dicker.	Zum Anschluß von Küchen- und kleinen Werkstattgeräten. (Handbohrmaschi- nen, Handleuchter u. s. w.)
Bewegl.	NSA	Adern wie bei NWK. Zwei oder mehrere Adern sind ver- seilt und gemeinsam mit Gummimantel umpreßt. Da- rüber Baumwollband und ein zweiter Gummimantel.	Für besonders hohe mechanische Anfor- derungen beim Anschluß ortsveränder- licher Geräte wie schwere Werkzeuge, fahrbare Motoren, landwirtschaftliche Maschinen u. s. w.
(E)	hi ali	c) Bleikabel.	
leikabel	NGK	Kupferleiter verzinnt, 2 Lagen verschiedenfarbiger Gummi, gummiertes Baumwollband-Bleimantel und Bewehrung wie bei Papierkabel,	Für Kahlenkräne, Drehscheiben, Schiebe- bühnen u. s. w.
Gummibleikabe	NRGK	Kupferleiter mit Gummihülle umgeben, Beflechtung aus Baumwolle, Bleimantel, Papierband und Jutebedeckung.	Zur Verbindung des Schaltgerätes mit dem Beleuchtungsfeld einer Reklamebe- leuchtung.
Papier- bleikabel	NKBA	NK für Kabel mit blankem Bleimantel. Asphaltierung und Bewehrung wird durch Zusatzbuchstaben ausgedrückt.	Für Verlegung im Erdboden.

	Zuoluning dei Beningen zu den Komweiten.																																		
Leiter- querschnitt	1 NGA 2 NGA über unter über unter Putz Putz				r	3 NGA 3 NGA od. über unter über unter Putz				L						2 NGA u. NL über unler Putz																			
9	177	Rohrweite in mm															GI	36																	
mm ²												St																							
1,5	11	8	11	13,5	14	13,5	11	141	3.5	13,5	14	13,5	13,5	14	13,5	16	14 1	6 1	6 1	8 16	23	18	21	11	14	13,5	13,	5 14	13,5	13,5	5 14 :	13,5	16	14 1	6
V. 13048	11			1000						2 1		16								1	1					- 1				1			1		
				1100			-		+	82.		21				27					+		+	-00			1+		+	1			133		
	723			1	+		1			175		21				1	18-	+1	-	-				+		+-				160			1	-	+
10	100	+								77		29				150		-	+	+	1+		+-				100		+	200			2		
16	1		100	1			175	+				29	1			1		8 3						1777			.530					+	1		
25		+		033						132		36	300											+		+	1		+						
35	UB			1			10		+	100		36				101		1			100			15-50			1-		+	128					
50	78			+		+	33			1		42						12			100			+		+	13								
70				163			100					42	1007								100	1	Ē	48		42	48		42	48	13	42	1-	-	-

 ^{1 =} Isolierrohr.
 P = Peschelrohr.
 St = Stahlpanzerrohr.
 Für kurze gerade Strecken bis ca. 4 m Länge kann die nächst kleinere Rohrweite verwendet werden.

Freileitungen.

Freileitungen werden in der Regel aus hartgezogenem Kupferdraht, Bronze oder Aluminium hergestellt. Ferner kommen aus Aluminium und Stahl zusammengesetzte Seile zur Anwendung. Für Niederspannungs-Freileitungen kann blanker oder isolierter Draht verwendet werden. Bei Hochspannung ist nur blanker Draht zulässig.

Bei kleineren Spannungen verwendet man hölzerne Masten, bei größeren Spannungen hauptsächlich eiserne Gittermaste oder Maste aus Beton. Die Befestigung der Drähte an den Masten erfolgt mittels Isolierglocken. Diese spielen für die Betriebssicherheit der ganzen Anlage eine wichtige Rolle. Sie werden im allgemeinen aus Porzellan hergestellt,

doch gibt es auch solche aus Steatit.

Die Leitungen sollen so angebracht werden, daß sie weder vom Erdboden noch von Dächern, Fenstern u. s. w. aus zugänglich sind. Hochspannungsleitungen sollen mindestens 6 m von der Erde, bei Überkreuzung befahrbarer Wege mindestens 7 m von der Fahrbahn entfernt sein. Über Ortschaften oder in unmittelbarer Nähe von Verkehrswegen müssen die Leitungen mit entsprechend erhöhter Sicherheit ausgeführt werden. Die Maste von Freileitungen mit mehr als 1000 Volt müssen durch einen roten Blitzpfeil gekennzeichnet werden.

Der Leitungsquerschnitt.

Die elektrischen Leitungen müssen eine genügende mechanische Festigkeit besitzen, sie dürfen keine unzulässige Erwärmung erfahren, und der Spannungs- bezw. Leistungsverlust in den Leitungen darf ein festgesetztes Maß nicht überschreiten. Der Spannungsverlust soll in Beleuchtungsanlagen 2 bis 3 % nicht übersteigen. In Kraftanlagen ist ein etwas höherer Verlust zulässig. Bei Speiseleitungen kann je nach den besonderen Verhältnissen ein Verlust von 10 % und mehr zugrunde gelegt werden.

Mechanische Festigkeit der Leitungen.

Mit Rücksicht auf ihre mechanische Festigkeit beträgt der geringste zulässige Querschnitt einer Kupferleitung:

f. Leitungen an u. in Beleuchtungskörpern	0.75	mm ²
für Pendelschnüre, runde Zimmerschnüre u.	STORY.	
	0.75	mm ²
für andere ortsveränderliche Leitungen .	1	mm2
für festverlegte isolierte Leitungen und für		
festverlegte umhüllte Leitungen, sowie		
für Rohrdrähte und Bleikabel	1,5	mm2
für festverlegte isolierte Leitungen in Ge-	STATE OF	
bäuden und im Freien, bei denen der		
Abstand der Befestigungspunkte mehr		
als 1 m beträgt		mm ²
f. blanke Leitungen bei Verlegung in Rohr	1,5	mm ²
für blanke Leitungen in Gebäuden und im		
Freien	4	mm ²
f. Freileitungen mit Spannweiten bis 35 m	6	mm²
für Aluminiumseil	16	min ²
	10	mm ²
für Freileitungen in allen anderen Fällen		
für Aluminiumseil	25	mm ²

Erwärmung der Leitungen.
In nachstehender Tabelle sind die normalen Leitungsquerschnitte zusammengestellt.

tungs	quersenn	itte zusam	mengest	ent.	
Quer-	k		1	Alumini	umleitungen
schnitt mm²	zulässige Stromstärke A	Nennstromstärke der Sicherung A	aussetzender Betrieb A	zulässige Stromstärke A	Nennstromstärke der Sicherung A
0.75 1.0 1.5 2.5 4 6 10 16 25 35 50 70 95 120 150		6 6 10 15 20 25 35 60 80 100 - 125 160 200 225 260	9 11 14 20 25 31 60 105 140 175 225 280 335 400 460	8 11 16 20 24 34 60 80 100 125 155 190 220 225	6 6 10 15 20 25 35 60 80 100 125 160 200 225
185 240 310 400 500 625 800 1000	380 450 540 640 760 880 1050 1250	300 350 430 500 600 700 850	530 630 730 900	223	223

Um eine zu hohe Erwärmung der Leitungen auszuschließen, sollen nach den Vorschriften des V. D. E. isolierte Leitungen höchstens mit der in der Tabelle als "zulässige Stromstärke" verzeichneten Werten dauernd belastet werden. Die Sicherungen sind nach der in der Tabelle angegebenen Nennstromstärke zu bemessen.

Blanke Kupferleitungen bis zu 50 mm² Querschnitt unterliegen gleichfalls den Vorschriften der vorstehenden Tabelle. Auf blanke Leitungen über 50 mm² Querschnitt sowie auf alle Freileitungen finden sie dagegen keine Anwendung. Diese sind so zu bemessen, daß sie keine für die Umgebung gefährliche Temperatur annehmen können.

Bei aussetzendem Betrieb ist die Erhöhung der Belastung der Leitungen von 10 mm² aufwärts auf die Werte der Spalte 4, die etwa 40 % höher sind, als die Werte der Spalte 2, zulässig, falls die relative Einschaltdauer 40 % und die Spieldauer 10 Minuten nicht überschreiten. Bei aussetzenden Motorbetrieben darf die Nennstromstärke der Sicherungen höchstens das 1,5 fache der Werte der Spalte 4 betragen.

Im Erdboden verlegte Kabel können höher beansprucht werden, da die in ihnen sich entwickelnde Wärme vom Erdboden gut abgeleitet wird. Für

Kabel gilt folgende Belastungstabelle:

Belastungstabelle für im Erdboden verlegte Kabel. (Kupfer)

	A CONTRACTOR	4	970												
Art des	Für Span-	Zulässige Belastung in Ampere bei einem Querschnitt von mm²													
Kabels	nungen bis Volt	1	1.5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95		
Einleiter für Gleichstrom mit und ohne Prüfdraht	750	24	31	41	55	70	95	130	170	210	260	320	385		
Zweileiter verseilt	3000	19	25	33	42	53	70	95	125	150	190	230	275		
Dreileiter verseilt	3000	17	22	29	37	.47	65	85	110	135	165	200	240		

Art des	Für Span-	Zulässige Belastung in Ampere bei einem Querschnitt von mu ²												
Kabels	nungen bis Volt	120	150	185	240	310	400	500	€25	800	1000			
Einleiter für Gleichstrom mit und ohne Prüfdraht	750	450	510	575	670	785	910	1035	1190	1380	1585			
Zweileiter verseilt	3000	315	360	405	470	545	635	_		-				
Dreileiter verseilt	3000	.80	315	360	420	490	570	-	-	-				

Bei Verlegung von Kabeln in Luft oder bei Anordnung in Kanälen und dergleichen, Anhäufung von Kabeln im Erdboden oder ähnlichen ungünstigen Verhältnissen empfiehlt es sich, die Belastung auf 3/4 der in der Tabelle angegebenen Werte zu ermäßigen.

Spannungsverlust in den Leitungen.

Elektrische Leitungen sind so zu bemessen, daß die Energieverbraucher eine ausreichende Spannung erhalten. Der Spannungsverlust ist bei geringer Belastung klein, bei voller Belastung am stärksten. ist also nicht zu vermeiden, daß die Spannung an den Verbrauchsstellen schwankt. Die Lichtabgabe der Glühlampen ändert sich stark mit der Betriebsspannung, der Betrieb von Motoren wird durch mäßige Spannungsschwankungen wenig gestört. Ein geringer Spannungsabfall erfordert große Leitungsquerschnitte und führt zu einer teuren Anlage. Man wird den technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten gerecht, wenn man den Spannungsabfall unterhalb der folgenden Werte hält:

Spannungsabfall im Verteilungsnetz 3% der Betriebs-

spannung, Spannungsabfall in Lampenstromkreisen 1% der Betriebsspannung,

Spannungsabfall in Motorenstromkreisen 5% der Be-

triebsspannung.

Der Spannungsverlust in Volt beträgt, wenn U die Betriebsspannung und p der prozentuale Spannungsverlust bedeutet,

$$Uv = \frac{p \cdot U}{100} \qquad (1)$$

$$Uv = \frac{2 \cdot \varrho \cdot J \cdot I}{q} \quad (2)$$

Der Spannungsverlust in der Leitung ist $Uv = \frac{2 \cdot \varrho \cdot J \cdot 1}{q} \quad \mbox{(2)}$ wobei 1 in m und q in mm² einzusetzen ist. Bei vorgeschriebenem Spannungsverlust ist der erforderliche Querschnitt

 $q = \frac{2 \cdot \varrho \cdot J \cdot I}{I \cdot I_{rr}}$

Beispiel: Ein Elektromotor verbraucht N= 10 kW bei einer Betriebsspannung U = 440 Volt. Die Leitungslänge ist 1 = 500 m, der zulässige Spannungsverlust p = 4 %.

Spannungsverlust p = 4 %. Spannungsverlust p = 4 %. Stromstärke $p = \frac{N}{U} = \frac{10000}{100} = 17.6 \text{ Volt}$ Stromstärke $p = \frac{N}{U} = \frac{10000}{440} = 22.8 \text{ Amp.}$ Querschnitt $p = \frac{2 \cdot 0.1.1}{U_V} = \frac{2 \cdot 0.0175 \cdot 22.8 \cdot 500}{17.6} = 22.7 \text{ mm}^2$

Gewählt wird der nächststärkere Normalquerschnitt $q = 25 \text{ mm}^2$.

Mehrfachbelastete Leitungen.

a) mit durchgehendem Querschnitt. In jedem mehrstöckigen Gebäude stellt die Steigeleitung eine mehrfach belastete Leitung dar. Die Bercchnung erfolgt, wenn die Belastungen in den einzelnen Stockwerken nicht allzu verschieden sind, als durchgehender gleichmäßiger Leiter.

Man findet den Spannungsabfall bis zum Ende

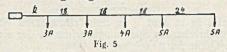
der Leistung:

$$Uv = \frac{2 \cdot \ell}{q} \left(J_1 \cdot l_1 + J_2 \cdot l_2 + J_1 \cdot l_3 \right)$$

$$Uv = \frac{2 \cdot \ell}{q} \Sigma J \cdot l \quad (3)$$
Setzt man für $J = \frac{N}{U}$ dan ist:

$$Uv = \frac{2 \cdot \varrho}{q \cdot U} \Sigma N \qquad (4)$$

Beispiel: Ein Stromkreis ist nach untenstehender Fig. 5 belastet. Die unterstrichenen Zahlen stellen die Leitungslängen in m dar. Die Betriebs-



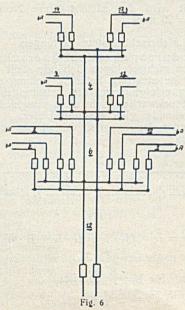
spannung beträgt 220 Volt, der zulässige Spannungsverlust 1 %. Wie groß wird der Leitungsquerschnitt?

$$Uv = \frac{p \cdot U}{100} = \frac{1 \cdot 220}{100} = 2,2 \text{ Volt}$$

$$q = \frac{2 \cdot q}{Uv} \cdot J \cdot 1 = \frac{2 \cdot 0,0175}{2,2}$$

 $(5.24 + 10.18 + 14.18 + 17.18 + 20.6) = -15.6 \,\mathrm{mm}^2 - 16 \,\mathrm{mm}^2$

Beispiel: Die Leitungsanlage in einem dreigeschossigen Wohnhaus ist nach Fig. 6 angeordnet und belastet. Der zulässige Spannungsabfall beträgt vom Hausanschluß bis zur entferntesten Verbrauchs-



stelle 2 % der Betriebsspannung. Netzspannung 220 Volt

Die Leitungslängen der einzelnen Stromkreise sind Mittelwerte. Man findet diese nach der Formel

$$I = \frac{\Sigma J \cdot 1}{J} \tag{5}$$

Die mittlere Leitungslänge des Stromkreises h berechnet sich z. B. wie folgt:

$$1 = \frac{\Sigma J.1}{J} = \frac{2.3.8 + 2.53.6 + 3.73.4 + 3.96.2 + 4.64.3.5 + 5.09.3}{5.09}$$

$$1 = 17.3 \text{ m}$$

Die Verteilungsleitungen werden normal mit einem Querschnitt von 1,5 mm² verlegt. Man berechne daher den maximalen Spannungsverlust in den Verteilungsstromkreisen. Dieser tritt offenbar in Stromkreis h auf und berechnet sich

$$Uv = \frac{2 \cdot \varrho \cdot J \cdot 1}{\varrho} = \frac{2 \cdot 0.0175 \cdot 6 \cdot 17.3}{1.5} = 2.42 \text{ Volt}$$

Da der gesamte Spannungsverlust 2 % von 220 = 4,4 Volt betragen darf, steht für die Steigeleistung noch ein Verlust von 4,4 - 2,42 = 1,98 Volt zur Verfügung.

Steigeleitungsquerschnitt
$$q = \frac{2 \cdot \varrho}{Uv} \Sigma J \cdot I = \frac{2 \cdot 0,0175}{1,98}$$

folglich Uv =
$$\frac{(12.4 + 24.6 + 48.12)}{16} = -13.5 \text{ mm}^2 - 16 \text{ mm}^2$$

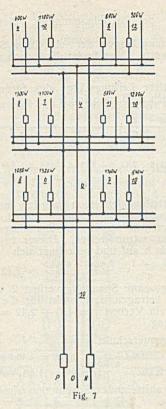
folglich Uv = $\frac{2.0.0175}{16}$ 768 = 1.68 Volt

Maximal auftretender Spannungsverlust Uv $_{\rm max}=2,42+1,68=4,1~{
m Volt}=\sim1,87~\%$

Gleichstrom-Dreileiter-Lichtanlagen.

Die Beleuchtungsanlage eines Fabrikgebäudes ist nach Fig. 7 belastet. Die unterstrichenen Zahlen geben die Leitungslängen in man. Netzspannung 2 · 220 Volt. Zulässiger Spannungsverlust 2 %. Wie groß werden die Leitungsquerschnitte?

Die Stromkreise sind gleichmäßig auf beide Netzhälften verteilt. Da der vorgeschriebene Mindestquerschnitt für Verteilungsleitungen 1,5 mm² ist, erübrigt sich in den meisten Fällen eine Querschnitts-



berechnung. Die Spannungsverluste in den einzelnen Stromkreisen berechnen sich:

$$Uv = \frac{2 \cdot 0}{q \cdot U} \text{ N . 1}$$
a) $Uv = \frac{2 \cdot 0.0175}{1.5 \cdot 2 \cdot 0} 1080 \cdot 8 = 0.92 \text{ V}$
b) $Uv = \frac{2 \cdot 0.0175}{1.5 \cdot 220} 1320 \cdot 6 = 0.84 \text{ V}$
c) $Uv = \frac{2 \cdot 0.0175}{1.5 \cdot 220} 1160 \cdot 7 = 0.86 \text{ V}$
d) $Uv = \frac{2 \cdot 0.0175}{1.5 \cdot 220} 840 \cdot 10 = 0.89 \text{ V}$

e)
$$Uv = \frac{2.0,0175}{1.5.220}$$
 1300 . 8 = 1,1 V
f) $Uv = \frac{2.0,0175}{1.5.220}$ 1100 . 9 = 1,05 V
g) $Uv = \frac{2.0,0175}{1.5.220}$ 800 . 11 = 0,93 V
h) $Uv = \frac{2.0,0175}{1.5.220}$ 1200 . 10 = 1,27 V
i) $Uv = \frac{2.0,0175}{1.5.220}$ 600 . 6 = 0,38 V
k) $Uv = \frac{2.0,0175}{1.5.220}$ 1100 . 10 = 1,17 V
l) $Uv = \frac{2.0,0175}{1.5.220}$ 800 . 8 = 0,68 V
m) $Uv = \frac{2.0,0175}{1.5.220}$ 900 . 12 = 1,15 V

Die Steigeleitung führt eine Spannung von 440 Volt. Die Stromstärke in jedem Außenleiter ist

$$J = \frac{N}{U} = \frac{12200}{440} = 27.8 \text{ Amp.}$$

Diese Stromstärke erfordert nach der Belastungstabelle einen Querschnitt von 10 mm², mit 35 Amp. Sicherung. Der Nulleiterquerschnitt wird einen Normalquerschnitt schwächer gewählt, nämlich 6 mm². In Dreileiteranlagen darf der Nulleiter nicht gesichert werden.

Der Spannungsverlust in der Steigeleitung be-

rechnet sich:

$$\begin{array}{c} Uv = \frac{2 \cdot \varrho}{q \cdot U} \pm N \cdot I = \frac{1 \cdot 0.0175}{10 \cdot 440} \\ & (3400 \cdot 4 + 7800 \cdot 6 + 12200 \cdot 10) = 0.73 \text{ Vol}. \end{array}$$
 Der maximale Spannungsverlust der Anlage ist

Der maximale Spannungsverlust der Anlage i $1,27 + 0,73 = 2,00 \text{ Volt} \sim 0,91 \%$

b) Abgestufte Leitungen.

Die Abstufung der Leitungen führt zu erhöhten Verlegungskosten. Sie ist nur dann angebracht, wenn die Leitungsstrecken lang und die Belastungsunterschiede groß sind.

Beispiel: Für die Leitung, Fig. 8, sind die Kupferquerschnitte zu bestimmen. Netzspannung 110

Volt, zulässiger Spannungsverlust 10%.

Man setzt für jeden Leitungsabschnitt einen Querschnitt a' = 1 J ein.

$$q'_1 = \sqrt{116} = -10.8$$
; $q'_2 = \sqrt{56} = -7.5 \cdot q'_3 = \sqrt{31} = -5.6$;
 $q'_4 = \sqrt{16} = 4$; $q'_5 = \sqrt{6} = -2.7 \text{ mm}^2$.

Diese vorläufigen Querschnitte eingesetzt, ergibt einen Spannungsabfall

$$Uv = 2.0.2 \frac{J.1}{2} = 2.0,0175$$

$$Uv = 2 \cdot \varrho \cdot \Sigma \frac{J \cdot I}{q'} = 2 \cdot 0.0175$$

$$\left(\frac{116 \cdot 30}{10.8} + \frac{56 \cdot 40}{7.5} + \frac{31 \cdot 50}{5.6} + \frac{16 \cdot 40}{4} + \frac{6 \cdot 40}{2.7}\right) = 40.2 \text{ Volt}$$

Dieser Spannungsabfall dividiert durch den zugelassenen Spannungsabfall ergibt den Koeffizienten, mit welchem der vorläufige Querschnitt q' multipliziert werden muß, um den richtigen Querschnitt zu erhalten.

10% von 110 Volt=11 Volt;
$$\frac{40.2}{11}$$
 = 3.65

Es ergeben sich dann folgende Querschnitte:

$$q_1 = 3,65 \cdot 10,8 = 39,5 \sim 50 \text{ mm}^2;$$

$$q_2 = 3,65 \cdot 7,5 = 27,4 \sim 25 \text{ mm}^2;$$

$$q_1 = 3,65$$
 $7,5 = 27,4 \sim 25 \text{ mm}^2$;
 $q_3 = 3,65$ $5,6 = 20,5 \sim 25 \text{ mm}^2$;
 $q_4 = 3,65$ $4 = 14,6 \sim 16 \text{ mm}^2$.

Der Querschnitt qs müßte 10 mm² werden, da aber vorher einige Querschnitte aufgerundet wurden, berechnet man zunächst den Spannungsverlust in qui qu

$$Uv = 2.0,0175 \left(\frac{116.30}{50} + \frac{56.40}{25} + \frac{31.50}{25} + \frac{16.40}{16} \right) = 9,15 \text{ V}.$$

Da ein Spannungsverlust von 11 Volt zugelassen ist, stehen für q5 = 11-9,15 = 1,85 Volt zur Verfügung, folglich

 $q_5 = \frac{2.0,0175}{1.85} \cdot 6 \cdot 40 = 4,54 \text{ m/m}^2 \sim 6 \text{ m/m}^2.$

Doppelt gespeiste Leitungen.

Fig. 9 stellt eine Leitung dar, deren beide Enden A und B an das Verteilungsnetz angeschlossen sind. Einer solchen Leitung fließt von beiden Seiten Strom zu, sie heißt daher eine doppelt gespeiste Leitung. Herrscht an beiden Leitungsenden das gleiche Potential, so findet in der Leitung kein Spannungsverlust statt. Sieht man den Speisestrom Ji als negative Belastung an, so ist die Anlage wie eine nur bei B gespeiste Leitung zu behandeln. Bei einer einseitig gespeisten Leitung ist der Spannungsverlust Null,

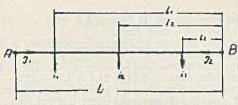


Fig. 9

wenn die Summe der Strommomente bezogen auf den Speisepunkt Null ist. Es ergibt sich also: $i_1 \cdot l_1 + i_2 \cdot l_2 + i_3 \cdot l_3 - J_1 \cdot L = 0$ oder $J_1 L = \Sigma$ (i·l).

Das Moment eines Speisestromes ist gleich der Summe der Strommomente der Verbraucher bezogen auf den zweiten Speisepunkt.

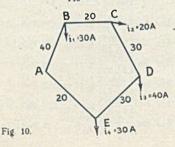
Bezieht man die Momente auf den Punkt B, so erhält man folgende Gleichung für den Speisestrom J₁.

$$J_1 = \frac{\Sigma i \cdot L \text{ bezogen auf den Speisepunkt B}}{(5)}$$

Außerdem muß nach dem ersten Kirchhoffschen Gesetz $J_1+J_2=\mathfrak{L}$ (i) sein. Die Ströme in jedem Leitungsabschnitt ergeben sich aus den Speise- und Belastungsströmen nach dem 1. Kirchhoffschen Satz. Einem der Energieverbraucher fließt der Strom von beiden Seiten zu, für diesen ist der Spannungsverlust am größten.

Beispiel: Vier Motoren sind nach Fig. 10 an eine Ringleitung angeschlossen, die bei A doppelt gespeist wird. Der zulässige Spannungsverlust beträgt 6 Volt. Es ist der Querschnitt zu bestimmen.

Der Speisestrom im Strange A B folgt aus Formel 5 $J_1 = \frac{30 \cdot 20 + 40 \cdot 50 + 20 \cdot 80 + 30 \cdot 100}{140} = 51.4 \text{ Amp.}$



Der Speisestrom im Strang AE ist $J_2 = \Sigma$ (i) $-J_1$

 $J_2 = 120 - 51,4 = 68,6$ Amp.

Rechnet man die Ströme in der Richtung AB positiv, so erhält man Leitungsabschnitt AB BC CD DE EA Stromstärke Amp. +51,4 +21,4 +1,4 —38,6 —68,6 Punkt D bekommt also von beiden Seiten Strom; bei D ist also der Spannungsverlust am größten. Man denke sich daher die Leitung an dieser Stelle durchschnitten und berechne den Querschnitt für das Leitungsstück AED wie bei einer einseitig gespeisten

Leitung (Fig. 11). $q = \frac{2 - \varrho}{11 \pi} \Sigma J.1 = \frac{2 \cdot 0.0175}{6} (38.6 \cdot 30 + 68.6 \cdot 20) = 14.8 \text{ mm}^2 - 16 \text{ mm}^2$

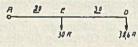


Fig. 11

Drehstrom-Vierleiter-Lichtanlagen.

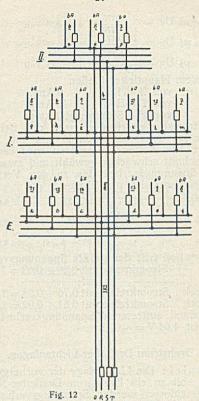
Eine größere Beleuchtungsanlage soll an Drehstrom 220/380 Volt angeschlossen werden. Die Stromverteilung geht aus Fig. 12 hervor. Die Längen für die Verteilungsleitungen stellen Mittelwerte dar. Alle unterstrichenen Zahlen sind Längen in m. Der Spannungsverlust soll bis zur letzten Lampe 2% der Betriebsspannung nicht überschreiten.

Die Stromkreise werden gleichmäßig auf alle drei Phasen verteilt. Man nehme für die Verteilungsleitungen den Mindestquerschnitt mit 1,5 mm² an und

berechne die Spannungsverluste.

the Spanningsvertuste.

$$Uv = \frac{2 \cdot 0}{9} J \cdot 1$$
a) $Uv = \frac{2 \cdot 0.0175}{1.5 \cdot 220} 6 \cdot 11 = 0.7 \text{ Volt}$
b) $Uv = \frac{2 \cdot 0.0175}{1.5 \cdot 220} 6 \cdot 12 = 0.76 \text{ Volt}$
c) $Uv = \frac{2 \cdot 0.0175}{1.5 \cdot 220} 6 \cdot 14 = 0.89 \text{ Volt}$
d) $Uv = \frac{2 \cdot 0.0175}{1.5 \cdot 220} 6 \cdot 13 = 0.83 \text{ Volt}$
e) $Uv = \frac{2 \cdot 0.0175}{1.5 \cdot 220} 6 \cdot 9 = 0.57 \text{ Volt}$
f) $Uv = \frac{2 \cdot 0.0175}{1.5 \cdot 220} 6 \cdot 8 = 0.51 \text{ Volt}$



g)
$$Uv = \frac{2.0,0175}{1,5.220} 6.8 = 0.51 \text{ Volt.}$$
h) $Uv = \frac{2.0,0175}{1,5.220} 6.6 = 0.38 \text{ Volt.}$
i) $Uv = \frac{2.0,0175}{1,5.220} 6.9 = 0.57 \text{ Volt.}$
k) $Uv = \frac{2.0,0175}{1,5.220} 6.10 = 0.64 \text{ Volt.}$
l) $Uv = \frac{2.0,0175}{1,5.220} 6.12 = 0.76 \text{ Volt.}$
m) $Uv = \frac{2.0,0175}{1,5.220} 6.7 = 0.45 \text{ Volt.}$

n) Uv =
$$\frac{2.0,0175}{1,5.220}$$
 6.6 = 0,38 Volt

o) Uv =
$$\frac{1,5.220}{2.0,0175}$$
 6.8 = 0,51 Volt

p)
$$Uv = \frac{2.0,0175}{1.5.220} 6.7 = 0.45 \text{ Volt}$$

In iedem Hauptleiter fließen

von II + I von I + E 18 Amp. von E - Sicherung 30 Amp.

Diese Stromstärke erfordert nach der Belastungstabelle einen Querschnitt von 10 mm2 mit 35 Amp. gesichert. Der Nulleiterquerschnitt wird einen Normalquerschnitt schwächer gewählt und zwar 6 mm2.

Der Spannungsverlust bis zu den Verteilungs-

tafeln berechnet sich pro Phase:

E) Uv =
$$\frac{\theta}{q}$$
 Σ J . 1 = $\frac{0.0175}{10}$ 30 . 12 = 0.63 Volt

I)
$$Uv = \begin{bmatrix} 0.0175 \\ 10 \end{bmatrix}$$
 (30 . 12 + 18 . 8) = 0.88 Volt
II) $Uv = \begin{bmatrix} 0.0175 \\ 10 \end{bmatrix}$ (504 + 6 . 4) = 0.92 Volt

Stromkreis c mit 0.89 + 0.63 = 1.52 Voltauf;

im I. Stock Stromkreis I mit 0.76 + 0.88 = 1.64 Volt, im II. Stock Stromkreis o mit 0.51 + 0.92 = 1.43 Volt. Der maximal auftretende Spannungsverlust in der Anlage ist $1.64 \text{ V} = \sim 0.75 \%$.

Drehstrom-Dreileiter-Lichtanlagen.

Beispiel: Die Lichtanlage der vorhergehenden Aufgabe soll an ein Drehstrom-Dreileiter-Netz 220 Volt angeschlossen werden. Spannungsverlust 2%.

Die Spannungsverluste in den Stromkreisen sind aus der vorhergehenden Aufgabe zu entnehmen. In

der Steigeleitung fließen

 $1.73 \cdot 6 = 10.4 \text{ Amp.}$ von II + I von I + E 1,73 · 18 = 31,2 Amp. von E + Sicherung 1,73 · 30 = 52 Amp.

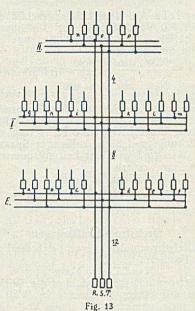
Diese Stromstärke erfordert nach der Belastungstabelle einen Querschnitt von 16 mm² mit 60 Amp. gesichert. Der Spannungsverlust bis zu den Verteilungstafeln berechnet sich:

$$Uv = \frac{1,73 \cdot \varrho}{q} \Sigma J \cdot I$$

E)
$$Uv = \frac{1,73 \cdot 0,0175}{16} \cdot 52 \cdot 12 = 1,18 \text{ Volt}$$

I) $Uv = \frac{1,73 \cdot 0,0175}{16} (624 + 31,2 \cdot 8) = 1,65 \text{ Volt}$

II) $Uv = \frac{1,73 \cdot 0,0175}{16} (873,6 + 10,4 \cdot 4) = 1,73 \text{ Volt}$



Der größte Spannungsverlust entsteht im Erdgesch. Stromkreis c mit 0.89 + 1.18 = 2.07 Volt, im I. Stock Stromkreis 1 mit 0.76 + 1.65 = 2.41 Volt, im II. Stock Stromkreis o mit 0.51 + 1.73 = 2.24 Volt. Der maximale Spannungsverlust in der Anlage ist 2.41 Volt = ~ 1.1 % (Fig. 13).

Gleichstrom-Kraftanlagen.

Die auf dem Leistungsschild der Motoren angegebene Leistung ist immer die vom Motor abgegebene Leistung. Für die Berechnung der Zuleitung kommt jedoch nur die zugeführte Leistung bezw. Stromstärke in Frage.

$$N = \frac{NPS \cdot 736}{\eta} \cdot oder \frac{NkW \cdot 1000}{\eta}$$

$$J = \frac{NPS \cdot 736}{U \cdot \eta} \cdot oder \frac{NkW \cdot 1000}{U \cdot \eta}$$
(6)

Stromstarke in Frage. $N = \frac{Nps. 736}{\eta} \quad \text{oder} \quad \frac{N_k W. 1000}{\eta} \quad \text{(6)}$ $J = \frac{Nps. 736}{U. \eta} \quad \text{oder} \quad \frac{N_k W. 1000}{U. \eta} \quad \text{(7)}$ Beispiel: Auf dem Leistungsschild eines Motors steht 440 Volt, 80 kW, der Wirkungsgrad des Motors ist 90%. Wie groß ist die zugeführte Leistungs und Stremstärle 2000 voll 1000 v stung und Stromstärke?

$$N = \frac{N_{kW . 1000}}{\eta'} = \frac{80000}{0.9} = -89000 \text{ Watt}$$

$$J = \frac{N_{kW . 1000}}{U . \eta} = \frac{80.1000}{440..09} = -202 \text{ Amp.}$$
Beispiel: Zum Antrieb einer Transmission soll

ein Gleichstrommotor von 15 PS aufgestellt werden. Die Leitungslänge beträgt 200 m, Netzspannung 220 Volt, Wirkungsgrad 83%, zulässiger Spannungsverlust 4%. Wie groß wird der Leitungsquerschnitt?

$$J = \frac{\text{NPS} \cdot 736}{\text{U} \cdot \eta} = \frac{15 \cdot 736}{220 \cdot 0.83} = 60,5 \text{ Amp.}$$

$$q = \frac{2 \cdot 0 \cdot J \cdot 1}{\text{Uv}} = \frac{2 \cdot 0.0175 \cdot 60,5 \cdot 200}{8,8} = 48 \text{ mm}^2 - 50 \text{ mm}^2$$
Sicherungsstärke 80 Amp.

Drehstrom-Kraftanlagen.

Für Drehstrommotoren ergibt sich die Leistung N aus der Formel:

 $N = 1.73 \cdot U \cdot J \cdot \cos \varphi$.

Bei Drehstrom unterscheidet man die Wirkleistung, gemessen mit einem Wattmeter in Watt und die Scheinleistung, gemessen mit einem Volt- und einem Amperemeter Voltampere (VA). Das Verhältnis der Wirkleistung zur Scheinleistung nennt man den Leistungsfaktor, dieser wird mit cos q bezeichnet.

Bei Berechnung der zugeführten Stromstärke bezw. Leistung ist der Wirkungsgrad des Motors zu berücksichtigen. Der Wirkungsgrad darf nicht

mit dem Leistungsfaktor verwechselt werden. Zugeführte Leistung N = 1,73 · U · J cos φ · η (8) Zugeführte Stromstärke $J = \frac{N}{1.73 \cdot U \cdot \cos \eta \cdot \eta}$ (9)

Für die Berechnung der Zuleitung benutzt man die Formel:

 $q = \frac{1,73 \cdot \varrho \cdot J \cdot l \cdot \cos \varphi}{Uv} \qquad (10)$

oder $q = \frac{\varrho \cdot N \cdot 1}{U \cdot Uv \cdot \eta}$ (11)

worin N = abgegebene Leistung in Watt,
I = einfache Leitungslänge in m,
U = Spannung zwischen zwei Phasen,

Uv=Spannungsverlust in Volt bedeutet. Beispiel: Auf dem Leistungsschild eines Dreh-

stromnotors sind folgende Angaben gemacht: N = 5.5 kW, U = 380 Volt, $\eta = 86\% \text{ cos } q = 0.82$.

N = 5.5 kW, U = 380 Volt, η = 80% cos q = 0.82. Wie groß wird der Leitungsquerschnitt bei einer Leitungslänge von 95 m, wenn der Spannungsverlust 3% nicht überschreiten darf?

$$\begin{array}{l} J = \frac{N}{1,73 \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{5500}{1,73 \cdot 380 \cdot 0.82 \cdot 0.86} = 11,9 \text{ Amp} \\ q = \frac{1,73 \cdot \varrho \cdot J \cdot 1 \cdot \cos \varphi}{Uv} = \frac{1,73 \cdot 0.0175 \cdot 11,9 \cdot 95 \cdot 0.82}{11,4} \\ = 2,46 \text{ mm}^2 \sim 2,5 \text{ mm}^2 \end{array}$$

oder $q = \frac{\varrho \cdot N \cdot 1}{U \cdot Uv \cdot \eta} = \frac{0.0175 \cdot 5500 \cdot 95}{380 \cdot 11.4 \cdot 0.86} = 2.46 \text{ mm}^2 \sim 2.5 \text{ mm}^2.$

Anlaßstrom.

Das Verhältnis Anlaßspitzenstrom zu Nennstrom soll bei Vollastanlauf nicht überschreiten:

a) Gleichstrom-Motoren

Für Leistungen von 1,5 ÷ 5 kW 1,75 · Nennstrom Für Leistungen von 5 ÷ 100 kW 1,6 · Nennstrom b) Drehstrom - Motoren

Für Leistungen von 1,5 → 5 kW 1,75 Nennstrom Für Leistungen von 5 → 100 kW 1,6 Nennstrom

c) Drehstrom-Kurzschlußmotoren

von 1,5 ÷ 5 kW

bei 3000 und 1500 Touren/min. 2,4 Nennstrom bei 1000 und 750 Touren/min. 2,1 Nennstrom. Beispiel: Eine 20 m lange Hauptleitung geht

Beispiel: Eine 20 m lange Hauptleitung geht vom Hausanschluß bis zu einer Verteilungstafel. An dieser sind einige Lichtstromkreise und ein 15 kW-Drehstrom-Schleifring-Motor angeschlossen. Netzspannung 380/220 Volt, $\eta = 87\%$, $\cos \varphi = 0.89$. Der Spannungsverlust soll auch beim Einschalten des Motors 3% nicht überschreiten.

Stromaufnahme J = $\frac{N}{1.73 \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$ = $\frac{15000}{1.73 \cdot 380 \cdot 0.89 \cdot 0.87} = 29.5 \text{ Amp.}$

Anlaßspitzenstrom $J = 1,6 \cdot 29,5 = 47,3$ Amp.

Leitungsquerschnitt q = $\frac{1,73 \cdot \varrho \cdot J \cdot 1 \cdot \cos q}{Uv}$

 $= \frac{1,73 \cdot 0,0175 \cdot 47,3 \cdot 20 \cdot 0,89}{11,4} = 2,24 \text{ mm}^2 - 2,5 \text{ mm}^2$

Dieser Querschnitt darf jedoch nur bis 20 Amp. belastet werden, folglich muß ein Querschnitt von 10 mm² gewählt werden. Dieser kann zum Anlassen bis 60 Amp. belastet und mit 35 Amp. gesichert werden.

Berechnung auf Leistungsverlust.

a) Gleichstrom.

Neben dem Spannungsverlust kann bei Kraftanlagen auch der prozentuale Leistungsverlust für die Leistungsberechnung maßgebend sein. Er berechnet sich nach folgender Formel:

 $p = \frac{200 \cdot q \cdot N \cdot 1}{q \cdot U^{2} \cdot \eta}$ (12)

Beispiel: Ein Gleichstrom von 25 Amp. soll bei einer Netzspannung von 110 Volt und einem Spannungsverlust von 2 % auf einer Strecke von 63 m übertragen werden. Wie groß wird der Leitungsquerschnitt?

$$q = \frac{2 \cdot q \cdot J \cdot 1}{Uv} = \frac{2 \cdot 0.0175 \cdot 25 \cdot 63}{2.2} = -25 \text{ mm}^2$$

Wie groß wird der Leitungsquerschnitt, wenn ein Leistungsverlust von p = 2% zulässig ist?

$$q = \frac{200 \cdot \varrho \cdot N \cdot 1}{p \cdot U^2 \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 0.0175 \cdot (25 \cdot 110) \cdot 63}{2 \cdot 110^2 \cdot 1} = -25 \text{ mm}^2$$

Aus diesem Beispiel geht hervor, daß es bei Gleichstrom gleich ist, ob man nach Spannungs- oder Leistungsverlust rechnet.

b) Drehstrom.

Der Leistungsverlust in Drehstromanlagen berechnet sich:

$$p = \frac{100 \cdot \varrho \cdot N \cdot 1}{q \cdot U^{\parallel} \cdot \cos^2 \varphi \cdot \eta}$$
oder
$$p = \frac{100 \cdot \varrho \cdot N \cdot 1}{q \cdot U^{\parallel} \cdot \cos^2 \varphi \cdot \eta}$$

$$(13)$$

Beispiel: Ein Drehstrommotor 380 Volt, 7,5 kW soll an eine 110 m lange Drehstromleitung angeschlossen werden. Wirkungsgrad = 86%, Leistungsfaktor $\cos q = 0.85$. Wie groß wird der Leitungs-

querschnitt, wenn 3% Spannungsverlust zugelassen werden?

$$q = \frac{0. N \cdot 1}{U \cdot Uv \cdot \eta} = \frac{0.0175 \cdot 7500 \cdot 110}{380 \cdot 11.4 \cdot 0.86} \stackrel{\circ}{=} 3,88 \text{ mm}^{\text{g}} \sim 4 \text{ mm}^{\text{g}}$$

Wie groß wird der Leitungsquerschnitt bei 3% Leistungsverlust?

$$q = \frac{100 \cdot \varrho \cdot N \cdot 1}{p \cdot U^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot \eta} = \frac{100 \cdot 0.0175 \cdot 7500 \cdot 110}{3 \cdot 380^8 \cdot 0.85^2 \cdot 0.86} = 5.36 \text{ mm}^2 - 6 \text{ mm}^8$$

Bei Drehstrom bedingt also die Berechnung auf Leistungsverlust größere Querschnitte.

Querschnittsberechnung der Anlasserleitung.

Bei größeren Längen der Anlasserleitungen sind die Leitungsquerschnitte zu verstärken, sonst tritt eine Drehzahlverminderung ein. Bedeutet: (bei Schleifringläufer-Motoren ohne Bürstenabhebevorrichtung)

q = Leitungsquerschnitt in mm2,

1= Entfernung des Anlassers vom Motor in m,

i_R = Rotorstromstärke,

ns = synchrone Drehzahl,

n_z = zusätzlicher Drehzahlverlust (neben Schlupftourenzahl),

Us = max. Schleifringspannung (bei Stillstand des Rotors),

so ist der Läuferstrom:

$$i_R = \frac{NPS \cdot 736}{Us \cdot 1.45}$$
 (15)

Der Anlasserleitungsquerschnitt:
$$q = \frac{1,73 \cdot \varrho \cdot i_R \cdot l \cdot ns}{n_z \cdot us}$$
 (16)

Beispiel: Wie stark sind die Anlasserleitungen bei einem 12 PS-Drehstrom-Motor zu wählen, wenn n=1430 ($n_s=1500$), l=20 m, Us=78 Volt. Der Drehzahlverlust soll bei voller Leistung des Motors $n_z=30$ nicht überschreiten.

$$i_{R} = \frac{NPS \cdot 736}{Us \cdot 1.45} = \frac{12 \cdot 736}{78 \cdot 1.45} = -78 \text{ Amp.}$$

$$q = \frac{1.73 \cdot \varrho \cdot i_{R} \cdot 1 \cdot n_{z}}{n_{z} \cdot Us} = \frac{1.73 \cdot 0.0175 \cdot 78 \cdot 1500 \cdot 20}{30 \cdot 78}$$

$$= 30.3 \text{ mm}^{2} - 35 \text{ mm}^{2}$$

Stromstärke bei Vollast der Motoren. Stärke der Sicherung und Mindestquerschnitt der Kupferleitungen-Gleichstrom.

40 W h 200 W h 40 W h													
	Pa	1	10 Vo	lt	22	0 Vo	lŧ	4	40 V	olt	- 1-		
E Leistungs- abgabe Sd des Motors	S Wirkungsgrad	Stromstärke in der Zuleitung	> Sicherung	a Querschnitt	Stromstärke in der Zuleitung	> Sicherung	B Querschnitt	Stromstärkein der Zuleitung	> Sicherung	B. der Zuleitung	Sicherung ist bemessen für		
0,125 0,17 0,25 0,34 0,37 0,50 0,55 0,75 1,1 1,5 2 2,2 3 3,6 5 4,4 6 6,8 8,2 7,4 10 9 12,2 11 15 15 20,4 22 29,9 30 40,8 40 54,5 50 68 60 81 80 109 100 136	70 71 75 76 79 79 80 81 81 82 82 82 82 82 82 82 83 84 84 86 88 89 90 91	1.65 3.2 4.5 6.6 8.5 13.4 17.2 25 38 40 48 56 66 78 100 120 162 238 415 510 610 810	6 6 6 6 10 10 15 20 60 60 80 100 250 430 600 700 850 1000	1 1 1,5 1,5 2,5 4 10 10 16 16 16 16 25 35 50 95 150 240 300 500 800 800	0,85 1,6 2,3 3,3 4,3 6,7 8,6 12,5 16,5 20 24 28 33 39 50 60 81 1158 210 255 305 405 500	4 6 6 6 6 6 6 10 10 15 20 25 35 35 35 160 225 160 225 350 430 500	1 1 1 1 1,5 1,5 2,5 4 6 6 6 10 10 16 16 16 15 25 35 50 70 120 120 120 120 120 120 120 120 120 12	0.8 1,1 1,7 2,1 3,4 4,3 6,3 8,3 10 12 11 17 20 5 30 60 80 105 127 152 200 250	4 4 4 6 6 6 6 6 10 10 15 15 15 20 25 35 35 60 80 100 125 160 225 260	1 1 1 1 1 1,5 1,5 2,5 2,5 2,5 2,5 4 6 10 10 16 25 50 70 70 120 160 160	Vollastanlauf Haibiast-		

Sicherungen und Schalter.

Schmelzsicherungen.

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 Überlastungen und Kurzschlüssen der Stromweg durch Schmelzen eines Drahtes unterbrochen wird. Sicherungen sind grundsätzlich an allen Stellen anzubringen, an denen sich der Querschnitt der Leitungen nach der Verbrauchsstelle hin vermindert. Nulleiter und betriebsmäßig geerdete Leitungen sollen jedoch keine Sicherungen erhalten, dagegen dürfen wieder solche isolierten Leitungen, die sich von einem Nulleiter abzweigen und Teile

Charles .	1986	5130	S. Carlo	B) MAIN	110 Vol	t .	2,50031	220 Vol	t		380 Vol	t	Querschnitt	
Leistungs- abgabe	des	Wirkungs- grad	Leistungs- faktor	Stromstärke in der Zuleitung	Sicherung	Querschnitt der Zuleitung	Stromstärke in der Zuleitung	Sicherung	Querschaitt der Zuleitung	Stromstärke in der Zuleitung	Sicherung	Querschnitt der Zuleitung	der Schleif- ringleitungen für neben- stehende Spannungen	Sicherung ist bemessen für Motoren mit:
KW	PS	0/0	cos (A	A	mm ²	A	A	mm ²	A	A	mm ²	mm ² *)	A CONTRACTOR
0,12 0,25 0,37 0,55 1,1 1,5 2,2 3 3,6 4,4 5 6 7,4 9 11 15 22 30 40	0,17 0,34 0,5 0,75 1 1,5 2 3 4 5 6 6,8 8,2 10 12,2 15 20,5 29,9	67 77 80 83 83 85 85 86 86 86 86 86 87 88 89 90	0,69 0,79 0,83 0,83 0,84 0,84 0,86 0,87 0,83 0,85 0,85 0,85 0,85 0,85 0,87 0,87 0,87	1,5 2 2,9 3,9 5,8 9 11 16 26 27 32 36 46 46 27 100 150 200 270	4 6 10 6 10 10 15 20 25 35 35 60 60 60 80 100 125 160 225 300	1 1,5 1,5 1,5 2,5 2,5 2,5 4 6 10 10 16 16 16 16 25 35 50 70 120 185	0,7 1 1.5 2 2.9 4,5 5,5 8 13 13,4 15,7 17,8 23 27 31 38 50 76 100 135	2 2 4 6 6 6 10 15 15 20 25 35 35 36 60 60 80 125 160	1 1 1 1 1 1,5 1,5 2,5 2,5 4 4 6 10 10 16 16 28 50 70	0.4 0.6 0.9 1,2 1,7 2.6 4.6 7,5 7,8 9,1 10 13 15,5 18 29 45 60 80	2 2 2 4 4 6 6 6 10 10 10 15 15 20 25 35 35 60 80 100	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2,5 2,5 2,5 4 6 10 16 16 25 50 50	KA. mit unmittel- barer Einschaltung bei Halblast KA. mit Sterndrei- eckschalter b. Halb- lastanlauf od. SA. bei Vollastanlauf Schleifring- läufer bei Vollastanlauf
50 60 80 100	54,5 68 81 109 136	91 92 92 92 92	0,89 0,89 0,9 0,9	330 370 500 600	350 430 600 700	240 300 500 625	165 185 250 300	200 300 300 350	95 185 185 240	95 110 145 180	125 160 160 200	50 70 70 70 95	70 70 95 95	

eines Zweileitersystems sind, gesichert, aber nicht mehr zu Schutzerdungen benutzt werden. Wird ein solches System nur einpolig gesichert, so sollen die Abzweigungen vom Mittelleiter besonders gekennzeichnet werden. Die Sicherungen für die verschiedenen Netzteile einer Anlage sollen möglichst auf besonderen Verteilungstafeln vereinigt werden.

Die Stärke der Sicherung ist für jeden Normalquerschnitt aus der Belastungstabelle zu wählen, sofern nicht schwächere Sicherungen für den angeschlossenen Energieverbraucher verwendet werden

müssen.

Nach den VDE-Vorschriften sollen Sicherungen für niedrige Stromstärken unverwechselbar sein in der Weise, daß die fahrlässige oder irrtümliche Verwendung von Sicherungen für zu hohe Stromstärken ausgeschlossen ist. Für Sicherungen unter 6 Amp. wird eine Unverwechselbarkeit nicht verlangt.

Für kleine und mittlere Stromstärken werden meistens Patronensicherungen, die sog. Diazed-Sicherungen, verwendet. Die Überlastbarkeit der Sicherungen ist je nach der Stromstärke, für die sie bestimmt sind, verschieden. Für Patronensicherungen gelten

die nachstehenden Festsetzungen.

Nenn- strom- stärke der Sicherung A	Sicherung darf innerhalb 1 Stunde 2 Stunden nicht abschmelzen bei		Sicherung muß innerhalb 1 Stunde 2 Stunden abschmelzen bei	
6-:-10	1,5.	1,3 Nennstr.	2,1	-
15-:-25	1,4.		1,75.	
3560	1,3. Nenn-		1,6 Nenn-	
80-:-200	strom		strom	1,6 Nennstr.

Das Überbrücken von Sicherungen sowie das Verwenden von reparierten Sicherungen ist verboten, da durch diese Maßnahmen die Schutzwirkung in Frage gestellt wird.

Für größere Stromstärken werden vorwiegend offene oder Streifensicherungen benutzt. Durch Abstufung der Länge der Schmelzdrähte läßt sich auch hier ein Verwechseln der Sicherungen verschiedener Stromstärke vermeiden.

Steckvorrichtungen.

Die Steckvorrichtungen dienen zum Verbinden der beweglichen Apparate mit dem Leitungsnetz. Den Stecker richtet man so ein, daß er nicht in Dosen für höhere Stromstärken paßt. Der Anschluß der Apparate mittels Stecker an das Netz und das Trennen von demselben darf nur im stromlosen Zustande erfolgen. Die Steckvorrichtung kann also nicht etwa einen Schalter ersetzen.

Schalter.

Die Schalter werden eingeteilt in Ausschalter und in Umschalter. Die Umschalter sind gewöhnlich so ausgeführt, daß sie gleichzeitig als Ausschalter dienen. Für gewisse Schaltungen hat man jedoch auch

Umschalter ohne Unterbrechung.

Ihrer Konstruktion nach zerfallen die Schalter in Dosenschalter für kleine Stromstärken und in Hebelschalter, die auch für die größten Stromstärken hergestellt werden. Die Dosenschalter sind als Dreh-, Druck- und Kippschalter im Gebrauch. Die Schalter werden in der Regel zur Vermeidung einer Lichtbogenbildung als Momentschalter ausgeführt. Energieverbraucher sollen im allgemeinen allpolig vom Netz getrennt werden, eine Ausnahme bilden kleinere Glühlampengruppen, wo eine einpolige Ausschaltung als ausreichend erachtet wird.

Überstromschalter.

Überstrom- oder Maximalschalter dienen als Ersatz für Schmelzsicherungen. Das Einschalten geschieht von Hand. Das Ausschalten erfolgt bei einer bestimmten Höchststromstärke, bei der ein Magnet einen Anker anzieht, hierdurch ein Sperrwerk freigibt und somit den Schalter, unter dem Einflusse einer Feder, auslöst.

Beim Einschalten von Motoren entstehen vorübergehende Stromstöße. Um nun ein Auslösen des Maximalschalters zu vermeiden, muß dieser mit einer thermischen Verzögerungseinrichtung versehen sein. Für kleinere Stromstärken werden die Überstromschalter als Sockel- oder Stöpselautomaten zum Einschrauben in Sicherungselemente hergestellt. In letzterem Falle müssen sie unverwechselbar sein.

Minimal- und Rückstromschalter.

Bei den Minimalschaltern wird ein Anker von einem Magneten festgehalten, die Auslösung des Schalters erfolgt, sobald der Strom so weit nachläßt,

daß der Anker abreißt.

Der Rückstromschalter besitzt einen Elektromagneten mit einer Strom- und einer Spannungsspule. Bei der normalen Stromrichtung unterstützen sich die Spulen in ihrer Wirkung und der Magnet zieht den Anker an. Ändert sich die Stromrichtung, so wirkt die Stromspule der Spannungsspule entgegen, der Anker wird freigegeben und der Schalter löst aus. Der Rückstromautomat bleibt im Gegensatz zum Minimalschalter auch eingeschaltet, wenn der Stromkreis unterbrochen ist und er lediglich unter Spannung steht.

Spannungsrückgangsschalter.

Der Spannungsrückgangsschalter tritt in Wirksamkeit, wenn die Spannung verschwindet oder auf einen kleinen Wert herabsinkt. Sie werden bei Motoranschlüssen benutzt, um die Motoren, wenn die Netzspannung ausbleibt, abzuschalten. Der Spannungsrückgangsschalter wird häufig mit dem Maximalschalter mit Verzögerungseinrichtung zusammen eingebaut. Man bezeichnet diese dann als Motorschutzschalter. Bei automatisch betriebenen Anlagen sind diese unbedingt notwendig, damit die Drehstrommotoren bei Unterbrechung einer Phase, allpolig vom Netz getrennt werden.

V. Die elektrische Energie, ihre Umwandlung und Verwendung

A. Die Umwandlung in mechan. Arbeit.

Die elektrischen Maschinen haben heute eine große Vollkommenheit erreicht. Unbedingt überlegen sind sie den anderen Kraftmaschinen durch ihre leichte Anpassungsfähigkeit, den niedrigen Anschaffungspreis und das äußerst geringe Maß von Unterhaltungskosten, die sie beim Betriebe verursachen. Dies gilt sowohl für Gleichstrom- als auch für Wechselstrommaschinen. Bei Energieverteilungen auf ausgedehnten Gebieten wird meistens Drehstrom verwandt, während in Einzelanlagen Gleichstrom vorteilhafter ist.

1. Wirkungsweise der Gleichstrommotoren.

Wird in eine Dynamomaschine ein elektrischer Strom hineingeleitet, so durchfließt er die Windungen sowohl des Ankers wie der Feldmagnete (Gleichstrom) und magnetisiert beide in der Weise, daß durch die Anziehung entgegengesetzter Pole, der Anker zum Umlauf kommt. Die Dynamomaschine ist damit zum Elektromotor geworden und kann nunmehr, entsprechend der aufgewendeten Energie in Watt, mechanische Arbeit leisten.

2. Anlaßwiderstand.

Würde man einen Motor ohne weiteres an die Netzspannung anschließen, so müßte der Anker einen 20—100 fachen Normalstrom aufnehmen. Bevor die Sicherungen durchschmelzen, würde, in den meisten Fällen, die Wicklung des Ankers durchgebrannt sein. Um dieses zu vermeiden, muß vor dem Anker zunächst ein regulierbarer Widerstand, Anlaßwiderstand oder kurz Anlasser, gelegt werden, der allmählich, entsprechend der Zunahme der Umdrehungszahl kurzgeschlossen wird. Da der Widerstand nur während der kurzen Anlaßperiode eingeschaltet ist, wird für ihn ein verhältnismäßig dünner Draht benutzt, der eine dauernde Einschaltung überhaupt nicht vertragen kann. Es darf sich daher

die Kurbel des Anlassers während des Betriebes nur auf dem Kurzschlußkontakt (letzter Kontakt) befinden, sie darf aber nicht auf einem Zwischenkontakt belassen werden. Statt der Drahtwiderstände kommen auch Flüssigkeitswiderstände zur Anwendung.

Die Klemmen eines Gleichstrom-Anlassers sind

wie folgt bezeichnet:

L die von dem Netz kommende Leitung,

M die von der Nebenschluß- (Magnet-) Wicklung kommende Leitung.

R die vom Anker oder Rotor kommende Leitung.

3. Ankerrückwirkung und Bürstenverschiebung.

Der Name Ankerrückwirkung rührt von der Erscheinung her, daß das Magnetfeld, das durch den induzierten Strom in den Ankerwindungen erzeugt wird, auf das Feld zurückwirkt, das durch die Erregerpole erzeugt wird.

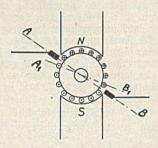


Fig. 1. Bürstenverschiebung eines Gleichstrommotors.

Um einen funkenfreien Gang zu erzielen, sind auch bei den Motoren die Bürsten im allgemeinen nicht nur um den Verschiebungswinkel der neutralen Zone, die mit der Ebene A₁B₁ der Fig. 1 zusammenfallen möge, zurückzuschieben, sondern noch darüber hinaus, etwa bis in die Ebene A B, zu verstellen. Die Bürstenverschiebung fällt jedoch bei den Motoren etwas kleiner als bei den Stromerzeugern aus. Sie läßt sich durch geeignete Bauweise der Motoren vermei-

den. Dies ist wichtig für die reversierbaren Motoren, d. h. solche, deren Drehrichtung häufig

geändert werden muß.

Außer durch die Verschiebung der neutralen Zone infolge der Ankerquerwindungen macht sich die Ankerrückwirkung noch durch eine von den Gegenwindungen hervorgerufene Feldschwächung geltend. Diese sucht bei Belastung eine Erhöhung der Umdrehungszahl herbeizuführen.

4. Gleichstrom-Motoren.

Je nach Art der Schaltung von Anker- und Feldmagnetwicklung unterscheidet man: Hauptstrom-, Nebenschluß- und Doppelschluß (Compound-) Motoren.

Die Klemmen auf dem Klemmbrett eines Gleich-

strommotors sind wie folgt bezeichnet:

A und B die von dem Anker bezw. Bürsten abgeführten Leitungen.

C und D die von der Nebenschlußwicklung abgeführten Leitungen.

E und F die von der Reihenschlußwicklung abgeführten Leitungen.

G und H die von der Wendepolwicklung abgeführten Leitungen.

N = negative zum Netz führende Leitung

P = positive vom Netz kommende Leitung

M = Magnetwicklung (Nebenschluß)

R = Rotor

L = Leitung

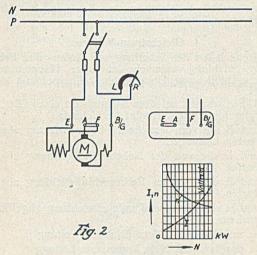
Fig. 2 zeigt die Schaltung eines Hauptstrommotors schematisch angedeutet. Es fließt der ganze Strom durch Anker- und Magnetwicklung, daher der Name Hauptstrom.

Die wichtigsten Eigenschaften des Hauptstrommotors lassen sich in folgende Punkte zusammen-

fassen:

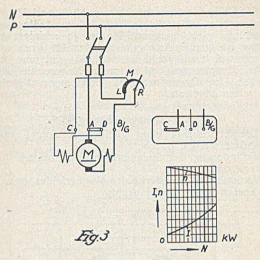
 Der Hauptstrommotor entwickelt eine hohe Anzugskraft, da die Magnetstärke mit der Ankerstromstärke steigt; er eignet sich daher besonders zum Antrieb von Hebezeugen und Fahrzeugen.

- Er läuft bei größerer Belastung langsamer, bei geringerer schneller (vergl. Tourenzahlkurve).
- 3. Er darf nur dort verwendet werden, wo ein Leerlaufen ausgeschlossen ist. Bei einer Belastung gleich Null wird seine Tourenzahl ∞ groß, wie ebenfalls aus der Tourenzahlkurve hervorgeht.

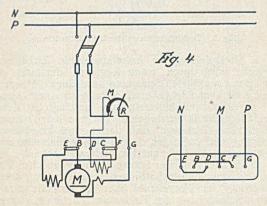


Hauptstrommotor mit Anlasser und Betriebskurven.

Fig 3 zeigt die Schaltung eines Nebenschlußmotors mit Anlasser. Da in den elektrischen Anlagen die Betriebsspannung stets konstant gehalten wird, eignen sich die Nebenschlußmotoren deshalb am besten, weil sie bei konstanter Spannung von selbst ihre Tourenzahl für alle Belastungen nahezu konstant halten (vergl. Tourenzahlkurve Fig. 3) und ein Durchgehen der Motoren bei ihrer Entlastung nicht stattfindet. Zwischen voller Belastung (vergl. nach Fig. 3 das Anwachsen der Stromstärke entsprechend der Belastung) und Leerlauf beträgt die Tourendifferenz etwa 4 %. Infolge der konstanten Tourenzahl ist der Nebenschlußmotor am gebräuchlichsten.



Nebenschlußmotor mit Anlasser und Betriebskurven.



Doppelschlußmotor mit Anlasser.

Eine Kombination des Nebenschluß- und Hauptstrommotors bildet der in Fig. 4 dargestellte Doppelschluß- oder Compound-Motor. Je nachdem der Motor für große Anzugskraft oder für konstante Tourenzahl beansprucht werden soll, gibt man ihm mehr Hauptstrom- oder mehr Nebenschlußwindungen. Im allgemeinen wird der Compound-Motor nur selten angewandt.

5. Tourenregulierung.

Die Tourenzahl eines Gleichstrommotors kann verändert werden durch:

 Veränderung der Spannung des zugeführten Ankerstromes.

Veränderung der Stärke des Magnetfeldes, in welchem sich der Anker dreht.

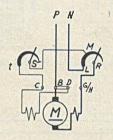


Fig. 5. Drehzahlerhöhung durch Feldschwächung.

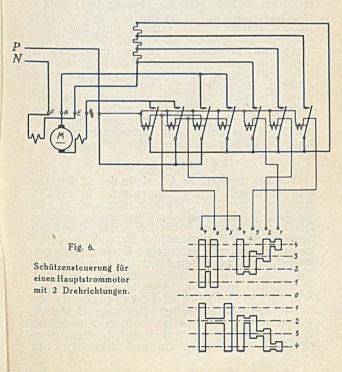
1. Veränderung der Ankerspannung. Zu diesem Zwecke wird durch einen Regulierwiderstand ein Teil der zugeführten Spannung vernichtet. Meistens sind Anlaß- und Regulierwiderstand zu einem Apparat vereinigt und hintereinander geschaltet. Dieses Verfahren der Tourenregelung hat jedoch den schwerwiegenden Übelstand, daß damit eine Energievergeudung verbunden ist, da die vom Widerstand aufgenommene Energie nutzlos verloren geht.

Veränderung der Stärke des magnetischen Feldes. Es ist weit wirtschaftlicher, eine Regelung durch Erhöhung der Tourenzahl über die normale hinaus durch Schwächung des Feldes vorzunehmen. (Vergl. Fig. 5). Beim Nebenschlußmotor wird zu diesem

Zwecke ein Nebenschlußregler verwendet, bei dem jedoch der Ausschaltkontakt fortgelassen wird, um eine Unterbrechung des Erregerstromes und damit ein Durchgehen des Motors zu verhindern. Da der Magnetstrom nur ein kleiner Teil des vom Motor aufgenommenen Stromes ist, so ist ein nennenswerter Energieverlust mit diesem Verfahren der Regelung nicht verbunden.

Um die Umdrehungszahl des Hauptschlußmotors durch Feldschwächung zu erhöhen, kann ein Regulierwiderstand parallel zur Magnetwicklung gelegt werden, wodurch diesem ein mehr oder weniger

großer Teil des Stromes entzogen wird.



6. Umkehr der Drehrichtung.

Der Drehsinn eines Motors ist von der Richtung des Anker- und Erregerstromes abhängig. Um eine andere Drehrichtung zu erzielen, ist einem der beiden Ströme, keinesfalls beiden, eine andere Richtung zu erteilen. (Vergl. Fig. 2—4). Es wird nicht etwa durch Vertauschen der beiden Zuleitungen Pund N eine änderung der Drehrichtung erzielt, da hierdurch sowohl der Ankerstrom als auch der Magnetstrom eine andere Richtung annehmen.

7. Schützensteuerung.

Schützensteuerungen kommen namentlich bei großen Motoren zur Verwendung. Das Schütz ist ein elektromagnetisch betätigter Apparat, das, sobald es erregt ist, einen Anker anzieht und dadurch einen Kontakt schließt. Zum Anlassen eines Motors, ist ein Satz von Schützen notwendig, die durch eine Steuerwalze in dieser bestimmten Reihenfolge erregt werden müssen. Der Vorteil der Schützensteuerung besteht darin, daß die Steuerwalze nur kleine Abmessungen annimmt, da nur ein schwacher Hilfsstrom geschaltet wird. Die Steuerwalze kann sich auch in größerer Entfernung vom Motor befinden, da die Schützenleitungen nur dünn sind. Fig. 6 zeigt den Schaltplan einer Schützensteuerung für einen Hauptstrommotor mit zwei Drehrichtungen.

8. Wirkungsgrad.

Verluste der gleichen Art wie in den Stromerzeugern treten auch in den Motoren auf. Bei der Umwandlung einer Energieform in eine andere, geht ein Teil für die praktische Verwendung verloren. Der Verlust ist umso größer, je kleiner der Motor ist. Er beträgt durchschnittlich 20 % der vom Motor aufgenommenen elektrischen Energie. Demnach beträgt der Wirkungsgrad der Elektromotoren im Mittel 0.8.

9. Drehstrom-Motoren.

Synchron-Motoren. Das Magnetfeld wird, wie bei Wechselstromgeneratoren, durch Gleichstrom erregt, während dem Anker Wechselstrom zugeführt wird. Dieser Motor ist durch einen Hilfsmotor

auf normale Tourenzahl zu bringen, worauf man den Synchronmotor mit dem Netz parallel schaltet. Infolge der komplizierten Inbetriebsetzung finden diese Motoren nur wenig Verwendung. Man benutzt sie als Motorgeneratoren zur Umformung von Wechsel- in Gleichstrom, um in einer Anlage mit starker Phasenverschiebung den wattlosen Strom aufzuheben.

Die Klemmen eines Drehstrommotors sind be-

zeichnet mit:

UVW Anfang der drei Ständerwicklungen XYZ Ende der drei Ständerwicklungen

Die Klemmen eines Drehstromanlassers tragen

folgende Bezeichnungen:

uvw für dreiphasige Läufer, ux/yvfür zweiphasige Läufer. RST sind die Bezeichnungen für die vom Netz kommenden Leitungen.

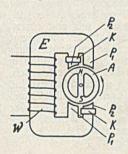


Fig. 7. Synchron-Kleinmotor.

Selbstanlaufende Synchron-Kleinmotoren (Uhren)

In Fig. 7 ist dieser Motor schematisch dargestellt. E ist ein lamellierter Eisenkern, der die Erregerwicklung W trägt. Die Wicklung W besteht aus dünnem Draht und wird unmittelbar an eine Wechselstromspannung angeschlossen. Die beiden Polenden des Eisenkerns sind durch einen Schlitz in zwei Teile P1 und P2 gespalten. Auf die halben Polenden P2 ist je ein Kurzschlußring K aus reinem Kupfer aufgekeilt. Die Wirkung dieser Kurzschlußringe ist, daß der magnetische Fluß in diesen durch den Kurzschluß

ring belasteten Zweigen gegenüber dem in den unbelasteten Zweigen P₁ nach rückwärts verschoben wird. Trotzdem also die Wicklung W nur an Einphasenstrom angeschlossen ist, haben wir durch dieses Hilfsmittel der Kurzschlußringe in Wirklichkeit einen Zweiphasenmotor vor uns. Die Richtung des Drehfeldes, das im Ständer dieses Zweiphasenmotors entsteht, ist die in der Fig. durch den Pfeil angedeutete, nämlich immer von dem nichtbelasteten zu

dem belasteten Zweig.

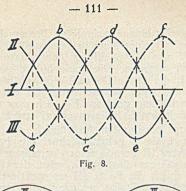
Wir werden sogleich beim Asynchronmotor sehen, daß eine in dieses Drehfeld gesetzte Metallscheibe von dem Drehfeld mitgenommen wird, allerdings nicht genau mit der Winkelgeschwindigkeit des Drehfeldes, sondern mit einer Geschwindigkeit, die gegenüber der Winkelgeschwindigkeit des Drehfeldes um einige Prozente zurückbleibt. Wenn wir also lediglich ein Stahlscheibchen, ohne die beiden charakteristischen Aussparungen des Scheibchens A der Fig. 7 als Anker in dieses Drehfeld einsetzen, so hätten wir erst einen Asynchronmotor vor uns. So läuft dieser Motor auch tatsächlich an. Wie kommt er aber auf Synchronismus? Dazu muß er unbedingt die beiden angegebenen Aussparungen tragen. Nun ist es leicht erklärlich, daß sich in diesem Scheibchen unter dem Einfluß des Drehfeldes Magnetpole N und S ausbilden, welche im Stahl bestehen bleiben; dann ist aber der Synchronmotor fertig, der ja, wie wir wissen, lediglich die Umkehrung eines Generators ist.

Asynchron-Motoren.

Die ausgedehnte Verwendung des Drehstromes ist begründet in dem Umstande, daß er für den Betrieb von Motoren geeignet ist, bei denen die Nachteile des Synchron-Motors vermieden sind. Diese Motoren laufen nicht synchron und werden daher Asynchronmotoren genannt. Sie beruhen auf der Erscheinung des Drehfeldes: daher auch der Name Drehstrom.

Der Drehstrom besteht bekanntlich aus drei um 120 ° gegeneinander verschobene Wechselströme. Die Momentan-Werte dieser 3 Wechselströme sind

in Fig. 8 dargestellt.



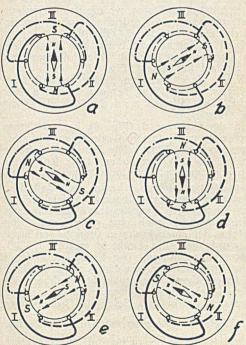


Fig. 9.
Das Drehfeld eines Drehstromes.

Fig. 9 zeigt einen zweipoligen Trommelanker für Drehstrom mit einer Nute pro Pol und Phase. Meistens wird man die Wicklung jeder Phase auf mehrere Nuten verteilen. Die Spule I wird vom Wech-selstrom I, die Spule II vom Wechselstrom II und die Spule III vom Wechselstrom III durchflossen. Die Stromrichtung geht aus Fig. 8 hervor und ist in Fig. 9 durch den Kraftlinienverlauf ersichtlich.

In einem bestimmten Augenblick, der in Fig. 8 durch die Linie a gekennzeichnet ist, besitzt der Wechselstrom III gerade seinen negativen Maximalwert. In diesem Augenblick wird der Stator am stärksten durch die Spule III magnetisiert. Es bildet sich unten im Stator, wo die Kraftlinien aus dem Eisen austreten, ein Nordpol und oben, wo sie wieder eintreten, ein Südpol. (Fig. 9a).

In dem Zeitmoment b hat der Wechselstrom I

den Maximalwert erreicht. Die Pole werden durch

die Spule I bestimmt. (Fig. 9b).

Nach einer weiteren Sechstelperiode hat der Wechselstrom II (Fig. 8c) den höchsten Wert erreicht. Die Polarität wird durch Spule II angegeben. (Fig. 9c).

In der Stellung d (Fig. 8) hat wiederum der Wechselstrom III seinen Maximalwert und zwar jetzt seinen positiven Wert. Die Pole sind daher gegen

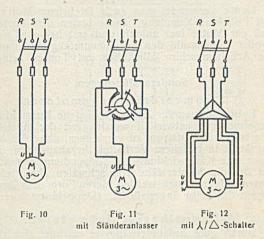
Fig. 9a um 180º verschoben. (Fig. 9d).

Bei der Verfolgung der Momentanwerte der einzelnen Wechselströme erkennt man, daß die Magnetpole bei jeder Sechstelperiode um 60 ° gedreht werden. Einer vollen Periode des Wechselstromes entspricht demnach auch eine volle Umdrehung des Feldes. Bei einer Frequenz von beispielsweise 50 Hz würde also das Drehfeld minutlich 3000 Umdrehungen ausführen. Die Erscheinung des Drehfeldes kann sichtbar gemacht werden durch eine in das Innere des Stators gebrachte drehbare Magnetnadel. Auch ein Stück unmagnetisches Eisen wird unter dem Einfluß des Feldes in Drehung versetzt.

Drehstrom-Motoren mit Kurzschlußläufer.

Kleine Motoren bis zu 2 oder 3 PS werden meistens mit K .- A. gebaut. Die Motoren mit Kurzschlußläufer zeichnen sich durch denkbar einfache

Bauart aus. Sie besitzen, abgesehen von den Lagern, keine der Abnutzung unterworfenen Teile wie z. B. Schleifringe und Bürsten. Das Anlassen erfolgt lediglich dadurch, daß die Ständerwicklung mittels eines Schalters mit dem Netz in Verbindung gebracht wird. Es ist also kein Anlasser erforderlich.



Drehstrom-Kurzschlußmotore.

Bei Kurzschlußläufern beträgt das Anzugsmoment bei direktem Einschalten durch einen dreipoligen Schalter das etwa 1—1,5 fache des normalen Drehmomentes, unter Aufnahme der etwa 5—6 fachen normalen Stromstärke. Es werden daher nur kleinere Motore direkt angelassen, während man bei größeren Motoren mit Kurzschlußläufern, um ein zu starkes Anwachsen des Stromes zu verhindern, Widerstände in die Ständerwicklung einschaltet. Da hierdurch aber ein Teil der Betriebsspannung vernichtet wird, tritt eine Schwächung des Drehfeldes und somit eine Verminderung des Anzugsdrehmomentes ein.

In Fig. 11 ist eine schematische Darstellung von Motor mit Ständeranlasser angegeben. Weiterhin läßt sich die Ständerwicklung so einrichten, daß sie bei normalem Betrieb Dreieckschaltung hat, während sie beim Anlassen mittels eines Umschalters in Sternschaltung umgeschaltet wird.

In Fig. 12 ist eine schematische Darstellung dieser

Schaltung gegeben.

Fliehkraft-Kupplung.

Heute verwendet man auch Drehstrom-Motoren mit Fliehkraft-Kupplung. Diese bieten den Vorteil, daß der Motor leer anläuft und erst bei genügend großer Tourenzahl den Scheibenumfang und damit die Arbeitsmaschine allmählich auf Touren bringt.

Sonderausführungen.

a) Stromverdrängungsmotoren.

Es sind in neuerer Zeit verschiedene Kurzschlußläufermotoren entwickelt worden mit der Absicht, den hohen Anlaufstrom zu verringern, ohne die Anzugskraft in gleichem Verhältnis herabzusetzen. So kann eine Käfigwicklung zur Anwendung kommen, bei der die Kupferstäbe von schmalen aber tiefen Nuten aufgenommen werden, deren Form dem Querschnitt der Stäbe angepaßt ist. (Doppelnutmotoren).

b) Doppelkurzschlußmotoren.

Durch gute Anlaufverhältnisse zeichnet sich der Doppelkurzschlußmotor aus. Bei ihm werden zwei Ständer mit Drehstromwicklung nebeneinander gesetzt und mit einem gemeinsamen Läufer versehen. Dieser besitzt Käfigwicklung. Die Kupferstäbe derselben sind nicht nur an den Enden durch Kupferringe kurzgeschlossen, sondern auch in der Mitte durch Widerstandsringe miteinander verbunden.

Drehstrom-Motoren mit Schleifring-Anker.

Die Schleifringmotore besitzen in dem Stromkreis des Läufers einen Anlaßwiderstand. Die Verbindung der Wicklung mit den Widerständen kann natürlich nur durch Vermittlung von Schleifringen und Bürsten erfolgen. Man könnte den Anlaßwiderstand auch in die Zuführungsleitung legen, wie beim Ständeranlasser des Kurzschlußmotors, doch hat diese Anordnung den Nachteil einer erheblich verringerten

Anzugskraft. Beim Anlassen wird, nachdem der Ständer durch Schließen des Hauptschalters an das Netz gelegt ist, der Anlaßwiderstand langsam kurzgeschlossen. Sobald dieser Zustand erreicht ist,

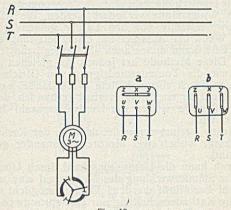


Fig. 13.

verhält sich der Läufer wie ein solcher mit Kurzschlußwicklung. Die Sternschaltung Fig. 13 a ist für die höchste auf dem Leistungsschild angegebene Spannung, dagegen die Dreieckschaltung Fig. 13 b für die niedrigste.

Bürsten-Abhebevorrichtung.

In den Leitungen zwischen Motor und Anlasser tritt ein gewisser Verlust auf, um diesen zu vermeiden, verwendet man eine Bürstenabhebevorrichtung. Nachdem der Motor angelassen ist, werden die Schleifringe untereinander kurzgeschlossen und die Bürsten von den Schleifringen abgehoben, um diese nicht unnötig abzunutzen und um die Bürstenreibung aufzuheben. Diese beiden Vorgänge sind zwangsläufig miteinander gekuppelt.

Die Betriebseigenschaften des Motors mit Schleifringläufer sind, abgesehen von dem verminderten Anlaufstrom, nicht von denen des Kurzschlußmotors zu unterscheiden. An Einfachheit der Bauweise steht er diesem nicht erheblich nach. Er ist daher der verbreitetste Drehstrommotor für Leistungen über 3 PS.

Drehzahlregelung.

Die Umdrehungszahl eines Asynchronmotors kann durch Widerstände verändert werden, die wie die Anlaßwiderstände vor den Läufer geschaltet werden. Wenn der Anlasser für Dauerbelastung eingerichtet ist, kann dieser auch als Regler benutzt werden. Diese Methode hat jedoch die gleichen Nachteile wie die Tourenerniedrigung von Gleichstrommotoren durch vorgeschaltete Widerstände, namentlich ist mit ihr ein Energieverlust verbunden, der um so größer, je weiter die Umdrehungszahl herabgesetzt wird.

Diesen Verlust vermeidet man bei der Kaskadenschaltung, wobei zwei Motore miteinander gekup-

pelt sind.

Auch kann die Umdrehungszahl durch Umschalten der Ständerwicklung des Motors auf eine andere Polzahl beeinflußt werden. Doch ermöglicht diese, wie die Kaskadenschaltung nur eine sprungweise Än-

derung der Umdrehungszahl.

Eine gute Regulierung der Tourenzahl eines Drehstrommotors erreicht man bei Verwendung eines Kollektors statt der Schleifringe. Man nennt diese Motore bei Verwendung von Drehstrom, Drehstrom-Kollektor-Motore. Da eine Beschreibung dieser Motorenart hier zu weit führen würde, sei nur kurz erwähnt, daß u. a. die Siemens-Schuckert-Werke, Drehstrom-Kollektormotore, deren Umdrehungszahl in bequemer Weise durch Verschieben der Bürsten geregelt werden kann, herstellen. Ein Energieverlust ist mit dieser Art der Tourenregelung nicht verbunden.

Umkehr der Drehrichtung.

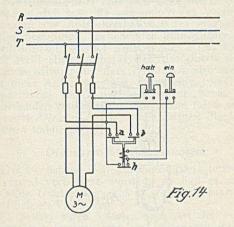
Die Drehrichtung eines Asynchronmotors läßt sich in besonders einfacher Weise verändern. Bei einem Zweiphasenmotor sind lediglich die Zuführungsleitungen einer der beiden Phasen zu vertauschen, da dann das Drehfeld in entgegengesetzter Richtung umläuft.

Bei Drehstrommotoren wird der Umlaufsinn ge-

ändert, wenn man irgend zwei der drei Zuführungsleitungen gegeneinander umwechselt.

Drehstrommotor mit Druckknopfsteuerung (Fig. 14).

Oft ist es erwünscht, den Antriebsmotor durch Druckknöpfe zu bedienen. Mit diesem Verfahren ist eine Zeitersparnis verbunden und es ermöglicht auch im Falle einer Gefahr ein sofortiges Stillsetzen der Maschinen, was besonders bei Werkzeugmaschinen von Nutzen ist.

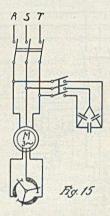


In Fig. 14 ist eine Schaltung dargestellt, die es ermöglicht einen Drehstrommotor mit Kurzschlußläufer durch Druckknöpfe anzulassen und abzustellen. Eine der Stromzuführungsleitungen RST ist unmittelbar an den Motor gelegt, während die beiden anderen Leitungen je über ein zu dem Schütz gehörendes Kontaktpaar a und b geführt sind. Die Spule des Schützens kann durch Hilfsleitungen über die Druckknöpfe "halt" und "ein" vom Netz erregt werden. Wird der Druckknopf "ein" betätigt, so wird, wie aus der Schaltung hervorgeht, der Hilfsstromkreis geschlossen, die Spule zieht ihren Magnetkern ein, und das Schütz schließt über a und b die Zuführungsleitungen: der Motor läuft. Hieran ändert sich auch nichts, wenn der Druckknopf los-

gelassen wird, da dann das Schütz über die "Haltekontakte" In erregt bleibt. Durch Bedienen des Druckknopfes "halt" wird der Erregerstrom unterbrochen und dadurch der Motor zum Stillstand gebracht.

Phasenkompensierung durch Kondensatoren.

Die Phasenverschiebung in Wechselstromnetzen hat sowohl in wirtschaftlicher als auch in technischer Beziehung mit der zunehmenden Zentralisierung der



Leistungsfaktorverbesserung durch Kondensatoren.

Krafterzeugung stetig wachsende Bedeutung erlangt. Durch den Anschluß von Motoren, Transformatoren und anderen induktiven (nacheilenden) Blindstromverbrauchenden Apparaten haben sich in vielen Anlagen Betriebsbedingungen herausgebildet, die bezüglich des Verhältnisses von Blindleistung zu Wirkleistung als durchaus ungesund bezeichnet werden müssen. Die Leistungsfähigkeit des Verteilungsnetzes wird herabgesetzt, die Übertragungsverluste steigen und die Spannungsregulierung wird erschwert. Wenn das stromliefernde Werk gerecht verfahren will, ist es genötigt, dem Verbraucher, dessen Anlage mit einem niedrigen Leistungsfaktor arbeitet,

einen höheren Strompreis in Anrechnung zu bringen. Abgesehen von der rein tariflichen Seite hat der Stromabnehmer aber auch ein unmittelbares Interesse daran, den Leistungsfaktor seiner Anlage nicht unter einen bestimmten Wert sinken zu lassen, da er in diesem Falle eine größere Wirkleistung entnehmen kann, als beim Betriebe mit einem ungünstigen

Leistungsfaktor.
Eine Verringerung der Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung bezw. eine Verbesserung des Leistungsfaktors läßt sich bekanntlich dadurch erreichen, daß man die von induktiven Verbrauchsapparaten zur Aufrechterhaltung des magnetischen Feldes benötigten nacheilenden Blindströme durch voreilende Blindströme kompensiert. Der Kondensator stellt einen Apparat dar, der durch einfache Parallelschaltung mit dem fraglichen Stromverbraucher diese Aufgabe erfüllt, da er einen voreilenden (kapazitiven) Blindstrom aufnehmen bezw. einen nacheilenden (induktiven) Blindstrom (also den beispielsweise von einem Motor benötigten Blindstrom) abgeben kann. (Siehe Fig. 15).

Drehstrom-Kollektormotoren.

Der Drehstrom-Kollektormotor ist in letzter Zeit bedeutend verbessert worden, so daß es möglich ist, seine Umdrehungszahl in weiten Grenzen wirtschaftlich zu verändern.

Er besitzt einen Ständer nach Art der gewöhnlichen Drehstrommotoren und einen mit Kollektor ausgestatteten Läufer; durch Verstellung der Bürsten oder durch besondere Regelschalter kann die Regelung vorgenommen werden.

Einphasen-Induktionsmotoren.

Ein Einphasen-Motor hat eine Arbeits- und eine Hilfswicklung. Zwecks Erzielung eines selbsttätigen Anlaufes wird ein vom Arbeitsstrom abgezweigter Strom zugeführt. Zwischen dem Arbeitsstrom und dem Hilfsstrom wird nun künstlich eine Phasenverschiebung hervorgerufen, indem einer der Wicklungen, meistens der Hilfswicklung, eine Drosselspule vorgeschaltet wird, wodurch der Strom in ihr verzögert wird. Statt der Drosselspule kann auch ein

Kondensator verwendet werden, der eine Voreilung des Stromes bewirkt. Die so erzeugte Phasenverschiebung ist ausreichend, um den Läufer in Drehung zu versetzen. Jedoch läuft ein solcher Einphasenmotor nicht mit voller Last, sondern nur leer oder höchstens schwach belastet an. In allen Fällen, in denen eine hohe Anzugskraft gefordert wird, wie beim Betriebe von Fahrzeugen, Kranen usw., sind sie daher völlig ungeeignet.

10. Transformatoren.

Transformatoren dienen zur Umwandlung von Wechselstrom einer Spannung in solchen von anderer Spannung. Sie werden angewandt, wenn elektrische Wechselstromenergie auf große Entfernungen fortgeleitet werden soll. In solchen Fällen spielt der Leiterquerschnitt hinsichtlich der Kosten eine große

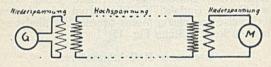


Fig. 16

Rolle. Da es für eine bestimmte Leistung gleichgültig ist, ob die erforderliche Kilowattzahl sich aus hoher Stromstärke und niedriger Spannung oder aus hoher Spannung und geringer Stromstärke errechnet, so transformiert man den fortzuleitenden Strom am Erzeugungsort eigens für die Fernleitung auf hohe Spannung und am Verbrauchsorte wieder auf Niederspannung (Fig. 16).

Drehstromtransformatoren.

Sie bestehen aus drei nebeneinander oder in den Ecken eines Dreieckes angeordneten und durch Schlußstücke magnetisch verbundenen Kernen, deren jeder eine Hoch- und eine Niederspannungswicklung trägt. Die drei Hochspannungs- und die drei Niederspannungsspulen können unter sich in Dreieck- oder Sternschaltung verbunden sein.

Handlampen-Schutztransformatoren.

Handlampen - Schutztransformatoren haben den Zweck, die u. U. lebensgefährliche Netzspannung in eine vollkommen ungefährliche Kleinspannung von höchstens 42 Volt umzuwandeln. Den Transformatoren wird primärseitig die Netzspannung zugeführt, während sekundärseitig die Kleinspannung für die Handlampen entnommen wird. Der Schutzwandler schützt also die mit den Handlampen umgehenden Personen vor lebensgefährlichen Spannungsschlägen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß billigere niedervoltige Glühlampen verwendet werden können.

Frostschutz- und Auftautransformatoren.

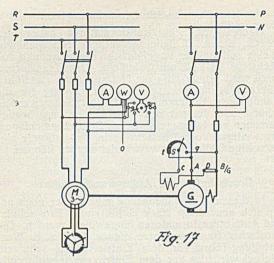
In diesem Zusammenhange muß ferner noch auf die sich neuerdings stark einführenden Frostschutzund Auftautransformatoren hingewiesen werden. Die Frostschutztransformatoren dienen dazu, z. B. Wasserleitungsrohre vor dem Einfrieren zu schützen. Hierbei wird das vor dem Einfrieren zu schützende Rohr mit Hilfe von Rohrschellen in den Sekundärstromkreis des Transformators eingeschaltet. Infolge der durchfließenden hohen Stromstärke entsteht eine Wärmeentwicklung, die genügt, das Rohr auch bei starkem Frost sicher offen zu halten.

11. Umformer.

Motorgeneratoren.

Sie bestehen aus zwei dirckt gekuppelten elektrischen Maschinen und dienen zur Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom oder umgekehrt, oder von Gleichstrom einer Spannung in Gleichstrom einer anderen Spannung, auch zur Umwandlung einer Periodenzahl (bei Wechselstrom) in eine andere.

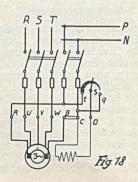
Die als Motor laufende Maschine nimmt den umzuformenden Strom auf und treibt die andere Maschine als Generator zur Stromlieferung an. Da die beiden Maschinen nur mechanisch miteinander verbunden sind, so kann jede Stromart und Spannung entsprechend den verschiedenen elektrischen Eigenschaften jeder Maschine geändert werden. (Fig. 17.)



Neuerdings werden kleinere Umformer (besonders Gleichstrom - Wechselstrom) vielfach zur Speisung von Kraftverstärkern für Musikübertragungsanlagen verwendet.

Einanker-Umformer.

Einanker-Umformer für Drehstrom - Gleichstrom oder umgekehrt sind vielfach in Verwendung (Fig. 18).

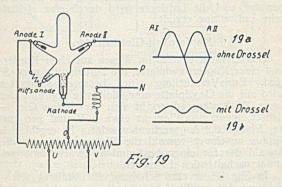


Diese bestehen eigentlich nur aus einer Gleichstrommaschine, die mit drei oder sechs Schleifringen ausgerüstet ist, wobei der Drehstrom den Schleifringen zugeführt wird. Um die zugeführte und damit die abgegebene Spannung in gewissen Grenzen regulieren zu können, wird zwischen Wechselstromnetz und Umformer ein Transformator oder eine Drosselspule oder ein Drehtransformator geschaltet.

Bei Dreileiteranlagen kann der Einankerumformer auch zur Spannungsteilung verwendet werden.

Quecksilberdampf-Gleichrichter.

Sie dienen zur Umformung von ein- oder mehrphasigem Wechselstrom in Gleichstrom ohne Zuhilfenahme mechanisch bewegter Massen oder Kontakte. Der am meisten zur Anwendung kommende Gleichrichter ist der Quecksilberdampf-Gleichrichter, bei dem sich der Gleichrichtungsvorgang in einem Vakuumgefäß abspielt.



Die Anordnung einer Klein-Gleichrichteranlage veranschaulicht Fig 19. Das Glasgefäß hat die Form einer Birne, es enthält in seinem unteren Teil als Kathode eine geringe Menge Quecksilber. In dem Glaskolben wird der entstehende Quecksilberdampf an den Wänden niedergeschlagen und fließt, wieder zu Quecksilber verdichtet, zur Kathode zurück. Bei Gleichrichtern für Einphasenwechselstrom hat das

Gefäß zwei, bei solchen für Drehstrom drei Anoden. Der als Schaltmesser dienende Stromfaden (Lichtbogen) verbindet den Quecksilberspiegel abwechselnd mit derjenigen Anode, die gerade die höchste positive Spannung führt. Das Zünden geschieht durch schwaches Neigen des Gefäßes, damit das Quecksilber der Kathode mit dem der Hilfsanode in Verbindung tritt. (Kippzündung). Beim Wiederaufrichten des Gefäßes entsteht durch Zerreißen des Quecksilberfadens ein Lichtbogen, der die Zündung bewirkt

Der Strom, den der Gleichrichter liefert, ist wellenförmig. Er wird umso gleichförmiger sein, je mehr Phasen vorhanden sind. Befindet sich eine Drosselspule im Gleichstromkreis, so werden die Schwankungen des Gleichstromes wesentlich gedämpft. (Fig. 19a und b).

Gleichrichter größerer Leistung werden als Eisengleichrichter ausgeführt. Bei diesen Gleichrichtern werden an Stelle der Glaskolben Eisenzylinder benutzt, und die Luftleere wird durch eine elektri-

sche Luftpumpe erzielt.

Kupferoxyd-Gleichrichter.

Das Element besteht im Wesen aus einer Kupferund einer Kupferoxydplatte, die aufeinander gepreßt sind. Zur Vermittlung eines besseren Kontaktes wird auf die Oxydplatte eine Bleiplatte gepreßt. Der beste Wirkungsgrad ergibt sich für diesen Gleichrichter, wenn pro Element etwa 6 V und pro cm² der Platten 0,3 A gerechnet werden. Es ergibt sich daraus unschwer sowohl die Plattengröße wie die Anzahl der für einen bestimmten Zweck hintereinanderzuschaltenden Elemente.

In Fig. 20 ist eine Schaltung für Vollweggleich-

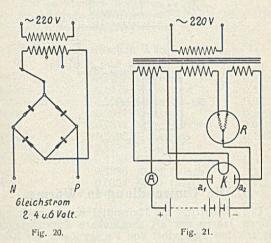
richtung dargestellt.

Glühkathoden-Gleichrichter.

Die für die Ladung normaler Kleinakkumulatoren wichtigste Art der Kolbengleichrichter aber ist der Glühkathodengleichrichter. Er arbeitet geräuschlos, atmet keine schädlichen Gase aus und benötigt sehr geringe Wartung.

Die Glühkathodengleichrichter sind mit Edelgas

gefüllt; ihre Kathode ist beheizt. Der Strom kann nur von der Anode zur beheizten Kathode fließen, da die von der glühenden Kathode ausgestoßenen negativen Elektronen nur dann von der Anode angezogen werden können, wenn diese ein höheres Potential besitzt als die Kathode. Die Strömenden Elektronen ionisieren aber erst den Raum zwischen Anode und Kathode, d. h. sie machen die Strecke elektrisch gut leitend.

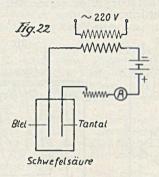


Die Fig. 21 gibt die Schaltung eines Doppelweggleichrichters wieder, der zur Ladung von sechs hintereinandergeschalteten Akkumulatorenzellen mit einer maximalen Stromstärke von 1,3 A dient.

Die Gleichrichterröhre besitzt zwei Anoden an und an und einen Glühkörper K. Es ist ferner ein Eisen wasserstoff widerstand R vorhanden, der zwei Eisendrähte enthält. Er dient dazu, den Ladestrom auf eine ganz bestimmte gleichbleibende Stromstärke zu beschränken (1,3 A).

Elektrolyt-Gleichrichter.

Diese Gleichrichter beruhen auf der Eigenschaft mancher Metalle wie z. B. des Aluminiums oder des Tantals, in einem Elektrolyten den Strom nur in der einen Richtung hindurchzulassen, in der anderen Richtung aber den Stromdurchgang zu sperren (Fig. 22). Man nennt diese und übrigens auch die anderen Gleichrichter aus diesem Grunde auch elektrische Ventile, eine recht gut gewählte Bezeichnung.



B. Die Umwandlung in Wärme.

Die Elektrizität als Heizmittel wurde noch vor einigen Jahren nur als annehmbare Zusatzheizung mit erwähnt und selbst von Fachgenossen als Konkurrent anderer Heizmittel nicht sehr ernst genommen. Heutzutage haben sich Lage und Ansichten jedoch ganz wesentlich zugunsten der Elektrizität verschoben. Die elektrische Beheizung gewinnt besonders in der Industrie immer mehr an Bedeutung, da sie keinerlei Verbrennungs- oder Rauchgase entwikkelt und nicht die Luft verschlechtert. Im Prinzip besteht ein elektrischer Heizkörper aus einem Leiter, in dem sich eine elektromotorische Kraft nicht geltend machen kann und der elektrische Strom in Wärme umgesetzt wird.

1. Flüssigkeitserwärmung.

Nach dem Gesetz von Joule erzeugt 1 W oder 1 Joule 0,000239 WE (kcal) oder 1 kWh = 860 kcal. Die aufzuwendende elektrische Leistung berechnet sich nach der Formel:

$$N = \frac{G \cdot 9 \cdot c}{n \cdot 860 \cdot t} = kW$$

worin:

Messing

N = Leistung in kW, G = Gewicht in kg,

σ = Temperaturdifferenz,
 c = spezifische Wärme,

t = Zeit in Stunden bedeuten,

 $\eta=$ Wirkungsgrad, bei unisolierten Gefäßen 0,65 \div 0,7, bei isolierten Gefäßen 0,75 \div 0,85.

Tabelle der spezifischen Wärme (Wasser = 1)

a) feste und flüssige Körper 0,3096 Äther 0,5207 Olivenöl Alkohol 0,6175 Petroleum
Aluminium 0,2122 Platin
Asbest 0,2017 Quarz
Blei 0,0314 Quecksilber
Eichenholz 0,5700 Roheisen
Eisen (Guß-) 0,1273 Schwefel
Eisen (Schmiede-) 0,1138 Silber
Olas 0,1930 Stahl (weich)
Gold 0,0324 Stahl (hart)
Holz (weiches) 0,6500 Wasser
Koks 0,2031 Zink
Kupfer 0,0952 Zinkhlende 0,6175 Petroleum 0,5700 Alkohol 0.0323 0,1906 0.0319 0,1300 0,1630 0,0570 0,1165 0,1185 1,0224 0.0955 0.0952 Zinkblende 0,1200 Kupfer

b) Gase und Dämpfe.

0.0860

Zinnober

Zinn

0.0520

0.0548

 Luft
 0,23751
 Sauerstoff
 0,21751

 Stickstoff
 0,24380
 Kohlensäure
 0,21460

 Wasserdampf
 0,48050
 Verbrennungsgas
 0,3300

Beispiel: Es sollen 35 l Wasser in einem rechteckigen Eisenbehälter von + 10° C auf + 90° C in 45 Minuten erwärmt werden. Der Behälter ist isoliert mit 30 mm Asbest und darüber mit 10 mm Holzverschalung. Wie groß wird der Anschlußwert?

$$N = \frac{G \cdot \theta \cdot c}{\eta \cdot 860 \cdot t} = \frac{35 \cdot 80 \cdot 1 \cdot 60}{0.75 \cdot 860 \cdot 45} = 5.8 \text{ kW}$$

Beispiel: 120 l Öl sollen von + 5° C auf

+ 110 °C in einer Stunde erwärmt werden, $\eta = 0.7$. Wie groß wird der Anschlußwert, wenn die spezifische Wärme c = 0,65 beträgt?

$$N = \frac{G \cdot 3 \cdot c}{\eta \cdot 860 \cdot t} = \frac{120 \cdot 105 \cdot 0.65}{0.7 \cdot 860 \cdot 1} = 13.6 \text{ kW}$$

2. Beheizung von Metallteilen.

Ein weiteres wichtiges Gebiet ist die Beheizung von Metallteilen z. B. bei Prägewerkzeugen, Maschinen, Preßplatten und dergl.

Zur Berechnung des Anschlußwertes muß zunächst das Gewicht des zu beheizenden Metalles be-

rechnet werden, $(G = B \cdot H \cdot L \cdot r)$

Spezifische Gewichte.

a) einiger fester Körper

	0	CONTRACTOR OF THE PARTY OF THE	
Alabaster	2,7	Knochen	1,7
Aluminium	2,6	Kochsalz	2,1
Asbest	2,5	Koks	2,1
Baumwolle	1,2	Kork	0,24
Beton	2,47	Kupfer	$8,6 \div 9,2$
Blei	11,3	Ton	$1,8 \div 2,6$
Gußeisen	7,2	Marmor 2	,52 - 2,85
Eisen (gewalzt)	7,2	Messing 8	$,52 \div 8,73$
Eisen (in Draht) 7,6	$\div 7,7$	Papier	$0,7 \div 1,13$
Erde (frisch)	7,06	Porzellan	$0,3 \div 2,5$
Erde (trocken)	2,93	Preßkohle	$0,5 \div 0,7$
Glas	1,65	Quarz	$2,5 \div 2,8$
Gummi (vulkan)	1,0	Stahl	$7,25 \div 7,8$
Leder 0,86 -	-1,02	Stahlguß	7,83
Holz (trocken)	1,66	Zement 2	$,72 \div 3,05$
Kaolin	2,2	Zink (gegoss.)	$6,8 \div 7,05$
Kautschuck	0,93	Zink (gewalzt)	
Kies	1,8	Zinn	7,29

b) einiger Flüssigkeiten

b) chinger russig	Skellell.
Äther	0,71 bei 0 ° C
Alkohol	0,793 bei 15 ° C
Benzin	0,85
Öle	$1,5 \div 0,9$
Petroleum	0,8 bei 15 ° C
Quecksilber	13,59 bei 0 ° C
Teer	1,195
Wasser (destilliert)	1,0 bei 4 ° C

c) einiger Gase und Dämpfe.

(bei 0 ° C und 760 mm Quecksilbersäule, Luft = 1)
Azetylen 0,91 Leuchtgas 0,4
Ammoniak 0,59 Quecksilberdampf 6,94
Kohlenoxyd 0,967 Sauerstoff 1,105
Kohlensäure 1,529 Stickstoff 0,971

Kohlensäure 1,529 Stickstoff 0,971

Beispiel: Eine Preßplatte von 40 mal 60 cm
und 10 cm Stärke soll in 45 Minuten von + 15° C
auf + 155° C erwärmt werden. Wie groß wird der
Anschlußwert?

G = L . B . H .
$$\gamma$$
 = 4.0 . 6.0 . 1.0 . 7.2 = 173 kg
N = $\frac{G \cdot \vartheta \cdot c}{\eta \cdot 860 \cdot t}$ = $\frac{173 \cdot 140 \cdot 0.1138 \cdot 60}{1 \cdot 860 \cdot 45}$ = 4.27 kW

3. Lufterwärmung.

Als drittes Anwendungsgebiet für die elektrische Beheizung kommt die Lufterwärmung in Frage, so z. B. bei Trockenräumen, Wärmeschränken u. dergl.

Bei der Berechnung einer derartigen Beheizung

werden folgende Angaben benötigt:

1. Was soll beheizt werden?

2. Anfangstemperatur?

3. Endtemperatur?

4. Größe des zu beheizenden Trockenraumes?

Ist das Trockengut explosibel oder feuergefährlich?

6. Stromart, Spannung, kWh - Preis?

7. Zeit, in welcher die Temperatur erreicht werden soll?

Die Berechnung erfolgt nach derselben Formel wie bei Flüssigkeiten. Das spezifische Gewicht der Luft für 1 m³ bei 0 ° C und Normaldruck ist 1,293 kg.

Beispiel: Eine Trockenanlage soll mittels 1500 m³ Frischluft durch einen Lufterhitzer in 1 Std. von $0 \,^{\circ}$ C auf $+ \, 160 \,^{\circ}$ C erwärmt werden, $\eta = 0.9$. Welche Leistung ist erforderlich?

$$N = \frac{G \cdot \vartheta \cdot c}{\eta \cdot 860 \cdot t} = \frac{1500 \cdot 1,293 \cdot 160 \cdot 0,238}{0.9 \cdot 860 \cdot 1} = 95.5 \text{ kW}$$

4. Die elektrische Raumheizung.

Die Raumheizung durch Elektrizität steht heute erst am Anfang einer Entwicklung, sie bürgert sich jedoch infolge der vielen Vorzüge in Bezug auf Einfachheit der Bedienung, Sauberkeit usw. immer mehr ein. Der allgemeinen Einführung der elektrischen Heizung steht jedoch der hohe Strompreis und damit die hohen Betriebskosten hindernd im Wege.

Die elektrische Dauerheizung kann erst wirtschaftlich betrieben werden, wenn der kWh-Preis, bei Anschluß an die Kraftstromleitung, etwa gleich dem Preise von ½ kg Kohle ist. 1 kWh ergibt 860 WE, 1 kg Kohle ergibt je nach der Qualität 4000—8000 WE. Da man bei Kohlenheizung mit einem Wärmeverlust von ca. 65—80 % rechnen muß, so erhält man von 1 kWh praktisch etwa denselben Heizerfolg wie von ½ kg Kohle.

Will man die elektrische Heizung mit der Kohlenheizung vergleichen, so genügt es nicht, dem Kohlenpreis die Stromkosten gegenüberzustellen, sondern die Kosten für Kohlentransport und die Bedienungskosten sind auch in Rechnung zu stellen. Die elektrische Heizung wird vor allem für die Übergangszeiten vorteilhaft angewandt, da nur die Kosten aufgewandt zu werden brauchen, die der Betrieb der

Heizung jeweils erfordert.

Der Energieverbrauch wird häufig nur nach dem Rauminhalt des zu erwärmenden Zimmers berechnet. wobei man je nach der verlangten Heizleistung 20-50 Watt pro m3 zugrunde legt. Wenn es sich jedoch um größere Anlagen, oder solche unter be-sonderen Verhältnissen handelt, so muß der tatsächliche Wärmebedarf des Raumes stets genau berechnet werden. Dazu sind Angaben über die Größe der Wand-, Boden- und Deckenflächen, der Fenster- und Türöffnungen, die Mauerstärke und die Art der Fenster und Mauern, sowie über die größten Temperaturdifferenzen, welche zwischen dem zu beheizenden Raume und den ihn umgebenden Räumen bezw. außen auftreten können, notwendig. In der nachstehenden Tabelle sind die für 1 m2 Fläche von bestimmter Bauart stündlich erforderlichen Watt angegeben, welche notwendig sind, um bei verschiedenen Außentemperaturen die gewünschte Raumtemperatur dauernd zu erhalten.

Die in der Tabelle angegebenen Werte sind Mittelwerte und genügen im allgemeinen zur Berechnung der Beheizung von Räumen bis 5 m Höhe. Für höhere Räume empfiehlt sich die Fußschemelbehei-

zung.

Berechnungstabelle für Raumheizung. Pro Quadratmeter Begrenzungsfläche stündlich erforderliche Wärmeeinheiten.

	Grad Celsius															
Temperatur-Unterschiede zwischen außen und im Raum	4	0 0	3	5	30	0 0	25	0	26	0 0	1	5 0	10	0 0	5	0
	WE	Watt	WE	Watt	WE	Watt	WE	Watt	WE	Watt	WE	Watt	WE	Watt	WE	Watt
Wände:													100	1000		
Mauerstärke 13 cm	100	116	88	102	75	87	63	73	50	58	38	44	25 18	29	13	15
# 25 _"	72	84	63	73	54 39	63 45.5	45 33	52,5 38	36 26	42 30	27 20	31,5 23,5		15	7	8
38 # 51	52	60,5	46 39	53,5 45,5	33	38	28	32,5	22	26.5	17	20	11	13	6	7
64	36	42	32	37	27	31,5	23	27	18	21	14	16,5		10,5		6
77 "	30	35	26	30	23	27	19	22	15	17,5	11	13	8	9,5	4	4,5
Fußböden: unterwölbt	24	28	21	24,5	18	21	15	17,5		14	9	10,5	6	4,5	3 2	3,5 2,5
Balkenlage	16	18,5	14	16,5	12	14 24,5	10	11,5	8	9,5 16,5	6	13	4 7	8	4	4,5
Decken: gewölbt Balkenlage	28	32,5	25 18	29	15	17,5	13	15	10	11,5	8	9,5		6	3	3,5
Oberlicht: einfach	216	251	189	220	162	189	135	157	108	126	81	94	53	61,5		31,5
doppelt	120	140	105	122	90	105	75	87	60	70	45	52,5	30	35	15	17.5
Fenster: einfach	200	233	175	204	150	175	125	145	100	116	75	87	50	58	25	29 15
doppelt	100	116	88	102	75	87	63 50	73 58	50	58 46.5	38 30	44 35	25	29 23,5		11.5
Türen	80	93	70	81.5	60	70	20	28	40	40,5	30	33	20	23,5	10	11,5

Um nach der Tabelle den zum Dauerheizen notwendigen Wattverbrauch zu bestimmen, berechnet man die Größe der Begrenzungsflächen des Raumes und bestimmt hierauf unter Beachtung der Bauausführung und Stärke der Mauern, sowie des größten auftretenden Temperaturunterschiedes den für die Fläche notwendigen Wattverbrauch. Hierauf summiert man den Verbrauch der einzelnen Flächen. Zur Erläuterung ist dies im nachstehenden Beispiel durchgeführt.

Beispiel: Ein Zimmer von 60 m³ besitzt einen unterwölbten Fußboden und eine Balkendecke. Die beiden Längswände sind ½ Stein, die beiden Querwände 1 Stein stark. In einer Querwand ist ein Doppelfenster von 2 m² Fläche, in der anderen eine Tür

von 2,5 m2 Fläche angebracht.

Die Innentemperatur soll bei der geringsten Außentemperatur im Winter + 15° C betragen. Es müssen zur Beheizung soviel Watt aufgewendet werden, als die Flächen durchlassen. Diese Werte sind für vorliegenden Fall in der Tabelle eingetragen.

Fläche	Größe m²	Größte Tem- peraturdif- ferenz zwi- schen außen und innen	Aufzu- wendende Watt pro m²	Watt für die ganze Fläche
Fußboden unterwölbt	20	10 0	7	140
Balkendecke	20	15 0	9	180
2 Längswände 1/2 Stein	30	100	29	870
Fensterwand 1 Stein	10	30 °	63	630
Fenster doppelt	2	30 °	104	208
Türwand 1 Stein	9,5	15 0	31	294
Tür	2,5	15 0	35	88

Insgesamt sind aufzuwenden 2410 Watt.

Der Ofen wäre somit für 2400 Watt zu wählen. Es empfiehlt sich aber, denselben etwas stärker zu nehmen, da bei größerem Energieaufwand die Durchheizung eines Raumes schneller und rationeller vor sich geht. Im vorliegenden Falle etwa 3000 Watt (3 kW). Der volle Wattverbrauch wird nur zum Anheizen benutzt. Hierauf genügt die Regulierstufe von 2400 Watt, um den Raum auf der erreichten Temperatur zu halten.

Beliebte Heizapparate sind die elektrischen Strah-

lungsöfen, auch Höhensonnen genannt. Diese bestehen im allgemeinen aus einem parabolischen Reflektor, welcher verstellt werden kann, und aus einem in diesem Reflektor befindlichen Heizkörper mit Heizdrahtspirale, dessen strahlende Wärme durch den Reflektor zurückgeworfen wird. Je nach der Sellung des Reflektors kann die Heizwirkung auf eine beliebige Stelle gerichtet werden. Die Strahlungsöfen dienen vorzugsweise als Übergangsheizung.

Üm eine hygienisch einwandfreie Wärmeerzeugung zu erhalten, darf ein elektrischer Ofen nicht mit zu hohen Temperaturen arbeiten, damit nicht eine gesundheitsschädliche Trockenheit der erhitzten Luft entsteht. Im allgemeinen empfiehlt es sich, keine allzu großen Leistungen im einzelnen Ofen unterzubringen, sondern lieber mehrere kleinere Öfen im

Raume gleichmäßig zu verteilen.

Für größere Leistungen dienen elektrische Widerstandsöfen. Die Widerstandsheizung ist jedoch erst vollkommen, wenn sie mit einem Apparat in Verbindung gebracht wird, der die Stromzufuhr regelt. Die Anwendung eines selbsttätigen Temperaturreglers ermöglicht, jede gewünschte Temperatur mit

großer Genauigkeit einzuhalten.

Bei Fußbodenbeheizungseinrichtungen werden die Heizkörper in rohrartige Hohlräume des Bodens verlegt. Bei zweckmäßiger Anordnung ist ein Auswechseln der einzelnen Heizkörper leicht zu bewerkstelligen. Hierher gehören auch noch die Linearheizungsrohrsysteme, die ähnlich wie die Röhren einer Niederdruckdampfheizung durch den ganzen zu beheizenden Raum geführt werden. Diese Röhren sind zum Zwecke der Wärmeakkumulierung zwischen, mit Rillen versehenen, Steinen gelagert. Die erhitzten Röhren geben ihre Wärme an die Steine zur Aufspeicherung und zur langsamen Weitergabe an die Raumluft ab.

Für ganz große Räume kommt die Erwärmung durch ein Heißluftgebläse in Betracht. Bei diesem wird ein Luftstrom durch einen, mittels eines Elektromotors angetriebenen Ventilators erzeugt und durch elektrisch beheizte Widerstände erwärmt. Der Erhitzer besteht aus Isolierrohren, die die elektrischen Widerstände einschließen und in einem Kanal einge-

bettet sind, so daß die zu erhitzende Luft zum Teil durch die Rohre und zum anderen Teil durch den Kanal strömt.

Hat man nur des Nachts billigen Strom zur Verfügung, so kann man mit Vorteil einen elektrischen Wärmespeicherofen für die Raumheizung benutzen. Der Wärmespeicherofen, dessen wärmeerzeugende Stelle sich in der Mitte des Ofens befindet, wird nachts mit dem billigen Strom aufgeladen, so daß die Speichermasse tagsüber ihre Wärme an die Frischluft abgeben kann, welche nunmehr den äußeren Raum heizt.

Es seien hier einige Leistungsbedarfszahlen auch

für diesen Fall angegeben.

Für mittlere Verhältnisse, wie sie etwa in Wohnungen vorkommen, braucht man z. B. bei einem Rauminhalt des Zimmers von 50 m³ im normalen Winter im Mittel eine Tageswärme von ungefähr 24×1250=30 kWh. Beträgt bei Verwendung eines Speicherofens die Zeit der "Ladung", d. h. der Strombeschickung täglich 8 Stunden, wie das bei Benutzung von reinem Nachtstrom ungefähr der Fall sein wird, so muß die Ladeleistung 30:8=3,75 kW betragen; sie muß also 24:8=3 mal so groß sein wie die permanente (24 stündige) Leistung eines direkt heizenden Ofens, die für jenes Zimmer von 50 m³ im gewöhnlichen Winter etwa 1,25 kW beträgt.

Für Nachtkraft-Speicheröfen bekommt man also

für Zimmer von:

Rauminhalt	Auf 8 stünd	Auf 8 stündige Ladeleistungen des Ofens							
m ³	Für Übergangs- zeiten etwa kW	Für gewöhnl. Winter etwa kW	Für strengen Winter etwa kW						
40 50 60 75	1,5—3 1,8—3,6 2,1—4,2 2,7—5,4 oder ca. 35—75 W/m ³	1,8-4,8 2,4-4.2 3,0-6,6 3,9-8,4 oder ca. 45-125 W/m ³	27-6,9 3,9-5,1 4,2-9,0 5,7-11,7 oder ca. 70-175 W/m ³						

Die Raumheizung mit elektrischen Wärmespeicheröfen ist hygienisch einwandfrei. Sie sind ein geeignetes Mittel, eine gleichmäßige Nachtbelastung der Elektrizitätswerke zu erreichen und durch die so gesteigerte Wirtschaftlichkeit eine wesentliche Herabsetzung des Strompreises zu erzielen, die es auch minderbemittelten Bevölkerungsschichten ermöglicht, die Vorteile des elektrischen Heizens zu genießen.

5. Elektrische Warmwasserbereitung.

Die Warmwasserbereitung durch die Elektrizität hat in der letzten Zeit infolge günstiger Stromtarife eine derartige Bedeutung erhalten, daß es unbedingt erforderlich ist, sich näher mit ihr zu beschäftigen.

Die Übertragung der Wärme an das Wasser kann mittelbar durch Leitung und Strahlung und unmittelbar erfolgen. In ersterem Falle wird die Wärme von dem erhitzten Leiter durch eine Metall- oder feuerfeste Stoffunterlage in das Wasser übergeleitet, während bei der unmittelbaren Erwärmung das Wasser selbst den Verbindungsleiter zwischen zwei Elektroden bildet. Da Gleichstrom Wasser zersetzt, so ist die Stromart für die letztere Ausführung auf Wechsel- und Drehstrom beschränkt. Man hat also zwei Hauptgruppen zu unterscheiden, und zwar:

die Widerstandsheizapparate und die Elektrodenheizapparate.

Nach weiteren Eigenschaften, Konstruktion und Betriebsdurchführungen lassen sich diese Warmwasserbereiter einteilen in:

lokale Klein- und Handapparate) mit Wider-Durchlauf- u. Zirkulationserhitzer) standsheizung.

Warmwasserspeicher mit Widerstandsheizung für Niederdruck mit 15—100 l Inhalt und 1 atü, für Hochdruck mit 100—1000 l Inh. und 1—8 atü, Elektrokessel

mit Widerstandsheizung für alle Stromarten, mit Elektrodenheizung für Wechselstrom bis 500 Volt.

Auf die mannigfachen lokalen Klein- und Handapparate kann hier nicht näher eingegangen werden. Eine solche Betrachtung erübrigt sich auch, da sich die Ausführung als Wasser-, Tee-, Kaffeekocher und dergl. mehr auf die äußere Ausstattung als auf den Heizkörper selbst bezieht. Abgesehen von den Luxusgegenständen haben die einfachen Wassertöpfe und

sonstigen Haushaltungsgegenstände bereits allgemeine und weitgehende Bedeutung erlangt. Die Heizung wird durch fest am Boden oder Mantel isoliert verlegte, auswechselbare Heizwiderstände bewirkt. Man kann rechnen, daß 0,5 1 Wasser in kaltem Topfe in 8 Minuten zum Sieden gebracht wird und die Energieaufnahme 550 Watt beträgt, für Spannungen bis 250 V.

Die Durchlaufapparate oder Zirkulationserhitzer sind meist älterer Konstruktion; sie bezwecken eine schnelle Wassererwärmung. Dieses Bestreben nach Schnellerhitzung findet aber seine

Grenze in der verfügbaren Strommenge.

Die Warmwasserspeicher sind zurzeit die beliebtesten und gebräuchlichsten elektrischen Warmwasserbereiter, da sie sich durch eine gewisse Speicherfähigkeit als die für den Produzenten und Konsumenten vorteilhaftesten und leistungsfähigsten erwiesen haben, Durch die Warmwasserspeicherung werden nicht nur die Einnahmen des Elektrizitätswerkes erhöht, sondern auch infolge Vergrößerung der ideellen Benutzungsdauer die Selbstkosten der erzeugten kWh gesenkt und in Wechsel- und Drehstromanlagen der cos @ verbessert. Gerade in der Nachtzeit und in Sommermonaten erreicht letzterer oft so niedrige Werte, daß die Regulierung der Spannung und die Wirtschaftlichkeit der Stromverteilung darunter leiden. Im Gegensatz zu den Durchflußapparaten erfordern die Speicher keine Verstärkung der Leitungsquerschnitte und nehmen ihre Leistung ohne jede Schwankung auf. Wird der Strom nur während der Nacht entnommen, so muß der Speicherinhalt so groß bemessen werden, daß er für den während des Tages auftretenden Bedarf an warmem Wasser ausreicht. Die Speicher werden als Klein-, Mittel- und Großapparate für 150 bis 1000 l Inhalt gebaut. In ihren Außenmaßen sind sie normalisiert. Hierfür bestehen die DIN-Blätter: DIN. VDE 4900: Heißwasserspeicher und Badeöfen für 1 kg/cm² und DIN, VDE 4901: Heißwasserspeicher für 6 kg/cm2 Betriebsdruck.

Man kann die Speicher einteilen in:

Niederdruckspeicher, offenes oder geschlossenes System als Auslauf- oder als Überlaufspeicher für eine oder mehrere nah beieinander liegende Zapfstellen,

Hochdruckspeicher, geschlossenes System als Überlaufspeicher für Zentralanlage mit meh-

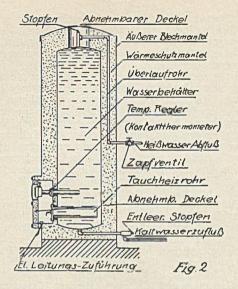
reren Zapfstellen.

Die Niederdruckspeicher können getrennte Entnahme von kaltem und warmem Wasser oder Mischapparat besitzen. Bei Schwimmergefäßbenutzung
darf dieses nicht höher als 10 m über Speicherunterkante stehen. Ist der Druckunterschied in der Mischbatterie zu groß, so kann entweder die Kaltwasserleitung ebenfalls an den Schwimmerkasten angeschlossen werden, oder es muß eine Drosselschraube
oder ein Druckminderventil in die Kaltwasserleitung
zu der Mischbatterie eingebaut werden. Bei den
Hochdruckspeichern ist in der Warmwasserleitung
ein Sicherheitsventil, in der Kaltwasserleitung ein
Rückschlagventil vorzusehen; bei Wasserleitungsdrücken > 6 atü tritt an Stelle des letzteren ein
Druckminderventil.

Im wesentlichen besteht ein elektrischer Warmwasserspeicher aus dem Wasserbehälter mit Zu- und Ablauf. In jenem ist der elektrische Heizkörper mit 1-8 Patronen und ein automatischer Temperaturregler eingebaut, und zwar bei den kleinen Modellen senkrecht am unteren Boden (Fig. 1) oder bei den



Fig. 1.



größeren wagerecht am unteren Zylinderteil (Fig. 2). Umgeben ist der eigentliche Behälter von einem starken Isolationsmantel und äußerem Blechmantel. Der Behälterzylinder ist aus feuerverzinktem Stahlblech oder bei den offenen Niederdruckspeichern auch aus verzinktem Kupferblech hergestellt. Letzterer Baustoff ist für alle Speicherzylinder zu empfehlen, sobald besonders weiches Wasser mit Gehalt an freiem

Chlor und freier Kohlensäure vorliegt.

Niederdruckspeicher von 15—200 I Inhalt können als Auslauf- oder Entleerungsspeicher betrieben werden, indem das Warmwasser nach Fig. 3 durch das am unteren Boden angebrachte Kaltwassereinlaufrohr abgezapft wird. Dadurch wird erreicht, daß stets der ganze Speicherinhalt mit höchster Temperatur zur Verfügung steht, ohne daß ihm von nachströmendem kalten Wasser Wärme entzogen wird. Damit der Speicher nicht einmal trockengehend eingeschaltet wird, ist eine Trockengehsicherung anzubringen. Diese Niederdruckentleerungsspeicher eignen sich besonders dort, wo nur Nacht-

strom zum Aufladen zur Verfügung steht und wo in späterer Zeit nach Abschalten des Stromes heißes Wasser, z. B. zum Geschirrspülen, über Mittag usw., benötigt wird. Ihre Betriebsweise erfordert jedoch, daß sie nach Entleeren vor Stromeinschaltung wieder gefüllt werden (abends), um während der Nachtzeit aufgeheizt werden zu können. Die Überlauf-hochdruckspeicher benutzen nach Fig. 4 das an höchster Kopfstelle des Behälters ausmündende Überlaufrohr als Abzapfleitung. Der Druck des kal-

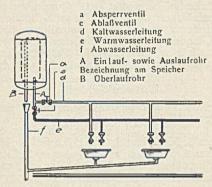


Fig. 3.

Niederdruck - Heißwasser - Auslaufspeicher für mehrere Zapfstellen.

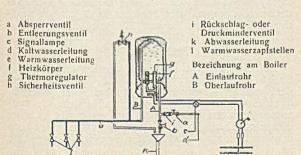


Fig. 4.

Oberlauf - Hochdruckspeicher
für mehrere Zapfstellen mit Thermoregulator.

ten Wassers treibt das warme Behälterwasser vor sich her bis zu den Zapfstellen. Durch Schließen des Kaltwasserabsperrventiles kann der Wasserüberlauf unterbunden werden. Eine Prallfläche über der Kaltwasserrohrmündung verhindert ein Mischen des eindrückenden Kaltwassers mit dem warmen Wasser in den oberen Schichten des Behälters. Ist der gesamte Wasserinhalt bis auf 70 ÷ 85 ° aufgeheizt, so unterbricht das Thermostat den Strom.

Als Armaturen der Speicher finden sich ein Handschalter, Thermostat mit Quecksilberschalter oder Kontaktthermometer, Sicherheits-, Rückschlag-, Druckminderungsventil, eine Signallampe und die sonst üblichen elektrischen Teile wie Sicherungen, Doppeltarifzähler, Sperruhr für Nachtspeicher, ferner ein Mischrohr, eine Mischbatterie oder dergl.

Wirtschaftlichkeit.

Die elektr. Wassererwärmung wird wirtschaftlich, wenn der kWh-Preis etwa 45 bis 50 Prozent von dem Preis für 1 m³ Gas beträgt. Bei einem Strompreis von 8 Pfg. (Nachtstrom), kostet die Erwärmung von 1 l Wasser auf 85° bezw. 3 Liter auf 35° C (Mischtemperatur) 0,8 Pfg. Nun gibt es heute schon in vielen Gebieten bedeutend günstigere Tarife für Nachtstrom, so daß die elektr. Warmwasserversorgung nicht teurer, ja sogar oft billiger ist als irgendeine andere Erwärmungsmethode. Der Betriebswirkungsgrad der Speicher liegt je nach Speichergröße zwischen 83 und 92 Prozent.

Speichergröße.

Bei der Projektierung ist die Bestimmung der Speichergröße maßgebend. Es muß festgestellt werden, welche Warmwassermenge bei einer jedesmaligen Entleerung verlangt wird und welche Gesamtmenge sich für 24 Stunden hieraus ergibt. Da es oft sehr schwierig ist, derartige Feststellungen zu machen, werden nachstehend einige Erfahrungswerte gegeben.

Im Haushalt werden durchschnittlich 8 bis 101 pro Kopf für Speisenbereitung, Geschirrspülen und Körperpflege (jedoch ohne Bad und ohne Berück-

sichtigung der Waschtage) benötigt. Für ein Brausebad sind etwa 30—35 1 und für ein mittleres Wannenbad 60—80 1 erforderlich, für eine Kopfwäsche etwa 3—5 1 Wasser. Die angegebenen Litermengen beziehen sich auf eine Wassertemperatur von 85°C. Durch Zusatz von kaltem Wasser ergeben sich ungefähr die dreifachen Mengen Mischwasser von 30°C bis 35°C. Man kann also beispielsweise bei einem Wannenbad von 240 1 Gesamtwassermenge von 35° mit etwa 80 1 Wasser von 85°C auskommen, wenn die übrigen 160 1 Wasser wit Leitungstemperatur (etwa 13°C) zugesetzt werden. (Abkühlung in langen Rohrleitungen und in der Wanne müssen besonders berücksichtigt werden).

An Hand nachstehender Tabelle kann für den jeweiligen Warmwasserbedarf die entsprechende Speichergröße entnommen werden:

		lief. als Dat	uerspeicher	lief, als Nachtspeicher				
Liter Nenn- aufnahme Watt		tägliche Wasser- menge von 85° max. etwa Liter	Energie- aufwand etwa kWh	tägliche Wasser- menge 85° C etwa Liter	Energie- aufwand etwa kWh			
5 15 30 50 80 100 120 200 300 400 600 800	225 225 400 600 1000 1200 1320 2400 3600 4800 7000 9000 11200	30 40 80 120 220 270 330 560 850 1100 1700 2000	3,0 4,0 7,8 11,5 21.0 25,5, 31 52 80 103 150 185 250	15 30 50 80 100 120 200 300 400 600 800	1,5 3,0,4 4,8 7,6 9,5 11,3 18,5 28 37 54 72			

Für die Entscheidung, ob nur Nachtbetrieb oder Dauerbetrieb gewählt wird, ist in den meisten Fällen der Tagesstrompreis bzw. die Tarifgestaltung maßgebend. Für den Küchenbetrieb ist heute der Entleerungsspeicher der gegebene. Nachstehend einige Erfahrungen für die Wahl von Heißwasserspeichern für den Haushalt.

a) Nachtstrom:

für 2—3 Personen ein 30-Liter-Entleerungsspeicher, für 4—5 Personen ein 50-Liter-Entleerungsspeicher, für 6—7 Personen ein 80-Liter-Entleerungsspeicher

für das Bad.

Bei einem Bedarf pro Tag von

1 Brausebad 80-Liter-Überlaufspeicher,

2 Brausebädern 120 - Liter - Überlaufspeicher oder 120-Liter-Badespeicher,

1 Wannenbad 100-Liter-Überlaufspeicher,

2 Wannenbädern 200-Liter-Hochdruckspeicher (Sicherheitsventil und Rückschlagventil).

Für eine kurz hintereinanderfolgende Entnahme von zwei kleinen Wannenbädern mit je etwa 150 l von ca. 35 °C bzw. für die Entnahme eines großen Wannenbades mit anschließendem Brausebad genügt auch ein 120-Liter-Speicher.

b) Dauerspeicher für die Küche:

für 2—3 Personen ein 5-Liter-Heißwasserspender, für 4—5 Personen ein 15- bzw. 30-Liter-Überlaufspeicher,

für 6-7 Personen ein 50-Liter-Überlaufspeicher für das Bad bei einem Bedarf pro Tag von

1 Brausebad ein 80-Liter-Überlaufspeicher,

2 Brausebädern (wenn ein Bad morgens und das zweite 6 bis 8 Stunden später entnommen wird) ein 100-Liter-Überlaufspeicher,

1 Wannenbad ein 100-Liter-Überlaufspeicher,

2 Wannenbädern (wenn ein Bad morgens und das zweite etwa 6 bis 8 Stunden später entnommen wird) ein 120-Liter-Überlaufspeicher.

Bei kleineren Wannenbädern genügt auch ein

100-Liter-Speicher,

bei 3 Wannenbädern (wenn ein Bad morgens und die zwei weiteren Bäder jeweils 6 bis 8 Stunden später entnommen werden) ein 200-Liter-Hochdruckspeicher.

Für den Waschtisch genügt ein 5-Liter-Heißwas-

serspender.

Wird eine größere Wassermenge verlangt, so kann die Heizung verstärkt werden. So z. B. kann der 100-Liter-Badespeicher, der normal eine Nennaufnahme von 1200 Watt besitzt, auf 6 kW verstärkt werden, d. h. man bekommt statt alle 8 Stunden etwa alle 2 Stunden ein Bad, oder, da man ja höchstens für ein Bad 80 I Wasser zu 85°C oder 2401 Mischwasser zu 35°C benötigt, alle Stunden ein Bad.

6. Elektrische Koch- und Heizapparate.

Das Kennzeichen der Elektrizitätsverwendung in Hausgeräten ist die Ersparnis an Mühe und Zeit und die Verbesserung der Arbeitsleistung und der Arbeitsbedingungen. Vergleichsversuche, die mit einigen solcher Geräte angestellt wurden, zeigen, daß gegenüber dem Handbetrieb fast vier Fünftel des Arbeitsaufwandes erspart werden.

Umstritten ist in Deutschland noch die Frage des elektrischen Kochens, weil die Stromkosten bei vielen Tarifen hoch sind und sich daraus die Meinung entwickelt hat, das elektrische Kochen sei an sich stets zu teuer. Über die Vorzüge der Sache selbst gegenüber anderen Methoden wird heute von objektiver Seite aus kaum mehr gestritten, sondern die Einwände beziehen sich ausschließlich auf die Betriebskostenfrage. Es würde den Rahmen dieses Buches übersteigen, wollte man näher auf Einzelheiten eingehen. Nur soviel sei noch gesagt, daß bei uns überall dort, wo sich die Tarifpolitik der Elektrizitätswerke darauf eingestellt hat, viele Haushaltungen von der Verwendung von Kohle und Gas zum elektrischen Kochen übergegangen sind.

Die Wirkungsweise der elektrischen Heizapparate besteht darin, daß ein vom elektrischen Strome durchflossener Leiter erwärmt wird und Wärme an die Umgebung abgibt. Je größer die Stärke des fließenden Stromes und je größer der Widerstand des Leiters ist, den er durchströmt, um so größer ist die erzeugte Wärmemenge. Diese, gemessen in Wärmeeinheiten kcal, steht in direktem Verhältnis

zum elektrischen Energieaufwande.

Die Ausnutzung der auf elektrischem Wege erzeugten Wärme ist im allgemeinen etwa 80-90%. Da es für die Wärmeerzeugung gleichgültig ist, ob ein Watt eine Stunde oder 3 Watt 20 Minuten lang aufgewendet werden, so kann ein Apparat für den gleichen Zweck, für verschieden große Anschluß-

werte, deren Größe immer auf den Apparaten ver-

merkt ist, konstruiert sein.

Von den elektrischen Heizapparaten ist das Bügeleisen am verbreitetsten. Die Vorteile des elektrischen Bügelns sind: Fortfall der Verbrennungsgase und des Eisenwechselns sowie die vollständige Reinlichkeit, Feuersicherheit und gleichmäßige Wärme. Die stündlichen Stromkosten des elektr. Bügelns stellen sich für ein 2,5 kg-Bügeleisen mit einem Energieverbrauch von 330 Watt, bei einem Strompreis von 45 Pfg. für die kWh, auf 0,330·45 = ~ 15 Pfg.

Durch den Einbau eines Thermostaten (Wärmeregulators) kann der Energieverbrauch bei den Heiz- und Kochapparaten auf das unbedingt erforderliche Maß beschränkt werden, so daß Energievergeudung durch Unachtsamkeit der Bedienung

ausgeschlossen bleibt.

7. Elektrisches Schweißen.

Das elektrische Schweißen gehört heute zu den wichtigsten Arbeitsverfahren. Sowohl der Umfang seiner Anwendungen als auch der Ausbau der Verfahren haben ständig zunehmende Fortschritte aufzuweisen. Neben den für die neuzeitliche Massenfabrikation unentbehrlichen Anwendungen der Widerstandsschweißung: Punktschweißung, Nahtschweißung und Stumpfschweißung, hat auch die elektrische Lichtbogenschweißung große Erfolge zu verzeichnen. Erhebliche Ersparnisse, die an Material durch Benutzung der Lichtbogenschweißung erzielt werden konnten, brachten es mit sich, daß die Schweißung innerhalb ganz kurzer Zeit im Maschinenbau, im Schiffbau, sowie beim Bau von Behältern und Apparaten im großen Maße Eingang fand. Auch der Stahlhochbau ist in das Arbeitsgebiet der Lichtbogenschweißung mit besten Erfolgen einbezogen worden.

a) Wechselstrommaschine.

Fig. 1 zeigt das Schema einer elektr. Stumpfschweißung durch Widerstandserhitzung. Man spannt die beiden Stücke zwischen die Backen einer elektr. Stumpf-Schweißmaschine (Fig. 1 oben). Der Strom erhitzt wegen des höheren elektr. Widerstandes ge-

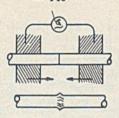


Fig. 1. Elektrisches Stumpfschweißen durch Widerstanderhitzung.

rade die Trennfuge sehr stark. Ist die Schweißhitze erreicht, was nach wenigen Sekunden der Fall ist, so wird unter Ausschalten des Stromes ein starker Druck ausgeübt, und die Stücke sind gut und sicher vereinigt (Fig. 1 unten).

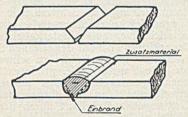


Fig. 2. Schmelzschweißung zweier Eisenplatten.

Bei der Schmelzschweißung wird die zu verschweißende Stelle bis zur Verflüssigung erhitzt und meist unter Zusatz von gleichartigem Material verschmolzen. Für die Festigkeit der Schweißung ist es wesentlich, daß ein genügender Einbrand erzielt wird, d. h., daß genügend Material der zu verbindenden Materialstücke mit verflüssigt wird, um mit dem Zusatzmaterial zusammen eine innige Verschmelzung zu geben. Eine derartige Schmelzverbindung gibt eine solch feste, dichte und zugleich starre Verbindung, wie sie durch andere Mittel, wie Löten, Nieten, Verschrauben usw., auch annähernd nie erreicht werden kann. In Fig. 2 sind im oberen Bild zwei zu verbindende Eisenbleche dargestellt; im unteren Bild sieht man die fertige Schweißnaht.

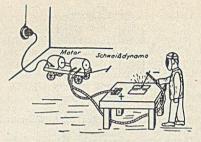


Fig. 3. Eine Werkstatt für elektrische Lichtbogenschweißung.

In Fig. 3 ist die Anordnung einer Elektro-Lichtbogen-Schweißstelle schematisch dargestellt. Die Spezial-Schweißdynamo liefert Gleichstrom hoher Stromstärken, je nach Größe 100 bis 200 Amp., bei geringer Spannung (40 bis 60 Volt). In Fig. 3 ist ferner die Stromzuleitung zur Schweißstelle deutlich sichtbar. Wegen der hohen Stromstärke nimmt man dazu dicke, leicht biegsame Kupferkabel. Ein Pol, und zwar der positive, wird mit der eisernen Schweißtischplatte verbunden, auf die die zu schweißenden Gegenstände gelegt werden. Bei größeren Stücken, die freistehend geschweißt werden müssen, wird diese Elektrode direkt an den Gegenstand angeklemmt. Der negative Pol führt durch den Handgriff zum Schweißdraht.

Nicht unerwähnt soll sein, daß bei der heute erreichten Vervollkommnung der Wechselstrom-

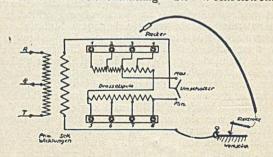


Fig. 4. Schaltbild des Arcos-Transformators Type TML

Schweißtechnik und der Elektrodenherstellung der Gleichstrom-Schweißung stark Konkurrenz gemacht wird. Die Frage, ob mit Gleich- oder Wechselstrom geschweißt werden soll, muß die Art der in der Hauptsache im Betrieb anfallenden Schweißarbeiten selbst entscheiden. Daneben spielen natürlich besondere Verwendungszwecke, Preis, Wirkungsgrad, Platzbedarf, Transportfähigkeit sowie Instandhaltungskosten der Schweißmaschine ihre eigene Rolle. Nicht zuletzt wird die Wahl auch mitbestimmt durch die Güte, sei es der Umformer, sei es der Transformatoren, die auf dem Markt überhaupt zur Verfügung stehen. Den elektrischen Aufbau eines ArcosTransformators zeigt im Prinzip das Schaltbild, Fig. 4.

b) Elektrisches Löten.

Der elektrische Lötkolben hat heute ebenfalls sehr große Verbreitung gefunden (Fig. 5).

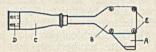


Fig. 5

Die Beheizung erfolgt in den meisten Fällen durch Heizwiderstände, die den Kupferkolben umgeben. Der Energieverbrauch richtet sich nach der Größe des Kupferkolbens und beträgt zwischen 250 bis 450 Watt. Die Stromzufuhr erfolgt durch den Handgriff C mittels Steckkontakt, der auf die Kontaktstikte D geschoben wird. Von hier aus führt eine Verbindungsleitung zu den Heizwiderständen, die den Schaft des Kolbens A im Gehäuse B umgeben. Die Wärme wird also direkt übertragen. Die nach außen laufenden Wärmestrahlen werden vom Gehäuse B aufgefangen und ebenfalls zum Kolbenbolzen abgeleitet.

c) Härteöfen.

 Glüh- und Härteanlage mit elektrisch beheiztem Schmelzbad.

Betriebsstrom: Wechsel-od. Drehstrom bis 500 V. Konstruktionsprinzip: Erzeugung der Wärme innerhalb eines Salzbades durch Wechselstrom von niedriger Spannung und hoher Stromstärke, Stromzuführung durch Eisenelektroden, Temperaturregu-

lierung durch Reguliertransformator.

Betriebsarten: 1. Betrieb nur eines Ofens für die verschiedenen Temperaturen, wobei jedoch evtl. Wechsel des Bades erforderlich.

2. Wechselbetrieb zweier Öfen, wobei der kleinere Ofen für Schnelldrehstahl, der größere für Kohlenstoffstahl oder auch zur Einsatzhärtung, z. B. in Eisenbahnwerkstätten, Verwendung findet.

3. Gleichzeitiger Betrieb mehrerer Öfen (bei ver-

schiedenen Temperaturen).

Hauptvorzüge: Sicherste Erreichung und genaueste Einstellung aller Temperaturen bis 1350 °C. Sehr schnelle Erwärmung des Glühgutes, daher sehr große Leistungsfähigkeit (Massenhärtung). Etwa vierfache Leistung eines gleichgroßen Muffelofens gewöhnlicher Ausführung. Fast völliger Fortfall von Härteausschuß, weil äußerst gleichmäßige Erwärmung des Härtegutes. Keine Zunderbildung (Erwärmung unter Luftabschluß). Fortfall besonderer Tiegel. Gefahrlosigkeit des Betriebes (niedrigste Ofenspannung). Geräuschlosigkeit (da kein Gebläse erforderlich). Größte Sauberkeit.

Verwendungszweck: 1. Als Härteofen zum Härten von Werkzeugen wie Fräser, Bohrer, Drehstähle, Schnitte, Stanzen u. a., von den verschiedensten Stahlsorten von Geräten, wie Sensen, Sicheln, Schaufeln, Gabeln, Äxten, Gesteinsbohrern, Hacken u. a., von Konstruktionselementen aus Stahl, wie Federn, Haken, Nägeln, Magneten, sowie Stahlbändern und

Drähten (kontinuierlicher Betrieb).

2. Als Einsatzofen zum Zementieren von Laufflächen von Achsen, Lagerschalen, Buchsen, Bolzen, Kupplungsteilen, Gleitbahnen, Zahnrädern, Nockenwellen usw. (nach besonderem Verfahren).

3. Als Glühofen zur wärmetechnischen Nachbehandlung von Einsatzgut, zum Ausglühen von Konstruktionsmaterial und -teilen zwecks Vergütung oder Weiterverarbeitung.

Elektrische Anlaßbäder für Öloder Salzfüllung.

Betriebsstrom: Für alle Anlaßtemperaturen bis 350°C und unmittelbarem Anschluß an Gleichstrom, Wechsel- und Drehstrom bis 380 Volt.

Konstruktionsprinzip: Kräftiger, gußeiserner Schmelztrog mit daran angebauten, leicht auswechselbaren Spezialheizelementen. Sie sind wärmebeständig und in besondere Isoliermasse geschützt eingebettet. Schmelztrog mit Heizelementen vom Blechschutzkasten umgeben und mit diesem in einen besonderen eisernen Außenkasten eingesetzt; dieser enthält die Wärmeisolation. Heizelemente leicht herausnehmbar.

Hauptvorzüge: Leichte Regulierbarkeit und Konstanthaltung der Temperatur und dadurch bedingte sicherste Erreichung der erforderlichen Anlaßhärte und -farbe. Größte Sauberkeit und Einfachheit.

Verwendungszweck: 1. Zum Anlassen aller Werkzeuge, die nach dem Härten zwecks Annahme einer besonderen Federhärte noch bei Temperaturen von 220 bis etwa 300 °C angelassen werden müssen, z. B. fast aller Werkzeuge zur Holzbearbeitung, wie Hobelmesser, Holzbohrer, Stechbeitel, Holzmeißel, ferner Gewindebohrer, Schneidbacken, Federmesser, Reibahlen, zahnärztliche und chirurgische Instrumente, Äxte, Schneidzangen, Holzsägen u. a. von Federn verschiedenster Art.

2. Zum Färben von Stahlgegenständen mit einer der bekannten Anlaßfarben, von Hellgelb bis hell-

blau, wie z. B. von Gongstäben usw.

3. Zum Schmelzen von leicht flüssigen Metallen,

wie z. B. Zinn, Blei oder Druckletternmetall.
4. Zum Verzinnen und zu ähnlichen Prozessen, bei denen geschmolzene Metalle und andere Flüssigkeiten bei Temperaturen bis 350 °C verwendet werden.

d) Elektrische Kühlanlagen.

Die Erzeugung von Kälte dürfte in der heutigen Zeit fast eine ebenso wichtige Rolle" spielen wie die Erzielung hoher Temperaturen und die Umwandlung von Wärme in andere Energiearten. Es ist bekannt, daß die verschiedenen Zweige der Nahrungsmittelindustrie mit Kühlanlagen ausgestattet sind; man weiß, daß eine geordnete Versorgung der Groß-stadt mit Lebensmitteln nur durch die Kühlhäuser möglich ist, die die stoßweise eingelieferten Lebensmittel gewissermaßen als Staubecken und Ausgleichsbehälter aufnehmen und bis zum Verbrauch in voller Frische genußfähig erhalten. Die konservierende Kälte bewahrt gerade in der heißen Jahreszeit sehr viele Nahrungsmittel vor schnellem Verderben und vermeidet Gesundheitsstörungen, die erfahrungsgemäß zu dieser Zeit besonders häufig aufzutreten pflegen.

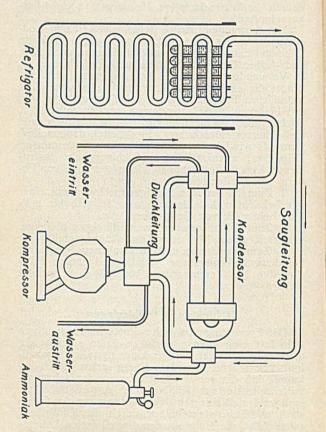


Fig. 6.

In Fig. 6 ist die Wirkungsweise einer modernen

Kältemaschine schematisch dargestellt.

In der Neuzeit hat sich der elektrische Betrieb so wirtschaftlich gestaltet, daß Anlagen mit Verbrennungskraftmaschinen in keiner Weise mehr in den Wettbewerb treten können. Aus Sparsamkeits- und praktischen Gründen betreibt man deshalb die Eismaschinen durch einen Elektromotor. Sie sind einfach zu handhaben, beanspruchen wenig Raum und sind daher auch besonders für den Kleinbetrieb geeignet.

Die Umwandlung in Licht.

Als man imstande war, elektrische Energie ma-schinenmäßig herzustellen, war es gerade das Beleuchtungswesen, das von nun an grundsätzlich von der Elektrotechnik beherrscht wurde. Welche Grundbegriffe muß nun der Beleuchtungstechniker kennen? Zunächst die drei: Lichtstrom, Lichtstärke und Beleuchtungsstärke. Der Lichtstrom ist das, was man Lichtleistung der Lichtquelle nennt. Die Lichtstärke ist die Intensität, die Stärke des Lichtstromes in einer gewissen Richtung, bezw. die Lichtstromdichte in einem bestimmten Raumwinkel. Die Beleuchtungsstärke ist die Lichtstromdichte auf der beleuchteten Fläche. Gemessen wird der Lichtstrom in Lumen (Lm), die Lichtstärke nach Hefnerkerzen (HK), die Beleuchtungsstärke nach Lux (Lx). Die Beziehung dieser drei Werte untereinander ist so, daß 1 HK in 1 m Abstand auf einer zum Lichtstrahl senkrechten Fläche 1 Lx ergibt. Ferner ergibt ein Lichtstrom von 1 Lm auf einer Fläche, von 1 m2 rund 1 Lx. Haben wir also 3600 Lm zur Verfügung und ist die zu beleuchtende Fläche 20 m2, so haben wir eine Beleuchtungsstärke von $\frac{3600}{20} = 180$ Lx. Unter einer Hefner-Kerze versteht man die Lichtstärke,

ter einer Hefner-Kerze versteht man die Lichtstärke, die von einer Amyl-Acetat-Lampe ausgeht, die einen Dochtdurchmesser von 1 cm hat und eine Flammenhöhe von 4 cm besitzt. Der Physiker von Hefner-Alteneck stellte dieses Normallicht auf und nach ihm wurde die Einheit der Lichtstärke dann benannt. Und zu dem Begriff Lichtstrom sei noch bemerkt, daß nicht die Stärke der Lichtausstrahlung in einer Richtung, sondern die Größe der

gesamten Lichtenergie, die der leuchtende Körper in den Raum sendet, die Stärke einer Lichtquelle kennzeichnet und daß die in der Zeiteinheit gelieferte Lichtmenge Lichtstrom genannt wird. Der Lichtstrom gibt also ein Maß für die Lichtleistung und entspricht dem, was man sonst als Leistung einer Maschine bezeichnet. Beleuchtet also eine Lichtquelle, die nach allen Seiten gleichmäßig die Lichtstärke von HK aussendet, eine Hohlkugel von 1 m Radius und schneidet man aus der Oberfläche dieser Kugel 1m² aus, so strahlt durch diese Öffnung ein Lichtstrom von 1 Lm. (Fig. 1).



Fig. 1.

Es seien hier auch noch zwei Formeln bezüglich Lichtstrom und Beleuchtungsstärke mitgeteilt. Ist die in Hefnerkerzen gemessene räumliche Lichtstärke einer Lampe gleich Jo, der Lichtstrom in Lumen gleich p (phi), dann ist:

 $\phi = 4 \pi$. Jo = 12,56 m Lm.

Bedeutet E die Beleuchtungsstärke in Lux, F die Fläche in m², & wieder den Lichtstrom in Lumen, dann ist:

$$E = \frac{\Phi}{F}$$

Diese Beleuchtungsstärke läßt sich auch mit dem Entfernungsgesetz in Beziehung bringen. Dieses heißt nämlich: Die Beleuchtungsstärke einer Fläche ändert sich im direkten Verhältnis wie die Lichtstärke und im umgekehrten Verhältnis wie das Quadrat des Abstandes. Ist J die Lichtstärke, E die Beleuchtungsstärke, r der Abstand zwischen Lichtquelle und beleuchteter Fläche, dann gilt:

$$E = \frac{J}{r^2}$$

Das Entfernungsgesetz gilt jedoch nur, wenn der Raum nur eine Lichtquelle hat, keine reflektierenden Wände besitzt und wenn die beleuchtete Fläche senkrecht zur Strahlenrichtung steht. Nun soll noch die Erklärung von Leuchtdichte und Lichtmenge erfolgen. Die Helligkeit einer leuchtenden Fläche ist um so größer, auf je kleinerem Raume sich die erzeugte Lichtstärke zusammendrängt. Diese Helligkeit bezeichnet man als Leuchtdichte. Sie wird mit B bezeichnet. Die Leuchtdichte berechnet man demnach mit folgender Formel:

 $B = -\frac{J}{f} - HK/cm^2$

Dabei ist f die Größe der leuchtenden Fläche in cm². Es ist dabei an sich gleichgültig, ob eine Fläche selbstleuchtend ist oder nur Lichtstrahlen reflektiert. Eine Lampe beleuchtet z. B. die Tischfläche mit einer ganz bestimmten Beleuchtungsstärke. Die Fläche erscheint aber trotzdem verschieden hell je nachdem, ob wir eine helle oder dunkle Decke auf den Tisch legen. Hier ändert sich die Leuchtdichte (B) der bestrahlten Fläche, aber nicht die Beleuchtungsstärke E. Die Leuchtdichte ist das spezifische Leuchtvermögen einer Lichtquelle. Zu große Leuchtdichte bewirkt Blendung. Es seien nachträglich die Leuchtdichten einiger Lichtquellen genannt:

Stearinkerze	0.5 - 0.7	HK/cm2
Petroleumlampe	0,65-1,5	,,,
hängendes Gasglühlicht	6,4	11
Kohlenfadenlampe	60 - 70	,,
Metallfadenlampe	170 — 180	"
Gasfüllungslampe	1100 - 1300	11
Bogenlampe	600 - 8000	.,

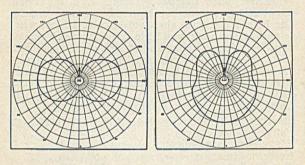
Von der Lichtmenge spricht man, wenn man den Lichtstrom in Lumen (Lm) mit der Zeit der Ausstrahlung (Sekunden oder Minuten) multipliziert nach der Formel:

Q = 4 . t

Die Einheit der Lichtmenge ist die Lumensekunde (Lms) oder die Lumenstunde (Lmh).

Lichtverteilung: Diese wird in der sogenannten Lichtverteilungskurve dargestellt. Dazu denkt man sich eine Vertikalebene durch die Achse der Lichtquelle gelegt. Unter verschiedenen Winkeln zu dieser Vertikalebene mißt man dann die Lichtstärken und trägt diese unter ihrem zugehörigen Winkel je als Länge auf. Durchs Verbinden aller dieser Punkte erhält man die Lichtverteilungskurven. Aus einer solchen läßt sich nicht ohne weiteres ein Schluß auf die Lichtleistung ziehen. Wohl aber kann man daraus den gesamten Lichtstrom berechnen oder den in den unteren bezw. oberen Halbraum hineingestrahlten Lichtstrom.

Die Lichtverteilung der nackten Glühlampe ist für Platzbeleuchtung nie, und für Raumbeleuchtung nur in einigen Fällen passend. Je nach der Anordnung des Leuchtdrahtes hat die nackte Glühlampe eine Lichtverteilungskurve gemäß folgender Figuren:



Lichtverteilung der nackten Glühlampe
Fig. 2. Fig. 3.
Leuchtdraht Leuchtdraht
im Zickzack angeordnet. im wagerechten Ring angeordnet.

In beiden Fällen strahlt die Lampe in den unteren und in den oberen Halbraum etwa gleichviel Licht aus. Für Platzbeleuchtung und für Bodenbeleuchtung in Räumen ohne helle Decke geht also — wenn nackte Lampen benutzt werden — mehr als die Hälfte des ausgestrahlten Lichtes für die Bodenbeleuchtung verloren.

Bewertung von Lampen und Beleuchtung.

Früher bewertete man die Lampen teils nach ihrer mittleren horizontalen Lichtstärke Jh (HKh), teils nach ihrer mittleren hemisphärischen Lichtstärke J (HKO) und teils nach ihrer mittleren sphärischen Lichtstärke Jo (HKo).

Jetzt bewertet man alle Lampen einheitlich nach

ihrem Gesamtlichtstrom in Lm.

Will man andeuten, wieviel Lichtstrom in den unteren bezw. oberen Halbraum strahlt, so geschieht dies in Form eines Bruches, dessen Zahlen sich zu 100 ergänzen. Z. B. 25 000 Lm $\frac{40}{60}$. Das würde also heißen:

Wir haben einen Gesamtlichtstrom von 25 000 Lumen, von ihm gehen 40 % in den oberen und 60 % in den unteren Halbraum. Im Zusammenhang mit dem Begriff Lampen- und Leuchtenbewertung spricht man auch von Lichtausbeute, Wirkungsgrad einer Lampenausrüstung und Gleichmäßigkeit der Lampen.

Es ist:

Lichtausbeute (einer Lampe) $\eta = -\frac{\Phi}{N}$ Lm/w

Der Wirkungsgrad einer Lampenausrüstung ist: $\eta = \frac{\Phi \text{ mit Ausrüstung}}{\Phi \text{ ohne Ausrüstung}}$

Soll die Bestimmung der Lichtausbeute nicht nur für eine Lampe, sondern für die Beleuchtung einer Fläche bestimmt werden, so multipliziert man die mittlere Beleuchtungsstärke mit der Größe der beleuchteten Fläche (m²) und teilt durch die zugeführte Leistung N in Watt.

Lichtausbeute (der Anlage für die Beleuchtung einer Fläche) = $\frac{E \cdot F}{N}$

Der Ausdruck "mittlere Beleuchtungsstärke" führt uns zu dem Begriff der Gleichmäßigkeit der Beleuchtung. Als "Maßebene" für die Beleuchtungsstärke gilt in der Regel diejenige Fläche, die 1 m über dem Fußboden liegt. Daneben unterscheidet man die Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche, die über oder unter der Meßebene liegen kann.

Senkrecht unter der Lampe wird auf der Meßebene die größte Beleuchtungsstärke E, an den seitlichen Rändern die kleinste Beleuchtungsstärke zu verzeichnen sein. Fig. 4. Man wird meistens die mittlere Beleuchtungsstärke angeben. Unter Gleichmäßigkeit versteht man das Verhältnis von der kleinsten zur größten Beleuchtungsstärke.

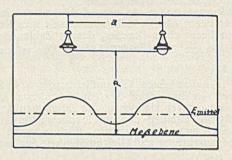


Fig. 4.

Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsstätten.

Die Beleuchtung soll zunächst gefahrlos und betriebssicher sein. Es mag hier genügen darauf hinzuweisen, daß besondere Vorsicht dort geboten ist, wo durch leicht brennbaren Staub oder durch Gase, Feuer- bezw. Explosionsgefahr vorhanden ist. Wo ein Bedürfnis vorliegt, ist stets auch eine Notbeleuchtung anzubringen. Im übrigen hat sich jeder Beleuchtungstechniker, was Gefahrlosigkeit und Betriebssicherheit anbelangt, streng an die Vorschriften, wie sie vom V. D. E. herausgegeben worden sind, zu halten.

Die Beleuchtung muß weiter hinreichend stark sein. Die Stärke ist lieber etwas zu reichlich als zu schwach zu bemessen. Nachfolgende Tabellen bieten Anhaltspunkte bezüglich der Auswahl der Beleuchtungsstärke:

Mittlere Beleuchtungsstärken in Lux:

1. In Arbeitsstätten.

Art der Beleuchtung Verkehrsbeleuchtung	Mittlere Beleuchtungsstä Lux	rke	
Durchgänge und Treppen mit schwachem Verkehr mit starkem Verkehr	15 30		
Fabrikhöfe mit schwachem Verkehr mit starkem Verkehr	3 15		
Arbeitsbeleuchtung	Reine Allgemeinbeleuchtung	Allgemeinbeleuchtg. +	Arbeitsbeleuchtung
ür grobe Arbeit z.B. Schmiede, Grobmontage usw.	40	20	50100
ür mittelfeine Arbeit z.B. Schlosserei, Klempnerei usw,	80	30	100-:300
ür feine Arbeit z. B. Feinmechanik, Büroarbeit usw.	150	40	300 -:- 1000
ür sehr feine Arbeit z.B. Uhrmacherarbeit, Zeichnen usw.	300	50	10005000

2. In Aufenthalts- und Wohnräumen.

Bezeichnung des Raumes Lux Bezeichn		Bezeichnung des Raumes	Lux
Verwaltungsgebäude		Vergnügungsstätten	
Kaulmännische Büros	80100	Konzertsäle	70
Technische Büros	100120	Restaurationsräume	6080
Konstruktionsbüros	120150	Gesellschaftszimmer	6070
Sitzungszimmer	6080	Küchen	40-:-60
	The Contract of the Contract o	Garderoben	20-:-30
Schulen			
Hörsäle, Klassenzimmer	80100	Bahnhöle	At Marian Sand
Zeichensäle	120140	Wartesäle	40 60
Physik- und Chemiezimmer	100 120	Hallen	30 40
Turnhallen	4050		
1 di mianen	40 . 30	Hotels	THE STATE OF THE S
Krankenhäuser		Fremdenzimmer	30 40
		Lese- und Schreibzimmer	6080
Krankenzimmer	4060	Flure	2030
Schlafsäle	20 30	Hallen	3040
Operationszimmer	400 - 400		
(Allgemeinbeleuchtung)	100120	Kirchen	20-:-40
Liegehallen Wirtschaftsräume	30-:-40 40-:60		
Wirtschaftsraume	40-:60	Wohnungen	
		Wohnzimmer	40:60
Kaufhäuser		Musikzimmer	5060
Verkaufsräume	80120	Baderäume	30-;-40
Hallen, Aufgänge	30-:-40	Küchen	40 60

- 158 -

Die Beleuchtung soll ferner blendungsfrei sein, und zwar deshalb, weil dadurch Augenschädigungen herbeigeführt werden können und dann, weil Blendung Lichtvergeudung bedeutet. Lichtquellen blenden, wenn sie mit einer Leuchtdichte von über 0,75 HK/cm² Licht direkt in das Auge des Arbeitenden werfen. Bei Allgemeinbeleuchtung tritt Blendung dann auf, wenn Lampen mit einer Leuchtdichte von über 5 HK/cm² das Licht in das Auge des Arbeiters werfen. Beträgt der Winkel zwischen der Wagerechten und der Blickrichtung nach der Lampe mehr als 30°, so gelten auch höhere Leuchtdichten nicht als blendend. Von indirekter Blendung spricht man, wenn das Blenden durch Spiegelung hervorgerufen wird.

Mittel gegen die Blendung sind:

- Abblendung der Lichtquelle durch lichtundurchlässige Schirme (Reflektoren!)
- 2. Abblendung der Lichtquelle durch lichtdurchlässige, aber lichtstreuende Hüllen, Glocken, Schalen, Vorhänge, Weißen der Wände.
- 3. Bei Allgemein-Beleuchtung Anordnung der Lampe oberhalb des normalen Gesichtsfeldes (> 30°)
- 4. Bei indirekter Blendung (Spiegelung) hilft die Veränderung der gegenseitigen Lage von Auge, Fläche und Lichtquelle.

Des weiteren darf die Beleuchtung störende Schlagschatten nicht hervorrufen. Denn sie können die Arbeit behindern oder Unsicherheit hervorrufen (z. B. bei Treppen). Die Schlagschatten treten um so härter hervor je kleiner die räumliche Ausdehnung der Lichtquelle ist und je größer die Rückstrahlungsfähigkeit der Umgebung ist. Durch Vermehrung der Brennstellenzahl und durch Heranziehung heller rückstrahlender Wände und Decken zur Mitbeleuchtung bringen meist Abhilfe.

Zu beachten bleibt, daß eine gewisse Schattenbildung in vielen Fällen unbedingt notwendig ist, z. B. beim Zeichnen, beim Verrichten feinmechanischer Arbeiten usw. Das Licht soll auch gleich mäßig sein. Schroffe Beleuchtungsunterschiede auf der Arbeitsfläche oder zwischen aneinanderstoßenden Räumen, zwischen denen ein häufiger Verkehr ist, sollen vermieden werden. Werkplatzlampen sollen möglichst das Licht über den ganzen Werkplatz ausbreiten. Für Außenbeleuchtung sind Breitstrahler besser als Tiefstrahler. Bei Innenbeleuchtung ist darauf zu achten, daß Decke und Wandfries zur Beleuchtung tunlichst herangezogen werden.

Die Lichtverteilung kann dann als gut bezeichnet werden, wenn bei Innenbeleuchtung je nach dem Zwecke, dem der betreffende Raum dienen soll, Unterschiede in der Beleuchtungsstärke von 1:2 bis 1:4 vorkommen; bei Außenbeleuchtung, insbesondere Straßenbeleuchtung, sind solche in der Orößenanordnung von 1:10 bis 1:40 je nach der Bedeutung und dem Umfange des Verkehrs zulässig.

Endlich ist noch auf den Lichteinfall Rücksicht zu nehmen. Es darf nicht der eigene Körperschatten auf den Arbeitsplatz fallen. Im allgemeinen ist es gut, wenn das Licht von der linken Seite her die Arbeitsfläche trifft. Bei halbindirekter oder indirekter Beleuchtung braucht man weniger oder gar keine Rücksicht auf die Stellung der Lichtquelle zum Arbeitsplatz zu nehmen. Denn hierbei ist keine ausgesprochene Lichteinfallsrichtung festzustellen, da das stark zerstreute Licht den Raum durchflutet und nur aufgehellte Schatten auftreten bezw. überhaupt keine Schatten vorhanden sind.

Die Lampen.

Für die Umsetzung elektrischer Energie in Licht sind drei Wege möglich:

- Es senden die hocherhitzten Elektroden und der Lichtbogen selbst Licht aus, wie bei den Bogenlampen.
- Es wird das Leuchten eines durch Stromdurchgang auf Glühtemperatur erhitzten Leuchtkörpers, der unter Luftabschluß gehalten wird, ausgenützt wie bei den Glühlampen.
- 3. Es werden unter geringen Drucken stehende Gase

zur Lichtaussendung angeregt wie bei den Leucht-röhren.

Die Bogenlampen haben im allgemeinen keine Bedeutung mehr. Sie sind fast durchweg von hochkerzigen Metalldrahtlampen verdrängt worden. Von Wichtigkeit sind nur noch die Reinkohlenlampen für Kopier-, Photographier- und Scheinwerferzwecke. Die Spannung der Bogenlampe beträgt bei Gleichstrom ~ 35 Volt, bei Wechselstrom ~ 25 Volt. Man muß daher mit Vorschaltwiderständen arbeiten oder eine entsprechende Anzahl Lampen hintereinander schalten. Bei Wechselstrom benützt man vorteilhafter statt Widerständen Drosselspulen. Werden die Lampen mit Gleichstrom betrieben, so verhalten die Kohlen sich nicht gleichmäßig. Die positive Kohle wird kraterförmig ausgehöhlt, während sich die negative Kohle kegelförmig zuspitzt. Die positive Kohle brennt auch schneller ab. Wird die Regulierspule vom gesamten Lichtstrom durchflossen, so bezeichnet man die Lampe als Hauptstrom- oder Serienlampe. Ist die Regulierspule dagegen parallel zum Lichtbogen geschaltet, so hat man eine Nebenschlußlampe. Besitzt die Lampe eine Haupt- und Nebenschlußspule, so nennt man sie eine Differentiallampe. Schließlich teilt man die Bogenlampen noch ein in solche, die offen und solche, die geschlossen brennen und jede Art brennt entweder mit Reinkohlen oder mit Effektkohlen. Den letzteren sind Metallsalze zugesetzt.

Die Quecksilberdampflampe ist eine Art Bogenlampe. Die eine Elektrode besteht aus Quecksilber die andere aus festem Metall oder aus Graphit. Das Quecksilber bildet den negativen Pol. Die Lampe wird horizontal angebracht. Ist der Stromeingeschaltet, wird sie gekippt, so daß das Quecksilber zum positiven Pol fließt. Beim Zurückkippen reißt der sich bildende Quecksilberfaden auseinander, die sich bildenden, gut leitenden Quecksilberdämpfe dehnen sich auf die ganze Röhre aus. Da dieses Licht die natürlichen Farben sehr verändert, kommt sie für Beleuchtungszwecke kaum in Frage. Dagegen kommt die Quecksilberdampflampe als Gleichrichter, zum Umformen von Wechselstrom in Gleichstrom, in ausgedehntem Maße zur Verwendung.

Bei der Quarzlampe verwendet man anstelle der langen Glasröhre einen kurzen Brenner aus Quarz. Da Quarz wesentlich höhere Temperaturen verträgt als Glas, kann die Strombelastung höher sein und die Lampe ist, was die erzielte Lichtmenge anbelangt, wesentlich günstiger als die gewöhnliche Quecksilberlampe. Mit rund 55 Lm/W ist sie überhaupt die günstigste unter allen künstlichen Lichtquellen. Trotz allem findet sie für Beleuchtungszwecke kaum Verwendung. Ihr Reichtum an ultravioletten Strahlen hat sie aber als "künstliche Höhensonne" ein weites Anwendungsfeld finnen lassen.

Zu den Bogenlampen ist auch die Wolframbogenlampe bezw. die Punktlichtlampe zu zählen. Bei ihr sind die Kohleelektroden durch Metall- und zwar durch Wolframelektroden ersetzt. Die Form ist kugel- bezw. halbkugelförmig. Das Glasgefäß ist mit Stickstoff gefüllt. Die eine der Elek-troden, bei Gleichstrom ist es die positive, ist fest angeordnet. Die zweite Elektrode ist auf einem Stiel, der aus zwei verschiedenen Metallen zusammengesetzt ist, beweglich angebracht. Die Elektroden berühren sich zunächst. Beim Stromdurchgang wird durch die Krümmung des Stiels die eine Elektrode abgezogen, es entsteht ein Lichtbogen, aber kein Verbrauch von Elektrodenmaterial. Bei den üblichen Netzspannungen ist ein großer Vorschaltwiderstand anzuwenden, da die Lampenspan-nung nur etwa 50 Volt beträgt. Sie stellt eine fast punktförmige Lichtquelle dar und findet für manche Zwecke, z. B. optische Apparate, Verwendung, Eine Sonderrolle spielt noch das sogenannte Röhrenlicht, das als Moorelicht oder als Edelgasleuchtröhrenlicht in der Praxis Verwendung findet. Beim Moorelicht sind es lange Glasröhren, die mit einem Gas in stark verdünntem Zustande angefüllt sind. Mit zwei Elektroden wird der auf eine hohe Spannung transformierte Wechselstrom zugeführt. Während des Betriebes nimmt die Gasverdünnung zu. Die Neuzuführung von Gas geschieht durch ein selbsttätig arbeitendes Ventil. Die Leuchtröhren-länge kann viele m betragen. Die Beleuchtungsart ist noch insofern eigenartig, daß man verschiedene Lichtfarben erzeugen kann je nach der Gasart, die in der Röhre enthalten ist. So erhält man bei Stickstoff ein rötlich-gelbes Licht, bei Kohlensäure ein dem Tageslicht gleichartiges Licht, sodaß es für Färbereien und ähnliche Betriebe besonders wertvoll ist. Die Edelgasleuchtröhren werden mit Neon, Helium oder Argon gefüllt. Die chemisch so gut wie nicht zu beeinflussenden Edelgase brauchen sich nicht auf. Die Ventile, wie sie beim Moorelicht üblich sind, die frisches Gas zuführen, sind daher hier überflüssig.

Die Lebensdauer solcher Leuchtröhren beträgt 2000—3000 Stunden. Auch hier ist die Farbe des Lichtes von der Gasfüllung abhängig. Das Hauptanwendungsgebiet ist das Reklamewesen. Besonders sind es hier die ein auffallendes Rot erzeugenden Neonröhren, die im Gebrauch sind. Werden die Edelgasröhren im allgemeinen wie das Moorelicht mit Wechselstrom betrieben, so können kurze Edelgasröhren doch auch mit Gleichstrom gespeist werden.

Als Kontroll- und Signallampe findet eine Lampe für kleinste Kerzenstärken Verwendung, die sogenannte Glimmlampe. Sie eignet sich für Gleichstrom und Wechselstrom. Sie ist mit Neongas gefüllt und kann direkt an die Netzspannung angeschlossen werden. Bei der Gleichstromlampe wird der negative Pol in der Regel großflächig ausgeführt. Beim Einschalten überzieht sich die negative Elektrode mit einer rötlich leuchtenden Glimmschicht. Die Wechselstromglimmlampe erkennt man daran, daß die Elektroden so gestaltet sind, daß beide zur Lichtwirkung beitragen.

Für die Beleuchtung haben die Glühlampen eine ganz besondere Bedeutung gewonnen.

Die Kohlenfadenlampe gelangte 1879 durch Edison an die Öffentlichkeit. Der wirkliche Erfinder ist ein Deutscher namens Goebel, der schon 20 Jahre früher Kohlenfadenlampen konstruierte. Der Kohlenfaden wird aus Zellstoff hergestellt und im teigförmigen Zustande durch feine Öffnungen gepreßt. Nach dem Erstarren wird dieser bei 1300°C in Kohle überführt. Die Kohlenfadenlampe ist sehr widerstandsfähig gegen Erschütterungen, hat aber einen sehr hohen Wattverbrauch (3,3 W/HK). Aus diesem Grunde ist sie fast überall von der Metallfadenlampe verdrängt worden. Doch ehe man diese

allgemein anwandte, kam eine andere Lampenart, die sogenannte Nernstlampe, auf den Markt. Man wollte das elektrische Glühlicht so verbessern, wie Auer das Gaslicht verbessert hatte. Wie dort, so wollte man auch hier anstelle der Kohle die weißglühenden Erden als Leuchtkörper benutzen. Diese Stoffe sind feuerbeständig. Sie können dadurch eine viel höhere Temperatur als die Kohle annehmen und so ein intensives Licht ausstrahlen. Leider sind diese Stoffe, z. B. Magnesiumoxyd, im kalten Zustande elektrische Nichtleider. Erst bei Rotglut werden sie gute Leiter der Elektrizität. Man muß sie also vorwärmen. Bei den Nernstlampen durchfließt der Strom zunächst eine feine Heizspirale. Erst durch die dadurch ausgestrahlte Wärme kommt ein Magnesiastäbehen auf so hohe Temperaturen, daß es nun leitend und durch den Strom zu heller Weißglut erhitzt, Wattverbrauch 1,83 W/HK. Das größte Hemmnis für die Verbreitung und Beibehaltung des Nernstlichtes war nach dem Gesagten die Tatsache, daß nach dem Einschalten des Stromes noch einige Zeit vergeht, ehe die Lampe "brennt". Die Metallfaden am pe, 1900 von dem bereits erwähnten Auer erfunden, bedeutete in dieser Beziehung einen Fortschritt. Als Metall benutzte man Osmium, später Tantal und heute so gut wie ausschließlich Wolfram. Bemerkenswert vor allem ist, daß bei dieser Lampenart der Wattverbrauch bereits auf 1,1 W/HK gesunken ist. Wurde der Glühfaden zunächst parallel zur Lampenachse angebracht, so wikkelte man ihn später zu einer Spirale in Form eines horizontalen Ringes, wodurch das Leuchtsystem sehr zusammengedrängt wurde.

Einen weiteren Fortschritt bedeutete die Herstellung der sogenannten Gasfüllungslampen. Der Wattverbrauch pro HK ist bei diesen Lampen wesentlich geringer als bei den luftleeren Lampen. Die Füllung der Lampen besteht aus Stickstoff. Da der Gasdruck der Zerstäubung des Fadens entgegenwirkt, kann man eine höhere Temperatur erzeugen, wodurch das Licht blendend weiß wird. Der Leistungsverbrauch geht bei großen Lampen bis auf 0,5 W/HK herunter. Deshalb heißen diese Lampen auch Halbwattlampen. Die Leuchtdichte beträgt ca.

800-1200 HK/cm².

Glühlampen-Tabelle.

1. Luftleere Metalldrahtlampen (Osram).

a) Mit gerade gespannten Drähten.

HK hor Lm	110 Volt		220 Volt		
	Watt	Lm/W	Wait	Lm/W	
5	50	6,4	7,8		
10	100	11,1	9,0	12,8	7.8
16	162	16,5	9,8	18,6	8,7 9,4
25	252	24,0	10,5	26,8	9,4
25 32	322	31,0	10,4	35,2	9,1
50	504	47,5	10.6	52.5	9,6

b) Mit Wendeldraht (-N-Lampen).

Watt	Vatt 110 Volt 220 Volt		110 Volt		Volt	Faden
Lm	Lm/W	Lm	Lm/W	1000		
15	138	9,2	126	8,4		
25	251	10.0	214	8,5		
40	402	10.0	364	9,1		

2. Gasgefüllte Lampen (Osram-Nitra).

Watt 1		Volt	220	Faden	
Lm	Lm/W	Lm	Lm/W	R. LEWIS	
25	214	8,6	OR ALL		PERMIS
40	414	10,4	314	7,9	
60	691	11,5	533	9,2	
75	929	12,4	754	10,1	
100	1319	13,2	1105	11,1	
150	2160	144	1846	12,3	
200	3065	15,3	2650	13,3	_
300	4898	16,3	4333	14,4	
500	8717	17,4	7950	15,9	
750	13854	18,5	12736	17,0	
1000	19028	19.0	17446	17.4	
1500	29441	19,6	27707	18.5	
2000	39878	19,9	38057	19,0	

HK hor bedeutet: Lichtstärke in horizontaler Richtung.
Lm bedeutet: Gesamtlichtstrom der Lampe in Lumen.
Watt bedeutet: Energieaufnahme der Lampe in Watt.
Lm/W bedeutet: Lichtausheute der Lampe in Lumen pro Watt.
Faden: bedeutet Olühfaden in Form eines horizontalen Ringes.

..... bedeutet Glühfaden zickzackförmig aufgehängt.

Als Sockel und Fassungen kommen hauptsächlich in Frage:

für kleine Lämpchen:

Zwergsockel (Taschenlampen),

Klein-Edison- oder Mignon-Sockel (Kerzen-lampen):

für die normalen Lampen bis 200 Watt:

Normal-Edison-Sockel;

für größere Lampen von 300 Watt an: Goliath-Sockel

Anstatt der Edison-Sockel werden für Bajonett-Fassungen Normal-Swan- oder Klein-Swan-Sockel verwendet, die Sicherheit bieten gegen das Lockern der Glühlampe. Bei Gewinde-Fassungen erreicht man diese Sicherheit durch einen stark federnden Mittelkontakt.

Da die größeren Lampen im Betrieb sehr heiß werden, muß für gute Abkühlung gesorgt sein. Größere Staub-Ablagerungen auf der Glühlampenkugel sind zu vermeiden

Leuchten.

Diese haben den Zweck, die Glühlampen zu tragen, vor Beschädigung, Stoß, Wetter zu schützen, dem Leuchtkörper Ansehen zu geben, die Blendung zu beseitigen und die Lichtverteilung der nackten Lampe so umzuformen, wie man sie für einen bestimmten Zweck braucht.

Man teilt die Leuchten nach ihrer kennzeichnenden Art der Lichtverteilung in 7 Gruppen ein, und

unterscheidet:

1. Vorwiegend direktes Licht,

2. Direktes Licht,

Direktes Licht, tiefstrahlend,
 Direktes Licht, breitstrahlend,

5. Vorwiegend tiefstrahlendes Licht,

Halbindirektes Licht,
 Ganzindirektes Licht.

I. Allgemein-Beleuchtung.

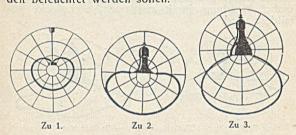
1. Vorwiegend direktes Licht.

Der Hauptteil des Lichtes strahlt in den unteren Halbraum, etwas Licht geht seitlich nach oben. Anwendung: Außen: Fassaden - Beleuchtung. Innenräume, wo auch Decke und Wände beleuchtet werden sollen: Fabrikräume, insbesondere mit heller Decke, auch Shedbauten; Läden, Schulräume, Kaffees, Restaurants usw.

2. Direktes Licht.

Das von der Glühlampe in den oberen Halbraum strahlende Licht wird durch Reflektoren in den unteren Halbraum geworfen.

Anwendung: Außenbeleuchtung, Straßen, Fabrikhöfe usw. Innenräume, wo Wände und Boden beleuchtet werden sollen.



3. Direktes Licht, tiefstrahlend.

Der größte Teil des Lichtes wird von einem tiefen Reflektor aufgefangen und nach unten geworfen. Maximale Lichtausstrahlung nach unten gerichtet. Dadurch gegenüber Lampen nach 1. je nach Konzentration des Lichtstromes (Einstellung der Glühlampe im Reflektor) die 2-4fache Bodenbeleuchtung unter der Lampe.

Anwendung: Außenbeleuchtung, wo ein beschränktes Feld zu beleuchten, oder seitliche Abblendung erwünscht ist: Kräne, Schiffshellinge, Häfen, Lagerplätze, Bahnhöfe und Eisenbahn-Gleisfelder, auch Straßenbeleuchtung. Innenbeleuchtung, wo es nur auf gute Bodenbeleuchtung ankommt und störende Schatten nicht zu befürchten sind: Fabrikräume und Werkstätten aller Art, Schau-

fenster und Läden, Schriftsetzereien, Operationssäle, Experimentiertische. Hierhin gehören auch Schrägstrahler, Lampen, die ihr Licht einseitig schräg nach unten werfen.

4. Direktes Licht, breitstrahlend.

Maximale Lichtausstrahlung seitlich in Winkeln zwischen 60° und 80° zur Vertikalen. Große Reichweite und gleichmäßige Bodenbeleuchtung. Wir unterscheiden Glocken, und Schirm-Breitstrahler. Beim Glocken-Breitstrahler (Diopter) wird das Licht durch lichtbrechende Prismen-Glocken in die Breite gelenkt. Die Lampe wirkt strahlend, wobei Blendung durch mattierte Außenglocke gemildert wird.



Glocken-Breitstrahler (Diopter).



Schirm-Breitstrahler (Katopter).

Anwendung: Straßenbeleuchtung, wo auf ein freundliches Straßenbild, auf gleichmäßige Bodenbeleuchtung und auf Erhellung der Häuserfronten bis oben hin Wert gelegt wird.

Beim Schirm-Breitstrahler ist die Lichtquelle von einem tiefen Schirm umgeben, der durch regelmäßig reflektierenden Einsatz (Katopter) das Licht in die Breite lenkt. Über 75° zur Vertikalen kein Lichtstrahl, also aus der Ferne vollkommen blendungsfrei.

Anwendung: Eisenbahn-Anlagen, insbesondere Gleisfelder. Straßenbeleuchtung, wo es in erster Linie auf Blendungsfreiheit, große Reichweite und starke gleichmäßige Bodenbeleuch-

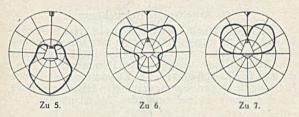
tung ankommt.

5. Vorwiegend tiefstrahlendes Licht.

Das Licht wird unter starker Streuung nach allen Seiten, in der Hauptsache nach unten, breit verteilt. Anwendung: Innenbeleuchtung: Decke und Wände sind gleichmäßig beleuchtet, die Fläche unter der Lampe besonders gut, im wesentlichen durch direktes Licht. Gute Raumwirkung. Läden, Säle, Bilder-Galerien, eventuell Schaufenster, Büros, Schulen.

6. Halbindirektes Licht.

Der Hauptteil des Lichtes wird in den oberen Halbraum geworfen und von Raumdecke und Wandfries zurückgestrahlt, die weiß sein müssen; nur wenig Licht geht stark gestreut direkt in den unteren Halbraum. Weiche, wohltuende Beleuchtung. Gar keine Blendung, milde Schatten, wenig Richtungssinn der Beleuchtung.



Anwendung: Räume mit weißer Decke für Schreibarbeit u. dergl., Büros, Sitzungssäle, Schulsäle, Zeichensäle, Werkstätten für feinere Arbeiten

7. Ganzindirektes Licht.

Alles Licht wird in den oberen Halbraum geworfen. Ganz ruhig wirkende Beleuchtung ohne jede Blendung, fast ohne Schatten und ohne Rich-

tungssinn.

Änwendung: Räume mit weißer Decke: Schulzimmer, Zeichensäle, Ausstellungsräume, Büros und Lesezimmer, wo jede Spiegelung des Lichtes auf Glas oder glattem Papier, oder falscher Richtungssinn der Beleuchtung stören würde.

Lichtausbeute.

Hinsichtlich der erzielten Stärke der Bodenbeleuchtung stehen Tiefstrahler (anwendbar, wenn es nur auf starke Bodenbeleuchtung ankommt) wirtschaftlich an erster Stelle. Man kann rechnen, daß die mittlere Bodenbeleuchtung im Raum bei Tiefstrahlern um 50 bis 100% stärker ist als bei anderen Lampen bei gleichem Wattverbrauch.

Das vorwiegend direkte Licht,

das direkte Licht,

das vorwiegend tiefstrahlende Licht

u. das halbindirekte Licht

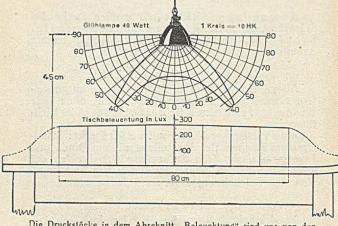
unterscheiden sich hierin wenig voneinander, wenn bei den beiden letztgenannten Lampen die Raumdecke weiß und gut reflexionsfähig ist.

Das ganzindirekte Licht braucht für die gleiche mittlere Bodenbeleuchtung etwa 30% mehr

Strom als die obengenannten Lampenarten.

II. Arbeitsplatz-Beleuchtung.

Tischlampen, Werkplatzlampen, Reißbrettlampen usw. Die Lampe ist ganz von einem tiefen Reflektor umgeben, der das Licht breit über die Arbeitsfläche verteilt. Vollkommen blendungsfrei. Höchste Lichtausbeute. Große Reichweite. Gegenüber einer nackten Glühlampe etwa 3 mal stärkere Beleuchtung des Arbeitsplatzes.



Die Druckstöcke in dem Abschnitt "Beleuchtung" sind uns von der Fa. Körting & Matthiesen, Leipzig, freundlichst zur Verfügung gestellt.

Projektierung von Beleuchtungsanlagen.

Für jede größere Lichtanlage sollte zunächst ein Beleuchtungsprojekt gemacht werden; dann erst die Leitungsanlage. (Nicht umgekehrt!)

Leitungsanlage. (Nicht umgekehrt!)
Die Ausarbeitung eines Beleuchtungs-Projektes erfordert hinreichende Unterlagen und Angaben über:

1. Stromart und Netzspannung.

 Maßstäbliche Grundrisse mit Angabe der Raumhöhe.

3. Art der Decke, ob weiß, ob glatt, sonst Unterzüge und Oberlichter im Grundriß eingezeichnet. Höhe der Unterzüge.

4. Farbe der Wandflächen; Fenster, Glaswände

usw. eingezeichnet.

 Art der Arbeit in jedem Raum; möglichst Arbeitsplätze und Arbeitsmaschinen mit Benennung eingezeichnet.

 Kräne, Transmissionen, Entlüftungsschächte und andere in Betracht kommende Einrich-

tungen eingezeichnet.

Besondere allgemeine oder lokale Anforderungen an die Beleuchtung eingetragen in die Zeichnung. Ob behördliche Vorschriften zu beachten sind.

Je ausführlicher diese Angaben, desto schneller und besser kann das Beleuchtungsprojekt gemacht werden

Lampen-Anzahl und Lichtpunkthöhe.

Wie aus den Lichtstromtabellen hervorgeht, haben große Glühlampen eine bedeutend bessere Lichtausbeute wie kleine. Da auch die Installation um so einfacher und billiger wird, je weniger Lampen aufgehängt sind, so verwende man im allgemeinen für einen Raum nicht mehr Lampen, als mit Rücksicht auf die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung und auf richtigen Lichteinfall erforderlich sind.

Bei Platzbeleuchtung gilt das Entfernungsgesetz. Man nähere daher die Lichtquelle möglichst dem Arbeitsplatz, wodurch die Beleuchtungsstärke bedeu-

tend erhöht wird.

Bei Allgemeinbeleuchtung spielt das Entfernungsgesetz fast keine Rolle. Die Beleuchtung ist daher fast unabhängig von der Lichtpunkthöhe.

Bei indirektem Licht sind die Lampen so auf-

zuhängen, daß die Decke möglichst gleichmäßig und der weiße Wandfries voll beleuchtet wird.

Lampenabstand und Gleichmäßigkeit der Beleuchtung.

Je kleiner der Abstand der Lampen untereinander, desto gleichmäßiger ist die Beleuchtung (Fig. 4). Wählt man den Abstand a von Lampe zu Lampe $a = 1.5 \div 2.5 p$,

wenn p die Lichtpunkthöhe über der Meßebene bedeutet, so ist die Beleuchtung bei a = 1,5 p unter und zwischen den Lampen fast ganz gleichmäßig, bei a = 2,5 p zwischen den Lampen etwa halb so groß wie unter den Lampen.

Maßgebend für die Lampenverteilung ist der Grundriß, die Bauart der Decke, die Lage der Fenster und der Arbeitsplätze. Durch die Lampenverteilung erhält man die Lampen-Anzahl für einen

Raum.

Berechnung des Lichtstromes.

Die Bodenfläche eines Raumes ist gegeben. Die mittlere Beleuchtung wähle man nach der Beleuchtungstabelle Seite 157. Der Wirkungsgrad der Beleuchtungsanlage ist abhängig von der Art des Raumes und der Leuchte und kann nach folgender Tabelle gewählt werden.

Der Wirkungsgrad für direkte und halbindirekte Beleuchtung von Innenräumen beträgt ca.

	DAME LESCH	Zustand der Decke		
		Hell º/o	Mittel 0/0	Dunkel 0/0
Zustand der Wände	Hell Mittel Dunkel	50 45 40	45 40 35	40 35 30

Der Wirkungsgrad für indirekte Beleuchtung von Innenräumen beträgt ca.

		Zustand der Decke		
		Hell %	Mittel	Dunkel º/o
Zustand der Wände	Hell Mittel Dunkel	35 30 25	25 20 15	15 10 5

Der erforderliche Lichtstrom pro Lampe berechnet sich dann:

 $\Phi = \frac{E \cdot F}{\eta \cdot z}$

worin z die Anzahl der Lampen angibt. Für diesen Lichtstrom sucht man aus der Lichtstromtabelle Seite 167 die erforderliche Lampengröße in Watt.

Beispiel: Eine Schmiede soll mit Allgemeinbeleuchtung versehen werden. Eine Arbeitsbeleuchtung ist nicht erforderlich, da keine feine Arbeiten auszuführen sind. Die Werkstatt ist 12 m lang, 6 m breit und die Deckenhöhe beträgt 3,5 m. Netzspannung 220 Volt. Wieviele Lampen werden benötigt und wie groß müssen diese sein?

Gewählt werden Werkstattleuchten mit einer Ge-

samtlänge von 0,45 m, folglich:

Lichtpunkthöhe p=3.5-(1+0.45)=2.05 mLampenabstand $a=1.5\div2.5\cdot2.05=\sim3\div5 \text{ m}$ Da der Raum 12 m lang ist, kommen also 3 Lampen in Frage. Der Wirkungsgrad wird nach der Tabelle mit 35% und die Beleuchtungstärke nach der Beleuchtungstabelle mit 40 Lx eingesetzt. Lichtstrom pro Lampe

$$\Phi_{L} = \frac{E \cdot F}{\eta_{1,2}} = \frac{40 \cdot 12 \cdot 6}{0.35 \cdot 3} = 2750 \text{ Lm}.$$

Nach der Lichtstromtabelle sind 3 Lampen a 200 W mit einem Lichtstrom von je 2650 Lm anzubringen. Die auftretende Beleuchtungsstärke wird, wenn der Wirkungsgrad genügend genau angenommen wurde, etwas geringer als 40 Lx ausfallen.

Beispiel: Ein Ausstellungsraum mit den Abmessungen 30.6 m bei 5 m Raumhöhe soll indirekt beleuchtet werden. Zustand der Decke: weiß, der Wände mittel. Netzspannung 220 Volt. Wählt man Leuchten mit einer Länge von 0,9 m, so wird die Lichtpunkthöhe p=5-(1+0,9)=3,1 m Lampenabstand a $=1,5\div2,5\cdot3,1=4,65\div7,75$ m.

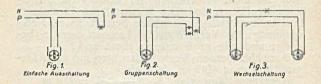
Bei einem Lampenabstand von 7 m erhält man 4 Lampen. Lichtstrom pro Lampe

 $\Psi_L = \frac{E \cdot F}{\eta \cdot z} = \frac{120 \cdot 30 \cdot 6}{0.3 \cdot 4} = 18000 \text{ Lm}.$

Eine Lampe für 1000 Watt gibt einen Lichtstrom von 17446 Lm ab; es sind daher 4 Lampen a 1000 Watt zu wählen.

Schaltungen.

Die allgemein übliche Schaltung für Glühlampen ist die Parallelschaltung; die Hintereinanderschalkommt nur bei niedervoltigen Lampen (z. B. bei Christbaumbeleuchtungen) oder dort vor, wo man hohe Netzspannung hat. Beträgt z. B. die Netzspannung 220 Volt, so kann man zwei 110 voltige Lampen hintereinander schalten.



Um eine Glühlampe oder eine Gruppe von Glühlampen ein- oder ausschalten zu können, verwendet man Ausschalter. Fig. 1 zeigt das Schaltungsschema.

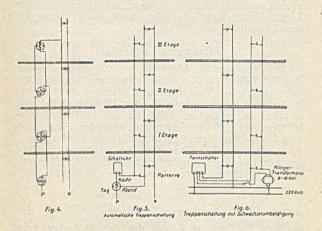
In Fig. 2 ist die Kronen-, Serien- oder auch Gruppenschaltung genannt, dargestellt. Es befinden sich gewöhnlich 2 Lampengruppen an einem Beleuchtungskörper, die jede für sich allein und auch zusammen brennen können.

Fig. 3 zeigt das Schalten einer Lampe oder Lampengruppen von zwei Stellen aus (Wechselschaltung). Diese Schaltung wird vor allem für Schlafzimmer,

Treppenbeleuchtung usw. angewandt.

Eine Treppenbeleuchtung mit mehr als zwei Lampen und Schalter stellt Fig. 4 dar. Im obersten und untersten Stock ist ein Wechsel- oder Umschalter, in den mittleren Stockwerken dagegen sind Umschalter angebracht, diese können in beliebiger Anzahl montiert werden.

In Fig. 5 ist eine Treppenbeleuchtung mit Schaltuhr und Druckknopfbetätigung (Minutenlicht) dargestellt. Der Umschalter ist für zwei Umschaltstellungen und eine Ausschaltstellung eingerichtet und wird vom Portier betätigt, sodaß der Schalter in Stellung I während der Abendzeit die Lampen brennen läßt, ohne daß sie durch einen Zwischenschalter ausgeschaltet werden können. In der Nacht steht der Schalter in Stellung II, wodurch der Strom durch die Schaltuhr fließt und die Lampen nur durch Betätigung eines Druckknopfes eingeschaltet werden können, wogegen die Schaltung III tagsüber ein Einschalten nicht gestattet. Für die Schaltung ist jedoch die Konstruktion der Schaltuhr maßgebend und besonders zu beachten.



Eine elektrische Fernschaltung mit Quecksilberschaltröhren für Schwachstrombetrieb, angewandt bei einer Treppenbeleuchtung, zeigt Fig. 6. Den Schwachstrom kann man aus Batterien, Akkumulatoren oder bei Wechselstrom auch aus Transformatoren entnehmen. Die in den anderen Schaltungen nötigen Wechsel- und Kreuzschalter fallen fort und werden durch eine Schwachstromleitung mit in beliebiger Anzahl geschaltete Klingeldruckknöpfe ersetzt.

Reklamebeleuchtung.

Soll die Reklamebeleuchtung ihren Zweck erfüllen, so muß sie in der Aufmachung etwas Reizendes aufweisen, das mit suggestiver Macht den Passanten zwingt, einen Blick auf die Reklameschrift oder auf die Schaufensterauslagen zu werfen. Die Beleuchtung hat die Aufgabe zu erfüllen,

die ausgestellten Waren deutlich erkennbar zu machen und ihre charakteristischen Eigenschaften scharf herauszuheben. Das gilt für Tageslicht so gut wie für künstliches Licht. Die künstliche Beleuchtung muß so eingerichtet sein, daß mit ihr zum mindesten die gleiche Wirkung wie mit dem natürlichen Lichte erzielt werden kann. Eine zweckmäßig angeordnete Lichtreklame kann hier aber weit mehr leisten als das Tageslicht.

Allgemeine Leitpunkte.

Bei Montage der Lichtreklameanlagen sind außer den VDE-Vorschriften auch die etwa bestehenden ortspolizeilichen Vorschriften zu beachten. Bei Leuchtbuchstaben müssen Schrift oder Bild klar und gut sichtbar hervortreten, dabei ist die Lesbarkeit abhängig von den Abmessungen, von der Form und dem Verhältnis ihrer Leuchtdichte zum Hintergrund. Als Anhaltspunkt diene für die jeweilige Entfernung notwendige Mindestbuchstabengröße für normale Verhältnisse in der Praxis nachstehende Formel:

 $B = \frac{E}{350}$

wobei die Buchstabengröße B mindestens 1/350 der größten Entfernung E aus der Schrift lesbar sein soll.

Die Versuche wurden an Leuchtbuchstaben mit aufgesetzten Glühlampen, mit offenem Leuchtkanal und mit opalglasabgedecktem Leuchtkanal gemacht.

Die Leuchdichte soll genügend bemessen sein, was sich auch auf Sichtweite, Hintergrund und Umgebung bezieht. Nach vielen Prüfungen von Lichtreklameanlagen mit guter Wirkung sind heute nachstehende Leuchtdichten gebräuchlich:

Bei Leuchtbuchstaben mit Opalglasabdeckung 1000-4000 Lux auf Weiß.

Bei Transparenten:

75—400 Lux auf Weiß, Untergrund weiß oder hellfarbig bei dunkelfarbiger Schrift oder Bildzeichnung,

1000—3000 Lux auf Weiß für weiße Schrift resp. Zeichnung auf dunkelfarbigem oder schwarzem Untergrund.

Bei angeleuchteten Firmenschildern:

60-300 Lux auf Weiß;

der unterste Wert ist für schwache Helligkeit der Umgebung, der Höchstwert für stark beleuchtete

Umgebung gemessen.

Der Lichteindruck soll ein geschlossener sein und die leuchtenden Flächen dem Auge gleichmäßig erscheinen. Die Lichtreklame muß so ausgeführt sein, daß sie auch bei Tage den werbetechnischen und ästhetischen Ansprüchen genügt. Das, was für jede Beleuchtungsanlage bezügl. Auswechseln der Glühlampen, Reinigung und Erneuerung des Anstriches gilt, ist selbstverständlich auch hierbei zu beachten.

Glühlampen-Leuchtbuchstaben.

Nach Arten unterscheidet man:

- Nr. 1 Leuchtbuchstaben mit aufgesetzten Glühlampen,
- Nr. 2 Leuchtbuchstaben mit offenem Leuchtkanal,
- Nr. 3 Leuchtbuchstaben mit metall-abgedecktem Leuchtkanal,
- Nr. 4 Leuchtbuchstaben mit opalglas-abgedecktem Leuchtkanal.
- Nr. 5 Leuchtbuchstaben nur aus Opalglas.

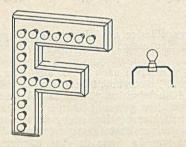
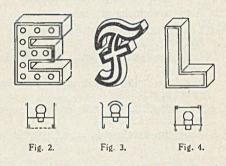


Fig. 1.

Die Buchstaben nach Nr. 1 ist die älteste und wohl auch einfachste Art (Fig. 1). Doch ist diese

Art nach heutigen Begriffen veraltet zu nennen, da ihr div. Fehler anhaften, z. B. wird der Hintergrund zu viel erhellt und damit die Buchstaben in kurzer Entfernung unlesbar, dazu tritt noch Blendung und Überstrahlung der Buchstaben untereinander.

Leuchtkanal-Buchstaben nach Nr. 2 (Fig. 2) sind Buchstaben für große Höhen oder weite Entfernung. Bei diesen Buchstaben ist die Tageswirkung nicht genügend und darum für Schilder über Schaufenstern nicht geeignet. Durch den Kanal wird natürlich erreicht, daß die Überstrahlung fortfällt. Zweckmäßig wird der Kanal innen weiß lackiert. Mattierte oder besprühte Glühlampen erhöhen den Lichteindruck. Werden die nach außen rund abgebogenen



wulstartigen Ränder der Buchstaben vergoldet, so kann auch eine entsprechende Tageswirkung erzielt werden.

Leuchtbuchstaben nach Nr. 3, also zum Teil metallabgedeckte Buchstaben nach Fig. 3 haben gute Tages- und Abendwirkung, weil dem Auge die Lichtquelle unsichtbar gemacht wurde. In leuchtenden Konturen tritt hier der Buchstabe dem Beschauer in sozusagen ruhiger Bestrahlung entgegen. Wenn die Buchstaben von der Seite gesehen werden, soll natürlich von Glühlampen gar nichts zu sehen sein. Von vorn gesehen sind die Buchstaben gut beleuchtet, was man von der Seite gesehen als weniger gut ansprechen muß.

Leuchtbuchstaben nach Nr. 4 (Fig. 4) mit opalglas-abgedecktem Leuchtkanal haben eine gute Tages- und Nachtwirkung, entgegen der Metallabdekkung haben diese eine größere leuchtende Fläche. An Stelle des weißen oder farbigen Opalüberfangglases kann auch Cellon Anwendung finden.

Leuchtbuchstaben nach Nr. 5 (Fig. 5) sind Buchstaben ganz aus Opalglas, d. h. Seitenwände und Decke sind ganz aus diesem Material. Sind die Seitenwände aus dunkelfarbigem Glas hergestellt, so wird sicher die günstigste Wirkung erzielt, im anderen Falle wird der Hintergrund zu viel aufgehellt und Kontraste sind dann unvermeidlich.

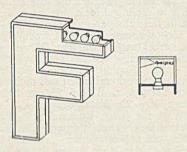


Fig. 5.

Die Leuchtbuchstaben von Nr. 2-5 lassen sich künstlerisch so gestalten, daß jedem Geschmack resp. Gestaltung Rechnung getragen werden kann.

Für Warenhäuser, Kaufläden usw. die wechselnde Texte nötig haben, wird ein innen weiß lackierter entsprechend großer Blechkasten hergestellt, in dem genügend Glühlampen angebracht werden. Vorn ist dann entweder eine Opalglasscheibe oder Milchglas fest angebracht, vor welchem zwei Blechfalze angeordnet werden, in welchen dann eine Blechscheibe mit durchbrochenem Schriftsatz eingeschoben wird, wie beispielsweise bei den Signierschablonen, oder auch Figuren, Ornamente oder dergleichen.

Leuchtröhren.

Starke Farbensattheit kennzeichnet diese Röhren und dadurch sind sie auch weithin sichtbar; sie sind ähnlich bezüglich ihrer Wirkung, den längst bekannten Geißlerschen Röhren.

Die Neon-Leuchtröhren werden mit sog. Edelgas gefüllt und leuchten diese Neon-Gasgefüllten Röhren in ihrer natürlichen roten Farbe. Wird der Neon-Gasfüllung noch Quecksilber zugefügt, so leuchten diese Röhren blau, nimmt man zu letztgenannter Füllung noch braungefärbte Röhren, so werden diese grün leuchten.

Mit Heliumfüllung werden die Röhren in den Farben Weiß und Gelb geliefert. Je nach dem Durchmesser ist die Betriebsspannung pro m 750—1500 Volt und die Lichtausbeute 12—18 Lumen/Watt. Allgemein lieferbare Durchmesser der Röhren sind 8, 12, 17, 22 und 30 mm.

Der geringe Stromverbrauch soll nicht unerwähnt bleiben, er beträgt z. B. bei 25 cm hohen Buchstaben etwa 15-20 Watt, bei 50-70 cm Höhe etwa 80 Watt für jeden Buchstaben. Glühlampen-Leucht-Buchstaben haben hingegen die 5fachen Betriebskosten eines Neonröhren-Leuchtschildes. Ein weiterer Vorteil der Neonröhren ist die leichte Anpassungsfähigkeit bedingt durch den geringen Rohrdurchmesser, jede beliebige Form, jede Schriftart oder Zeichnung kann man damit darstellen.

Der Nachteil der Leuchtröhren wäre die zum Betrieb nötige hohe Spannung, ferner die hierfür nötigen Transformatoren nebst Sicherheitsvorrichtungen, welche die Anschaffungskosten erhöhen. Die Lebensdauer ist fast unbegrenzt.

Die Moorelichtröhren sind wohl die ältere Type, die entweder mit Stickstoff oder Kohlensäure gefüllt werden. Kohlensäurefüllung gibt eine weiße, dem zerstreuten Tageslicht gleiche Farbe. Goldgelbe Farbe geben die Stickstoff gefüllten Röhren. Zur Speisung der Röhren ist ein hochgespannter Wechselstrom erforderlich.

Durchleuchtete Reklameschilder.

Diese werden angewendet als Reklamelaternen oder Ampeln, besonders aber als Firmenschilder. Die Beleuchtung kann direkt oder indirekt mit Hilfe von

Soffittenlampen erfolgen.

Die Transparentschilder müssen lichtdurchlässige und streuende Medien sein. Das Material dazu Opal- oder Opalüberfangglas, wenn die Glühlampen unmittelbar hinter der Glasscheibe angebracht werden. Bei farbigem Opalglas kann man auch die Schrift oder Figuren usw. mittels Flußsäure herausätzen. Weiteres geeignetes Material sind Alabaster, Glas, Stoff, Marmor u. a. m. Bei mattierten Gläsern müssen Soffittenlampen gewählt werden, da die Glühlampen durchscheinen und Lichtflecke hervorbringen, die ungemein stören, diese Ausführungsart ist nur für einseitig leuchtende Transparentflächen anwendbar.

Die durchleuchteten Reklameschilder usw. lassen sich wirkungsvoll und mit künstlerischem Geschmack gepaart, zu einer sehr vornehmen Reklame gestalten.

Angeleuchtete Reklameflächen.

Reklameflächen werden wie der vorstehende Titel sagt, angeleuchtet, dazu kommen Einzelreflektoren oder Soffittenreflektoren in Frage. Die Soffittenreflektoren sind ihrem Zweck entsprechend innen weiß gestrichen, in Bezug auf größere Haltbarkeit der

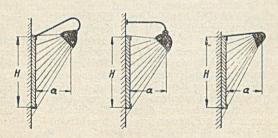


Fig. 6.

weißen Farbe, sind jedoch innen weiß emallierte zu bevorzugen. Die Soffittenreflektoren haben den Vorzug sich besser der Architektur anzupassen, auch sind diese unauffälliger als Einzelreflektoren anzubringen, letztere Art eignet sich besonders für große Reklameflächen an Giebelwänden usw. Man stelle auch sein Augenmerk auf die Wetterfestigkeit ein.

Schildhöhen und Reflektorabstand: (Fig. 6)

Schildhöhe H in	Abstand des R	eflektors a in cm geringst. Abstand
60	40	30
100	70	50
140	95	70

Zwischengrößen sind prozentual zu ermitteln usw.

Sehr empfehlenswert ist auch an der unteren Schildkante eine weiße Reflektionsleiste (emailliert) anzubringen, dadurch wird das Firmenschild gleichmäßiger beleuchtet und auch nach unten abgeschattet.

Wanderschrift-Reklame.

Die Tageswirkung dieser Lichtreklame ist nicht allzu günstig, hingegen die Nachtwirkung als ganz hervorragend anzusprechen.

Die von den Dächern glitzernden und wandernden Leuchtbuchstaben üben auf den Zuschauer einen besonderen Reiz aus. Diese Einrichtung ist allerdings eng verknüpft mit der Kapital- und Installationsfrage. Es ist z. B. außerordentlich schwierig Teile eines rotierenden Körpers oder einen Wasserfall usw. richtig darzustellen. Reihenweise werden genau untereinander verteilte Lampen, welch Letztere zur Verstärkung der Lichtwirkung in kleine Reflektoren eingebaut werden, in einen vorn offenen Blechkasten montiert. Von diesem Blechkasten. der auf einem starken Eisengerüst angebracht wurde, gehen zahlreiche Kabel nach rückwärts zum Dachraum, welcher den eigentlichen Wanderschriftapparat auf-

nimmt. Die Leuchtschrift wird, sich von rechts nach links bewegend, vor dem Auge des Beschauers zum Aufleuchten gebracht. Der Text kann beliebig lang sein und während des Betriebes geändert werden.

Flutlichtanlagen.

In neuerer Zeit ist man dazu übergegangen, ganze Häuserfassaden und dergl. durch Anstrahler mit Licht zu überfluten. Wo Anbringungsmöglichkeiten an Masten usw. nicht vorhanden sind, können die Leuchter auch auf benachbarten Gebäuden oder auf Mauervorsprüngen Platz finden. Es können auch Ausleger am Gebäude angeordnet werden, welche die Scheinwerfer aufnehmen.

Bei Flutlichtanlagen ist zu beachten, daß eine ausreichende Beleuchtungsstärke gewählt wird, um das anzustrahlende Bauwerk aus der Umgebung herauszuheben. Vor allem dürfen die Anleuchter nicht so angebracht werden, daß sie eine Blendung her-

vorrufen, wodurch Unfälle entstehen können.

Außenbeleuchtung.

Auf Straßen und Plätzen, Bahnhofs- und Kaianlagen auch auf Fabrikhöfen, also da überall im Freien, wo ein größerer Verkehr stattfinden kann, müssen die Lichtquellen, der Sicherheit des Verkehrs entsprechend, genügende Beleuchtungsstärke aufweisen, auch den ästhetischen Forderungen angepaßt sein.

Die Beleuchtungsstärke wird als Horizontalbeleuchtung im Freien 1 m hoch über dem Erdboden gemessen. Nach der mittleren Beleuchtungsstärke und der Mindestbeleuchtung an nicht durch Schlagschatten getroffenen Stellen wird diese bewertet.

Zeitliche Schwankungen und störende Ungleichmäßigkeiten sind in der Beleuchtungsstärke zu vermeiden, desgl. Schlagschatten an verkehrsstarken Stellen.

Die Lampen der öffentlichen Beleuchtung dürfen nicht durch Blendung stören, zu diesem Zwecke ist ihre Leuchtdichte durch lichtstreuende Mittel herab-

Die Lampen der öffentlichen Beleuchtung dürfen keinesfalls die Lichtsignale der Eisenbahn überstrahlen auch dürfen diese nicht mit ihnen verwechselbar sein.

Der Beleuchtungsbetrieb im Freien ist in unseren Breitengraden nötig:

Im Sommerhalbjahr 1 Stunde nach Untergang und 1 Stunde vor Aufgang der Sonne.

Im Winterhalbjahr 3/4 Stunde nach Untergang und 3/4 Stunde vor Aufgang der Sonne.

Für Verkehrsanlagen.

Art der Anlage	Lux
Straßen und Plätze	
mit schwachem Verkehr mit mittlerem Verkehr mit starkem Verkehr mit stärkstem Verkehr in Großstädten	3 8 15 30
Durchgänge und Treppen	
mit schwachem Verkehr mit starkem Verkehr	15 30
Bahnanlagen	
Gleisfelder mit schwachem Verkehr Gleisfelder mit stackem Verkehr Bahnsteige, Verladestellen, Treppen	1,5 5
mit schwachem Verkehr mit starkem Verkehr	15 30
Wasserverkehrsanlagen	
mit schwachem Verkehr mit starkem Verkehr	3 15

Die Berechnung der mittleren Beleuchtung auf einer Straße oder auf einem Platz, erfolgt am einfachsten mit Hilfe nachstehender Tabelle. Die Werte setzen ein Verhältnis Straßenbreite: Aufhängehöhe = 3 und darüber voraus. Bei einem Verhältnis Straßenbreite: Aufhängehöhe < 3 sind die m² mit 0,8 zu multiplizieren.

	Luftleere Glühlampen der Einheitsreihe								
Watt HKo 110 V 220 V	15 11,5 9,9	25 19,8 17,9	40 33,4 31,4	60 62 50	75 83 68	100 119 99			
Aufhängehöhe	bis 2	2,5 m	bis 3	3,5 m	bis	5 m			
Lux	m ⁰	m ²	m ²	m²	m ²	m ²			
1 1,5 2 2,5 3 4 5 6 8 10 15 20 30 40 50 60 70 80 90	55 36 28 22 18 14 11 9 7 5,5 3,6 2,8 1,8 1,4 1,1	100 66 50 40 33 25 20 17 13 10 6,6 5 3,3 2,5 2 1.7 1.4 1,1	175 115 88 70 58 44 35 29 22 17.5 11.5 8.8 4.4 3.5 2.9 2.5 2.19	280 186 140 112 93 70 56 47 35 28 18.6 14 9,3 7 5,6 4,7 4 3,5 3,1	370 246 185 148 123 93 74 62 46 37 24,6 18,5 12,3 9,3 7,4 6.2 5,3 4,6	550 366 275 220 183 138 110 92 69 55 33,6 28 18,3 13,8 11 9,2 7,9 6,9			

	Gasfüllungslampen (Nftralampen)										
PLEE	Watt 110 V	150 186	200 258	300 413	500 706	750 1110	1000 1510				
HKo	220 V	159	226	369	635	1030	1390				
Aufhä	ngehöhe	NEW STATE	5:8 m	TOTAL	SHIPPING.	7—:—12 m	Troughout.				
250.23	Lux	m³	m ²	m ⁹	m ²	m ²	m ²				
artist.	1	850	1250	2000	3750	5750	7800				
	1,5	580	850	1350	2500	3900	5200				
	2	430	630	1000	1900	2880	3900				
	2,5	340	500	800	1500	2300	3100				
	3	280	420	665	1250	1920	2580				
	4	215	315	500	950	1435	1950				
	5	170	250	400	750	1150	1550				
	6	140	210	333	625	960	1290				
	8	108	158	250	475	718	975				
	10	85	125	200	375	575	780				
	15	58	85	135	250	390	520				
	20	43	63	100	190	288	390				
	30	28	42	67	125	192	260				
	40	22	32	50	95	144	195				
	50	17	25	40	75	115	155				
	60	14	21	33	63	96	129				
	70	12	18	29	54	82	111				
	80	11	16	25	48	8 72					
	90	9,4	14	22	42	64	86				
	100	8,5	12.5	20	38	58	78				

Beispiel: Eine Hauptstraße von 16 m Breite soll mit Gasfüllungslampen von 500 W und 220 Volt beleuchtet werden. Die Lampen werden in 8 m Höhe in der Mitte der Straße aufgehängt. Die mittlere Bodenbeleuchtung soll 15 Lux betragen. In welchem Abstand sind die Lampen anzubringen?

Bei einer Beleuchtungsstärke von 15 Lux genügt eine Lampe in 8 m Höhe für 250 m² Bodenfläche. Der Lampenabstand wird also 250 : 16 = 15,6 m.

Beispiel: Ein Fabrikhof von $20 \cdot 65 = 1300$ m² soll durch Gasfüllungslampen mit einer Aufhängehöhe von 5,5 m beleuchtet werden.

Gesucht: Lampenzahl und Lampengröße.

Die mittlere Beleuchtungsstärke eines Fabrikhofes mit schwachem Verkehr soll nach der Beleuchtungstabelle 3 Lux betragen. Werden die Lampen in der Mitte des Hofes aufgehängt so ergibt sich eine Lampenzahl von 3. Jede Lampe beleuchtet dann eine Fläche von 1300: 3 = 434 m². Dieser Fläche entspricht bei einer Beleuchtungsstärke von 3 Lux eine Lampe von 200 Watt. Es sind also 3 Lampen a 200 W erforderlich.

VI. Gefahren und Schutzmaßnahmen in elektrischen Anlagen.

Entstehung und Verhütung von Brandschäden.

Jede elektrische Anlage muß so gebaut sein, daß weitgehenst Störungen der Anlage und der Stromversorgung vermieden sind. Durch eine entsprechende Ausführung der Anlagen gemäß der Errichtungsvorschriften ist in mechanischer und elektrischer Hinsicht größte Gewähr hierfür gegeben. Da jedoch die Wirkungen äußerer Einflüsse auch durch sachgemäße Ausführung nicht unterbunden werden können, muß die Anlage bei Auftreten von Überlastungen, Kurzschlüssen und dergl. selbsttätig abgeschaltet werden.

Die Leitungen sind durch Schmelzsicherungen oder Selbstschalter zu schützen. Diese sind so zu bemessen oder einzustellen, daß die von ihnen geschützten Leitungen keine gefährliche Erwärmung annehmen können. Die Verwendung geflickter oder

überbrückter Sicherungen ist verboten.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß der elektrische Strom durch seine physiologische Wirkung auf Mensch und Tier tödlich wirken kann. Wann ist nun aber der elektrische Strom gefährlich? Das hängt von einer Reihe von Faktoren ab. Wechselströme von 30 m A und darüber können schon tödlich wirken, wenn sie gewisse Organe des Körpers durchströmen. Nach dem Ohmschen Gesetz ist bei gegebenem Körperwiderstand eine gewisse Spannung nötig, um diese gefährliche Stromstärke zum Durchfluß zu bringen. Der Hauptwiderstand des Körpers liegt in der Hautoberfläche. Der Eintrittswiderstand ist umso geringer, je größere Hautoberflächen mit Spannung führenden Leitern in Verbindung kommen. Außerdem wird der Hautwiderstand durch Feuchtigkeit sehr herabgesetzt. Steht jemand im Wasser und umfaßt mit beiden Händen z. B. einen elektrischen "Fön" für 220 Volt, dessen Gehäuse durch Isolationsfehler gefährlich geworden ist, so ist der Widerstand des Menschen sehr gering, sodaß der Strom tödlich wirkt, zumindestens wenn die Dauer der Elektrisierung eine längere ist.

Als ungefährlich gilt eine Berührungsspannung von 42 Volt für Menschen und eine solche von 24 Volt für Vieh. In allen elektrischen Anlagen muß deshalb durch geeignete Mittel dafür gesorgt werden, daß höhere Berührungsspannungen nicht auftreten können.

Die VDE-Vorschriften verlangen nun, daß in Fällen, in denen Gefahr durch zu hohe Berührungsspannungen besteht, Schutzmaßnahmen getroften werden. Im Laufe der Jahre haben sich nun folgende Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Berührungs-

spannungen entwickelt.

1) Jsolierung:

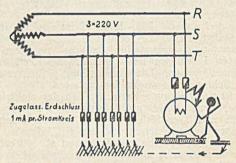


Fig. 1.

1. Isolierung.

Der Schutz durch Isolierung kann dadurch erreicht werden, daß die der Berührung zugänglichen leitfähigen Teile durch Isolierumkleidungen der di-

rekten Berührung entzogen werden.

Man könnte nun der Ansicht sein, daß in isolierten Drehstrom-Netzen 3 · 220 Volt, das Anfassen einer Phase ungefährlich sei, weil die Erdrückleitung fehle. Nach Verbandsvorschrift soll der Isolationswiderstand eines jeden Stromkreises 1000 µ pro Volt Betriebsspannung betragen. In jedem Stromkreis ist also ein Fehlerstrom

 $J = \frac{U}{R} = \frac{1}{1000} \text{ Amp.} = 1 \text{ mA}$

zulässig. Kommt nun eine Person mit einem mit Körperschluß behafteten Motor in Berührung, so kann eine gefährliche Berührungsspannung auftreten. Siehe Fig. 1.

2. Kleinspannung.

Kleinspannungen sind Betriebsspannungen bis 42 Volt. Absolut ungefährliche Kleinspannungen hat man z. B. in elektrischen Taschenlampen, oder in Autobatterien. Bei diesen Stromquellen können auch durch auftretende Fehler keine höheren Spannungen entstehen. Werden Transformatoren verwendet, so

2) Kleinspannung

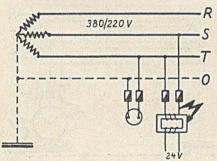


Fig. 2.

müssen diese getrennte Wicklungen besitzen (kein Spartrafo). In Kleinspannungskreisen sollen nur In-stallationsmaterial und Geräte für mindestens 250 Volt verwendet werden.

Die Verwendung von Kleinspannungen kommt z. B. in Frage bei Anschluß von Spielzeugen, bei Hand-lampen, Handgeräte, bei Anlagen in Stallungen. Die

Kleinspannung beträgt meist 24 Volt.

3. Erdung.

Die Erdung bietet besonders bei höheren Stromstärken nicht immer einen sicheren Schutz. Werden Erdungen verwendet, so ist ein möglichst niedriger Erdungswiderstand anzustreben.

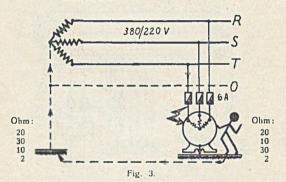
In Fig. 3 ist ein Motor an 380 Volt angeschlossen und mit 6 Amp. gesichert. Das Motorgehäuse ist geerdet. Der Blitzpfeil deute einen Körperschluß an. Sobald ein stärkerer Strom durch die Erde fließt, wird das Erdreich erwärmt sodaß sehr leicht ein Austrocknen des Erdbodens eintritt und damit der Erdungswiderstand bedeutend steigt. Auch die Witterungsverhältnisse spielen eine Rolle.

Betragen die Widerstände bei der Betriebserdung und der Schutzerdung je 20 \(\alpha\), so wird die Erd-

schlußstromstärke:

$$J = \frac{U}{R} = \frac{220}{20 + 20} = 5.5 \text{ Amp.}$$

Erdung.



Die 6 Amp. Sicherung kommt also nicht zum Durchschmelzen. Es treten daher folgende Berührungsspannungen auf:

am Nulleiter:

1.
$$U = J \cdot R = 5.5 \cdot 20 = 110 \text{ Volt}$$

2. $U = 5.5 \cdot 30 = 165 \text{ Volt}$
3. $U = 5.5 \cdot 10 = 55 \text{ Volt}$

am Motor:

$$U = J \cdot R$$

 $U = 5,5 \cdot 20 = 110 \text{ Volt}$
 $U = 5,5 \cdot 10 = 55 \text{ Volt}$
 $U = 5,5 \cdot 30 = 165 \text{ Volt}$

Erst im 4. Beispiel nimmt die Erdschlußstromstärke einen Wert $J = \frac{U}{R} = \frac{220}{2+2} = 55$ Amp. an, bei welchem die 6 Amp. Sicherung sofort abschmilzt.

Bei größeren Motorleistungen sind die Sicherungen wesentlich stärker, sodaß die Widerstandsverhältnisse des letzten Beispiels nicht mehr genügen.

4. Nullung.

Man hat nun versucht, sich von den Erdungswiderständen möglichst unabhängig zu machen. Dieses Mittel ist die Nullung. Nullen heißt, eine Verbindung mit dem Nulleiter herstellen. Der Nulleiter darf natür-

Nullung.

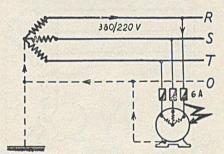


Fig. 4.

lich keine gefährliche Berührungsspannung annehmen, weshalb man ihn möglichst gut erdet.

Bei einem Körperschluß nach Fig. 4 wird die Kurzschlußstromstärke die Sicherungen zum Abschmelzen bringen.

Ist jedoch der Nulleiterwiderstand zu groß, um einen genügenden Abschmelzstrom hindurchzulassen, so entstehen auch hier gefährliche Überspannungen.

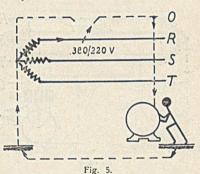
In Fig 5 ist der Nulleiter oben angeordnet. Da der Nulleiter in der Regel schwächer verlegt wird als die Phasenleiter, ist besonders in Freileitungsnetzen seine Bruchgefahr größer. Sämtliche genullten Körper hinter der Bruchstelle nehmen die volle Phasenspannung an, ohne daß eine Sicherung in die-

sem Stromkreis läge.

Wenn der Nulleiter unten angeordnet ist, so bringt bei Nulleiterbruch jede einseitige Belastung das abgetrennte Nulleiterende und alles was mit diesem direkt oder indirekt in Verbindung steht, gleichfalls auf gefährliche Berührungsspannung.

Der Nulleiter ist daher ebenfalls am Ende an Erde zu legen, die Berührungsspannung wird hierdurch vermindert. Fig. 6 zeigt, daß bei größeren Kurzschlußströmen doch noch größere Potentialdifferenzen auftreten können. Letztere kann man nur dadurch vermeiden, daß man den Nulleiterquerschnitt

5) Nulleiterbruch.

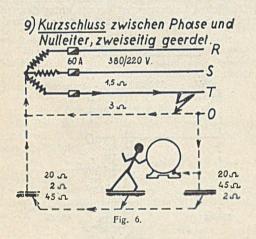


um ein Vielfaches stärker wählt als den Querschnitt der Phasenleiter. Die Wirtschaftlichkeit wäre alsdann in den meisten Fällen in Frage gestellt.

5. Schutzschaltung.

In Fig. 7 ist eine schematische Darstellung der Schutzschaltung gegeben. An T und O ist ein thermischer Überstromauslöser angeschlossen, der bei zu großem Überstrom auf die Freiauslösung wirkt. An den Klemmen W und O ist die Installation angeschlossen, wobei im vorliegenden Fall an einen Bügeleisenwiderstand gedacht ist. Das Eisen des Bügeleisens besitzt eine Schutzleitung, die an der

Klemme K angeschlossen wird. Von dort geht eine Verbindung über einen Prüfungsschalter nach der Fehlerstromspule F, an die Klemme H, die eine Verbindung mit dem Hilfserder besitzt. Selbstverständlich ist bei der Installation dafür zu sorgen, daß die Körperschutzleitung, die an K führt, keine direkte Verbindung mit der Hilfserdleitung, die von H kommt, erhält, denn sonst würde die Fehlerstromspule F kurzgeschlossen sein und unwirksam werden. Entsteht nun ein Körperschluß, sodaß das Eisen eine Spannung von 24 Volt gegen Erde annimmt, dann löst die Fehlerstromspule F den Schalter aus und



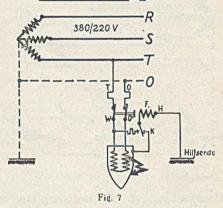
die Gefahr ist beseitigt. Die Auslösung muß in etwa 1½ bis 2 Perioden erfolgen, damit nicht durch die Dauer der Einwirkung Mensch oder Tier gefährdet wird.

Die Prüfung der Schutzschaltung erfolgt durch Betätigung eines kleinen Prüfumschalters bei der Klemme K. Ist der Schalter samt der Hilfserdungsanlage in Ordnung, dann erfolgt die Auslösung. Bei der Schutzschaltung wird keine besonders gute Erdung benötigt, sondern es kann eine einfache billige Erdung seinen Zweck erfüllen. Der hier beschriebene Schutzschalter wird von der Firma Schiele und Bruchsaler Industriewerke

A.-G. Baden-Baden hergestellt.

Am wichtigsten ist die Schutzschaltung dort, wo größere Motoren, oder transportable Verbrauchsapparate vorhanden sind. Es muß dann eine Schutzleitung mitgeführt werden, und diese Schutzleitung muß an einer entsprechenden Steckvorrichtung anschließbar sein. Neuerdings sind vom VDE Schutzsteckdosen genormt, die sowohl für Erdung, wie auch Nullung, als auch für Schutzschaltung verwendet werden können. In feuchten Räumen ist in erster Linie die Schutzschaltung von Vorteil. In den kabelähnlichen Leitungen ist bereits unter dem Bleimantel ein Schutzleiter für diese Zwecke vorhanden.

Schutzschaltung.



Projektbearbeitung.

Projekt einer Wechselstrom-Lichtanlage.

Ausschlaggebend für die Kosten einer Installation sind zwei Faktoren:

1. der Materialverbrauch und

2. der Arbeitslohn.

Als Grundlage für die Kostenberechnung dient der Leitungsplan, den der Installateur dem stromliefernden Elektrizitätswerk einreichen muß. Die beiliegende Zeichnung zeigt einen Installationsplan für ein mehrstöckiges Wohnhaus. Die Anlage soll mit Wechselstrom 220 Volt gespeist werden, der Haus-anschluß befindet sich im Obergeschoß. Die Leitungen sollen im Erd- und Obergeschoß in Isolierrohren unter Putz, im Keller auf Putz, verlegt werden. In dem Stromverteilungsplan sind der Anschlußwert der einzelnen Stromkreise sowie die Längen (unterstrichene Zahlen) und Belastungen der einzelnen Leitungsstrecken eingetragen.

Beleuchtungsberechnung.

Für das Wohnzimmer wird eine Bleuchtungsstärke von 40 Lux gewählt; der erforderliche Lichtstrom berechnet sich:

$$\Phi_L = \frac{E \cdot F}{11 \cdot 7} = \frac{40 \cdot 5 \cdot 6}{0.45 \cdot 4} = 670 \text{ Lm pro Lampe}$$

 $\frac{4^{2}L}{\eta} = \frac{E \cdot F}{\eta \cdot z} = \frac{40 \cdot 5 \cdot 6}{0.45 \cdot 4} = 670 \text{ Lm pro Lampe}$ Diesem Lichtstrome entspricht eine 60 Watt-Lampe, erforderlich sind also 4 Lampen zu je 60 Watt. Das Fremdenzimmer soll mit 30 Lux beleuchtet

werden.

$$\Psi = \frac{E \cdot F}{\eta} = \frac{30 \cdot 5 \cdot 5}{0.45} = 1670 \text{ Lm}$$

Gewählt:

3 Glühlampen zu je 40 W mit insgesamt 1110 Lm 1 Glühlampe zu 60 W mit insgesamt 680 Lm

1790 I.m.

Für das Speisezimmer wird eine Beleuchtungsstärke von 60 Lux angenommen. $\psi = \frac{E \cdot F}{\eta} = \frac{60 \cdot 30}{0.45} = 4000 \text{ Lm}.$

Gewählt: 5 Lampen zu je 60 W mit insgesamt 3400 Lm 1 Lampe zu 75 W mit insgesamt 900 Lm

4300 Lm.

Herrenzimmer: angenommen 60 Lux.

$$\Phi = \frac{\text{E.F}}{\eta} = \frac{60 \cdot 3.6 \cdot 4.8}{0.45} = 2300 \text{ Lm}.$$

Gewählt 4 Lampen zu je 60 W mit insgesamt 2720 Lm.

Salon: Beleuchtungsstärke 60 Lux gewählt.

$$\psi = \frac{E \cdot F}{\eta} = \frac{60 \cdot 25}{0.45} = 3330 \text{ Lm}.$$

Erforderlich: 3 Lampen zu je 60 W mit insges. 2040 Lm 1 Lampe zu 75 W mit insges. 900 Lm

2940 Lm.

Küche: Beleuchtungsstärke 40 Lux.

$$\psi = \frac{E \cdot F}{\eta} = \frac{40 \cdot 3.9 \cdot 3.6}{0.5} = 1120 \text{ Lm},$$

Ergibt eine Lampe zu 100 Watt mit einem Lichtstrom von 1300 Lumen.

Die Lampengrößen in den übrigen Räumlichkeiten gehen aus dem Verteilungsplan hervor.

Belastung der Stromkreise (vgl. Verteilungsplan).

Stromkreis

Verteilungsstromkreis a wird mit einem Querschnitt von 2,5 mm², alle übrigen Stromkreise werden mit einem Leitungsquerschnitt von 1,5 mm² verlegt.

Der Spannungsverlust in den einzelnen Strom-

kreisen berechnet sich:

a)
$$Uv = \frac{2 \cdot 0}{U \cdot q} \Sigma N \cdot 1 = \frac{2 \cdot 0.0175}{220 \cdot 2.5} [500.9 + 1000.14] = 1.18 \text{ Volt}$$

b) Uv =
$$\frac{2.0,0175}{220.1,5}$$
 [500.1+625.4+665.5+950.3+1240.1] = 1,1 Volt

c) Uv =
$$\frac{2.0,0175}{220.1.5}$$
 (40.3+415.4+455.6+795.5) = 0.9 Volt

d) Uv =
$$\frac{2.0,0175}{220.1.5}$$
 (15.5+30.4+60.1,5+150.7+175.3) = 0,2 Volt

e) Uv =
$$\frac{2.0,0175}{220.1,5}$$
 (25.3+50.1+75.1,5+315.1+570.3+595.7)

Sicherungsstärke für alle Verteilungsstromkreise

6 Amp.

Bei einer Gesamtstromstärke von 17 Amp. ist für die Zuleitung ein Mindestquerschnitt von 4 mm² erforderlich, dieser wird mit 20 Amp. gesichert.

Spannungsverlust in der Zuleitung:

$$U_V = \frac{2 \cdot 0 \cdot J \cdot l}{q} = \frac{2 \cdot 0.0175 \cdot 17 \cdot 8}{4} = 1.19 \text{ Volt}$$

Maximaler Spannungsverlust der Anlage: $Uv max = 1,18 + 1,19 = 2,37 Volt = \sim 1,1\%$.

Nachdem die Querschnitte berechnet und die Anzahl der Drähte in jedem Rohr in den Plan eingetragen sind, wird der Materialauszug gemacht.

(Siehe Rückseite der Projektzeichnung.)

Auf Grund der Materialzusammenstellung berechnet man die Materialkosten. Der Herstellungspreis setzt sich zusammen aus:

- 1. den Materialkosten,
- 2. den Arbeitslöhnen,
- 3. den allgemeinen Geschäftsunkosten,
- 4. dem Gewinn.

Die Bestimmung der Arbeitsstunden ist nicht immer leicht, weil hier die Beschaffenheit der Decken und Wände, vor allen Dingen aber die Geübtheit des Monteurs eine große Rolle spielen. Man ist vollständig auf Erfahrung und Schätzung angewiesen. Man rechnet wohl, bei Anlagen über Putz, für einen Monteur am Tage max. drei Brennstellen oder 30 m Leitung.

Die Berechnung der allgemeinen Unkosten ist nur an Hand einer guten Buchführung möglich. Man legt die beim letzten Jahresabschluß festgestellten Unkosten prozentual auf die produktiven Löhne um.

Kostenanschlag über eine elektr. Lichtanlage in einem Wohnhausneubau.

(Vergl. anliegendes Projekt).

Celdbetrag Cel	2010	ALC: N	(vergit unnegendes riojet	,	BA4		-16
Nr. zahl Gegenstand Einzel-preis Preis RM Pf RM	Lfd	An-		2000			
I. Zuleitungund Verteilungstafel.	100	BUS-AN'	Gegenstand				
I. Zuleitung und Verteilungstafel.	Nr.	zahl		-			
1	1		A STATE OF THE STA	RM	PI	RM	PI
Table Tabl			I. Zuleitung und Verteilungstafel.				
Tablertafel für 6 Stromkreise a 6 Amp. 22 80 22 80 22 80 23 80 24 80 25 9 25 9 25 9 26 9 27 9 9 27 9 9 27 9 9 27 9 9 27 9 9 27 9 9 9 9 27 9 9 9 27 9 9 9 27 9 9 9 27 9 9 9 27 9 9 9 27 9 9 9 9 27 9 9 9 27 9 9 9 27 9 9 9 9 27 9 9 9 27 9 9 9 27 9 9 9 9 27 9 9 27 9 9 9 27 9 9 27 9 9 27 9 9 27 9 9 27 9 9 27 9 9 27 9 9 27 9 9 27 9 27 9 27 9 9 27			Hausanschlußsicherung 1 polig		36	Territ	1
March Solier So	3	1	Zählertafel für 6 Stromkreise a	1322	1		1
M. G. A. 4 mm² schwarz	100	0			80		
N. G. A. 4 mm² grau			m N.G. A. 4 mm ² schwarz ⁰ / ₀ m				
II. Leitungs- und Verlegungs- material im Obergeschoß.			m N. G. A. 4 mm ² grau 0/0 m		-	16	
II. Leitungs- und Verlegungs- material im Obergeschoß.	Jan .			133			-
II. Leitungs- und Verlegungs-material im Obergeschoß. 20		19.10		1000			-
Table			Summe		1	69	11
Table		020		100	133	CENT	
	8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20	15 15 158 83 27 8 8 6 2 4 2 2 1	material im Obergeschoß. m Isolierrohr 16 mm 0/0 m m N. G. A. 2,5 mm² schwarz 0/0 m m N. G. A. 1,5 mm² grau 0/0 m m N. G. A. 1,5 mm² grau 0/0 m m N. G. A. 1,5 mm² grau 0/0 m m N. G. A. 1,5 mm² grau 0/0 m m N. G. A. 1,5 mm² grau 0/0 m m N. G. A. 1,5 mm² grau 0/0 m m N. G. A. 1,5 mm² grau 0/0 m m N. G. A. 1,5 mm² grau 0/0 m m Deckenhaken Lüsterklemmen 2 polig Lüsterklemmen 2 polig Lüsterklemmen 3 polig Ausschalter mit Unterputzdose Wechselschalter mit Unterputzdose Wechselschalter m. Unterputzdose Zugwechselschalter m. Unterputzdose Kueinmaterial Arbeitsaufwand	124 133 80 90 0 0 0 0 1 1 1 1 2	50 10 05 14 20 70 90	18 19 126 74 13 0 0 0 0 6 3 3 2 10 6 78	60 95 40 70 50 80 40 84 40 80 80 25 30
		- 1		U 39	18	5000	1

Lfd.	An-	Gegenstand	G Einze prei	el-	Gesa	
INF.	zani	STATE OF THE PARTY OF	RM		RM	
		III. Leitungs- und Verlegungs- material im Erdgeschoß.				
22 23 24	116 4,5 4,5	m Isolierrohr 16 mm 0/0 m m N. G. A. 2,5 mm ² schwarz 0/0 m m N. G. A 2,5 mm ² grau 0/0 m	20 125 133	=	23 5 6	20 63
25 26 27	196 73 29	m N. G. A. 1,5 mm ² schwarz ⁰ / ₀ m m N. G. A. 1,5 mm ² grau ⁰ / ₀ m Abzweigdosen für Unterputz-	80 90	1718	156 65	80 70
28 29	13	montage Endtüllen 16 mm Deckenhaken	0 0	50 10 05	14 1 0	50 30 65
30 31 32	10 3 7	Lüsterklemmen 2 polig Lüsterklemmen 3 polig Ausschalter mit Unterputzdose	0 0 1	14 20 70	0	40 60 90
33 34 35	4 1 4	Scrienschalter mit Unterputzdose Wechselschalter m. Unterputzdose Steckdosen mit Unterputzdose	1 1 2	90 90	7 1 8	60 90
		Kleinmaterial Arbeitsaufwand		St.	5 120	25
		Summe		18	430	43
		IV. Leitungs- und Verlegungs- material im Kellergeschoß.		NAME OF THE PERSON NAME OF THE P		
36 37 38 39 40	45 71 34 7 3	m Isolierrohr 13,5 mm 0/0 m m N. G. A. 1,5 mm² schwarz 0/0 m m N. G. A. 1,5 mm² grau 0/0 m m N. B. U. 2 . 2,5 mm² m m N. B. U. 2 . 1,5 mm² m	16 80 90 0	- 96 80	7 56 30 6 2	20 80 60 72 40
41 42 43	14 7 7	Abzweigdosen für 13,5 mm J-Rohr Endtüllen 13,5 mm Deckenhaken Ausschalter W. D.	0 0 0 1	30 05 05 60	0 0 9	20 35 35 60
44 45 46 47	6 1 2 1	Ausschalter W. D. 2 polig Wechselschalter W. D. Steckdose W. D. m. 4 A. Sicherung	3 1 2	40 95 35	3 3 2 2	40 90 35
		Kleinmaterial Arbeitsaufwand			54	45
		Summe			184	32
		Zusammenstellung.				
		Zuleitung und Verteilungstafel Leitungs- und Verlegungs-			69	11
		material im Ohergeschoß III. Leitungs- und Verteilungs-			390	84
N/E		material im Erdgeschoß IV. Leitungs- und Verlegungs-			430	43
		material im Kellergeschoß Gesamtsumme	1.22		184	70
1004	DELLE.		_			=

Erläuterungsbericht.

(Vergl. anliegende Projektzeichnung.)

Das beiliegende Projekt einer Lichtanlage für 220 Volt Wechselstrom ist nach den neuesten Bestimmungen des Elektrizitätswerkes und entsprechend

den Normen des VDE. ausgearbeitet.

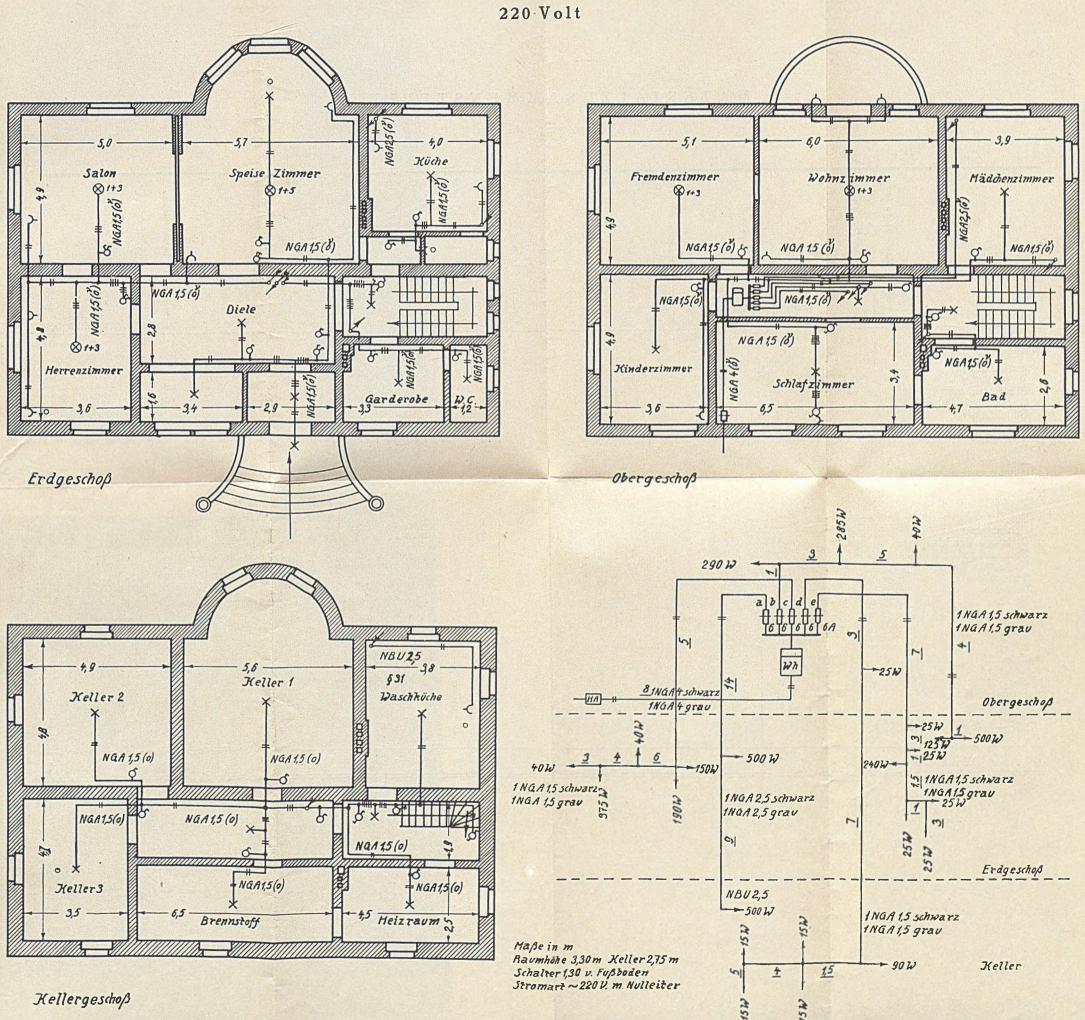
Die Anlage wird an die, an der Vorderfront des Hauses vorbeiführende Freileitung angeschlossen. Die Energieeinführung erfolgt daher im Obergeschoß. Der Zähler nebst Verteilungstafel für 6 Stromkreise wird in einer vorzusehenden Mauernische im Flur des Obergeschosses untergebracht. Die Leitungen werden im Ober- und Erdgeschoß unter Putz, im Keller dagegen auf Putz verlegt. Für die Waschmaschine in der Waschküche und dem Kühlschrank in der Küche ist ein besonderer Stromkreis vorgesehen. Die im Keller anzubringenden Schalter werden sämtlich in wasserdichter Ausführung geliefert. In der Waschküche kommen zweipolig abschaltbare kabelähnliche Leitungen zur Verlegung.

Der Anschlag umfaßt lediglich die ausdrücklich genannten Teile. Die Verrechnung von Mehrlieferungen erfolgt unter Zugrundelegung der Einheitspreise dieses Angebots, oder, soweit solche nicht angegeben sind, auf Grund normaler Listenpreise.

Für die Güte und das einwandfreie Funktionieren aller Teile der Anlage wird eine Garantie auf die Dauer eines Jahres vom Tage der Inbetriebsetzung ab gerechnet, geleistet, und zwar dermaßen, daß alle Teile, die in dieser Zeit infolge minderwertiger Ausführung Schaden leiden oder nicht richtig funktionieren, kostenlos ausgewechselt werden.



Projekt
einer Wechselstrom-Lichtanlage





MATERIALZUSAMMENSTELLUNG

(Vergleiche umstehendes Projekt.)

R o u m																															
Selection Sele	Raum	Einführungspfeife	2000-111/-	Zählertafel Verteilung für 5 Stre	Isolierrohr 25	Isolierrohr 16	Isolierrohr 13,5	NGA 4	NGA 4 mm²	N G A 2,5	NGA 2,5 mm ²	NGA 1,5	NGA 1,5 mm ²	NBU 2. 2,5	NBU 2.1,5	100000000000000000000000000000000000000	Abzweigdosen f. 13,5	Endtüllen 16	Endtüllen 15,5		Lüsterklemmen 2	Lüsterklemmen 3	Ausschalter mit	Serienschalter	Wechselschalter		Steckdosen	Ausschalter W.	Ausschalter W. D. 2		Stededosen W.
Frenchenzimmer	Obergesdioß																												No.		
Salon Herrenzimmer Diele und Veranden Solon Spelsezimmer Diele und Veranden Solon Spelsezimmer Solon	Fremdenzimmer Wohnzimmer Mäddenzimmer Kinderzimmer Schlafzimmer Flur Treppenhaus Bad Zuleitung	1	1	1	8	19 6 13 10 10 9 5		9	9	15	15	24 14 16 22 15 13 9	13 6 10 10 5 4 2			2 2 3 3 1 2 1		1 1 1 1 1 1 1		1 1 1 1 1 1 1	1 1 1		1		1 1	1	1				
	Salon Herrenzimmer Diele und Veranden Speisezimmer Küche mit Abstellraum Treppenhaus Garderobe W. C. Kellergeschoß Keller 1 Keller 2 Keller 3 Flur Brennstoffkeller Treppenhaus Waschküche					17 36 20 18 6 7	5 6 5 5 7			4,5	4,5	30 64 29 24 16 10 4 12 7 6 6 6 6 25	13 18 16 7 6 4 2 8 5 4 4 4 3	7	3	4 10 3 5 3 2	4	4 2 2 1	1	1 4 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 2 1 1	1	1 2 1	1 1	1		2	1 1 1 1	1	2	1
The state of the s		1.	1	1	8	237,5		9	9	19,5	19,5	425	190	7	3	56	14	21			16	5	11	6	3	1	9	6	1	2	1



Elektrisch-Vollautomatischer Kühlschrank

Ein praktischer und formschöner Kühlschrank für kleine Haushaltungen mit 3-4 Personen.

Außenmaße: Breite 57 cm, Tiefe 49 cm, Höhe 130 cm. Innenmade: Breite 46 cm, Tiefe 38 cm, Höhe 70 cm.

Nutzraum: 0,11 cbm. Isolation: Expansit-Korksteinplatten.

Ausstattung: Stahlgehäuse, weiß/grau emaille-lackiert, verschließbare Tür mit schweren hochglanzpolierten Weiß-

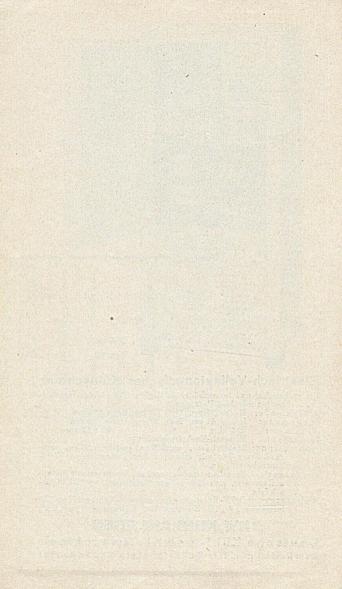
= 0.12 cbm.

bronzebeschlägen. Porzellan-emaillierter Stahl, feuerverzinnte Metallinnenraum: aullageroste, eine Eislade zur Herstellung von DKW-Eiswürfeln.

Apparatur: DKW-Rotations - Kompressor - Aggregat Typ "S" luftgekühlt, 1/8 PS Elektromotor, Kühlkessel Typ "E6".

DKW KUHLANLAGEN

Deutsche Kühl- und Kraftmaschinen Gesellschaft m. b. H. / Scharfenstein Zschopautal



Inhalts-Verzeichnis

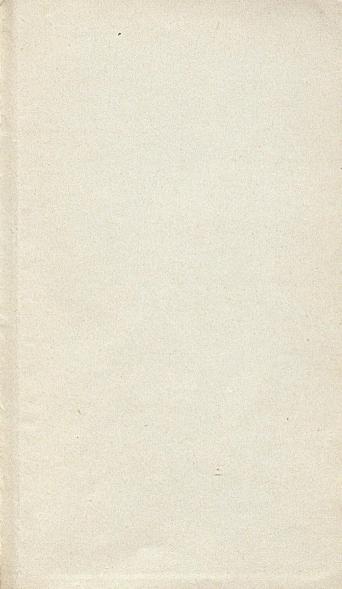
Se	ite	S	eite
I. Grundlagen der Elektrotechnik. Einleitung Spannung, Strom und Widerstand Das Ohm'sche Gesetz Spezifische Widerstände, Leitwerte und Gewichte von Leitern Die Kirchhoff'schen Gesetze Die Schaltung von Widerständen Das Faradaysche Gesetz Leistung und Arbeit Das Joulsche Gesetz Magnetismus Elektromagnetismus Die Wirkung elektrischer Ströme aufeinander Der stromdurchflossene Leiter	3 4 5 8 10 11 12 14 16 17 19 21	Elektrostatische Instrumente Induktions-Instrumente	31 31 31 32 32 34 34 35 36 41 44 45 45 46 47
im Magnetfeld Der Induktionsstrom	22 23	Spannungsmesser Leistungsmesser	
II. Die Messung der elek- trischen Größen.		III. Die Gewinnung der elektrischen Energie.	
Allgemeines	25 26 27	Gleichstromerzeuger: Allgemeines	49
Elektromagnet. Instrumente . Galvanometer u. Galvano-	28	in der Dynamomaschine . Trommelwicklung Einfluß der Wicklungsart	49 51
Drehspulinstrumente	28	auf die EMK und Strom- stärke des Ankers	52
Weicheiseninstrumente Elektrodynamische Instru-	30	Ankerrückwirkung und Bürstenverschiebung Die fremderregte Maschine	53 55
mente	20	Die itemdettekte maschine	7.3

	4		
Umkehr der Drehrichtung	108	Kupferoxyd-Gleichrichter .	124
Schützensteuerung :	108	Glühkathoden-Gleich-	
Wirkungsgrad		richter	
Drehstrom-Motoren		Elektrolyt-Gleichrichter .	125
Synchron-Motoren		Die Umwandlung in Wärme	
Selbstanlaufende Klein-		Flüssigkeitserwärmung	126
motoren (Uhren) :	109	Spezifische Wärme	
Asynchron-Motoren	110	Beheizung von Metallteilen	
Das Drehfeld	111	Spezifische Gewichte	
Drehstrommotoren mit Kurzschlußläufer	112	Luiterwärmung	
Drehstrommotoren mit	112	Die elektrische Raum-	
Ständer-Anlasser	113	heizung	129
Drehstrommotoren mit	433	Elektrische Warmwasser- bereitung	
	113	bereitung	135
Drehstrommotoren mit	013	Wirtschaftlichkeit	
Fliehkraftkoppelung	114	Speichergröße	140
Drehstrommotoren in Son-		Elektrische Koch- und Heiz-	
derausführung		apparate	143
a) Stromverdrängungs-		Elektrisches Schweißen	
motoren	114	Elektrisches Löten	
b) Doppelkurzschluß- motoren		Härteöfen	
motoren	114	Elektrische Anlaßbäder .	
Drehstrommotoren mit Schleifringläufer	114	Elektrische Kühlanlagen .	149
Bürstenabhebevorrichtung . :		Die Umwandlung in Licht	
		Aligemeines	151
Drehzahlregelung		Lichtstärke, Lichtstrom,	
Umkehr der Drehrichtung	110	Beleuchtungsstärke	
Drehstrommotor mit Druck- knopfsteuerung :	11-	Entlernungsgesetz, Leucht-	
Phasenkompensierung durch	**7	dichte, Lichtmenge	
Kondensatoren	118	Lichtverteilung	
Drehstrom-Kollektor-	580	Bewertung von Lampen	
motoren	119	Anforderungen an die Be-	
Einphasen-Induktions-	100	leuchtung von Arbeits- stätten	156
motoren	119	Beleuchtungs-Tabellen für	
Transformatoren :		Innenbeleuchtung	157
Drehstromtransformatoren	120	Lampen	
Handlampen-Schutztrans-	121	Bogenlampen	
formatoren	121	Quecksilberdampflampen .	
Frostschutz- und Auftau- transformatoren	121	Quarzlampen	
	10000	Wolframbogenlampen	
Umformer		Moore-Licht	
Motorgeneratoren		Edelgas-Leuchtröhren	
Einanker-Umformer	122	Glimm-Lampen	163
Quecksilberdampf-Gleich- richter	123	Kohlenfadenlampen	163
		Acomeniamentampen	200

Ocite	Derte
Nernstlampen 164 Metalldrahtlampen 164	Bewegliche Lichtreklame . 182 Flutlichtanlagen 183
Gasfüllungslampen 164	Außenbeleuchtung 183
Glühlampen-Tabellen 165 Fassungen und Sockel 166	Beleuchtungstabelle für Außenbeleuchtung 185
Leuchten 166	
Allgemeinbeleuchtung 166 Arbeitsplatzbeleuchtung . 170	VI. Gefahren und Schutz- maßnahmen in elektrischen
Projektierung von Be- leuchtungsanlagen 171	Anlagen,
Lichtpunkthöhe	Entstehung und Verhütung von Brandschäden 187
Berechnung d. Lichtstromes 172	Isolierung
Lichtschaltungen 174 Reklamebeleuchtung 175	Kleinspannung 189 Erdung 190
Allgemeine Gesichtspunkte 176	Nullung
Glühlampen-Leuchtbuch- staben 177	Projektbearbeilung 195
Leuchtröhren	Kostenanschlag 198
schilder (Transparente) . 181	Erläuterungsbericht 200 Installationsplan
Angeleuchtete Reklame- flächen	Materialzusammenstellung

Calla





E114 a 4,56 63,84

