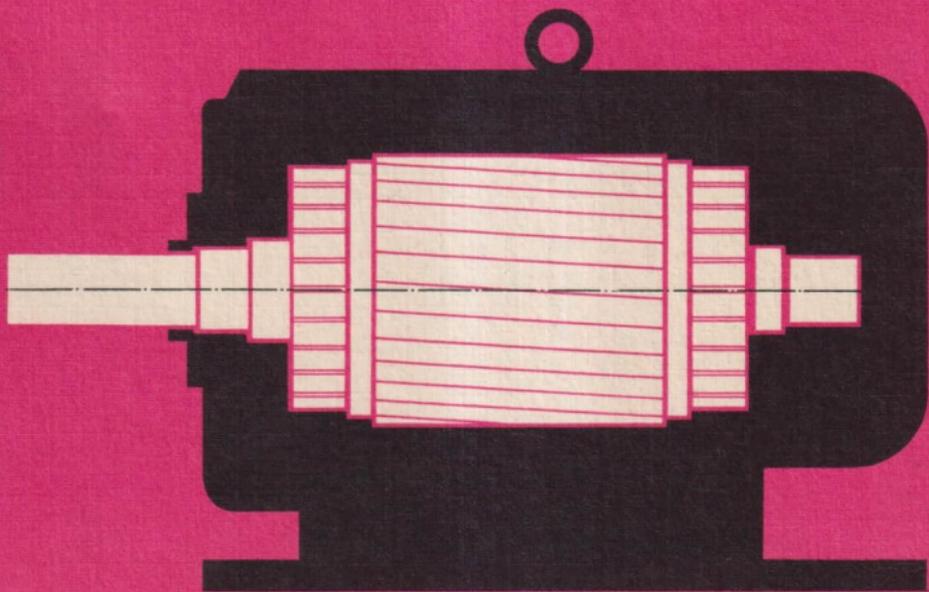
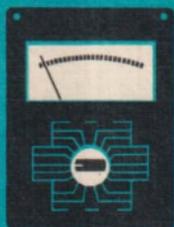


10

Einführung in die sozialistische Produktion



Einführung in die sozialistische Produktion

Lehrbuch für Klasse 10



Volk und Wissen
Volkseigener Verlag
1977

Autoren:

Werner Döbl, Berlin („Volkswirtschaftliche Bedeutung der Elektrotechnik“, „Umgang mit elektrischen Betriebsmitteln“, „Erzeugung, Verteilung und Umwandlung elektrischer Energie“, „Elektrowärme und elektrische Beleuchtung“),

Artur Kondritz, Berlin („Einführung in die Prüf- und Meßtechnik“),

Dr. habil. Wolfgang Mantbei, Berlin („Drehstrom“),

Prof. Dr. Gerhard Wachner, Groß-Glienicke, („Drehstrom-Asynchronmotoren“),

Heinz Gottschalk, Berlin („Schaltgeräte“, „Meldegeräte“, „Einfache Schaltungen der Schwachstromtechnik“),

Roland Müller, Berlin („Die Bedeutung der Schwachstromtechnik für die Entwicklung der Volkswirtschaft“),

in Zusammenarbeit mit der Redaktion Polytechnische Bildung und Erziehung des Verlages.

Bei der Bearbeitung einzelner Textstellen wurden bisher erschienene Lehrbücher des Verlages berücksichtigt.

Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen Republik als Schulbuch bestätigt.

9., unveränderte Auflage

Ausgabe 1969

Lizenz-Nr. 203 (UN 06 1003 - 9)

P 1/8/76

LSV 0681

Redaktion: Heinz Graff

Einband: Karl-Heinz Wieland

Typografische Gestaltung: Atelier vvv

Redaktionsschluß: 20. 5. 1976

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: Neues Deutschland, Berlin

Gesetzt aus der Garamond

Bestellnummer 730 133 7

Schulpreis DDR 1,60

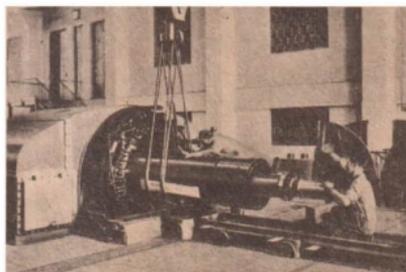
Inhalt

Volkswirtschaftliche Bedeutung der Elektrotechnik	5	Meßgeräte und Meßtechnik	20
Bedeutung der Elektrotechnik	6	Einteilung der Meßgeräte nach der zu messenden Größe	20
Elektroenergie – eine technisch gut nutzbare Energieart	6	Einteilung der Meßgeräte nach Bauart und Anzeige	20
Elektroenergie – wesentlicher Bestandteil unserer Volkswirtschaft	7	Einteilung der Meßgeräte nach der Funktion	22
		Kennzeichnen der Meßgeräte	22
		Messen der Stromstärke	22
		Messen der Spannung	23
		Meßbereichserweiterungen, für Strom- und Spannungsmesser	23
Umgang mit elektrischen Betriebsmitteln	9	Widerstandsbestimmungen	24
Die Wirkung des elektrischen Stromes auf den menschlichen Körper	11	Leistungsmessungen	26
Schutzmaßnahmen gegen auftretende Berührungsspannungen	12	Mehrbereichsinstrumente und Vielfachmesser	26
Erste Hilfe bei Unfällen durch elektrischen Strom	12	Meßfehler	29
Aufgaben	13	Systematische Fehler	29
		Zufällige Fehler	29
		Aufgaben	30
Einführung in die Prüf- und Meßtechnik	14	Einführung in die Starkstromtechnik	31
Elektrisches Messen – elektrisches Prüfen	15	<i>Erzeugung, Verteilung und Umwandlung elektrischer Energie</i>	32
Messen	15	Erzeugung elektrischer Energie	32
Prüfen	15	Verteilung elektrischer Energie	35
Fehler in elektrischen Anlagen und Geräten	15	Energiefluß vom Kraftwerk zum Verbraucher	35
Spannungsprüfungen	15	Umwandlung elektrischer Energie	37
Durchgangsprüfungen	16	Elektroenergiebedarf der Industrie	37
Geräte zur Durchgangsprüfung	16	Elektroenergiebedarf der Landwirtschaft	38
Hinweise und Anwendungsbeispiele zu Durchgangsprüfungen	17	Elektroenergiebedarf im Haushalt	38
Aufnahmen von Schaltplänen	18	Entwicklung und Perspektive der Elektroenergieerzeugung in der DDR	38

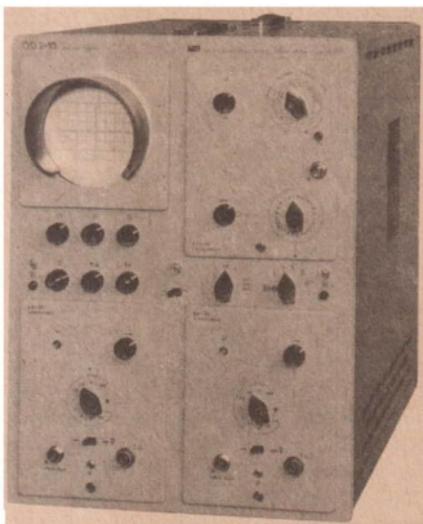
Leitungen, Schaltgeräte und Schaltungen	39	Betriebsverhalten	73
Leitungen	39	Schützschtaltung	76
Schaltgeräte	43	Konstruktive Merkmale von Elektromotoren	77
Grundschtaltungen der Installations- technik	46	Einheitsmotoren	77
Aufgaben	48	Aufgaben	78
<i>Elektrowärme und elektrische Beleuchtung</i>	49		
Elektrowärme	49	Einführung in die Schwachstrom- technik	79
Die Umwandlung der Elektroenergie in Wärme und Licht	49	Schaltgeräte	81
Elektrowärmegeräte	50	Handbetätigte Schalter	82
Aufgaben	52	Relais	82
Elektrische Beleuchtung	53	Schrittschaltwerke	83
Lampen	53	Zeitrelais	84
Aufgaben	54	Programmgeber	85
Leuchten	55	Grenzwertschalter	85
Aufgaben	56	Meldegeräte	88
<i>Drehstrom und Drehstrom-Asynchronmotoren</i>	57	Sichtmelder	89
Drehstrom	58	Hörmelder	90
Dreiphasenwechselstromsystem (Drehstromsystem)	58	Einfache Schaltungen der Schwachstrom- technik	90
Dreiphasenwechselstromgenerator	59	Schaltungen einfacher Fernsprechanlagen	90
Dreileiter- und Vierleitersystem	60	Schaltungen für industrielle Steuerung, Regelung und Überwachung	92
Sternschaltung	60	Die Bedeutung der Schwachstromtechnik für die Entwicklung der Volkswirtschaft	97
Dreieckschaltung	62	Die Bedeutung elektronischer Bauelemente	98
Drehfeld	63	Vorteile elektronischer Bauelemente	99
Aufgaben	65	Elektronik – Grundlage der modernen Technik	100
Drehstrom-Asynchronmotor	66	Aufgaben	101
Elektromotorischer Antrieb und Mecha- nisierung der Produktion	66	Anhang	103
Der elektromotorische Antrieb	67	Register	113
Der Drehstrom-Kurzschlußläufermotor	68		
Mechanischer Aufbau	69		
Entstehen des Drehmoments	71		

Volkswirtschaftliche Bedeutung der Elektrotechnik

Die Entwicklung unserer Republik zu einem modernen Industriestaat ist eng verbunden mit Fragen der *Energiewirtschaft*. Im besonderen Maße benötigen alle Zweige der Volkswirtschaft *Elektroenergie*; gleichfalls müssen die immer mehr in unsere Haushalte eindringenden elektrischen Geräte mit Elektroenergie versorgt werden. Im Industriebereich Elektrotechnik/Elektronik, der ständig an Bedeutung gewinnt, werden die vielfältigsten Bauelemente, Baugruppen, Geräte und Anlagen projektiert, konstruiert und produziert. Die Aufgaben sind so differenziert, daß eine Unterteilung in viele Gebiete notwendig wurde: Im Elektromaschinenbau werden vornehmlich Generatoren (Bild 5/1), Motoren und Transformatoren hergestellt. Kabelwerke produzieren viele Millionen Meter von Kabeln und Leitungen. In den Betrieben der Rundfunktechnik werden außer Rundfunk- und Fernsehempfängern auch hochwertige elektronische Meßgeräte (Bild 5/2) hergestellt. Andere Werke stellen vom keramischen Isolator für Hochspannungsfreileitungen bis zum kleinsten Röhrenkondensator wertvolle elektrische Erzeugnisse her. Die folgenden Abschnitte sollen erkennen lassen, daß einerseits dieser Zweig bedeutungsvoll für das Wachsen unseres Wohlstandes ist und andererseits viele interessante technische Einzelheiten aufzuweisen hat.



5/1 Großgenerator im Bau



5/2 Moderner Kathodenstrahlzillograf

So wurden auf dem VIII. Parteitag der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands im Hinblick auf den Fünfjahrplan 1971 bis 1975 u. a. folgende Aufgaben zur weiteren Entwicklung unserer Energiebasis genannt:

Im Fünfjahrplan soll ein bedeutender Teil der volkswirtschaftlichen Kraft auf die Steigerung der Erzeugung von Elektroenergie konzentriert werden. Das bedingt die planmäßige Entwicklung der Braunkohlenindustrie, die nach wie vor für uns die wichtigste Grundlage der Energieerzeugung bildet. Gleichzeitig ist die Effektivität der Energieübertragung und -anwendung wesentlich zu erhöhen.

Das erfordert jedoch, in den Jahren 1971 bis 1975 in die Elektroenergiewirtschaft etwa 14 Milliarden Mark zu investieren, während in den zehn Jahren von 1961 bis 1970 dafür 10 Milliarden Mark aufgewendet wurden. Die Art der Erzeugung von Elektroenergie wird zukünftig in großem Umfang modernisiert: Es ist vorgesehen, bis 1975 die ersten großen Kraftwerkseinheiten auf Basis der Kernenergie mit insgesamt 880 000 Kilowatt Leistung zu errichten. In den Braunkohlenkraftwerken werden wir dazu übergehen, Maschinensätze (Turbine-Generator) mit 500 000 Kilowatt Leistung zu installieren. Für unsere Kraftwerke bekommen wir einen großen Teil der Ausrüstungen aus der Sowjetunion. Den Werkträgern im Kraftwerksanlagenbau

und in der Energiewirtschaft wird die Aufgabe gestellt, rationellste Verfahren in der Projektierung, Konstruktion und Fertigung sowie modernste Montagetechnologien anzuwenden, einen kontinuierlichen Betrieb (Fahrweise) der neuen Anlagen zu gewährleisten und die Kosten weiter zu senken.

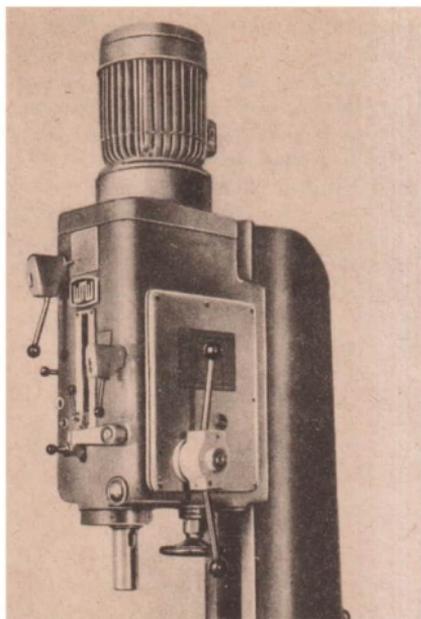
Der Kampf um den sparsamsten Einsatz von Elektroenergie hat immer noch eine große Bedeutung. In allen Bereichen der Volkswirtschaft, vor allem bei den energieintensiven Prozessen, kommt es darauf an, den spezifischen Aufwand an Energie weiter zu senken, die Verluste zu verringern und den Wirkungsgrad der Energieumwandlungsprozesse zu erhöhen.

Außerdem haben die Betriebe der Elektrotechnik und Elektronik wesentliche Aufgaben für die Steigerung der Produktion und für die Vervollkommnung des Sortiments an elektrotechnischen und elektronischen Konsumgütern zu bewältigen.

Elektroenergie – eine technisch gut nutzbare Energieart

Die Elektroenergie ist anderen Energieformen in vieler Hinsicht überlegen: Sie läßt sich mit geringen Verlusten über weite Entfernungen übertragen und einfach und zuverlässig anwenden. Sie läßt sich allerdings nur im geringen Maße bei hohem technischem Aufwand speichern.

Die Elektromotoren in Industrie und Landwirtschaft (Bild 7/1), Elektrolokomotiven im Verkehrswesen, Fernsprechanlagen in der Nachrichtentechnik (Bild 7/2), Steuer- und Regeleinrichtungen an Werkzeugmaschinen sind heute nicht mehr aus der modernen Wirtschaft wegzudenken. Im Haushalt sind elektrische Geräte zum selbstverständlichen Helfer geworden.



7/1 Drehstrommotor als Antrieb für eine Arbeitsmaschine



7/2 Prüf- und Meßarbeiten an einer Vermittlungsanlage

An den genannten Beispielen lassen sich die zwei Hauptgebiete der Elektrotechnik erkennen.

Die *Starkstromtechnik* befaßt sich mit der Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Umwandlung der Elektroenergie; dabei werden meist erhebliche elektrische Leistungen umgesetzt.

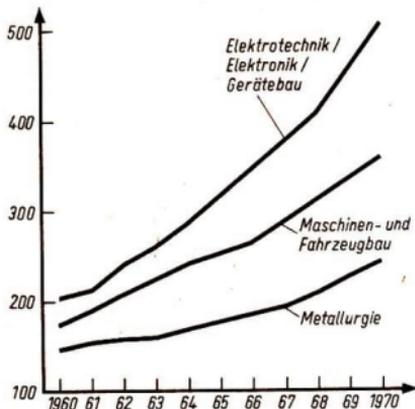
Die *Schwachstromtechnik* befaßt sich vorwiegend mit der Übertragung und Umwandlung von Informationen und Signalen unter anderem im Bereich der Nachrichten-, Steuerungs- und Regelungstechnik. Das geschieht mit Hilfe kleiner elektrischer Energiebeträge; dabei fließen meist nur schwache elektrische Ströme.

Diese beiden Hauptgebiete der Elektrotechnik werden auch als *Leistungselektrik* und *Informationselektrik* bezeichnet. Viele Bauelemente und Geräte der Stark- und der Schwachstromtechnik sind ähnlich aufgebaut: Aufgaben und Wirkungsweise sind miteinander vergleichbar. Sie unterscheiden sich oft nur durch Baugröße, Leiterquerschnitte, Kontaktabmessungen, Werkstoffe und Isolation. Elektroenergie wird also in zweierlei Hinsicht verwendet: einmal zum Betrieb von Motoren, Glühlampen, Wärmegeräten usw. und zum anderen als Träger von Informationen.

Elektroenergie – wesentlicher Bestandteil unserer Volkswirtschaft

In allen Bereichen der sozialistischen Volkswirtschaft werden mehr und bessere elektrische Geräte, Ausrüstungen und Anlagen sowohl der Starkstrom- als auch der Schwachstromtechnik benötigt. Die *Elektroindustrie*, welche diese Geräte und Ausrüstungen liefert, hat also für alle Wirtschaftsbereiche eine große Bedeutung und ist eng mit ihnen verflochten.

Aus Bild 8/1 ist zu erkennen, welche Entwicklung der Industriebereich Elektrotech-



8/1 Entwicklung des Industriebereiches
Elektrotechnik/Elektronik/Gerätebau

nik/Elektronik/Gerätebau gegenüber den Industriebereichen Maschinen- und Fahrzeugbau und Metallurgie genommen hat. Im Zusammenhang mit dieser Entwicklung müssen auch die notwendigen *Energiemengen* bereitgestellt werden. Um den Bedarf an *Elektroenergie* zu decken, werden in der DDR viele Maßnahmen zur Steigerung der Erzeugung elektrischer Energie ergriffen: Neue Kraftwerke entstehen, ältere Kraftwerke werden erweitert. Bild 8/2 zeigt den anteilmäßigen Bedarf von Elektroenergie in unserer Volkswirtschaft.



8/2 Anteilmäßiger Bedarf an Elektroenergie

Umgang mit elektrischen Betriebsmitteln

In den Betrieben und auf den Baustellen lauert die Unfallgefahr. Unser Staat begegnet ihr durch viele Maßnahmen. Auf dem Hochbau muß der Arbeiter entweder angeseilt sein, oder es müssen Schutznetze gespannt werden (Bild 9/1); der Schweißer muß während des Schweißens eine Schutzbrille aufsetzen; eine Bleischürze schützt den Arzt vor gesundheitsschädlichen Wirkungen der Röntgenstrahlen (Bild 9/2), und beim Abspritzen von Schallplattenmatrizen mit Silbernitratlösung muß der Arbeiter eine Schutzmaske tragen; sie verhindert, daß schädliche Dämpfe eingeatmet werden.

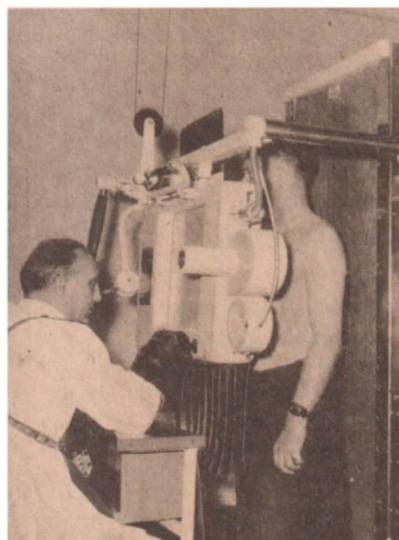
Nicht immer sind Unfallgefahren leicht erkennbar. Das gilt besonders für Unfallgefahren, die durch den elektrischen Strom hervorgerufen werden.

Die Gesunderhaltung der Werk tätigen ist in unserem Staat oberstes Gebot. Durch einen wirkungsvollen Gesundheits- und Arbeitsschutz wird es immer besser möglich, die Werk tätigen vor Unfällen und Berufskrankheiten zu schützen, noch vorhandene Gesundheitsgefahren am Arbeitsplatz zu beseitigen oder wesentlich zu vermindern und die Arbeit zu erleichtern.

Das „Gesetz der Arbeit der Deutschen Demokratischen Republik“ (GBA) vom 23. November 1966, die „Verordnung zur Erhaltung und Förderung der Gesundheit der Werk tätigen im Betrieb“ (Arbeitsschutzverordnung) vom 22. September 1962 und die verschiedenen Arbeitsschutzanordnungen (ASAO)



9/1 Schutznetze helfen die Unfallgefahr zu vermindern



9/2 Bleischürzen schützen vor Röntgenstrahlen

bilden die gesetzlichen Grundlagen für den Schutz der Gesundheit der Werktätigen. Diese gesetzlichen Bestimmungen legen unter anderem fest, daß die Leiter der Betriebe voll verantwortlich sind für die ständige Verbesserung des Gesundheits- und Arbeitsschutzes in ihren Betrieben. Sie verpflichten aber auch alle Werktätigen, im Interesse ihrer eigenen Gesundheit und im Interesse der Gesellschaft, an der ständigen Verbesserung des Gesundheits- und Arbeitsschutzes mitzuwirken und die ihnen erteilten Weisungen zu befolgen. Die Arbeitsschutzinspektionen des FDGB kontrollieren, ob die Arbeitsschutzbestimmungen eingehalten werden. Die Kontrolle über den Gesundheitsschutz wird von den Beauftragten des staatlichen Gesundheitswesens (Betriebsärzten, Mitarbeitern der Polikliniken usw.) durchgeführt. Bedingt durch die Eigenart der elektrischen Energie, können bei ihrer Anwendung folgende Gefahrenmomente unterschieden werden:

1. *Unfallgefahr* durch Berührung spannungsführender Anlagenteile (Bild 10/1).
2. *Brand- und Explosionsgefahr*.

Deshalb bestehen für das Errichten und für den Betrieb elektrischer Anlagen gesetzliche Vorschriften, die in *Standards* festgelegt sind.

Oberste Grundsätze sind:

Eingriffe in elektrische Anlagen sind nur dem Fachmann erlaubt!

- ▶ **Das Arbeiten an Anlagen und Geräten, die unter Spannung stehen, ist verboten!**

Damit soll erreicht werden, daß elektrische Anlagen sich ständig in einem einwandfreien, den Vorschriften entsprechenden Zustand befinden.



10/1 So kann der elektrische Strom seinen Weg durch den menschlichen Körper nehmen

Besonders bei schadhafte Anlagen und Geräten ist es möglich, daß blanke, metallische Teile unter Spannung geraten und dadurch zu einer Gefahrenquelle für den Menschen werden.

Der Gesetzgeber hat im *Gesetzblatt* der Deutschen Demokratischen Republik, Teil II, Nr. 14, vom 30. Januar 1965 genau festgelegt, in welchem Umfang ein Nichtfachmann an elektrischen Anlagen oder Betriebsmitteln arbeiten darf. Im § 4, „Ausführung von Arbeiten ohne Berechtigung“, heißt es u. a.:

„Eine Berechtigung . . . ist nicht erforderlich für das Anbringen von Wohnraumleuchten,

das Auswechseln von Glühlampen, Sicherungen, Schaltern und Steckdosen in Beleuchtungsanlagen, das Auswechseln von Steckern, Steckdosen und Kupplungen an beweglichen Anschlußschnüren und Geräten.“

- Ausgenommen sind Arbeiten an**
► Schutzkontaktanlagen einschließlich dazugehöriger Anschlußschnüre.

Außerdem sagt der Gesetzgeber dazu:

- Jeder, der die hier genannten Arbeiten ausführt, trägt die volle Verantwortung.**

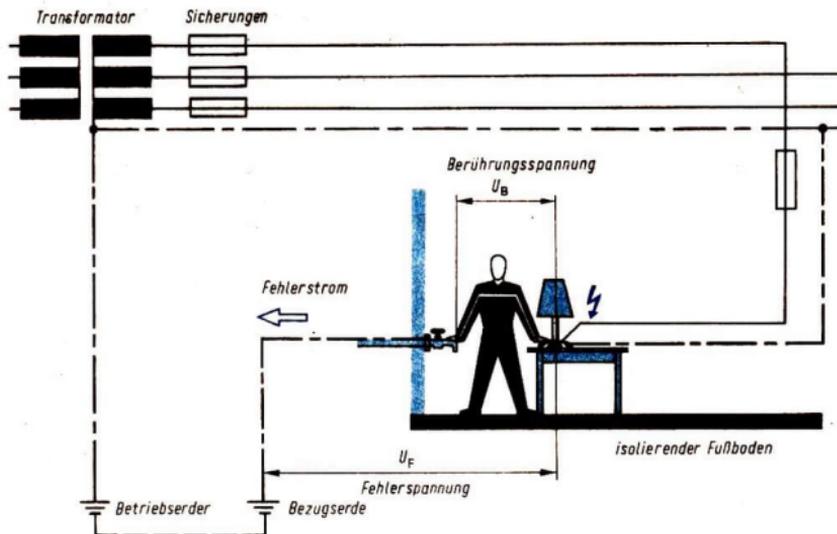
Die Wirkung des elektrischen Stromes auf den menschlichen Körper

Entscheidend für die Schwere eines elektrischen Unfalls ist die Stromstärke, die den menschlichen Körper oder Teile von ihm durchfließt (Bild 11/1). Meist stellt der

menschliche Körper nur einen Teilwiderstand eines Stromkreises dar. Unter ungünstigen Bedingungen kann der Gesamtwiderstand des Stromkreises so klein werden, daß *Spannungen über 65 V lebensgefährlich sein können.*

- Blanke Teile, an denen Spannungen über 65 V liegen, dürfen nicht berührt werden.**

Im allgemeinen ruft der elektrische Strom starke Reiz- und Wärmewirkungen hervor. Die Reizwirkungen erstrecken sich auf Muskulatur, Herz, Kreislauf und Zentralnervensystem, während die Wärmewirkungen Verbrennungen verursachen können. Bereits Ströme ab 25 mA können ein Herzkammerflimmern auslösen und dadurch lebensgefährlich werden. Starke Ströme rufen schwere innere und äußere Verbrennungen hervor, die zum Tode führen können. Ebenfalls hat die Zeitdauer der Stromeinwirkung auf den menschlichen Körper einen Einfluß auf die Schwere des Unfalls. Ströme von etwa 10 mA können bereits Krämpfe verursachen, die ein Loslassen des spannungsführenden Teiles erst nach dem Abschalten ermöglichen.



11/1 Stromkreis über den menschlichen Körper bei Berührung spannungsführender Teile

Schutzmaßnahmen gegen auftretende Berührungsspannungen

Um Unfälle durch den elektrischen Strom weitgehend zu vermeiden, sind *Schutzmaßnahmen* erforderlich; sie sind in TGL 200–602 bis 603 festgelegt. Im folgenden werden *Schutzisolierung* und *Schutzkleinspannung* betrachtet.

Schutzisolierung soll den Menschen vor dem Berühren einer elektrischen Spannung schützen. Leitende Gehäuseteile werden mit einer isolierenden Umkleidung versehen. Dadurch kann eine Berührungsspannung nicht auftreten (Anwendung bei Küchengeräten, Warmluftduschen, Handlampen usw.). Unter Schutzisolierung versteht man auch das Auslegen von isolierenden Schutzmatten als Fußbodenbelag in elektrischen Betriebsräumen.

Schutzkleinspannungen sind Spannungen bis 42 V. Man erhält sie durch Schutztransformatoren (Bild 12/1) oder aus Akkumulatoren. Beispielsweise wird beim Arbeiten in Kesselanlagen, feuchten Räumen, Kanälen usw., wo der Übergangswiderstand vom Mensch zur Erde sehr gering ist, für Handlampen und elektrische Geräte die Verwendung von *Schutzkleinspannung* vorgeschrieben.

Auch für Kinderspielzeug ist grundsätzlich die Verwendung von Schutzkleinspannung bis 24 V Vorschrift.

Andere Schutzmaßnahmen sind Schutz-

erdung, Schutznullung und Schutzschaltung, von denen einige bei der Betrachtung der Starkstromtechnik noch erwähnt werden.

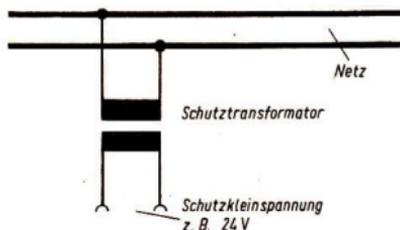
Erste Hilfe bei Unfällen durch elektrischen Strom

Hat sich trotz aller Schutzmaßnahmen ein elektrischer Unfall ereignet, so ist der Verunglückte so schnell wie möglich von der elektrischen Anlage zu entfernen. Die *schnellste Hilfe* wird durch Abschalten des Stromkreises erzielt (Betätigen eines Schalters, Herausdrauen der Sicherungen oder Trennen der Kupplung bei Gummischlauchleitungen).

Beim Abschalten ist zu beachten, ob der Verunglückte z. B. von der Leiter stürzen kann, da sich seine verkrampften Muskeln lösen. Sind keine Abschalteteile in der Nähe, muß unter größter Vorsicht versucht werden, den Verunglückten trotzdem vom Strom zu trennen. Damit der Helfer nicht selbst unter Stromwirkung gerät, muß er sich dabei auf isolierende Unterlagen (trockene Bretter und ähnliches) stellen und den Verunglückten nur an nichtleitenden Kleidungsstücken fassen.

Danach muß der Verunglückte sofort von beengenden Kleidungsstücken befreit und auf eine weiche Unterlage gelegt werden. Ein Arzt ist sofort zu verständigen. Atmung und Pulsschlag sind ständig zu beobachten. Bei Atemstillstand ist mit künstlicher Beatmung zu beginnen. Der Mund muß geöffnet und von Schleim, Erbrochenem und Blut frei gehalten werden. Zwischen Schulter und Nacken werden Kleiderbügel gelegt, so daß der Kopf im Nacken herabhängt.

Die müheloseste, schonendste und erfolgversprechendste Art der *Wiederbelebung* ist die „Atemspende“. Hierbei bläst der Helfer dem Verunglückten seine eigene Ausatemluft über dessen Mund ein. Beim Einsetzen der Atmung des Verunglückten sind die Wieder-



12/1 Schaltzeichen eines Schutztransformators:
seine Wicklungen müssen galvanisch getrennt
sein

belebungsversuche einzustellen, bei Verschlechterung wieder aufzunehmen.

Sind beim Verunglückten *Verbrennungen* zu verzeichnen, so dürfen die Brandwunden nur trocken und steril bedeckt werden. Bei schweren Verbrennungen muß eine *Alkali-behandlung* einsetzen. Ein Eßlöffel doppeltkohlenensaures Natron (ersatzweise ein Eßlöffel Kochsalz) ist in 1 Liter Wasser aufzulösen und dem Verunglückten in Abständen von 10 Minuten zu trinken zu geben. Ist beides nicht vorhanden, trotzdem viel Flüssigkeit zuführen. Jedoch soll nichts eingefloßt werden, sondern der Verunglückte muß selbst trinken.

Aufgaben

1. Begründen Sie, warum Eingriffe in elektrische Anlagen nur dem Fachmann erlaubt sind!
2. Welche Arbeiten im Zusammenhang mit elektrischen Betriebsmitteln sind ohne den Nachweis einer Berechtigung gestattet?
3. Erkunden Sie, warum nur der Fachmann an Schutzkontaktanlagen arbeiten darf!
4. Wiederholen Sie schriftlich Maßnahmen der Ersten Hilfe bei Unfällen durch den elektrischen Strom!

Einführung in die Prüf- und Meßtechnik

Zur Überwachung elektrischer Anlagen sind Prüf- und Meßeinrichtungen unerlässlich. Beispielsweise ist in „Energieerzeugungsanlagen“ eine ständige Betriebsüberwachung erforderlich; das geschieht in den Schaltwarten (Bild 14/1).

In Verbraucheranlagen beschränkt man sich vielfach auf das Messen von Spannung, Strom und elektrischer Arbeit durch dauernd eingeschaltete Geräte (Bild 14/2).

Beim Aufsuchen von Fehlern (Störungssuche) müssen häufig, an beliebigen Stellen eines Stromkreises, unterschiedliche elektrische Größenarten mit vorübergehend angeschlossenen Geräten gemessen werden.

Besondere Bedeutung kommt der Meßtechnik für die Steuerungs- und Regelungstechnik zu, denn ein Prozeß kann grundsätzlich nur geregelt werden, wenn Vorgänge durch Messen erfaßt und verfolgt werden können. Das Messen ist daher für die Automatisierung eine wesentliche Voraussetzung.

In den verschiedensten Bereichen der Technik ist das Messen elektrischer Größen erforderlich, und jeder, der mit elektrischen Geräten und Anlagen vertraut gemacht wird, muß die Grundlagen der elektrischen Meßtechnik kennen; er muß mit den wichtigsten Prüf- und Meßgeräten umgehen können.



14/1 Schaltwarte im Internationalen Dispatcherzentrum des Energieverbundnetzes der sozialistischen Länder



14/2 kWh-Zähler

Elektrisches Messen – elektrisches Prüfen

Messen

Beim Messen wird eine physikalische Größe mit ihrer *Einheit* verglichen. So wird z. B. bei Spannungsmessungen der gemessene Wert der Spannung mit der Einheit 1 Volt verglichen.

Prüfen

Durch Prüfen kann festgestellt werden, ob beispielsweise eine Leitungsschutzsicherung ihre Funktion erfüllen kann; d. h., durch Prüfen wird ein Zustand festgestellt, der mit einem festgelegten Bezugszustand verglichen wird. Für den Schmelzeinsatz einer Leitungsschutzsicherung gilt als Bezugszustand der unversehrte Schmelzdraht.

Prüfergebnisse sind grundsätzlich „Ja“- oder „Nein“-Entscheidungen: Schmelzdraht durchgeschmolzen – „Nein“, Schmelzdraht nicht durchgeschmolzen – „Ja“.

In der Elektrotechnik werden durch Messen die Werte elektrischer Größen festgestellt und mit ihrer Einheit verglichen; durch Prüfen wird festgestellt, ob ein geforderter Zustand vorhanden ist.

Vergleichen Sie, ob die hier getroffenen Aussagen auch für Prüf- und Meßverfahren in der mechanischen Technologie gültig sind!

Fehler in elektrischen Anlagen und Geräten

Sind elektrische Anlagen oder Geräte gestört, dann sind die möglichen Fehler meist auf drei Fehlergruppen zurückzuführen:

1. Leitungen sind unterbrochen. Dies tritt häufig bei *flexiblen* Leitern an ganz be-

stimmten Stellen auf, z. B. an den Einführungen von ortsveränderlichen Geräten. Bei festverlegten Leitungen ist Drahtbruch seltener anzutreffen. Durch chemische Einwirkung können ebenfalls Leitungsunterbrechungen auftreten.

2. Klemmstellen für dauernden oder zeitweiligen Kontakt, wie Verteilerdosen, Schalter und Steckvorrichtungen, haben einen zu hohen Übergangswiderstand. Klemmschrauben sind locker, Kontakte der Schalter und Steckvorrichtungen sind stark verschmort, so daß kein einwandfreier Stromdurchgang möglich ist.
3. Es sind unzulässige Verbindungen entstanden. In elektrischen Anlagen und Geräten geschieht dies mitunter durch Eindringen von Wasser oder durch chemische Einflüsse. Bei beweglichen Leitungen und in Geräten können durch mechanische Einwirkung unzulässige Verbindungen entstehen.

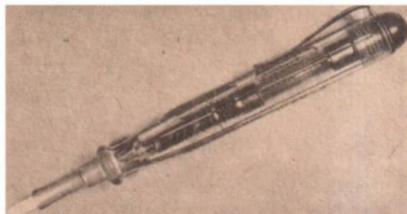
Man spricht von Kurzschluß, wenn sich zwei spannungsführende Leiter berühren, ohne daß ein Nutzwiderstand zwischen ihnen liegt; man spricht von Körperschluß, wenn ein Leiter Verbindung mit dem metallischen Gehäuse des Gerätes hat.

Nennen Sie Ihnen bekannte Störungen in elektrischen Starkstromanlagen!

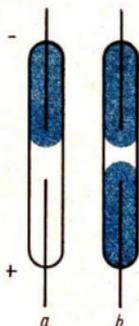
Solche Fehlerquellen lassen sich mit Hilfe von Spannungs- und Durchgangsprüfungen feststellen.

Spannungsprüfungen

Um festzustellen, ob an bestimmten Stellen eines Stromkreises – Steckdose, Schalter, Verteilerdose – Spannung vorliegt, benutzt man vorteilhaft den Polsucher (Bild 16/1).



16/1 Polsucher



16/2 Glimmlampe des Polsuchers
a Anzeige bei Gleichstrom
b Anzeige bei Wechselstrom



16/3 Prüfen mit dem Spannungssucher

Als Leuchtquelle dient eine Glimmlampe, in der sich Neongas befindet. Bei Gleichstrom überzieht sich nur die negative Elektrode mit rötlichem Glimmlicht, bei Wechselstrom werden beide Elektroden vom Glimmlicht überzogen (Bild 16/2a und b). Beim Prüfen wird der zur Schraubenzieherschneide ausgebildete Kontakt an den zu prüfenden Anschluß oder Kontakt gehalten, während der

Gegenkontakt durch den menschlichen Körper – Auflegen eines Fingers auf die Kappe – gebildet wird. Die hierbei auftretenden Ströme sind derartig gering, daß sie für den Menschen keine Gefahr darstellen.

Weshalb überziehen sich bei Wechselspannung beide Elektroden mit Glimmlicht?

• *Wie wird bei Gleichspannung die Polarität bestimmt?*

Welche Aufgabe hat der Widerstand im Polsucher zu erfüllen?

Außer dem beschriebenen Polsucher gibt es noch einen ähnlichen Spannungssucher. An Stelle der Polkappe ist er mit einer Leitung versehen, die zu einer zweiten Prüfspitze führt (Bild 16/3). Er wird zum Prüfen der Spannung zwischen zwei Leitungen bzw. einem Leiter und der Erde verwendet. Die Anwendung von Prüflampen (*Fassung mit normaler Glühlampe*) ist nicht statthaft!

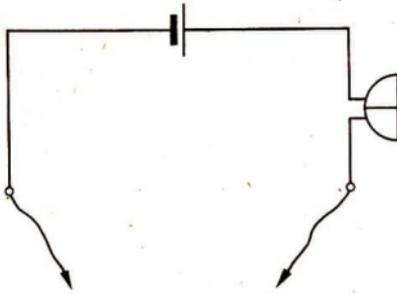
Durchgangsprüfungen

Wird beispielsweise durch eine Spannungsprüfung festgestellt, daß keine Spannung vorhanden ist, dann kann mit Hilfe von Durchgangsprüfungen der Ort der Störung eingekreist werden. Außerdem können mit Hilfe von Durchgangsprüfungen die Schaltpläne von Anlagen und Geräten aufgenommen werden.

Geräte zur Durchgangsprüfung

Zur Durchgangsprüfung werden vorwiegend Geräte für *Kleinspannung* verwendet; sie bestehen im wesentlichen aus einer Reihenschaltung von Spannungsquelle und Anzeigergerät.

• *Weshalb dürfen bei Durchgangsprüfungen elektrische Anlagen oder Geräte nicht unter Spannung stehen?*



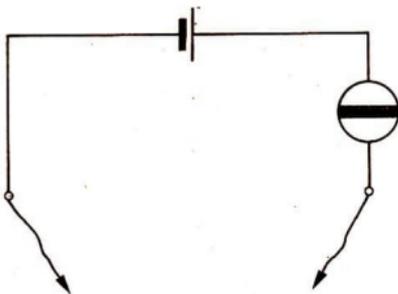
17/1 Schaltplan eines Durchgangsprüfers mit Einschlagwecker und galvanischer Spannungsquelle

Der *Summer* ist im Prinzip ein elektrischer Wecker für Wechsel- oder Gleichstrom, bei dem Klößel und Glocke entfernt sind (Bild 17/1). Gegenüber den anderen Geräten bietet er den Vorteil, daß man beim Prüfen das Prüfgerät nicht zu beobachten braucht.

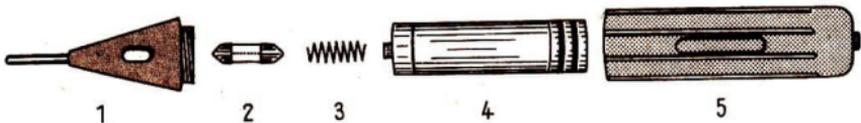
Wiederholen Sie, was Sie zu diesem

- Thema im Physikunterricht der Klasse 8 gehört haben!

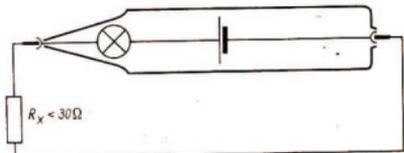
Das *Schauzeichen* ist ein Gerät, dessen Hauptteil ein Elektromagnet darstellt. Beim



17/2 Schaltplan eines Durchgangsprüfers mit Schauzeichen und galvanischer Spannungsquelle



17/3 Durchgangsprüfer: 1 Verschleißstück mit Tastspitze, 2 Soffittenlampe, 3 Druckfeder, 4 Stabbatterie 3 V, 5 Hülse (Griff) mit Anschlussbuchse



17/4 Prüfschaltung des Durchgangsprüfers

Stromfluß zieht der Elektromagnet einen Anker an, der durch seine mechanische Bewegung an gut sichtbarer Stelle ein auffallendes Zeichen hervortreten läßt (Bild 17/2).

„*Prüf-Fix*“. Ein sehr handlicher Durchgangsprüfer ist das Prüfgerät „*Prüf-Fix*“, hergestellt von der PGH Energie Torgau. Es besteht im wesentlichen aus Gehäuse, Stabbatterie und Soffittenlampe (Bild 17/3) und eignet sich für Durchgangsprüfungen bis zu einem Widerstand von 30Ω (Bild 17/4).

Hinweise und Anwendungsbeispiele zu Durchgangsprüfungen

Die angeführten Prüfgeräte sind nicht beliebig einsetzbar. Ihre Funktion hängt von der Größe des Widerstandes der zu prüfenden Anlage bzw. des zu prüfenden Gerätes ab. Folgende Regeln sollten bei der Durchgangsprüfung beachtet werden:

- Summer und Wecker sind meist niederohmig und nur für Leitungsprüfungen geeignet.
- Glühlämpchen mit kleiner Leistung und hohem Innenwiderstand liefern noch bei Widerständen bis 100Ω eine deutliche Anzeige.
- Bei hochohmigen Widerständen sind Schauzeichen oder Meßwerke zu verwenden.

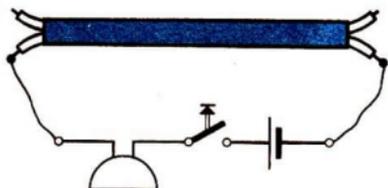
Die Bilder 18/1 bis 18/6 zeigen einige Durchgangsprüfungen.

Aufnehmen von Schaltplänen

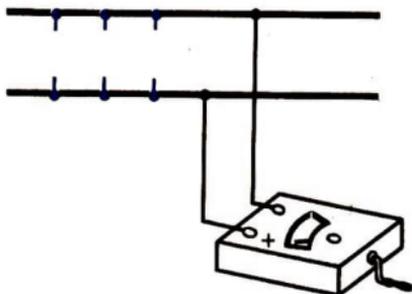
Mit Hilfe von Durchgangsprüfungen können die Schaltpläne von Schaltungen aufgenommen werden. Das ist besonders dann notwendig, wenn Schaltungen unübersichtlich



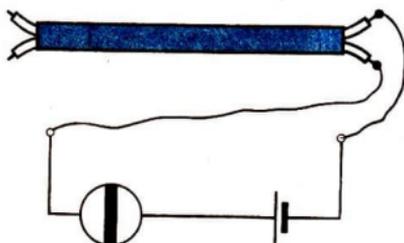
18/4 Prüfen der Wicklungen eines Drehstrommotors auf Körperschluß



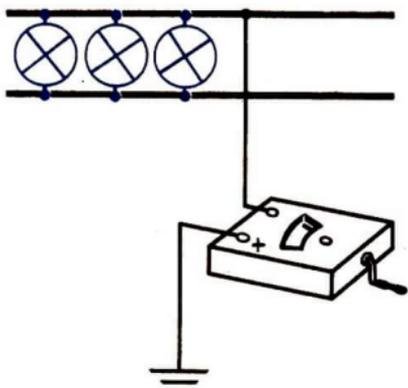
18/1 Prüfen einer Leitung oder eines Kabels auf Durchgang mit dem Summer



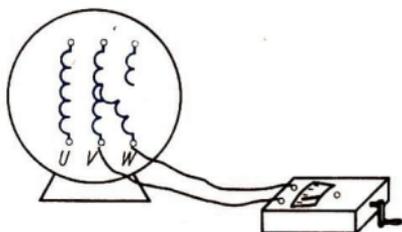
18/5 Prüfen des Isolationswiderstandes Leitung gegen Leitung



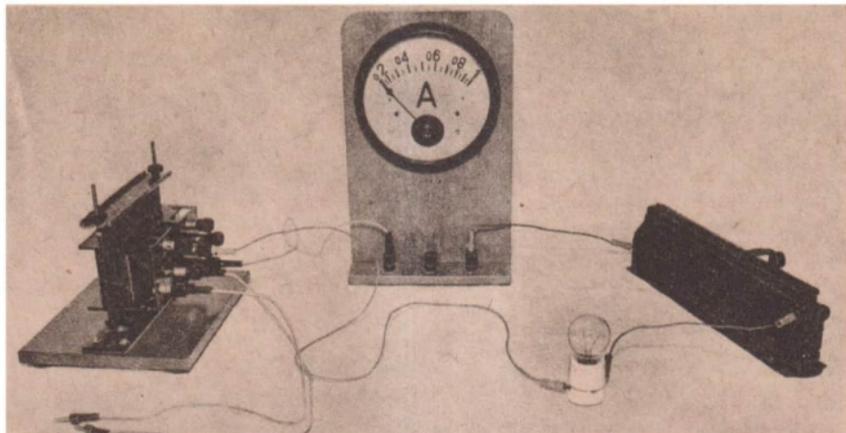
18/2 Prüfen einer Leitung oder eines Kabels auf Kurzschluß mit dem Schauzeichen



18/6 Prüfen des Isolationswiderstandes einer Anlage oder eines Teilstückes gegen Erde



18/3 Prüfen der Wicklungen eines Drehstrommotors auf Wicklungsschluß mit dem Kurbelinduktor



19/1 Schaltung, bestehend aus Transformator, Strommesser, stellbarem Widerstand und Glühlampe

und gestört sind. Bild 19/1 zeigt eine einfache übersichtliche Schaltung, die aus einem Transformator, einem Strommesser, einem stellbaren Widerstand und einer Glühlampe besteht.

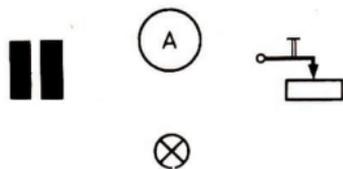
Folgende Schritte sind notwendig, um einen Schaltplan dieser Schaltung aufnehmen zu können:

1. Schaltzeichen der Bauelemente der Schaltung lagegerecht aufzeichnen (Bild 19/2).
2. Mit dem Durchgangsprüfer, bei den Steckerleitungen beginnend, die Verbindungen zur Primärseite des Transformators prüfen; Leitungen einzeichnen.
3. Verbindung von der Sekundärseite des Transformators zum Strommesser prüfen; Leitung einzeichnen.

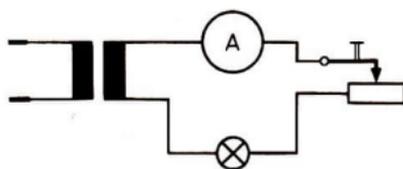
4. Verbindung vom Strommesser zum stellbaren Widerstand prüfen; Leitung einzeichnen.
5. Verbindung vom stellbaren Widerstand zur Glühlampe prüfen; Leitung einzeichnen.
6. Verbindung von der Glühlampe zur Sekundärseite des Transformators prüfen; Leitung einzeichnen (Bild 19/3).

Wird diese Schaltung in Betrieb genommen und stellt sich eine Störung heraus, dann müssen die Bauelemente geprüft werden; dazu sind folgende Schritte notwendig:

1. Primärseite des Transformators auf Durchgang prüfen.
2. Sekundärseite des Transformators auf Durchgang prüfen.



19/2 Lagegerechte Anordnung der Bauelemente



19/3 Zeichnen der Leitungen

3. Stellbaren Widerstand auf Durchgang prüfen; Abgriff des stellbaren Widerstandes hinsichtlich seiner Verbindung zur Wicklung prüfen.
4. Glühlampe auf Durchgang prüfen.
5. Den Strommesser *nicht* auf Durchgang prüfen; das sollte einem Fachmann überlassen sein. Ob ein Fehler im Strommesser liegen kann, wird ermittelt, indem die Anschlüsse am Strommesser mit einer Leitung überbrückt werden. Wird dann die Schaltung in Betrieb genommen und sind keine Störungen feststellbar, dann ist der Strommesser defekt.

Meßgeräte und Meßtechnik

Um eine Übersicht über die Vielzahl elektrischer Meßgeräte zu erhalten, werden sie nach verschiedenen Gesichtspunkten eingeteilt.

Einteilung der Meßgeräte nach der zu messenden Größe

Die physikalische Größe, die mit einem Meßgerät bestimmt werden soll, nennt man die *Meßgröße*, den vom Meßgerät angezeigten Wert den *Meßwert*. Übersicht 20/1 zeigt die Meßgeräte, die für die entsprechenden Meßgrößen angewendet werden.

Übersicht 20/1: Zuordnung der Meßgeräte zu den Meßgrößen

<i>Meßgröße</i>	<i>Meßgerät</i>
Stromstärke	Strommesser
Spannung	Spannungsmesser
Widerstand	Widerstandsmesser (z. B. Meßbrücke)
Leistung	Leistungsmesser

Einteilung der Meßgeräte nach Bauart und Anzeige

Einteilung nach der Bauart

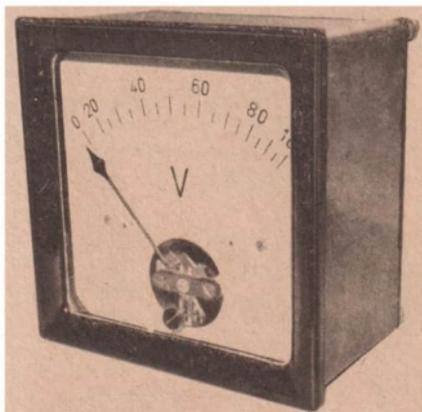
<i>fest eingebaut:</i>	<i>tragbar:</i>	<i>transportabel:</i>
Schalttafelmeßgeräte	Meßgeräte für Werkstatt und Montage	Laboratoriumsmeßgeräte

Einteilung nach der Anzeige

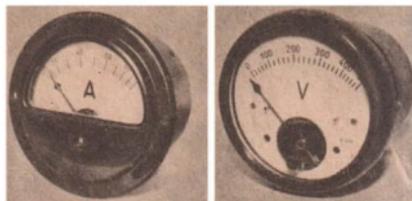
<i>schreibend:</i>	<i>austenkend:</i>	<i>zählend:</i>
z. B. Leistungsschreiber	z. B. Drehspulmeßgerät	z. B. kWh-Zähler

Schalttafelmeßgeräte werden in Schalttafeln fest eingebaut und dienen zur ständigen Überwachung elektrischer Anlagen. Sie haben heute meist eine quadratische Form, während sie früher in runder Ausführung hergestellt wurden. Die Bilder 20/1 bis 21/1a und b zeigen verschiedene Schalttafelmeßgeräte.

Schreibende Meßgeräte (Bild 31/2) werden verwendet, um nachträglich den Verlauf von Meßvorgängen prüfen zu können. Durch das Meßwerk wird ein Schreibhebel betätigt, der am freien Ende eine Schreibfeder trägt. Unter der Schreibfeder wird durch ein Uhr-



20/1 Schalttafelmeßgerät, quadratische Form

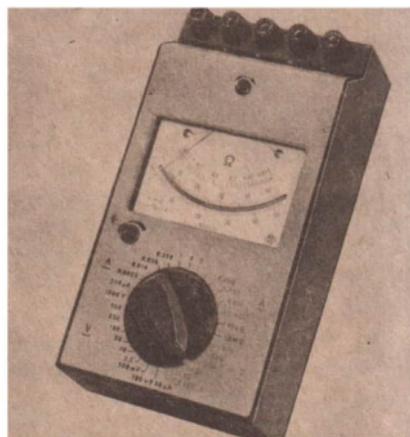


21/1 Schalttafelmeßgeräte, runde Form

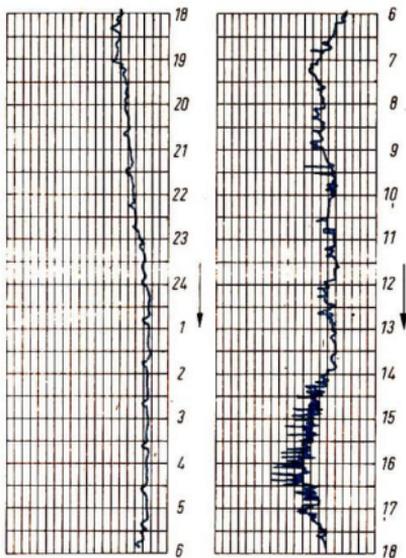
werk ein Papierstreifen (Registrierpapier) gleichmäßig vorbeigezogen, und die Schreibfeder zeichnet dabei laufend die Meßwerte auf. In Bild 21/3 ist ein Leistungsdiagramm dargestellt.

Tragbare Meßgeräte werden zur Messung an beliebigen Stellen eines Stromkreises bei der Montage, Reparatur und Überprüfung verwendet. Nach Möglichkeit sollen sie vielseitig einsetzbar sein (Bild 21/2).

Laboratoriumsmeßgeräte werden für höchste Ansprüche an die Meßgenauigkeit hergestellt. Sie sind transportabel, haben spiegelunterlegte Skalen und sind für horizontale oder schräge Gebrauchslage ausgeführt. Ein Laboratoriumsmeßgerät ist in Bild 21/4 dargestellt.



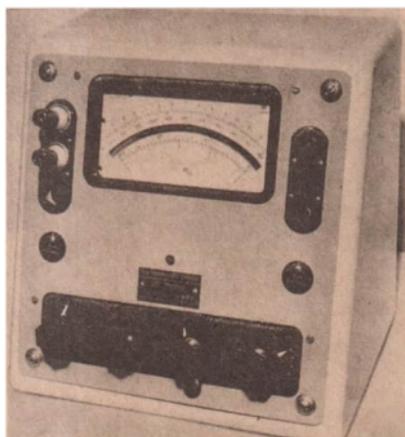
21/2 Vielmessler als tragbares Meßgerät



21/3 Leistungsdiagramm

Begründen Sie den Vorteil spiegelunterlegter Skalen!

• *Warum besitzen nur wenige Arten von Meßgeräten spiegelunterlegte Skalen?*



21/4 Laboratoriumsmeßgerät

Einteilung der Meßgeräte nach der Funktion  Gleichstrom

Die Funktion elektrischer Meßgeräte beruht häufig auf den magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes. Entsprechend den auftretenden Stromstärken werden im Gerät Drehmomente hervorgerufen, die den durch eine Richtkraftfeder geführten Zeiger mehr oder weniger stark auslenken. Nach dem inneren Aufbau und der Wirkungsweise unterscheidet man im wesentlichen folgende Meßwerke:

Drehspulmeßwerk, Dreheisenmeßwerk, Kreuzspulmeßwerk und elektrodynamisches Meßwerk.

Wiederholen Sie, was Sie hierzu im Physikunterricht der Klasse 8 gehört haben!

Wiederholen Sie, was Sie hierzu im Physikunterricht der Klasse 8 gehört haben!

 Wechselstrom

 Gleich- und Wechselstrom

 Drehstrommeßgerät mit zwei Meßwerken

 Drehstrommeßgerät mit drei Meßwerken

 Thermoumformer

 Senkrechte Gebrauchslage

 Waagerechte Gebrauchslage

Kennzeichen der Meßgeräte

Der innere Aufbau der Meßgeräte ist äußerlich meist nicht zu erkennen. Auch über die Verwendung (Stromart, Meßgenauigkeit, Gebrauchslage) könnten keine genauen Angaben gemacht werden, wenn nicht auf der Skalenscheibe entsprechende Hinweise angebracht wären. Die wichtigsten Sinnbilder sind in Übersicht 22/1 wiedergegeben.

 Schräge Gebrauchslage

 Nullstellung

 Prüfspannungszeichen (Stern ohne Ziffer: 500 V; Stern mit Ziffer 2: 2000 V usw.)

Übersicht 22/1: Kennzeichen der Meßgeräte

 Drehspulmeßwerk

 Dreheisenmeßwerk

 Elektrodynamisches Meßwerk

 Trockengleichrichter, Diode, Ventil

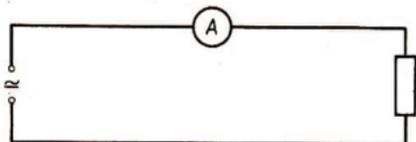
 Drehspulmeßwerk mit Trockengleichrichter

Messen der Stromstärke

Meßgeräte zum Messen der Stromstärke. Als Meßgerät für Gleichstrommessungen dient meist ein Meßgerät mit Drehspulmeßwerk, für Wechselstrommessungen wird vornehmlich ein Meßgerät mit Dreheisenmeßwerk verwendet.

Der Eigenwiderstand eines Strommessers muß möglichst klein sein, damit der Eigenbedarf gering ist.

Wiederholen Sie, was Sie hierzu im Physikunterricht der Klasse 8 gehört haben!



23/1 Messen der Stromstärke

Schaltung des Strommessers. Der Strommesser soll die Stärke des Stromes in einem Stromkreis angeben. Er muß folglich in *Reihe* zu einem Verbraucher geschaltet werden (Bild 23/1).

Bei Anschluß eines Strommessers mit Drehspulmeßwerk ist darauf zu achten, daß die mit + und – gekennzeichneten Anschlüsse des Meßgerätes entsprechend polaritätsgerecht in der Meßschaltung angeschlossen werden.

Was geschieht, wenn ein Strommesser direkt an eine Spannungsquelle angeschlossen wird?

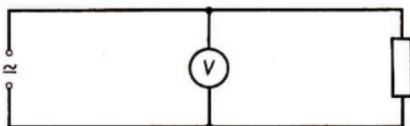
Messen der Spannung

Meßgeräte zum Messen der Spannung. Als Meßgeräte für Spannungsmessungen werden ebenfalls vorwiegend Drehspul- und Dreh-eisenmeßwerke verwendet. Die Wirkungsweise dieser Geräte beruht darauf, daß die Stromstärke, die durch das Meßwerk fließt, von der Spannung abhängig ist, an die das Meßgerät angeschlossen wird.

Der Eigenwiderstand des Spannungsmessers muß im Gegensatz zu dem des Strommessers groß sein, damit kein Kurzschluß entsteht.

Schaltung des Spannungsmessers. Der Spannungsmesser ist dem Gerät, an dem die Spannung gemessen wird, parallelzuschalten (Bild 23/2).

Werden Drehspulgeräte zum Messen von Gleichspannung verwendet, so ist die Polarität zwischen Spannungsquelle und Meßgerät zu beachten.



23/2 Messen der Spannung

Was geschieht, wenn ein Spannungsmesser in Reihe zu einem Verbraucher geschaltet wird? Wie verhält sich das Drehspulgerät, wenn es an Wechselfspannung angeschlossen wird?

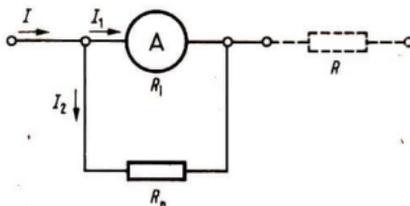
Meßbereichserweiterungen für Strom- und Spannungsmesser

Drehspulmeßwerke lassen sich nur für ganz kleine Ströme bauen. Sollen größere Ströme gemessen werden, so müssen die Meßbereiche erweitert werden.

Strommesser. Eine Erweiterung des Meßbereiches erzielt man durch einen Nebenwiderstand R_N (Bild 23/3), durch den ein bestimmter Teil des Gesamtstromes am Instrument vorbeigeleitet wird. Durch den Nebenwiderstand fließt der Strom $I_2 = I - I_1$, und die Spannung desselben ist $R_N \cdot I_2$ (aus $I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_N$). Daraus ergibt sich der Nebenwiderstand:

$$R_N = \frac{R_1 \cdot I_1}{I - I_1} = \frac{R_1 \cdot I_1}{I - I_1}$$

Bei einer n -fachen Meßbereichserweiterung ist $I = n \cdot I_1$. Dieses für I in die vorige Gleichung eingesetzt ergibt:



23/3 Meßbereichserweiterung für einen Strommesser

$$R_n = \frac{R_i \cdot I_1}{n \cdot I_1 - I_1} = \frac{R_i \cdot I_1}{(n-1) \cdot I_1}$$

$$R_n = \frac{R_i}{n-1}$$

Beispiel

Ein Strommesser für 4 mA hat einen Innenwiderstand $R_i = 10 \Omega$. Sein Meßbereich soll auf 1 A erweitert werden. Wie groß muß der Nebenwiderstand sein?

Lösung

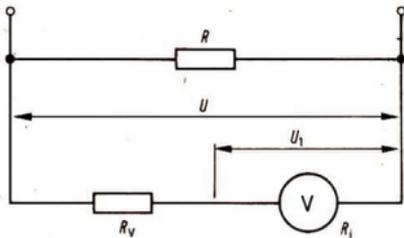
$$n = \frac{1000 \text{ mA}}{4 \text{ mA}} = 250$$

$$R_n = \frac{R_i}{n-1} = \frac{10 \Omega}{250-1} = \frac{10 \Omega}{249} = 0,04016 \Omega$$

Der Nebenwiderstand muß $0,04016 \Omega$ betragen.

Spannungsmesser. Die Erweiterung des Meßbereiches eines Spannungsmessers erfolgt durch Vorschalten eines Widerstandes R_v (Bild 24/1). Der Meßbereich wird dann doppelt so groß, wenn der Wert des Vorwiderstandes R_v gleich dem Wert des Innenwiderstandes R_i des Meßwerkes ist. Wird ein Widerstand von $2 R_i$ vorgeschaltet, so wird der Meßbereich auf das Dreifache erhöht. Einen n-fachen Meßbereich erhält man dementsprechend aus einem Vorwiderstand

$$R_v = R_i \cdot (n - 1).$$



24/1 Meßbereichserweiterung für einen Spannungsmesser

Beispiel

Der Meßbereich eines Spannungsmessers für 10 V und $R_i = 10 \text{ k}\Omega$ soll auf 100 V erweitert werden.

Wie groß muß der Vorschaltwiderstand sein?

Lösung

$$n = \frac{100 \text{ V}}{10 \text{ V}} = 10$$

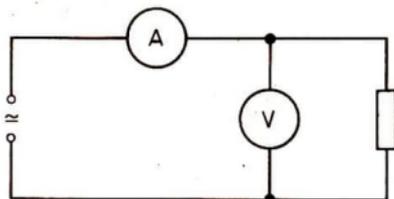
$$R_v = R_i (n - 1) = 10 \text{ k}\Omega (10 - 1) = 90 \text{ k}\Omega$$

Der Vorschaltwiderstand muß $90 \text{ k}\Omega$ betragen.

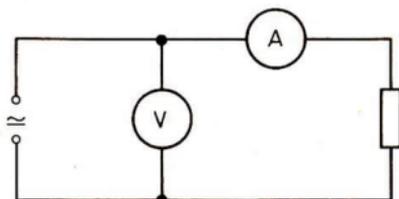
Widerstandsbestimmungen

Indirektes Verfahren. Der elektrische Widerstand eines Körpers kann durch Strom- und Spannungsmessung auf indirektem Wege nach dem Ohmschen Gesetz bestimmt werden. Zur Messung werden Meßgeräte mit Drehspulmeßwerken benutzt. Werden sie als Spannungsmesser mit dem Innenwiderstand R_i verwendet, nehmen sie den Strom $I_n = \frac{U}{R_i}$ auf. Bei Verwendung als Strommesser mit dem Innenwiderstand R_i tritt an ihnen der Spannungsabfall $I \cdot R_i$ auf. Es ist daher nicht möglich, gleichzeitig Stromstärke und Spannung an einem Widerstand richtig zu messen, wie aus den Meßschaltungen in den Bildern 25/1 und 25/2 zu erkennen ist.

In der Schaltung nach Bild 25/1 wird der Spannungsabfall U_x über dem zu messenden Widerstand R_x richtig gemessen, die Stromstärke dagegen nicht, weil von dem Strommesser der um die Stromaufnahme I_u des Spannungsmessers vergrößerte Wert $I = I_x + I_u$ angezeigt wird. Wird dann aber in Schaltung nach Bild 25/2 mit dem Strommesser der Strom I_x richtig gemessen, dann zeigt der Spannungsmesser einen um den Betrag $I \cdot R_i$ zu großen Wert $U = U_x + I \cdot R_i$



25/1 Spannungsrichtige Schaltung



25/2 Stromrichtige Schaltung

an. In der Starkstromtechnik sind meist die auftretenden Ströme im Vergleich zur Stromaufnahme des Spannungsmessers verhältnismäßig groß, und der Strom des Spannungsmessers kann vernachlässigt werden. Bei der Widerstandsbestimmung in der Starkstromtechnik ist daher die Schaltung nach Bild 25/1 anzuwenden. Widerstände in der Schwachstromtechnik sind meist hochohmig und können nur mit kleinen Strömen belastet werden. Hier ist die Schaltung nach Bild 25/2 zweckmäßig, weil der Strom, der durch den Widerstand fließt, direkt zu kontrollieren ist und an dem Strommesser bei kleinem Innenwiderstand kein nennenswerter Spannungsabfall auftritt.

Beispiel

Zur Widerstandsbestimmung steht ein Spannungsmesser für 6 V mit einem Innenwiderstand von $R_1 = 1000 \Omega$ und ein Strommesser mit einem Innenwiderstand von $R_1 = 0,1 \Omega$ zur Verfügung.

Gemessen wird in Schaltung nach Bild 25/1:

$$U = 5,4 \text{ V}; I = 6 \text{ A.}$$

In Schaltung nach Bild 25/2:

$$U = 6 \text{ V}; I = 6 \text{ A.}$$

Lösung für Schaltung nach Bild 25/1

$$R_x = \frac{U}{I - I_1}; I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{5,4 \text{ V}}{1000 \Omega} = \underline{0,0054 \text{ A}}$$

$$R_x = \frac{5,4 \text{ V}}{6 \text{ A} - 0,0054 \text{ A}} \approx \frac{5,4 \text{ A}}{6 \text{ A}} = \underline{0,9 \Omega}$$

Der Instrumentenstrom von 0,0054 A ist so klein, daß man ihn vernachlässigen kann.

Lösung für Schaltung nach Bild 25/2

$$R_x = \frac{U}{I} - R_i = \frac{6 \text{ V}}{6 \text{ A}} - 0,1 \Omega = \\ = 1 \Omega - 0,1 \Omega = \underline{0,9 \Omega}$$

Bei dieser Schaltung muß der Innenwiderstand unbedingt berücksichtigt werden, da sonst ein zu großer Meßfehler auftritt.

Wieviel Prozent beträgt der Meßfehler?

Beispiel

Mit den im vorigen Beispiel angeführten Meßgeräten werden kleine Ströme gemessen.

In Schaltung nach Bild 25/1:

$$U = 5 \text{ V}; I = 15 \text{ mA}$$

In Schaltung nach Bild 25/2:

$$U = 5 \text{ V}; I = 10 \text{ mA}$$

1. Lösung

$$R_x = \frac{U}{I - I_1}; I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{5 \text{ V}}{1000 \Omega} = \underline{5 \text{ mA}}$$

$$R_x = \frac{5 \text{ V}}{0,015 \text{ A} - 0,005 \text{ A}} = \frac{5 \text{ V}}{0,01 \text{ A}} = \underline{500 \Omega}$$

2. Lösung

$$R_x = \frac{U}{I} - R_i = \frac{5 \text{ V}}{0,01 \text{ A}} - 0,1 \Omega = \\ = \underline{499,9 \Omega} \approx \underline{500 \Omega}$$

Der Innenwiderstand ist so klein, daß er vernachlässigt werden kann.



26/1 Messen eines Widerstandes mit einer Meßbrücke

Die Meßbrücke. Eine genaue Messung des Widerstandes kann mit einer Meßbrücke (Bild 26/1) vorgenommen werden, die (nach dem englischen Physiker WHEATSTONE) Wheatstonesche Brücke genannt wird. Sie besteht, äußerlich betrachtet, aus einem empfindlichen Meßwerk, einer Einstellskala, einem Vergleichswiderstand und einem galvanischen Element.

Bei der Widerstandsmessung wird ein Vergleichswiderstand gewählt, der in der Nähe des zu messenden Widerstandes liegt. Die Einstellskala wird so lange gedreht, bis der Zeiger des Meßwerks auf 0 steht. Die Widerstandsgröße kann dann durch Multiplikation des Skalenwertes mit dem Vergleichswiderstand ermittelt werden.

Beispiel

Vergleichswiderstand = 100 Ω

Skalenwert = 3,5

$$R_x = 100 \Omega \cdot 3,5 = \underline{\underline{350 \Omega}}$$

Leistungsmessungen

Berechnung der Leistung durch Strom- und Spannungsmessung. Gleichstromleistungen und Wechselstromleistungen an rein ohmschen Widerständen können nach der Gleichung

$$P = U \cdot I$$

aus einer Strom- und Spannungsmessung errechnet werden. Die Meßgeräte sind wie bei der Widerstandsberechnung (Bilder 25/1 und 25/2) zu schalten. Für überschlägige Angaben genügt die Bildung des Produktes der Meßwerte; genauere Angaben erfordern eine Korrektur der Meßwerte durch Einbeziehung der Meßfehler in die Berechnung.

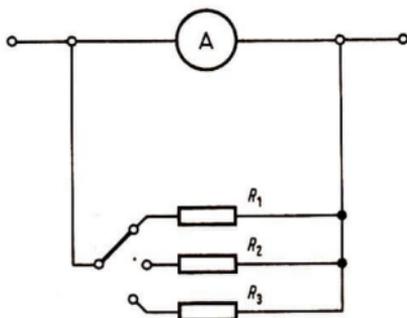
Wann wird die stromrichtige, wann die spannungsrichtige Schaltung angewendet?

- *Wie kann in Anlehnung an die Erläuterungen bei der Widerstandsberechnung eine Korrektur der Meßergebnisse vorgenommen werden?*

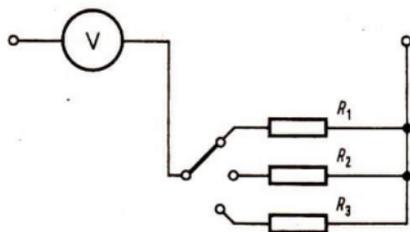
Der **Leistungsmesser** ist ein Gerät, welches das direkte Ablesen der Leistung auf der Skale gestattet. Er hat vier Anschlußklemmen und wird als Spannungsmesser und Strommesser in den Stromkreis geschaltet. Bei Wechselstrom zeigt er die Wirkleistung an.

Mehrbereichsinstrumente und Vielfachmesser

Im Abschnitt Meßbereichserweiterung wurde gezeigt, wie Meßbereiche erweitert werden. Es ist nun verhältnismäßig einfach, mit Drehspulmeßwerken **Mehrbereichsinstrumente**



26/2 Schaltplan eines Mehrbereichs-Strommessers



27/1 Schaltplan eines Mehrbereichs-Spannungsmessers

mente auszuführen. Die Schaltung eines Mehrbereichs-Strommessers ist in Bild 26/2, die eines Mehrbereichs-Spannungsmessers ist in Bild 27/1 dargestellt.

Die Neben- und Vorwiderstände sind in Ketten angeordnet und mit Kontakten versehen, über welche die Meßgröße dem Gerät zugeführt wird. Vereinigt man einen Mehrfachstrommesser mit einem Mehrfachspannungsmesser, so erhält man einen *Viel-fachmesser*. Die Schaltung ist in Bild 27/2 dargestellt.

In Verbindung mit einem Gleichrichter kön-

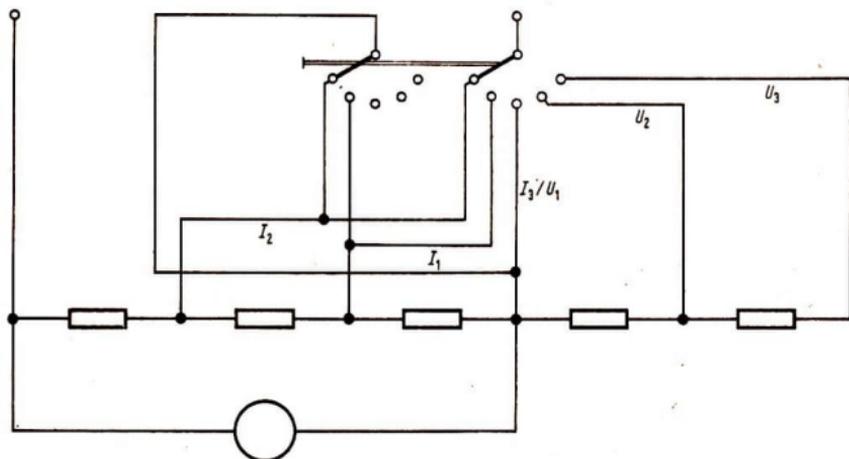
nen mit diesem Gerät Gleichströme, Gleichspannungen, Wechselströme und Wechselspannungen gemessen werden.

Viel-fachmesser sind tragbare Geräte, mit denen die meisten Messungen durchgeführt werden können. Ihr Vorteil liegt darin, daß ein einziges Instrument eine Reihe von Instrumenten ersetzt, deren Zahl durch die Zahl der Meßbereiche bestimmt ist. Der in Bild 21/3 gezeigte Vielfachmesser hat insgesamt 30 Schaltstellungen. Die einzelnen Meßbereiche sind in Übersicht 27/1 zusammengestellt.

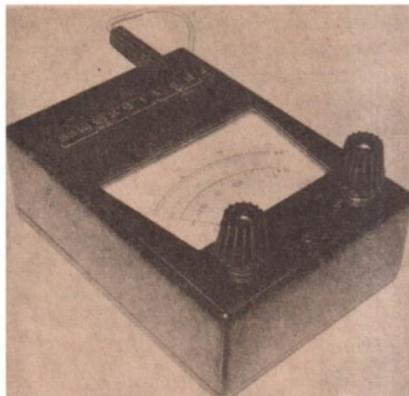
Übersicht 27/1: Meßbereiche eines Vielfachmessers

Wechsel- und Gleichstrom (in mA)	1,5; 6; 30; 150; 600; 1500; 6000
Gleich- und Wechselspannung (in V)	1,5; 6; 15; 30; 150; 300; 600

Außerdem hat das Gerät je ein Paar Meßbuchsen für Strom- und Spannungsmessung. Es kann gleichzeitig als Strom- und Spannungsmesser in einen Stromkreis eingebaut werden. Strom und Spannung können durch



27/2 Vereinfachter Schaltplan eines Vielfachmessers

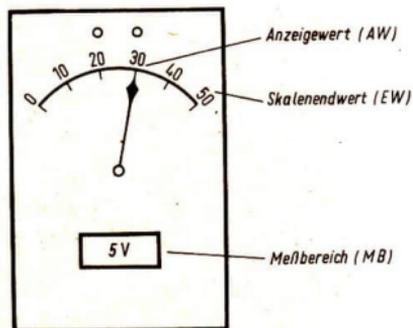


28/1 Vielfachmesser für den Schulgebrauch

Umschalten auf den erforderlichen Meßbereich abwechselnd gemessen werden. Während des Umschaltens wird das Meßgerät abgeschaltet.

Für Prüf- und Meßarbeiten in der Schule hat sich das Schüler-Vielfachmeßgerät „Polyzet“ (Bild 28/1) gut bewährt.

Feststellen des Meßwertes. Der Meßwert kann mit Ausnahme von jeweils einem Meßbereich (V, mA) bei diesen Meßgeräten auf der Skale nicht unmittelbar abgelesen werden, denn es stehen für die vielen Meßbereiche nur zwei Skalen zur Verfügung.



28/2 Zur Berechnung des Meßwertes bei der Verwendung eines Vielfachmessers

Eine für Gleichstrom und Gleichspannung, eine für Wechselstrom und Wechselspannung; im allgemeinen haben diese Skalen 30 oder 50 Teilstriche. Stimmen Meßbereich und Skalenwert überein, braucht eine Umrechnung nicht zu erfolgen.

Beim Messen ist zunächst folgendes zu beachten: Der *Skalenendwert* entspricht dem *gewählten Meßbereich* (Bild 28/2). Wurde z. B. ein Meßbereich von 5 V gewählt, so beträgt der Meßwert 5 V, wenn der Zeiger am Endausschlag bei Teilstrich 50 steht.

Gleiches gilt sinngemäß für die übrigen Meßbereiche. Es besteht folgende Proportionalität:

Der *Meßwert* verhält sich zum *Meßbereich* wie der *Anzeigewert* zum *Skalenendwert*.

$$\frac{\text{Meßwert}}{\text{Meßbereich}} = \frac{\text{Anzeigewert}}{\text{Skalenendwert}}$$

$$x = \frac{AW}{EW} \cdot MB$$

Hieraus folgt

$$x = \frac{MB}{EW} \cdot AW$$

Beispiel

Meßbereich: 5 V

Anzeigewert: 30 Teilstriche

Skalenendwert: 50 Teilstriche

Wie groß ist der Meßwert?

$$x = MB \cdot \frac{AW}{EW} = 5 \text{ V} \cdot \frac{30}{50} = 3 \text{ V}$$

Folgende Regeln sollten bei der Anwendung von Universalmessern grundsätzlich beachtet werden:

1. Kann der Meßwert nicht geschätzt werden, beim größten Bereich beginnen.
2. Meßbereich so wählen, daß Meßwert nach Möglichkeit im letzten Drittel der Skale abzulesen ist.

Meßfehler

Meßgeräte und auch Meßvorgänge sind mit Fehlern behaftet. Es ist daher meist nicht möglich, den tatsächlichen Wert der Meßgröße völlig exakt zu messen. Man erkennt das schon daraus, daß sich beim Wiederholen der Messung derselben Größe oft ein anderer Meßwert ergibt.

Die Abweichung eines Meßergebnisses vom wahren, meist unbekanntem Wert der Meßgröße (Sollwert) bezeichnet man als Fehler. Er ist nach Betrag und Vorzeichen eindeutig durch die Beziehung bestimmt:

$$\text{Fehler} = \text{Meßwert} - \text{Sollwert}$$

Der Fehler ist positiv, wenn ein Meßergebnis zu groß ist oder ein Meßgerät zuviel anzeigt; er ist negativ, wenn das Meßergebnis oder die Anzeige zu klein ist.

Beim Messen auftretende Fehler lassen sich in zwei Gruppen einteilen: in systematische und in zufällige Fehler.

Systematische Fehler

Systematische Fehler sind Fehler, die bei unveränderten Meßbedingungen immer in der gleichen Größe auftreten und deren Ursache deshalb feststellbar ist. Sie sind bestimmbar und lassen sich durch Berichtigung des Meßwertes aufheben. Ursachen dieser Fehler können sein: unzuweckmäßiger Aufbau der Meßanordnung, wie es z. B. bei der Widerstandsbestimmung angeführt wurde, falsche Gebrauchslage oder ungenaue Nullpunkteinstellung.

Da diese Fehler stets in derselben Größe auftreten, werden sie erst bemerkt, wenn die Meßanordnung oder das Meßgerät mit einem genaueren Meßverfahren überprüft wird. Durch Wiederholen der Messung mit demselben Meßgerät lassen sich systematische Fehler weder erkennen noch ausschalten.

Fehler, die regelmäßig und gleichbleibend auftreten, heißen systematische Fehler. Sie sind beherrschbar, d. h., sie können bestimmt und durch Berichtigungen des Meßwertes aufgehoben werden.

Zufällige Fehler

Zufällige Fehler treten bei jeder Einzelmessung in unterschiedlicher Größe und Richtung auf. Sie verursachen das Schwanken der Einzelwerte um einen Mittelwert. Die Ursachen für die zufälligen Fehler liegen in der Person des Beobachters, in unkontrollierbaren Änderungen der Meßbedingungen, in Änderungen der Reibungskräfte im Meßgerät usw. So treten bei Zeitmessungen mit der Stoppuhr stets zufällige Fehler auf, die auf das unterschiedliche Reaktionsvermögen des Menschen zurückzuführen sind. Weiterhin entstehen zufällige Fehler beim Schätzen von Zwischenwerten der Skalenteilung oder durch Parallaxe.

Im Gegensatz zu den systematischen Fehlern sind die zufälligen Fehler nicht immer beherrschbar. Um den Einfluß dieser Fehler auf das Meßergebnis weitgehend auszuschalten, muß man die Messung mehrmals wiederholen. Aus den Einzelmessungen läßt sich dann das arithmetische Mittel nach der Gleichung

$$x = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

bestimmen.

Zufällige Fehler sind nicht beherrschbar. Ihr Einfluß auf das Meßergebnis läßt sich weitgehend verringern, wenn man aus mehreren Messungen den Durchschnittswert ermittelt.

• Stellen Sie die Unterschiede zwischen systematischen und zufälligen Fehlern heraus!

Aufgaben

1. Nennen Sie Prüf- und Meßverfahren!
2. Welchen Vorteil bietet die Anwendung schreibender Meßgeräte?
3. Nach welchen Gesichtspunkten werden Meßgeräte eingeteilt?
4. Wodurch unterscheiden sich Strom- und Spannungsmesser?
5. Zeichnen Sie in einen beliebigen Stromkreis die Schaltung von Strom- und Spannungsmesser ein!
6. Fertigen Sie eine Aufstellung über Ihnen bekannte Störungen in elektrischen Anlagen an!
7. Welche Spannungen werden für Geräte zur Durchgangsprüfung angewendet?
8. Ein Drehspulinstrument hat einen inneren Widerstand von $10\ \Omega$ und einen Meßbereich von $30\ \text{mV}$. Der Meßbereich soll auf a) $1,5$; b) 3 ; c) 15 und d) $150\ \text{V}$ erweitert werden. Welche Vorschaltwiderstände sind erforderlich?
9. Der Meßbereich von $10\ \text{mA}$ eines Strommessers von $10\ \Omega$ innerem Widerstand soll auf a) $100\ \text{mA}$; b) $1\ \text{A}$ und c) $6\ \text{A}$ erweitert werden. Welche Nebenwiderstände sind erforderlich?

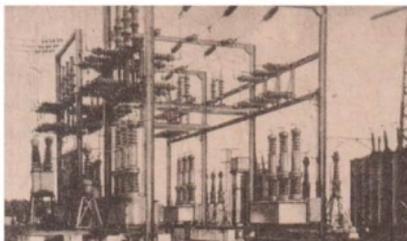
Einführung in die Starkstromtechnik

Weitverzweigte elektrische Leitungssysteme durchziehen unsere Republik. Stählerne Gittermaste oder Holzmaste tragen starke elektrische Leitungen, mit denen Elektroenergie von den Kraftwerken fortgeleitet und verteilt wird.

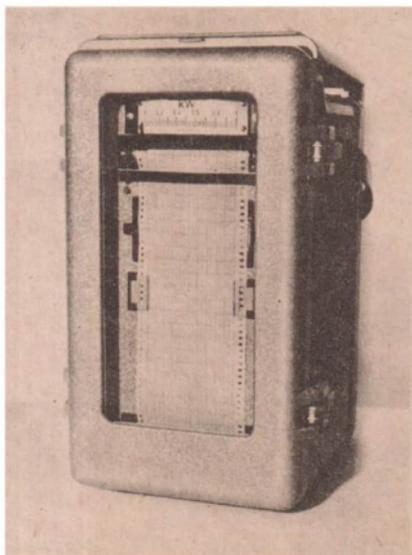
Die volkseigenen Energieversorgungsbetriebe errichten, erweitern und warten diese Leitungssysteme. Dazu gehört auch die Betreuung der Umspannstationen und Schaltanlagen (Bild 31/1), mit deren Hilfe elektrische Energie so gesteuert werden kann, daß die notwendigen Energiemengen zum reibungslosen Betrieb in der Industrie und der Landwirtschaft bereitstehen. Die Steuerung elektrischer Energie geschieht von den Schaltwarten der Kraftwerke. Ferngesteuerte druckluftbetriebene Hochspannungsschalter können erhebliche Energiemengen zu- und abschalten.

Leistungsschreiber (Bild 31/2) zeichnen den Bedarf elektrischer Energie auf; auf dieser Grundlage können die Spitzenbelastungszeiten vorausberechnet und somit kann ermittelt werden, wann beispielsweise zu den Grundlastkraftwerken Spitzenlastkraftwerke zugeschaltet werden müssen.

Erzeugung, Verteilung und Umwandlung elektrischer Energie, Elektrowärme und elektrische Beleuchtung, der Drehstrom und Drehstrommotoren sind einige wichtige Gebiete, mit denen im folgenden eine kurze Einführung in die Starkstromtechnik gegeben werden soll.



31/1 Ausschnitt aus einer Freiluftschaltanlage



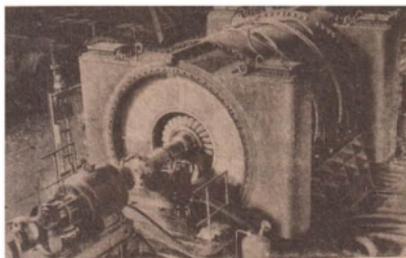
31/2 Leistungsschreiber

Erzeugung, Verteilung und Umwandlung elektrischer Energie

Erzeugung elektrischer Energie

Technisch nutzbare Elektroenergie steht in der Natur nicht direkt zur Verfügung. Sie wird in Kraftwerken aus natürlich vorkommenden Energiereserven im Umwandlungsprozess gewonnen. Dabei wird derzeit ausschließlich die *mechanische Energie* als Bindeglied genutzt. Die mechanische Energie wird im *Generator* (Bild 32/1) in elektrische Energie umgewandelt.

Je nach der Art der Gewinnung der mechanischen Energie aus einer primären Energiequelle unterscheiden wir in verschiedene Arten der Kraftwerke (Übersicht 32/1).



32/1 Großgenerator auf dem Prüfstand

Übersicht 32/1: Überblick über Kraftwerksarten nach primärer Energiequelle

Elektroenergie wird gewonnen aus	
unversiegbaren Energiequellen	Brennstoffenergie
	mit Hilfe von
Wasserkraftwerken	Dampfkraftwerken
Windkraftwerken	Dieselmotoren
Sonnenkraftwerken	Gaskraftwerken
	Kernkraftwerken

Welche primären Energiequellen sind für die Elektroenergieerzeugung in der DDR

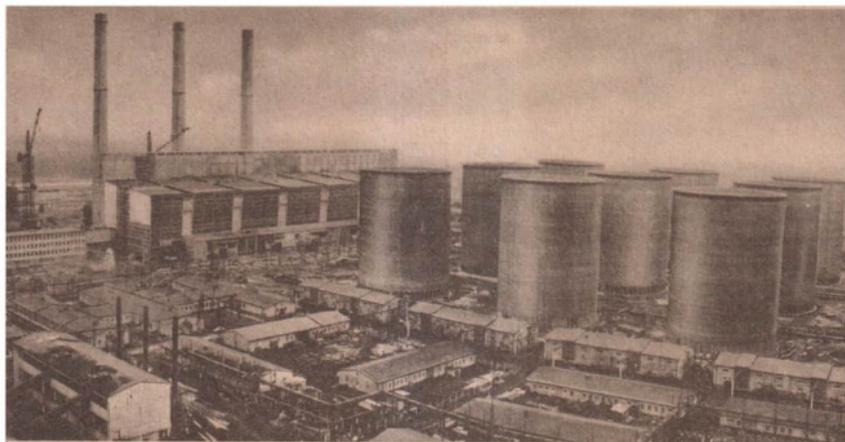
- *am bedeutendsten?*

In welchen Teilen unserer Republik befinden sich Wasserkraftwerke?

Das *Dampfkraftwerk*, in dem Rohbraunkohle verwendet wird, ist bei uns die am

häufigsten vorkommende Kraftwerksart. In den letzten Jahren wurden große Dampfkraftwerke in Lübbenau (1300 MW) und Vetschau (1000 MW) erbaut und in Betrieb gesetzt. Dabei gab uns die Sowjetunion die größte Unterstützung. Diese Großkraftwerke arbeiten mit einem günstigen Wirkungsgrad, und es war möglich, kleinere, unrationell arbeitende Kraftwerke außer Betrieb zu setzen. Im Interesse einer hochgradigen Ausnutzung unserer Braunkohlenreserven und zur Sicherung der Energieversorgung unserer Volkswirtschaft sind diese modernen Kraftwerke (Bild 33/1) von großer Bedeutung.

Die im Bezirk Cottbus in unmittelbarer Nähe der Großkraftwerke geförderte Rohbraunkohle wird in modernen Kesselanlagen verheizt (Wärmeenergie); der so erzeugte



33/1 Großkraftwerk in Vetschau

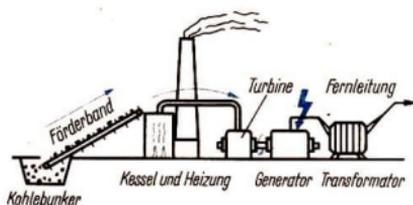
Hochdruckdampf treibt die Turbinen (mechanische Energie), die direkt mit Generatoren gekoppelt sind. In den Generatoren wird die Umwandlung in elektrische Energie vollzogen (Bild 33/2).

Nach diesem Grundprinzip arbeiten *alle Wärmekraftwerke*. Sie unterscheiden sich nur durch die Art des *Brennstoffes*.

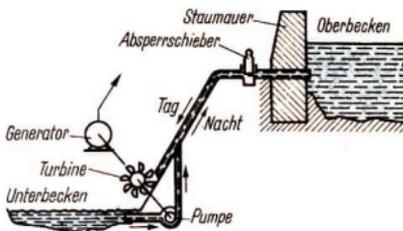
Das *Wasserkraftwerk* nutzt die mechanische Energie von Wassermassen, wenn sie einem tieferen Punkt zufließen. Dabei treibt das Wasser die Turbine. Von der Turbinenwelle wird die mechanische Energie auf die Generatorwelle übertragen. Im Generator wird dann die mechanische in elektrische Energie umgewandelt.

Wasserkraftwerke sind in unserer Republik nur in geringer Anzahl vorhanden, da es bei uns nur wenige Orte mit starkem Wassergefälle gibt. Die leistungsfähigsten Wasserkraftwerke arbeiten in der UdSSR.

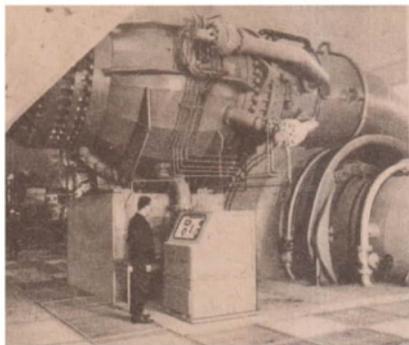
Das *Pumpspeicherkraftwerk* ist ein besonderes Wasserkraftwerk: Es entnimmt zu bestimmten Zeiten Energie aus dem Verbundnetz. Damit wird Wasser aus einem Unterbecken in ein Oberbecken gepumpt (Bild 33/3). Zur Zeit des erhöhten Bedarfs an elektrischer Energie fließt das Wasser ab, und das Pumpspeicherkraftwerk arbeitet als Spitzenlastkraftwerk, wobei elektrische Energie in das Verbundnetz eingespeist wird (Bild 34/1).



33/2 Schema eines Wärmekraftwerkes



33/3 Schema eines Pumpspeicherkwerkes



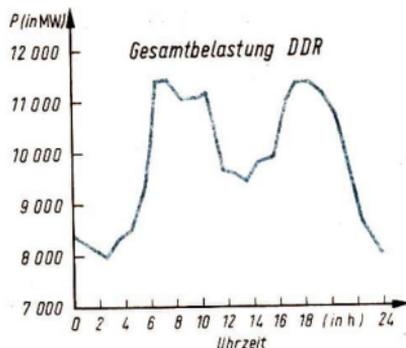
34/1 Erster Turbinen- und Generatorsatz im Pumpspeicherwerk Wendefurt an das Verbundnetz angeschlossen

• *Wo befinden sich Pumpspeicherwerke in der DDR?*

Kernkraftwerke werden in der Zukunft eine größere Bedeutung erlangen. Sie arbeiten im Prinzip ähnlich wie Dampfkraftwerke. Der Dampf wird durch die im Kernreaktor entwickelte Wärme erzeugt (Bild 34/2). Das erste Kernkraftwerk des VEB Kernkraftwerke Greifswald-Rheinsberg „Bruno Leuschner“ arbeitet seit 1966 in Rheinsberg. Das „Kernkraftwerk Nord“ im Bezirk Rostock befindet sich noch im Bau.

• *Was haben Sie im Physikunterricht über „gesteuerte Kettenreaktionen im Reaktor“ erfahren?*

Die *Belastung* der Kraftwerke ist nicht konstant. Der Bedarf an Elektroenergie unter-

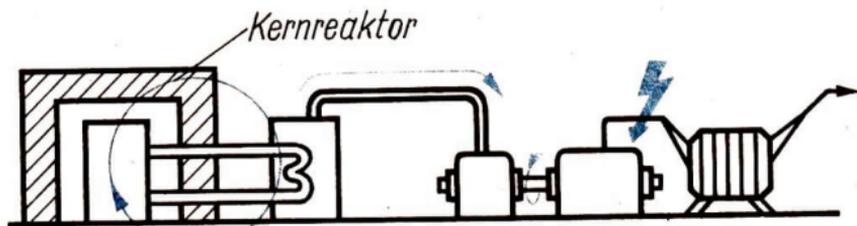


34/3 Verlauf des Energiebedarfs in der DDR an einer Tagesbelastungskurve dargestellt

liegt innerhalb von 24 Stunden bestimmten Schwankungen. Das hat verschiedene Ursachen, von denen hier einige genannt werden:

1. Die Industrie hat keinen gleichbleibenden Bedarf: Von 7 bis 17 Uhr (während der Normalschicht) ist die Bedarfsspitze; von 17 bis 22 Uhr sinkt der Bedarf ab und erreicht von 22 bis 6 Uhr ein Minimum.
2. Der Bedarf in den Haushalten konzentriert sich gegen 12 Uhr und ist nachts gleich Null.
3. Für Beleuchtungszwecke ist der Bedarf von der Tageszeit abhängig.

Die grafische Darstellung dieses wechselnden Energiebedarfs ergibt die *Tagesbelastungskurve* (Bild 34/3).



34/2 Schema eines Kernkraftwerkes

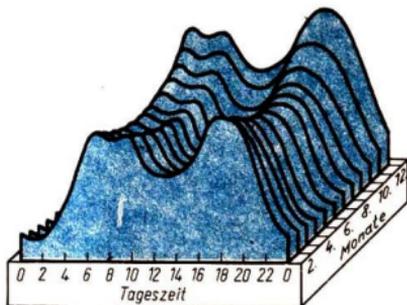
Außer diesen täglichen Bedarfsschwankungen ergibt sich auch über das gesamte Jahr ein differenzierter Energiebedarf. Das hat im wesentlichen folgende Ursachen:

1. Wechselnder Bedarf für Beleuchtungszwecke durch Veränderung des Verhältnisses zwischen Tag und Nacht.
2. Jahreszeitlich differenzierter Energiebedarf in der Landwirtschaft.
3. Erhöhter Bedarf für Heizungszwecke in den Wintermonaten.

Reiht man die Tagesbelastungskurven des Jahres hintereinander, so erhält man in der räumlichen Darstellung ein Belastungsgebirge (Bild 35/1).

Groß-Wärmeleistungswerke arbeiten rationell, wenn sie kontinuierlich ausgelastet werden. Deshalb werden sie im Gesamtsystem der Elektroenergieversorgung als *Grundlastkraftwerke* eingesetzt. In unserer Republik sind es Dampfkraftwerke auf Braunkohlenbasis. Die Kapazität der Grundlastkraftwerke liegt unterhalb der Energiebedarfsspitzen und oberhalb der Talpunkte der Belastungskurve. Im Zusammenwirken mit den Grundlastkraftwerken haben die *Spitzenlastkraftwerke* eine wichtige Aufgabe zu erfüllen. Ideal wird diese Aufgabe von Pumpspeicherkraftwerken erfüllt. Sie speichern in den Lasttälern die überschüssige Energie der Grundlastkraftwerke und speisen in das Verbundnetz diese Energie während der Zeit der Lastspitzen ein. Eine richtige Bemessung der Leistungen von Grund- und Spitzenlastkraftwerken und das Zusammenwirken beider Kraftwerksarten ist von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung.

Auch der durch die zeitliche Verschiebung der Spitzenlastzeiten mögliche Energieaustausch zwischen den Ländern des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe ist deshalb von ökonomischer Bedeutung (s. auch Seite 37).



35/1 Jahresbelastungsgebirge

Verteilung elektrischer Energie

Die in den Kraftwerken erzeugte elektrische Energie muß zu den Orten des Verbrauches hingeleitet werden. Dabei werden *große Leistungen* übertragen.

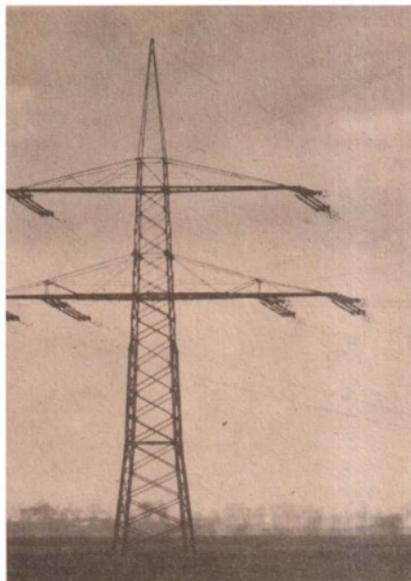
Wie wurde im Physikunterricht die elektrische Leistung definiert?

- ☛ *Begründen Sie, warum die Fortleitung elektrischer Energie bei hoher Spannung und geringer Stromstärke günstig ist!*

Man kann die Höhe einer elektrischen Spannung sowohl für den Kraftwerksbetrieb als auch für die Verteilung nicht beliebig bestimmen, da mit zunehmender Spannungshöhe Probleme der Isolation auftreten. Bei der Energieübertragung werden die Spannungsebenen mehrmals gewechselt, und der *Transformator* (Spannungswandler) ist in diesem System ein wichtiges Zwischenglied.

Energiefluß vom Kraftwerk zum Verbraucher

Die in den Generatoren der Kraftwerke erzeugte Energie mit einer Spannung von 6000 bis 10 000 V (6 bis 10 kV) wird in unmittelbarer Nähe der Kraftwerke hochge-



36/1 Hochspannungsfernleitungen am Gittermast

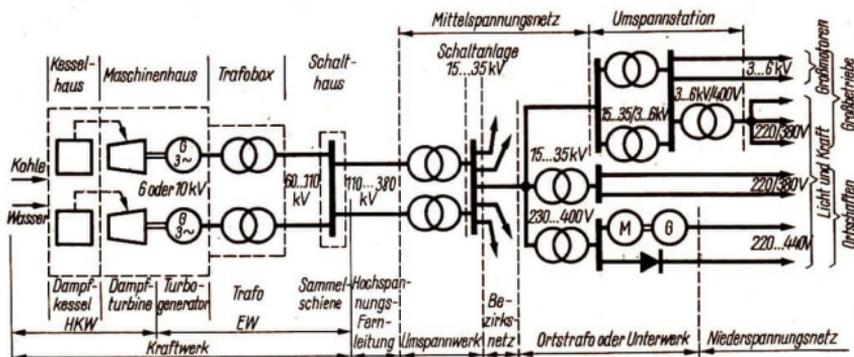
spannt und über Hochspannungsfernleitungen den Verbrauchergebieten zugeführt (Bild 36/1).

Verbundnetz. Um eine stabile Energieversorgung zu gewährleisten, sind die Hochspannungsfernleitungen zu einem Verbund-

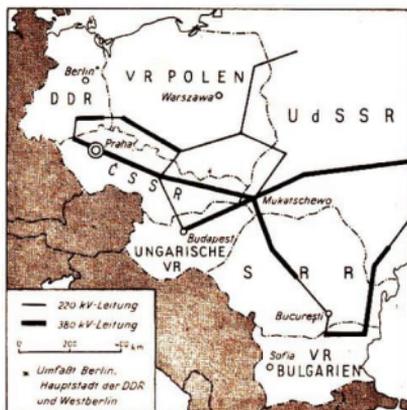
netz zusammengeschlossen. Die Kraftwerke speisen ihre erzeugte Energie in das Verbundnetz ein. Innerhalb des Verbundnetzes bestehen Spannungsebenen von 110, 220 und 380 kV.

Umspannwerke. In der Nähe der Kraftwerke werden *Zentrale Umspannwerke* errichtet; sie arbeiten im Zusammenhang mit dem Verbundnetz auf der Spannungsebene von 380/400 kV. Von den Zentralen Umspannwerken aus werden die Leitungen zu den *Umspannwerken* geführt, die auf die erforderliche Hoch-, Mittel- und Niederspannung umspannen (110 bis 60 kV, 35, 30 und 15 kV). In örtlichen Transformatorstationen wird dann die Spannung meist auf 220/380 V gewandelt (vgl. Bild 36/2).

Zentrale Dispatcherverwaltung der Vereinigten Energiesysteme. Die Hauptaufgabe der ZDV ist die Organisation des Verbundbetriebes, der derzeit die Energiesysteme der VRB, UVR, DDR, VRP, SRR, ČSSR und das westukrainische Energiesystem umfaßt. Von einer Dispatcherzentrale in Prag wird dieses System gesteuert. Die Länder werden durch 220- bis 400-kV-Leitungen verbunden. Die Vorteile für alle daran beteiligten Länder liegen in der – rationellsten Nutzung der Kraftwerkskapazitäten,



36/2 Schema des Energieflusses vom Kraftwerk zum Verbraucher



37/1 Internationales Verbundnetz der RGW-Länder

- gegenseitigen Havariehilfe und
- hohen Stabilität der Energieversorgung.

Umwandlung elektrischer Energie

Unsere Wirtschaft ist ohne ausreichende elektro-energetische Basis undenkbar; auch für die weitere Entwicklung muß die erforderliche Energiemenge bereitgestellt werden. Das weitere Anwachsen des Energiebedarfes wird vorausschauend ermittelt, und die erforderlichen Maßnahmen zur Projektierung und zum Bau der Kraftwerke müssen rechtzeitig eingeleitet werden. Die Hauptverbrauchergruppen in unserer Volkswirtschaft sind:

- die Industrie,
- die Landwirtschaft,
- die Haushalte.

Elektroenergiebedarf der Industrie

In bezug auf die Industrieproduktion liegt die Deutsche Demokratische Republik unter den ersten zehn Industriestaaten der Welt.

Die Industriezweige, die unseren Aufbau bestimmen, sind besonders energieintensiv. Deshalb liegt der Hauptverbrauch an elektrischer Energie in der Industrieproduktion. Hier steht die Grundstoffindustrie mit ihren wichtigen Zweigen, dem Bergbau, der Metallurgie und der chemischen Industrie, an erster Stelle. Folgende Übersichten geben Aufschluß über den Energiebedarf in einigen Gebieten der Grundstoffindustrie:

Übersicht 37/1: Energiebedarf bei der Elektrolyse

Produkt	Energiebedarf (in kWh/t)
Elektrolyt-Kupfer	etwa 8 000
Nickel	etwa 14 000
Aluminium	etwa 22 000
Magnesium	etwa 36 000

Übersicht 37/2: Energiebedarf bei Elektrowärme-
prozessen

Produkt	Energiebedarf (in kWh/t)
Herstellen von Elektro- stahl im Elektro-Licht- bogenofen	750
Schmelzen von Kalzium- karbid im Lichtbogen- reduktionsofen	2 800 bis 4 000
Herstellen von Stickstoff- oxid im Lichtbogen-Gas- Reaktionsofen (bezogen auf 1 t Salpetersäure)	15 000 bis 17 000

Der wachsende Energiebedarf der Industrie wird sichtbar, wenn man z. B. die Steigerung der Produktion von Kalziumkarbid und Elektrostahl betrachtet.

In den letzten Jahren beanspruchte die Industrie fast drei Viertel der gesamten Elektroenergie der Volkswirtschaft, darunter die Grundstoffindustrie allein mehr als die Hälfte des Gesamtenergieaufkommens. Mit einem Bedarf von fast einem Drittel der gesamten Elektroenergie liegt die chemische

Übersicht 38/1: Entwicklung der Produktion bei Kalziumkarbid und textilen Faserstoffen in der DDR (in Tonnen)

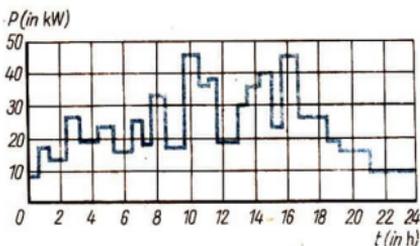
Produktion	1958	1962	1965	1967	1973
Kalziumkarbid	830 707	1 013 109	1 193 000	1 308 000	1 353 015
Textile Faserstoffe	6 700	14 500	19 000	23 900	92 900

Industrie weit über dem Bedarf der anderen Industriezweige.

Elektroenergiebedarf der Landwirtschaft

Im Jahre 1967 fielen 2,5 Prozent des gesamten Energiebedarfs auf die Landwirtschaft. Das darf aber nicht zu dem Schluß führen, daß die Landwirtschaft energiewirtschaftlich von untergeordneter Bedeutung ist. Durch den Einschichtbetrieb, der in der Landwirtschaft im wesentlichen vorherrscht, treten Belastungsspitzen auf, die nicht selten mit den Belastungsspitzen der übrigen Verbraucher zusammenfallen und dadurch zu einer Überlastung des Netzes führen (Bild 38/1).

Dadurch, daß immer mehr sozialistische Großbetriebe entstehen und immer mehr Kooperationsgemeinschaften gebildet werden, ist – verbunden mit der zunehmenden Mechanisierung der *Innenwirtschaft* – ein ständig steigender Bedarf an Elektroenergie in der Landwirtschaft entstanden.



38/1 Tagesbelastungskurve eines volkseigenen Gutes (VEG)

Elektroenergiebedarf im Haushalt

Die Haushalte sind in den letzten Jahren unseres sozialistischen Aufbaus wesentlich moderner geworden. Wand-, Lese- und Fernsehleuchten, Elektroherd, Heizsonne, Heizkissen, Staubsauger, Kühlschrank und Waschmaschine, Fernsehgerät, Rasierapparat und Radio bestimmen immer mehr und mehr ihre Ausstattung (Übersicht 38/2).

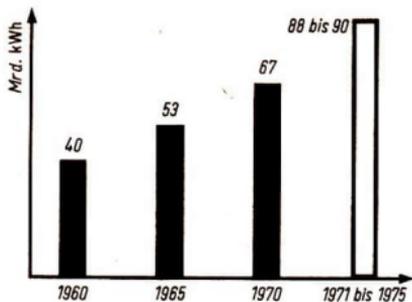
Übersicht 38/2: Ausstattung je 100 Haushalte mit elektrischen Geräten

Geräte	1962	1965	1970	1973
Haushaltskühl-schränke	12,2	25,9	56,4	74,5
Haushaltswasch-maschinen	13,4	27,7	53,6	66,2
Fernsehempfänger	30,5	48,5	69,1	77,6

Mit dem höheren Ausstattungsgrad wächst aber auch der Bedarf an Elektroenergie. Das einzelne Gerät benötigt zwar wenig Elektroenergie, jedoch bei einer Vielzahl der Geräte nimmt der Energiebedarf in den Haushalten stark zu.

Entwicklung und Perspektive der Elektroenergieerzeugung in der DDR

Von den 1945 auf dem Gebiet der DDR vorhandenen Kraftwerksleistungen waren nur 2500 MW einsatzfähig. In den Nachkriegsjahren mußten folglich große Anstrengungen unternommen werden, um den Bedarf der einzelnen Wirtschaftszweige zu decken. Allein in den Jahren 1958 bis 1962



39/1 Entwicklung und Perspektive der Elektroenergieerzeugung in der DDR

wurden 1600 MW neue Kraftwerksleistungen in Großkraftwerken in Betrieb genommen. 1973 betrug die Gesamtleistung der Kraftwerke in der DDR 78 573 GWh. Wie sich die Elektroenergieerzeugung entwickelt hat bzw. entwickeln wird, zeigt Bild 39/1. Zukünftig werden Kernkraftwerke einen Beitrag leisten, um den steigenden Bedarf an Elektroenergie in unserer Republik zu decken.

Leitungen, Schaltgeräte und Schaltungen

Leitungen

Mit Hilfe von Leitungen wird der Weg festgelegt, den der elektrische Strom fließen soll. Auswahl und Anordnung der Leitungen müssen so getroffen werden, daß der elektrische Strom in den für ihn vorgeschriebenen Bahnen bleibt.

Als Werkstoffe für elektrische Leitungen (mit Ausnahme blanker Leitungen) werden also *Leiterwerkstoffe* und *Isolierstoffe* benötigt.

Leiterwerkstoffe sind Metalle, die eine *gute Leitfähigkeit* haben; in erster Linie sind es Kupfer und Aluminium. Seltener werden Stahl, Zink und Legierungen von Aluminium, Magnesium und Silizium eingesetzt (Aldrey); letztere hat eine hohe mechanische Festigkeit.

Beschreiben Sie die Zusammenhänge zwischen spezifischem Widerstand und Leitwert!

Bei welcher Art elektrischer Leitungen wird die mechanische Festigkeit eine bedeutende Rolle spielen?

In der folgenden Übersicht 39/1 sind die Leitwerte (Kehrwerte der spezifischen Widerstände) und Dichten der genannten Leiterwerkstoffe dargestellt.

Übersicht 39/1: Leitwert und Dichte von Leiterwerkstoffen

Werkstoff	Leitwert (χ)	Dichte (ρ)
	$\frac{m}{\Omega \text{ mm}^2}$	$\frac{g}{\text{cm}^3}$
Kupfer	57	8,9
Aluminium	36	2,7
Aldrey	35,4	2,7
Stahl	7,7	7,9
Zink	16,5	7,1

Obwohl Kupfer einen günstigeren Leitwert als Aluminium hat, wird es in der Elektrotechnik immer mehr vom Aluminium verdrängt. Aluminium steht in genügendem Maße zur Verfügung; die Verwendung von Kupfer als volkswirtschaftlich wichtiges Material wird durch bestehende Verordnungen eingeschränkt.

Durch den schlechteren Leitwert des Aluminiums gegenüber dem Kupfer muß eine elektrisch gleichwertige Aluminiumleitung einen 1,6mal so großen Querschnitt haben. Sie wiegt jedoch auf Grund ihrer geringeren Dichte nur etwa die Hälfte. Um die mechanische Festigkeit des Aluminiums zu erhöhen, werden bei Freileitungen meist Seile mit einer Stahlseele verwendet.

Eine besondere Art der Leiterwerkstoffe sind die *Widerstandswerkstoffe*. Sie werden in der Elektroindustrie vornehmlich für tech-

nische Widerstände und für Heizwiderstände in Elektrowärmegegeräten verwendet.

Nennen Sie technische Widerstände und ihre Einsatzmöglichkeiten! (Hinweis: Physikalisches Praktikum)

Die Widerstandswerkstoffe sind Legierungen z. B. aus Nickel (Ni), Chrom (Cr), Aluminium (Al), Eisen (Fe). Der Leitwert und die höchstzulässige Anwendungstemperatur hängen von der Zusammensetzung der Legierung ab (Übersicht 40/1).

Isolierstoffe sind in der Elektrotechnik Werkstoffe, die dem Strom einen sehr großen Widerstand entgegensetzen.

Die Anzahl der verschiedenartigen in der Elektrotechnik verwendeten Isolierstoffe ist sehr groß; ihre Verwendung hängt von den Einsatzbedingungen ab, z. B. Spannung, Temperatur, mechanische Festigkeit und chemische Beanspruchung. Außerdem müssen bei der Auswahl eines Isolierstoffes sowohl für die Produktion als auch für die Verlegung der Leitungen seine technologischen Möglichkeiten bedacht werden. In den letzten Jahrzehnten erlangen die Plaste eine immer größere Bedeutung. In der folgenden Übersicht 40/2 sind wichtige Isolierstoffe und ihr spezifischer Widerstand angegeben.

Außer diesen Isolierstoffen werden für elektrische Leitungen andere Werkstoffe, ins-

Übersicht 40/2: Isolierstoffe und ihr spezifischer Widerstand

Isolierstoff	spezifischer Widerstand (in Ω cm)
Papier	10^9
Hartgewebe	10^{10} bis 10^{12}
Hartpapier	10^{10} bis 10^{13}
Buna	10^{14} bis 10^{15}
Hartgummi	10^{12} bis 10^{18}
Weichgummi	10^{15}
Plaste	10^{12} bis 10^{16}

(Der Widerstand schwänkt stark in Abhängigkeit von Zusammensetzung und Reinheit des Materials.)

besondere zur Erhöhung der Beständigkeit gegen chemische und mechanische Beanspruchung, eingesetzt (z. B. Stahlbewehrung, Juteumspinnung, Bleimäntel).

Leistungsarten. Elektrische Leitungen unterscheiden sich in Abhängigkeit von ihrer Verwendung stark in ihrem Aufbau voneinander (Bild 41/1a und b).

Für die Herstellung und für den Einsatz elektrischer Leitungen bestehen staatliche Standards. Die Art der Leitung, die für einen bestimmten Zweck zum Einsatz kommt, hängt von den verschiedenen Anforderungen ab. Die Entscheidung hierüber kann und darf nur der Fachmann fällen. Er kennt die zur

Übersicht 40/1: Widerstandswerkstoffe

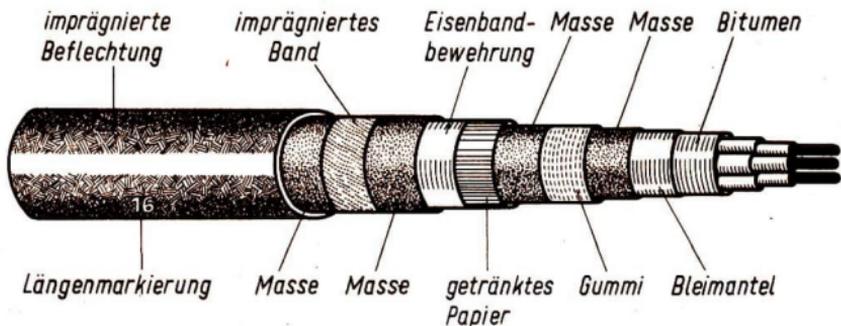
Legierung	Leitwert bei 20 °C ²	Dichte ²	Anwendungstemperatur ²
CrNi (Cr 18 bis 25 % Ni 75 bis 82 %) ¹	0,7 bis 0,8	7,8 bis 8,3	1050 bis 1150 °C
CrAl (Cr 7,5 bis 30 % Al 4 bis 6 %) ¹	0,9 bis 1,0	7,1 bis 7,3	950 bis 1250 °C

¹ Rest der Legierung jeweils Eisen, Silizium, Magnesium und Kohlenstoff

² Werte schwanken je nach Zusammensetzung der Legierung



a



b

41.1 Vergleich von zwei Leitungsarten: a Plast-Aderleitung, b Erdkabel für Hochspannung

Verfügung stehenden Leitungsarten und die Vorschriften über ihren Einsatz.

Die Beanspruchung der Leitungen kann in der Praxis sehr vielseitig sein.

Elektrische Beanspruchung. Stromstärke und Spannung sind hier die entscheidenden Kriterien. Für eine bestimmte Stromstärke, die in der Leitung in Abhängigkeit von den zu versorgenden Verbrauchern zu erwarten ist, wird ein bestimmter Leiterquerschnitt benötigt. Ist der Querschnitt zu gering, d. h. wird die Leitung überlastet, so erwärmt sie sich. Das führt zu Zerstörungen der Isolierung und zum Entstehen von Bränden. Die zulässigen Höchststromstärken für die einzelnen Leiterquerschnitte sind in entsprechenden Vorschriften festgelegt (Übersicht 41/1).

Die Spannung, mit der eine Anlage betrieben wird, bestimmt die Art und Stärke der Isolierung der einzelnen Leiter. Die Isolierung muß einen genügenden Schutz gegen Durchschlag zwischen den Leitern und gegen Masse gewährleisten. Für Kleinspannung ge-

nügen schon Kunstharzlackierung und Baumwollumspinnung, für höhere Spannungen werden Gummi, Plaste und ölgetränkte Papiere verwendet.

Übersicht 41/1: Höchstzulässige Dauerbelastung isolierter Leitungen (Dauerstrom und Nennstromstärke der Sicherung in A)

Querschnitt (mm ²)	Dauerstrom/ Sicherung		Dauerstrom/ Sicherung	
	Cu	Al	Cu	Al
1,5	16	16		
2,5	21	20	16	16
4	27	25	21	20
10	48	50	38	35
25	88	80	69	63
50	140	125	110	100

Mechanische Beanspruchung. Bланke Leiter, die als Freileitung (massiv oder verseilt) auf Isolatoren verlegt werden, müssen die erforderliche Zugfestigkeit besitzen. Isolierte Leitungen werden zum Schutz gegen mecha-

nische Beschädigung (Stoß oder Pressung) in Rohren verlegt (Falzrohr, Stahlrohr, Stahlpanzerrohr, PVC-Rohr). Leitungen für ortsveränderliche Verbraucher werden stark auf Biegung beansprucht. Deshalb besteht der Leiter aus vielen Einzeldrähten (flexibel). Gegen Stoß und Quetschung werden sie teilweise mit Baumwollbandagen und zwei Gummimänteln versehen. Erdkabel werden gegen mechanische Beschädigung mit Stahlbandbewehrung versehen, mit Kabelsteinen abgedeckt oder in Kabelschächten verlegt.

Chemische Beanspruchung. Bei der Verlegung von Leitungen in feuchten Räumen, im Erdreich oder in Räumen mit chemischen Dämpfen werden bestimmte Anforderungen hinsichtlich der chemischen Beständigkeit an die Leitung gestellt. Zum Schutz gegen derartige Beanspruchungen werden Umspinnungen mit asphaltgetränkter Baumwolle oder Jute sowie Mäntel aus Blei und Plast eingesetzt.

Thermische Beanspruchung. Ebenfalls ist die Umgebungstemperatur maßgeblich für den Einsatz elektrischer Leitungen. So darf z. B. PVC-Rohr nicht in Räumen mit einer höheren Temperatur als 35 °C verwendet werden. Unter extrem hohen Temperaturen, z. B. im Inneren elektrischer Wärmegeräte, werden Leitungen mit Asbestisolation angewandt; auch Glimmer und Keramikperlen finden hier Verwendung.

Auf Grund der möglichen Beanspruchung von elektrischen Leitungen ist die Anzahl der in den Standards festgelegten Leitungsarten sehr groß (z. B. gibt es für den Anschluß ortsveränderlicher Verbraucher 32 verschiedene Leitungsarten).

In Übersicht 42/1 sind einige Leitungsarten mit ihrem Aufbau und Verwendungszweck aufgeführt.

Übersicht 42/1: Leitungsarten

Bezeichnung	Aufbau	Verwendung
Plastaderleitung NYA 	Kupfer- oder Aluminiumleiter, Kunststoffisolation	In trockenen Räumen, hauptsächlich in Rohr (über und unter Putz) verlegt. An und in Werkzeugmaschinen
Mantelleitung NYM 	Al- oder Cu-Leiter, Isolierhülle aus Plast, dann gemeinsame Aderumhüllung aus Plast und Plastmantel	Für feste Verlegung auf, im und unter Putz, in trockenen, nassen und feuergefährdeten Räumen; auch im Freien
(Stegleitung) NEY 	Leiter erhält Isolierhülle, 2 oder 3 Leiter werden in eine gemeinsame Kunststoffhülle gepreßt	Für feste Verlegung in trockenen Räumen (unter oder im Putz). Vorwiegend für Wohn- und Büroräume
Normen-Schwere-Handgeräteleitung	Leiter flexibel, einzelne Gummihülle, dann gemeinsamer Gummimantel, Baumwollband und weiterer Gummimantel	Zum Anschluß von schweren Geräten bei hohen mechanischen Beanspruchungen in feuchten Räumen und im*



Dreileiter-Hochspannungsgürtelkabel
NAKBA



Al-Leiter, isoliert, Bleimantel, Schutzhülle, Stahlbandbewehrung, äußere Schutzhülle

Freien (Werkzeugmaschinen, landwirtschaftliche Geräte, Laufkräne usw.)

Verlegung im Erdreich für Spannungen von 3, 6, 10 oder 15 kV

Warum kann die Auswahl elektrischer

- Leitungen nur dem Fachmann vorbehalten sein?

Schaltgeräte

Schaltgeräte in der Elektrotechnik haben die Aufgabe, Strompfade zu verbinden, zu trennen oder zu unterbrechen.

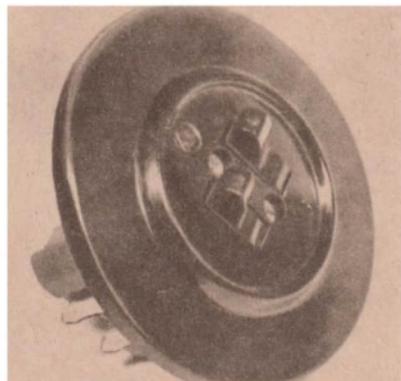
Die Vielfalt der Schaltgeräte soll mit Hilfe der Bilder 43/1 bis 44/2 verdeutlicht werden.

Die Übersicht 43/1 zeigt eine Einteilung typischer Schaltgeräte, die im folgenden behandelt werden.

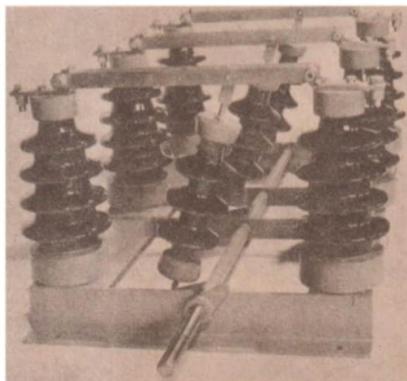
Übersicht 43/1: Einteilung von Schaltgeräten

Schalter	Steck- vorrichtungen	Sicherungen
Stellschalter	ohne Schutzkontakt	Leitungsschutzsicherungen
Tastschalter	mit Schutzkontakt, Gerätesteckvorrichtungen	Leitungsschutzschalter
Schalterschütze	Kragensteckvorrichtungen	

Schalter können sich bei grundsätzlicher gleicher Wirkungsweise sehr stark im konstruktiven Aufbau unterscheiden. Folgende Be-



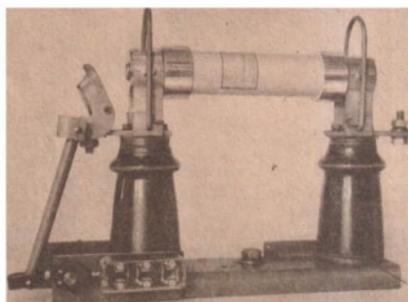
43/1 Unter-Platz-Schalter für Hausinstallation



43/2 Trennschalter für Hochspannungsschaltanlagen



44/1 Blick in eine Innenraumschaltanlage



44/2 Hochspannungssicherung

dingungen bestimmen im wesentlichen ihren Aufbau:

- Betriebsspannung, für die sie eingesetzt werden,
- Stromstärke, die sie zu schalten haben (Schaltfunken und Lichtbogen!),

- spezielle Funktion, die sie auszuüben haben (einpolig oder mehrpolig, Aus- oder Umschalter),
- Art der Auslösung des Schaltvorganges (handbetätigt, elektromagnetisch betätigt, druckluftbetätigt).

Kontaktwerkstoffe. Allen Schaltern ist gemeinsam, daß *Schaltkontakte* geöffnet bzw. geschlossen werden. Höhe der Spannung, Stärke des Stromes und Häufigkeit des Schaltvorganges bestimmen die Auswahl des zu verwendenden Kontaktwerkstoffes (Übersicht 44/1).

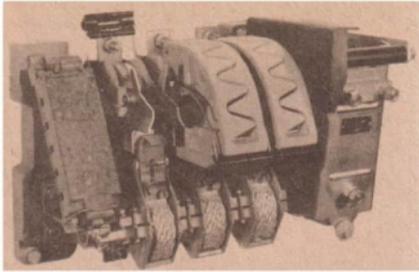
Übersicht 44/1: Kontaktwerkstoffe

Edelmetalle	Silber, meist mit Zusatz von Kupfer Platin, da sehr selten, nur für sehr hochwertige Geräte
Wolfram	hat einen hohen Schmelzpunkt und eine große Härte, nachteilig ist sein hoher spezifischer Widerstand
Werkstoffkombinationen	sollen Nachteile von einzelnen Kontaktwerkstoffen vermeiden; folgende Kombinationen sind üblich: W-Cu, W-Ag, Mo-Cu, Mo-Ag, Ag-Ni

Stellschalter (handbetätigt) haben keinen selbsttätigen Rückgang. Nach der Betätigung bleiben sie in der Schaltstellung stehen.

Tastschalter zeichnen sich durch selbsttätigen Rückgang aus. Man unterscheidet je nach der Wirkungsweise in *Öffner* (durch den Schalldruck wird der Strompfad unterbrochen) und in *Schließer* (durch den Schalldruck wird der Strompfad geschlossen).

Schaltschütze sind Schaltgeräte, die mit Hilfe eines Steuerstromes fernbetätigt werden, der die Spule eines Schaltmagneten durchfließt. Durch die magnetische Wirkung wird ein

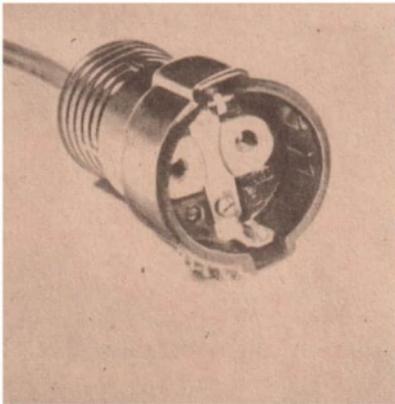


45/1 Schaltschütz

Anker in die Spule hineingezogen. Über einen Mechanismus wird mit Hilfe der entstandenen Kraft der Schaltkontakt betätigt (Bild 45/1). Nach dem gleichen Prinzip wirken auch die vorwiegend in der *Schwachstromtechnik* verwendeten *Relais*.

Skizzieren Sie die Schaltzeichen der aufgeführten Schalter!

Steckvorrichtungen werden zum Anschluß ortsveränderlicher Verbraucher benutzt. Man unterscheidet dabei in *Steckdose* und *Stecker* (Bild 45/2). Sie werden mit und ohne Schutzkontakt, für verschiedene Stromstärken und in Gußeisen- oder in Plastausführung hergestellt und eingesetzt.

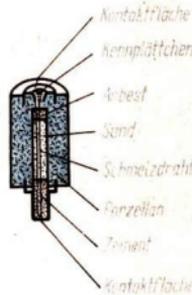


45/2 Steckdose und Stecker mit Schutzkontakt für ortsveränderliche Betriebsmittel

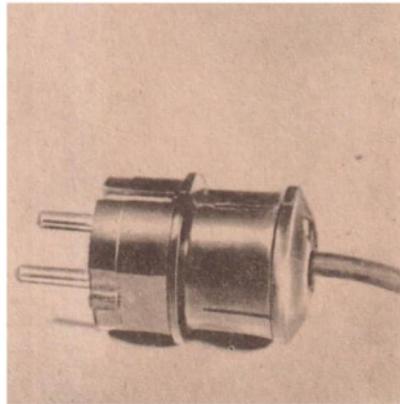
Untersuchen Sie Steckvorrichtungen, und erklären Sie an Hand dieser Untersuchungen den Begriff „Berührungsschutz“!

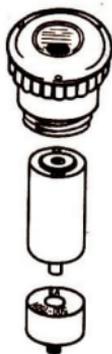
Sicherungen sind Vorrichtungen, die Leitungen vor Strömen von unzulässiger Stärke und Dauer schützen, indem sie bei Überschreiten der Nennstromstärke die Leitung selbsttätig abschalten. Man unterscheidet in *Leitungsschutzsicherungen* und *Leitungsschutzschalter*.

Die *Leitungsschutzsicherung* unterbricht den Strompfad, indem ein Schmelzdraht bei zu hoher Stromstärke durchschmilzt (Bilder 45/3 und 46/1). Bei *Leitungsschutzschaltern* wird



45/3 Aufbau einer Leitungsschutzsicherung





46/1 Schraubkappe, Leitungsschutzsicherung und Paßschraube



46/2 Leitungsschutzschalter

durch elektromagnetische und thermische Auslösung der Abschaltvorgang eingeleitet (Bild 46/2). Sie können nach Beseitigung der Fehlerquelle durch Knopfdruck wieder in Betrieb genommen werden.

Leitungsschutzsicherungen müssen im Bereich von Stromstärken zwischen 6 und 60 A so gebaut sein, daß eine fahrlässige oder irrtümliche Verwendung für zu hohe Stromstärken ausgeschlossen ist. Das bedeutet, daß eine Leitung, die mit einer Sicherung für 10 A gesichert werden muß, nicht beispielsweise mit einer Sicherung für 25 A versehen werden kann.

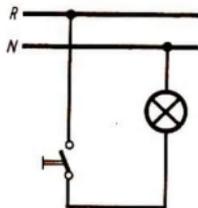
Durch fachmännische und gewissenhafte Verwendung von Sicherungen werden Menschenleben und wertvolles Volksvermögen geschützt.

❗ *Warum dürfen Leitungsschutzsicherungen in keiner Weise repariert werden?*

Grundschaltungen der Installationen

Im folgenden werden die Schaltpläne einiger Schaltungen dargestellt, die in Produktionsstätten und im Haushalt häufig anzutreffen sind.

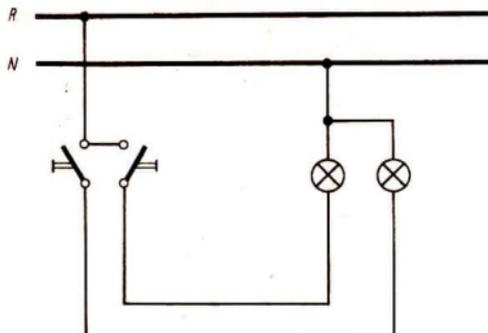
Ausschaltung. Sie ist die einfachste Grundschaltung. Der Lampenstromkreis wird durch einen Stellschalter geschlossen bzw. geöffnet (Bild 46/3).



46/3 Schaltplan einer Ausschaltung

Serienschaltung. Mit ihr können zwei Lampen oder Lampengruppen einzeln oder gemeinsam aus- bzw. eingeschaltet werden (Bild 47/1).

Wechselschaltung. Hierbei lassen sich eine oder mehrere Lampen durch zwei räumlich

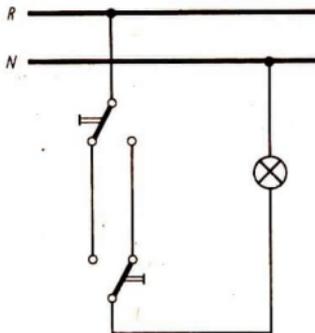


47/1 Schaltplan einer Serienschaltung

voneinander getrennte Schalter ein- bzw. ausschalten (Bild 47/2). Außer dieser Wechselschaltung gibt es noch andere Arten von Wechselschaltungen, über deren Anwendung der Fachmann zu entscheiden hat.

Zeichnen Sie den Schaltplan der Ausschaltung um: An Stelle des Netzes soll ein galvanisches Element und an Stelle der Glühlampe soll ein Wecker gezeichnet werden! Ist die Verwendung des Stell-schalters noch sinnvoll?

Hinweis: Verwenden Sie die Darstellungen zu Schaltplänen auf den letzten beiden Seiten des Buches!

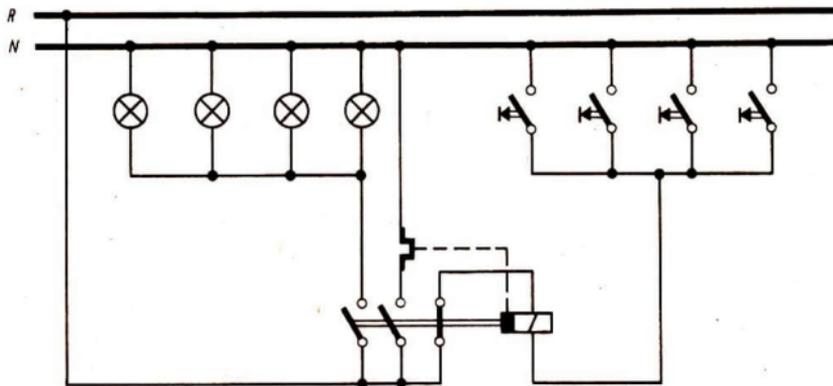


47/2 Schaltplan einer Wechselschaltung

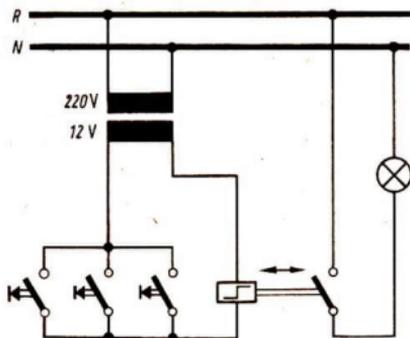
Suchen Sie nach Beispielen, bei denen eine Serienschaltung elektrischer Geräte notwendig wird! Fertigen Sie dafür einen Schaltplan an!

Zeitrelaisschaltung für Treppenhausbeleuchtung

Durch Tastschalter, die in den Stockwerken installiert sind, wird ein Zeitrelais betätigt, das den Lampenstromkreis schließt. Die Zeitverzögerung wird pneumatisch oder durch Bimetallstreifen erreicht (vgl. auch „Einführung in die Schwachstromtechnik“). Nach Ablauf der eingestellten Zeit wird der



47/3 Schaltplan einer Treppenhausbeleuchtung mit Zeitrelais



48/1 Schaltplan einer Installationsfernsteuerung

Lampenstromkreis selbsttätig unterbrochen (Bild 47/3).

Installationsfernsteuerung. Mit Hilfe von Tastschaltern wird ein mit Kleinspannung betriebenes *Stromstoßrelais* betätigt, welches das Schaltglied des Lampenstromkreises schließt. Bei erneutem Stromstoß (Betätigung des Tastschalters) wird der Lampenstromkreis wieder unterbrochen (Bild 48/1). Die Kleinspannung für den Steuerstromkreis wird durch einen Transformator geliefert. Diese Schaltung eignet sich ausgezeichnet für die moderne Platten- oder Skelettbauweise von Industrie- und Wohnbauten. Es lassen sich Aus-, Serien- und Wechselschaltungen als Installationsfernsteuerung ausführen.

- Erkunden Sie, warum die Installationsfernsteuerung ökonomisch günstig ist!

Aufgaben

1. Welche Aufgaben haben Grundlastkraftwerke, und welche Kraftwerksart wird dafür eingesetzt?
2. Welche Aufgaben haben Spitzenlastkraftwerke, und welche Kraftwerksart hat dafür in der DDR große Bedeutung?
3. Stellen Sie das Zusammenwirken von Grund- und Spitzenlastkraftwerken mit Hilfe der Belastungskurve grafisch dar!

4. Wodurch wird der schwankende Energiebedarf der Volkswirtschaft verursacht, und wie kann man diese Schwankung bis zu einem gewissen Grade ausgleichen?
5. Erklären Sie die Vorzüge des Verbundnetzes!
6. Welche Bedeutung hat der internationale Verbundbetrieb?
7. Ermitteln Sie die Leistungsaufnahme der auf Seite 38 genannten Haushaltsgeräte (Leistungsaufnahme am Gerät), und errechnen Sie die Gesamtleistungsaufnahme der Geräte!
8. In welchem Umfang ist der Energiebedarf für diese Geräte zwischen 1965 und 1970 gestiegen?
9. Beurteilen Sie Kupfer und Aluminium hinsichtlich ihres Einsatzes als Leiterwerkstoff!
10. Welchen Beanspruchungen sind elektrische Leitungen unterworfen?
11. Warum wird bei Freileitungsseilen eine Kombination von Aluminium- und Stahlleitern verwendet?
12. Wodurch unterscheiden sich Stell- und Tastschalter voneinander?
13. Wodurch unterscheiden sich „Öffner“ und „Schließer“ voneinander?
14. Welche Aufgaben haben Sicherungen zu erfüllen?
15. Welche Vorteile hat die Installationsfernsteuerung?

Elektrowärme und elektrische Beleuchtung

Elektrowärme

Die Umwandlung der Elektroenergie
in Wärme und Licht

Im Prozeß dieser Energieumwandlung haben die folgenden, aus dem Physikunterricht bekannten Erscheinungen eine Bedeutung: Beim Durchfließen des Stromes durch einen Widerstand (Heizleiter) wird Elektroenergie in Wärmeenergie umgesetzt. Der Leiter erwärmt sich. Ist der Energieumsatz sehr hoch, beginnt der Leiter zu glühen und sendet Lichtstrahlen aus (Temperaturstrahler).

Bei Durchgang des Stromes durch eine Gasstrecke wird das Gas ionisiert und sendet Strahlen ab. Die Strahlung (Bild 49/1) reicht von den unsichtbaren UV-Strahlen bis zu den langwelligen Wärmestrahlen (Gasentladung).

Beide Erscheinungen werden bei der technischen Anwendung der Elektroenergie zur Wärme- und Lichterzeugung genutzt.

Außerdem werden noch folgende Umwandlungen in Wärme und Licht technisch genutzt:

1. Man läßt metallische Gegenstände, die er-



49/1 Wellenlängen im Bereich der Temperaturstrahlen und der Gasentladungsstrecken

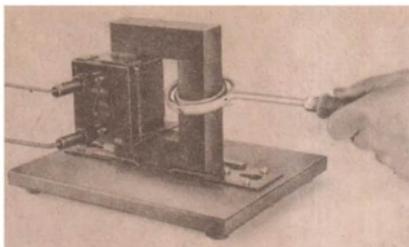
wärmt bzw. geschmolzen werden sollen, direkt vom Strom durchfließen. Diese Gegenstände stellen die Sekundärwicklung eines Transformators dar, d. h., auf der Grundlage des Transformatorprinzips wird *Induktionswärme* erzeugt (Bild 50/1).

2. Die in der Gasentladungsstrecke erzeugte Strahlung kann durch *Leuchtstoffschichten* in ihrer Wellenlänge verändert werden (z. B. Umwandlung der UV-Strahlung in sichtbares Licht bei den Leuchtstofflampen).

Übersicht 49/1 zeigt Möglichkeiten der technischen Anwendung der Umwandlung von Elektroenergie in Wärme und Licht.

Übersicht 49/1: Technische Anwendung der Umwandlung von Elektroenergie in Wärme und Licht

Widerstandswärme		Elektroenergie	
Licht	Wärme	Licht	Wärme
Glühlampe	Heizwiderstände, Infrarotstrahler, Punkt- und Nahtschweißen	Gasentladungslampen, Leuchtstofflampen, Lichtbogenlampen	Lichtbogenschweißen Lichtbogenöfen



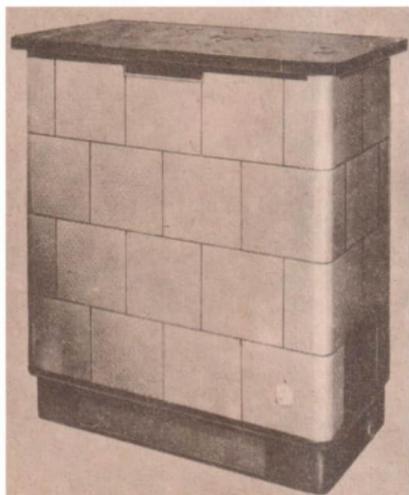
50/1 Prinzip der Erzeugung von Induktionswärme

Wiederholen Sie die Spannungs-, Stromstärken- und Windungsverhältnisse beim Transformator!

Erklären Sie den Begriff „Ionisation“!

Elektrowärmegeräte

Man versteht unter dieser Sammelbezeichnung alle Geräte, in denen die Elektroenergie in Wärmeenergie verwandelt und zur technischen Nutzenwendung bereitgestellt wird. Das Einsatzgebiet dieser Geräte ist



50/2 Wärmespeicherofen

sehr umfangreich. Wir finden sie in der Industrie, in der Landwirtschaft und im Haushalt.

Ihre technisch-konstruktive Gestaltung ist sehr mannigfaltig und vom jeweiligen speziellen Verwendungszweck bestimmt.

Elektrische Geräte für den Haushalt sind meist Geräte kleinerer Leistung (0,5 bis 2,0 kW). Sie sind entweder widerstandsbeheizt oder arbeiten auf der Grundlage der Infrarotstrahlung. Ihre Einsatzbereiche sind im wesentlichen die *Raumbeheizung*, die *Küche* und die *Warmwasserbereitung*.

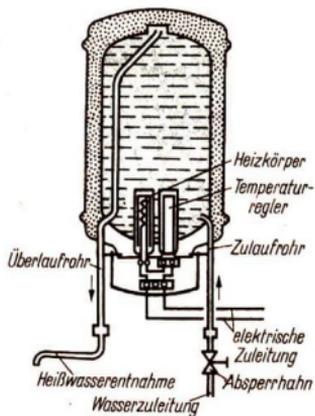
In der *Küche* werden u. a. Kochplatten, Backröhren und Tauchsieder verwendet (in Großküchen elektrische Kippbratpfannen).

Raumbeheizung mit Hilfe der Elektroenergie wird im allgemeinen als Zusatzbeheizung verwendet. Wirtschaftlich günstig sind Wärmespeicheröfen (Bild 50/2). Am Tage ist der Ofen abgeschaltet, seine Abzugsklappen werden geöffnet, und er kann seine Wärme an die umgebende Luft abgeben. Solche Öfen werden meist als *Nachtstrom*-Wärmespeicheröfen betrieben: Über eine Schaltuhr wird der Ofen während der Nachtstunden (d. h. außerhalb der Spitzen- und Hauptbelastungszeiten) aufgeheizt und sein aus Bauziegeln bestehender Speicherblock erwärmt.

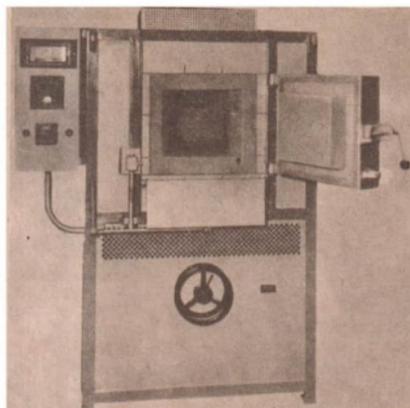
Warmwasserbereitung mit Hilfe der Elektroenergie geschieht im Haushalt meist durch *Überlaufspeicher* (Bild 51/1). Durch Temperaturregeleinrichtung steht ständig Warmwasser in der gewünschten Temperatur zur Verfügung.

Elektrowärmegeräte für Industrie und Landwirtschaft sind in der Bildübersicht auf den Seiten 51 und 52 zusammengestellt.

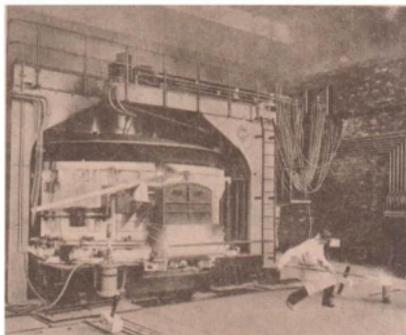
Vergleich von Elektrowärme mit anderen Wärmequellen. Die Wärmeerzeugung mit Hilfe der Elektroenergie ist teurer als durch die Verbrennung fester, flüssiger oder gasförmiger Brennstoffe:



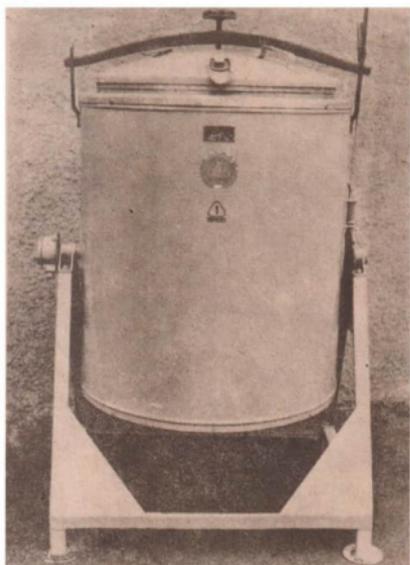
51/1



51/4



51/2



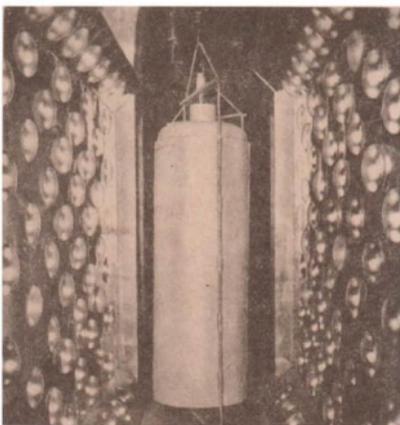
51/1 Schnitt durch einen elektrischen Überlaufspeicher

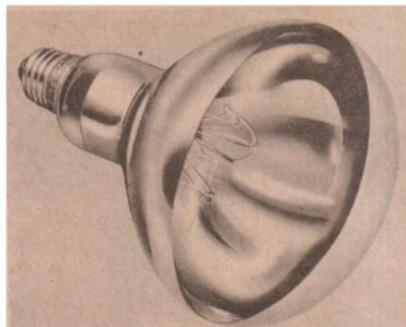
51/2 10-t-Stahl-Lichtbogenofen

51/3 Hellstrahler-Tunnelofen zur Lackhärtung

51/4 Widerstandsbeheizter Kammerofen für Glüh- und Härte Zwecke

51/5 Elektrischer Futterdämpfer





52/2 Hellstrahler

1 kg Brikett erzeugt etwa 2400 kcal,
1 kWh Elektroenergie etwa 750 kcal,
in beiden Fällen ist der Anlagenwirkungs-
grad berücksichtigt.

Bezogen auf eine Wärmemenge von 100 kcal
sind die Kosten:

bei Brikett	etwa 0,29 Pf	
bei Elektroenergie	etwa 1,03 Pf	(Haushalt)
	etwa 2,06 Pf	(Industrie)

Elektrowärme wird deshalb nur dann ver-
wendet, wenn ihre Vorteile diese Kosten-
differenz aufwiegen.

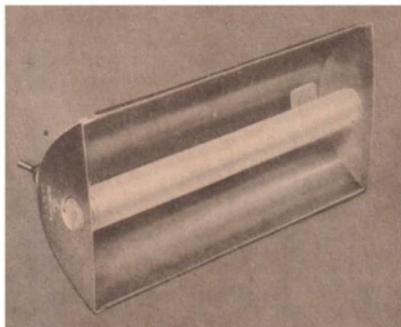
Diese Vorteile sind:

- ständige Betriebsbereitschaft,
- keine Rauchbelästigung,
- gute Regelbarkeit,
- geringer Raumanspruch,
- keine chemischen Reaktionen
(besonders wichtig in der Metallurgie).

Aufgaben

1. Berechnen Sie die Kosten bei der Erzeu-
gung einer Wärmeenergie von 100 kcal

- a) durch Elektroenergie (860 kcal/kWh)
bei $\eta = 0,9$,

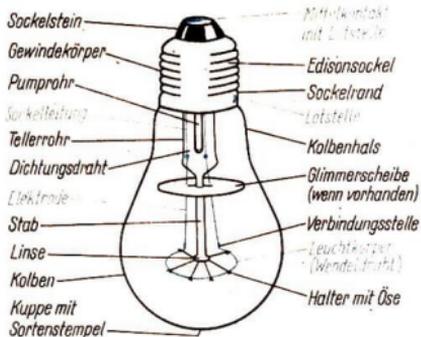


52/1 Dunkelstrahler

- b) durch Stadtgas (5100 kcal/m³)
bei $\eta = 0,8$,
c) durch Koks (6800 kcal/kg)
bei $\eta = 0,5$,
d) durch Steinkohle (7000 kcal/kg)
bei $\eta = 0,5$;

informieren Sie sich dazu über die Han-
delspreise der Brennstoffe!

2. In welcher Zeit werden 30 Liter Wasser
von 12 °C auf 85 °C erwärmt (Elektro-
energie), wenn der Wirkungsgrad der An-
lage $\eta = 0,9$ ist? Das Wärmegerät hat
eine Leistungsaufnahme von 4 kW.
3. Nennen Sie Beispiele für den Einsatz von
Elektrowärmegeräten in Ihrem Betrieb!
4. Warum ist der Überlaufspeicher mit einem
Temperaturregler und mit einer wärme-
isolierenden Außenhülle ausgerüstet?
5. Warum wird die elektrische Raumbeizung
vornehmlich als Zusatzbeheizung be-
trieben?



53/1 Aufbau der Allgebrauchlampe

Elektrische Beleuchtung

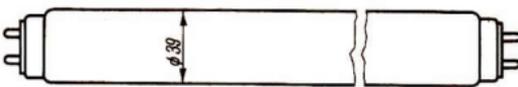
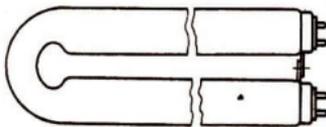
Von den technischen Beleuchtungen sind elektrische die am häufigsten verwendeten. Bei der elektrischen Beleuchtung unterscheidet man zwischen der *Lichtquelle*, das kann beispielsweise eine Glühlampe oder eine Niederspannungs-Leuchtstofflampe sein, und der *Leuchte*. Aufgaben, Einteilung und Anwendung der Leuchten werden im Anschluß an die Betrachtungen über Glühlampen und Niederspannungs-Leuchtstofflampen behandelt.

Lampen

Glühlampen. In der Glühlampe, deren Aufbau in Bild 53/1 dargestellt ist, wird ein dünner Widerstandsdraht durch Stromwärme zur Weißglut erhitzt und dadurch zum Leuchten gebracht.

Die etwa im Jahre 1882 gefertigten ersten deutschen *Kohlenfadenlampen* hatten eine Lebensdauer von 600 Betriebsstunden. Heute findet man Kohlenfadenlampen nur noch vereinzelt in Bestrahlungsgeräten.

Unsere heutigen Glühlampen haben eine Lebensdauer von etwa 1000 Betriebsstunden, dabei hat die Netzspannung einen großen Einfluß auf die Lebensdauer.



53/2 U-Form

53/3 Stab-Form

Bei erhöhter Spannung wird der Wendeldraht stark überhitzt, er leuchtet heller, aber die Lebensdauer der Lampe wird dadurch verkürzt. Bei Unterspannung kehren sich die Verhältnisse um.

Unsere üblichen Glühlampen werden „Allgebrauchlampen“ genannt. Leistungsaufnahme und Nennspannung sind die wesentlichen Merkmale, die man bei der Auswahl von Glühlampen beachten muß.

Richtige Wahl der Leistungsaufnahme der Glühlampe ist sowohl gesundheitsmäßig als auch ökonomisch wichtig.

► **Falsche Wahl der Nennspannung führt entweder zur sofortigen Zerstörung der Glühlampe, oder sie gibt nur ein ungenügendes Licht ab.**

Glühlampen haben folgende Leistungsaufnahmen:

25, 40, 60, 75, 100, 150 und 200 Watt für einen üblichen Lampensockel bzw. für einen Bajonettsockel.

Glühlampen mit Leistungsaufnahmen von 300, 500, 1000 und 2000 Watt besitzen einen größeren Schraubsockel.

Niederspannungs-Leuchtstofflampen. Diese Lampen haben sich in jüngster Zeit immer mehr für die Beleuchtung von Arbeits- und Kulturräumen durchgesetzt. Der VEB Ber-

liner Glühlampenwerk stellt Niederspannungs-Leuchtstofflampen in Stab- und in U-Form her (Bilder 53/2 und 53/3).

Die Leistungsaufnahmen bei der Stabform sind 20, 25, 40 und 65 Watt.

Die Leistungsaufnahmen bei der U-Form sind 25 und 40 Watt.

Die Lebensdauer der Niederspannungs-Leuchtstofflampe beträgt etwa 5000 Betriebsstunden. (Jedoch ist dabei gerechnet, daß nach jeder Schaltung die Lampe etwa 3 bis 4 Stunden brennt; häufigeres Schalten mindert ihre Lebensdauer.)

Die *Lichtausbeute* ist etwa 3mal so groß wie die einer Glühlampe gleicher Leistungsaufnahme, d. h., um einen durch eine 40-Watt-Leuchtstofflampe erleuchteten Raum mit gleicher Helligkeit durch 40-Watt-Glühlampen zu beleuchten, müßten drei solcher Glühlampen in den Raum gebracht werden.

Ein weiterer Vorteil ist die starke *Blendungsfreiheit* der Leuchtstofflampe. Durch ihre große *Abstrahlungsfläche* wird das Auge nicht geblendet.

Mit Hilfe der Leuchtstofflampen können unterschiedliche *Lichtfarben* auf verhältnismäßig einfache Weise gewonnen werden (Übersicht 54/1).

Leuchtstofflampen sind jedoch Spannungsschwankungen im Hinblick auf ihre Betriebsbereitschaft stark unterworfen. Die Mindestbetriebsspannung muß 200 Volt betragen; d. h., bei einer Spannungsminderung (Unterspannung) von über 10 % zündet die Lampe nicht mehr.

Bei der Entscheidung, ob für einen bestimmten Zweck Glühlampen oder Niederspannungs-Leuchtstofflampen eingesetzt werden, spielen ökonomische Erwägungen eine Rolle.

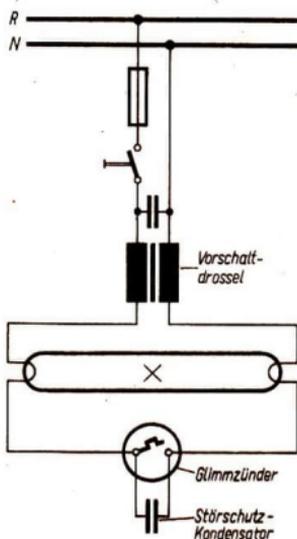
Die Lichtausbeute ist zwar bei Niederspannungs-Leuchtstofflampen höher als bei Glühlampen, jedoch sind die Anlagekosten für eine Leuchtstofflampenbeleuchtung höher als bei der Anwendung von Glühlampen. Das ist vor allem durch die betriebsnotwendigen Zusatzgeräte (Vorschalt-drossel, 2 Fassungen, Glimmzünder) bedingt. Die Schaltung der Niederspannungs-Leuchtstofflampe zeigt Bild 55/1.

Aufgaben

- Überlegen Sie, unter welchen Bedingungen dem Einsatz von Leuchtstofflampen bzw. Glühlampen jeweils der Vorzug zu geben ist!
- Berechnen Sie die Energiekosten für die

Übersicht 54/1: Lichtfarben der Niederspannungs-Leuchtstofflampen

	Neutralweiß W	Gelblichweiß G	Warmton I	Tageslicht T
<i>Eigenschaft</i>	Kaum Unterschied zum Tageslicht. Es tritt kein Zwielicht auf	Schafft eine als warm empfundene Raum-atmosphäre (wie bei der Glühlampe). Ruft Zwielichterscheinungen hervor	Stärkerer Rotanteil	Kein Unterschied zum Tageslicht
<i>Anwendung</i>	Für die meisten Aufgaben geeignet, Ausstattung von Arbeitsräumen	Für viele Arten von Handelsbetrieben mit Publikumsverkehr	Für Gaststätten, Wohn- und Kultur-räume	Dort, wo eine farbedchte Wiedergabe der Gegenstände gefordert wird (z. B. Textilverkauf)



55/1 Schaltplan zum Betrieb einer Niederspannungs-Leuchtstofflampe

Beleuchtung eines Werkstatttraumes bei 380 Betriebsstunden.

a) Bei Einsatz von Leuchtstofflampen mit einer Leistungsaufnahme von insgesamt 4500 Watt,



55/2 a Bühnenscheinwerfer

b) bei Einsatz von Glühlampen, wenn die gleiche Helligkeit erreicht werden soll! Der Preis für 1 kWh wird mit 0,40 M angenommen!

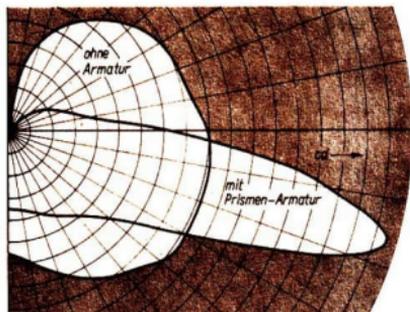
Unter diesem Begriff werden alle Geräte zusammengefasst, die zur Aufnahme der Lampen dienen. Ihre konstruktive Gestaltung (Bild 55/2) ist sehr unterschiedlich, da die Bedingungen, unter denen sie betrieben werden, die jeweiligen Beleuchtungsaufgaben und auch die Leistungsaufnahmen recht differenziert sind.

Allgemein kann man die Aufgaben der Leuchten wie folgt zusammenfassen:

1. die Lichtverteilung der Lampe so zu gestalten, daß sie dem geforderten Beleuchtungszweck entspricht,
2. das Auge durch Abschirmung oder Lichtstreuung gegen Blendung zu schützen,
3. die Lampe gegen äußere Beschädigungen zu schützen und eine rasche Verschmutzung zu verhindern,



55/2 b Schreibtischleuchte



56/1 Zwei Lichtverteilungskurven

4. das Zubehör (Fassung, Anschlußklemme, Stromleitung, Befestigung) aufzunehmen.

Die *Einteilung der Leuchten* kann man im wesentlichsten nach zwei Gesichtspunkten vornehmen: nach dem *Beleuchtungszweck* und nach der *Lichtverteilung*.

Ordnen Sie die Ihnen bekannten Leuchten nach ihrem Beleuchtungszweck!

Hinweis: Knüpfen Sie Ihre Überlegungen an Bild 55/2 an!

Wichtig für eine richtige und zweckmäßige Beleuchtung ist der Einsatz einer Leuchte mit der zweckentsprechenden Lichtverteilung.

Von der richtigen Auswahl der Leuchten und ihrer Lichtverteilung hängen oftmals konkrete Arbeitsergebnisse ab: Wird beispielsweise der Arbeitsplatz eines Feinmechanikers durch eine Direkt-Leuchte mit Glühlampe beleuchtet, dann kann folgendes auftreten:

1. Die Augen ermüden zu schnell; dadurch wird weniger geleistet.
2. Die bei diesem Licht auftretenden starken Schatten (Schlagschatten) mindern die Qualität der Arbeit bzw. führen zu einer Verlängerung der Arbeitszeit.

Die Beleuchtung von Unterführungen und Tunneln, die befahren werden, muß so abgestimmt werden, daß der Fahrer sowohl bei der Einfahrt als auch bei der Ausfahrt keinen

merklichen Übergang zum natürlichen Licht wahrnimmt. Eine in dieser Hinsicht falsch angelegte Beleuchtung kann zu schweren Verkehrsunfällen führen, da Blendungs- und Zwielichterscheinungen auftreten. Entsprechend der Lichtverteilung kann man die Leuchten in fünf Gruppen einteilen:

- Direkt-Leuchten,*
- Vorwiegend-Direkt-Leuchten,*
- Gleichförmig-Leuchten,*
- Vorwiegend-Indirekt-Leuchten,*
- Indirekt-Leuchten.*

Die Charakteristik der Lichtverteilung einer Leuchte wird in der *Lichtverteilungskurve* (Bild 56/1) zum Ausdruck gebracht.

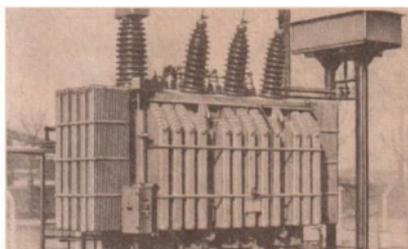
Aufgaben

1. Stellen Sie Untersuchungen im Betrieb an, welche Leuchtenarten nach der Lichtverteilung an entsprechenden Arbeitsplätzen verwendet werden!
2. Versuchen Sie zu beurteilen, ob in Ihrem Betrieb oder in Ihrem Haushalt stets eine zweckmäßige Beleuchtung vorhanden ist!
3. Stellen Sie Anforderungen auf, die an
 - a) eine Wohnraumleuchte,
 - b) eine Schreibtischleuchte und
 - c) eine Straßenleuchte
 zu stellen sind!

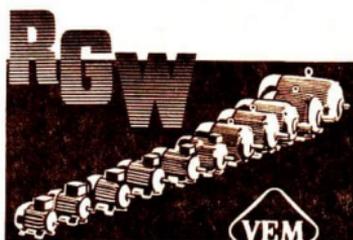
Drehstrom und Drehstrom-Asynchronmotoren

Zur Versorgung von Industrie und Landwirtschaft mit elektrischer Energie werden überwiegend Dreiphasenwechselströme verwendet. Der Dreiphasenwechselstrom – auch Drehstrom genannt – ist keine dritte Stromart neben dem Wechselstrom oder dem Gleichstrom. In den Drehstromgeneratoren der Kraftwerke werden drei frequenzgleiche Wechselströme mit einer Phasendifferenz von jeweils 120° erzeugt und mit Hilfe eines Leitungssystems über Transformatoren (Bild 57/1) den Abnehmern von Elektroenergie zugeführt. In den Drehstromfreileitungssystemen mit drei oder vier Seilen fließen also immer drei phasenverschobene Wechselströme.

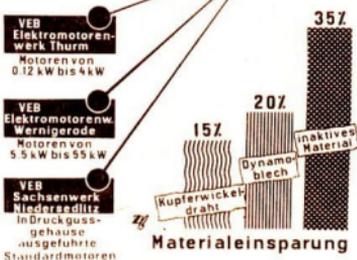
Die Verwendung von Drehstrom ermöglicht in einfachster Weise die Erzeugung magnetischer Drehfelder; dadurch ist der Bau besonders leistungsfähiger, betriebssicherer und fast wartungsfreier Elektromotoren möglich geworden. Die überwiegende Anzahl aller installierten Elektromotoren für Produktionszwecke sind Drehstrommotoren. 1953 ist in der DDR mit der Entwicklung einer standardisierten Einheitsreihe von Drehstrommotoren (Bild 57/2) verschiedener Leistung begonnen worden, dadurch konnte die Typenvielzahl eingeschränkt und der Volkswirtschaft gleichzeitig ein großer ökonomischer Nutzen erbracht werden.



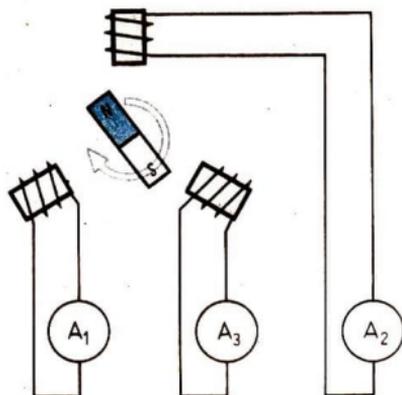
57/1 · Großtransformator



Standardisierte
Elektromotoren



57/2



58/1 Offenes Dreiphasenwechselstromsystem

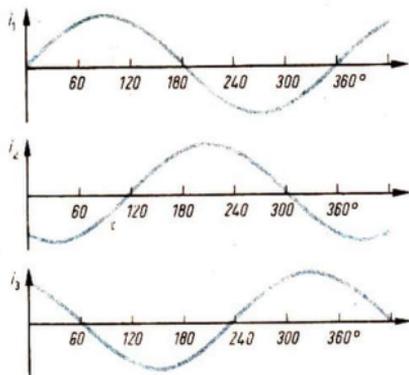
Drehstrom

Dreiphasenwechselstromsystem
(Drehstromsystem)

Ein Dauermagnet, der sich vor einer Spule dreht, induziert in ihr eine Wechselspannung (Prinzip des Innenpolwechselstromgenerators). Werden mehrere Spulen um den sich drehenden Magneten gruppiert, so wird in jeder Spule unabhängig von den anderen Spulen eine Wechselspannung erzeugt. Im Bild 58/1 sind drei Spulen mit je einem angeschlossenen Meßinstrument in gleichen Abständen um den rotierenden Magneten angeordnet.

Ein solches Leitungssystem, bei dem drei getrennte Leitungskreise vorhanden sind, bezeichnet man als *offenes Dreiphasenwechselstromsystem*.

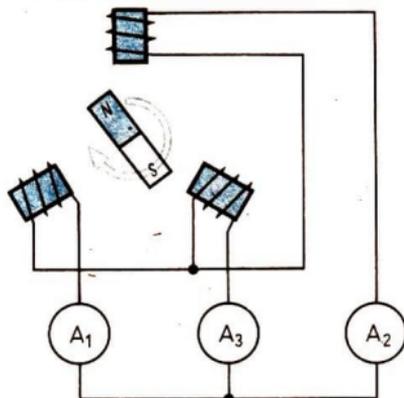
Da derselbe Magnetpol zu verschiedenen Zeiten an den einzelnen Spulen vorbeiläuft, erreichen die in den Spulen induzierten Spannungen bzw. die Stromstärken bei geschlossenen Stromkreisen zu verschiedenen Zeiten ihre Maximalwerte. Im Bild 58/2 sind die entsprechenden Kurven in drei getrennten Koordinatensystemen grafisch dargestellt. Die



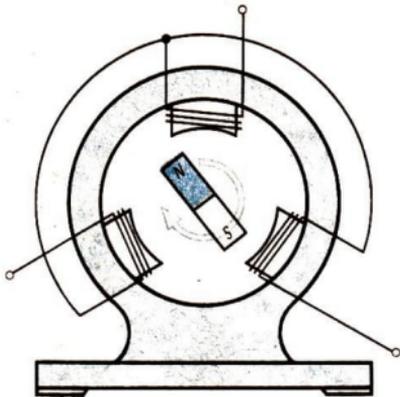
58/2 Phasenverschiebung in einem offenen Dreiphasenwechselstromsystem

Phasenverschiebung zwischen zwei Spannungs- bzw. Stromstärkekurven beträgt jeweils 120° bzw. $T/3$, wenn T die Umlaufzeit des Magneten ist.

Auch mit einer rotierenden Leiterschleife in einem homogenen Magnetfeld kann eine sinusförmige Wechselspannung erzeugt werden (Prinzip des Außenpolwechselstromgenerators). Ersinnen Sie auf dieser Grundlage einen entsprechenden Dreiphasenwechselstromgenerator!



58/3 Verkettetes (geschlossenes) Dreiphasenwechselstromsystem



59/1 Prinzip des Dreiphasenwechselstromgenerators

Durch Erfahrung in der Praxis hat sich schon am Ende des vorigen Jahrhunderts gezeigt, daß die drei Stromkreise eines offenen Dreiphasenwechselstromsystems unter Einsparung von Leitungen in bestimmter Weise zusammengeschaltet werden können. Im Bild 58/3 ist ein derart vereinfachtes Leitungssystem wiedergegeben. Bei der galvanischen Verknüpfung der drei Stromkreise zu einem einzigen Leitungssystem ändert sich nichts an den Strom- und Spannungsverhältnissen in den einzelnen Schaltelementen. Ein System, bei dem die Anzahl der Leitungen durch Zusammenschalten der drei Stromkreise verringert wird, bezeichnet man als *verkettetes (geschlossenes) Dreiphasenwechselstromsystem*.

Dreiphasenwechselstromgenerator

Der prinzipielle Aufbau eines Dreiphasenwechselstromgenerators entspricht dem Schema nach Bild 59/1.

Die Induktionsspulen (Ständerspulen) der technischen Generatoren befindet sich jedoch im Gegensatz zum Schema nach Bild 58/3 auf einem geschlossenen Eisenkörper (Bild 59/1). Das Magnetfeld wird durch kräftige Gleich-

stromelektromagnete hervorgerufen. Die Magnetspulen sind auf der Läuferwelle angebracht. Das sich mit dem Läufer drehende Magnetfeld induziert in den Ständerspulen die Wechselspannungen.

Da das Magnetfeld mit der Läuferbewegung in dem Eisen des Ständers umläuft, bilden sich im Ständereisen auf Grund der räumlich-zeitlichen Änderung des Magnetfeldes Wirbelströme aus. Um die hiermit verbundenen Verluste an Elektroenergie weitgehend zu senken, muß der Ständer aus dünnen, gegeneinander isolierten Eisenblechen zusammengesetzt werden. Der Läufer dagegen kann aus Stahlguß hergestellt werden, da das Magnetfeld mit dem Läufer rotiert und sich in ihm nicht verändert. Eine Wirbelstrombildung ist also im Läufer nicht möglich.

Verdoppelt man in dem Aufbau nach Bild 59/1 bei konstant bleibender Drehzahl die Anzahl der rotierenden Magnetpole, dann verdoppelt sich auch die Frequenz der induzierten Wechselspannungen. Neben der Anzahl der Polpaare p hängt die Frequenz f der erzeugten Wechselspannungen auch von der Drehzahl n des Läufers ab. Mit wachsender Drehzahl des Läufers steigt die Frequenz der induzierten Wechselspannungen. Demnach lassen sich folgende Beziehungen ermitteln:

$$f \sim p \text{ und}$$

$$f \sim n.$$

Hieraus folgt

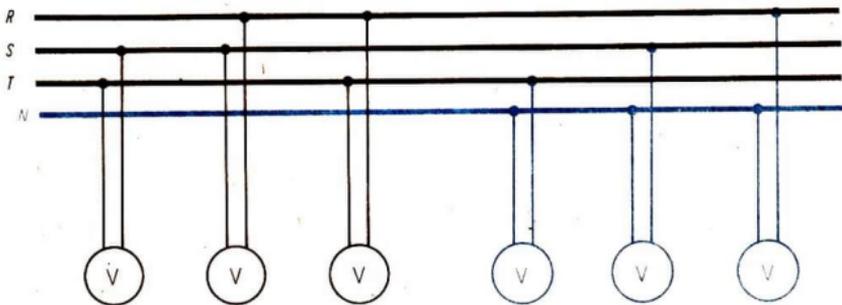
$$f = p \cdot n.$$

Es ist zu beachten, daß f in s^{-1} und n in min^{-1} angegeben werden; die hier entstehende Ungleichheit

$$\frac{1}{s} \neq \frac{1}{\text{min}}$$

wird durch entsprechende Erweiterung beseitigt:

$$\frac{60 \cdot s}{s \cdot \text{min}} ; \frac{1}{\text{min}}$$



60/1 Vierleitersystem

Somit folgt

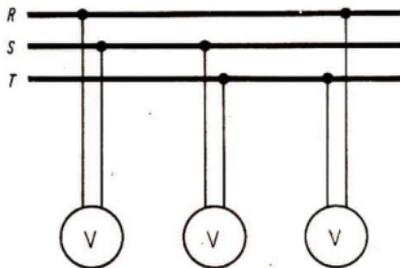
$$f = \frac{p \cdot n}{60}$$

Dreileiter- und Vierleitersystem

Die in einem Generator erzeugte elektrische Energie muß über ein Leitungssystem dem Energieabnehmer zugeführt werden. Dazu werden *Vierleitersysteme* und *Dreileitersysteme* verwendet (Bilder 60/1 und 60/2).

Ein *Vierleitersystem* besteht aus drei *Außenleitern* und einem sogenannten *Mittelpunktleiter* (neutralen Punkt). Die einzelnen Außenleiter werden als *R-Leiter*, *S-Leiter* und *T-Leiter* bezeichnet. Der vierte Leiter heißt *N-Leiter*. Die Spannung zwischen zwei Außenleitern bezeichnet man als *Leiterspannung*;

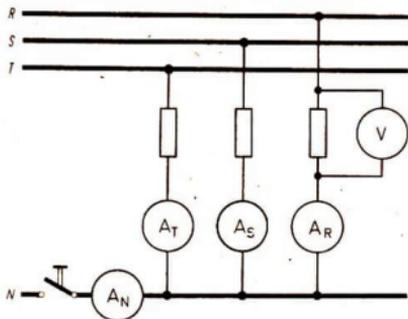
die Spannung zwischen einem beliebigen Außenleiter und dem Mittelpunktleiter nennt man *Strangspannung*. Zwischen der Leiterspannung U_L und der Strangspannung U besteht die Beziehung $U_L = \sqrt{3} \cdot U$. Der Faktor $\sqrt{3}$ heißt *Verkettungsfaktor*; er ist für alle Leitungssysteme gleich. In einem Vierleitersystem stehen also immer zwei Spannungswerte zur Verfügung; in dem Vierleitersystem für die Lichtversorgung beispielsweise erhält man $380 \text{ V} = \sqrt{3} \cdot 220 \text{ V}$. Verzichtet man in einem Vierleitersystem auf den Mittelpunktleiter, dann erhält man das sogenannte *Dreileitersystem*. In einem Dreileitersystem steht im Gegensatz zum Vierleitersystem immer nur ein einziger Spannungswert zur Verfügung; die Spannungen zwischen den verschiedenen Außenleitern sind in ihrer Phase jeweils um 120° gegeneinander verschoben.



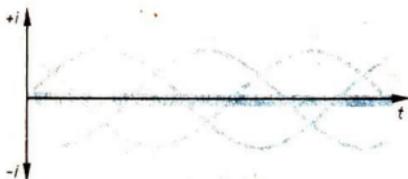
60/2 Dreileitersystem

Sternschaltung

Die Phasenverschiebung zwischen den Spannungen wirkt sich auf die Stromüberlagerung im gesamten Leitungssystem aus. In der Schaltung nach Bild. 61/1 sind drei gleiche ohmsche Widerstände in die Leitungszweige gelegt worden. Bei geschlossenem Schalter sind die Stromstärken I_R , I_S und I_T gleich; die Stromstärke I_N ist (nahezu) Null; der



61/1 Vierleitersystem mit drei gleichen Schaltelementen



61/2 Addition der drei phasenverschobenen Wechselströme i_R , i_S und i_T im N-Leiter eines Vierleitersystems

Spannungsabfall an den drei Widerständen beträgt jeweils 220 V.

Öffnet man den Schalter, ändert sich innerhalb der gesamten Anordnung nichts an den Strom- und Spannungsverhältnissen.

Dieser Sachverhalt läßt sich geometrisch erklären, wenn man in einem Koordinaten-

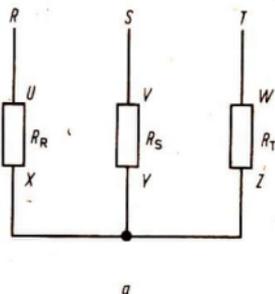
system die Stromstärken der sich im N-Leiter überlagernden Wechselströme in Abhängigkeit von der Zeit aufträgt und die Augenblickswerte der Stromstärken addiert. Dabei ergibt sich, daß im N-Leiter die Summe der drei Stromstärken stets Null ist (Bild 61/2).

Die Schaltung nach Bild 61/1 kann dadurch vereinfacht werden, daß man auf den stromlosen N-Leiter verzichtet (Bild 61/3). Die Schaltelemente im Bild 61/3a lassen sich durch Umzeichnen sternförmig anordnen (Bild 61/3b). Diese Verbindungsart der drei Schaltelemente bezeichnet man als *Sternschaltung*. Das Schaltsymbol für sternförmig verbundene Schaltelemente ist Y (Bild 61/3c). Die Anordnungen nach Bild 61/3a und 61/3b sind physikalisch gesehen gleichwertig.

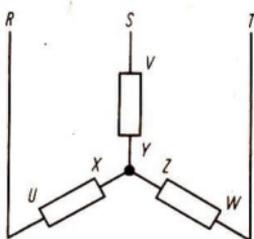
Die Enden der Schaltelemente werden entsprechend Bild 61/3 mit den Buchstaben U, V, W, X, Y, Z bezeichnet. In der Sternschaltung werden die Anschlüsse X, Y und Z der drei Schaltelemente zu einem Knotenpunkt zusammengeschaltet.

Haben die drei Schaltelemente den gleichen ohmschen Widerstand, dann spricht man von einem *symmetrischen Aufbau* und entsprechend von einer *symmetrischen Belastung* der Sternschaltung.

In der Praxis erreicht man nur selten, daß die drei Außenleiter gleichmäßig belastet sind. Daraus erklärt sich die Tatsache, daß



a

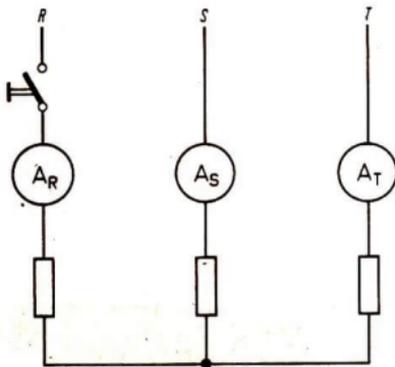


b



c

61/3 a Schaltelemente R_R , R_S und R_T in einem Dreileitersystem, b sternförmige Anordnung der Schaltelemente, c Schaltsymbol



62/1 Zur nebenstehenden Aufgabe

in den Leitungssystemen der N-Leiter meist mitgeführt wird. Im Vergleich zu den drei Außenleitern kann er einen geringeren Querschnitt erhalten, da in ihm meist nur ein kleinerer Differenzstrom fließt.

Werden in der Schaltung nach Bild 61/1 die drei gleichen Schaltelemente (symmetrischer Aufbau) durch drei ungleiche Schaltelemente – z. B. durch eine 25-, eine 40-Watt-Glühlampe und eine 100-Watt-Glühlampe – ersetzt, dann fließt wegen des unsymmetrischen Aufbaus ein gewisser Differenzstrom im N-Leiter. Der Spannungsabfall an den einzelnen Schaltelementen beträgt jeweils 220 V. Wird der Schalter geöffnet, so wird der Stromfluß im N-Leiter verhindert; der Differenzstrom verteilt sich jetzt auf die drei

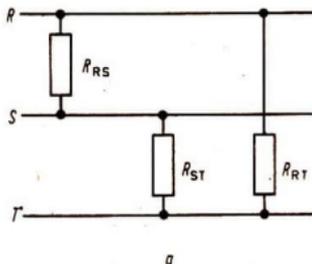
Außenleiter. Diese Tatsache wirkt sich dahingehend aus, daß der Spannungsabfall an den drei Schaltelementen unterschiedlich ist und nicht mehr 220 V beträgt.

In der Sternschaltung nach Bild 62/1 beträgt die Leiterspannung 380 V. Bei symmetrischer Belastung fließt in jedem Außenleiter ein Strom von 2,2 A. Wie groß ist die Stromstärke I_S bzw. I_T , wenn der R-Leiter unterbrochen wird?

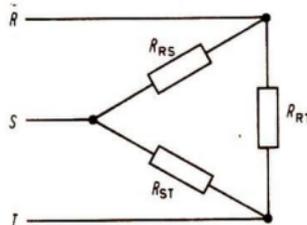
Dreieckschaltung

In der Praxis ist neben der Sternschaltung auch eine zweite Schaltungsart üblich. Dabei werden in einem Dreileitersystem jeweils an zwei Außenleiter ein Schaltelement angeschlossen (Bild 62/2a). Die drei Schaltelemente bilden einen geschlossenen Kreis. Durch räumliches Umgruppieren können sie auch dreieckförmig angeordnet werden (Bild 62/2b). Diese Schaltart bezeichnet man als *Dreieckschaltung*. Das Schaltsymbol für Dreieckschaltungen ist \triangle (Bild 62/2c).

Die Leitungsteile, in denen die Schaltelemente liegen, bezeichnet man als *Stränge*; der R-Leiter, S-Leiter und T-Leiter als die drei Außenleiter werden kurz als *Leiter* bezeichnet. Entsprechend unterscheidet man zwischen *Strangspannungen* und *Leiterspannungen*, zwischen *Strangströmen* und *Leiter-*



a



b



c

62/2 a Schaltelemente zwischen den Außenleitern, b dreieckförmige Anordnung der Schaltelemente, c Schaltsymbol

strömen. Die Strangspannung gibt den Spannungsabfall an dem jeweiligen Schaltelement und Leiterspannung die Spannung zwischen zwei Außenleitern an. Der in einem Strang fließende Strom heißt Strangstrom, der in einem Außenleiter fließende Strom heißt Leiterstrom. Diese Festlegungen gelten sowohl für Dreieckschaltungen als auch für Sternschaltungen.

Mißt man in einer symmetrischen Dreieckschaltung die Leiterstromstärke I_L und die Strangstromstärke I , so erhält man die Beziehung $I_L = \sqrt{3} \cdot I$.

Zusammenfassend kann festgestellt werden:

In einer Sternschaltung sind die drei Schaltelemente durch einen gemeinsamen Knotenpunkt verbunden.

In einer Dreieckschaltung bilden die drei Schaltelemente einen geschlossenen Kreis.

In einer Sternschaltung ist die Leiterstromstärke gleich der Strangstromstärke.

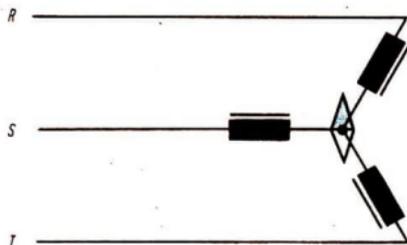
In einer Dreieckschaltung ist die Leiterspannung gleich der Strangspannung.

In einer Sternschaltung sind die Spannungen verkettet, d. h., die Leiterspannung ist gleich dem Produkt aus Strangspannung und dem Verkettungsfaktor $\sqrt{3}$.

In einer Dreieckschaltung sind die Ströme verkettet, d. h., die Leiterstromstärke ist gleich dem Produkt aus Strangstromstärke und dem Verkettungsfaktor $\sqrt{3}$.

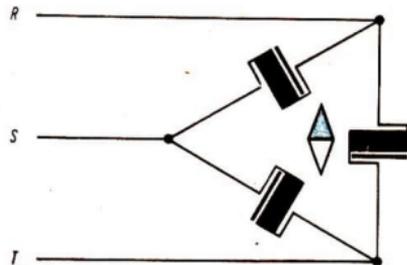
Drehfeld

Fließt in einer Spule ein Wechselstrom, so wird die Spule von einem magnetischen Wechselfeld umgeben. Mehrere Magnetfelder



63/1 Schaltung zur Erzeugung eines Drehfeldes in einer Sternschaltung

lassen sich immer zu einem resultierenden Magnetfeld überlagern. Werden in einem Dreiphasenwechselstromsystem drei Spulen als Schaltelemente in Stern geschaltet und in einer Ebene um 120° versetzt angeordnet, dann bildet sich in dem Raum zwischen den drei Spulen das resultierende Magnetfeld aus. Da sich die drei magnetischen Einzelfelder in ihrer Stärke dauernd ändern, gegeneinander eine Phasenverschiebung aufweisen und räumlich unterschiedlich orientiert sind, bildet sich ein rotierendes Magnetfeld aus. Zum Nachweis des rotierenden Magnetfeldes werden beispielsweise drei Spulen sternförmig an ein Dreiphasenwechselstromsystem angeschlossen, und zwischen den drei Spulen wird eine Magnetnadel leicht drehbar gelagert (Bild 63/1). Nachdem der Strom eingeschaltet worden ist, beginnt sich die Magnetnadel zu drehen. Die Magnetnadel folgt



63/2 Schaltung zur Erzeugung eines Drehfeldes in einer Dreieckschaltung

	$t = 0$ $\varphi = 0^\circ$
	$t = \frac{1}{6} T$ $\varphi = 60^\circ$
	$t = \frac{2}{6} T$ $\varphi = 120^\circ$
	$t = \frac{3}{6} T$ $\varphi = 180^\circ$
	$t = \frac{4}{6} T$ $\varphi = 240^\circ$
	$t = \frac{5}{6} T$ $\varphi = 300^\circ$

64/1 Momentanwerte eines Drehfeldes

synchron, d. h. ohne Schlupf, dem rotierenden Magnetfeld. Ein solches Magnetfeld bezeichnet man als *Drehfeld*.

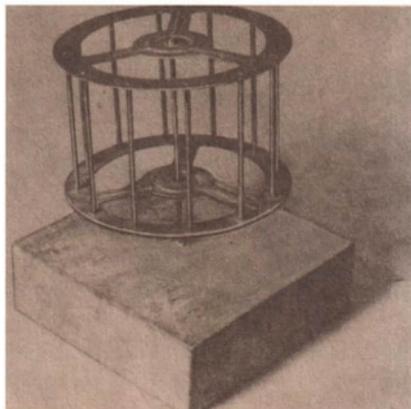
Richtet man in einer Dreieckschaltung die drei Spulen räumlich so aus, daß die Längsachsen der Spulenkörper zur Mitte des Dreiecks zeigen, dann läßt sich auch mit dieser Schaltung ein Drehfeld erzeugen. Zur Verstärkung der einzelnen Magnetfelder werden in die Spulenkörper geblätterte Eisenkerne gesteckt (Bild 63/2).

In der Bildleiste 64/1 sind sechs Momentanwerte in bezug auf die magnetische Polung der Feldspulen, die Polstärke und die Richtung des Drehfeldes skizzenhaft dargestellt.

Ordnen Sie den sechs Momentanwerten in Bild 64/1 sechs Momentanwerte in drei phasenverschobenen Strom-Zeit-Kurven zu! (Orientieren Sie sich dabei an Bild 61/2!) Diskutieren Sie die Zusammenhänge! Weiten Sie Ihre Betrachtungen auch auf die Zwischenstellungen $\varphi = 30^\circ$, $\varphi = 90^\circ$, $\varphi = 150^\circ$ usw. aus!

Da mit Hilfe des Dreiphasenwechselstroms Drehfelder erzeugt werden können, wurde von dem gebürtigen Russen M. O. v. DOLIVO-DOBROWOLSKI (1861 bis 1919) für den Dreiphasenwechselstrom der Ausdruck *Drehstrom* geprägt. Diese Bezeichnungsweise hat sich allgemein durchgesetzt.

In den Schaltungen nach Bild 63/1 und 63/2 kann die Magnetnadel auch durch einen unmagnetischen, drehbar gelagerten Metallzylinder ersetzt werden. Eine leere Konservendose ist für diesen Zweck beispielsweise recht gut geeignet. Nachdem der elektrische Strom eingeschaltet ist, beginnt sich der Zylinder von selbst zu drehen. Die magnetischen Wechselfelder induzieren in der Metallwand des unmagnetischen Zylinders Wirbelströme und machen damit den an und für sich unmagnetischen Körper magnetisch. Durch das Zusammenwirken aller Magnetkräfte wird die Drehung des Metallzylinders hervor-



65/1 Metallkäfig für Drehfeldversuche

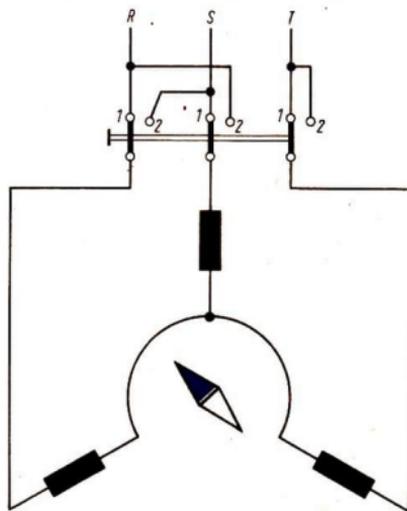
gerufen. Der Metallzylinder (Bild 65/1) kann durch einen Metallkäfig aus Kupfer- oder Aluminiumstäben ersetzt werden. Eine solche Anordnung spiegelt bereits das Konstruktionsprinzip eines Drehstrommotors wider.

Geben Sie eine Versuchsanordnung an, um mit Hilfe einer frei beweglichen Stahlkugel das magnetische Drehfeld nachzuweisen!

Aufgaben

1. Wie erklärt sich der Name *Drehstrom*?
2. Unter welchen Bedingungen kann man in einem Vierleitersystem auf den N-Leiter verzichten?
3. Vergleichen Sie den Aufbau und die Wirkungsweise eines Dreiphasenwechselstromgenerators mit dem Aufbau und der Wirkungsweise eines Einphasenwechselstromgenerators!
4. Der Läufer eines Dreiphasenwechselstromgenerators besitzt 24 Polpaare. Wie hoch muß die Drehzahl des Läufers sein, damit der Generator an das 50-Hz-Netz angeschlossen werden kann?

5. Mit welcher Stromstärke ist ein Dreiphasenwechselstromgenerator in Dreieckschaltung belastet, wenn die Stromstärke in den Außenleitern 90 A beträgt?
6. In einem Vierleitersystem beträgt die Spannung U zwischen einem Außenleiter und dem N-Leiter 6000 V. Wie hoch ist die Leiterspannung U_L ?
7. Wie groß ist in einem Vierleitersystem die Strangspannung, wenn die Leiterspannung 220 V beträgt?
8. In einer symmetrischen Dreieckschaltung ist die Strangstromstärke $I = 5$ A. Wie groß ist die Leiterstromstärke I_L ?
9. Vergleichen Sie die Sternschaltung mit der Dreieckschaltung an Hand selbstgewählter Zahlenbeispiele! Geben Sie die Strangspannung, die Strangstromstärke und die Strangleistung für drei gleiche ohmsche Widerstände einmal in Sternschaltung und einmal in Dreieckschaltung an!
10. Was geschieht in der Schaltung nach Bild 65/2, wenn der Schalter aus Stellung 1 nach Stellung 2 umgelegt wird?



65/2 Zur Aufgabe 10

Drehstrom-Asynchronmotor

Elektromotoren haben sich zu unentbehrlichen Antriebsmaschinen entwickelt. Mit ihrer Hilfe wird auf relativ einfache Weise elektrische Energie in mechanische umgewandelt. Heute werden meist kleine Motoren als Einzelantriebe verwendet; im Gegensatz zu den Anfangsjahren der Elektrifizierung der Produktion, als mit Hilfe weniger großer Motoren über kraftraubende Übertragungsmechanismen (Transmissionen) eine oder mehrere Werkzeugmaschinen angetrieben wurden.

Leistungsstarke Motoren sind beispielsweise in Elektro-Lokomotiven und in elektrischen Schnelltriebwagen eingebaut. Solche Motoren entwickeln ein sehr starkes Anzugsmoment, das beispielsweise einen Stadtbahnzug in etwa einer halben Minute vom Stillstand auf die Reisegeschwindigkeit bringt.

In der Steuerungs- und Regelungstechnik werden oftmals Elektromotoren mit recht kleinen Leistungen (meist unter 100 W) für den Antrieb von Stellgliedern (Klappen, Ventilen) benötigt.

Einen hervorragenden Platz in der industriellen und landwirtschaftlichen Produktion nehmen die *Drehstrom-Asynchronmotoren* ein.

Elektromotorischer Antrieb und Mechanisierung der Produktion

Die schnell voranschreitende *Mechanisierung* der industriellen Produktion Ende des vorigen Jahrhunderts verlangte ständig neue und bessere Kraftmaschinen. Die Muskelkraft des Menschen und der abgerichteten Tiere wurden in zunehmendem Maße durch *Kraftmaschinen* ersetzt (Übersicht 66/1).

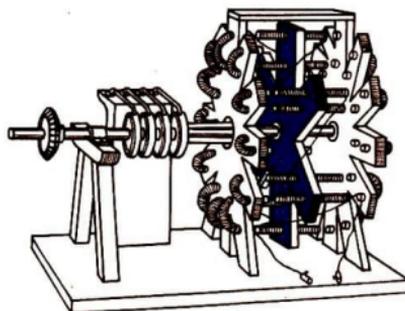
Die *Dampfmaschine* hatte zu Beginn des vorigen Jahrhunderts ihren Siegeszug um die Welt angetreten. Bald suchte man jedoch

Übersicht 66/1: Anteil verschiedener Energiequellen am Arbeitsaufwand

Energiequellen	1850	1950
Menschliche Muskelkraft	15,4 Prozent	3 Prozent
Zugtiere	78,8 Prozent	3 Prozent
Mechanische Antriebskraft aus Brennstoffen und der kinetischen Energie des fließenden Wassers	5,8 Prozent	94 Prozent

nach neuen Wegen, weil sie für den Antrieb einzelner Maschinen nicht wirtschaftlich war.

Würde sie kleiner gebaut, dann hätte sie eine zu geringe Leistung und einen sehr schlechten Wirkungsgrad. Der *Otto-* und der *Dieselmotor* lösten die Dampfmaschine vielerorts ab. Sie konnten jedoch der Verbrennungsgase (Abgase) wegen entweder nur im Freien aufgestellt werden oder erforderten ein entsprechendes Rohrleitungssystem, das die Verbrennungsgase wegführte. So war die Suche nach einer geeigneten *elektrischen Kraftmaschine* verständlich. Bereits im Jahre 1821 hatte der englische Physiker FARADAY mit Hilfe eines galvanischen Elements und eines kleinen Apparates den Nachweis erbracht, daß elektrische Energie in mechanische umgeformt werden kann.



66/1 Jacobis Elektromotor

Die Konstruktion leistungsfähiger Elektromotoren scheiterte anfangs vornehmlich an Spannungsquellen großer Leistungen. Im Jahre 1838 hatte der Physiker JACOBI einen Elektromotor (Bild 66/1) vorgeführt, der ein Boot antrieb, mit dem er die Newa überquerte. Als Spannungsquellen dienten Akkumulatorenbatterien.

Als WERNER von SIEMENS 1866 das *elektrodynamische Prinzip* entdeckte, war mit der Anwendung des Prinzips der Selbsterregung von Gleichstromgeneratoren die Voraussetzung für die wirtschaftliche Erzeugung großer elektrischer Leistungen geschaffen.

1879 zeigte SIEMENS die ersten elektrischen Antriebsmaschinen auf der Berliner Gewerbeausstellung. Der Siegeszug des Elektromotors begann. Damit begann gleichzeitig die Entwicklung des Siemenskonzerns, der bis zum heutigen Tage Millionenprofite erzielt.

Ein wesentlicher weiterer Schritt im Hinblick auf die Elektrifizierung der Produktion erfolgte in den Jahren 1880 bis 1890. Die Erzeugung des *Drehstroms* und die Entwicklung der *Drehstrommotoren* setzte ein. Besondere Verdienste erwarben die Pioniere auf diesem Gebiet: der italienische Physiker FERRARIS, der kroatische Physiker TESLA und der russische Gelehrte DOBROWOLSKI. Er erkannte, daß dieser Mehrphasenstrom günstige Eigenschaften für Drehfeldmotoren besitzt und baute um 1890 den ersten brauchbaren *Drehstrom-Asynchronmotor*.

In den folgenden Jahrzehnten wurde dieser Motor zur wichtigsten Antriebsmaschine in Industrie und Landwirtschaft entwickelt. Heute sind mehr als 90 % aller Elektromotoren in der Produktion Motoren dieser Art. Daran kann die Bedeutung des Drehstrom-Asynchronmotors für die materielle Produktion erkannt werden. Auch die moderne automatisierte Produktion bedarf vieler Elektromotoren als *Einzelantriebe*.

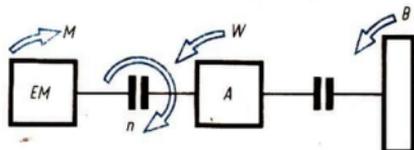
Die erste automatische sowjetische Taktstraße für die Herstellung von Automobilmotoren enthielt unter anderem folgende elektrische Aggregate:

84 Elektromotoren, 177 Elektromagnete, 1000 verschiedene Schaltgeräte, darunter 98 Schütze, 203 Hilfsschütze, 40 Zeitrelais. Das Verständnis der Vorzüge des Drehstrom-Asynchronmotors erfordert die Kenntnis wichtiger Grundgesetze der Elektrizitätslehre. Dazu sollen folgende Fragen beantwortet werden:

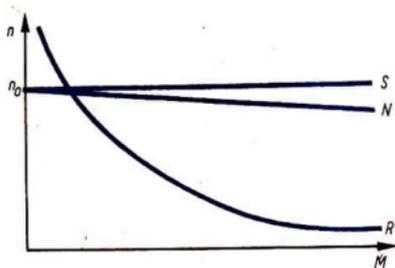
- Welche Erscheinungen bezeichnete Faraday als elektromagnetische Induktion?
- Auf welchen physikalischen Gesetzmäßigkeiten beruht die Wirkungsweise des Elektromotors? (Elektromotorisches Prinzip.)
- Wie wird Dreiphasenwechselspannung erzeugt?
- Welche Vorteile besitzt das Drehstromnetz?
- Warum nennt man den Dreiphasenwechselstrom auch Drehstrom?

Der elektromotorische Antrieb

Wenn beispielsweise eine Werkzeugmaschine durch einen elektromotorischen Antrieb bewegt beziehungsweise beschleunigt werden soll, so muß das *Motordrehmoment* M des Elektromotors das *Widerstandsdrehmoment* W der Werkzeugmaschine in jedem Augenblick des Betriebes überwinden. Soll die Werkzeugmaschine *beschleunigt* werden, so muß zusätzlich ein *Beschleunigungsmoment* B



67/1 Schema einer elektrisch angetriebenen Arbeitsmaschine

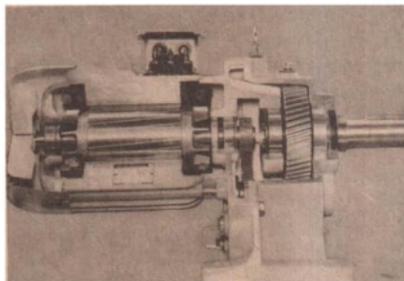


68/1 Drehmomentencharakteristiken von Elektromotoren

S Synchronverhalten, N Nebenschlußverhalten, R Reihenschlußverhalten

vom elektromotorischen Antrieb überwunden werden. Bild 67/1 zeigt diese Drehmomente schematisch für eine Arbeitsmaschine.

Bei *Bahnmotoren* beispielsweise wird eine der jeweiligen Belastung entsprechende Vergrößerung des Motordrehmoments gewünscht. Diese Belastung tritt beim Anfahren der Bahn oder bei der Straßenbahn auf, bei der letztgenannten auch, wenn sie einen Berg überwinden muß. Dann wird die Geschwindigkeit kleiner, was eine Verringerung der Gegeninduktionsspannung bewirkt, weil jeder Motor auch Generator ist. Dadurch wächst die Stromstärke und auch das Drehmoment an.



68/2 Schnitt durch einen Getriebemotor in Drehstrom-Kurzschlußläuferausführung

Dieses Verhalten der *Anpassung* des Motordrehmoments wird am besten durch Gleichstrom-Hauptschlußmotoren erreicht. Die Drehzahl des Motors sinkt bei Belastung. Auf eine konstante Drehzahl wird bei Bahnmotoren kein Wert gelegt.

Bei Antrieben von Werkzeugmaschinen wird eine verhältnismäßig *konstante* Drehzahl gewünscht, da zum Beispiel die Schnittgeschwindigkeit bei spanabhebenden Werkzeugmaschinen gleichmäßig sein soll. Ein solches Verhalten besitzen Drehstrommotoren; Bild 68/1 zeigt das Verhalten einiger Arten von Elektromotoren mit Hilfe von Drehmomentencharakteristiken.

Drehstrommotoren dienen als *Antriebe* in der weitaus größten Zahl aller Werkzeugmaschinen. Nachteilig bei diesen Motoren ist jedoch, daß ihre Drehzahl durch den konstruktiven Aufbau fest vorgegeben ist und sich nicht ohne Zusatzanlagen verändern läßt.

Um unterschiedliche Drehzahlen zu erhalten, wird zwischen Arbeitsmechanismus und Antrieb ein mechanisches Getriebe eingebaut (Bild 68/2), das ein Umschalten auf mehrere Drehzahlen ermöglicht.

Der Drehstrom-Kurzschlußläufermotor

Die Mechanisierung der Produktion erfordert *leistungsfähige, robuste* Elektromotoren. Gleichstrommotoren sind wegen der Bürsten, die auf den Lamellen der Kommutatoren aufliegen, nicht als robust anzusehen. Außerdem ist durch die Funkenbildung zwischen Bürste und Lamelle der Einsatz dieser Motoren in feuer- und explosionsgefährdeten Betrieben problematisch. Der Energiefluß läuft in Gleichstrommotoren über eine *galvanische Verbindung* vom Ständer zum Läufer.

Induktionsmotoren sind leistungsfähig und robust. Bei ihnen läuft der Energiefluß vom Ständer zum Läufer kontaktlos über elektromagnetische Felder. Ein weiterer Vorteil

dieser Motoren ergibt sich durch die Möglichkeit der Stern- und Dreieckschaltung, durch die diese Motoren ohne Schwierigkeiten für zwei Spannungswerte eingerichtet werden können (zum Beispiel 220/380 V und 380/660 V).

Bei der Konstruktion des Drehstrom-Kurzschlußläufermotors wurden folgende *Wirkungsprinzipien* genutzt:

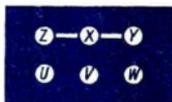
1. Symmetrisch im Ständer verteilte Spulen erzeugen ein magnetisches Drehfeld.
2. Bei der Relativbewegung eines magnetischen Feldes – in diesem Fall des Drehfeldes – gegen einen darin befindlichen Leiter wird in dem Leiter eine elektrische Spannung induziert und das Fließen eines Induktionsstromes bewirkt.
3. Ein stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld erfährt eine Kraftwirkung.
4. Ein drehbar gelagerter Läufer, in dessen Leitern ein Strom fließt, erfährt im Magnetfeld ein Drehmoment.

Sind diese Wirkungsprinzipien erkannt, dann lassen sich Aufbau und Funktion des Drehstrom-Kurzschlußläufermotors verstehen,

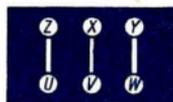
Mechanischer Aufbau

Der feststehende Teil des Motors wird als *Ständer* (Stator), der sich drehende Teil als *Läufer* (Rotor) bezeichnet.

Ständer. Er besteht aus dem Ständerblechpaket und den Wicklungen. Das *Ständerblechpaket* besteht aus gestanzten Dynamoblechen, die etwa 0,5 mm dick sind. Zur Verringerung der *Wirbelstromverluste* sind die geschichteten Dynamobleche gegeneinander isoliert, das heißt einseitig mit Seidenpapier beklebt oder lackiert beziehungsweise gezündert. In den Nuten des Ständerblechpaketes befindet sich die *dreiphasige* Wicklung. Als Wickelmaterial wird Kupfer- oder Aluminiumdraht mit Lack-, Baumwoll-, Zellwoll- oder Papierisolation verwendet. In der DDR wurde Aluminiumdraht mit *Isoperlon-*

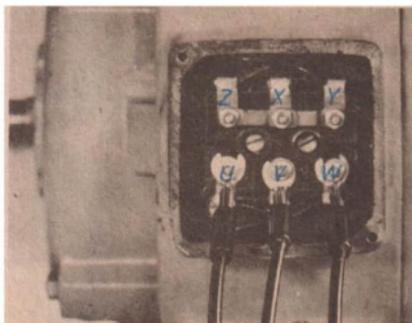


λ -Schaltung

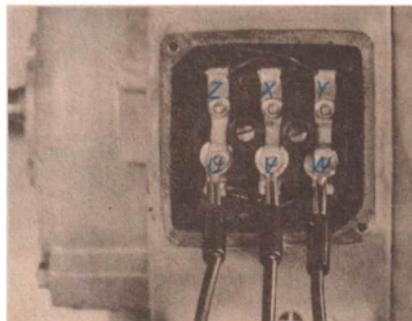


Δ -Schaltung

69/1 Schema eines Klemmbrettes

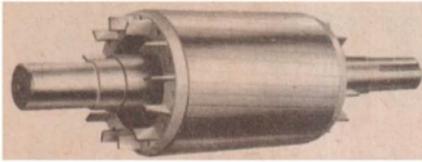


69/2 a Klemmkasten: Motor in Sternschaltung angeschlossen



69/2 b Klemmkasten: Motor in Dreieckschaltung angeschlossen

lack als Isolierung für den Motorenbau entwickelt. Dieses Wickelmaterial setzt sich in immer stärkerem Maße im Motorenbau unserer Republik durch. Es besitzt nicht nur Massevorteile gegenüber den Kupferwick-



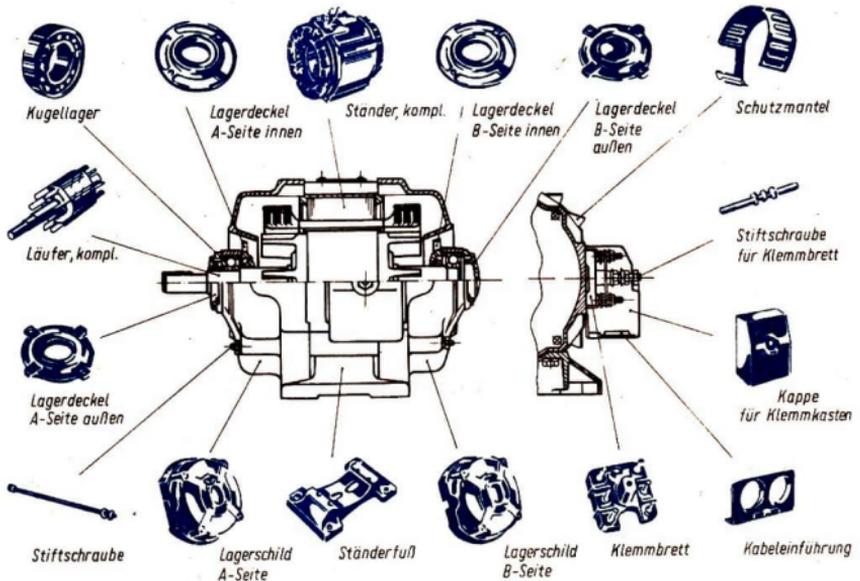
70/1 Käfigläufer im Schleudergußverfahren hergestellt

VEB Galvanotechnik		Leipzig		Werk 3 Eythro	
G _r		VEM			
Typ	DS 200/1				
D Mot	Nr	2 3 4 7 5			
Δ / Y	220/380 V	3,1/1,8 A			
0,7 kW	2 h Leerlauf	30 min			
$\cos \varphi$	0,8	2800 U/min	50 Hz		
Isol.-Kl.	P33	19,2 kg			
max. Scheibenbreite 30 mm					
max. Scheiben- \varnothing 200 mm					

70/2 Leistungsschild eines Drehstrommotors

lungen, sondern auch Vorzüge in der Festigkeit und Beständigkeit der Isolierung. Die Anordnung der dreiphasigen Wicklung im Ständer erfolgt so, daß sich ein beziehungsweise mehrere Polpaare bilden, deren Anzahl bestimmend für die Drehzahl des Motors ist. Die Wicklungsanfänge und -enden werden zum Klemmbrett geführt. Das Klemmbrett befindet sich, wenn man auf die Antriebsseite des Motors sieht, im allgemeinen rechts. Es enthält sechs nach TGL bezeichnete Klemmen (Bilder 69/1 und 69/2) und ist mit einem Klemmkasten abgedeckt.

Läufer. Er besteht aus einer Welle, gestanzten *Dynamoblechen* (Läuferblechpaket), den Wicklungen und dem *Lüfter*. In den Nuten des Läuferblechpaketes ist beim Kurzschlußläufer die Käfigwicklung angeordnet. Käfigläufer werden meist im *Spritz-* oder *Schleudergußverfahren* hergestellt: Die gestanzten



70/3 Schematische Darstellung der Teile eines Kurzschlußläufermotors

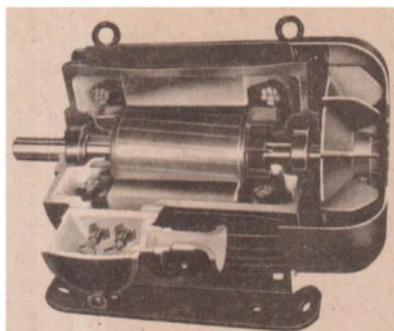
Dynamobleche werden in einer Form geschichtet, die in Rotation versetzt wird. Wird nun flüssiges Aluminium in diese Form gegossen, so füllen sich die Nuten mit dem Leiterwerkstoff aus (Bild 70/1). Dieses Verfahren ist sehr wirtschaftlich.

Lagerung. Die Welle des Läufers wird in *Wälz- oder Gleitlagern* gelagert. Bei kleineren und mittleren Motoren werden die Lager von den Lagerschilden aufgenommen, für große Motoren ist ein besonderes *Läufergestell* notwendig.

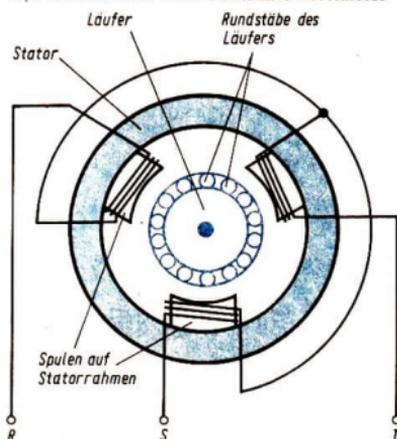
Bild 70/2 zeigt das Leistungsschild eines Drehstrommotors und Bild 70/3 eine schematische Darstellung seiner Bestandteile.

Belüftung. Die Belüftung des Motors dient der Abführung der Verlustwärme und verhindert eine Erwärmung über die vorgeschriebene *Grenztemperatur* hinaus. Die Hauptbelüftungsarten sind die *Durchzugs-* und die *Oberflächenbelüftung*.

Den Schnitt durch einen Drehstrom-Asynchronmotor mit Kurzschlußläufer zeigt Bild 71/2.



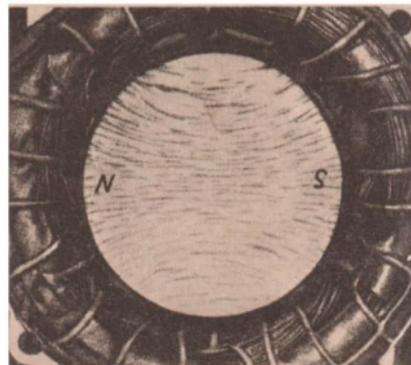
71/2 Schnitt durch einen Kurzschlußläufermotor



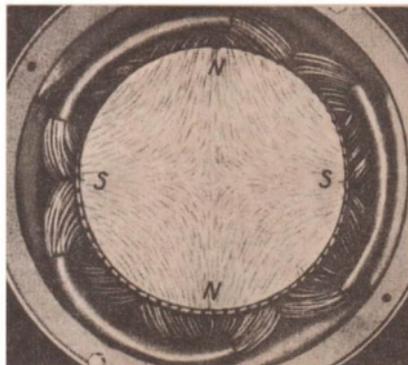
71/3 Schematische Darstellung der Wicklungen eines Kurzschlußläufermotors

Entstehen des Drehmoments

Die *Phasenverschiebung* des Dreiphasenwechselstromes beträgt $\frac{2}{3}\pi$ oder 120° . In den drei um 120° versetzten Spulen des Stän-



71/1 Magnetfluß in einer zweipoligen Maschine



71/4 Magnetfluß in einer vierpoligen Maschine

ders (Bild 71/3) erzeugt dieser dreiphasige Wechselstrom ein magnetisches Drehfeld, welches $60 \cdot f$ Umdrehungen ausführt. Der Magnetfluß für eine bestimmte Augenblickslage ist im Bild 71/1 dargestellt.

Schiebt man die drei Spulen auf einer Hälfte des Ständerringes zusammen und ordnet auf der anderen Hälfte nochmals drei Spulen an, so erhält man bei richtiger Schaltung der Wicklungen ein 4poliges Drehfeld nach Bild 71/4.

Dieses Drehfeld führt während einer Periode nur eine halbe Umdrehung aus. Durch entsprechende Spulenzahl können auch andere Polzahlen und damit verbunden weitere *Drehfelddrehzahlen* erreicht werden. Zwei Pole bezeichnet man auch als Polpaar. Bezeichnet man die Anzahl der Polpaare mit p , dann ist die Drehfelddrehzahl:

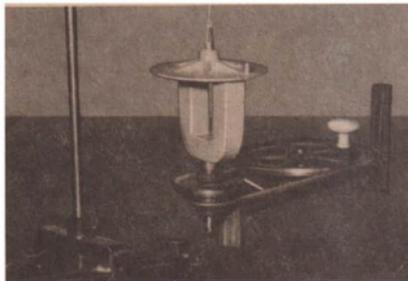
$$n_d = \frac{60 \cdot f}{p}$$

Für eine 4polige Maschine (2 Polpaare) ergibt sich bei einer Frequenz von 50 Hz die Drehfelddrehzahl

$$n_d = \frac{60 \text{ s} \cdot 50 \frac{1}{\text{s}}}{\text{min} \cdot 2} = \underline{\underline{1500 \frac{1}{\text{min}}}}$$

Wenn man in den stromdurchflossenen Ständer eines Drehstrommotors einen Käfigläufer oder auch nur eine Blechbüchse als Läufer bringt, dreht sich dieser.

Gleichfalls erhält man eine Drehbewegung,



72/1 Prinzip des Arago-Versuches

wenn der Läufer aus einem metallischen Werkstoff besteht, der nicht den *ferromagnetischen* Werkstoffen angehört.

● *Nennen Sie einige solcher Werkstoffe!*

Auf diese Tatsache ist bereits im Jahre 1824 der Physiker ARAGO gestoßen, dessen Versuch prinzipiell in Bild 72/1 dargestellt ist.

Wird der auf einer Schwungmaschine befestigte Hufeisenmagnet gedreht („Drehfeld“), so dreht sich die darüberhängende Aluminiumscheibe (z. B. eine Kondensatorplatte) mit. Eine Glasscheibe zwischen Magnet und Aluminiumscheibe hat keinen Einfluß auf diese Erscheinung.

● *Versuchen Sie, diese Erscheinung mit Hilfe des Induktionsgesetzes zu klären!*

Beim Kurzschlußläufermotor tritt das gleiche Wirkungsprinzip auf.

Im Inneren des Ständers liegt der Läufer mit seinen kurzgeschlossenen Läuferstäben. Sobald der Strom eingeschaltet wird, baut sich das magnetische Drehfeld auf. Das magnetische Drehfeld wirkt auf die zunächst noch stillstehenden Läuferstäbe mit wechselnder Stärke und Polarität ein. Dadurch wird in den Stäben eine elektrische Spannung induziert, die einen Strom (Induktionsstrom) zur Folge hat. (Man spricht auch in diesem Zusammenhang vom Entstehen einer „Elektrotorischen Kraft“ [EMK].) Wie beim Anker eines Gleichstrommotors wirkt nun auf den stromdurchflossenen Käfig ein Drehmoment, das den Läufer in Richtung des Drehfeldes beschleunigt. Mit steigender Drehzahl nimmt jedoch die *Relativedrehzahl* zwischen Läufer und Drehfeld ab. Deshalb werden mit zunehmender Geschwindigkeit die im Läufer induzierte Spannung und auch der Läuferstrom I_2 immer kleiner.

Damit nimmt auch das Drehmoment M ab, denn dieses ist dem Magnetfluß und dem Läuferstrom I_2 proportional.

Im Grenzfall des synchronen¹ Laufs – der wegen der vorhandenen Reibungskräfte nie erreicht werden kann – würde der Läufer relativ zum Drehfeld stillstehen. Dann würde keine Spannung im Läufer induziert.

Die im Läufer induzierte Spannung ist am größten, wenn der Läufer stillsteht. Demzufolge sind auch noch während des Anlaufens solcher Motoren hohe *Anlaufstromstärken* zu verzeichnen. Da die Drehfeldrehzahl n_d nie vom Läufer erreicht werden kann, nennt man den Motor *Asynchronmotor*. Es ist immer eine Differenz zwischen Drehfeldrehzahl n_d und Läuferdrehzahl (Nennrehzahl n) vorhanden, die von der Belastung des Motors abhängt.

Diese Differenz bezeichnet man als *Schlupfdrehzahl* n_s .

$$n_s = n_d - n.$$

Als *Schlupf* oder *Schlüpfung* s bezeichnet man das Verhältnis der Schlupfdrehzahl n_s zur Drehzahl n_d in Prozenten ausgedrückt:

$$s = \frac{n_s}{n_d} \cdot 100\%;$$

oder auch

$$s = \frac{n_d - n}{n_d} \cdot 100\%.$$

Der Schlupf beträgt etwa 2 bis 6%. In Übersicht 73/1 sind die gebräuchlichsten

¹ synchron: gleichlaufend

Polpaarzahlen mit den dazugehörigen Drehfeld- und Nennrehzahlen zusammengestellt.

Übersicht 73/1: Polpaare, Drehfeld- und Nennrehzahlen

Polpaare	1	2	3	4
Drehfeldrehzahl in min^{-1}	3000	1500	1000	750
Nennrehzahl in min^{-1}	2875	1425	925	720

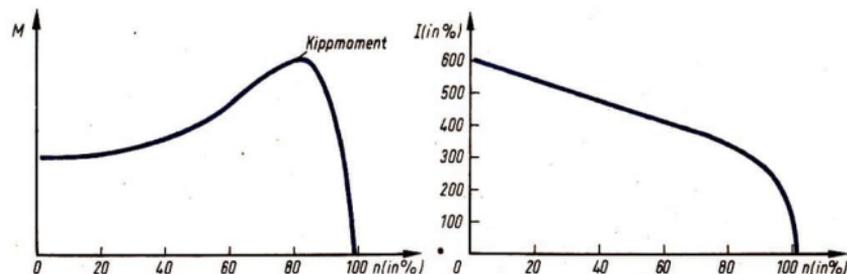
● Berechnen Sie den Schlupf für eine 2polige Maschine!

● Überlegen Sie, wie man aus der auf dem Typenschild angegebenen Drehzahl die Anzahl der Polpaare bestimmen kann!

Betriebsverhalten

Bild 73/1 zeigt die Anlaufkurven eines Kurzschlußläufermotors, das heißt den Verlauf der Stromaufnahme bzw. des Drehmomentes in Abhängigkeit von der Drehzahl.

Anlaufstrom. Im ersten Augenblick des Anlaufs steht der Läufer noch still. In ihm wird die maximale Spannung induziert, die das Fließen eines starken Stromes hervorruft. Der Motor kann im Augenblick des Stillstandes mit einem Transformator verglichen werden. Wenn sekundär eine hohe Leistung auftritt, muß sie nach dem Energiesatz auch primär dem Netz entnommen werden. Also



73/1 Anlaufkurven eines Kurzschlußläufermotors

fließt, da die Netzspannung konstant bleibt, auch primär (im Ständer) ein Strom sehr großer Stärke.

- *Der Anlaufstrom beträgt das Fünf- bis Achtfache des Nennstromes! Weshalb sinkt die Stromstärke mit steigender Drehzahl?*

Anlaufdrehmoment. Trotz des hohen Anlaufstromes ist das Anlaufdrehmoment¹ nicht das maximale Drehmoment. Bei der einfachen Ausführung eines Kurzschlußläufermotors liegt es etwa in der Größe des *Nennmomentes*. Der Grund dafür, daß trotz des hohen Anlaufstromes das Anlaufdrehmoment klein ist, liegt in der Phasenverschiebung des Läuferstromes, welche im ersten Augenblick groß ist, sich mit steigender Drehzahl aber immer mehr verringert. Hierdurch verteilt sich der Strom im Läufer so, daß nicht alle Leiterstäbe ein positives Drehmoment hervorbringen. Die Ursache für die Phasenverschiebung liegt in der hohen Frequenz der Läuferstromspannung beim Anlauf und dem *frequenzabhängigen* induktiven Widerstand des Läufers.

Leerlauf. Als Leerlauf bezeichnet man den unbelasteten Zustand des Motors. Die *Leerlaufdrehzahl* wird mit n_0 bezeichnet. Der Leerlaufstrom der Drehstrommotoren beträgt 20 bis 60 % des Nennstromes und ist somit groß, obwohl keine nutzbringende Arbeit verrichtet wird. Die relativ hohe Stromaufnahme liegt an dem Blindstromanteil, der sowohl bei Belastung als auch im Leerlauf vorhanden, im Leerlauf aber am größten ist.

- *Wiederholen Sie, was Sie im Physikunterricht über Wirk- und Blindstrom gehört haben!*

- ▶ **Leerlauf der Drehstrommotoren ist weitgehend zu vermeiden, weil dadurch das Netz unnötig belastet wird.**

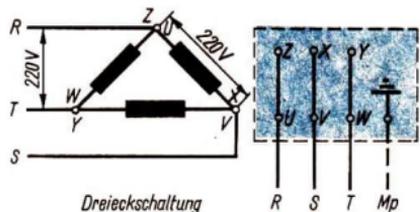
Belastung. Wenn die Welle des leerlaufenden Motors durch ein Drehmoment mechanisch belastet wird, so kann der Motor das erforderliche Moment M wegen des geringen Läuferstromes zunächst nicht abgeben. Er muß bei dieser Laststeigerung die *verlangte Arbeit* zunächst aus der kinetischen Energie des umlaufenden Ankers nehmen, so daß die *Drehzahl* sinkt. Durch die Drehzahlminderung nimmt die Relativgeschwindigkeit zwischen Drehfeld und Läufer und damit die im Läufer induzierte EMK und der Läuferstrom I_2 zu. Der Schlupf wird so groß, daß der Motor das neu verlangte Drehmoment erzeugen kann. Der Schlupf hängt also von der Größe des abgegebenen Drehmoments ab.

- ▶ **Schlupf und Drehmoment sind bei nicht zu großer Belastung annähernd proportional.**

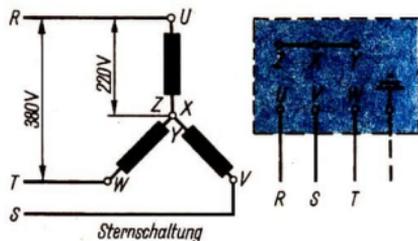
Ein Drehstrommotor soll nach Möglichkeit seiner Nennleistung entsprechend eingesetzt werden, da sonst der Leistungsfaktor $\cos \varphi$ sehr schlecht wird.

- *Erklären Sie den Begriff „Leistungsfaktor“!*

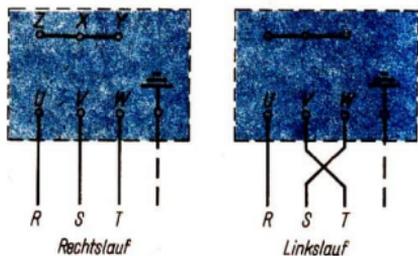
Schaltung der Ständerwicklungen. Durch Verändern der Schaltung der Ständerwicklungen ist es möglich, einen Drehstrommotor für Spannungen zu verwenden, die im Verhältnis $1 : \sqrt{3}$ stehen. Steht zum Beispiel auf dem Typenschild: 220/380 V, dann kann dieser Motor am 220-V-Netz in der Dreieck-



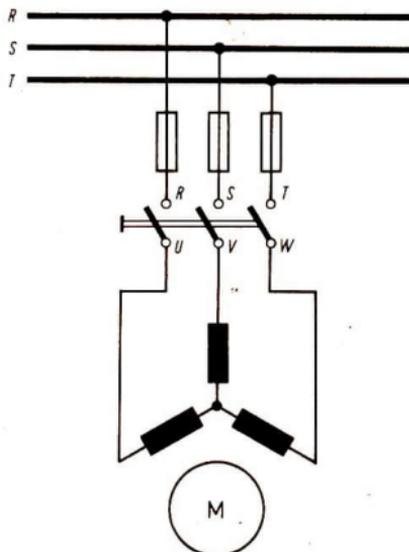
74/1 Lage der Wicklungen und Schaltung am Klemmbrett: Dreieckschaltung



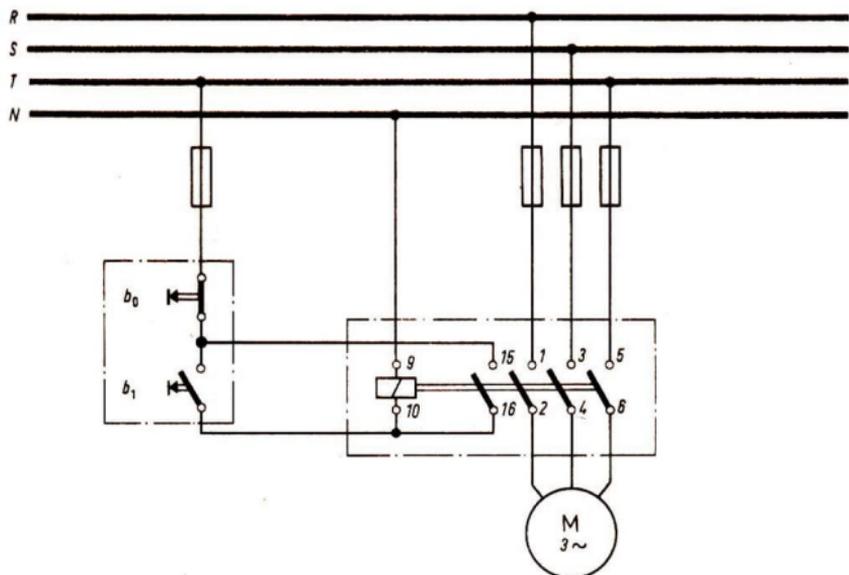
75/1 Lage der Wicklungen und Schaltung am Klemmbrett: Sternschaltung



75/2 Schaltung am Klemmbrett für Rechts- und Linkslauf



75/3 Schaltplan zum direkten Anlassen eines Kurzschlußläufermotors



75/4 Schützschtaltung eines Kurzschlußläufermotors (hier ist der Motor vereinfacht dargestellt)

schaltung, am 380-V-Netz in der Sternschaltung betrieben werden. Die Wicklungen des sterngeschalteten Motors liegen jeweils an der Spannung von 220 V, und der Motor gibt seine volle Leistung ab. Die Bilder 74/1 und 75/1 zeigen die Schaltung der Wicklungen und die erforderliche Schaltung am Klemmbrett.

Ändern der Drehrichtung. Die Drehrichtung von Drehstrommotoren wird in *Blickrichtung auf den Wellenstumpf* angegeben. Soll die Drehrichtung verändert werden, so brauchen nur zwei Zuleitungen nach Bild 75/2 miteinander vertauscht werden.

Anlassen der Drehstrommotoren. Die einfachste Form des Anlassens ist der direkte Anlauf, das heißt, die Motorwicklungen werden beim Einschalten des Stromes sofort an die volle Netzspannung gelegt (Bild 75/3). Von seiten der Hersteller sind die Wicklungen auch so ausgelegt, daß sie sich unter normalen Anlaufbedingungen bei direkter Einschaltung nicht zu sehr erwärmen. Da die hohen Anlaufströme Spannungsschwankungen im Netz verursachen, gestattet die Energieversorgung in der Regel den direkten Anlauf nur bis zu Motorleistungen von 3 kW. Bei größeren Leistungen sind *Anlaßhilfen* erforderlich.

Im wesentlichen werden drei Arten von Anlaßhilfen verwendet:

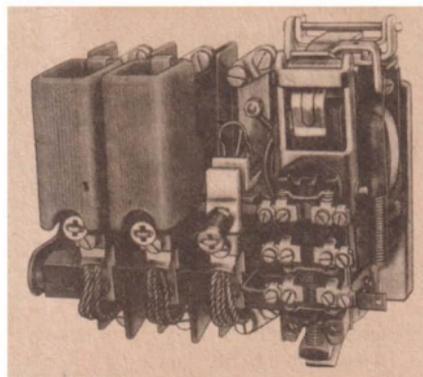
1. **Stern-Dreieck-Schalter.** Liegt ein für 380/660 V ausgelegter Motor an einem 380-V-Netz, dann wird mit Hilfe dieses Schalters zunächst in Sternschaltung eingeschaltet (großer Widerstand der Wicklungen); nach dem Anlaufen des Motors wird zur Dreieck-Schaltung weitergeschaltet.

2. **Anlaßwiderstände** und 3. **Anlaßtransformatoren.** Liegt ein für 220/380 V ausgelegter Motor mit einer Leistung über 3 kW an einem 380-V-Netz, dann werden Anlaßwiderstände bzw. -transformatoren in die Zuleitungen geschaltet, mit deren Hilfe dem Motor die volle Netzspannung allmählich zugeführt wird.

Schützschtaltung

Schützschtaltung eines Drehstrom-Kurzschlußläufermotors. Bild 75/4 zeigt die Schützschtaltung eines Drehstrom-Kurzschlußläufermotors mit Fernbetätigung. Die im Schaltschütz beziehungsweise in der Tastertafel vereinigten Bauteile und Anschlüsse sind in den in Punkt-Strich-Linien gezeichneten Rechtecken zusammengefaßt. Beim Betätigen des „Ein“-Tasters (Schließer b_1) wird die Wicklung des elektrischen Triebssystems erregt und sein Anker angezogen. Dabei werden die Schaltglieder geschlossen und der Motor läuft an. Mit den Schaltgliedern 1—2, 3—4 und 5—6 schließt sich das zur Steuerung gehörende Schaltglied 15—16 (Selbstschaltung). Dadurch bleibt auch beim Rückgang des „Ein“-Tasters der Steuerstromkreis geschlossen. Das Schütz bleibt also eingeschaltet. Wenn der Motor ausgeschaltet werden soll, wird der „Aus“-Taster (Öffner b_0) betätigt. Dadurch wird der Steuerstromkreis unterbrochen und das Schütz fällt ab.

Das in Bild 76/1 dargestellte Schütz ist ein *Luftschütz*. Es besitzt Schaltglieder mit Silberkontakten, die je Pol doppelt unterbrechen. Dadurch wird der Übergangswiderstand und damit die Stromdichte an den



76/1 Luftschütz

Kontakten geringer. Die *Mehrfachunterbrechung* des Stromes bei Schaltgeräten gewährleistet eine gute *Lichtbogenlöschung* und einen geringen *Kontaktabbrand*. Durch diese konstruktive Maßnahme wird die Lebensdauer der Schaltglieder erhöht.

Ölschütze, bei denen alle beweglichen Teile unterhalb des Ölspiegels liegen, werden eingesetzt, um die Schaltelemente vor aggressiven Gasen zu schützen. Ein Nachteil liegt im verstärkten Kontaktabbrand.

Verwendung von Schützen. Schütze werden für die Steuerung von Motoren für Arbeitsmaschinen mit großer *Schalbhäufigkeit* verwendet. Die Lebensdauer des Schützes liegt wesentlich höher als die des handbetätigten Motorschalters. Die mechanische Schaltzahl eines Schützes beträgt 5 bis 10 Millionen. Die Lebensdauer der Schaltglieder ist jedoch im allgemeinen etwas geringer.

Nachteilig beim Schütz ist, daß seine Spule während des Betriebes ständig vom Strom durchflossen ist, das heißt, es wird für das Schütz eine (geringe) Menge Elektroenergie benötigt.

Konstruktive Merkmale von Elektromotoren

Bei der *Konstruktion* und dem *Einsatz* eines Elektromotors sind beispielsweise die Forderungen zu beachten, die von der anzu-treibenden Arbeitsmaschine beziehungsweise dem *Aggregat* her erfüllt werden müssen. Gleichfalls sind die elektrischen Größen des vorliegenden Netzes zu berücksichtigen.

In erster Linie sind folgende technische Daten für den Elektromotor festzulegen:

Spannung,
Leistung,
Drehzahl,

außerdem müssen *Drehmoment* und *Beschleunigung* des Elektromotors bei der Konstruktion beachtet werden.

Die Charakteristik (vgl. Bilder 73/1 a und b) des Motors muß der Arbeitsmaschine angepaßt werden. Es ist beispielsweise falsch, eine zu große Leistung zu wählen, weil dann der Motor mit sehr geringem Wirkungsgrad arbeitet.

Außer diesen Erwägungen spielen folgende Gesichtspunkte für die Auswahl des Motors eine Rolle:

Wärmebeständigkeit,
Bauform des Motors,
Betriebsart,
Schutzgrad.

Schutz für den Menschen. Neben den Arbeitsschutzmaßnahmen bei der Arbeit an Maschinen muß der Mensch bei zufälliger und absichtlicher Berührung von Motor und Arbeitsmaschine vor zu hoher *Berührungsspannung* geschützt werden.

Das wird durch Schutzmaßnahmen wie *Erdung*, *Nullung* oder *Schutzschaltung* erreicht.

Einheitsmotoren

In der Produktion gab es bis vor etwa zwanzig Jahren noch sehr viele konstruktiv unterschiedliche Drehstrommotoren (gleicher Leistungen), die oft nicht untereinander austauschbar waren.

Durch die Forderung nach verschiedenen Bauformen und Schutzgraden wurden auch in der Deutschen Demokratischen Republik eine Unzahl Typen gebaut. So produzierten in den ersten Jahren des sozialistischen Aufbaus unsere Elektromotorenwerke noch 166 verschiedene Asynchronmotoren mit Käfigläufern im Leistungsbereich von 0,3 bis 10 kW.

Dieses Typendurcheinander wurde durch zweckmäßige *Einheitsmotoren* beseitigt.

Im Jahre 1953 begannen im Rahmen der *Rationalisierung* und *Standardisierung* die Vorarbeiten für die Entwicklung einer ein-

heitlichen Reihe. Seit 1955 werden die Drehstrommotoren der DDR nach einer Einheitsreihe über den Bereich 0,25 bis 10 kW produziert. Die Zahl der Typen ist auf 76 vermindert worden. Durch die teilweise Verwendung gleicher Bauelemente können zusätzliche Werkzeuge und Modelle gespart werden. Daraus erwächst ein wesentlicher ökonomischer Nutzen. Die Einheitsreihe für Drehstrommotoren ist vom RGW¹ und von der IEC² als Grundlage für einen internationalen Standard festgelegt worden. Für die Verbraucher ergeben sich durch diese Einheitsmotoren besondere Vorteile dadurch, daß die Vielzahl der nebeneinander bestehenden Motoreinheiten mit voneinander *abweichenden Anschlußmaßen* durch eine für alle Zwecke geeignete, einheitliche Ausführung ersetzt wird. Die *Austauschmöglichkeit* aller Einzelteile bildet dabei einen besonderen Vorteil.

Drehstrom-Einheitsmotoren kleinerer und mittlerer Größe werden in der DDR vor allem im VEB *Elektromotorenwerk Wernigerode* und im VEB *Sachsenwerk Niedersiedlitz* hergestellt.

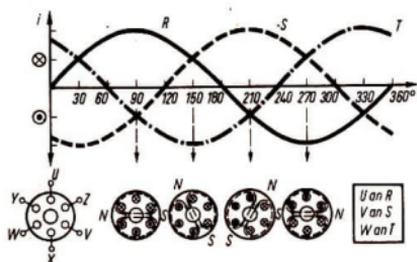
Aufgaben

1. Erklären Sie die Bezeichnungen

Drehstrommotor,
Induktionsmotor,

¹ Rat für Gegenseitige Wirtschaftshilfe

² International Electrotechnical Commission



78/1 Zur Aufgabe 8

Kurzschlußläufermotor,
Asynchronmotor!

2. Erklären Sie die Angaben auf dem Typenschild eines Elektromotors!
3. Wie entsteht im Kurzschlußläufer eines Drehstrommotors der elektrische Strom?
4. Wann wird im Kurzschlußläufer die größte Spannung induziert?
5. Wodurch werden im Ständer des Drehstrommotors Wirbelströme weitgehend unterbunden?
6. Welchem Zweck dient ein Stern-Dreieck-Schalter?
7. Erklären Sie an Hand der Zeichnung im Bild 75/4 die Wirkungsweise der Schützschaltung!
8. Erklären Sie den Verlauf des Drehfeldes im Stator eines Kurzschlußläufermotors nach Bild 78/1!

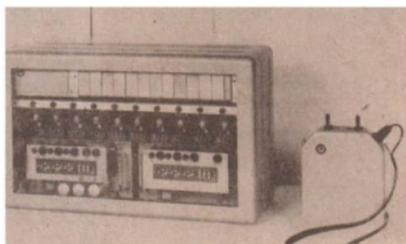
Einführung in die Schwachstromtechnik

Dieser wichtige Zweig der Elektrotechnik beruht u. a. auf der Erfindung des Telefons, der Telegrafie und vieler anderer Geräte zur Speicherung und Übertragung elektrischer Signale. Mit den Mitteln der Schwachstromtechnik können beispielsweise Kräne und Fördermittel ferngesteuert (Bild 79/1) und im Kraftwerk des Kombinats Schwarze Pumpe von einer zentralen Warte aus automatische Ölbrenner gesteuert werden (Bild 79/2).

Weil die Schwachstromtechnik ein verzweigtes Gebiet ist, unterscheidet man nach Zweigen und Aufgabenbereichen: Fernmeldetechnik (Fernsprechen, Fernschreiben), Fernwirktechnik (Fernsteuern, fernmessen, fernüberwachen), Elektroakustik (Studio-technik, Schallplatte, Magnettonband) und Betriebsmeß-, Steuerungs- und Regelungstechnik (BMSR-Technik). Man kann feststellen, daß die Schwachstromtechnik den ganzen Bereich von der einfachsten Klingelanlage bis zur komplizierten Kesselregelung umfaßt. Da die Übertragung von *Nachrichten* durch *Signale*, d. h. von *Informationen* aller Art das Anliegen dieser Technik ist, wurde dafür auch der Begriff *Informations-elektrik* geprägt.

Die Abgrenzung der Schwachstromtechnik zur Starkstromtechnik – die auch als *Leistungselektrik* bezeichnet wird – läßt sich wie folgt vornehmen:

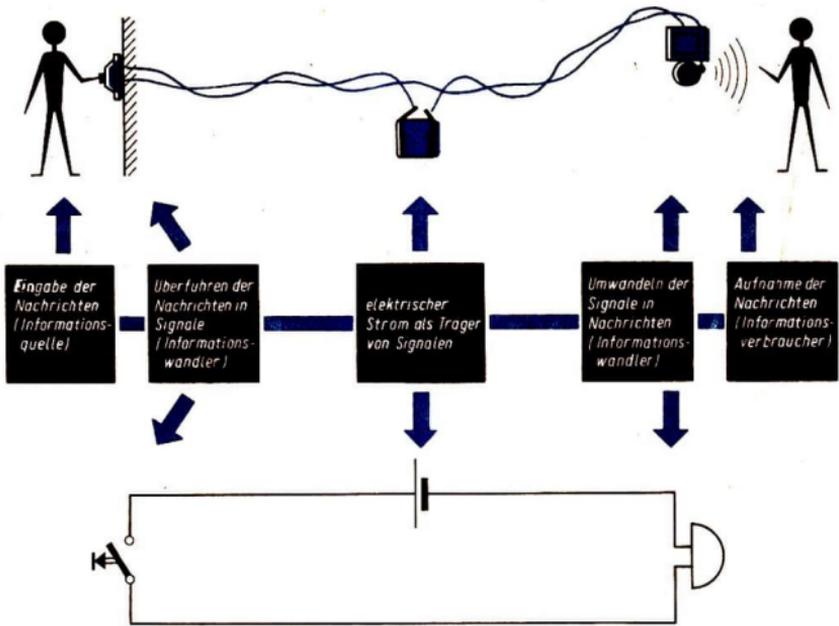
Aufgabe von Bauelementen, Geräten und Anlagen der Schwachstromtechnik (Informations-elektrik) ist es, eine fehlerfreie und



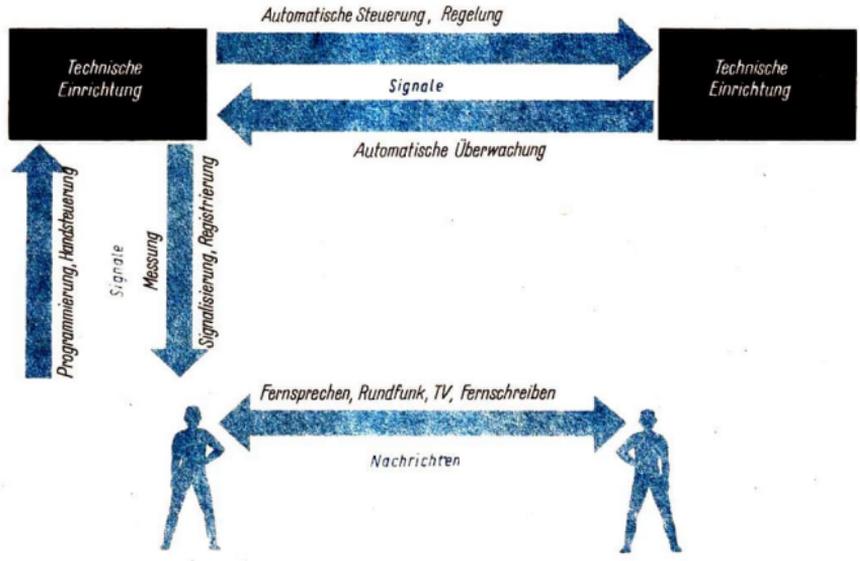
79/1 Geber und Empfänger einer Tonfrequenzsteuerung für Kräne



79/2 Zentrale Schaltwarte im Kraftwerk Schwarze Pumpe



80/1 Prinzip der drahtgebundenen elektrischen Nachrichtenübertragung



80/2 Austausch von Nachrichten durch Signale zwischen Menschen und technischen Einrichtungen

schnelle Übertragung von Nachrichten durch Signale zu gewährleisten.

Aufgabe von Bauelementen, Geräten und Anlagen der Starkstromtechnik (Leistungselektrik) ist es, Energien mit möglichst geringen Verlusten umzusetzen, z. B. elektrische Energie in mechanische Energie (Elektromotor) und in Lichtenergie (Beleuchtung). Das Prinzip der drahtgebundenen elektrischen Nachrichtenübertragung zeigt Bild 80/1.

Der Austausch von Nachrichten durch Signale zwischen Menschen und technischen Einrichtungen ist in Bild 80/2 schematisch dargestellt.

Im folgenden sollen einige charakteristische Bauelemente und Geräte der Schwachstromtechnik in ihrer Funktion und in einfachen Schaltungen beschrieben werden.

Schaltgeräte

Bisher wurden Schaltgeräte der Starkstromtechnik beschrieben. Schaltgeräte der Schwachstromtechnik zeichnen sich ihnen gegenüber besonders durch folgende Merkmale aus:

1. Es gilt oft, sehr kleine Spannungen mit geringem Kontaktübergangswiderstand zu schalten.
2. Schwachstromtechnische Schaltungen sind meist komplizierter; die darin verwen-

deten Schaltgeräte weisen daher allgemein eine Vielzahl von Schaltgliedern auf.

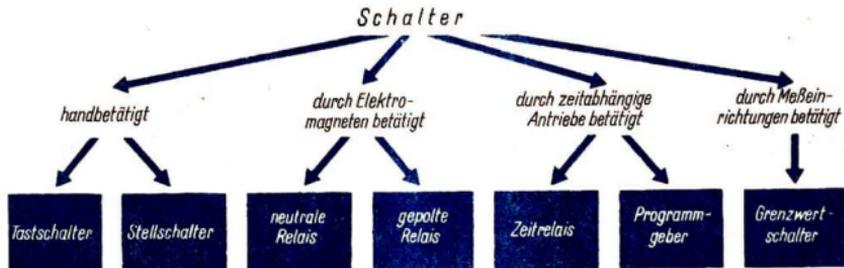
3. Wegen der niedrigen Schaltleistungen und Spannungen können die Geräte kleiner und leichter gebaut werden.
4. Es wird oft eine große Schaltfrequenz (Schalthäufigkeit) verlangt.

Bei der folgenden Betrachtung der Schaltgeräte werden Steckvorrichtungen und Sicherungen ausgeklammert, da sie keine grundsätzlichen Besonderheiten gegenüber denen der Starkstromtechnik aufweisen.

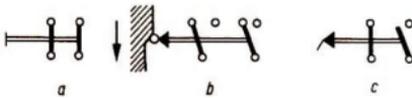
Betätigungsweise von Schaltern. Jeder Schalter besteht aus einem oder mehreren Schaltgliedern und den zugehörigen Antriebsgliedern. Er kann beispielsweise betätigt werden

- von Hand (bzw. mit dem Fuß) bei Tast- und Stellschaltern;
- durch einen Elektromagneten bei Relais und Schrittschaltwerken;
- durch zeitabhängige Antriebe bei Zeitrelais und Programmgebern;
- durch Meßeinrichtungen bei Grenzwertschaltern.

Diese Merkmale führen zu einer Einteilung der Schalter nach Bild 81/1.



81/1 Einteilungsmöglichkeit der Schalter der Schwachstromtechnik



82/1 Schaltzeichen für Schalter

- a Stellschalter, handbetätigt, Öffner mit zwei Schaltgliedern
- b Tastschalter mit selbsttätigem Rückgang, durch Schaltmocken betätigt, Wechsler mit zwei Schaltgliedern
- c Tastschalter mit selbsttätigem Rückgang, fußbetätigt, Schaltglieder: ein Öffner und ein Schließer

Vergleichen Sie die Einteilung mit den Betätigungsweisen von Schaltern der Starkstromtechnik, und stellen Sie die Unterschiede heraus!

Handbetätigte Schalter

Bei den hand- und fußbetätigten Schaltern unterscheiden wir in der Wirkungsweise solche mit selbsttätigem Rückgang (Tastschalter) und ohne selbsttätigen Rückgang (Stellschalter). Alle elektrischen Bauelemente und Geräte können symbolisch durch standardisierte Schaltzeichen dargestellt werden. Dabei sind die Schaltglieder in Ruhestellung,

also im nicht betätigten Zustand zu zeichnen. Schließer werden daher offen und Öffner geschlossen gezeichnet, Wechsler (Umschalter) in ihrer nicht betätigten Stellung (Bild 82/1).

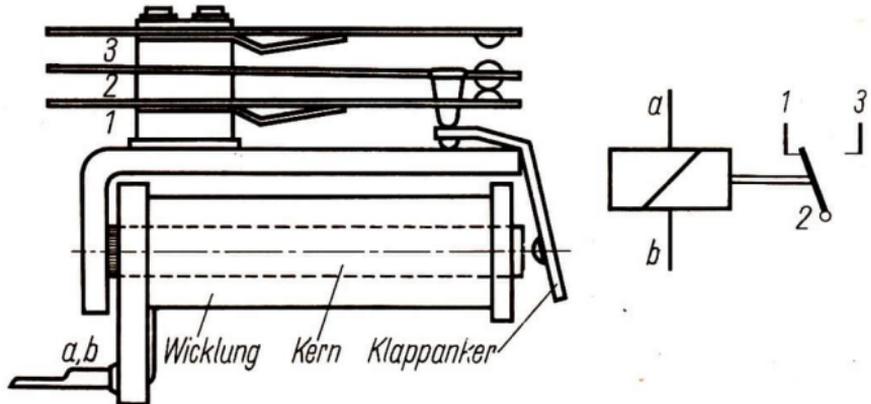
Erläutern Sie die Funktion der in Bild 82/1 durch Schaltzeichen dargestellten Schalter!

Relais

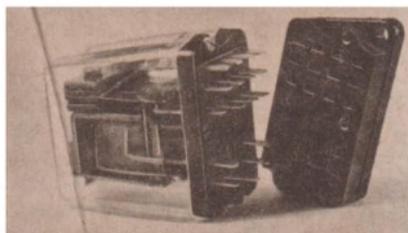
Diese Bauelemente haben eine außerordentliche Bedeutung für die Nachrichtentechnik sowie für die Steuerungs- und Regelungstechnik. Sie werden in den unterschiedlichsten Bauformen gefertigt. Alle Relais Typen bauen sich jedoch aus einigen wenigen Grundelementen auf. Dies sind

- die flache oder zylindrische Spule mit einer oder mehreren Wicklungen;
- der aus Kontaktfedern aufgebaute Kontaktsatz (Schaltglieder);
- der Eisenkreis mit den Betätigungsgliedern für die Kontakte sowie den Befestigungselementen.

Bild 82/2 zeigt den grundsätzlichen Aufbau am Beispiel eines Rundrelais mit Klappanker,



82/2 Klappankerrelais (schematisch) und sein Schaltzeichen



83/1 Steckrelais GBR 701 (VEB WBN Großbreitenbach)

ergänzt durch das entsprechende Schaltzeichen. Bei jedem Relais sind mindestens zwei Stromkreise zu unterscheiden:

1. Der Steuerstromkreis (Erregerstromkreis, Primärstromkreis); er ist durch die Wickeldaten für eine bestimmte, meist standardisierte Erregerspannung ausgelegt (z. B. 12 V). Weitere Kenngrößen sind der Erregerstrom und die maximale Schaltfrequenz.
2. Der Arbeitsstromkreis (Sekundärstromkreis); für ihn werden die Höchstwerte der zu schaltenden Ströme und Spannungen angegeben.

Diese Stromkreise sind galvanisch voneinander getrennt; sie können daher von verschiedenen Spannungsquellen gespeist werden. Folglich werden Relais u. a. als Bindeglied zwischen dem fernmeldetechnischen und dem starkstromtechnischen Teil eines Gerätes eingesetzt. Ein Relais mit beispielsweise einer Erregerspannung von 24 V Gleichspannung betätigt einen Arbeitsstromkreis mit 220 V Wechselspannung.

Setzt man die Erregerleistung zur maximalen Schaltleistung des Relaiskontakts (der Kontakte) in ein Verhältnis, so zeigt das Relais eine beachtliche *Schaltleistungsverstärkung*.

Beispiel: Für das Relais Typ GBR 701 soll die Leistungsverstärkung berechnet werden, und zwar für die 12-V-Ausführung. Dem Datenblatt ist zu entnehmen:

Erregerstrom $I_{err} = 102 \text{ mA}$; daraus errechnet sich die Erregerleistung $P_{err} = U \cdot I_{err} = 12 \text{ V} \cdot 102 \text{ mA} = 1224 \text{ mW}$.

Maximale Schaltleistung: 4 Kontakte je $60 \text{ W} = 240 \text{ W}$.

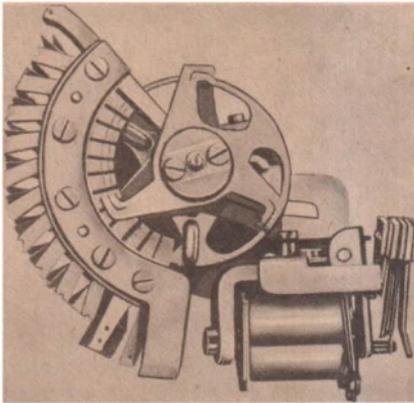
$$\text{Schaltleistungsverstärkung} = \frac{\text{Schaltleistung}}{\text{Erregerleistung}} = \frac{240 \text{ W}}{1,224 \text{ W}} = \underline{\underline{196\text{fach}}}$$

Steckrelais (Bild 83/1) können bei einem Defekt leicht ausgetauscht werden, ohne daß man erst die Anschlüsse ablöten muß.

Neutrale und gepolte Relais. Die bisher behandelten Bauformen von Relais sprechen *unabhängig* von der Richtung des Erregerstromes an. Fertigt man die Teile des Eisenkreises aus lamellierten Blechen (Vermeidung von Wirbelströmen!), so können sie auch mit Wechselspannung betrieben werden. Wegen dieses gegenüber der Stromrichtung indifferenten, neutralen Verhaltens werden diese Relais als *neutrale* Relais bezeichnet. Im Gegensatz dazu sind *gepolte* Relais so ausgeführt, daß sie in Abhängigkeit von der Richtung des Erregerstromes anziehen (ansprechen) oder abfallen.

Schrittschaltwerke

Relais haben allgemein zwei, in seltenen Fällen drei Schaltstellungen. Will man nacheinander eine größere Zahl von Schaltgliedern durch einen Magneten betätigen, so ist das durch Einfügen einer Schaltklinke zwischen Magnetantrieb und Schaltglied möglich. Bei derartigen *Schrittschaltwerken*, in der Fernsprechvermittlungstechnik auch als *Drehwähler* bezeichnet, tastet ein Kontaktfinger eine größere Zahl von Kontakten nacheinander ab. Jeder Stromstoß (Impuls), der auf die Erregerwicklung gegeben wird, schaltet den Kontaktfinger um genau einen Schritt weiter auf den nachfolgenden Kontakt. Je nach Bauart vollendet der Kontaktfinger nach 10, 12, 17 oder 33 Schritten einen Um-



84/1 Schrittschaltwerk (hier ein Drehwähler)

lauf. Die maximale Schaltgeschwindigkeit beträgt etwa 10 bis 15 Schaltschritte/s. Um vielfältige Anwendungen zur Durchschaltung mehrerer Stromkreise zu ermöglichen, werden die Drehwähler mit bis zu sechs parallelen Kontaktbahnen hergestellt. Bild 84/1 zeigt einen Drehwähler mit 12 Schritten je Umlauf.

Zeitrelais

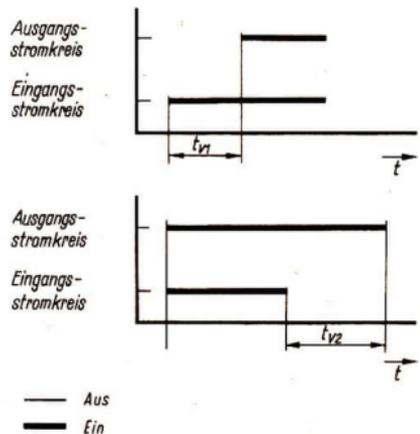
Bei den bisher betrachteten Relais spielt das zeitliche Verhalten beim Anziehen und Abfallen eine untergeordnete Rolle. In vielen Fällen kommt es jedoch darauf an, einen bestimmten technischen Vorgang gegenüber einem anderen Vorgang um eine festgesetzte Zeit zu verzögern. Dazu werden *Zeitrelais* benötigt. Ihre Verzögerungszeit, auch als Laufzeit oder Speicherzeit bezeichnet, kann bei den einzelnen Relaisarten zwischen einigen Zehntelsekunden (*Kurzzeitrelais*) und vielen Stunden (*Langzeitrelais*) betragen und ist meist in bestimmten Grenzen einstellbar. Auch *Zeitrelais* haben einen Steuer- und einen Arbeitsstromkreis. Zwischen beiden spielt sich der Vorgang entweder als *Ein-*

schaltverzögerung oder als *Ausschaltverzögerung* ab.

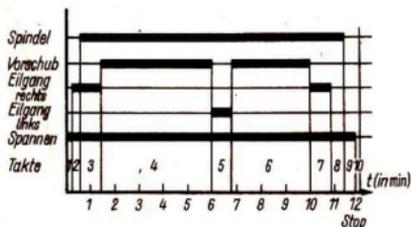
Einschaltverzögerung. Nach Einschalten des Eingangssignals geschieht während der Laufzeit äußerlich nichts. Danach erst schließt das Schaltglied des Arbeitsstromkreises. Das Relais speichert also einen Einschaltbefehl für eine begrenzte Zeit t_{v1} und führt ihn dann aus. Das Ausschalten erfolgt unverzögert.

Ausschaltverzögerung. Das Relais schaltet bei Erscheinen des Eingangssignals unverzögert ein und bleibt auch nach dessen Wegbleiben noch für die Dauer der Laufzeit t_{v2} eingeschaltet. Dann schaltet es selbsttätig ab. Es speichert den Einschaltzustand für die Dauer der Laufzeit.

Schaltdiagramm. Trägt man die beschriebenen Abläufe in Zeitdiagrammen auf, so ergeben sich Schaltdiagramme (Schaltfolgediagramme) nach Bild 84/2. Alle Zeitrelais weisen das eine oder das andere Verhalten auf beziehungsweise können in beiden Formen betrieben werden.



84/2 Schaltfolgediagramm für Ein- und Ausschaltverzögerung



85/1 Schaltfolgediagramm für die Programmsteuerung einer Werkzeugmaschine; das Programm besteht aus zehn Takten mit einer Dauer von 12 min

Wirkungsweise von Zeitrelais. Zur Verwirklichung eines definierten Zeitablaufs mit abschließender Schaltgliedbetätigung gibt es verschiedene Möglichkeiten; nachfolgend sind die wichtigsten genannt:

Zeitrelais

mit

*mechanischem
Hemmwerk*

(ein Elektromagnet betätigt ein Uhrwerk)

Heizwiderstand
(ein Bimetallstreifen wird erwärmt bzw. abgekühlt)

Programmgeber

Programmgeber werden eingesetzt, wenn einem Gerät oder einer Anlage in einer vorgegebenen zeitlichen Folge Steuerbefehle erteilt werden sollen und sich der gleiche Ablauf häufig wiederholt. Das *Programm* – der Schaltzyklus vom Anfang des ersten bis zum Ende des letzten Schaltschrittes – setzt sich aus einer Folge von meist ungleich langen Intervallen, den *Takten*, zusammen. Die Aufstellung eines solchen Programms entspre-

Elektromotor

(ein Untersetzungsgetriebe führt eine Nockenscheibe)

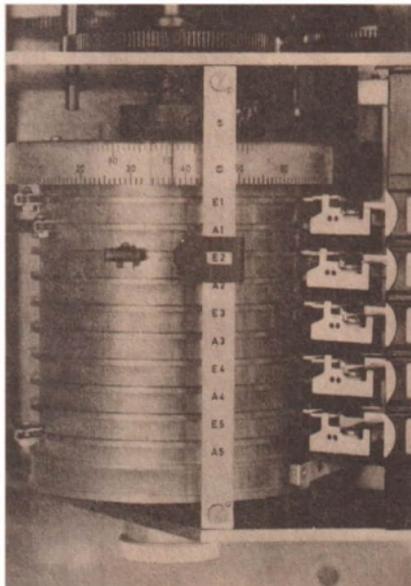
R-C-Glied
(ein Kondensator wird über einen Widerstand aufgeladen bzw. entladen)

chend den vorgegebenen Bedingungen und seine Einstellung (Einspeicherung) am Programmgeber werden durch das *Schaltfolgediagramm* erleichtert, das die Schaltgliedbetätigung in zeitlicher Folge wiedergibt. Ein einfaches Beispiel für eine Werkzeugmaschinensteuerung ist in Bild 85/1 dargestellt.

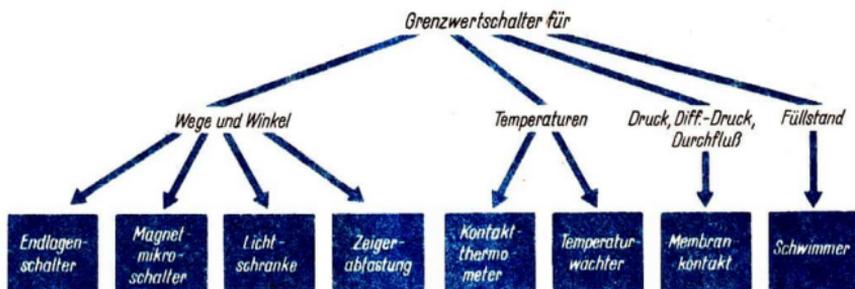
Einen Programmgeber mit Nockenwalze, mit dem beispielsweise das obengenannte Programm realisiert werden kann, zeigt Bild 85/2.

Grenzwertschalter

Sollen beispielsweise industrielle Prozesse selbsttätig überwacht werden, dann müssen in diesen Prozessen auftretende Meßwerte ständig auf die Einhaltung *zulässiger Grenzwerte* überwacht werden. Wenn diese Auf-



85/2 Programmgeber mit Nockenwalze (Fa. Ehrlich, Pirmas)



86/1 Einteilungsmöglichkeit wichtiger Grenzwertschalter

gaben von *Grenzwertschaltern* übernommen werden, dann entlasten sie den Menschen von der monotonen Beobachtung zahlreicher Meßinstrumente; gleichzeitig wird die Sicherheit erhöht und die Qualität der Produkte verbessert. Grenzwertschalter liefern entweder Signale für nachgeschaltete Überwachungseinrichtungen, wie sie im Abschnitt „Meldegeräte“ beschrieben werden, oder man benutzt diese Signale, um damit einen Prozeß zu *steuern* oder zu *regeln*, so daß er automatisch, ohne ständige Mitwirkung des Menschen ablaufen kann.

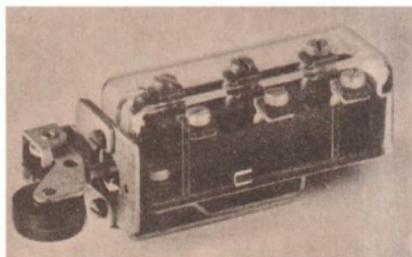
In Bild 86/1 sind die wichtigsten Grenzwertschalter nach den entsprechenden Meßgrößen eingeteilt. Einige von ihnen werden nachfolgend beschrieben.

Grenzwertschalter für Wege und Winkel. Bei vielen Maschinen und Förderanlagen müssen

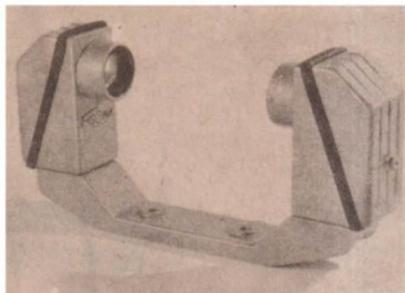
die Endpunkte von Bewegungsvorgängen, also Winkel und Wege, exakt erfaßt werden. Beispielsweise kann die Weglänge eines Bett-schlittens einer Drehmaschine entlang der Zugspindel mit Hilfe von zwei Schaltern genau erfaßt werden. Man benutzt dazu vorwiegend Tastschalter, die über Nocken-leisten, Anschläge oder Rollen mechanisch betätigt werden. Die Betätigungskraft für den Schalter ist von dem Maschinenteil (z. B. Bett-schlitten) oder Werkstück aufzubringen, dessen Lage erfaßt werden soll.

Bild 86/2 zeigt eine typische Ausführung eines *Endlagenschalters*.

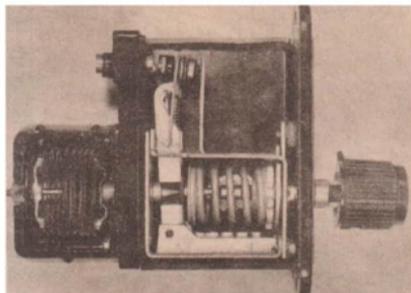
Häufig muß in der industriellen Fertigung die Lage eines Maschinenteils oder Werk-stücks berührungslos und ohne Ausübung von Betätigungskräften, also *rückwirkungs-frei* abgetastet werden. Setzt man voraus, daß dieses Teil undurchsichtig ist, so kann seine Lage durch eine *Lichtschranke* erfaßt werden: Man läßt das Licht einer Glüh-lampe auf eine Fotodiode oder einen Foto-widerstand fallen. Tritt das abzutastende Maschinenteil oder Werkstück in den Strahlengang zwischen Lampe und Licht-empfänger, so unterbricht es den Lichtstrahl, und ein Relais spricht an. Eine industriell gefertigte Lichtschranke zeigt Bild 87/1. Das Gerät ist mit verschiedenen Linsen und Zu-behörteilen, wie Umlenkspiegel und Farb-filter, lieferbar, um es den jeweiligen Ein-satzbedingungen anpassen zu können.



86/2 Endlagenschalter (VEB Elektroschalgeräte Görlitz)



87/1 Lichtschanke (Fa. Visomat, Leipzig)



87/3 Temperaturwächter (VEB Meßgerätewerk Quedlinburg)

Grenzwertschalter für Temperaturen. Im Meßbereich zwischen -20 und $+250$ °C kann man Grenzwerte von Temperaturen mit Quecksilberthermometern erfassen, deren Quecksilberfaden bei seiner Ausdehnung einen oder mehrere Kontakte benetzt und auf diese Weise bei Überschreiten bestimmter Temperaturen elektrische Stromkreise schließt. Diese Kontakte sind nur mit einem Strom von 10 bis 20 mA belastbar; empfindliche Relais können jedoch damit betätigt werden. In einer speziellen Ausführung eines solchen *Kontaktthermometers* (Bild 87/2) kann der Gegenkontakt von außen über eine Spindel mit Hilfe eines Magneten stufenlos eingestellt werden.

Die Erfassung von Temperaturgrenzwerten zwischen -50 und $+380$ °C gestatten Grenzwertmelder mit *Tensionsfühler*, wie sie in der Klima- und Kältetechnik unter der Bezeichnung *Temperaturwächter* handelsüb-

lich sind. Bild 87/3 zeigt einen solchen Temperaturwächter im Schnitt.

Der Fühler ist ein kleiner Hohlzylinder, der mit einer leicht verdampfenden Flüssigkeit, z. B. Benzol, teilweise gefüllt und über ein Kapillarrohr mit dem Metallfaltenbalg – links im Bild – verbunden ist. Mit wachsender Temperatur steigt der Druck in diesem Meßsystem an, der Metallfaltenbalg dehnt sich und formt den Druck in eine Kraft um, die der Kraft der Druckfeder entgegenwirkt. Die Differenzkraft betätigt schließlich über einen Hebel mit Sprungmechanismus das Schaltglied. An einem Stellknopf läßt sich die Kraft der Druckfeder und damit der Schaltpunkt stufenlos einstellen.

Grenzwertschalter für Füllstände. In Anlagen der chemischen Industrie und in der Verfahrenstechnik ist es oft notwendig, die Füllhöhe in Behältern, den *Füllstand*, zu erfassen und seine Grenzwerte zu signalisieren. Damit kann verhindert werden, daß Behälter über- oder leerlaufen. Auf Seite 95 wird eine Fernüberwachung eines Füllstandes beschrieben.



87/2 Kontaktthermometer (VEB Thermometerwerk Geraberg)

Meldegeräte

Melder sind Bauelemente oder Geräte, die Signale von technischen Einrichtungen, z. B. von Grenzwertschaltern, oder Meldungen von Menschen an einen zur Kontrolle oder Überwachung eingesetzten Menschen ausgeben. Sie müssen dazu seine Sinne ansprechen, also *optisch* (Sichtmelder) oder *akustisch* (Hörmelder) auf ihn einwirken. Das setzt voraus, daß der Bedienende, der die Signale aufnehmen und auswerten soll, im Hör- oder Sichtbereich anwesend und aufmerksam ist.

Werden die Melder nur von Hand ein- und ausgeschaltet, so handelt es sich um eine Nachrichtenübermittlung zwischen Menschen. Dabei sind oft größere Entfernungen zu überbrücken, oder es besteht keine direkte Sicht zwischen den beteiligten Personen. Bekannte Beispiele dafür sind Lichtrufanlagen sowie die Blinklichter für die Fahrtrichtungsanzeige an Kraftfahrzeugen.

Im Gegensatz dazu müssen in automatisch gesteuerten oder geregelten industriellen Anlagen beim Auftreten *außergewöhnlicher* Betriebszustände Meldungen an einen zentralen Überwachungsort, die *Warte*, gegeben werden.

Meldeformen. Im einfachsten Fall gibt ein Meldegerät nur eine *zweiwertige (binäre)* Meldung ab:

JA oder NEIN,
EIN oder AUS,
Grenzwert überschritten oder nicht überschritten.

Diese Sachverhalte können durch zwei Signale ausgedrückt werden:

Signal L oder Signal 0.

Dazu genügt eine Glüh- oder Glimmlampe oder ein akustischer Melder.

Will man mehrere unterschiedliche Signale ausgeben, so kann man optische Melder mit

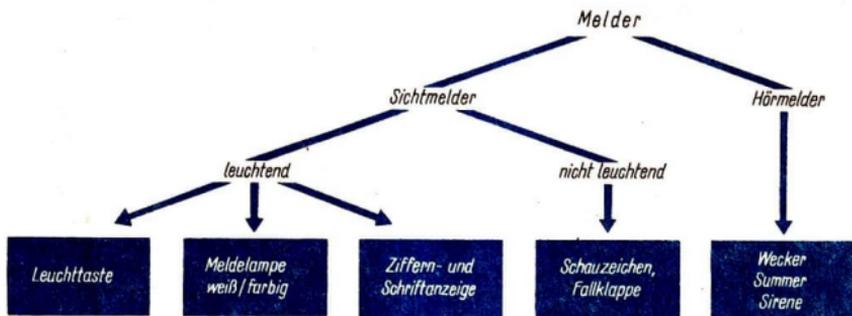
mehreren Farben oder akustische Melder mit verschiedenen Tonhöhen beziehungsweise unterschiedlichem Klang einsetzen. Darüber hinaus können *Impulssignale* (optisch: Blinksignale) von *Dauersignalen* unterschieden werden. Den Impulssignalen kommt besondere Bedeutung für plötzlich auftretende Meldungen, vor allem Gefahrenmeldungen zu, denn sie werden vom Menschen besser und schneller als Dauersignale erkannt.

Codierung. Wenn ein Melder unterschiedliche Signale abgeben soll, muß man Verabredungen über ihre Bedeutung treffen, d. h. eine sogenannte *Codierung* vornehmen. Bei den optischen Meldern wird ein *Farbencode* angewendet, wie ihn die Übersicht 88/1 in den Grundzügen wiedergibt.

Übersicht 88/1: Farbencode für Sichtmelder

Kennfarbe	Bedeutung	Beispiele
rot	Unmittelbare Gefahr; außergewöhnliche Betriebszustände	Wichtiger Grenzwert überschritten; Maschine oder Anlagenteil ausgefallen
grün	Gefahrlosigkeit, Sicherheit	Gerät betriebsbereit; Netzspannung vorhanden; Anlage wird angefahren
gelb oder weiß	Betriebszustand; Warnung vor verdeckten Gefahren	Gerät bzw. Maschine in Betrieb

Die gleiche Farbkennzeichnung setzt sich auch an den Bedienteilen von Geräten und Maschinen durch, die den Meldern zugeordnet sind. Der durchgängige Gebrauch eines solchen Farbencodes erleichtert nicht nur die Einarbeitung in eine neue Anlage, sondern ermöglicht auch das schnelle Erkennen typischer Situationen und das richtige Eingreifen. Auf diese Weise kann außerdem Unfällen vorgebeugt werden.

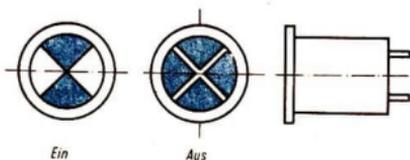


89/1 Einteilungsmöglichkeit der Melder

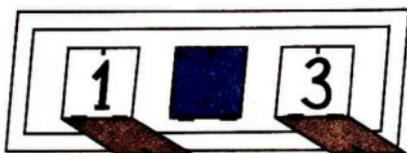
Melder lassen sich nach Bild 89/1 einteilen. Entsprechend dieser Gruppierung werden sie im folgenden näher betrachtet.

Sichtmelder

Nichtleuchtende Sichtmelder stellen das Signal durch bewegliche Blenden dar, die z. B. ein weißes oder farbiges Feld oder ein Schriftfeld abdecken. Das Eingangssignal betätigt einen Elektromagneten, der die Blende verstellt. Nach Abklingen des Signals erfolgt selbsttätiger Rückgang der Blende.



89/2 Prinzip des Schauzeichens

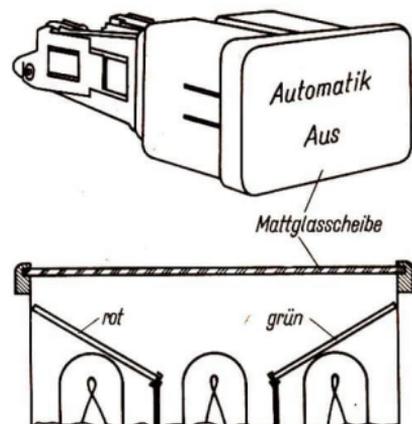


89/3 Vorderfront von drei Fallklappen

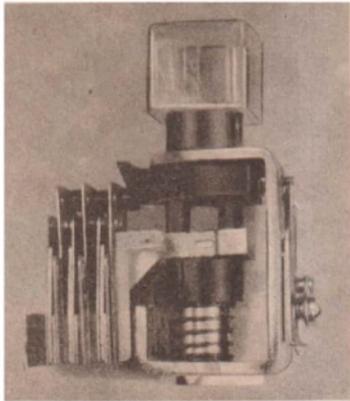
So arbeiten die bekannten *Schauzeichen* (Bild 89/2).

Bei den in Rufanlagen in Krankenhäusern und bei Personenaufzügen häufig installierten *Fallklappen* (Bild 89/3) wird die betätigte Stellung mechanisch gespeichert, indem die Klappe einrastet; sie muß von Hand durch Tastendruck zurückgestellt werden.

Leuchtende Sichtmelder sind entweder mit Glühlampen oder mit Glimmlampen bestückt. Während die einfachsten Ausführungen solcher *Leuchtmelder* nur aus einer Lampenfassung mit Frontplattenbefestigung und vorgesetzter Glaskalotte (farblos oder far-



89/4 Leuchtmelder mit mehrfarbiger Ausleuchtung



90/1 Leuchttaste (VEB WBN Großbreitenbach)

big) bestehen, ermöglichen andere eine mehrfarbige Ausleuchtung der als Mattglasscheibe ausgebildeten und häufig mit Klartext, Ziffern oder Symbolen beschrifteten Frontfläche (Bild 89/4).

Bei einer *Kombination* von Leuchtmeldern mit handbetätigten Schaltern kann der Melder gleich zur Kontrolle des Vorgangs herangezogen werden, der durch die Betätigung ausgelöst wurde. Bild 90/1 zeigt als ein Beispiel eines solchen Kombinationsbauelements eine Leuchttaste. Auch Schiebetastenschalter mit beleuchteten Tasten gestatten in dieser Weise eine optische Rückmeldung.

Hörmelder

Bei den Hörmeldern herrschen *Wecker* und *Summer* vor.

Sie unterscheiden sich vornehmlich durch das Vorhandensein einer Glocke beim Wecker, während diese beim Summer fehlt. Ausführungen für Gleichstrombetrieb benutzen zur Tonerzeugung das Prinzip des *Wagnerschen Hammers*.

- Erklären Sie die Wirkungsweise des *Wagnerschen Hammers*!

Die *Hupe* ist eine besondere Bauform des Summers, bei der das schwingende Element die Form einer Membran erhalten hat und der Schall oft durch einen Trichter gebündelt wird. Hupen sind auch in lärmgefüllten Produktionsräumen noch zu hören. *Sirenen* werden für sehr große Lautstärken gebaut; sie eignen sich zur Signalisierung besonderer Gefahrenfälle.

Einfache Schaltungen der Schwachstromtechnik

Aus der sehr großen Anzahl von Schaltungen, die in Geräten und Anlagen der drahtgebundenen Übermittlung von Nachrichten durch Signale verwendet werden, wurden einige ausgewählt. Es handelt sich um Teilschaltungen, in denen die zuvor beschriebenen Bauelemente und Geräte zusammenwirken. Sie lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

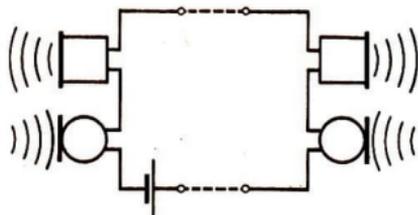
1. Schaltungen einfacher Fernsprechanlagen;
2. Schaltungen für industrielle Steuerung, Regelung und Überwachung.

Schaltungen der ersten Gruppe gestatten die Übermittlung von Nachrichten zwischen Menschen, die der zweiten Gruppe dienen der Übermittlung von Befehlen und Meldungen zwischen Menschen und technischen Einrichtungen sowie zwischen technischen Einrichtungen untereinander (siehe Bild 80/2).

- Nennen Sie Beispiele aus Ihrem Betrieb, wo Meldungen oder Befehle zwischen Maschinen empfangen und gegeben werden!

Schaltungen einfacher Fernsprechanlagen

Beim *Fernsprechen* handelt es sich um die mündliche Übermittlung von Nachrichten zwischen Menschen über solche Entfernun-



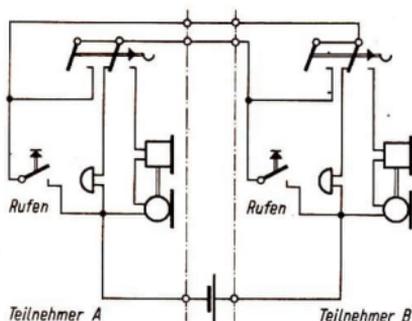
91/1 Einfachste Fernsprechschtung zum Gegensprechen

gen, die durch direkten Zuruf nicht mehr überbrückt werden können. Diese Übermittlung geschieht über Leitungen. Von einem Mikrophon werden die Schwingungen der menschlichen Sprache in Wechselspannungen (im Frequenzbereich zwischen 300 und 3400 Hz) umgeformt und am Empfangsort durch ein Telefon wieder hörbar gemacht.

Wiederholen Sie den Aufbau des Kohlemikrofons und den Aufbau des elektromagnetischen Telefons!

Welche Aufgabe hat die Spannungsquelle im Fernsprechstromkreis, und welche Stromart wird benötigt?

Beim Fernsprengerät sind Mikrophon und Telefon im Handapparat (Mikrotelefon) vereinigt. Die Schaltung nach Bild 91/1 gestattet die Ausnutzung der Leitung in beiden



91/2 Fernsprechschtung für ZB-Betrieb

Richtungen, das *Gegensprechen* (Telefonieren). Jeder der beiden Teilnehmer kann ohne Umschalten von „Hören“ auf „Sprechen“ übergehen und umgekehrt.

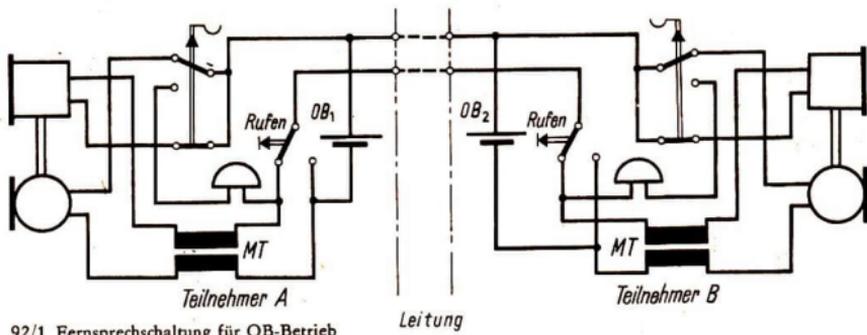
Je nach Anordnung der speisenden Batterie (Batterien) unterscheidet man zwischen ZB-Betrieb (ZB = Zentral-Batterie, gemeinsam für alle Teilnehmer) und OB-Betrieb (OB = Orts-Batterie, eine Batterie für jeden Teilnehmer).

ZB-Betrieb. Eine Fernsprechschtung für ZB-Betrieb mit zwei Teilnehmern gibt Bild 91/2 wieder. Man erkennt die Innenschaltung der beiden gleichartig aufgebauten Fernsprengeräte mit dem Gabelumschalter, einer Ruftaste und einem Summer. Es wurde der Zustand: – beide Handapparate abgenommen – dargestellt. Alle Stromkreise sind stromlos.

Betätigt jedoch Teilnehmer A seine Ruftaste, so ertönt der Wecker bei B und umgekehrt (Rufstromkreis). Sobald B den Handapparat abhebt, wird der Ruf durch den Gabelumschalter unterbrochen. Der Sprechstromkreis schließt sich, sobald beide Teilnehmer ihre Handapparate abgenommen haben.

Wie der Schaltplan zeigt, sind die Teilnehmer durch eine dreiadrige Leitung verbunden. Die Batterie kann bei einem der Teilnehmer oder im Leitungsweg zwischen ihnen angeordnet sein. Die gezeigte Schaltung wird auch als *direkte* Schaltung bezeichnet, weil sich das Mikrophon direkt im Sprechstromkreis befindet. Sie wird vorzugsweise zur Überbrückung kurzer Entfernungen angewendet, z. B. für Fernsprechverbindungen in einer Werkhalle.

OB-Betrieb. In Bild 92/1 ist eine einfache Fernsprechschtung für OB-Betrieb mit zwei Teilnehmern dargestellt. Im Gegensatz zur vorher beschriebenen Schaltung wird ein Mikrophontransformator MT im Sprechstromkreis verwendet. Während des Sprechverkehrs bildet die Primärwicklung mit dem Mikrophon und der Spannungsquelle einen



92/1 Fernsprechschialtung für OB-Betrieb

geschlossenen Stromkreis. Auf der Sekundärseite liefert der Transformator eine erhöhte (herauftransformierte) Sprechwechselspannung, die auf die Leitung gegeben wird. Während des Sprechens ist die Leitung gleichstromfrei; sie führt nur beim Rufen Gleichstrom (*indirekte Schaltung*).

Vermittlungstechnik. Die beschriebenen Schaltungen lassen sich in der gezeigten Form nur für den Sprechverkehr zwischen zwei Teilnehmern verwenden. Fernspreverkehr zwischen mehreren Teilnehmern, aus denen der Anrufende den gewünschten Teilnehmer auswählt, erfordert den zusätzlichen Einsatz handbetätigter oder automatischer Schalter für die Zusammenschaltung der Teilnehmer. Diese Schalteinrichtungen werden in einer Fernsprechzentrale zusammengefaßt. Dabei erfolgt die automatische *Vermittlung* im allgemeinen durch Drehwähler, die der Anrufende über die Wählerscheibe seines Fernsprechgeräts durch Stromimpulse ansteuert. Derartige Anlagen arbeiten stets im ZB-Betrieb und mit indirekter Schaltung.

Schaltungen für industrielle Steuerung, Regelung und Überwachung

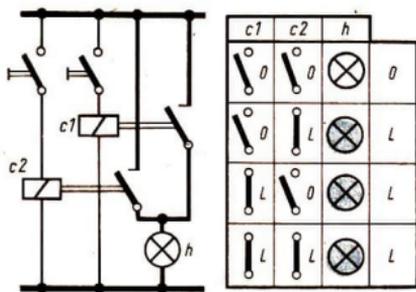
Zahlreiche industrielle Steuerungen beruhen auf der Verknüpfung von zweiwertigen (binären) Eingangssignalen. Diese Steuerungen

werden auch als *Schaltsteuerungen* bezeichnet. In ihnen treten bestimmte Gesetzmäßigkeiten auf, die im folgenden näher untersucht werden sollen.

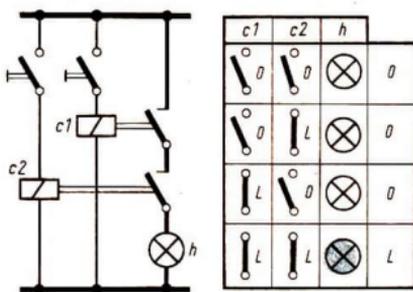
Zunächst wird ein Stromkreis mit nur zwei Schaltgliedern betrachtet. Diese Schaltglieder können parallel- oder in Reihe geschaltet sein; aber auch komplizierte Verknüpfungsschaltungen mit einer Vielzahl von Schaltgliedern lassen sich stets in solche Teilschaltungen zerlegen, die aus einigen parallel- oder in Reihe geschalteten Schaltgliedern bestehen. Die beiden möglichen Signale in diesen Schaltungen werden im allgemeinen mit 0 (Null) und L bezeichnet.

ODER-Schaltung. Im Schaltbeispiel nach Bild 93/1 sind die Schaltglieder (Schließer) zweier Relais c_1 und c_2 *parallel* geschaltet; sie betätigen einen Sichtmelder h. Der Stromkreis für den Melder kann sich daher sowohl über c_1 als auch über c_2 schließen. Da jedes Relais zwei Schaltstellungen einnehmen kann, ergeben sich vier mögliche Schaltkombinationen, wie sie in der Schalttabelle rechts im Bild dargestellt sind. Drei von ihnen führen zum Aufleuchten der Lampe. Sie leuchtet nur dann, wenn Relais c_1 ODER Relais c_2 ODER beide Relais betätigt worden sind. Man bezeichnet daher in der Steuerungstechnik und digitalen¹ Rechen-

¹ digital = ziffernmäßige (codierte) Darstellung von Meßwerten und Rechengrößen



93/1 ODER-Schaltung : in Betrieb



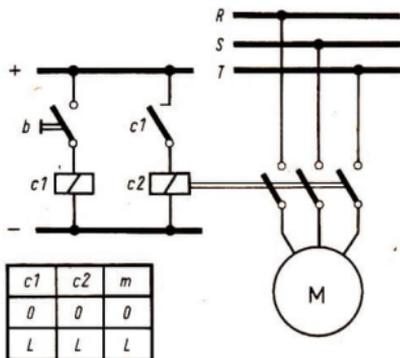
93/2 UND-Schaltung : in Betrieb

technik (Digitaltechnik) eine solche Verknüpfungsschaltung als ODER-Schaltung. Anwendungen der ODER-Schaltung finden sich in großem Maße bei Überwachungseinrichtungen: Wenn an einer Maschine ein Lager heißläuft ODER das Kühlwasser ausbleibt ODER der Ölkreislauf unterbrochen ist, soll eine Störung gemeldet werden (3fach-ODER-Verknüpfung). Diese Störungsmeldung muß erst recht dann erfolgen, wenn mehrere dieser Ereignisse gleichzeitig auftreten!

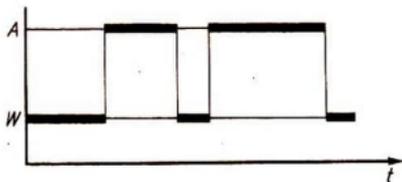
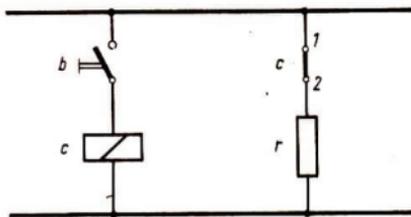
UND-Schaltung. Das Schaltbeispiel in Bild 93/2 stellt die Reihenschaltung der Schaltglieder (Schließer) zweier Relais dar. Die möglichen Schaltkombinationen sind wieder in einer Tabelle zusammengestellt. Die Meldelampe h kommt nur in *einem* Falle zum Aufleuchten, wenn nämlich beide Relais betätigt und daher die Schaltglieder von c 1 UND c 2 zu gleicher Zeit geschlossen sind. Dieses Verhalten charakterisiert eine UND-Schaltung. Sie ist immer dann anzuwenden, wenn ein Ausgangssignal davon abhängig gemacht werden muß, daß alle Bedingungen einer Verknüpfungsschaltung erfüllt sind: Ein Stanzvorgang darf erst dann ausgelöst werden, wenn der Bedienende mit der rechten Hand den rechten Schalter UND mit der linken Hand den linken Schalter betätigt UND wenn die Schutzvorrichtung geschlos-

sen ist (3fach-UND-Verknüpfung). Dieses Beispiel, das eine Anwendung einer UND-Schaltung im Unfallschutz zeigt, kann durch viele andere ergänzt werden, vor allem bei Sicherheitsschaltungen, in der Eisenbahnsicherungstechnik und bei Aufzügen.

Folgeschaltung. Schaltet man zwei Relais c 1 und c 2 so zusammen, daß der Schließer des ersten Relais, im Erregerstromkreis des zweiten liegt, so entsteht eine Folgeschaltung (Bild 93/3). Beide Relais arbeiten gleichsinnig und praktisch gleichzeitig. Mit dieser Schaltung kann eine beachtliche Leistungsverstärkung erzielt werden, denn die Verstärkungsfaktoren der einzelnen Relais mul-



93/3 Folgeschaltung



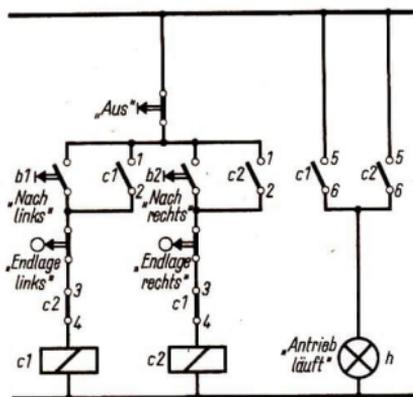
94/1 Umkehrschaltung

tiplizieren sich! Häufig werden ein Schwachstromrelais und ein Starkstromrelais (Schütz) in Folgeschaltung betrieben.

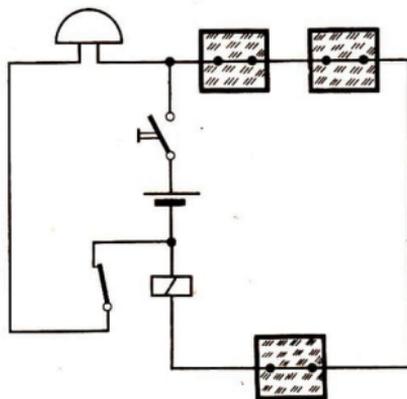
Umkehrschaltung. Eine gegensätzliche Wirkung hat eine Relaischaltung mit einem Öffner nach Bild 94/1: Der Heizwiderstand *W* ist immer dann eingeschaltet, wenn das Re-

lais *c* *nicht* betätigt ist. Wird es durch *b* zum Ansprechen gebracht, dann schaltet es über *c* 1-2 den Widerstand ab. Die Schaltzustände EIN und AUS werden also umgekehrt, *negiert*. Schaltungen dieser Art, auch als Negatorschaltungen bezeichnet, werden eingesetzt, wenn durch das Schließen eines Stromkreises ein anderer geöffnet werden soll und umgekehrt.

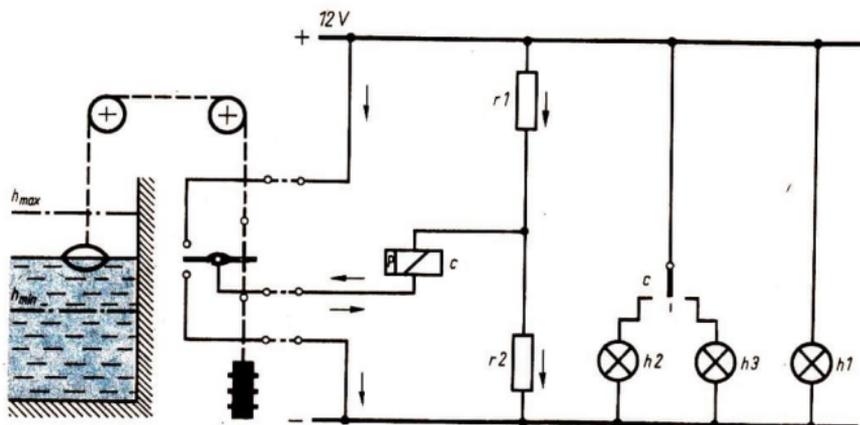
Verriegelungsschaltung. Können in einer Steuerungs- oder Überwachungseinrichtung sich widersprechende oder gegensätzliche Kommandos oder Meldungen auftreten, so ist durch eine elektrische Verriegelung dafür zu sorgen, daß diese bei gleichzeitigem Erscheinen unterdrückt werden. Da dieses Problem u. a. bei den meisten Antriebssteuerungen mit Rechts- und Linkslauf auftritt, wurde als Schaltbeispiel (Bild 94/2) eine Steuerung für den Eilgang eines Fräsmaschinentisches gewählt. Über die Schütze *c* 1 oder *c* 2 ist der Antriebsmotor auf Rechts- oder Linkslauf zu schalten, so daß der Tisch in eine bestimmte Arbeitsstellung eingefahren werden kann. Seine Bewegung wird durch Endlagenschalter begrenzt, von denen jeder die eine Bewegungsrichtung stoppt, die Bewegung in der Gegenrichtung jedoch nicht be-



94/2 Verriegelung in einer Antriebssteuerung



94/3 Raumschutzanlage



95/1 Fernüberwachung eines Füllstandes

hindert. Die eigentliche Verriegelung der beiden Drehrichtungen geschieht durch die Glieder $c\ 1, 3-4$ und $c\ 2, 3-4$. Hat $c\ 1$ angesprochen, dann öffnet sich $c\ 1, 3-4$ und verhindert das Ansprechen von $c\ 2$, solange $c\ 1$ betätigt ist und umgekehrt. Die Schaltung wird noch durch eine Meldeleuchte ergänzt, die unabhängig von der Bewegungsrichtung dann aufleuchtet, wenn der Antrieb eingeschaltet ist.

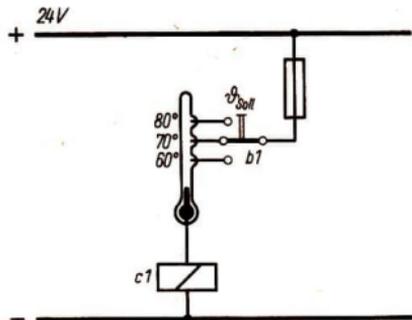
Raumschutzanlage. Zur Alarmierung der Polizei und der Öffentlichkeit werden wichtige Gebäude und Geschäfte oft mit Raumschutzanlagen ausgerüstet. Eine für diesen Zweck geeignete Schaltung nach Bild 94/3 weist als Geber drei Spanndrähte oder Folienstreifen auf, die, in Reihe geschaltet, z. B. an drei Schaufenstern eines Geschäftes angebracht werden. Sie sind so montiert und mit der Erregerspule des Relais so zusammengeschaltet, daß sie beim Zertrümmern der Scheibe zerreißen und den Erregerstrom unterbrechen. Dann schließt das Schaltglied (Öffner) des Relais den Stromkreis für den Wecker. Es wird so lange Alarm gegeben, bis der Schalter geöffnet wird.

Während der Bereitschaftszeit fließt durch

die Relaispule ständig Erregerstrom (daher: *Rubestromschaltung*). Das hat zwar einen ständigen Energiebedarf zur Folge, gleichzeitig werden aber die Leitungen und Verbindungsstellen mit überwacht.

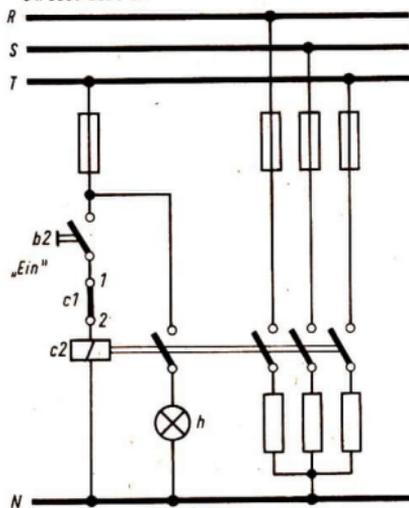
Fernüberwachung eines Füllstandes. Den Einsatz eines gepolten Relais in einer einfachen Überwachungsschaltung zeigt Bild 95/1. Es wird ein Relais mit Ruhelage des Schaltgliedes in der Mittelstellung verwendet – positiver Erregerstrom bewirkt Kontaktgabe an dem einen Gegenkontakt, negativer Erregerstrom am anderen. Der eine Anschluß der Wicklung ist über einen Spannungsteiler, der aus den gleichen Widerständen $r\ 1$ und $r\ 2$ gebildet wird, auf eine mittlere Spannung von etwa 6 V gelegt. Je nachdem, ob vom Geber, einem Schwimmer mit Gegengewicht, der obere oder untere Grenzwertkontakt geschlossen wird, fließt durch die Relaispule Erregerstrom in der einen oder anderen Richtung, und das Schaltglied c schaltet die Meldeleuchte $h\ 2$ oder $h\ 3$ ein. Für diese drei Lampen ergeben sich daher folgende Aussagen dieser selbsttätigen Füllstandsregelung, die sofort erkennen lassen, ob die Einrichtung fehlerfrei arbeitet:

Lampe	Kennfarbe	Bedeutung
h 1	weiß	Überwachungseinrichtung in Betrieb
h 2	rot	Oberer Grenzwert b_{\max} erreicht oder überschritten
h 3	rot	Unterer Grenzwert b_{\min} erreicht oder unterschritten



1. Teilschaltung

3 x 380 / 220V 50 ~



2. Teilschaltung

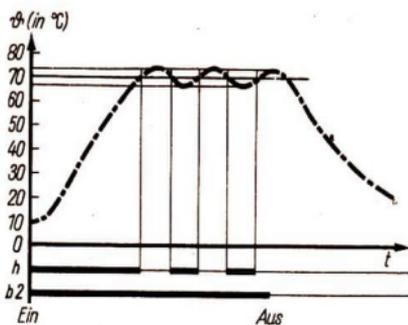
96/1 Beispiel einer Temperaturregelung

Die Lampen werden zweckmäßig auf einem Pult in der Warte angeordnet. Die Verbindung zwischen dem Schwimmersystem und der Überwachungsschaltung ist durch ein dreijadriges Kabel herzustellen.

Temperaturregelung mit Kontaktthermometer. Wie eine einfache Temperaturregelung mit Hilfe eines Kontaktthermometers und einer Schalteinrichtung aufgebaut werden kann, zeigt Bild 96/1. Es erfolgt eine Aufteilung in zwei Teilschaltungen: Das Kontaktthermometer betätigt ein empfindliches Relais c 1; diese Teilschaltung wird mit Kleinspannung betrieben. Das Schaltglied c 1, 1-2 dieses Relais, ein Öffner, liegt im Steuerstromkreis des Starkstromrelais (Schütz) c 2, der mit 220 V Wechselspannung gespeist wird (2. Teilschaltung).

Mit der Regeleinrichtung soll die Temperatur in einem elektrisch beheizten Mischbehälter für Flüssigkeiten auf einem bestimmten wählbaren Wert, dem Sollwert, konstant gehalten (*geregelt*) werden. Nachdem die Heizung über b 2 eingeschaltet wurde, steigt die Quecksilbersäule des Thermometers, das in die Flüssigkeit eintaucht, und erreicht schließlich bei z. B. 70 °C den Kontakt, der über den Wahlschalter b 1 den Stromkreis für das Relais c 1 schließt. Jetzt öffnet c 1, 1-2 den Steuerstromkreis des Starkstromrelais c 2, das die Heizung abschaltet. Die im Heizer gespeicherte Wärmeenergie bewirkt zwar, daß die Temperatur noch kurze Zeit ansteigt, dann beginnt sie jedoch zu sinken, und bei Unterschreiten des Sollwertes fällt das Relais c 1 wieder ab. Sein Schaltglied c 1, 1-2 schließt erneut und schaltet die Heizung wieder ein. Es dauert kurze Zeit, bis der Heizer aus dem kalten Zustand wieder aufgeheizt ist (so lange fällt die Temperatur im Behälter noch); dann beginnt sie zu steigen, und der Schaltzyklus wiederholt sich. Die Temperatur der Flüssigkeit, der Istwert, pendelt daher ständig um den Sollwert.

Diesen zeitlichen Ablauf gibt das Diagramm



97/1 Zeitdiagramm der Temperaturregelung

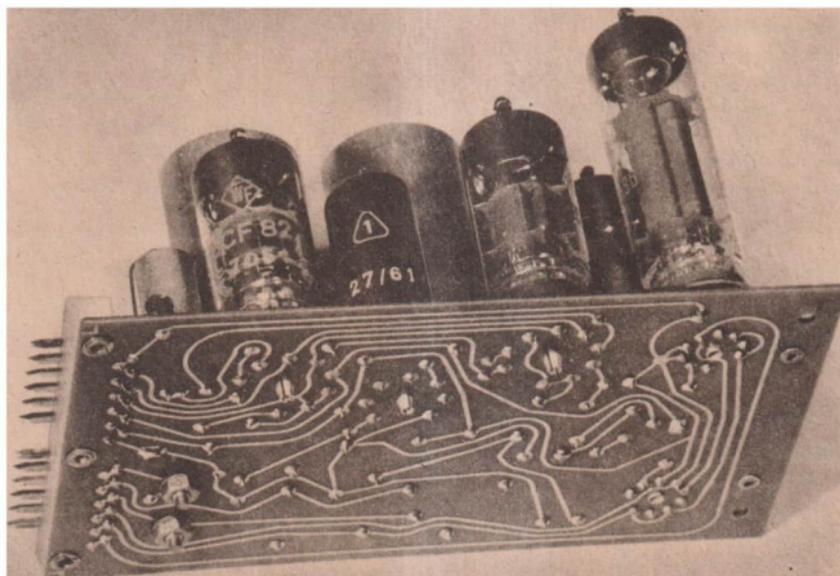
in Bild 97/1 wieder. Je genauer die Meßeinrichtung den Istwert der Temperatur (der *Regelgröße*) mißt und je kleiner die erwähnten Zeitverzögerungen in den Bauteilen sind, um so geringer wird das Über- und Unterschreiten des Sollwertes sein. Alle Schaltglieder müssen so beschaffen sein, daß sie dem

ständigen Ein- und Ausschalten im Schaltzyklus von einigen Sekunden bis zu einigen Minuten standhalten.

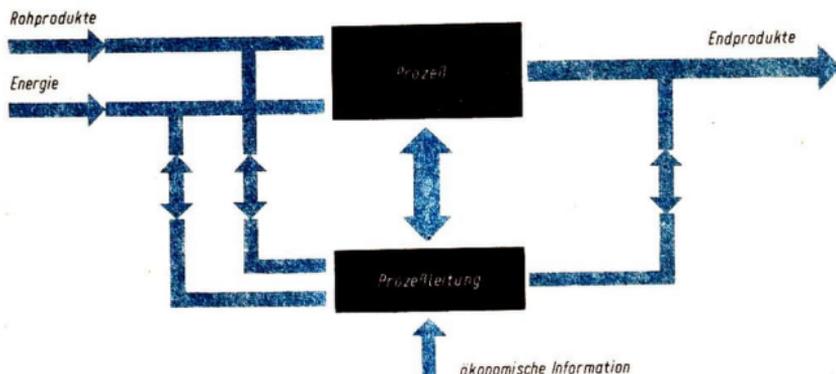
Die Bedeutung der Schwachstromtechnik für die Entwicklung der Volkswirtschaft

Der Ablauf der Produktion in unserer sozialistischen Industrie ist durch den immer größer werdenden Einsatz *automatischer Anlagen* und *Einrichtungen* gekennzeichnet. Ein großer Teil der *mechanischen geistigen Arbeit* (z. B. Messen, Steuern, Regeln, Rechnen) wird elektrischen oder elektronischen Geräten übertragen, die nach einem Programm den Produktionsprozeß selbständig steuern können (Bild 97/2).

Für die Leitung eines solchen Prozesses (Bild 98/1) ist es notwendig, ständig den Zu-



97/2 Elektronisches Bauteil auf gedruckter Schaltung



98/1 Schema der Leitung eines Produktionsprozesses

fluß von Rohstoffen und Energien zu überwachen, den Produktionsvorgang selbst zu steuern und zu kontrollieren sowie das Endprodukt zu prüfen und zu sortieren. Auch *ökonomische* Informationen über die Kosten und den Bedarf des Endproduktes werden berücksichtigt.

Bei der Verwirklichung dieser vielseitigen Aufgaben mit Hilfe der *Betriebsmeß-, Steuerungs- und Regelungstechnik* (BMSR) haben Bauelemente und Schaltungen der Schwachstromtechnik eine große Bedeutung erlangt und werden immer mehr vervollkommenet.

Die Bedeutung elektronischer Bauelemente

Wesentlicher Bestandteil einer automatischen Produktionseinrichtung ist die *Steuerung*. Elektrische Schaltungen sind zur *Fernsteuerung* und *Fernüberwachung* besonders vorteilhaft, da sie ohne großen Aufwand über weite Entfernungen zuverlässig wirken. Außer den bereits betrachteten Bauelementen der Schwachstromtechnik steht eine große Anzahl von *elektronischen Bauelementen* zur Verfügung.

Elektronische Bauelemente unterscheiden sich von elektrischen dadurch, daß an entschei-

denden Stellen Hochvakuum, Gase oder Halbleiter im Strompfad liegen und an diesen Stellen ein *Elektronenstrom* (oder ein *Ionenstrom*) beeinflußt wird. Übersicht 98/1 zeigt beispielhaft, welche physikalischen Größen den Elektronenstrom in elektronischen Bauelementen steuern.

Übersicht 98/1: Zuordnung von steuernden physikalischen Größen zum elektronischen Bauelement

steuernde physikalische Größe	elektronisches Bauelement
Elektrisches Feld	Elektronenröhre Transistor
Licht	Fotozelle Fotowiderstand
Wärme	Thermistor
Radioaktive Strahlung	Geiger-Müller-Zählrohr

Wesentlich für die Bedeutung elektronischer Bauelemente ist die Tatsache, daß durch eine *geringe Steuerenergie* eine *große Arbeitsenergie* gesteuert werden kann; dabei wird der Elektronenstrom *kontaktilos* beeinflußt.

Nennen Sie Beispiele sowohl aus dem Betrieb als auch aus dem Physikunterricht, bei denen durch geringe Steuerenergien große Arbeitsenergien gesteuert werden!

Hinweis: Bedenken Sie, daß auch mit Hilfe mechanischer, pneumatischer und hydraulischer Energie gesteuert wird!

Genauso wie in der mechanischen Technologie und im Maschinenbau immer wieder gleiche Bauelemente verwendet werden, wie zum Beispiel Wellen, Zahnräder, Schrauben, gibt es auch in der Elektronik stets wiederkehrende Bauelemente. Diese Elemente können bestimmte Funktionen ausführen, die für eine große Anzahl von Vorgängen benötigt werden; einige elektronische Bauelemente sind in Bild 99/1 gezeigt.

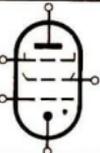
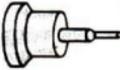
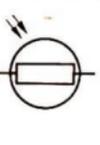
Erklären Sie die Funktionen der in Bild 99/1 genannten Bauelemente, und nennen Sie Beispiele, in denen diese Bauelemente verwendet werden!

Vorteile elektronischer Bauelemente

Die Entscheidung über die Anwendung elektronischer Bauelemente ist von *technischen* und *ökonomischen Faktoren* abhängig. Durch den erreichten Nutzeffekt in der Produktion muß der höhere Aufwand gegenüber den elektrotechnischen Bauelementen ausgeglichen werden. Nur wenn die günstigen Eigenschaften der elektronischen Bauelemente voll ausgenutzt werden können, ist ihr Einsatz zweckmäßig und vertretbar.

Elektronische Geräte bestehen aus sinnvollen Kombinationen solcher Bauelemente. Dabei wirken sich deren besondere Vorteile, wie zum Beispiel

- kleine Abmessungen,
- hohe Lebensdauer,
- vielseitige Verwendbarkeit,
- kurze Ansprechzeit,

Bauelement	Bezeichn./ Funktion	Symbol
	Elektronenröhre Pentode EL 861 Verstärker	
	Transistor Leistungs transistor GD 160 Verstärker Schalter	
	Diode Germaniumdiode GY 113 Gleichrichter Schalter	
	Fotowiderstand Cadmiumsulfid- Widerstand CDS 8 Fühler- Geber	
	Halbleiterwiderst. Thermistor TNA 30-100 Fühler Geber	

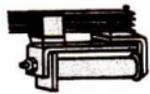
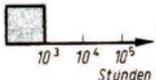
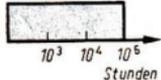
99/1 Einige elektronische Bauelemente

sehr günstig auf die technische Gestaltung von Anlagen und Geräten aus. Die Übersicht 100/1 zeigt im Vergleich die Vorteile eines Transistors gegenüber einem Relais.

Elektronik – Grundlage der modernen Technik

Aus einzelnen Bauelementen werden nach einer Grundschialtung *Baugruppen* (Bild 101/1) entwickelt, die bestimmte Aufgaben

Übersicht 100/1: Vergleich von Transistor und Relais

Vergleich von Bauelementen	
 Relais	 Transistor
 25 cm ³ Volumen	 5 cm ³ Volumen
 100 g Masse	 18 g Masse
 10 ³ 10 ⁴ 10 ⁵ Stunden Lebensdauer	 10 ³ 10 ⁴ 10 ⁵ Stunden Lebensdauer
 max. 200 / s Schalthäufigkeit	 ≈ 100 000 / s Schalthäufigkeit

lösen können. Durch *Standardisierung* entstehen besonders zweckmäßige Einheiten mit vielseitiger Verwendbarkeit. Solche *Bausteine* (Bild 101/2), die nach einem bestimmten System entwickelt werden, ermöglichen den Aufbau vollständiger elektronischer Anlagen. Da bei auftretenden Fehlern die Bausteine schnell ausgetauscht werden können, wird eine hohe *Betriebsicherheit* erreicht. Diese Eigenschaft ist für die weitere Ver-

besserung des Produktionsablaufes und die Steigerung der Produktivität unserer modernen sozialistischen Industrie besonders wichtig.

Die Entwicklung elektronischer Bauelemente und Bausteine ist auch die Voraussetzung und die Grundlage der *elektronischen Rechner*. Das sind komplizierte technische Konstruktionen, die nach Eingeben der Rechenaufgabe (Programmieren) und Einschalten die Aufgabe selbständig lösen und das Ergebnis mitteilen. Da derartige Anlagen oft aus mehreren tausend Elektronenröhren oder Halbleiterbauelementen aufgebaut sind, ist der ökonomische Aufwand für ihre Herstellung sehr hoch. Andererseits können elektronische Rechengerate vielseitige Aufgaben sehr schnell und mit hoher Genauigkeit lösen. Sie werden hauptsächlich in drei Gebieten eingesetzt:

1. Steuerung von Produktionsprozessen

Der Rechner verarbeitet Meßwerte aus der Produktion, und auf Grund der errechneten Werte greifen automatische Anlagen in den Prozeß ein.

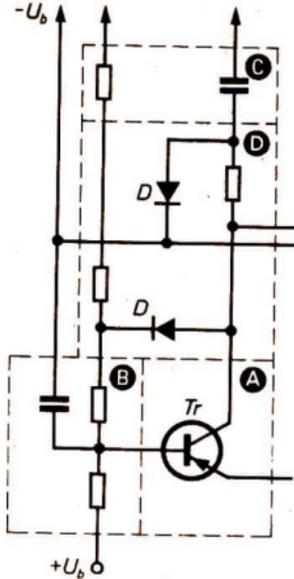
2. Ausführung wissenschaftlicher Berechnungen

Der Rechner ermittelt Ergebnisse aus komplizierten wissenschaftlichen, technischen und ökonomischen Prozessen.

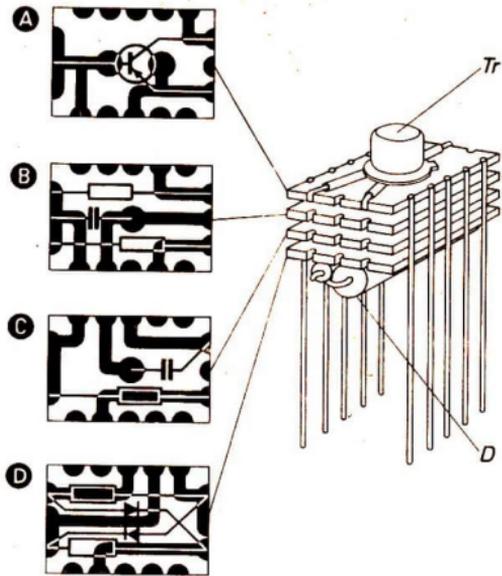
3. Rationalisierung der Verwaltungsarbeit

Der Rechner kann schnell und zuverlässig umfangreiche Informationen erfassen und verarbeiten. Durch Kombination des elektronischen Rechners mit Zusatzeinrichtung entsteht eine *Datenverarbeitungsanlage*.

Die weitere Entwicklung der elektronischen Bauelemente und Grundschaltungen ist durch noch kleinere und zuverlässigere Bausteine gekennzeichnet (Bild 101/3). Diese Entwicklung bestimmt auch die weitere Rationalisierung und Automatisierung der so-



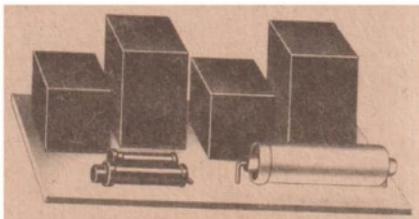
101/1 Schematische Darstellung einer elektronischen Baugruppe



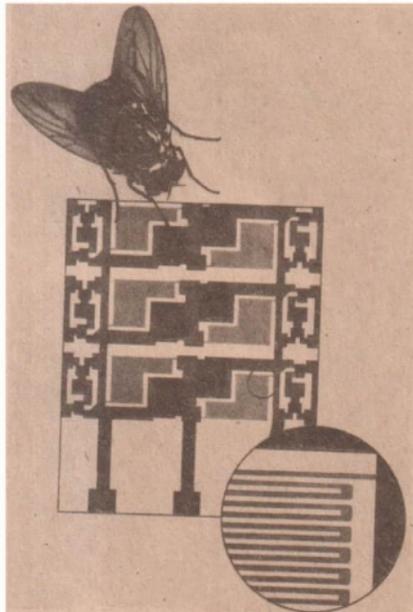
zialistischen Produktion. Die *Elektronik* ist deshalb von großer ökonomischer Bedeutung für unsere Volkswirtschaft.

Aufgaben

1. Welche Art von Zeitverzögerung haben Treppenlichtautomaten?
2. Erläutern Sie anhand des Schaltfolgediagramms in Bild 85/1 die einzelnen Arbeitstakte der Drehmaschine, die nach diesem Programm automatisch gesteuert wird!



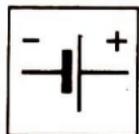
101/2 Elektronische Baugruppe für vielseitige Verwendung



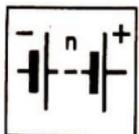
101/3 Größenvergleich: Stubenfliege - Miniaturbauelement

3. Welche Folgen hat es für Anruf und Sprechverkehr, wenn die Batterie des Teilnehmers A in der Fernsprechschtaltung nach Bild 92/1 erschöpft ist?
4. Ein Relais wird mit einem Strom von $I_{err} = 1 \text{ mA}$ bei $U = 3 \text{ V}$ erregt; sein Schaltglied vermag $0,2 \text{ A}$ bei 60 V zu schalten. Berechnen Sie die Schaltleistungsverstärkung dieses Relais!
5. Stellen Sie das Schaltfolgediagramm für zwei Verkehrsampeln einer Straßenkreuzung auf, die den Fahrzeug- und Fußgängerverkehr für zwei Richtungen steuern!

Elektrotechnische Schaltzeichen



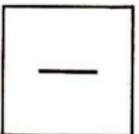
Galvanisches
Element, Akku-
mulator



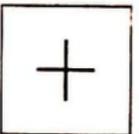
Batterie



Wechselstrom



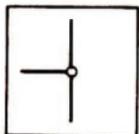
Gleichstrom



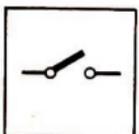
Leitungs-
kreuzung



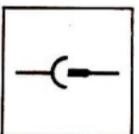
Leitungs-
abzweigung,
allgemein



Leitungs-
abzweigung,
lösbar



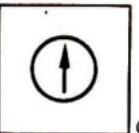
Schalter,
allgemein



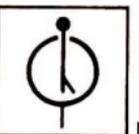
Buchse und
Stecker



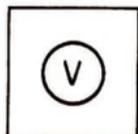
Steckdose



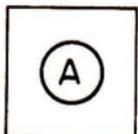
Galvanometer



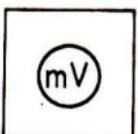
Elektrometer



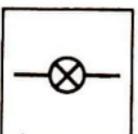
Spannungs-
messer



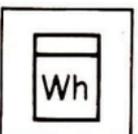
Strommesser



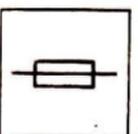
Spannungsmes-
ser (Millivolt)



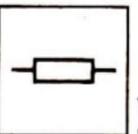
Lampe, Signal-
lampe



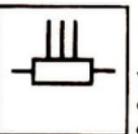
Wattstunden-
zähler



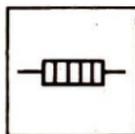
Schmelzsiche-
rung



Widerstand,
allgemein



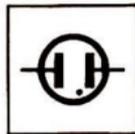
Widerstand mit
drei Anzapfun-
gen



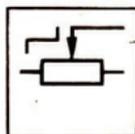
Heizgerät



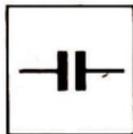
Transformator
mit Kern



Glimmlampe



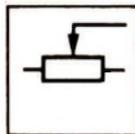
Widerstand,
stufig stellbar



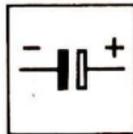
Kondensator



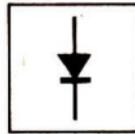
Transistor



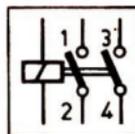
Widerstand,
stellbar



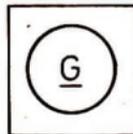
Elektrolyt-
kondensator



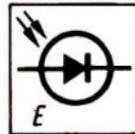
Halbleiter-
diode



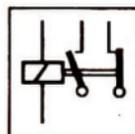
Schütz



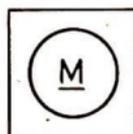
Gleichstrom-
generator



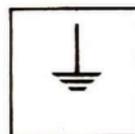
Fotoelement



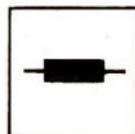
Relais



Gleichstrom-
motor



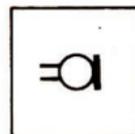
Erde



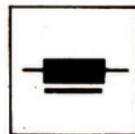
Induktiver
Widerstand



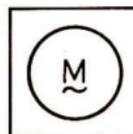
Wechselstrom-
generator



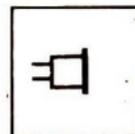
Mikrofon



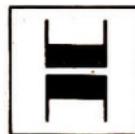
Induktiver
Widerstand
mit Eisenkern



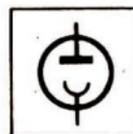
Wechselstrom-
motor



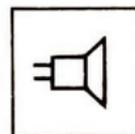
Telefon



Transformator



Fotozelle

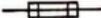
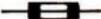
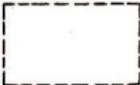
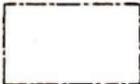


Lautsprecher

Leitungsverbindungen, Übertragungsrichtungen

Benennung	Schaltzeichen	Bemerkungen Beispiele
Leitungskreuz, ohne elektrische Verbindung, einfach		
—, —, dreifach		
—, —, mit elektrischer Verbindung, einfach		Der Punkt muß deutlich sichtbar sein
—, —, dreifach		
Leitungsabzweig		
Leitung mit lösbarer elektrischer Verbindung		Nur anwenden, wenn auf die Lösbarkeit besonders hingewiesen werden soll
Leitungsabzweig mit lösbarer elektrischer Verbindung		
Leitung mit Angabe der Übertragungsrichtung (Strom-, Signal-, Energiefluß)		Nur anwenden, wenn zum Verständnis des Schaltplanes unbedingt erforderlich
Übertragung in zwei Richtungen, gleichzeitig		
Übertragung in zwei Richtungen, nicht gleichzeitig		

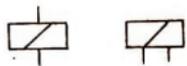
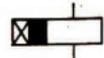
Sicherungen, Gleichrichter, Schirmung, Masse

Benennung	Schaltzeichen	Bemerkungen Beispiele
Sicherung, allgemein		
—, fein		
—, grob		
—, mit Signalkontakt		 ↑ vereinfacht
Gleichrichter		z. B. Halbleiterdiode
—, Reihenschaltung		z. B. Selengleichrichter- säule
Ventil, allgemein		Pfeilrichtung gleich Durchlaßrichtung
Abschirmung		Zur Umgrenzung von Bauelementen
Baugruppe		
Masse, Körper		
Erdung		

Schalter

Benennung	Schaltzeichen	Bemerkungen Beispiele
Schaltglied, Schließer		
—, Öffner		
—, Angabe des beweglichen Gliedes, wenn dieses immer leitend verbunden		Nur im Bedarfsfall anwenden
Umschalter, einpolig		
—, —, mit 3 Stellungen		
—, zweipolig, ohne Unterbrechung der elektrischen Verbindung beim Umschalten		
Zweifach-Schließer		
—, mit getrennter Darstellung der Kontakte		
Schaltglied-Betätigung von Hand		
—, von Hand mit selbsttätigem Rückgang		
—, mechanisch		
—, pneumatisch, hydraulisch		
—, von Schwimmer		Nur im Bedarfsfall anwenden
—, thermisch		
—, zentrifugal		

Elektromechanische Triebssysteme (Relaiswicklung)

Benennung	Schaltzeichen	Bemerkungen Beispiele
Elektromechanisches Triebssystem, Relais-, Auslöserwicklung		
—, mit Widerstandsangabe		vereinfacht
—, mit Stromartangabe		Wechselstromrelais
—, mit Frequenzangabe		Resonanzrelais
—, mit Abfallverzögerung		
—, mit Anzugsverzögerung		
—, wechselstromunempfindlich		
—, überstromempfindlich		
—, unterspannungsempfindlich		
—, mit Anzapfung		

Beispiele für Schaltgeräte

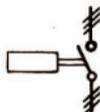
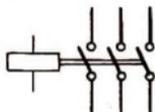
Benennung

Schaltzeichen

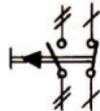
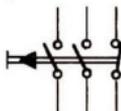
ausführlich

einpolig

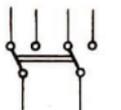
Schalter mit 3 Schließern, elektro-
mechanisches Triebsystem (Schütz)



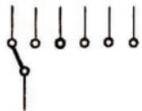
Schalter mit 2 Schließern und 1 Öffner,
handbetätigt, mit selbsttätigem Rückgang



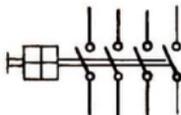
Umschalter, einpolig



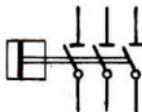
Umschalter, einpolig, für 6 Richtungen



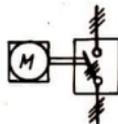
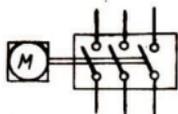
Schloßschalter, dreipolig,
mit 1 Hilfsschließer, handbetätigt



Trenner, dreipolig, Druckluftantrieb



Leistungsschalter, dreipolig,
Motorantrieb



Einphasen- und Drehstromtransformatoren

Benennung	Schaltzeichen	
	ausführlich	einpolig
Einphasen-Transformator, Übertrager, allgemein		
—, mit Ferromagnetkern und Mittelanzapfung		
—, mit drei getrennten Wicklungen		
	<i>oder</i> 	
Drehstrom-Transformator, Stern-Sternschaltung mit herausgeführtem Sternpunkt		
—, Stern-Dreieckschaltung mit herausgeführtem Sternpunkt		

Zum Entwickeln von Schaltplänen

Schaltzeichen

Rechteckige Grundform

Seitenverhältnisse	Schaltzeichen	Benennung
		Widerstand
		Spule
		Sicherung
		Wicklung (Relais, Schütz)
		Thermischer Auslöser
		Hörer
		Hupe

Kreisförmige Grundform

Durchmesser	Schaltzeichen	Benennung
		Drehstrommotor

Kreisförmige Grundform

Durchmesser	Schaltzeichen	Benennung
		Strommesser (ausführlich)
		Spannungsmesser (ausführlich)
		Wechselstromwecker
		Summer
		Strommesser (vereinfacht)
		Spannungsmesser (vereinfacht)
		Lampe, Signallampe
		Mikrofon
		Abzweigung (lösbar)
		Öffner

Abstände und Winkel

Schließer	Zweipoliger Schalter	Schützspule, Relaisspule

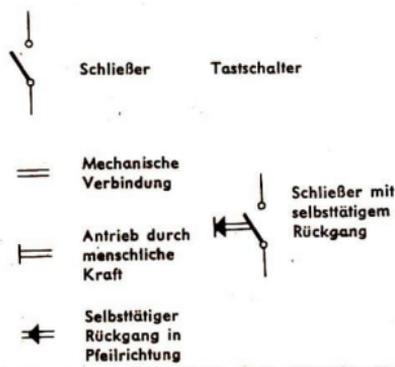
Strichstärken

mm	Linie	Beispiel
0,8		Netz, Schaltstücke
0,5		Hauptleitungen
0,3		Steuer-Meßleitungen, Schaltzeichen
0,3		Wirkverbindung
0,3		Gehäuseumrahmung, Trennlinie

Bezeichnungen

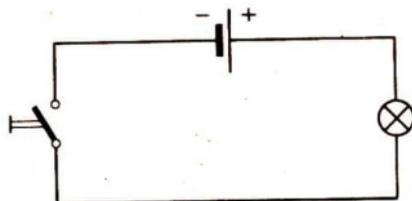
Kennbuchstabe	Beispiele
b	Tastschalter
c	Schütz, Relais
e	Sicherungen
h	Signallampen, Wecker, Hupen
m	Motoren, Transformatoren

Schaltzeichenkombinationen

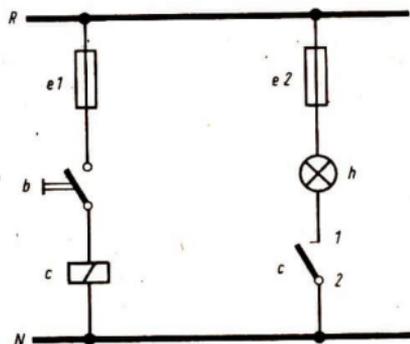


Schaltpläne

Schaltpläne müssen ein klares Bild über die Anordnung und Wirkungsweise der elektrischen Einrichtung geben. Deshalb werden alle Einzelteile und Leitungen gezeichnet. Es ist eine allpolige Darstellung. Die räumliche Anordnung der Schaltelemente wird nicht berücksichtigt.



Zum besseren Erkennen der Schöffolge bei Steuerschaltungen und zum schnelleren Verständnis komplizierter Schaltungen kann eine Schaltung nach Stromwegen aufgelöst werden. Hierbei werden die Stromwege möglichst geradlinig und ohne Kreuzungen dargestellt. Es wird keine Rücksicht auf den mechanischen Zusammenhang von Bauteilen genommen. Die Betriebsmittel werden entsprechend gekennzeichnet und numeriert.



Register

- Abstrahlungsfläche 54
Aldrey 39
Alkalibehandlung 13
Allgebrauchslampe 53
Aluminium 37, 39
Anlagen, automatische 97
Anlassen 75
Anlaßhilfen 75
Anlaßtransformatoren 75
Anlaßwiderstände 75
Anlaufdrehmoment 74
Anlaufstrom 73
Anlaufstromstärke 73
Anschläge 86
Anschlußklemme 56
Anschlußmaße 78
Antrieb, elektromotorischer 67
Antriebsseite 70
Anzeigewert 28
Arago 72
Arbeitsenergie 98
Arbeitsschutzinspektion 10
Arbeitsstromkreis 83
Asbestisolation 42
Atemspende 12
Aufbau, symmetrischer 61
Augenblickswert 61
Ausschaltung 46
Ausschaltungsverzögerung 84
Austauschmöglichkeit 78
Außenleiter 60
- Bajonettsockel 53
Bauelement 81
Bauelement, elektronisches 98
Bauform 77
Baugruppen 99
Baumwollspinnung 41
Bausteine 100
Beanspruchung, elektrische 41
Beanspruchung, chemische 42
Beanspruchung, mechanische 41
Beanspruchung, thermische 42
Bedarfschwankungen 35
Belastung 74
Belastungsgebirge 35
Belastungsspitzen 38
- Belastung, symmetrische 61
Beleuchtung, elektrische 53
Beleuchtungszweck 56
Belüftung 71
Berührungsspannung 77
Beschleunigungsmoment 68
Betriebsart 77
Betriebssicherheit 100
Betriebsverhalten 73
binär 92
Blendung 55
Blendungsfreiheit 54
Blindstromanteil 74
Blinklicht 88
BMSR-Technik 79
Brandefahr 10
Buna 40
Bürste 68
- Codierung 88
- Dampfkraftwerk 31
Dampfmaschine 66
Datenverarbeitungsanlage 100
Dauerbelastung 41
Dauermagnet 58
Dauersignale 88
Dieselmotor 66
Differenzstrom 62
digital 92
Digitaltechnik 93
Direkt-Leuchten 56
Dobrowolski 67
Drahtbruch 15
Drehheisenmeßwerk 22
Drehfeld 63
Drehfeldrehzahl 72
Drehmoment 71
Drehmomentencharakteristik 68
Drehrichtung 75
Drehspulmeßwerk 22
Drehstrom-Asynchronmotor 66
Drehstrommeßgerät
mit drei Meßwerken 22
Drehstrommeßgerät
mit zwei Meßwerken 22
Drehwähler 83, 92
- Drehzahl 59
Dreieckschaltung 62
Dreileitersystem 60
Dreiphasenwechselstrom-
generator 59
Dreiphasenwechselstrom-
system, offenes 58
Dreiphasenwechselstrom-
system, verkettetes 59
Durchgangsprüfungen 16, 17
Durchschlag 41
Durchzugsbelüftung 71
Dynamobleche 69, 70
- Edelmetalle 44
Eingangssignale 92
Einheit 15
Einheitsmotoren 77
Einschaltungsverzögerung 84
Einzelantriebe 66
Elektroakustik 79
Elektroenergieerzeugung 39
Elektroindustrie 7
Elektrolyse 37
Elektrolyt-Kupfer 37
Elektromaschinenbau 5
Elektromotorische Kraft 72
Elektronenröhre 98
Elektronenstrom 98
Elektrowärme 49
Elektrowärmegeräte 50
Elektrowärmeprozesse 37
Endlagenschalter 86, 94
Energieerzeugungsanlagen 14
Energiefluß 35
Energieumwandlung 49
Erdung 77
Erregerleistung 83
Erregerstrom 83
Erregerstromkreis 83
Erste Hilfe 12
Explosionsgefahr 10
- Fallklappe 89
Falzrohr 42
Faraday 66
- Farbencode 88
Farbfilter 86
Fassung 54, 56
Fehlergruppen 15
Fehler, systematische 89
Fehler, zufällige 28
Feld, elektrisches 98
Fernbetätigung 75
Fernmeldetechnik 79
Fernsehhempfänger 38
Fernsprechanlage 90
Fernsprechschtaltung 91
Fernsprechzentrale 92
Fernsteuerung 98
Fernüberwachung 98
Fernwerktechnik 79
Folgeschaltung 93
Fotodiode 86
Fotowiderstand 86, 98
Fotozelle 98
Frequenz 59
Füllstand 87
Füllstand, Fernüberwachung
eines 95
Funkenbildung 68
- Gabelumschalter 91
Gasentladungslampen 49
Gasstrecke 49
Gebrauchslage 22
Gegensprechen 91
Geiger-Müller-Zählrohr 98
Gelblichweiß 54
Generator 31
Geräte 81
Gesamtenergieaufkommen 37
Gleichförmig-Leuchten 56
Gleichstromelektromagnete 5
Gleitlager 71
Glimmer 42
Glimmlampe 16
Glimmlicht 16
Glimmzünder 54
Glühlampen 53
Grenztemperatur 71
Grenzwerte 85
Grenzwertkontakt 95

- Grenzwertschalter 85
 Großkraftwerke 81
 Grundlastkraftwerke 35
 Grundsicherungen 46
 Grundstoffindustrie 37
 Gruppenumspannwerk 36
- Handapparat 91
 Hartgewebe 40
 Hartgummi 40
 Hartpapier 40
 Hauptumspannwerk 36
 Hauptverbrauchergruppen 37
 Haushaltskühlchränke 38
 Haushaltswaschmaschinen 38
 Heizwiderstände 49
 Herzkammerflimmern 11
 Höchststromstärke 41
 Hörmelder 87, 90
- IEC 78
 Impulssignale 88
 Indirekt-Leuchten 56
 Induktionswärme 49
 Industrientele 36
 Industrieproduktion 37
 Informationen, ökonomische 98
 Informationselektrik 7
 Infrarotstrahler 49
 Innenpolwechselstrom-generator 58
 Innenwiderstand 24
 Innenwirtschaft 38
 Installationsfernsteuerung 48
 Isolierstoffe 39
 Isoperlonlack 69
 Istwert 96
- Jacobi 67
- Kabelwerke 5
 Kalziumkarbid 38
 Keramikperlen 42
 Kernkraftwerk 34
 Kinderspielzeug, elektrisches 12
 Klappanker 82
 Klemmbrett 70
 Klemmkasten 70
 Klemmstellen 15
 Kohlenfadenlampe 53
 Kontaktabbrand 76
 Kontakthahnen 84
 Kontaktfinger 83
 Kontaktthermometer 87
 Kontaktübergangswiderstand 81
 Kontaktwerkstoffe 44
 Körperschluß 15
 Kraftmaschinen 66
 Kraftwerksarten 31
 Kraftwerksleistungen 38
 Kragensteckvorrichtungen 43
 Krämpfe 11
 Kunstharzlackierung 41
- Kunststoffe 40
 Kupfer 39
 Kurzschluß 15
 Kurzzeitrelais 84
- Laboratoriumsmeßgeräte 21
 Lagerschilder 71
 Lamelle 68
 Landwirtschaft 38
 Langzeitrelais 84
 Läufer 69, 70
 Läufergestell 71
 Läuferstrom 74
 Leerlauf 74
 Leerlaufdrehzahl 74
 Legierungen 40
 Leistungselektrik 7
 Leistungsfaktor 74
 Leistungsmesser 20, 26
 Leistungsmessung 26
 Leistungsverstärkung 93
 Leiter 62
 Leiterquerschnitt 41
 Leiterspannung 60, 62
 Leiterstrom 62
 Leiterwerkstoffe 39
 Leitfähigkeit 39
 Leitungen 39
 Leitungsarten 40
 Leitungsschutzschalter 45
 Leitungsschutzsicherungen 45, 46
 Leuchten 53, 55
 Leuchten, Einteilung der 56
 Leuchtmelder 89
 Leuchtstofflampen 49
 Leuchtstoffschichten 49
 Leuchttaste 90
 Licht 98
 Lichtausbeute 54
 Lichtbogenlampen 49
 Lichtbogenlöschung 76
 Lichtbögenöfen 49
 Lichtbogenschweißen 49
 Lichtfarben 54
 Lichtquelle 53
 Lichtzufuhranlagen 88
 Lichtschrank 86
 Lichtstrahlen 49
 Lichtstreuung 53
 Lichtverteilung 55, 56
 Lichtverteilungskurve 56
 Lüfter 70
 Luftschutz 76
- Magnesium 37
 Magnetfeld 63
 Magnetfluß 71
 Magnetrandel 63
 Maximalwerte 58
 Mehrbereichsinstrumente 26
 Mehrfachunterbrechung 76
 Meldeformen 88
- Meldegeräte 87
 Merkmale, konstruktive 77
 Messen 97
 Meßbereich 28
 Meßbereichserweiterungen 23
 Meßbrücke 26
 Meßfühler 29
 Meßgeräte, Kennzeichen der 22
 Meßgeräte, tragbare 21
 Meßgröße 20
 Meßtechnik, elektrische 14
 Meßwerke 22
 Meßwert 20, 28
 Meßwert, Feststellen des 28
 Metallfaltenbaig 87
 Metallkalfig 64
 Mikrofön 91
 Mikrofontransformator 91
 Mikrotelefon 91
 Mittelpunktleiter 60
 Momentanwerte 64
 Motordrehmoment 67
- NAKBA 43
 Nachrichtenübertragung 81
 Nachtstrom-Wärmespeicher-öfen 50
 Nennmoment 74
 Nennstromstärke 41
 Neutralweiß 54
 NGA 42
 Nickel 37
 Niederspannungs-Leuchtstofflampen 53
 Nockenleisten 86
 Nockenwalze 85
 NSH 43
 Nullstellung 22
 Nullung 77
 NYA 42
 NYFI 42
- OB-Betrieb 91
 Oberflächenbelüftung 71
 ODER-Schaltung 92
 Öffner 44, 82
 Olschutz 77
 Ortsnetz 36
 Ottomotor 66
- Papier 40
 Phasenverschiebung 58, 71
 Polpaare 59
 Pulsucher 15
 Primärstromkreis 83
 Prinzip, elektrodynamisches 67
 Programmgeber 85
 Prüfen 15
 Prüfergebnis 15
 Prüf-Fix 17
 Prüfspannungszeichen 22
 Pumpspeicherwerk 33
 PVC-Rohr 42
- Rat für Gegenseitige Wirtschaftshilfe 35
 Rationalisierung 77
 Raumbelichtung 50
 Raumschutzanlage 95
 Rechenstechnik 93
 Rechnen 97
 Rechner, elektronischer 100
 Regelgröße 97
 Regeln 97
 Relais 45, 82
 Relais, gepoltes 83, 95
 Relais, neutrales 83
 Relativdrehzahl 72
 RGW 78
 Rollen 86
 Ruftaste 91
 Ruhestromschaltung 95
 Rundrelais 82
- Schaltdiagramm 84
 Schalter 43
 Schalter, handbetätigte 82
 Schaltfolgediagramm 85
 Schaltfrequenz 81
 Schaltgerät 43, 81
 Schaltglieder 75
 Schalthäufigkeit 77
 Schaltklinke 83
 Schaltkombinationen 93
 Schaltkontakte 44
 Schaltleistungsverstärkung 83
 Schaltpläne, Aufnehmen von 18
 Schaltschritt 85
 Schaltsteuerungen 92
 Schaltschutz 43, 44
 Schalttafelmeßgeräte 20
 Schaltwarte 14
 Schaltzyklus 85, 97
 Schauzeichen 17, 89
 Schleudergußverfahren 70
 Schließer 73
 Schlupf 73
 Schlupfdrehzahl 73
 Schrittschaltwerke 83
 Schutzgrad 77
 Schutzisolierung 12
 Schutzkleinspannung 12
 Schutzmaßnahmen 12
 Schutzschaltung 77
 Schutzschaltung 75
 Schutztransformator 12
 Schwachstromtechnik 7, 79
 Sekundärstromkreis 83
 Serienschaltung 46
 Sicherungen 43, 45
 Sichtmelder 87, 89
 Siemenskonzern 67
 Signale 81
 Sirene 90
 Skalennendwert 28
 Sollwert 96

- Spannung, Messen der 23
 Spannungsabfall 24
 Spannungsmesser 20
 Spannungsprüfung 15
 Spannungssucher 16
 Spritzenlastkraftwerke 33, 35
 Sprechstromkreis 91
 Spritzgußverfahren 20
 Stabform 54
 Stahl 39
 Stahlpanzerrohr 42
 Stahlrohr 42
 Standardisierung 77, 100
 Ständer 69
 Ständerblechpaket 69
 Ständerspulen 59
 Ständerwicklungen,
 Schaltung der 74
 Starkstromtechnik 7, 31
 Steckdose 45
 Stecker 45
 Steckrelais 83
 Steckvorrichtungen 43, 45
 Stellschalter 43, 44
 Stern-Dreieck-Schalter 75
 Sternschaltung 60, 61
 Steuerbefehl 85
 Steuerenergie 98
 Steuern 97
 Steuerstromkreis 83
- Strahlung, radioaktive 98
 Strangspannung 60, 62
 Strangstrom 62
 Strommesser 20
 Stromstärke, Messen der 22
 Stromstoß 83
 Stromstoßrelais 48
 Summer 17, 90, 91
 synchron 72
- Tagesbelastungskurve 34
 Tageslicht 54
 Tastschalter 43, 44
 Temperaturwächter 87
 Tensionsfühler 87
 Tesla 67
 Thermistor 98
 Thermoumformer 22
 Transformator 35
 Transformatorstation 36
 Transistor 98
 Triebssystem, elektrisches 75
 Trockengleichrichter 22
 Turbine 33
- Überlaufspeicher 50
 Übertragungsmechanismen 66
 U-Form 54
 Umkehrschaltung 94
 Umlenkspiegel 86
- UND-Schaltung 93
 Unfall, elektrischer 11
 Unfallgefahr 9, 10
 Unterspannung 54
 UV-Strahlen 49
- Verbindung, galvanische 68
 Verbrennungen 11, 13
 Verbundbetrieb,
 internationaler 36
 Verbundnetz 36
 Verkettungsfaktor 60
 Vermittlungstechnik 92
 Verknüpfung 92
 Verriegelungsschaltung 94
 Verzögerungszeit 84
 Vielfachmesser 27
 Vielleitersystem 60
 Volkswirtschaftsplan 6
 Vorschaltrossel 54
 Vorwiegend-Direkt-Leuchten 56
 Vorwiegend-Indirekt-
 Leuchten 56
- Wagnerscher Hammer 90
 Wahlschalter 96
 Wälzlager 71
 Wärme 98
 Wärmebeständigkeit 77
 Wärmeenergie 49
- Wärmeenergie 49
 Wärmekraftwerk 33
 Wärmestrahlung 49
 Warmwasserbereitung 50
 Warmton 54
 Warte 88
 Wasserkraftwerk 33
 Wechselschaltung 46
 Wechselspannung 58
 Wechsler 82
 Wecker 90
 Weichgummi 40
 Welle 70
 Wellenstumpf 75
 Werkstoffe, ferromagnetische 72
 Werkstoffkombinationen 44
 Wheatstonesche Brücke 26
 Widerstandsbestimmung 24
 Widerstandsrehmoment 48
 Widerstandsmesser 20
 Widerstandswerkstoffe 39
 Wiederbelebung 12
 Wirbelstrombildung 59
 Wirbelstromverluste 69
 Wolfram 44
- ZB-Betrieb 91
 Zeitrelais 47, 84
 Zeitrelaischaltung 47
 Zink 39
 Ziellichterscheinungen 56

Quellennachweis der Bilder

Bild-Archiv Volk und Wissen: 20/1, 21/1 a, 21/1 b; 32/1, 46/2, 50/1, 51/5, 52/2, 52/3, 57/1, 71/3, 71/4, 85/2, 87/3, 90/1; Brückner, Karl-Marx-Stadt/Borna: 50/2; Brüggemann, Leipzig: 7/1, 36/1, 51/4; Fey, Berlin: 44/2, 44/3; Gröhnert, Berlin: 42/1, 42/2, 42/3, 43/1 a; Jaumann, Großbreitenbach: 83/1; Dr. Mantel, Berlin: 65/1, 69/2 a und b; Michaelis, Lübbenau/Spreewald: 44/1; Nauert, Leipzig: 43/1 b; PGH Fotostudio, Leipzig: 87/1; Risch, Wernigerode: 70/1; Royé, Halle: 68/1; Schröter, Leipzig-Markleeberg: 51/3; Seifert, Berlin: 5/1, 10/1, 14/2, 16/1, 16/2, 18/1, 19/1, 21/3, 21/4, 26/1, 28/1, 31/2, 43/1, 45/2, 55/1, 55/2, 70/2, 84/1; v. d. Thann, Thalheim: 97/1; Prof. Dr. Wachner, Glienicke: 72/1; Wolff, Görlitz: 86/2; VEB Elektro-Apparate-Werke, Berlin: 45/1, 76/1; VEB Elektromotorenwerk, Wernigerode: 70/3; VEB LEW, Hennigsdorf: 51/2; VEB MEB, Berlin: 5/2, 79/1; Zentralbild, Berlin: 7/2, 9/1, 9/2, 14/1, 31/1, 33/1, 34/1, 57/2, 79/2.

Kurzwort: 061003 Lehrb. ESP KI 10
Schulpreis DDR: 1,60