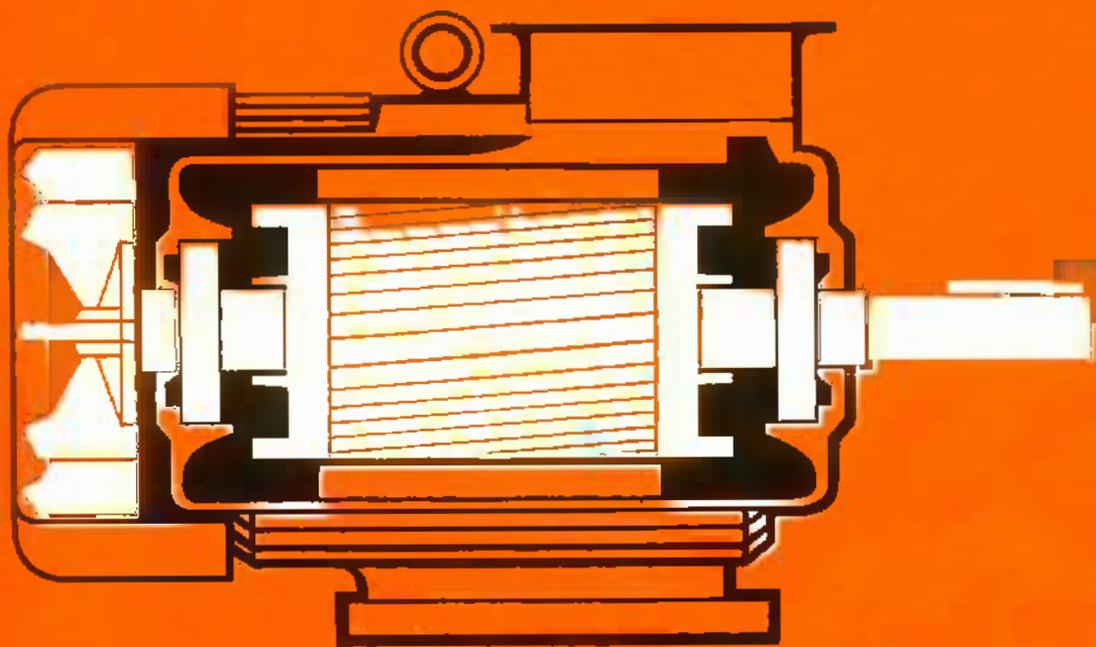
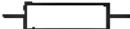
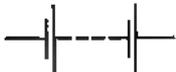
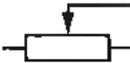
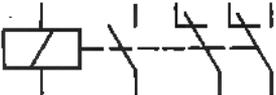


10

Einführung in die sozialistische Produktion



Schaltzeichen der Elektrotechnik

 <p>Galvanisches Element</p>	 <p>Schaltgerätekontakt Schließer</p>	 <p>Widerstand, allgemein</p>
 <p>Batterie</p>	 <p>Schaltgerätekontakt Öffner</p>	 <p>Widerstand, stellbar</p>
 <p>Gleichspannung Gleichstrom</p>	 <p>Schaltgerätekontakt Umschalter</p>	 <p>Kondensator</p>
 <p>Wechselfspannung Wechselstrom</p>	 <p>Schaltgerätekontakt mit selbsttätiger Rückkehr</p>	 <p>Spule</p>
 <p>Leitungsabzweigung</p>	 <p>Umschalter, zweipolig</p>	 <p>Transformator</p>
 <p>Buchse und Stecker</p>	 <p>Relais mit Schließer, Öffner, Umschalter</p>	 <p>Drehstromgenerator</p>
 <p>Steckdose</p>		 <p>Drehstrommotor</p>

Einführung in die sozialistische Produktion

Lehrbuch für Klasse 10



Volk und Wissen
Volkseigener Verlag Berlin
1984

Autoren:

Werner Döhl (Volkswirtschaftliche Bedeutung der Elektrotechnik; Umgang mit elektrotechnischen Betriebsmitteln; Erzeugung, Verteilung und Umwandlung elektrischer Energie; Elektrowärme und elektrische Beleuchtung)

Artur Kondritz (Einführung in die Prüf- und Meßtechnik)

Dr. Conrad Sachs (Drehstrom)

Prof. Dr. Gerhard Wachner (Drehstrom-Asynchronmotoren)

Heinz Gottschalk (Einführung in die Schwachstromtechnik-Informationselektrik)

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



© Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1978

7. Auflage

Ausgabe 1978

Lizenz-Nr.: 203 1000/84 (UN 06 10 04-7) VWV 10/83

LSV 0681

Redaktion: Eberhard Zeuschner

Einband: Karl-Heinz Wieland

Zeichnungen: Waltraud Schmidt

Typografische Gestaltung: Horst Albrecht

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: (140) Druckerei Neues Deutschland, Berlin

Schrift: 9 Punkt Univers

Redaktionsschluß: 15. Juni 1983

Bestell-Nr. 730 763 2

Schulpreis DDR: 1,60

Inhalt

Volkswirtschaftliche Bedeutung der Elektrotechnik.	5
Notwendigkeit der Steigerung der Elektroenergieerzeugung	6
Bedeutung des Industriebereiches Elektrotechnik/Elektronik und die Vorteile der Elektroenergie	9
Hauptbereiche der Elektrotechnik/Elektronik	11
Umgang mit elektrischen Betriebsmitteln	12
<i>Die Wirkung des elektrischen Stromes auf den menschlichen Körper</i>	14
<i>Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Berührungsspannungen</i>	15
<i>Erste Hilfe bei Unfällen durch den elektrischen Strom</i>	16
Einführung in die Prüf- und Meßtechnik	18
Elektrisches Prüfen – elektrisches Messen	19
<i>Prüfen</i>	19
<i>Messen</i>	19
Fehler in elektrotechnischen Anlagen und Geräten	19
Spannungsprüfungen	20
Durchgangsprüfungen	20
<i>Geräte zur Durchgangsprüfung</i>	21
<i>Hinweise und Anwendungsbeispiele zu Durchgangsprüfungen</i>	22
<i>Aufnahmen von Schaltplänen</i>	23
Meßgeräte und Meßtechnik	25
<i>Einteilung der Meßgeräte nach der zu messenden Größe</i>	25
<i>Einteilung der Meßgeräte in Genauigkeitsklassen</i>	25
<i>Kennzeichnung der Meßgeräte</i>	26
<i>Messen der Stromstärke</i>	27
<i>Messen der Spannung</i>	28
<i>Meßbereichserweiterung für Strom- und Spannungsmesser</i>	28
<i>Widerstandsbestimmungen</i>	30
<i>Leistungsbestimmungen</i>	33
<i>Mehrbereichsinstrumente und Vielfachmesser</i>	33
Meßfehler	36
Weitere Anwendungsbeispiele der Prüf- und Meßtechnik.	37
Einführung in die Starkstromtechnik (Leistungselektrik)	38
Erzeugung, Verteilung und Umwandlung elektrischer Energie	39
<i>Erzeugung elektrischer Energie</i>	39
<i>Fortleitung und Verteilung elektrischer Energie</i>	42
<i>Energiefluß vom Kraftwerk zum Verbraucher</i>	44

<i>Internationaler Verbundbetrieb</i>	44
<i>Elektrische Leitungen</i>	46
<i>Schaltgeräte</i>	52
<i>Grundschaltungen der Installationstechnik</i>	56
Elektrowärme und elektrische Beleuchtung	58
<i>Umwandlung der Elektroenergie in Wärme- und Lichtenergie</i>	58
<i>Elektrowärmegeräte und Verfahren der technischen Nutzung der Elektrowärme</i>	59
<i>Vergleich von Elektrowärme mit anderen Wärmequellen</i>	64
<i>Elektrische Beleuchtung</i>	66
Drehstrom	70
<i>Drehstrom</i>	71
<i>Drehstromerzeugung</i>	74
<i>Drehstromsysteme</i>	75
<i>Drehfeld</i>	82
Drehstrom-Asynchronmotoren	86
<i>Drehstrom-Kurzschlußläufermotor</i>	86
Einführung in die Schwachstromtechnik (Informationselektrik)	98
Aufgabengebiete der Schwachstromtechnik	99
Schaltgeräte	100
<i>Tast- und Stellschalter</i>	101
<i>Relais</i>	102
<i>Schrittschaltwerke</i>	105
<i>Zeitrelais</i>	105
<i>Programmgeber</i>	106
<i>Grenzwertschalter</i>	107
Meldegeräte	110
<i>Sichtmelder</i>	111
<i>Hörmelder</i>	112
Einfache Schaltungen der Schwachstromtechnik	113
<i>Fernsprechschtaltung</i>	113
<i>Selbsthalteschtaltung</i>	114
<i>Verknüpfungsschtaltung</i>	114
<i>Speicherschtaltung</i>	117
<i>Verriegelungsschtaltung</i>	118
<i>Überwachungsschtaltung</i>	119
Die Bedeutung der Schwachstromtechnik (Informationselektrik) und Automatisierungstechnik für die Entwicklung der Volkswirtschaft	121
Elektronik – Grundlage moderner Technik	122
<i>Schaltungsintegration</i>	123
<i>Systemtechnik</i>	124
Register	126

- ▶ Merksätze
- Beispiele
- Aufgaben

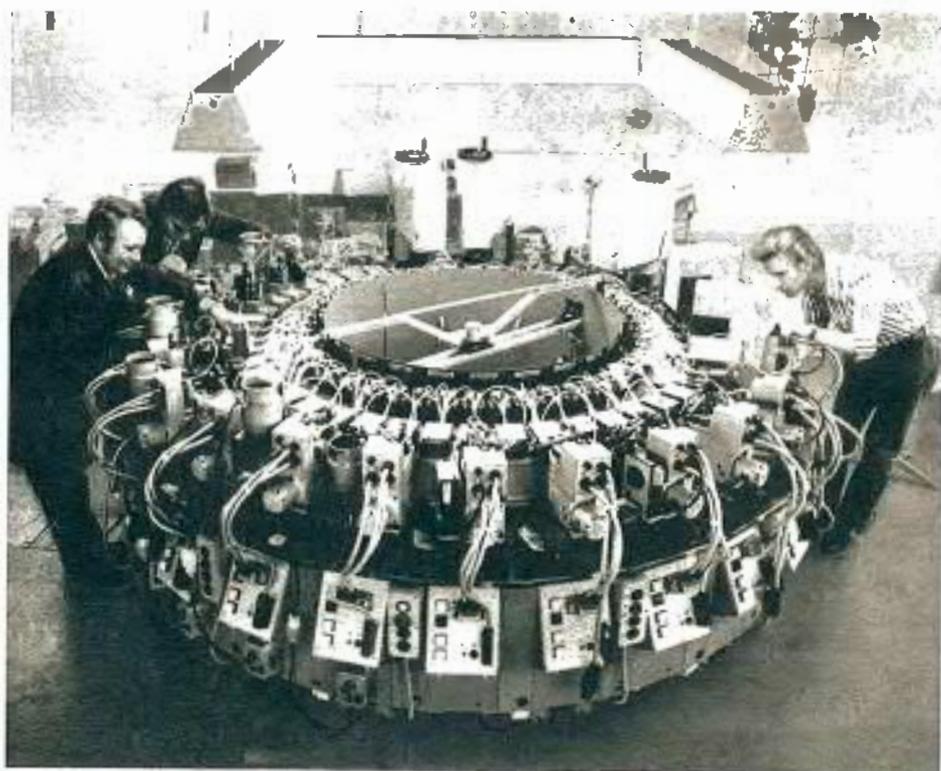
↗ siehe ⚡ Gefahrenmomente
 Tech i Üb: Technik und Produktion in Übersichten
 Ph i Üb: Physik in Übersichten

Volkswirtschaftliche Bedeutung der Elektrotechnik

Eine hochentwickelte und leistungsstarke Industrie und Landwirtschaft sind eine entscheidende Voraussetzung für die Erfüllung unserer gesellschaftlichen Zielstellung: die weitere Gestaltung der entwickelten sozialistischen Gesellschaft in der Deutschen Demokratischen Republik und die Schaffung der grundlegenden Voraussetzungen für den allmählichen Übergang zum Kommunismus.

Die Realisierung dieser Zielstellung ist eng verbunden mit der Energiewirtschaft, im besonderen mit der Erzeugung von Elektroenergie.

Untenstehendes Bild zeigt Elektromotoren als Einzelantrieb für die vollautomatische Verschlußmontage von Kleinbildkameras im Kombinat Pentacon.



Notwendigkeit der Steigerung der Elektroenergieerzeugung

Dem Bedarf unserer wirtschaftlichen Entwicklung entsprechend, wurden in den Jahren 1971 bis 1975 durch Investitionen von etwa 14 Milliarden Mark Kapazitäten für die Erzeugung von Elektroenergie erbaut. Dadurch wurde es möglich, die erzeugte Elektroenergie von 67 Milliarden kWh im Jahre 1970 auf 86 Milliarden kWh im Jahre 1975 zu erhöhen, 1979 waren es 97 Mrd. kWh.

Der Bedarf an Elektroenergie wächst jedoch ständig. Ursache dafür ist in erster Linie die weitere Intensivierung in allen Bereichen unserer Volkswirtschaft.

Der Hauptverbrauch an Elektroenergie liegt in der *Industrieproduktion*.

Dabei sind einige Industriezweige besonders energieintensiv. An erster Stelle steht hier die Grundstoffindustrie mit ihren wichtigen Zweigen, dem Bergbau, der Metallurgie und der chemischen Industrie. Folgende Übersichten geben Aufschluß über den Energiebedarf in einigen Bereichen der Grundstoffindustrie:

Übersicht: Energiebedarf bei der Elektrolyse

Produktion	Energiebedarf in kWh je t
Elektrolyt-Kupfer	etwa 8 000
Nickel	etwa 14 000
Aluminium	etwa 22 000
Magnesium	etwa 36 000

Übersicht: Energiebedarf bei Elektrowärmeprozessen

Produktionsprozeß	Energiebedarf in kWh je t
Herstellen von Elektrostahl im Elektro-Lichtbogenofen	750
Schmelzen von Kalzium-Karbid im Lichtbogenreduktionsofen	2 800 ... 4 000
Herstellen von Stickstoffoxid im Lichtbogen-Gas-Reaktionsofen (bezogen auf 1 t Salpetersäure)	15 000 ... 17 000

Im Jahre 1975 entfielen 3,9 Prozent des gesamten Energiebedarfs auf die *Landwirtschaft*. Das darf aber nicht zu dem Schluß führen, daß die Landwirtschaft energiewirtschaftlich von untergeordneter Bedeutung ist. Durch die besonderen Bedingungen in der Landwirtschaft (festgelegte Zeiten für Füttern und Melken) treten Belastungsspitzen auf, die nicht selten mit den Belastungsspitzen der übrigen Verbraucher zusammenfallen und dadurch zu einer Überlastung des Netzes führen.

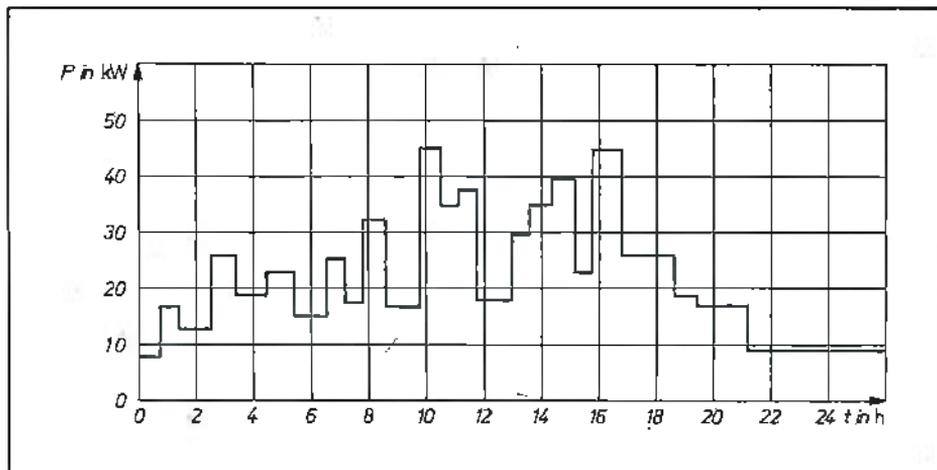


Bild 7/1 Tagesbelastungskurve eines volkseigenen Gutes (VEG)

Durch die weitere Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktion nach industriemäßigen Methoden, die Bildung von spezialisierten LPG, den Bau von Futterwerken, das Entstehen von agrochemischen Zentren und den weiteren Aufbau von industriellen Anlagen der tierischen Produktion wächst auch der Energiebedarf der Landwirtschaft.

Die *Haushalte* sind in den letzten Jahren wesentlich moderner geworden. Waschmaschine, Kühlschrank, Fernsehgerät, Staubsauger, Elektroherd u. a. sind immer mehr Ausdruck des steigenden Lebensstandards der Bevölkerung.

Das wird in folgender Übersicht deutlich:

Ausstattung je 100 Haushalte mit elektrischen Geräten					
Geräte	1960	1965	1970	1975	1979
Haushaltkälteschränke	6,1	25,9	56,4	84,7	102,2
Haushaltwaschmaschinen	6,2	27,7	53,6	73,0	79,9
Fernsehempfänger	18,5	53,7	73,6	87,9	103,5

Mit dem höheren Ausstattungsgrad der Haushalte wächst auch deren Bedarf an Elektroenergie. Zwar benötigt ein einzelnes Gerät verhältnismäßig wenig Elektroenergie, jedoch führt die ständig steigende Zahl der Geräte in den Haushalten auch zu einem Anwachsen des Energiebedarfs. So betrug der Anteil der Haushalte am Gesamtenergiebedarf im Jahre 1975 10,3%, 1979 waren es 11,2%.

Die aufgezeigten Entwicklungstendenzen lassen erkennen, daß der 1975 erreichte Stand der Elektroenergieerzeugung von 86 Mrd. kWh in der gegenwärtigen Zeit nicht mehr ausreicht. Um die weitere Intensivierung in allen Bereichen der Volks-

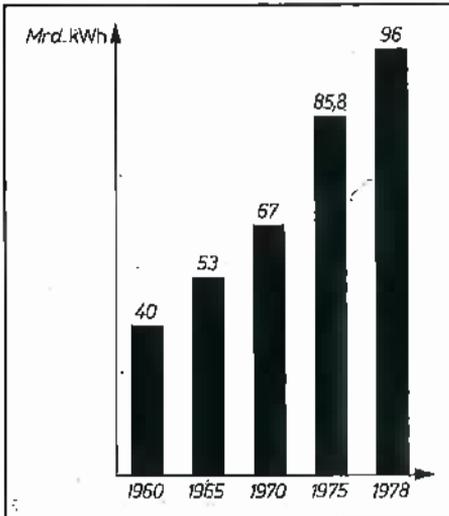
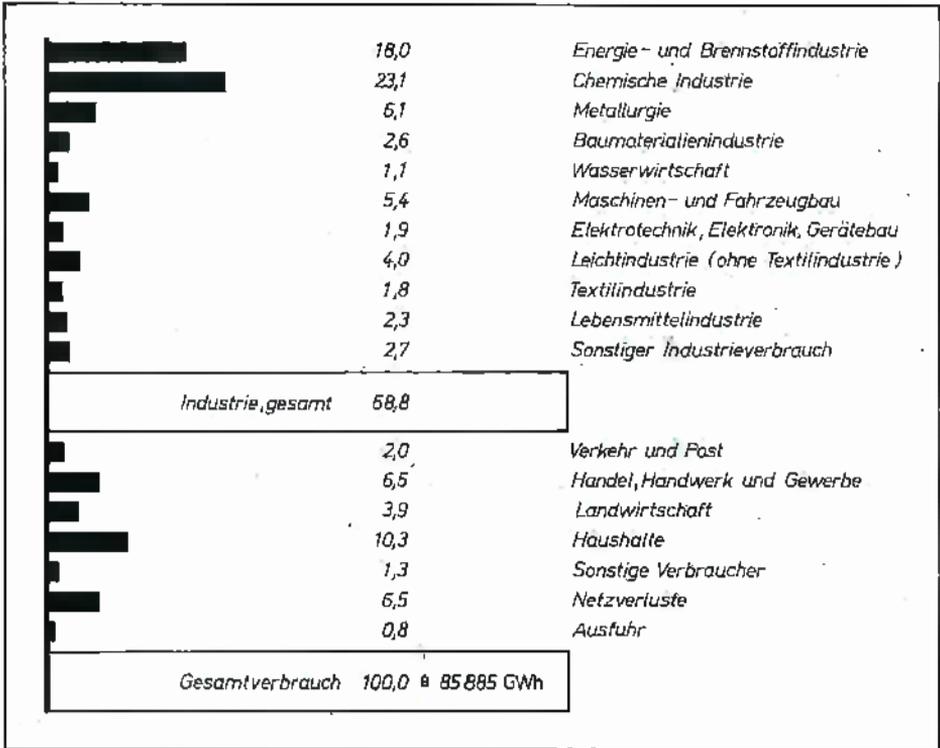


Bild 8/1 Anteilmäßiger Bedarf an Elektroenergie in ausgewählten Industriezweigen

Bild 8/2 Entwicklung der Elektroenergieerzeugung in der DDR

wirtschaft zu gewährleisten und den steigenden Bedarf der Haushalte zu decken, war 1978 eine Jahresproduktion von rund 96 Mrd. kWh Elektroenergie erforderlich. Das bedeutet, daß neben der Einsparung von Elektroenergie in allen Berei-

- **Nennen Sie wichtige Braunkohlelagerstätten in unserer Republik!**
Nehmen Sie dabei den Atlas Geographie zu Hilfe!

chen der Volkswirtschaft in den Jahren 1976 bis 1980 eine Kraftwerksleistung von etwa 5000 MW neu installiert werden müßte.

Um dieses Ziel zu erreichen, waren die bisher vorhandenen Kraftwerksanlagen durch Aus- bzw. Neubau zu erweitern.

Der wichtigste Energieträger für die Erzeugung von Elektroenergie in unserer Republik ist die Rohbraunkohle.

Eine Steigerung der Elektroenergieerzeugung durch Kraftwerksneubau erfordert deshalb eine entsprechende Entwicklung in der Braunkohlenindustrie.

Dabei sind die vorhandenen Braunkohlenlagerstätten durch Intensivierungsmaßnahmen rationell zu nutzen, die Kapazitäten der vorhandenen Tagebaue zu erweitern und neue Tagebaufelder zu erschließen:

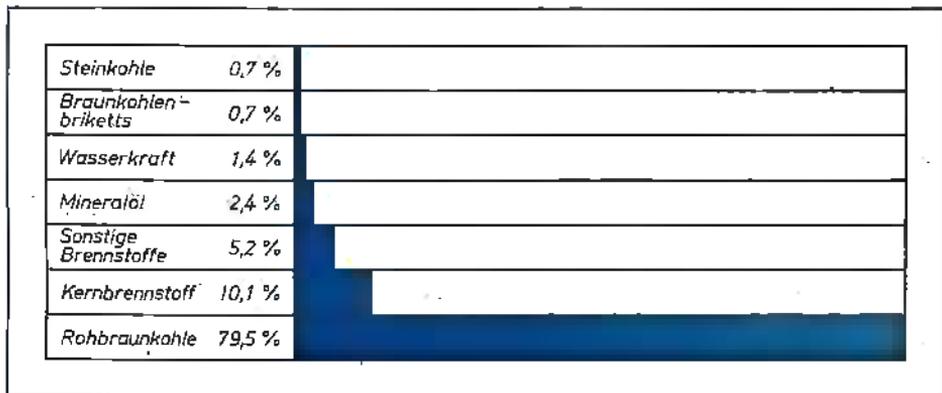


Bild9/1 Anteil ausgewählter Energieträger an der Erzeugung von Elektroenergie in der DDR

Beim Bau von Großkraftwerken für die Elektroenergieerzeugung leistete die Sowjetunion unserer Republik große Unterstützung. Diese modernen Kraftwerke mit Blockeinheiten (Turbine-Generator) von 500 MW elektrischer Leistung sind von der Projektierung bis zur Bauausführung Ergebnis sozialistisch-ökonomischer Integration zwischen den Staaten des RGW.

Bedeutung des Industriebereiches Elektrotechnik/ Elektronik und die Vorteile der Elektroenergie

Damit unsere Volkswirtschaft die Elektroenergie nutzen kann, sind Geräte, Ausrüstungen und Anlagen zur Erzeugung, Übertragung und Anwendung der Elektroenergie erforderlich. Die Elektroindustrie hat deshalb für die weitere Entwicklung aller Wirtschaftsbereiche eine große Bedeutung. In der folgenden Übersicht wird

deutlich, wie sich der Industriebereich Elektrotechnik/Elektronik/Gerätebau im Vergleich zu den Industriebereichen Maschinen- und Fahrzeugbau und Metallurgie entwickelt hat.

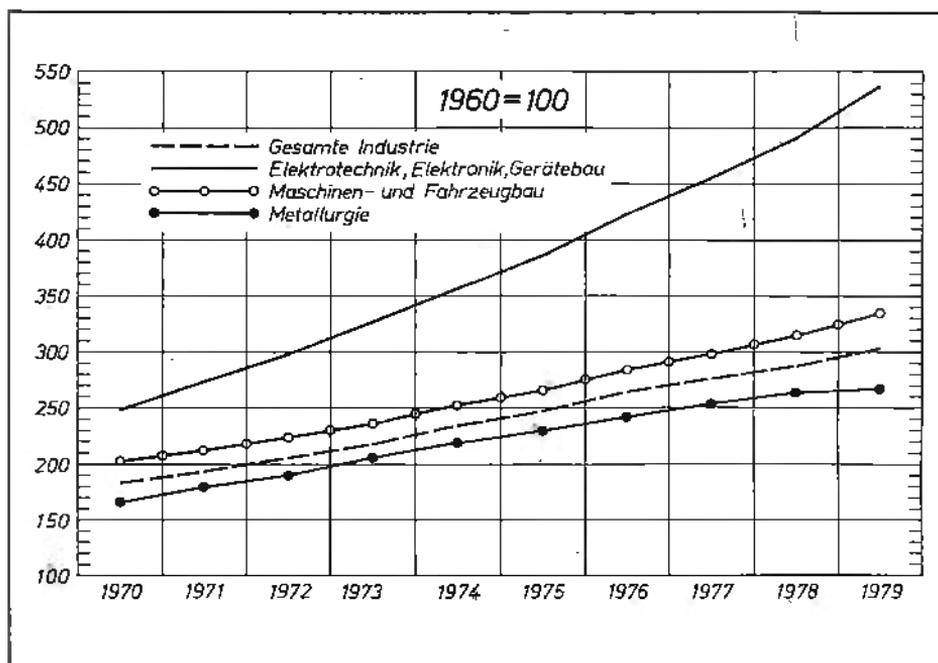


Bild 10/1 Entwicklung des Industriebereiches Elektrotechnik/Elektronik/Gerätebau

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 technischen Aufwand speichern. Die Energieträger zur Erzeugung von Elektroenergie stehen nur im begrenzten Umfang zur Verfügung, und für ihre Umwandlung in Elektroenergie ist ein hoher technischer Aufwand erforderlich. Deshalb müssen Umwandlungs- und Übertragungsverluste möglichst klein gehalten und in der Anwendung der Elektroenergie ein möglichst hoher Nutzeffekt erreicht werden. In der folgenden Übersicht wird dargestellt, wie der Bedarf an Elektroenergie ständig gewachsen ist und wie durch strenge Sparsamkeit bei ihrer Anwendung immer höhere Ergebnisse erzielt wurden.

Energieverbrauch je Produktionsarbeiter		Energieverbrauch je 1 000 M industrieller Bruttoproduktion	
1960	13 705 kWh	1960	400 kWh
1965	19 623 kWh	1965	416 kWh
1970	24 209 kWh	1970	316 kWh
1975	28 378 kWh	1975	280 kWh

Hauptbereiche der Elektrotechnik/Elektronik

Die Elektromotoren in Industrie und Landwirtschaft, Elektrolokomotiven im Verkehrswesen, Fernsprechanlagen in der Nachrichtentechnik, Steuer- und Regelanrichtungen an Werkzeugmaschinen sind heute nicht mehr aus der modernen Wirtschaft wegzudenken. Im Haushalt sind elektrotechnische Geräte zum selbstverständlichen Helfer geworden.

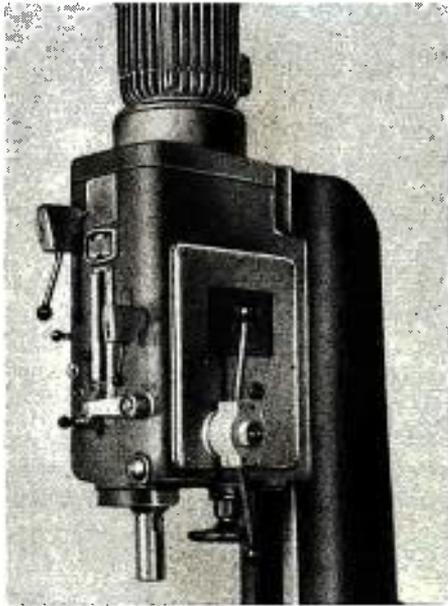


Bild 11/1 Drehstrommotor zum Antrieb einer Werkzeugmaschine



Bild 11/2 Prüf- und Meßarbeiten an einer Fernsprechanlage

Die Elektrotechnik gliedert sich in die Hauptbereiche **Starkstromtechnik (Leistungselektrik)** und **Schwachstromtechnik (Informationselektrik)**.

Die **Starkstromtechnik** (neue Bezeichnung Leistungselektrik) befaßt sich mit der Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Umwandlung der Elektroenergie; dabei werden meist erhebliche elektrische Leistungen umgesetzt. Die **Schwachstromtechnik** (neue Bezeichnung Informationselektrik) 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 kleine elektrische Ströme.

Viele Bauelemente und Geräte der Stark- und 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.

Umgang mit elektrischen Betriebsmitteln

In Betrieben, auf Baustellen, in der Landwirtschaft und in den Haushalten treten vielfältige Unfallgefahren auf.

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

Die wichtigsten gesetzlichen Grundlagen für den Schutz der Gesundheit der Werktätigen sind die „Verfassung der DDR“ Artikel 35 Absatz 1, das „Gesetzbuch der Arbeit der Deutschen Demokratischen Republik“ (GBA) und die „Verordnung zur Erhaltung und Förderung der Gesundheit der Werktätigen im Betrieb“ (Arbeitsschutzverordnung vom 22. September 1962).

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.

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

Deshalb ist es wichtig, die Gefahrenstellen zu kennzeichnen.

Bild 12/1 Warntafeln weisen auf die Gefahren in elektrotechnischen Anlagen hin



- *Wodurch wächst der Bedarf an Elektroenergie in unserer Volkswirtschaft ständig?*
- *Nennen Sie Geräte, Ausrüstungen und Anlagen zur Erzeugung, Umwandlung und Übertragung von Elektroenergie!*

Tragen Sie die Beispiele in folgende Tabelle ein!

Erzeugung	Umwandlung	Übertragung

- *Ordnen Sie die von Ihnen gewählten Beispiele elektrotechnischer Anlagen und Geräte den Hauptbereichen der Elektrotechnik zu! Fertigen Sie dazu eine Tabelle an!*
- *Zu welchen Zwecken wird in Ihrem Betrieb Elektroenergie eingesetzt?*
- *Welche Bedeutung hat der sparsame Einsatz von Elektroenergie in Ihrem Betrieb?*

Bedingt durch die Eigenart der elektrischen Energie, können bei ihrer Anwendung folgende Gefahrenmomente auftreten:

1. *Unfallgefahr* durch Berührung spannungsführender Anlagenteile
2. *Brand- und Explosionsgefahr*

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

Oberster Grundsatz ist:

Das Arbeiten an Anlagen und Geräten, die unter Spannung stehen, ist nur speziell dafür ausgebildeten Facharbeitern unter Einhaltung besonderer Sicherheitsvorschriften erlaubt.

Besonders bei schadhaften Anlagen und Geräten ist es möglich, daß an blanken metallischen Teilen für den Menschen gefährliche Spannungen anliegen, die zu einer Gefahrenquelle werden können. Der Gesetzgeber hat im Gesetzblatt der Deutschen Demokratischen Republik, Teil I Nr. 25 vom 11. 4. 1973 festgelegt, in welchem Umfang ein Nichtfachmann an elektrischen Anlagen oder Betriebsmitteln arbeiten darf. Im § 1 Absatz 2 heißt es u. a. dazu:

„Eine energiewirtschaftliche Berechtigung ist nicht erforderlich für ... 3. Anbringen von Wohnraumleuchten, Auswechseln der elektrotechnischen Betriebsmittel

und sonstige Materialien gemäß Anlage, *ausgenommen Arbeiten an Schutzkontaktanrichtungen einschließlich der dazugehörigen Anschlußleitungen.*“

Die Wirkung des elektrischen Stromes auf den menschlichen Körper

Entscheidend für die Schwere eines elektrischen Unfalls ist der Strom, der mit einer bestimmten Stromstärke den menschlichen Körper oder Teile von ihm durchfließt. Meist stellt der menschliche Körper nur einen Teilwiderstand eines Stromkreises dar (Bild 14/1). Unter ungünstigen Bedingungen kann der Gesamtwiderstand des Stromkreises so klein werden, daß schon Spannungen über 65 V lebensgefährlich sein können.

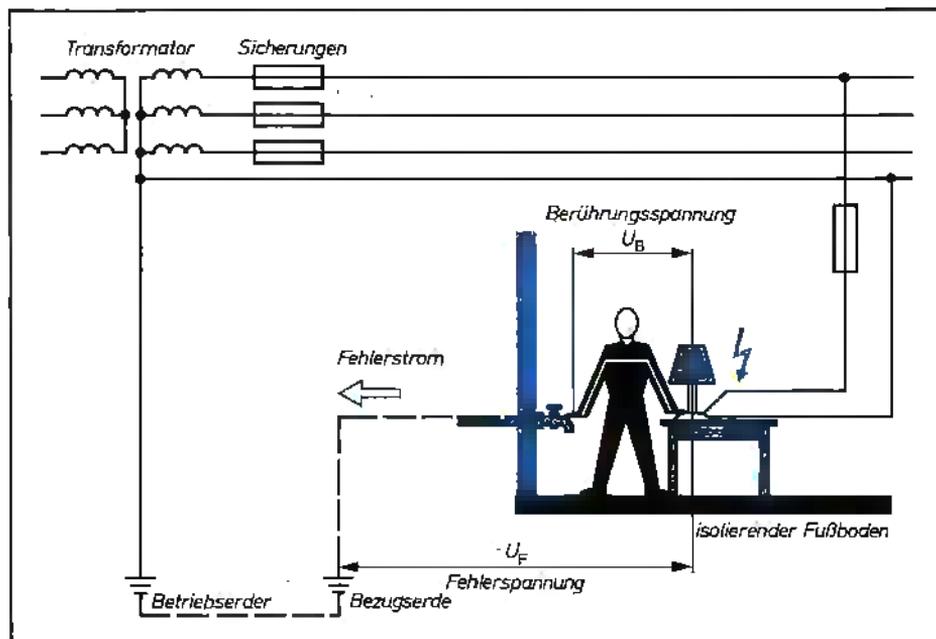


Bild 14/1 Stromkreis über den menschlichen Körper bei Berührung spannungsführender Teile

Blanke Geräte oder Anlagenteile, 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 des elektrischen Stromes Verbrennungen verursachen. 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. Die

Nennen Sie die Teilwiderstände, die dann auftreten, wenn ein Mensch spannungsführende Teile einer elektrotechnischen Anlage berührt!
Welche ungünstigen Bedingungen können zur Folge haben, daß schon Spannungen über 65 V lebensgefährlich sind?
Welche physikalischen Eigenschaften haben Isolatoren? (↗Ph i Üb, S. 112 und 141)
Nennen Sie einige Werkstoffe, die als Isolatoren geeignet sind!
Nennen Sie Beispiele für die Anwendung der Schutzisolation in den Bereichen Haushalt und Industrie!

Zeitdauer der Stromeinwirkung auf den menschlichen Körper hat ebenfalls einen Einfluß auf die Schwere des Unfalls. Ströme von etwa 10mA können bereits Krämpfe verursachen, die ein Loslassen des spannungsführenden Teiles erst nach dem Abschalten der elektrischen Anlage ermöglichen.

Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Berührungsspannungen

Um Unfälle durch den elektrischen Strom weitgehend zu vermeiden, sind Schutzmaßnahmen erforderlich. Diese sind im Standard TGL 200-0602 und 200-0603 festgelegt.

Er beinhaltet u. a. die Schutzmaßnahmen **Schutzisolierung**, **Schutzkleinspannung**, **Nullung**. (↗Tech i Üb, S. 155 bis 158)

Bei der *Schutzisolierung* werden alle elektrisch leitenden Teile eines Gerätes oder einer Anlage, auch solche, die im Fehlerfall Spannung führen können, zusätzlich zu der Betriebsisolation mit Isolatoren umkleidet. Alle schutzisolierten Geräte sind gekennzeichnet.  Symbol für schutzisolierte Geräte.

Reparaturen an schutzisolierten Geräten durch Laien sind grundsätzlich verboten.

Schutzkleinspannungen sind elektrische Spannungen bis 42V, die für den Menschen ungefährlich sind.

Die Schutzkleinspannung erhält man:

- aus *galvanischen Elementen* (Akkumulatoren)
- durch *Schutztransformatoren* (Bild 16/1)

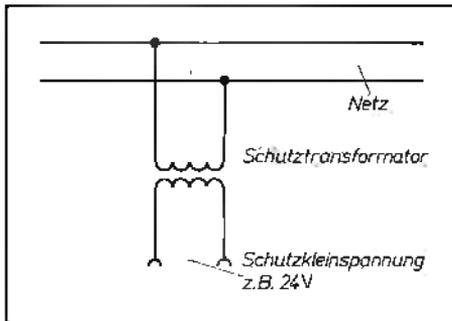


Bild 16/1 Schutztransformator – beide Wicklungen müssen galvanisch getrennt sein

- Schutzkleinspannungen werden z. B. bei Arbeiten in Kesselanlagen, feuchten Räumen und der Kanalisation angewendet, wo unter den besonderen Arbeitsbedingungen der Übergangswiderstand vom Menschen zur Erde sehr gering ist. Auch für Kinderspielzeug ist grundsätzlich die Verwendung von Schutzkleinspannung bis 24 V Vorschrift.

Bei der Nullung werden alle elektrisch leitfähigen Teile eines Gerätes, einer Anlage usw., die nicht zum Betriebsstromkreis gehören, an einen Nulleiter angeschlossen.

Treten im Fehlerfall an den geschützten Anlagen Berührungsspannungen auf, so wird der fehlerhafte Außenleiter oder der gesamte Betriebsstromkreis unterbrochen, wenn der Fehlerstrom den Abschaltstrom einer Überstromschutzeinrichtung (z. B. Schmelzsicherung, Leitungsschutzschalter) erreicht.

Erste Hilfe bei Unfällen durch den elektrischen Strom

Folgende Regeln sollten beachtet werden:

1. Abschalten der elektrotechnischen Anlage, in der sich der Verunglückte befindet!
 - durch Betätigen eines Schalters,
 - durch Herausrauben einer Sicherung oder Ausschalten eines Leitungsschutzschalters,
 - durch Trennen der Kupplung bei ortsveränderlichen Leitungen.
2. Beachten, ob der Verunglückte nach dem Abschalten der Anlage von einer Leiter o. ä. stürzen kann, da sich verkrampfte Muskeln lösen!
3. Kann man die elektrotechnische Anlage nicht abschalten, ist der Verunglückte trotzdem vom Stromkreis zu trennen!
Damit der Helfer nicht selbst unter Stromeinwirkung gerät, muß er sich auf isolierende Unterlagen (z. B. trockene Bretter) stellen und den Ver-

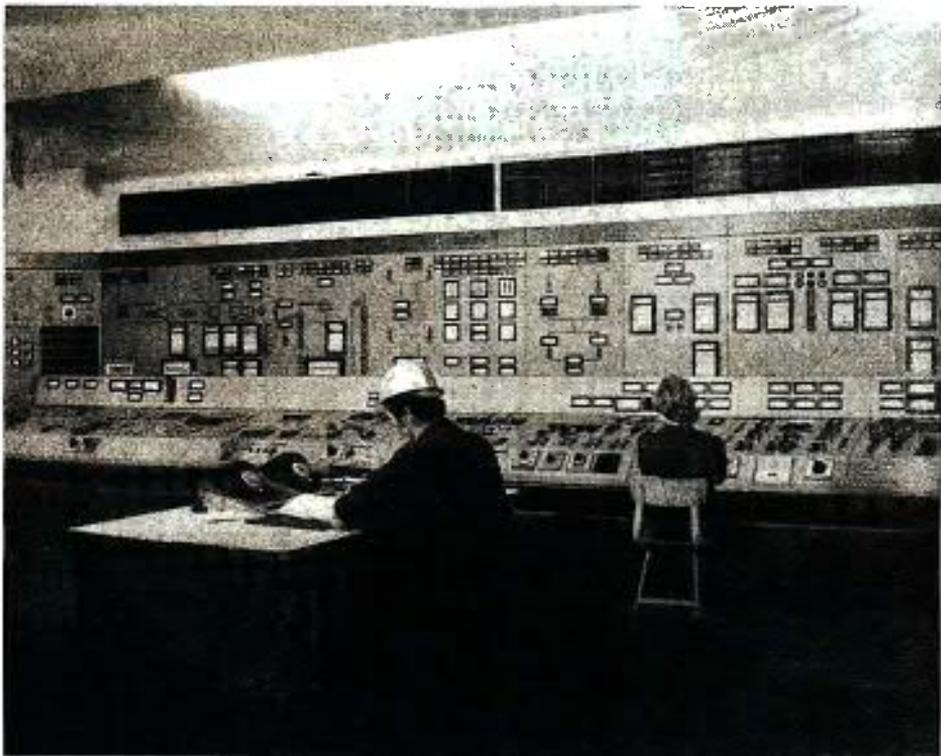
- *Nennen Sie weitere Beispiele für die Anwendung der Schutzkleinspannung!*
- *Warum müssen Geräte, die mit Schutzkleinspannung betrieben werden, besondere Stecker besitzen?*
- *Welche Merkmale besitzt ein Stecker für Geräte, die mit Schutzkleinspannung betrieben werden? (↗ Tech i Üb, S. 157)*
- *Begründen Sie, warum Eingriffe in elektrische Anlagen nur dem Fachmann erlaubt sind!*
- *Welche Arbeiten an elektrotechnischen Betriebsmitteln sind ohne den Nachweis einer Berechtigung gestattet?*
- *Warum darf nur der Fachmann an Schutzkontakanlagen arbeiten?*
- *Schreiben Sie aus dem Gedächtnis Maßnahmen der Ersten Hilfe bei Unfällen durch den elektrischen Strom auf!*
- *Bei Berührung spannungsführender Teile wird der Stromfluß durch den menschlichen Körper bestimmt von:*
 - dem Eigenwiderstand des Körpers,
 - dem Übergangswiderstand an den Berührungsstellen,
 - der Höhe der anliegenden Spannung.
- a) *Welches Grundgesetz der Elektrotechnik wird hier wirksam?*
- b) *Wie groß ist der Widerstand des Körpers mit Übergangswiderständen, wenn bei einer Spannung von 42V ein Strom von 0,5 mA fließt?*
- *Weshalb dürfen bei Löscharbeiten in Gebäuden mit elektrotechnischen Anlagen nur spezielle Feuerlöscher verwendet werden?*

- unglückten an nichtleitenden Kleidungsstücken aus der Gefahrenzone bewegen.
4. Verunglückten von beengender Kleidung befreien und möglichst weich lagern!
 5. Der Arzt ist zu verständigen! (Verunglückten nicht selbst transportieren!)
 6. Bei Atemstillstand ist mit künstlicher Beatmung zu beginnen!
Dazu gehören:
 - Mund des Verunglückten öffnen,
 - Schleim, Erbrochenes und Blut entfernen,
 - Kleidungsstücke zwischen Schulter und Nacken legen, daß der Kopf im Nacken herabhängt,
 - Atemspende durchführen!
 7. Bei Verbrennungen sind die Brandwunden trocken und steril abzudecken! Bei schweren Verbrennungen muß der Verunglückte viel trinken (auf 1 Liter Wasser 1 Eßlöffel Natron oder 1 Eßlöffel Kochsalz).
Der Verunglückte muß selbst trinken – Flüssigkeit nicht gewaltsam einflößen!

Einführung in die Prüf- und Meßtechnik

Zur Überwachung elektrotechnischer Anlagen sind Prüf- und Meßeinrichtungen unerlässlich. Beispielsweise ist in „Energieerzeugungsanlagen“ (z. B. in Kraftwerken) eine ständige Betriebsüberwachung erforderlich; das geschieht in den Schaltwarten.

Untenstehendes Bild zeigt die zentrale Schaltwarte in einem Kraftwerk. In *Verbraucheranlagen* (z. B. Produktionsbetrieb, Haushalt) beschränkt man sich vielfach auf das Messen von Spannung, Strom, Leistung und elektrischer Arbeit durch dauernd eingeschaltete Geräte. So wird z. B. mit einem kWh-Zähler, der in jedem Haushalt vorhanden ist, die elektrische Arbeit gemessen. Bei Qualitätskontrollen von elektrotechnischen Geräten und Anlagen in der Produktion oder bei der Fehlersuche (Reparatur, Instandhaltung) müssen vielfach an beliebigen Stellen eines Stromkreises unterschiedliche elektrische Größen gemessen und mit bestimmten Größenrichtwerten verglichen werden. Dazu werden die Meßgeräte vorübergehend angeschlossen.



Elektrisches Prüfen – elektrisches Messen

Prüfen

Prüfen ist der Vergleich eines vorhandenen Ist-Zustandes mit einem festgelegten Bezugszustand.
Prüfergebnisse sind grundsätzlich „Ja“- oder „Nein“-Entscheidungen.

(Tech i Üb, S. 159)

- Für den Schmelzeinsatz einer Leitungsschutzsicherung gilt als Bezugszustand der unversehrte Schmelzdraht.
Durch Prüfen des Signalplättchens kann festgestellt werden, ob eine Leitungsschutzsicherung noch funktionstüchtig arbeitet. Es kann eine Aussage getroffen werden zu: Schmelzdraht durchgeschmolzen Ja/Nein.

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.

Fehler in elektrotechnischen Anlagen und Geräten

Treten an elektrotechnischen Anlagen oder Geräten Störungen auf, sind die möglichen Fehler meist auf drei Fehlergruppen zurückzuführen:

1. Leitungen sind unterbrochen. Dieses tritt häufig bei *flexiblen* Leitern an ganz bestimmten Stellen auf, z. B. an den Leitereinführungen von ortsveränderlichen Geräten. Bei fester Legung von Leitungen ist Drahtbruch seltener anzutreffen. Durch chemische Einwirkungen können ebenfalls Leitungsunterbrechungen entstehen.
2. Klemmstellen für dauernden oder zeitweiligen Kontakt, wie Verteilerdosen, Schalter und Steckvorrichtungen, haben einen zu hohen Übergangswiderstand. Klemmschrauben sind locker (besonders bei Aluminiumleitungen anzutreffen), Kontakte der Schalter und Steckvorrichtungen sind stark verschmort, so daß kein einwandfreier Stromdurchgang möglich ist.
3. Es sind unzulässige Verbindungen entstanden. In elektrotechnischen Anlagen und Geräten geschieht dies mitunter durch Eindringen von Wasser, chemische und mechanische Einflüsse.
Besonders bei beweglichen Leitungen sind oft unzulässige Verbindungen durch mechanische Einwirkungen (Abknicken der Leitungen) anzutreffen.
Solche unzulässigen Verbindungen sind **Kurzschluß** und **Körperschluß**.

Fehlerquellen, wie sie bei 1. bis 3. genannt wurden, können mit Hilfe von Spannungs- und Durchgangsprüfungen festgestellt werden.

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

Spannungsprüfungen

Um festzustellen, ob an bestimmten Stellen eines Stromkreises – Steckdose, Schalter, Verteilerdose – Spannung anliegt, benutzt man vorteilhaft den Spannungsprüfer oder Polsucher. (Bilder 20/1 und 20/2) (Tech i Üb, S. 160)

Beim Prüfen mit dem Spannungsprüfer werden beide Prüfspitzen auf die auf Spannung zu prüfenden Kontakte gelegt.

Beim Prüfen mit dem Polsucher wird der zur Schraubendreherschneide 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 so klein, daß sie keine Gefahr für den Menschen darstellen.



Bild 20/1 Polsucher

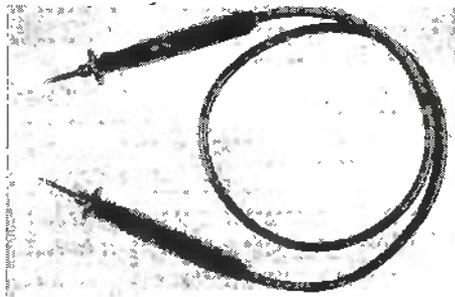


Bild 20/2 Spannungsprüfer

Durchgangsprüfungen

Wird 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.

- Kennzeichnen Sie die Gefahrenmomente, die auftreten können, wenn die Arbeitsschutzbestimmungen für elektrotechnische Anlagen nicht beachtet werden!
- Was verstehen Sie unter dem Begriff Körperschluß?
- Wie können Geräte auf Körperschluß geprüft werden?
- Welche Aufgabe hat der Widerstand im Polsucher zu erfüllen?
- Weshalb werden bei Durchgangsprüfungen vorwiegend Prüfgeräte für Kleinspannung verwendet?
- Weshalb dürfen bei Durchgangsprüfungen elektrotechnische Anlagen oder Geräte nicht unter Spannung stehen?

Das Prinzip der Durchgangsprüfung beruht auf der Reihenschaltung zwischen Prüfling und Prüfgerät.

Geräte zur Durchgangsprüfung

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

Beim Ausführen von Durchgangsprüfungen muß sich die elektrotechnische Anlage im *spannungslosen* Zustand befinden.

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 Sofittenlampe und eignet sich für Durchgangsprüfungen bis zu einem Widerstand von $30\ \Omega$ (Bilder 21/1 und 21/2).

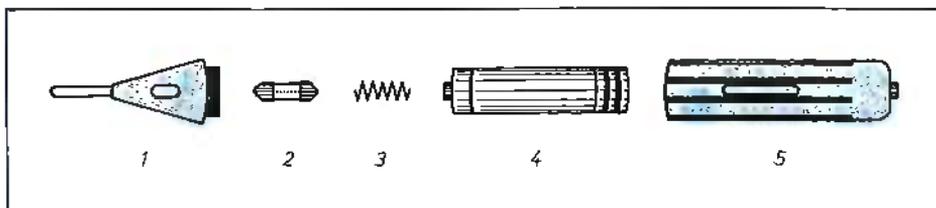


Bild 21/1 Durchgangsprüfer „Prüf-Fix“

- 1 Verschlussstück mit Tastspitze,
- 2 Sofittenlampe,
- 3 Druckfeder,
- 4 Stabbatterie,
- 5 Hülse mit Anschlussbuchse

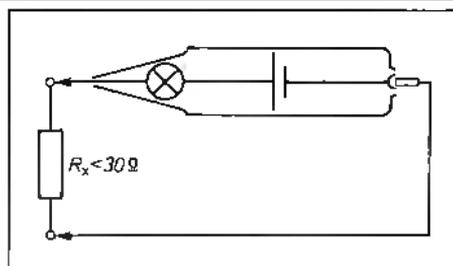


Bild 21/2 Prüfschaltung des Durchgangsprüfers

Durchgangsprüfer mit Summer. Der Summer ist im Prinzip ein elektrischer Wecker für Wechsel- und Gleichstrom, bei dem Klöppel und Glocke entfernt sind.

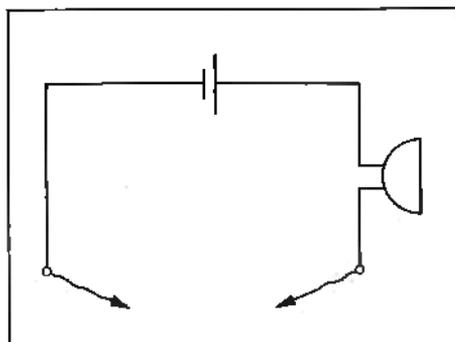


Bild 22/1 Schaltplan
eines Durchgangsprüfers mit Summer und
galvanischer Spannungsquelle

Gegenüber den anderen Geräten mit optischer Anzeige bietet dieser Prüfer den Vorteil, daß man beim Prüfen selbst das Prüfgerät nicht zu beobachten braucht.

Durchgangsprüfer mit Schauzeichen. Dieses Gerät ist mit einem Elektromagneten ausgestattet. Beim Stromfluß zieht der Elektromagnet einen Anker an, der durch seine mechanische Bewegung an gut sichtbarer Stelle ein auffallendes Zeichen hervortreten läßt (Bild 22/2).

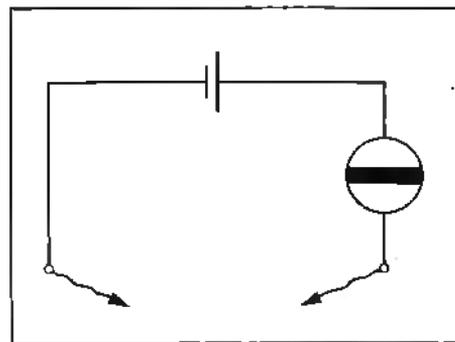


Bild 22/2 Schaltplan
eines Durchgangsprüfers mit Schauzeichen
und galvanischer Spannungsquelle

Hinweise und Anwendungsbeispiele zu Durchgangsprüfungen

Die angeführten Geräte sind nicht beliebig einsetzbar. Ihre Funktion und Verwendung hängt von der Größe des Widerstandes der zu prüfenden Anlage bzw. des zu prüfenden Gerätes ab.

Folgende Regeln sind bei Durchgangsprüfungen zu beachten:

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

- **Weshalb erfolgt keine Anzeige, wenn der Prüfling hochohmig und das Prüfgerät niederohmig ist?**

Die Bilder 23/1; 23/2 und 23/3 zeigen einige Durchgangsprüfungen.

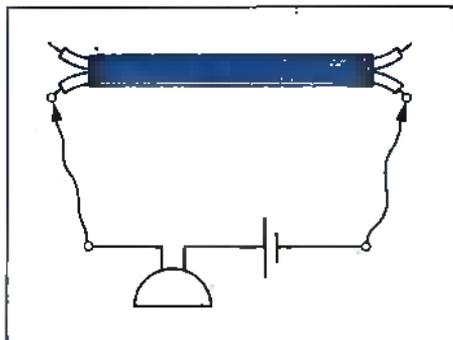


Bild 23/1 Prüfen einer Leitung oder eines Kabels auf Durchgang mit dem Summer

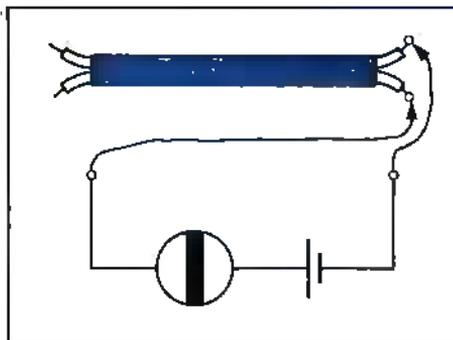
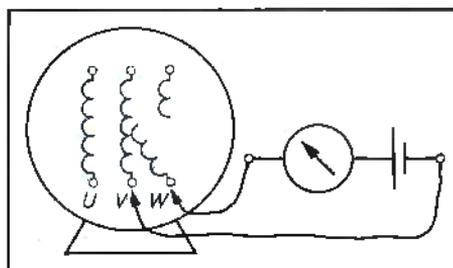


Bild 23/2 Prüfen einer Leitung oder eines Kabels auf Kurzschluß mit dem Schauzeichen

Bild 23/3 Prüfen der Wicklungen eines Drehstrommotors auf Wicklungsschluß



Aufnahmen von Schaltplänen

Mit Hilfe von Durchgangsprüfungen können die Schaltpläne von Schaltungen aufgenommen werden. Das ist besonders dann notwendig, wenn Schaltungen unübersichtlich aufgebaut oder auch gestört sind. Bild 24/1 zeigt eine einfache übersichtliche Schaltung, die aus einem Transformator, einem Strommesser, einem stellbaren Widerstand und einer Glühlampe besteht.

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

1. Schaltzeichen der Bauelemente der Schaltung lagegerecht aufzeichnen (Bild 24/2).
2. Mit dem Durchgangsprüfer, bei den Steckerleitungen beginnend, die Verbindungen zur Primärseite (Eingangsseite) des Transformators prüfen; Leitungen einzeichnen.
3. Verbindung von der Sekundärseite (Ausgangsseite) des Transformators zum Strommesser prüfen; Leitung einzeichnen.

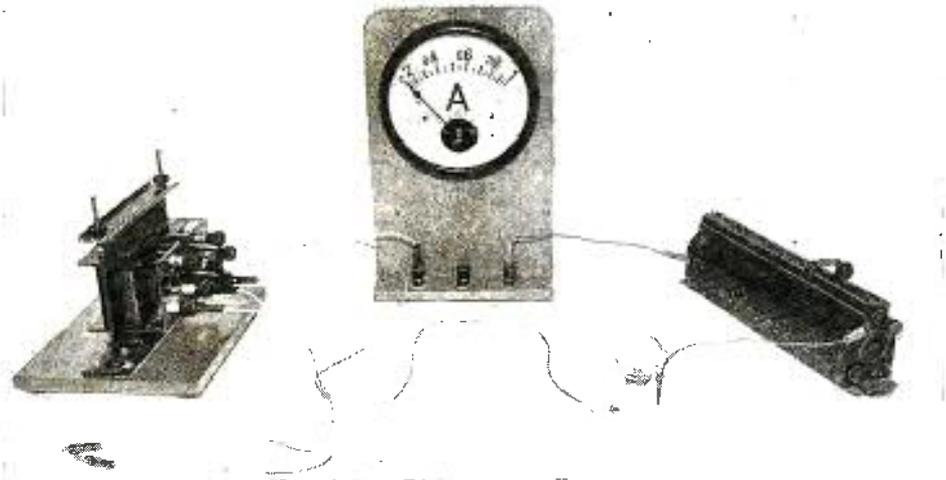


Bild 24/1 Aufbau einer Schaltung mit Geräten

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 24/3).

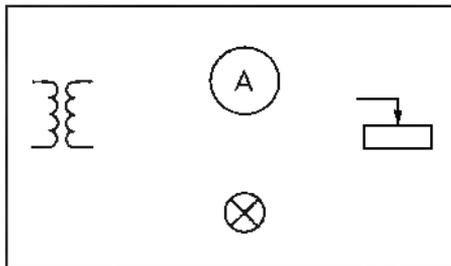


Bild 24/2 Lagegerechte Anordnung der Bauelemente (Schaltzeichen)

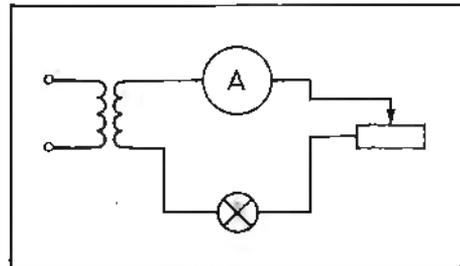


Bild 24/3 Schaltplan

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.
3. Stellbaren Widerstand auf Durchgang prüfen; Abgriff des stellbaren Widerstandes hinsichtlich seiner Verbindung zur Wicklung prüfen.
4. Glühlampe auf Durchgang prüfen.

- Tragen Sie in die Tabelle die Meßgeräte ein, mit denen die jeweilige Meßgröße erfaßt werden kann!

Meßgröße	Meßgerät
Stromstärke	
Spannung	
Widerstand	
Leistung	
Elektrische Arbeit	

5.

Den Strommesser nicht auf Durchgang prüfen; das sollte einem Fachmann überlassen bleiben.

Ob dennoch ein Fehler im Strommesser vorliegt, kann vom Nichtfachmann ermittelt werden, indem das Meßwerk des Strommessers mit einer zusätzlichen Leitung überbrückt wird. Schaltet man nun den Stromkreis ein und es ist keine Störung der Anlage feststellbar, dann ist der Strommesser defekt.

Meßgeräte und Meßtechnik

Elektrische Meßgeräte können nach verschiedenen Gesichtspunkten eingeteilt werden.

Einteilung der Meßgeräte nach der zu messenden Größe

Die physikalische Größe, die mit einem Meßgerät gemessen werden soll, nennt man die *Meßgröße*, den vom Meßgerät angezeigten Wert den *Meßwert*. Der Aufbau der Meßwerke in den verschiedenen Meßgeräten wird durch die zu messende physikalische Größe bestimmt.

Einteilung der Meßgeräte in Genauigkeitsklassen

Der Meßwert ist der vom Meßinstrument angezeigte Wert der zu messenden physikalischen Größe und kann infolge der Unvollkommenheit des Meßinstrumentes vom wahren Wert der Meßgröße abweichen. Je höher die Forderungen an die Meßgenauigkeit sind, um so höher sind auch die Kosten für das Meßgerät.

Als Grundsatz gilt daher: ein Meßgerät muß so genau anzeigen, wie es der Zweck der Messung erfordert.

Nach dem Anzeigefehler werden die Meßinstrumente in Genauigkeitsklassen unterteilt.

Genauigkeitsklassen				Bezeichnung der Instrumente
0,1	0,2	0,5	5,0	Feinmeßinstrumente
1,0	1,5	2,5		Betriebsmeßinstrumente

Die Klassenangabe kennzeichnet die höchstzulässigen Anzeigefehler und wird in Prozent vom Skalendwert angegeben.

- Genauigkeitsklasse 1,5 heißt, der Meßfehler darf bei jeder Messung höchstens $\pm 1,5\%$ vom Skalendwert betragen. Wenn der Meßwert in der Mitte des Meßbereiches angezeigt wird, ist bei linearer Teilung der Meßskale demnach die Meßgenauigkeit gleich dem Doppelten der Genauigkeitsklassenangabe.

Kennzeichnung 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 der Übersicht wiedergegeben.

Übersicht: Kennzeichnung der Meßgeräte (TGL 19472 Blatt 2)

	Drehspulmeßwerk		Drehstrommeßgerät
	Dreheisenmeßwerk		Drehstrommeßgerät mit zwei Meßwerken
	Elektrodynamisches Meßwerk		Drehstrommeßgerät mit drei Meßwerken
	Eisengeschlossenes elektrodynamisches Meßwerk		Senkrechte Gebrauchslage
	Hitzedrahtmeßwerk		Waagerechte Gebrauchslage
	Elektrostatisches Meßwerk		Schräge Gebrauchslage
	Thermounformer		Gebrauchslage im Winkel von 45°
	Trockengleichrichter		

Wie groß ist die Meßgenauigkeit bei einem Meßinstrument der Genauigkeitsklasse 0,1 und 2,5?

Welche Meßgenauigkeit ist bei einem Skalenendwert von 30V eines Spannungsmessers bei den genannten Meßinstrumenten möglich?

Weshalb sollten die Meßinstrumente so ausgewählt werden, daß der Meßwert möglichst im letzten Drittel der Skale angezeigt wird?

Nennen Sie die wesentlichen Unterschiede im Aufbau und in der Wirkungsweise von Drehspul- und Dreheisenmeßwerken!

Begründen Sie die Einsetzbarkeit der Drehspul- und Dreheisenmeßwerke im Gleichstrom- bzw. Wechselstrombereich!

	Drehspulmeßwerk mit Trockengleichrichter		Nullstellung
	Drehspulmeßwerk mit Thermoumformer		Prüfspannungszeichen (Stern ohne Ziffer: 500V; Stern m. Ziffer 2: 2000V usw.)
1,5	Genauigkeitsklasse 1,5		Wechselstrom
—	Gleichstrom		Gleich- und Wechselstrom

Messen der Stromstärke

Meßgeräte zum Messen der Stromstärke (Ph i Üb, S. 117). Als Meßgerät für Gleichstrommessungen dient meist ein Meßgerät mit Drehspulmeßwerk, für Wechselstrommessungen wird vornehmlich ein Meßgerät mit Dreheisenmeßwerk verwendet.

Schaltung des Strommessers. Der Strommesser soll die Stärke des Stromes in einem Stromkreis anzeigen. Er muß folglich *in Reihe* zu einem Verbraucher geschaltet werden (Bild 28/1).

Der Eigenwiderstand des Strommessers muß klein sein, damit der Spannungsabfall $I \cdot R$ über dem Instrument und der Eigenverbrauch des Instruments klein sind.

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

Messen der Spannung

Meßgeräte zum Messen der Spannung. Als Meßgeräte für Spannungsmessungen werden ebenfalls vorwiegend Drehspul- und Dreheisenmeßwerke verwendet. Die Wirkungsweise der Meßgeräte für die Spannungsmessung beruht darauf, daß die Stromstärke, die durch das Meßwerk fließt, der Spannung proportional ist. Somit kann die Skale des Meßgerätes unmittelbar in Volt geeicht werden.

Schaltung des Spannungsmessers. Der Spannungsmesser ist dem Gerät, an dem die Spannung gemessen wird, *parallel zu schalten* (Bild 28/2).

Der Eigenwiderstand des Spannungsmessers muß konstant und im Gegensatz zu dem des Strommessers groß sein, damit die Forderung nach geringem Eigenverbrauch erfüllt wird.

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

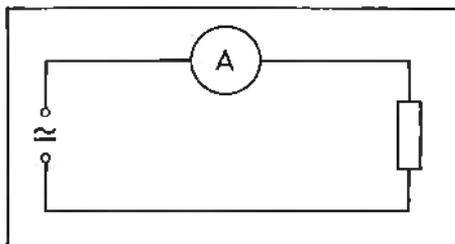


Bild 28/1 Schaltung des Strommessers

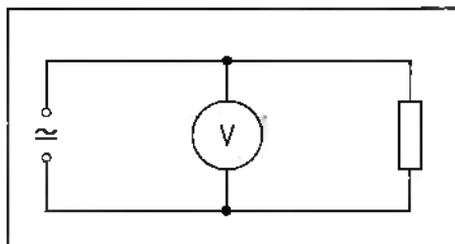


Bild 28/2 Schaltung des Spannungsmessers

Meßbereichserweiterung für Strom- und Spannungsmesser

Drehspulmeßwerke lassen sich nur für ganz kleine Ströme bauen. Sollen größere Ströme gemessen werden, so müssen die Meßbereiche erweitert werden. (↗ Ph i Üb, S. 123)

Strommesser. Eine Erweiterung des Meßbereiches erzielt man durch einen Nebenwiderstand R_N (Bild 29/1), durch den ein bestimmter Teil des Gesamtstromes am Instrument vorbeigeleitet wird, während nur ein kleiner Teilstrom I_1 durch das Meßwerk fließt.

Durch den Nebenwiderstand fließt der Strom $I_2 = I - I_1$, und die Spannung desselben ist $R_i \cdot I_1$ (aus $I_1 \cdot I_2 = R_N \cdot R_i$).

Daraus ergibt sich der Nebenwiderstand:

$$R_N = \frac{R_i \cdot I_1}{I_2} = \frac{R_i \cdot I_1}{I - I_1}$$

Bei einer n-fachen Meßbereichserweiterung ist $I = n \cdot I_1$.

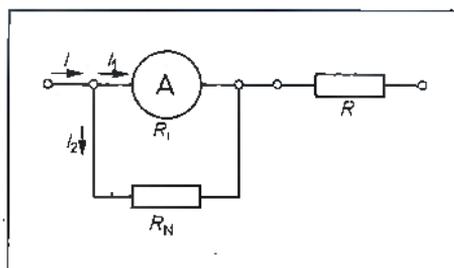
- Was geschieht, wenn ein Strommesser direkt an eine Spannungsquelle angeschlossen wird?
Begründen Sie Ihre Aussage!
- Was geschieht, wenn ein Spannungsmesser in Reihe zu einem Verbraucher geschaltet wird?
- Wie verhält sich das Drehspulgerät, wenn es an Wechselspannung angeschlossen wird?
- Ein Strommesser für 4 mA hat einen Innenwiderstand $R_i = 10 \Omega$. Sein Meßbereich soll auf 1 A erweitert werden. Wie groß muß der Nebenwiderstand R_N sein?
- 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 R_v sein?

Dieses für I in die vorige Gleichung eingesetzt ergibt:

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

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

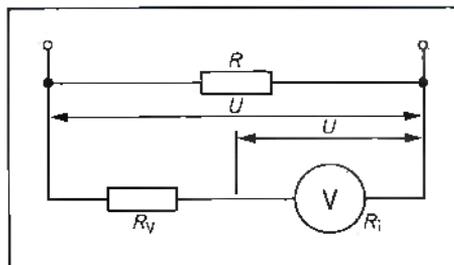
Bild 29/1 Meßbereichserweiterung beim Strommesser



Spannungsmesser. Der Meßbereich eines Spannungsmessers wird durch Vorschalten eines Widerstandes R_v (Bild 29/2) erweitert. Der Meßbereich wird doppelt so groß, wenn der Wert des Vorschaltwiderstandes 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 erweitert. Einen n -fachen Meßbereich erhält man dementsprechend aus einem Vorwiderstand.

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

Bild 29/2 Meßbereichserweiterung beim Spannungsmesser



Meßwandler. Im Wechselstromnetz werden zur Strom- und Spannungsmessung vorwiegend Dreheisenmeßgeräte eingesetzt. Es gibt Strommesser zum direkten Anschluß bis 100 A und Spannungsmesser für Spannungen bis 600 V. Höhere Wechselströme und Wechselspannungen werden durch Zwischenschalten von *Strom- und Spannungswandlern* gemessen. Das sind im Prinzip Transformatoren, die die Spannungen bzw. Ströme in einem ganz bestimmten Verhältnis übersetzen. Das feste Übersetzungsverhältnis kann z. B. betragen:

Spannungswandler: $10\,000\text{ V} : 100\text{ V} = 100 : 1$

Stromwandler: $50\text{ A} : 5\text{ A} = 10 : 1$

Eine Erweiterung des Meßbereiches erreicht man beim Strommesser durch einen Nebenwiderstand R_N , beim Spannungsmesser durch einen Vorschaltwiderstand R_V . Zum Messen höherer Wechselströme und Wechselspannungen müssen Strom- bzw. Spannungswandler zwischengeschaltet werden.

Widerstandsbestimmungen

(ZPh i Üb, S. 162)

Indirektes Verfahren. Der elektrische Widerstand eines Körpers kann durch Strom- und Spannungsmessung auf indirektem Wege nach dem Ohmschen Gesetz bestimmt werden. Gemessen wird mit Gleichstrom, weil nur dabei der Ohmsche Widerstand wirksam ist. Zur Messung werden *Drehspulinstrumente* benutzt. Diese Geräte haben jedoch einen „Eigenverbrauch“. Werden sie als Spannungsmesser mit dem Innenwiderstand R_i verwendet, nehmen sie den Strom $I = \frac{U}{R_i}$ auf. Bei Verwendung des Strommessers mit dem Innenwiderstand R_i tritt der Spannungsabfall $I \cdot R_i$ auf.

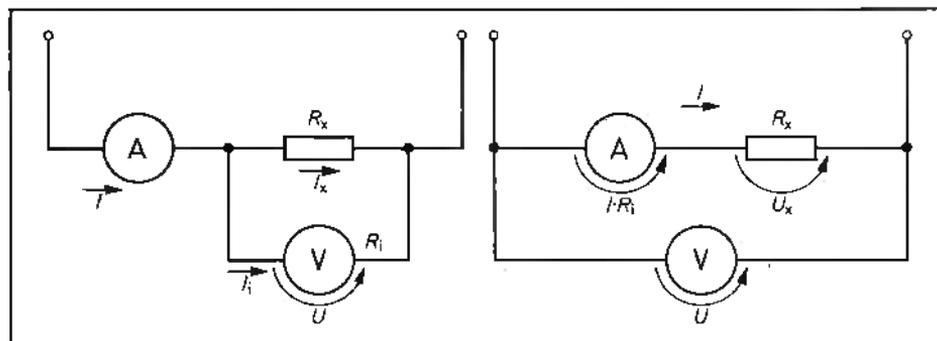


Bild 30/1 Spannungsrichtige Schaltung

Bild 30/2 Stromrichtige Schaltung

Es ist nicht möglich, gleichzeitig Stromstärke und Spannung an einem Widerstand richtig zu messen, wie aus den Meßschaltungen in den Bildern 30/1 und 30/2 zu erkennen ist.

In der Starkstromtechnik sind meist die auftretenden Ströme im Vergleich zur Stromaufnahme des Spannungsmessers verhältnismäßig groß, und der Strom

- ⊛ Berechnen Sie den prozentualen Meßfehler, der bei der Widerstandsbestimmung nach Bild 30/2 auftritt!

des Spannungsmessers kann vernachlässigt werden. Bei der Widerstandsbestimmung in der Starkstromtechnik ist daher die Schaltung nach Bild 30/1 anzuwenden. Widerstände in der Schwachstromtechnik sind meist hochohmig und können nur mit kleinen Strömen belastet werden. Hier ist die Schaltung nach Bild 30/2 zweckmäßig, weil der Strom, der durch den Widerstand fließt, richtig gemessen wird und an dem Strommesser bei kleinem Innenwiderstand kein nennenswerter Spannungsabfall auftritt.

- ⊞ Zur Widerstandsbestimmung steht ein Spannungsmesser für 6 V mit einem Innenwiderstand von $R_i = 1000 \Omega$ und ein Strommesser mit einem Innenwiderstand von $R_i = 0,1 \Omega$ zur Verfügung. Gemessen werden U und I mit einem Spannungs- und Strommesser im Schaltungsaufbau nach Bild 30/1 und 30/2.

Schaltungsaufbau Bild 30/1	Schaltungsaufbau Bild 30/2
$U = 5,4 \text{ V}; I = 6 \text{ A}$	$U = 6 \text{ V}; I = 6 \text{ A}$
$R_x = \frac{U}{I - I_i}; I_i = \frac{U}{R_i}$	$R_x = \frac{U_x}{I} = \frac{U - U_i}{I}; U_i = I \cdot R_i$
$I_i = \frac{5,4 \text{ V}}{1000 \Omega} = 0,0054 \text{ A}$	$U_i = 6 \text{ A} \cdot 0,1 \Omega = 0,6 \text{ V}$
$R_x = \frac{5,4 \text{ V}}{6 \text{ A} - 0,0054 \text{ A}} \approx \frac{5,4 \text{ V}}{6 \text{ A}} \approx \underline{\underline{0,9 \Omega}}$ <p>Der Instrumentenstrom von 0,0054 A ist so klein, daß man ihn vernachlässigen kann.</p>	$R_x = \frac{6 \text{ V} - 0,6 \text{ V}}{6 \text{ A}} = \underline{\underline{0,9 \Omega}}$ <p>Bei dieser Schaltung muß der Innenwiderstand unbedingt berücksichtigt werden, da sonst ein zu großer Meßfehler auftritt.</p>
$U = 6 \text{ V}; I = 16 \text{ mA}$	$U = 6 \text{ V}; I = 10 \text{ mA}$
$R_x = \frac{U}{I - I_i}; I_i = \frac{U}{R_i}$	$R_x = \frac{U_x}{I} = \frac{U - U_i}{I}; U_i = I \cdot R_i$

Schaltungsaufbau Bild 30/1	Schaltungsaufbau Bild 30/2
$I_i = \frac{6 \text{ V}}{1000 \Omega} = 6 \text{ mA}$	$U_i = 0,01 \text{ A} \cdot 0,1 \Omega = 0,001 \text{ V}$
$R_x = \frac{6 \text{ V}}{16 \text{ mA} - 6 \text{ mA}} = \frac{6 \text{ V}}{0,01 \text{ A}} = \underline{\underline{600 \Omega}}$ <p>Der Strom I_i beträgt mehr als ein Drittel vom Gesamtstrom I und muß unbedingt berücksichtigt werden.</p>	$R_x = \frac{6 \text{ V} - 0,001 \text{ V}}{0,01 \text{ A}} = \frac{6 \text{ V}}{0,01 \text{ A}} = \underline{\underline{600 \Omega}}$ <p>Der Spannungsabfall U_i über dem Meßinstrument von 1 mV ist so klein, daß er vernachlässigt werden kann.</p>

Direktes Verfahren (↗ Tech i Üb, S. 162). Eine direkte Messung des Widerstandes kann mit einer Meßbrücke (Bild 32/1) vorgenommen werden, die (nach dem englischen Physiker WHEATSTONE) Wheatstonesche Brücke genannt wird. Sie besteht 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 Meßwerkes auf 0 steht. Die Widerstandsgröße kann dann durch Multiplikation des Skalenwertes mit dem Vergleichswiderstand ermittelt werden.

Vergleichswiderstand = 100Ω

Skalenwert = 3,5

$R_x = 100 \Omega \cdot 3,5 = 350 \Omega$



Bild 32/1 Messen eines Widerstandes mit einer Widerstandsmeßbrücke

- Widerstände werden durch Strom- und Spannungsmessung im *indirekten Verfahren* ermittelt oder mit einer Widerstandsmeßbrücke nach dem *direkten Verfahren* gemessen.

- Wann wird die stromrichtige, wann die spannungsrichtige Schaltung angewandt?
- Wie können in Anlehnung an die Erläuterungen bei der Widerstandsberechnung die Meßergebnisse bei der Leistungsbestimmung korrigiert werden?

Leistungsbestimmungen

Indirektes Verfahren. Gleichstrom- und Wechselstromleistungen an rein ohmschen Widerständen können nach der Gleichung

$$P = U \cdot I$$

aus einer *Strom- und Spannungsmessung* berechnet werden. Die Meßgeräte sind wie bei der Widerstandsberechnung (↗ S. 30) zu schalten (↗ Bilder 30/1 und 30/2). Für überschlagmäßige Angaben genügt die Bildung des Produktes der Meßwerte, genauere Angaben erfordern eine Korrektur der Meßwerte durch Einbeziehung der Meßfehler in die Berechnung.

Direktes Verfahren (↗ Tech i Üb, S. 161). Der Leistungsmesser ist ein Meßgerät, bei dem die Leistung direkt auf einer Skale abgelesen werden kann. Er hat vier Anschlußklemmen und wird als *Spannungsmesser und Strommesser* gleichzeitig in den Stromkreis geschaltet. In Wechselstromnetzen zeigt er die Wirkleistung an. (↗ Ph i Üb, S. 185)

Die elektrische Leistung im Gleichstromkreis und im Wechselstromkreis an rein ohmschen Widerständen wird durch Strom- und Spannungsmessung im *indirekten* Verfahren ermittelt. Mit Hilfe von Leistungsmessern kann sie nach dem *direkten* Verfahren gemessen werden.

Mehrbereichsinstrumente und Vielfachmesser

Im Abschnitt Meßbereichserweiterung wurde gezeigt, wie Meßbereiche erweitert werden. Es ist verhältnismäßig einfach, Mehrbereichsinstrumente mit Drehspulmeßwerken aufzubauen. Die Schaltung eines *Mehrbereichs-Strommessers* ist in Bild 34/1, die eines *Mehrbereichs-Spannungsmessers* in Bild 34/2 dargestellt. Die Neben- und Vorwiderstände sind in Ketten angeordnet und mit Kontakten versehen, über die die Meßgröße – Strom bzw. Spannung – dem Gerät zugeführt wird. Kombiniert man einen Mehrbereichs-Strommesser mit einem Mehrbereichs-Spannungsmesser, so erhält man einen *Vielfachmesser*. Die Schaltung ist im Bild 34/3 dargestellt.

In Verbindung mit einem Gleichrichter können mit diesem Gerät Gleichströme, Gleichspannungen, Wechselströme und Wechselspannungen gemessen werden. Vielfachmesser sind tragbare Geräte, mit denen die meisten in der Praxis anfallenden Messungen ausgeführt werden können.

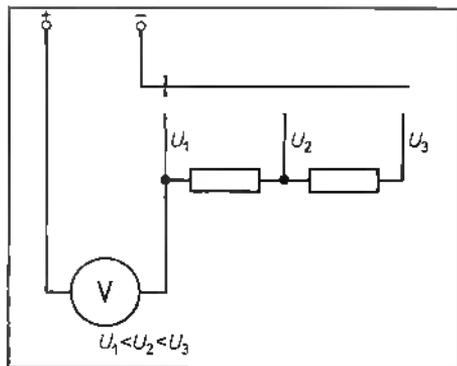
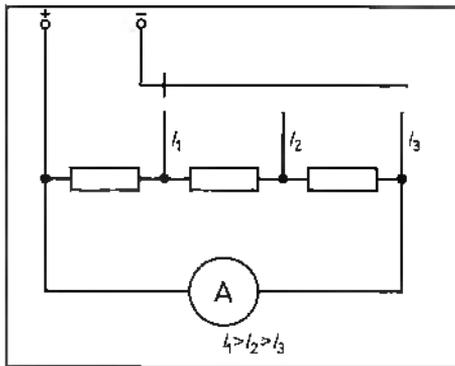


Bild 34/1 Schaltplan
des Mehrbereichs-Strommessers

Bild 34/2 Schaltplan
des Mehrbereichs-Spannungsmessers

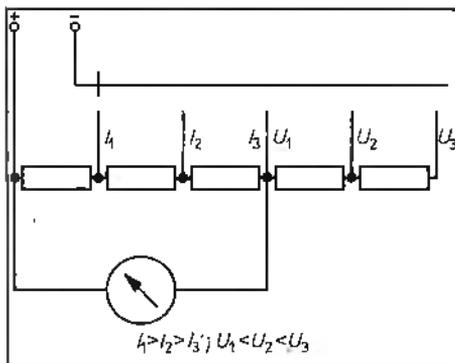


Bild 34/3 Schaltplan
eines Vielfachmessers

Der handelsübliche Vielfachmesser UNI 7 hat insgesamt 28 Schaltstellungen für Strom- und Spannungsmessungen und 2 Buchsen zur Widerstandsmessung. Es können also mit einem Gerät eine Vielzahl verschiedener Meßwertgrößen erfaßt werden.

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 Umschalten auf den erforderlichen Meßbereich abwechselnd gemessen werden. Während des Umschaltens wird das Meßwerk abgeschaltet. Mit diesem Meßgerät können unter Verwendung einer Stabbatterie auch Widerstände direkt gemessen werden. Für Prüf- und Meßarbeiten in der Schule hat sich das Schüler-Vielfachmeßgerät „Polyzet“ bewährt.

Mehrbereichsinstrumente sind Strom- oder Spannungsmesser, bei denen der Meßbereich durch Vor- bzw. Nebenwiderstände erweitert wurde.

Vielfachmesser ist die Kombination eines Mehrbereichs-Strommessers und eines Mehrbereichs-Spannungsmessers.

Feststellen des Meßwertes (↗ Tech i Üb, S. 163). Der Meßwert kann mit Ausnahme von jeweils einem Meßbereich (V, A) bei diesen Meßgeräten auf der Skale

- Bei einer Spannungsmessung mit einem Vielfachmesser erhalten Sie folgende Angaben:
 Meßbereich: 10 V; Anzeigewert: 30 Teilstriche; Skalenendwert: 50 Teilstriche.
 Welche Spannung wird gemessen?

nicht unmittelbar abgelesen werden, denn es stehen für die vielen Meßbereiche nur 2 Skalen zur Verfügung: eine für Gleichstrom und Gleichspannung, eine für Wechselstrom und Wechselspannung. Im allgemeinen haben diese Skalen 30 oder 50 Teilstriche. Stimmen Meßbereich und Skalenendwert überein, ist eine Umrechnung nicht notwendig.

Beim Messen ist folgendes zu beachten: Der Skalenendwert entspricht dem gewählten Meßbereich (Bild 35/1).

Wird bei einer Spannungsmessung ein Meßbereich von 10V gewählt, so beträgt der Meßwert 10V, 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*.

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

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

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

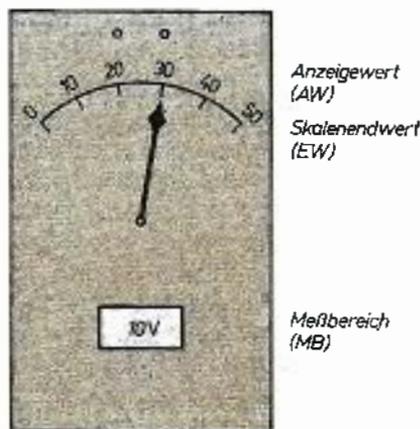


Bild 35/1 Zur Berechnung des Meßwertes bei der Verwendung eines Vielfachmessers

Bei Messungen mit Vielfachmessern (auch als Universalmesser bezeichnet) sollten folgende Regeln grundsätzlich beachtet werden:

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

Meßfehler

Meßgeräte und auch Meßvorgänge sind mit Fehlern behaftet. Es ist daher 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 zu viel 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 *zufällige Fehler*.

Systematische Fehler. Dies 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: Unzweckmäßiger Aufbau der Meßanordnung, wie z. B. bei der Widerstandsbestimmung (↗ S. 30) angeführt, 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, werden als *systematische Fehler* bezeichnet. Sie können bei der Auswertung der Meßergebnisse durch Korrektur berücksichtigt werden.

Zufällige Fehler. Dies sind Fehler, die bei jeder Einzelmessung in unterschiedlicher Größe und Richtung auftreten. 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 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 können zufällige Fehler meßtechnisch nicht erfaßt und daher auch nicht korrigiert werden. 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

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

ermitteln.

- Bei einer Spannungsmessung werden durch verschiedene Beobachter nacheinander folgende Werte festgestellt:
6,4 V; 6,2 V; 6,5 V; 6,3 V
Ermitteln Sie den Durchschnittswert der Meßreihe!
- Nennen Sie weitere Beispiele für die Anwendung der Prüf- und Meßtechnik!
- Fertigen Sie eine Aufstellung über Ihnen bekannte Störungen in elektrotechnischen Anlagen an!
- Welche Spannungen werden für Geräte zur Durchgangsprüfung angewendet? Nennen Sie Prüf- und Meßverfahren!
- Wodurch unterscheiden sich Strom- und Spannungsmesser?
- Zeichnen Sie in einen beliebigen Stromkreis die Schaltung von Strom- und Spannungsmesser ein!
- Ein Drehspulinstrument hat einen inneren Widerstand von $10\ \Omega$ und einen Meßbereich von 30 mV.
Der Meßbereich soll auf a) 1,5 V; b) 3 V; c) 15 V und d) 150 V erweitert werden. Welche Vorschaltwiderstände sind erforderlich?
- Der Meßbereich von 10 mA eines Strommessers von $10\ \Omega$ innerem Widerstand soll auf a) 100 mA; b) 1 A und c) 6 A erweitert werden. Welche Nebenwiderstände sind erforderlich?

Zufällige Fehler können meßtechnisch nicht erfaßt werden. Ihr Einfluß auf das Meßergebnis läßt sich weitgehend verringern, wenn man aus mehreren Messungen den Durchschnittswert ermittelt.

Weitere Anwendungsbeispiele der Prüf- und Meßtechnik

Über das eigentliche Anwendungsgebiet elektrischer Messungen in der Elektrotechnik hinaus haben elektrische Meßverfahren weite Verbreitung zur Messung nichtelektrischer Größen gefunden. Dabei wird die zu messende nichtelektrische physikalische Größe durch einen Energiewandler in eine elektrische Größe umgewandelt.

Bei der elektrischen Messung von Drehzahlen werden z. B. kleine Generatoren als Energiewandler benutzt. Diese liefern bei konstanter Erregung eine der Drehzahl proportionale Spannung. Das Anzeigegerät ist in diesem Fall ein auf Drehzahl geeichter Spannungsmesser.

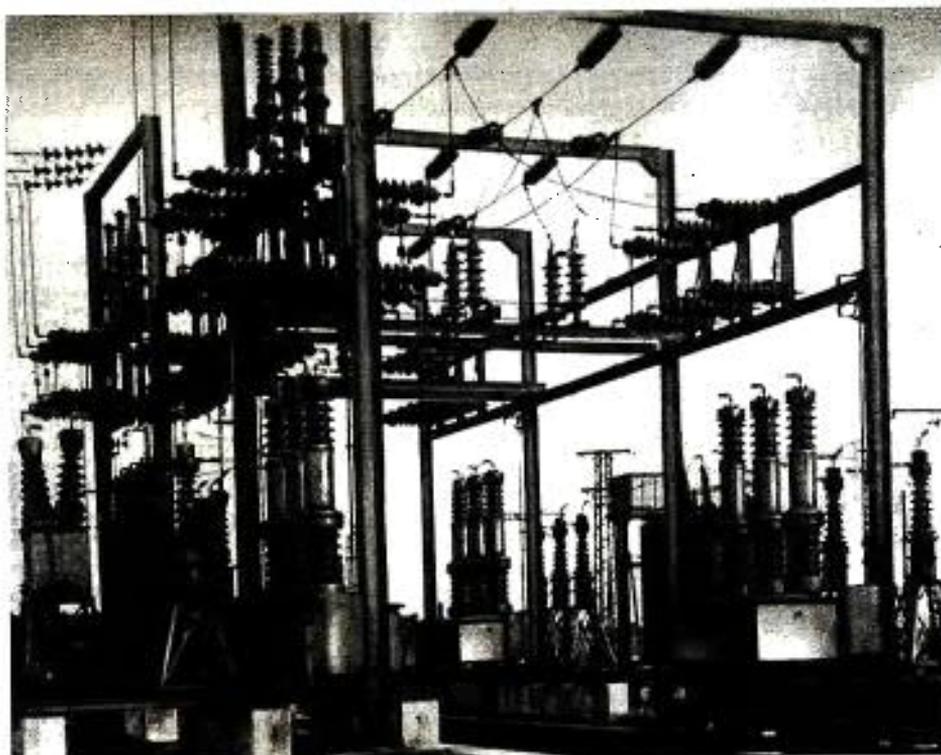
Weiterhin ist die Meßtechnik Ausgangspunkt für die Steuer- und Regelungstechnik, denn ein Prozeß kann grundsätzlich nur dann gesteuert und geregelt werden, wenn die in ihm sich abspielenden Vorgänge erfaßt und verfolgt werden können.

Einführung in die Starkstromtechnik (Leistungselektrik)

Elektroenergie wird in Kraftwerken durch Energieumwandlungsprozesse gewonnen. Für die Übertragung von Elektroenergie vom Erzeuger zum Verbraucher wurde ein weitverzweigtes Leitungssystem errichtet. Mit Hilfe von Umspannstationen und Schaltanlagen (Bild unten) kann die elektrische Energie dabei so gesteuert werden, daß die notwendigen Energiemengen zum reibungslosen Betrieb in den verschiedenen Bereichen der Wirtschaft sowie in den Haushalten bereitstehen.

Die Starkstromtechnik umfaßt als Teilgebiet der Elektrotechnik/Elektronik

- die Erzeugung der Elektroenergie,
- die Übertragung der Elektroenergie zum Ort der Anwendung,
- die Umwandlung in die jeweils erforderliche Energieart.



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 in elektrische Energie umgewandelt.

Im **Wärme kraftwerk** wird durch die Verbrennung fester oder flüssiger Brennstoffe bzw. durch Kernspaltung „Wärmeenergie“ erzeugt.

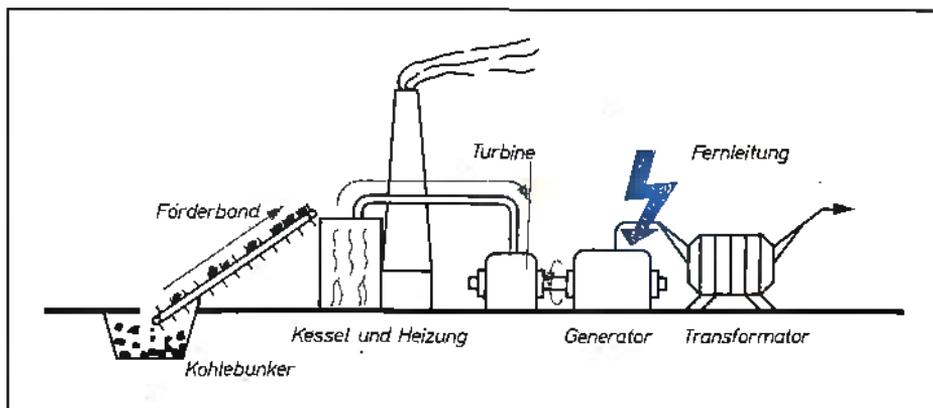


Bild 39/1 Schema eines Wärme kraftwerks auf Braunkohlebasis



Bild 39/2 Großgenerator auf dem Prüfstand



Bild 39/3 Blockeinheit Turbine-Generator in einem Wärme kraftwerk

Mit Hilfe dieser Wärmeenergie wird in modernen Kesselanlagen Wasser über den Siedepunkt erhitzt, und es entsteht ein unter hohem Druck stehender Dampf. Dieser Hochdruckdampf wird auf die Laufräder von Dampfturbinen geleitet. Hier entsteht an der rotierenden Turbinenwelle mechanische Energie, die als Antrieb eines direkt mit der Turbine gekoppelten Generators wirkt.

Auf der Grundlage der elektromagnetischen Induktion (Leiter wird in einem Magnetfeld bewegt) wird im Generator elektrische Energie erzeugt. (\nearrow Ph i Üb, S. 134)

Die in unserer Republik am häufigsten vertretenen Wärmekraftwerke sind die *Braunkohlekraftwerke* (\nearrow Bild 39/1).

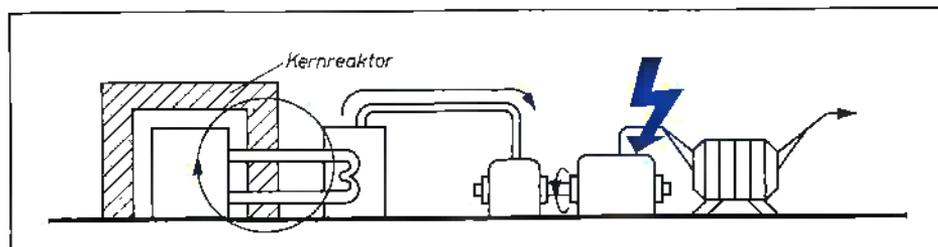


Bild 40/1 Schema eines Kernkraftwerkes

Daneben werden *Kernkraftwerke*, bei denen die Wärmeenergie durch den Kernspaltungsprozeß im Kernreaktor entsteht (\nearrow Bild 40/1 und Ph i Üb, S. 232) in der Zukunft einen wachsenden Anteil an der Kapazität unserer Kraftwerke haben.

Das **Wasserkraftwerk** arbeitet nach einem grundlegend anderen Prinzip. Es nutzt die in hochliegenden Wassermassen enthaltene potentielle Energie. Diese wandelt sich, wenn das Wasser in ein tiefer liegendes Becken fließt, in kinetische Energie um. Das Wasser wird durch Turbinen geleitet, und die mechanische Energie wirkt an der Turbinenwelle (Drehbewegung). Die Turbinenwelle überträgt die mechanische Energie auf die Generatorwelle. Im Generator wird dann die mechanische in elektrische Energie umgewandelt.

Im Wärmekraftwerk wird die Wärmeenergie in mechanische Energie umgewandelt (Bewegung der Turbinenwelle), im Wasserkraftwerk wird die mechanische Energie des fließenden Wassers genutzt. Die Bewegungsenergie der Turbinenwelle wird auf den Generator übertragen und 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 **Pumpspeicherwerk** (Bild 41/1) ist ein besonderes Wasserkraftwerk: Es entnimmt zu bestimmten Zeiten Energie aus dem Verbundnetz. Mit dieser Energie wird Wasser aus einem Unterbecken in ein Oberbecken gepumpt. Zur Zeit des erhöhten Bedarfs an elektrischer Energie fließt das Wasser vom Oberbecken zum Unterbecken, und es wird elektrische Energie erzeugt. Das Pumpspeicherwerk arbeitet als *Spitzenlastkraftwerk*, wobei elektrische Energie in das Verbundnetz eingespeist wird.

Derartige Pumpspeicherwerke arbeiten, wie die Bezeichnung schon ausdrückt, als „Speicher“ für die Elektroenergie. Sie sind mit einem Akkumulator vergleichbar.

- Nennen Sie Ihnen bekannte Kraftwerksarten!
- Nach welchen Gesichtspunkten werden die Kraftwerke eingeteilt? (\nearrow Tech i Üb, Register)
- Erläutern Sie die Wirkungsweise der Blockeinheit Turbine–Generator bei der Umwandlung von Wärmeenergie in elektrische Energie!
- Wodurch entsteht im Kernreaktor Wärmeenergie?
Erläutern Sie die physikalischen Grundlagen! (\nearrow Ph i Üb, Abschnitt 9)

Ihre besondere energiewirtschaftliche Bedeutung liegt in der Tatsache begründet, daß der Energiebedarf der Volkswirtschaft nicht kontinuierlich ist.

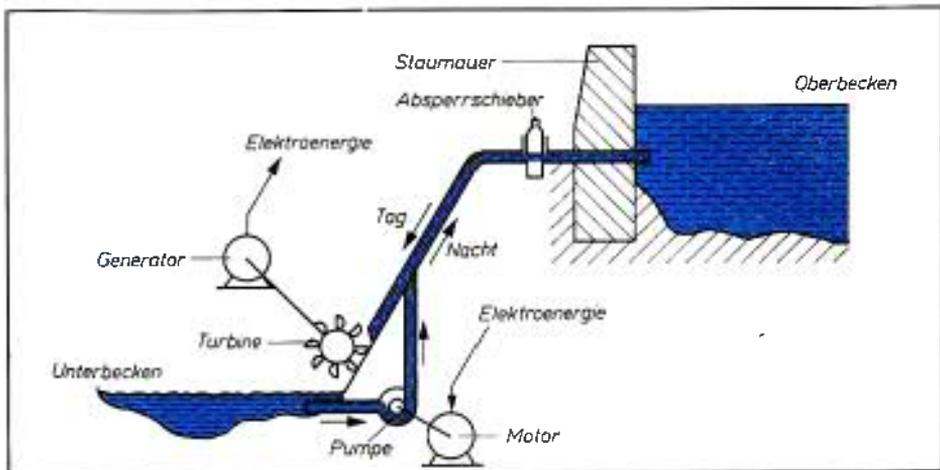


Bild 41/1 Schema eines Pumpspeicherkraftwerks

Er unterliegt innerhalb von 24 Stunden bestimmten Schwankungen. Die grafische Darstellung dieses wechselnden Energiebedarfs ergibt die *Tagesbelastungskurve* (Bild 41/2).

Außer diesen täglichen Bedarfsschwankungen ergibt sich auch über das gesamte Jahr ein differenzierter Energiebedarf.

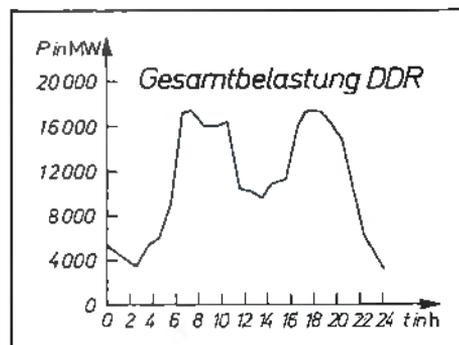


Bild 41/2 Verlauf des Energiebedarfs innerhalb eines Tages (Tagesbelastungskurve)

Reiht man alle Tagesbelastungskurven des Jahres hintereinander, so erhält man in der räumlichen Darstellung ein *Belastungsgebirge* (Bild 42/1).

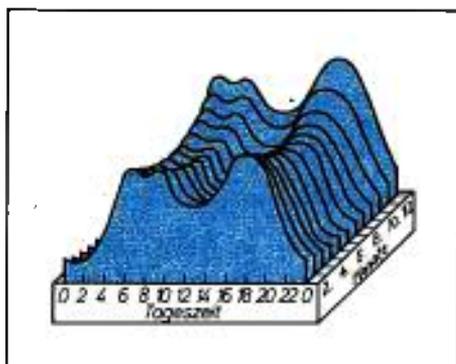


Bild 42/1 Verlauf des Energiebedarfs innerhalb eines Jahres (Jahresbelastungsgebirge)

Große Wärmekraftwerke 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. In der DDR besitzen die Pumpspeicherkraftwerke große Bedeutung. Sie verwenden die in den Lasttälern überschüssige Energie der Grundlastkraftwerke (Hochpumpen des Wassers ins Oberbecken) und speisen Energie während der Zeit der Lastspitzen in das Verbundnetz ein. (↗ Tech i Üb, S. 166)

Eine kontinuierliche Auslastung der Kraftwerkskapazitäten ist für das Erreichen eines hohen Wirkungsgrades der Umwandlungsprozesse und für die effektive Nutzung der Anlagen von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung.

Wie diese Zielstellung durch vielfältige Maßnahmen in den letzten Jahren von unseren Werktätigen immer besser realisiert wurde, zeigt die folgende Übersicht:

Jahr	Auslastung der installierten Kraftwerkskapazitäten
1960	88,7 %
1965	91,5 %
1970	93,3 %
1975	95,8 %
1976	96,0 %

Fortleitung und Verteilung elektrischer Energie

Die in den Kraftwerken erzeugte elektrische Energie muß zu den jeweiligen Standorten der Verbraucher hingeleitet werden. Dabei werden große Leistungen übertragen.

- Um wieviel Prozent ist der Elektroenergiebedarf in den Jahren von 1960 bis 1975 angestiegen (1960 = 100%)? (→ S. 8)
Begründen Sie diese Entwicklung!
- Welche Aufgaben haben Spitzen- und Grundlastkraftwerke?
Welche Kraftwerksarten erfüllen diese Aufgaben im Energiesystem der DDR?
- Erläutern Sie das Zusammenwirken von Spitzen- und Grundlastkraftwerken an der Tagesbelastungskurve, und stellen Sie diesen Sachverhalt grafisch dar!
- Stellen Sie in Form von Blockschaltplänen den Energiefluß und die Umwandlungsstufen in folgenden Kraftwerksarten dar:
 - Wärmekraftwerk
 - Kernkraftwerk
 - Wasserkraftwerk
 - Pumpspeicherwerk (Tag- und Nachtbetrieb)
- Erläutern Sie die physikalischen Grundlagen der Umwandlung mechanischer in elektrische Energie im Generator!
- Nennen Sie die Ursachen für die Schwankungen des Elektroenergiebedarfes innerhalb eines Tages (24 Stunden) und zeigen Sie Möglichkeiten auf, wie dieser Erscheinung bis zu einem gewissen Grade entgegengewirkt werden kann!
- Zu welchen Zeiten liegen in Ihrem Betrieb Belastungsspitzen im Verbrauch an Elektroenergie vor?
- Berechnen Sie den Anstieg der Erzeugungskapazitäten für Elektroenergie von 1960 bis 1978 in Prozent!
- Die großen Blockeinheiten unserer Wärmekraftwerke haben eine Leistung von 500 MW. Wieviel Pkw-Motoren wären erforderlich, um diese Leistung zu erbringen? (1 Pkw-Motor etwa 40 kW)
- Wie wird die elektrische Leistung definiert?
(→ Ph i Üb, S. 119)
Erläutern Sie diesen Sachverhalt bei der Fortleitung elektrischer Energie!
- Man kann die Höhe einer elektrischen Spannung sowohl für den Kraftwerksbetrieb als auch für die Verteilung nicht beliebig festlegen. Je höher die gewählte Spannung ist, um so schwieriger werden die Isolationsprobleme. Je höher die Stromstärke ist, um so größer müssen die Leiterquerschnitte sein.
Welcher physikalische Zusammenhang besteht zwischen der Stromstärke und dem Leiterquerschnitt?
Gehen Sie vom Widerstandsgesetz aus! (→ Ph i Üb, S. 121)
- Im System der Energieübertragung werden zum Erreichen der jeweils optimalen Verhältnisse zwischen Strom und Spannung die Spannungsebenen mehrmals verändert. Zum „Wandeln“ der Spannungshöhe wird der Transformator eingesetzt.
Begründen Sie, warum die Fortleitung elektrischer Energie bei hoher Spannung und geringer Stromstärke günstig ist!
- Geben Sie mindestens drei Gründe für die Schwankungen des Energiebedarfs innerhalb eines Jahres an!
Erläutern Sie dazu Bild 42/1!

Für die Fortleitung einer bestimmten elektrischen Leistung ist eine entsprechende Stromstärke bei einer entsprechenden Spannung erforderlich. Je höher die Übertragungsspannung gewählt wird, desto geringer wird bei einer konstanten zu übertragenden Leistung die erforderliche Übertragungsstromstärke.

Energiefluß vom Kraftwerk zum Verbraucher

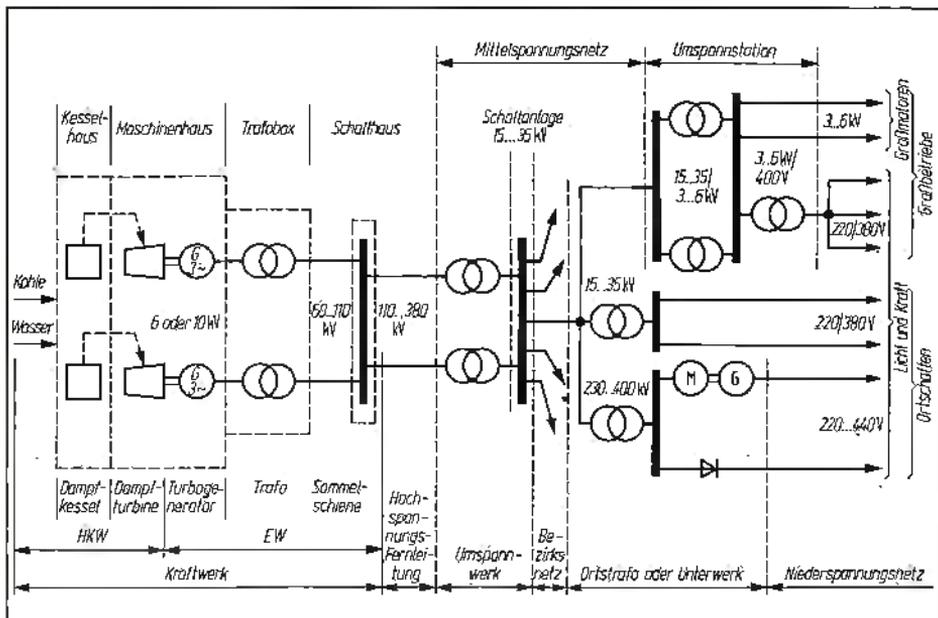
Die in den Generatoren der Kraftwerke erzeugte Energie mit einer Spannung von 6000...20000 V (6...20 kV) wird in unmittelbarer Nähe der Kraftwerke hochgespannt und über Hochspannungsfernleitungen den Verbrauchergebieten zugeführt (Bild 44/1).

Verbundnetz. Um eine stabile Energieversorgung zu gewährleisten, sind die Hochspannungsfernleitungen zu einem Verbundnetz zusammengeschlossen. Die Kraftwerke speisen ihre erzeugte Energie in das Verbundnetz ein. Innerhalb des Verbundsystems bestehen verschiedene Spannungsebenen von 110 kV bis 380 kV. Umspannwerke dienen in diesem Verbundnetz zur Umwandlung der Spannungsebenen. Sie stellen die jeweils erforderliche Spannungshöhe auf dem Übertragungsweg der Elektroenergie vom Kraftwerk bis zum Verbraucher bereit.

Internationaler Verbundbetrieb

Die europäischen Mitgliedsländer des RGW betreiben ein internationales Verbundnetz, die *Vereinigten Energiesysteme*.

Bild 44/1 Schema des Energieflusses vom Kraftwerk zum Verbraucher



- Erklären Sie die Vorzüge des nationalen Verbundnetzes!
- Erklären Sie die Vorteile des RGW-Verbundnetzes!
- Welche sozialistischen Länder sind dem internationalen Verbundnetz des RGW angeschlossen?
- Welche Reservekapazität müßte die DDR bereithalten, um bei Ausfall einer der größten in unseren Kraftwerken installierten Blockeinheiten die Stabilität der Energieversorgung zu sichern?
- Wieviel Prozent der Gesamtkapazität unserer Kraftwerke beträgt die durch das RGW-Verbundnetz für die DDR eingesparte Reservekapazität?
- Berechnen Sie die jeweiligen Stromstärken, die bei der Übertragung einer elektrischen Leistung von 100 MW fließen, wenn die Übertragungsspannung 380 kV, 15 kV oder 6 kV beträgt!

Dieser Zusammenschluß bietet für jedes Partnerland folgende Vorteile:

- *Energieaustausch* in den Spitzenzeiten, da durch die geographisch bedingte Zeitdifferenz die Spitzenzeiten der einzelnen Länder verschieden sind;
- *Unterstützung* bei Kraftwerkshavarie in einem Land;
- Aufbau einer gemeinsamen *Reservekapazität*, die im Havariefall eines Landes für die Aufrechterhaltung der stabilen Energieversorgung im Gesamtsystem erforderlich ist. So braucht nicht jedes Land eine eigene relativ hohe „Reservekapazität“ an Kraftwerken bereitzustellen.

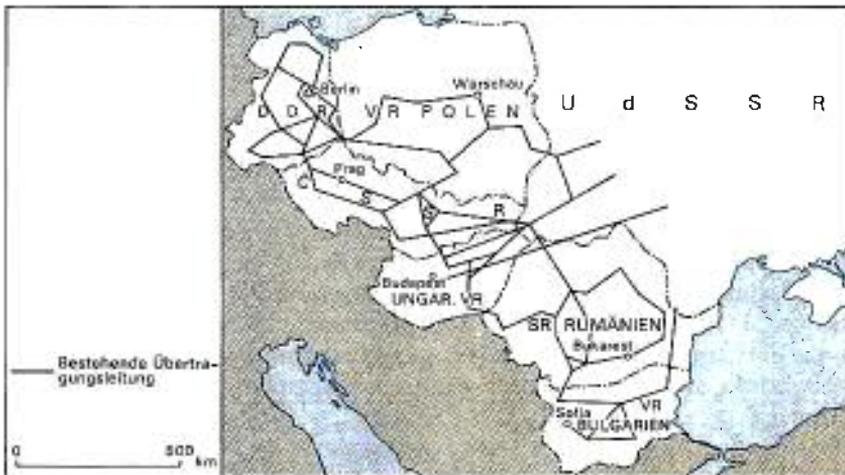


Bild 45/1 Vereinigte Energiesysteme des RGW

Im Gesamtenergiesystem konnte so eine Reservekapazität an Kraftwerken von 4800 MW, die eine Investition von 800 Mio Rubel bedeuten würde, eingespart werden.

Die DDR spart dadurch nationale Reservekapazitäten von 140 MW ein, was einer Investitionssumme von 200 Mio M entspricht.

Elektrische Leitungen

Für die Übertragung der Elektroenergie werden Leitungen benötigt. Im Freien werden *blanke Leitungen* mit den jeweils erforderlichen Querschnitten auf Isolierkörper aus Porzellan gelegt. Sie werden als *Freileitungen* bezeichnet.

Hauptsächlich in Gebäuden werden *isolierte Leitungen* gelegt, die aus dem metallischen Leiter und dem diesen umhüllenden Isolierstoff bestehen.

Für die Legung im Erdreich, in Kanälen oder im Wasser werden *Kabel* verwendet. Sie sind so aufgebaut, daß sie neben der Isolation auch noch spezielle Umhüllungen zum Schutz gegen mechanische Beschädigung und Feuchtigkeit besitzen.

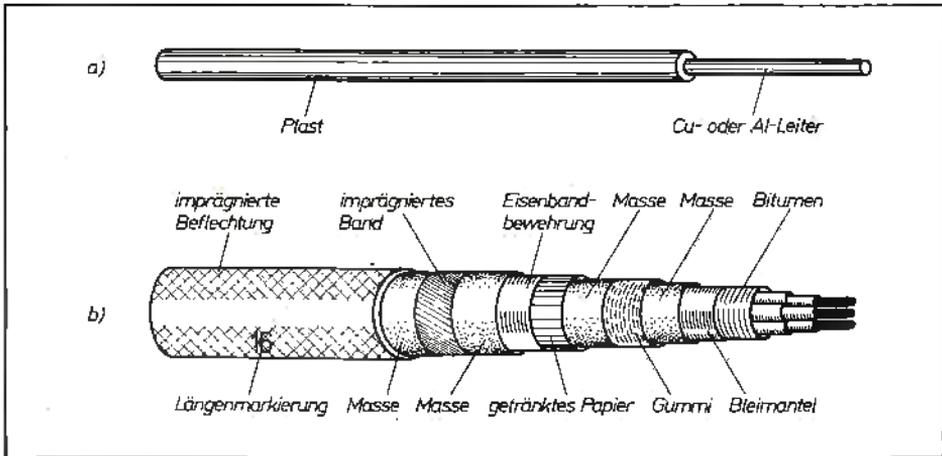


Bild 46/1 Vergleich zwischen Leitung und Kabel

Blanke Leitungen sind nicht isolierte Leiter, die auf Isolatoren außerhalb des Berührungsbereiches auf Masten, hinter Schutzgittern oder Gehäusen gelegt werden.

Isolierte Leitungen bestehen aus einem oder mehreren voneinander isolierten Leitern.

Kabel bestehen aus einem oder mehreren voneinander isolierten elektrischen Leitern. Sie sind mit einer oder mehreren Schutzschichten versehen, die eine Legung in Kabelgräben, Kabelformsteinen oder Kabelkanälen ermöglichen, ohne die elektrische Funktion zu beeinträchtigen.

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

Leiterwerkstoffe sind Metalle, die eine *gute elektrische Leitfähigkeit* haben; in erster Linie sind es Kupfer und Aluminium, seltener werden Stahl, Zink und Legierungen von Aluminium, Magnesium und Silizium eingesetzt.

- Ist der Leitwert eines Werkstoffes eine konstante Größe?
- Nennen Sie technische Widerstände und ihre Einsatzmöglichkeiten! (Hinweis: Physikalisches Praktikum)

Aldrey, ein besonderer Leiterwerkstoff, besitzt eine hohe mechanische Festigkeit. In der folgenden Übersicht werden die Leitwerte (Kehrwerte der spezifischen Widerstände) und Dichten der genannten Leiterwerkstoffe angegeben. (↗ Ph i Üb, S. 121)

Werkstoff	Leitwert $\frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2}$	Dichte $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
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 als Leitermaterial immer mehr vom Aluminium verdrängt. Aluminium steht in genügendem Maße zur Verfügung; während Kupfer vorwiegend importiert werden muß. Kupfer wird deshalb nur dort verwendet, wo es unbedingt erforderlich ist (z. B. für Spulen von Meßwerken, Wicklungen für Gleich- und Wechselstrommotoren).

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

Widerstandswerkstoffe sind eine besondere Art der Leiterwerkstoffe. Sie werden in der Elektroindustrie vornehmlich für technische Widerstände und für Heizwiderstände in Elektrowärmegegeräten verwendet. (↗ Tech i Üb, S. 177)

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.

Legierung	Leitwert ² bei 20°C	Dichte ² in g · cm ⁻³	Anwendungstemperatur ² in °C
CrNi (Cr 18 ... 25 % Ni 75 ... 82 %)¹	0,7 ... 0,8	7,8 ... 8,3	1 050 ... 1 150
CrAl (Cr 7,5 ... 30 % Al 4 ... 6 %)¹	0,9 ... 1,0	7,1 ... 7,3	950 ... 1 250

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

² Werte schwanken je nach Zusammensetzung der Legierung

Isolierstoffe (Tech i Üb, S. 178) sind in der Elektrotechnik Werkstoffe, die dem Strom einen sehr großen Widerstand entgegensetzen.

In der Elektrotechnik/Elektronik wird eine große Zahl verschiedenartiger Isolierstoffe eingesetzt. 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 Legung der Leitungen die technologisch günstigen Varianten bedacht werden. In den letzten Jahrzehnten erlangten die Plastwerkstoffe eine immer größere Bedeutung. In der folgenden Übersicht sind wichtige Isolierstoffe und ihr spezifischer Widerstand angegeben. Außer diesen Isolierstoffen werden für elektrische Leitungen andere Werkstoffe, insbesondere zur Erhöhung der Beständigkeit gegen chemische und mechanische Beanspruchung, eingesetzt (z. B. Stahlbewehrung, Juteumspinnung, Bleimäntel).

Isolierstoffe	Spezifischer Widerstand in $\Omega \text{ cm}$
Papier	10^9
Hartgewebe	$10^{10} \dots 10^{12}$
Hartpapier	$10^{10} \dots 10^{13}$
Buna	$10^{14} \dots 10^{15}$
Hartgummi	$10^{13} \dots 10^{18}$
Weichgummi	10^{15}
Plaste	$10^{12} \dots 10^{16}$

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

Leitungsarten. Elektrische Leitungen unterscheiden sich in Abhängigkeit von ihrer Verwendung stark in ihrem Aufbau voneinander. Für die Herstellung und für den Einsatz elektrischer Leitungen bestehen staatliche Standards. Die Art der Leitung,

die für einen bestimmten Zweck verwendet wird, hängt von verschiedenen Anforderungen ab. Die Entscheidung über den Einsatz von elektrischen Leitungen darf nur der Fachmann fällen. Er kennt die zur Verfügung stehenden Leitungsarten und die Vorschriften ihrer Verwendung. 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 eine Leitung in Abhängigkeit vom jeweiligen Energiebedarf der Verbraucher haben muß, wird ein bestimmter Leiterquerschnitt benötigt. Ist der Querschnitt zu gering, wird die Leitung überlastet, und sie erwärmt sich. Dadurch wird die Isolierung zerstört, es können Brände entstehen. Die zulässigen Höchststromstärken für die einzelnen Leiterquerschnitte sind in Standards festgelegt. In der folgenden Übersicht sind aus dem Standard TGL 200-0613/02 einige Werte ausgewählt:

Querschnitt in mm ²	Höchstzulässige Dauerbelastung isolierter Leitungen (Dauerstrom und Nennstromstärke der Sicherung in A)	
	Dauerstrom/ Sicherung Cu	Dauerstrom/ Sicherung Al
1,5	20/20	—/—
2,5	27/25	20/20
4	38/36	28/25
6	50/50	37/36
10	64/63	50/50
16	87/80	67/63
25	116/100	90/80

Mechanische Beanspruchung. Blanke Leiter, die als Freileitung (massiv oder verseilt) auf Isolatoren gelegt werden, müssen die erforderliche Zugfestigkeit besitzen. Isolierte Leitungen werden zum Schutz gegen mechanische Beschädigung (Stoß oder Pressung) in Rohre gelegt (Falzrohr, Stahlrohr, Stahlpanzerrohr, PVC-Rohr). Leitungen für ortsveränderliche Verbraucher werden stark auf Biegung beansprucht. Deshalb besteht der Leiter aus vielen Einzeldrähten (flexibel). Zum Schutz gegen Stoß und Quetschung werden die Leitungen teilweise mit Baumwollbündagen und zwei Gummimänteln versehen. Erdkabel werden gegen mechanische Beschädigungen mit Stahlbandbewehrung ausgerüstet, mit Kabelsteinen abgedeckt oder in Kabelschächte gelegt.

Chemische Beanspruchung. Bei der Legung von Leitungen in feuchten Räumen, im Erdreich oder in Räumen mit chemischen Dämpfen werden bestimmte Anforderungen hinsichtlich der chemischen Beständigkeit gestellt. Zum Schutz gegen derartige Beanspruchungen wird der Leiter mit asphaltgetränkter Baumwolle oder Jute umspinnen und mit Blei- oder Plastmantel ausgerüstet.

Thermische Beanspruchung. Die Umgebungstemperatur hat ebenfalls Bedeutung für den Einsatz elektrischer Leitungen. So darf z. B. PVC-Rohr nicht in Räumen mit Temperaturen über 35°C verwendet werden. Unter extrem hohen Temperaturen,

z. B. im Inneren elektrischer Wärmegeräte, werden Leitungen mit Asbestisolation eingesetzt; auch Glimmer und Keramikperlen finden hier Verwendung. Aufgrund der vielseitigen Beanspruchung elektrischer Leitungen ist die Anzahl der in den Standards festgelegten Leitungsarten sehr groß (z. B. gibt es für den Anschluß ortsveränderlicher Verbraucher 32 verschiedene Leitungsarten).

Beim Legen elektrischer Leitungen müssen die verschiedenen Arten der Beanspruchung berücksichtigt werden. Außer der elektrischen Beanspruchung können z. B. mechanische, chemische und auch thermische Beanspruchungen auftreten.

Die folgende Übersicht zeigt Aufbau und Verwendungszweck einiger ausgewählter Leitungsarten.

Leitungen für feste Legung (TGL 21 804)

Bezeichnung	Typenkurzzeichen	Aufbau	Anwendung
Plastaderleitung	NYA	Kupferleiter, Isolationshülle aus Plast	In Rohr oder Kanal verlegt, auf Isolierkörpern, für geschützte Legung in und an Bearbeitungs- und Verarbeitungsmaschinen
Gummiaderleitung	NGA	Kupferleiter, Isolationshülle aus Gummi	Im Rohr verlegt auf und unter Putz für Installation, auf Isolierkörpern
Plastmantelleitung	NYN	Ein- oder mehrdrähtiger Kupfer- oder Aluminiumleiter, Isolationshülle aus Plast, gemeinsame Aderumhüllung aus plastischer Füllmischung, Plastmantel	Einsatz für alle Installationsarten (außer Imputzinstallation), auch im Freien zulässig

- *Wodurch unterscheiden sich Kabel und Leitungen?*
- *Welchen Beanspruchungen sind elektrische Leitungen unterworfen?*
- *Bei welcher Art elektrischer Leitungen ist die mechanische Festigkeit von besonderer Bedeutung? Begründen Sie Ihre Antwort!*
- *Warum wird bei Freileitungsseilen eine Kombination von Stahl- und Aluminiumleitern verwendet?*
- *Beurteilen Sie Kupfer und Aluminium hinsichtlich ihres Einsatzes als Leiterwerkstoff!*
- *Zur Versorgung folgender Geräte soll eine Leitung verlegt werden:*

Gerät	Anschlußleistung
1 Waschmaschine	2,2 kW
1 Heißwasserspeicher	1 200 W
1 Elektroherd	3,8 kW

- Ermitteln Sie die Stromstärke! (Nennspannung 220 V)*
- Wählen Sie den erforderlichen Leiterquerschnitt bei Kupfer und Aluminium aus, und geben Sie die Nenngröße der erforderlichen Sicherung an!*

Leitungen zum Anschluß ortsveränderlicher Verbraucher (TGL 21 805)

Bezeichnung	Typenkurzzeichen	Aufbau	Anwendung
Leichte Gummischlauchleitung	NLH	Feindrätiger Kupferleiter, Isolationshülle aus Gummi, Gummimantel	Anschluß von Bügelgeräten, Haushaltskühlschränken, Rundfunk- und Fernsehgeräten
Starke Gummischlauchleitung	NSH	Feindrätiger Kupferleiter, Isolierung aus Gummi, Aderumhüllung aus Gewebeband (nicht immer Gummimantel)	Anschluß von Maschinen des Bauwesens, Bahnmotoren, Dreh-, Bohr- und Schleifmaschinen
Leichte Plastschlauchleitung	NYLHY	Feindrätiger Kupferleiter, Isolationshülle aus Plastmischung, Plastmantel	Anschluß von Elektrowärmegegeräten (Umgebungstemperatur für Leitung nicht über 85 °C)

Schaltgeräte

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

(↗ Tech i Üb, S. 178 ff.)

Man unterteilt die Schaltgeräte in

Schalter

Steckvorrichtungen

Sicherungen

Schalter sind Schaltgeräte, die fest montiert im Strompfad liegen und hand-, fuß- oder fernbetätigt werden können.

Schalter können sich bei grundsätzlich gleicher Wirkungsweise sehr stark im konstruktiven Aufbau unterscheiden. Folgende Bedingungen 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 (einpoleig oder mehrpoleig, Aus- oder Umschalter),
- Art der Auslösung des Schaltvorganges (handbetätigt, elektromagnetisch betätigt, druckluftbetätigt).

Man unterscheidet *Stellschalter*, *Tastschalter* und *Schalterschütze*.

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

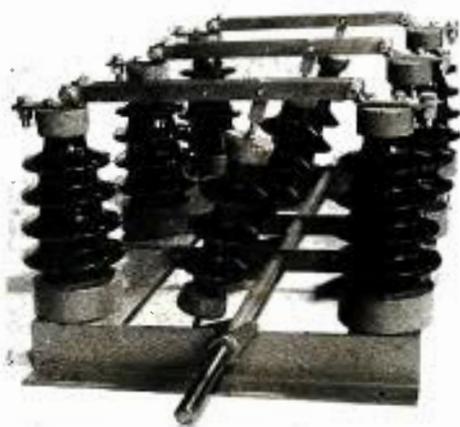


Bild 52/1 Trennschalter
für Hochspannungsanlagen

● *Skizzieren Sie die Schaltzeichen der aufgeführten Schalter!*

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

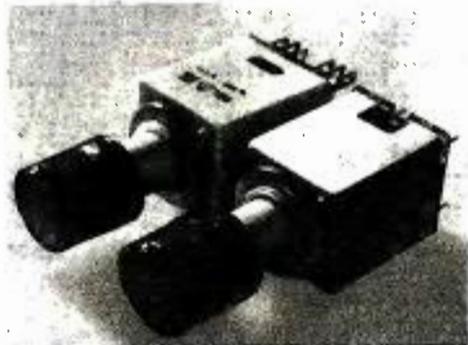


Bild 53/1 Tastschalter mit Leuchttaste zur Kennzeichnung des Betriebszustandes einer elektrotechnischen Anlage

Schalterschütze sind Schalter, die mit Hilfe eines Steuerstromes, der die Spule eines Schaltmagneten durchfließt, fernbetätigt werden. Durch die magnetische Wirkung wird ein Anker in die Spule hineingezogen. Über einen Schaltmechanismus wird mit Hilfe der entstandenen Kraft der Schaltkontakt betätigt. Nach dem gleichen Prinzip wirken auch die vorwiegend in der Informationselektrik verwendeten *Relais* und die *Installation fernschalter*. Bei letzteren wird der Schaltvorgang durch einen kurzen Stromstoß ausgelöst.



Bild 53/2 Schaltschütz

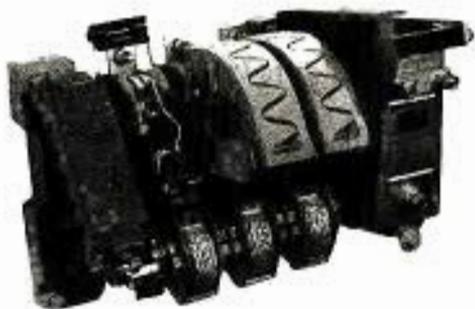


Bild 53/3 Schaltschütz

Schalter sind Schaltgeräte, die fest montiert im Strompfad liegen. Sie können nach Betätigung in der Schaltstellung stehenbleiben (Stellschalter) oder in die Ausgangsstellung selbsttätig zurückgehen (Tastschalter). Daneben gibt es fernbetätigte Schalter (Schaltschütze).

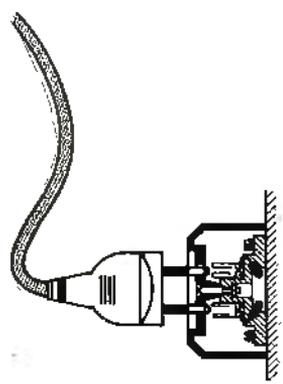
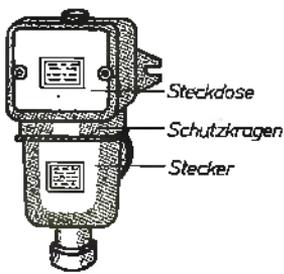
Zu den Schaltgeräten zählen ferner die **Steckvorrichtungen** und die **Sicherungen**.

Steckvorrichtungen sind Schaltgeräte für feste und bewegliche oder nur bewegliche Strompfade. Die Teile zum Verbinden oder Unterbrechen eines Strompfades sind nicht auf einem gemeinsamen Sockel montiert.

(↗ Tech i Üb, S. 181)

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

Übersicht: Arten der Steckvorrichtungen

Wandsteckvorrichtung	Kupplungssteckvorrichtung	Kragensteckvorrichtung
Steckdose fest montiert, Stecker gehört zum beweglichen Strompfad	Steckdose und Stecker gehören zum beweglichen Strompfad	Steckdose und Stecker sind mit einem „Kragen“ versehen
		

Die Ausführung der Kragensteckvorrichtung ist eine besondere Schutzmaßnahme gegen zufälliges Berühren spannungsführender Anlagenteile, gegen Eindringen von Flüssigkeiten und mechanische Beschädigung.

- Wiederholen Sie den Begriff „Berührungsschutz“!
- Welche Schutzmaßnahmen gegen das Berühren spannungsführender Anlagen- oder Gehäuseteile sind Ihnen bekannt?

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 *Leitungsschutzsicherung* und *Leitungsschutzschalter*. Die *Leitungsschutzsicherung* unterbricht den Strompfad, indem ein Schmelzdraht bei zu hoher Stromstärke durchschmilzt. (↗ Aufgaben S. 59) Der *Leitungsschutzschalter* unterbricht durch elektromagnetische und thermische Auslöseglieder den Leitungsweg. Er kann im Gegensatz zu den Leitungsschutzsicherungen durch Knopfdruck wieder in Betrieb genommen werden. (↗ Tech i Üb, S. 180)

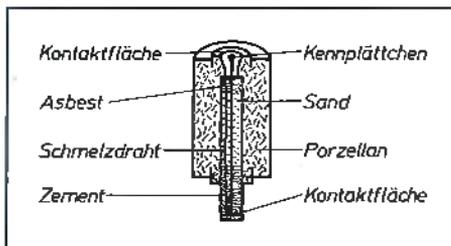


Bild 55/1 Leitungsschutzsicherung (Schnittdarstellung)

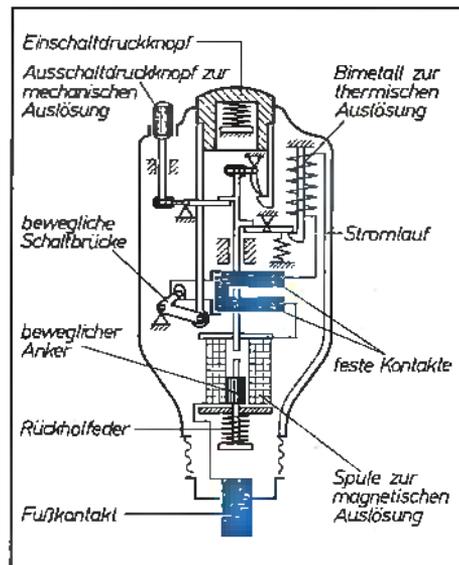


Bild 55/2 Leitungsschutzschalter (Schnittdarstellung)

Paßeinsätze verhindern, daß eine fahrlässige oder irrtümliche Verwendung von Sicherungen für zu hohe Stromstärken möglich ist. Das bedeutet, daß eine Leitung, die mit einer Sicherung für 10 A gesichert werden muß, nicht mit einer Sicherung für beispielsweise 25 A versehen werden kann.

Paßeinsätze dürfen nur vom Fachmann ausgewechselt werden. Durch fachmännische und gewissenhafte Verwendung von Sicherungen werden Menschenleben und Volksvermögen geschützt.

Allen *Schaltern* ist gemeinsam, daß an der Schaltstelle der Stromkreis geöffnet bzw. geschlossen wird. Zu diesem Zweck befinden sich an der Schaltstelle *Schaltkontakte*.

Höhe der Spannung, Stärke des Stromes und Häufigkeit des Schaltvorganges bestimmen die Auswahl des zu verwendenden *Kontaktwerkstoffes*.

Übersicht: Kontaktwerkstoffe

Edeelmetalle.	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

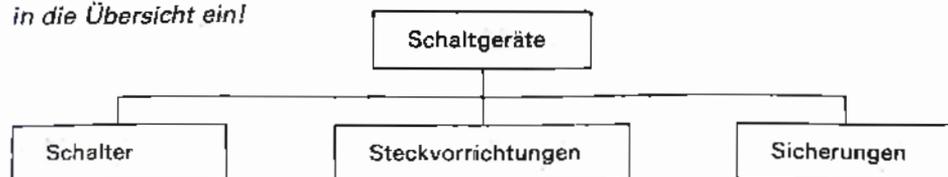
Grundsaltungen der Installationstechnik

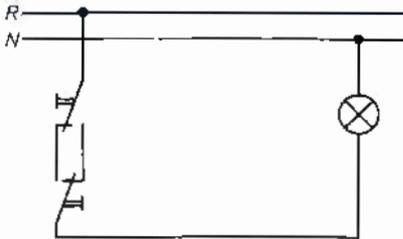
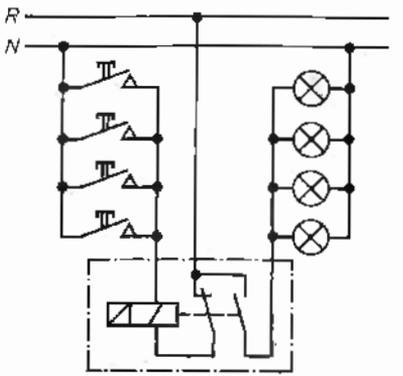
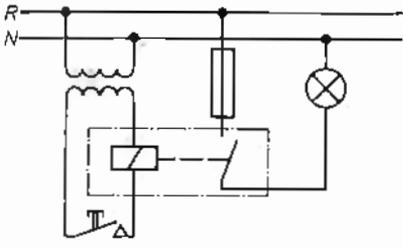
Im folgenden werden die Schaltpläne wichtiger Grundsaltungen dargestellt, die man in Beleuchtungsstromkreisen in Haushalten, Betrieben und Gesellschaftsbauten verwendet. (→ Aufgaben S. 59)

(→ Tech i Üb, S. 181 und 182)

<p>Ausschaltung Das Betriebsmittel (hier eine Glühlampe) kann von einer beliebigen Schaltstelle ein- oder ausgeschaltet werden.</p>	
<p>Serienschaltung Betriebsmittel (hier zwei Glühlampen) können von einer Schaltstelle aus getrennt oder gemeinsam beliebig ein- oder ausgeschaltet werden.</p>	

- Welche Schaltgeräte werden in Ihrem Betrieb eingesetzt? Ordnen Sie die Beispiele in die Übersicht ein!



<p>Wechselschaltung Betriebsmittel (hier eine Glühlampe) kann von zwei räumlich voneinander getrennten Schaltstellen ein- oder ausgeschaltet werden. Außer Wechselschaltung gibt es noch einige andere Arten, über deren Einsatz der Fachmann entscheidet.</p>	
<p>Zeitrelaisschaltung für Treppenhausbeleuchtung Durch Tastschalter, die in den einzelnen Stockwerken installiert sind, wird ein Zeitrelais betätigt, das den Lampenstromkreis schließt. Die Zeitverzögerung wird pneumatisch oder durch Bimetallstreifen (thermisch) erreicht. Nach Ablauf der eingestellten Zeit wird der Lampenstromkreis selbsttätig unterbrochen.</p>	
<p>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. Die Kleinspannung für den Steuerstromkreis wird durch einen Transformator geliefert.</p>	

Elektrowärme und elektrische Beleuchtung

Umwandlung der Elektroenergie in Wärme- und Lichtenergie

Elektrische Energie wird durch Umwandlung anderer Energiearten gewonnen und läßt sich wieder in andere Energiearten umwandeln. Nach dem Energieerhaltungsgesetz (↗ Ph i Üb, S. 101) bleibt die Gesamtenergie erhalten.

Energieart vor der Umwandlung	Energiewandler	Energieart nach der Umwandlung
Mechanische Energie Chemische Energie Wärmeenergie Lichtenergie	Generator Akkumulator Galvanisches Element Thermoelement Fotoelement	Elektrische Energie
Elektrische Energie	Elektromotor Elektrisches Wärme- gerät Glühlampe Leuchtstofflampe	Mechanische Energie Wärmeenergie Lichtenergie

Die Umwandlung von Elektroenergie in Wärme- und Lichtenergie kann auf folgende physikalische Erscheinungen zurückgeführt werden:

- Fließt ein elektrischer Strom durch einen Widerstand (Heizleiter), wird elektrische Energie in Wärmeenergie umgewandelt. Der Leiter erwärmt sich. (↗ Ph i Üb, S. 140)
- Erreicht die dem Heizleiter zugeführte elektrische Energie einen bestimmten Grenzwert, beginnt der Leiter zu glühen (Weißglut) und sendet Lichtstrahlen aus (Temperaturstrahler).
- Befinden sich Gasatome in einem elektrischen Feld (Gasentladungsstrecke), werden sie beim Überschreiten der Durchbruchfeldstärke ionisiert. Der im ionisierten Gas fließende elektrische Strom überträgt den Gasionen und -atomen Energie, die als Lichtenergie wieder abgestrahlt wird. (↗ Ph i Üb, S. 142 und 143) Diese Strahlung reicht von den unsichtbaren UV-Strahlen bis zu den langwelligen Wärmestrahlen.

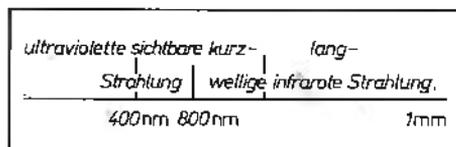


Bild 58/1 Wellenlängen im Bereich der Temperaturstrahler und Gasentladungstrahler

Diese physikalischen Erscheinungen der Umwandlung von elektrischer Energie in Wärme- und Lichtenergie finden in den verschiedensten Bereichen ihre technische Anwendung.

- Warum dürfen Schmelzsicherungen nicht repariert werden?
- Mit welcher Farbzeichnung werden Leitungsschutzsicherungen für 6 A, 10 A, 16 A, 20 A Nennstromstärke gekennzeichnet?
Fertigen Sie eine Tabelle an! (↗ Tech i Üb, Register)
- Wodurch unterscheiden sich Tastschalter und Stellschalter voneinander?
- Welche Aufgaben haben Sicherungen zu erfüllen?
- Ordnen Sie den Installationsfernschalter nach der Art der Auslösung des Schaltvorganges und nach der Art des Schaltvorganges ein!
- Welche Vorteile haben fernbetätigte Schalter?
- Warum werden als Kontaktwerkstoffe vielfach Metallverbindungen verwendet?
- Welche Anforderungen werden an einen Kontaktwerkstoff gestellt?
- 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 Stellschalters noch sinnvoll? (↗ S. 56)
- Suchen Sie nach Beispielen, bei denen eine Serienschaltung elektrischer Geräte notwendig wird! Fertigen Sie dafür einen Schaltplan an!
- Überlegen Sie, wie Wechsel- und Serienschaltungen als Installationsfernschaltungen realisiert werden können! (↗ S. 57) Entwerfen Sie einen Schaltplan!
- Welche Vorteile haben Installationsfernschaltungen?
- Warum wird für den Steuerstromkreis einer Installationsfernschaltung ein geringer Leiterquerschnitt benötigt?
- Erläutern Sie die physikalischen Grundlagen der Wirkungsweise eines Schaltschützes oder Installationsfernschalters!
- Welche ökonomischen Vorteile hat der Einsatz der Serienschaltung?

Elektrowärmegeräte und Verfahren der technischen Nutzung der Elektrowärme

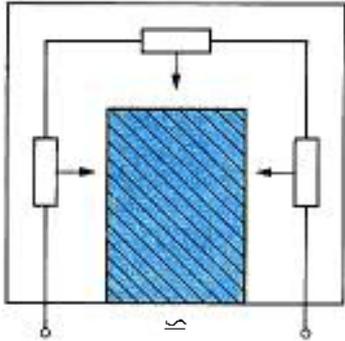
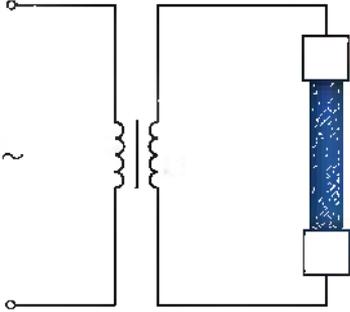
▶ Elektrowärmegerät ist der Sammelbegriff für alle Geräte und Anlagen, in denen Elektroenergie zur technischen Nutzung in Wärmeenergie umgewandelt wird.

Durch das breitgefächerte Einsatzgebiet der Elektrowärmegeräte ist die technisch-konstruktive Gestaltung sehr vielseitig und vom jeweilig speziellen Verwendungszweck abhängig.

Von besonderer Bedeutung ist die Elektrowärme für eine Vielzahl von Produktionsprozessen. So werden in den europäischen Industrieländern durchschnittlich 20...40% der erzeugten Elektroenergie für thermische Zwecke in der Industrie verwendet. Typische Großverbraucher in der Industrie sind Öfen für die Kalziumkarbidgeherzeugung, Ferrolegerungsverfahren, Lichtbogenöfen für die Stahlerzeugung und Anlagen für die thermische Elektrolyse (↗ S. 6).

Für die Umwandlung von Elektroenergie in Wärmeenergie sind folgende Verfahren bedeutsam:

– Widerstandserwärmung – Lichtbogenerwärmung – Induktionserwärmung

Widerstandserwärmung	
Widerstandserwärmung – indirekt	Widerstandserwärmung – direkt
	
<p>Die Energieumwandlung erfolgt nicht im Werkstück sondern in speziellen metallischen oder nicht-metallischen Heizleitern. Die Übertragung der Wärmeenergie auf das Werkstück erfolgt durch Wärmeleitung oder Temperaturstrahlung.</p>	<p>Die Energieumwandlung erfolgt unmittelbar im Werkstück. Das metallische Werkstück liegt als Arbeitswiderstand direkt im Hauptstromkreis.</p>

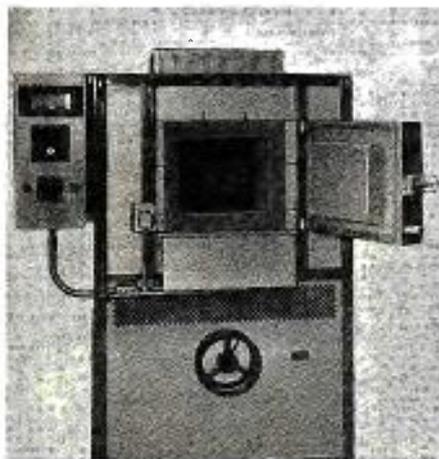
Anwendungsbeispiele

Industrie:

Widerstandsöfen zur Wärmebehandlung von Eisen-Metallen beim Spannungsfreiglühen nach dem Schweißen, Ziehen, Pressen (Kammer-, Drehherd-, Walzenanwärmeöfen).

Glüh- und Warmumformanlagen zum Richten von gewalzten Eisen- und Nichteisen-Metallen, zur Wärmebehandlung von Drähten und Bändern.

Bild 60/1 Widerstandsöfen für Glüh- und Härtezwecke



Haushalt:

Überlaufspeicher zur Warmwasserbereitung

Raumbeheizung durch *Wärmespeicheröfen*

Wirtschaftlich günstig arbeiten diese Öfen als *Nachtstrom-Wärmespeicheröfen*. Über eine Schaltuhr wird der Ofen während der Nachtstunden (d. h. außerhalb der Spitzen- und Hauptbelastungszeiten) aufgeheizt und sein aus Bauziegeln bestehender Speicherblock erwärmt. Am Tage ist der Ofen abgeschaltet, seine Abzugsklappen sind geöffnet und die Wärmeenergie wird an die Umgebung abgestrahlt.

Elektroherd, Bügeleisen, Tauchsieder

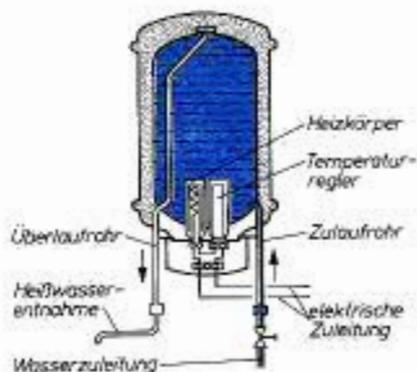


Bild 61/1 Schnitt durch einen elektrischen Überlauf-Heißwasserspeicher

Landwirtschaft:

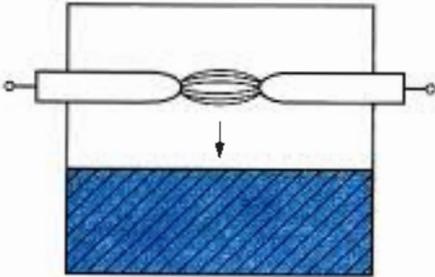
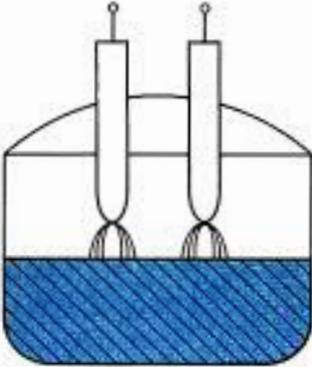
Anlagen zur Futteraufbereitung, zur Trocknung und zum Dämpfen



Bild 61/2 Elektrischer Futterdämpfer

Lichtbogenerwärmung

Bei diesem Verfahren erfolgt der Stromübergang in Gasen oder Dämpfen (Gasentladung).

Lichtbogenerwärmung – indirekt	Lichtbogenerwärmung – direkt
 <p data-bbox="186 701 551 809">Ein Lichtbogen entsteht zwischen zwei Elektroden. Durch Wärmeleitung wird die Wärmeenergie auf das Werkstück übertragen.</p>	 <p data-bbox="645 701 986 782">Das Werkstück liegt im Hauptstromkreis und bildet selbst eine der Elektroden.</p>

Anwendungsbeispiele

Industrie:

Im *Lichtbogenofen* wird der Stahl durch die im Lichtbogen entwickelte Wärmeenergie zum Schmelzen gebracht. Dieses Verfahren ist besonders für das Schmelzen hochwertiger Stähle geeignet, da hier eine chemische Reaktion des Schmelzgutes durch Verbrennungsgase ausgeschlossen ist.



Bild 62/1 Stahl-Lichtbogenofen

Im *Plasma-Schmelzofen* wird die für den Schmelzprozeß erforderliche Wärmeenergie in einem Lichtbogen erzeugt, der in einem mit speziellem „Arbeitsgas“ (in der Regel Argon) gefüllten Raum brennt (Bild 63/1). Es werden Temperaturen bis zu 30 000 °C erreicht. Gegenüber dem Lichtbogenofen, der in normaler Luft ohne „Schutzgas“ arbeitet, werden hier kürzere Einschmelzzeiten erreicht, und die chemische Verunreinigung ist noch geringer.

Lichtbogenschweißanlagen zur Nahtschweißung.

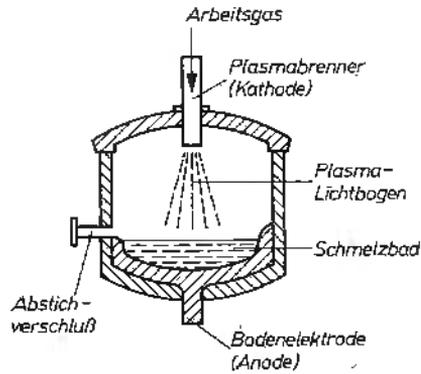


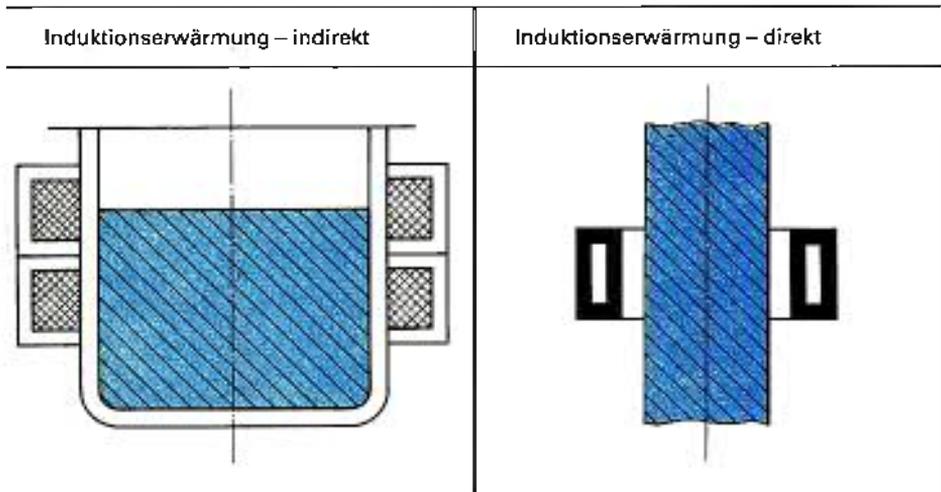
Bild 63/1 Prinzip des Plasmaschmelzofens



Bild 63/2 Lichtbogenschweißanlage im Schiffsbau

Induktionserwärmung

Elektrisch leitende Stoffe, z. B. Metalle, Halbleitermaterialien, lassen sich im magnetischen Wechselfeld einer Spulenordnung (Induktor) induktiv durch induzierte Wirbelströme erwärmen und schmelzen. Mit diesem Verfahren lassen sich Oberflächen und partielle Erwärmungsprozesse sowie das Erwärmen und Schmelzen von elektrisch nicht leitenden Stoffen durchführen.



Anwendungsbeispiele

Induktionswärme entsteht im elektrisch leitenden Material des Schmelztiegels.	Anlagen zum Härten der Oberflächen, z. B. bei Wellen, Wälzkörpern und Zahnrädern. Vorwärmen von Schwer- und Leichtmetallen auf die entsprechenden Schmiede- und Preßtemperaturen.
---	--

Vergleich von Elektrowärme mit anderen Wärmequellen

Die Wärmeerzeugung mit Hilfe der Elektroenergie ist teurer als die Erzeugung von Wärme durch Verbrennen fester, flüssiger oder gasförmiger Brennstoffe.

1 kg Brikett erzeugt etwa 10 048,3 kJ (2400 kcal)

1 kWh Elektroenergie etwa 3140,1 kJ (750 kcal)

(In beiden Fällen ist der Anlagenwirkungsgrad berücksichtigt.)

Bezogen auf eine Wärmemenge von 418,68 kJ (100 kcal) sind die Kosten:

bei Brikett etwa 0,29 Pfennig

bei Elektroenergie etwa 1,03 Pfennig

(Haushalt)

etwa 2,06 Pfennig

(Industrie)

- Nennen Sie Beispiele für den Einsatz von Elektrowärmegegeräten in Ihrem Betrieb!
- Warum ist der Heißwasser-Überlaufspeicher mit dem Temperaturregler und mit einer wärmeisolierenden Außenhülle ausgerüstet?
- Warum wird die elektrische Raumbeheizung vornehmlich als Zusatzheizung betrieben?
- Der Gesamtwirkungsgrad im Umwandlungsprozeß von der Primärenergie zur Elektroenergie beträgt etwa 30%.
Errechnen Sie, welche Wärmeenergie bei der Verbrennung von 1 t Steinkohle auf dem Umwandlungsweg bis zur Elektroenergie verlorengeht!
(Steinkohle enthält etwa 29 307,6 kJ [7000 kcal] je kg)
- Welche Elektroenergie steht am Ende zur Verfügung, wenn 3600 kJ (860 kcal) eine kWh ergeben?
- Welche Wärmeenergie wird in einem elektrisch beheizten Warmwasserkessel erzeugt, wenn der Heizwiderstand bei 220 V eine Stromaufnahme von 25 A hat und die Anlage 5 Stunden betrieben wird?
- Auf welche Temperatur hat sich dabei das Wasser im Kessel erwärmt, wenn die Anfangstemperatur des Wassers 5 °C beträgt und der Kesselinhalt 500 l ist? (η der Anlage = 0,85)
- In welcher Zeit werden 30 l Wasser von 12 °C auf 85 °C erwärmt (Elektroenergie), wenn der Wirkungsgrad der Anlage $\eta = 0,9$ ist?
Das Wärmegerät hat eine Leistungsaufnahme von 4 kW.

In der Übersicht ist die Leistungsaufnahme einiger ausgewählter Elektrowärmegegeräten aufgeführt:

Elektrowärmegegeräten	Leistungsaufnahme
Haushalt	
Kochplatten	... 1300 W
Heißwasserspeicher	500 ... 6000 W
Industrie und Landwirtschaft	
Wärmespeicherofen	5,4 kW
Widerstandsofen ($t = 1350\text{ °C}$)	108 kW
Lichtbogenofen (35 t)	12 000 kW
Induktionsöfen ($f = 50\text{ Hz}$)	120 kW
Infrarot-Hellstrahler	125 ... 500 W

Beim Einsatz von Elektroenergie für wärmetechnische Zwecke sind neben den technologischen Gesichtspunkten auch energiewirtschaftliche Aspekte zu beachten.

Die Elektroenergie hat im Einsatz gegenüber der Verbrennung fester, flüssiger oder gasförmiger Energieträger viele Vorteile.

Diese sind:

- ständige Betriebsbereitschaft,

- keine Rauchbelästigung,
- gute Regelbarkeit,
- geringer Raumannspruch,
- keine chemischen Reaktionen (besonders wichtig in der Metallurgie),
- gute Arbeitsbedingungen.

Jedoch ist immer zu beachten, daß die Elektroenergie eine hochveredelte Energieform ist und durch den mehrmaligen Umwandlungsprozeß – vom Primärenergieträger ausgehend – beachtliche Umwandlungsverluste auftreten. Dadurch entstehen für den Gesamtprozeß erhebliche Mehrkosten. (→ Übersicht S.65)

Deshalb wird die Elektroenergie für wärmetechnische Zwecke nur dort eingesetzt, wo der hohe ökonomische und energiewirtschaftliche Aufwand durch die Vorteile in der technologischen Anwendung aufgewogen wird.

Elektrische Beleuchtung

Von der technischen Beleuchtung ist die elektrische die am häufigsten verwendete. Bei der elektrischen Beleuchtung unterscheidet man zwischen der *Lampe* (z. B. Glühlampe, Niederspannungs-Leuchtstofflampe) und der *Leuchte*.

Lampen: In der Glühlampe (Bild 66/1) wird ein dünner Widerstandsdraht durch Stromwärme bis zur Weißglut erhitzt und dadurch zum Leuchten gebracht. (→ S. 58)

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

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

Unsere üblichen Glühlampen werden *Allgebrauchslampen* genannt.

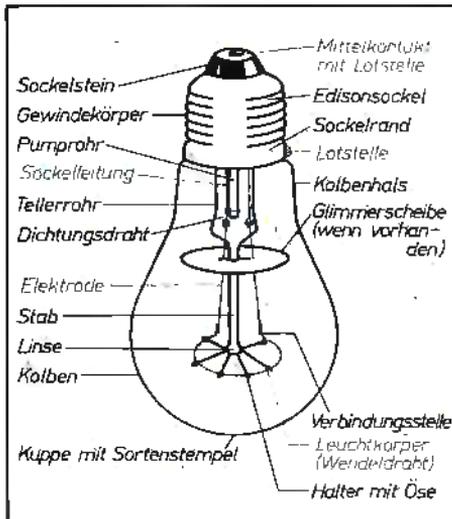


Bild 66/1 Aufbau der Allgebrauchslampe

Leistungsaufnahme und Netzspannung sind die wesentlichen Merkmale, die man bei der Auswahl der Glühlampen beachten muß.

Glühlampen haben folgende Leistungsaufnahmen:

25W, 40W, 60W, 75W, 100W, 150W, 200W, 300W, 500W, 1000W, 2000W (Ausführung mit Schraubsockel E 27 und E 40 sowie mit Bajonettsockel B 22).

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

Niederspannungs-Leuchtstofflampen. Diese Lampen setzen sich immer mehr für die Beleuchtung von Arbeits- und Kulturräumen durch. Niederspannungs-Leuchtstofflampen in Stab- und U-Form unterschiedlicher Leistungsaufnahme stellt das Leuchten- und Leuchtstofflampenwerk Brand-Erbisdorf im VEB Kombinat NARVA her.

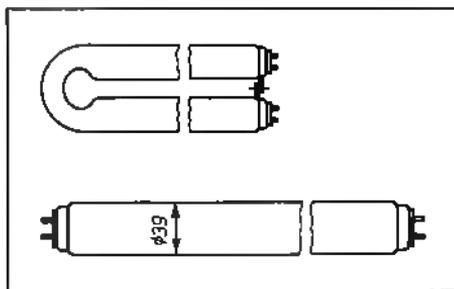


Bild 67/1 Niederspannungs-Leuchtstoff-lampe
U-Form
Stabform

Schalten nicht nicht (vom 27.1.82)

Die Leistungsaufnahmen bei der Stab- und U-Form sind 40 W und 65 W. Die Lebensdauer der Niederspannungs-Leuchtstofflampe beträgt etwa 5000 Betriebsstunden. (Es wird davon ausgegangen, daß nach jeder Schaltung die Lampe etwa 3 bis 4 Stunden brennt; häufiges Schalten mindert ihre Lebensdauer.)

Die **Lichtausbeute** ist etwa 4...8 mal so groß wie die einer Glühlampe gleicher Leistungsaufnahme. Dieser Sachverhalt ist in der Übersicht dargestellt.

Art der Lampe	Ausführung	Nennleistung in W	Lichtausbeute in lm je W (bei 220 V)
Glühlampe	klar bzw. innen mattiert	40	10,3
		60	11,9
Niederspannungs-Leuchtstofflampe	Stabform	40	47...70*
		65	46...66*
	U-Form	40	55
		65	52

* Werte schwanken je nach Lichtfarbe

Ein weiterer Vorteil ist die starke *Blendungsfreiheit* der Niederspannungs-Leuchtstofflampe. Durch ihre große Abstrahlungsfläche wird das Auge nicht geblendet. Durch Verwendung von Leuchtstoffschichten verschiedener Zusammensetzung können unterschiedliche Lichtfarben auf verhältnismäßig einfache Weise gewonnen werden.

Übersicht: Lichtfarben der Niederspannungs-Leuchtstofflampen

	Neutralweiß W	Gelblichweiß G	Warmton I	Tageslicht T
Eigenschaft	Kaum Unterschied zum Tageslicht. Es tritt kein Zwielicht auf	Schafft eine als warm empfundene Raumatmosphäre (wie bei Glühlampe), ruft Zwielichterscheinung hervor	Stärkerer Rotanteil	Kein Unterschied zum Tageslicht
Anwendung	Für die meisten Aufgaben geeignet, Ausstattung von Arbeitsräumen	Für viele Arten von Handelsbetrieben mit Publikumsverkehr	Für Gaststätten, Wohn- und Kulturräume	Dort, wo eine farbechte Wiedergabe der Gegenstände gefordert wird

Niederspannungs-Leuchtstofflampen sind jedoch Spannungsschwankungen stark unterworfen. Die Mindestspannung muß 200 V 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 die Anlagenkosten und die energiewirtschaftlichen Erwägungen eine besondere Rolle. Die Lichtausbeute ist zwar bei Niederspannungs-Leuchtstofflampen höher als bei Glühlampen, jedoch sind die Anlagenkosten für eine Leuchtstofflampenbeleuchtung höher als bei Verwendung von Glühlampen. Dazu gehören einmal der höhere Preis der Lampen und zum anderen die Kosten für die betriebsnotwendigen Zusatzgeräte (Vorschalt-drossel, Glimmzünder, 2 Fassungen).

Beleuchtungstechnische Gesichtspunkte. Allgemeine Anforderungen an eine gute Beleuchtung sind:

- ausreichende Beleuchtungsstärke,
- Vermeiden von starker Schattenbildung (Kontraste),

- Geben Sie eine Übersicht über die jeweils für bestimmte Glühlampen verwendeten Sockelformen! (↗ Tech i Üb, Register)
Fertigen Sie eine Tabelle an!
- Vergleichen Sie die Glühlampe und die Niederspannungs-Leuchtstofflampe hinsichtlich der Mindestbetriebsspannung!

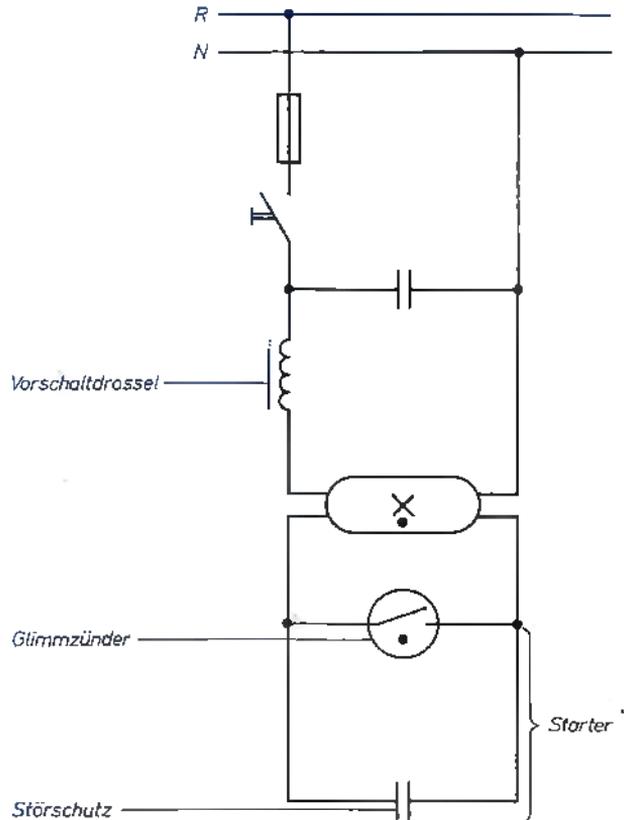


Bild 69/1 Schaltung
der Niederspannungs-
Leuchtstofflampe

- geringer Unterschied der Beleuchtungsstärke zwischen Arbeitsplatz- und Allgemeinbeleuchtung,
 - Lichtfarbe und Lichtwiedergabe müssen dem jeweiligen Zweck entsprechen.
- Diese Anforderungen an eine gute Beleuchtung werden durch den Einsatz verschiedener Leuchten erfüllt.

Das wesentlichste Unterscheidungskriterium der verschiedenen Leuchten ist ihre unterschiedliche Lichtverteilung.

Die Aufgaben der Leuchten kann man wie folgt zusammenfassen:

- die Lichtverteilung der Lampe so zu gestalten, daß sie dem geforderten Beleuchtungszweck entspricht,

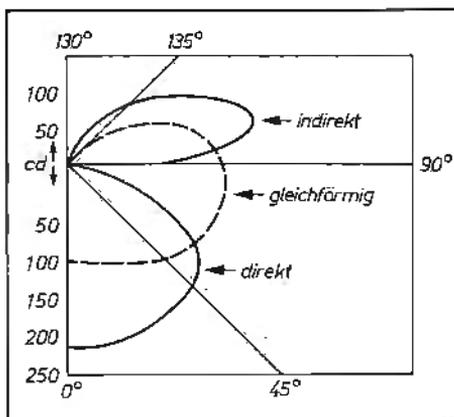


Bild 70/1 Verschiedene Lichtverteilungskurven

- das Auge durch Abschirmung oder Lichtstreuung gegen Blendung zu schützen,
- die Lampe gegen äußere Beschädigungen zu schützen und eine rasche Verschmutzung zu verhindern,
- das Zubehör (Fassung, Anschlußklemme, Stromleitung, Befestigung) aufzunehmen.

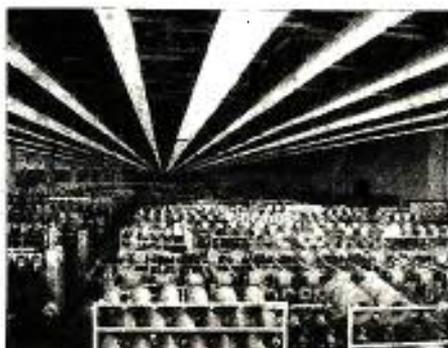


Bild 70/2 Beleuchtung einer Produktionshalle

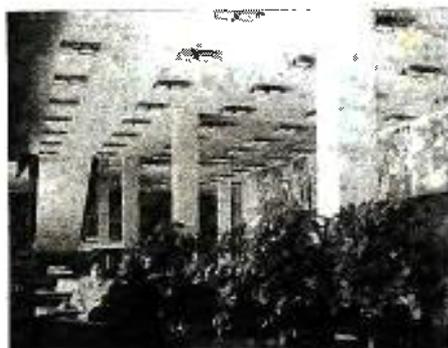


Bild 70/3 Beleuchtung in einem Klubaum

Drehstrom

Der italienische Physiker FERRARIS beschrieb 1885 die Erzeugung des dreiphasigen Wechselstroms (Drehstrom). Damit wurden wesentliche Voraussetzungen für die heutige Erzeugung von Elektroenergie mit Drehstromgeneratoren geschaffen. Die von diesen Generatoren erzeugte dreiphasige Wechselspannung wird über das System „Generator – Transformator – Übertragungsleitung – Transformator – Verbraucher“ dem Energieabnehmer zugeführt. Nach diesem Prinzip wurde 1891 zur Eröffnung der Elektroausstellung in Frankfurt (Main) eine Wechselspannung von 15 000 V über 175 km Länge übertragen. Bereits 1924 konnte man

- Überlegen Sie, unter welchen Bedingungen dem Einsatz von NS-Leuchtstofflampen bzw. Glühlampen jeweils der Vorzug zu geben ist!
- Berechnen Sie den Bedarf an Elektroenergie für die Beleuchtung eines Werkstattraumes bei 380 Betriebsstunden.
 - a) Bei Einsatz von NS-Leuchtstofflampen mit einer Leistungsaufnahme von insgesamt 4500 W,
 - b) bei Einsatz von Glühlampen; wenn die gleiche Helligkeit erreicht werden soll!
- Wieviel kWh beträgt die Energieeinsparung innerhalb eines Jahres bei der Beleuchtung einer Produktionshalle, wenn an Stelle von Glühlampen mit einer Leistungsaufnahme von 25000 W entsprechende NS-Leuchtstofflampen eingesetzt werden? (8 Std. je Tag, bei 250 Arbeitstagen im Jahr)
- Durchdenken Sie alle im Abschnitt „Elektrowärme und elektrische Beleuchtung“ genannten Anwendungsbeispiele hinsichtlich ihres physikalischen Wirkungsprinzips und ordnen Sie die Beispiele in folgende Übersicht ein!

– Elektroenergie –

– Widerstandswärme –

– Gasentladung –

Licht

Wärme

Licht

Wärme

- Erläutern Sie die Begriffe „elektromagnetische Induktion“ und „Induktionsspannung“! (↗ Ph i Üb, S. 134 bis 157)

110kV als Übertragungsspannung anwenden. Im allgemeinen arbeiten heute die Fernleitungen mit 220kV und 380kV. In der DDR wird das Energieverbundnetz als Drehstrom-Dreileitersystem ausgebaut. Im Niederspannungsbereich können dem Energieabnehmer durch das *Drehstrom-Vierleitersystem* zwei Spannungshöhen bereitgestellt werden. (↗ Drehstromsysteme, S. 75)

Für den Betrieb von Beleuchtungseinrichtungen und Haushaltgeräten stehen 220V, für Elektromotoren und für elektrische Großheizgeräte 380V zur Verfügung.

Drehstrom

Physikalische Grundlagen

Eine wesentliche Grundlage für technische Prozesse der Energieumwandlung und Energiebereitstellung für die Volkswirtschaft ist die *elektromagnetische Induktion*. **Generatorprinzip.** (↗ Ph i Üb, S. 134) Erfährt ein Leiter in einem magnetischen Feld eine Bewegung, wird in ihm eine Spannung induziert. Bei geschlossenem Stromkreis fließt ein Induktionsstrom.

Mechanische Energie wird in elektrische Energie umgewandelt.

Elektromagnetische Induktion in einer Spule. (↗ Ph i Üb, S. 135) Ändert sich das eine Spule durchsetzende magnetische Feld, so wird in der Spule eine Spannung induziert. Die Änderung des magnetischen Feldes kann erfolgen:

- durch Bewegung eines Dauer- oder Elektromagneten bei feststehender Spule (Bild 72/1),
- durch Bewegung der Spule bei feststehendem Dauer- oder Elektromagneten (Bild 72/2).

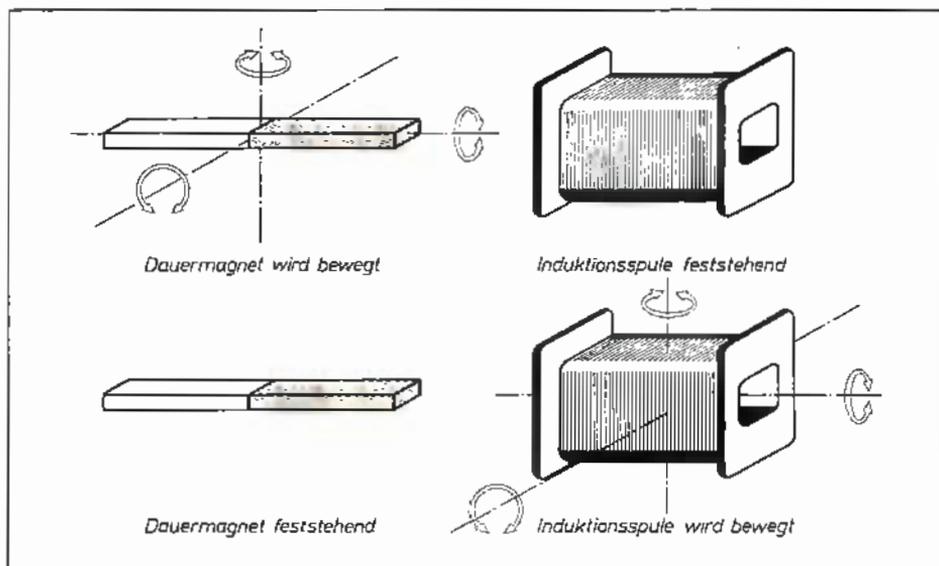


Bild 72/1 Induktion – bewegter Magnet, feststehende Spule

Bild 72/2 Induktion – feststehender Magnet, bewegte Spule

Man ist in der Praxis bemüht, sinusförmige Wechselspannungen zu erzeugen. Im Prinzip wird die Induktion einer harmonischen Wechselspannung bewirkt durch

- Drehen einer Induktionsspule in einem Magnetfeld oder
- Drehen eines Magnetfeldes in einer Induktionsspule. (↗ Ph I Üb, S. 181)

In der Technik werden Generatoren vorwiegend nach dem in Bild 73/2 gezeigten Prinzip konstruiert.

Mit diesen Generatoren wird eine sinusförmige Wechselspannung (Bild 73/1) erzeugt.

Erzeugung des Magnetfeldes:

drehbare Läuferspule erhält Gleichspannung über Bürsten

Abnahme der induzierten Wechselspannung:

von der feststehenden Ständerspule über Klemmen

- Wiederholen Sie im Lehrbuch „Physik, Klasse 10“ den Abschnitt „Der Wechselstromgenerator“!
- Begründen Sie, warum in der Technik beim Bau von Generatoren prinzipiell so verfahren wird, daß die erzeugte Wechselspannung vom feststehenden Ständer und nicht über Schleifkontakte vom Rotor abgenommen werden muß!

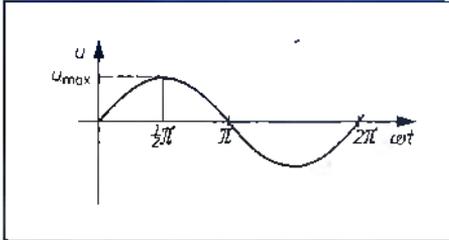


Bild 73/1 Sinusförmige Spannungskurve

Bild 73/2 Konstruktionsprinzip bei Wechselstromgeneratoren

- 1 Ständerspule (Induktionsspule)
- 2 Läufer mit Spule (drehbarer Elektromagnet)
- 3 Schleifkontakt (Gleichstromzuführung)

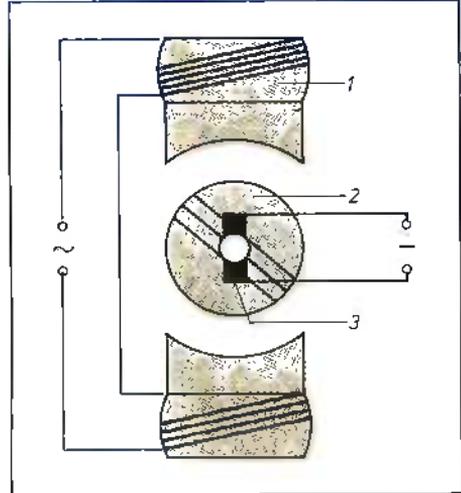
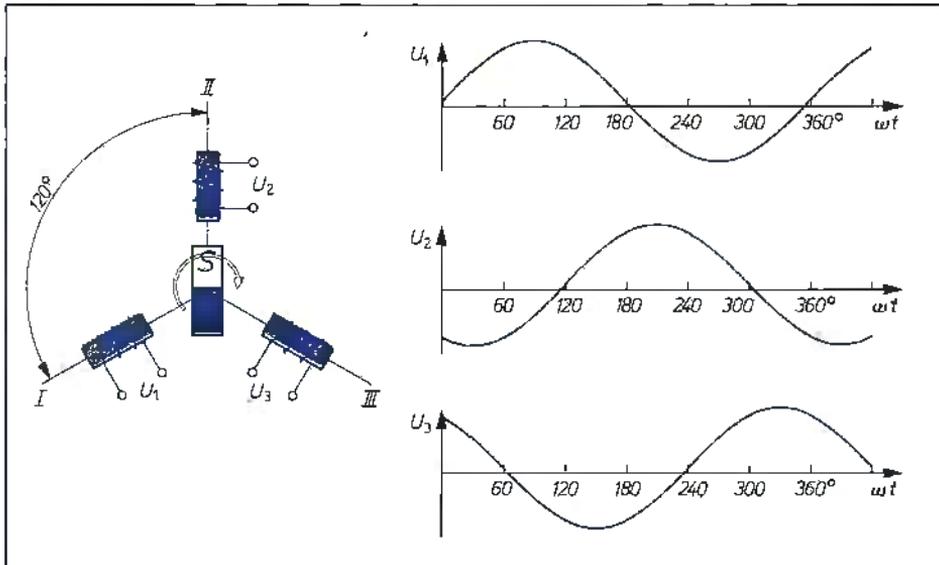


Bild 73/3 Prinzip der Drehstromerzeugung



Drehstromerzeugung

Wird ein Dauer- oder ein Elektromagnet nicht nur an einer Spule, sondern an mehreren Spulen vorbeigeführt, so wird in jeder Spule unabhängig von den übrigen Spulen eine Spannung induziert. Da durch das Vorbeibewegen des Magnets sich die Änderung des Magnetfeldes in den Induktionsspulen in einer zeitlichen Reihenfolge vollzieht, erreichen die induzierten Spannungen in den Spulen auch in dieser zeitlichen Reihenfolge ihre Maximalwerte. In Bild 73/3 werden diese Zusammenhänge verdeutlicht.

- In jeder der drei Induktionsspulen wird eine Wechselspannung induziert. So ergeben sich drei Wechselspannungen (dreiphasige Wechselspannung).
- Die Spulen sind räumlich um 120° versetzt. Das ergibt eine zeitliche Verschiebung der Spannungsmaxima um jeweils 120° bzw. $\frac{2\pi}{3}$ zwischen zwei Spannungskurven.

$$\text{Phasenverschiebung } 120^\circ = \frac{2\pi}{3}$$

Diese Gesetzmäßigkeit wird beim Bau von Generatoren für die Erzeugung von dreiphasiger Wechselspannung genutzt. (Bild 74/1)

Dreiphasiger Wechselstrom wird als *Drehstrom* bezeichnet.

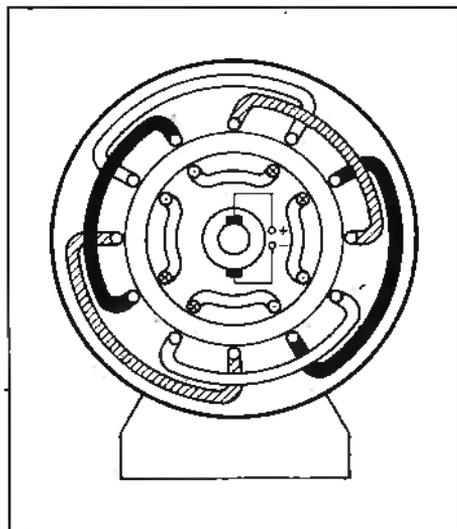


Bild 74/1 Aufbau eines Drehstromgenerators (Prinzip)

Die drei Induktionsspulen sind verteilt in Nuten des Ständers (Stators) eingelegt. Das Magnetfeld wird durch Elektromagnete hervorgerufen, die sich auf dem Läufer (Rotor) befinden (→ S. 87). Diesen Maschinentyp eines Drehstromgenerators bezeichnet man als *Innenpolmaschine*, da sich das Magnetfeld im Innern der Induktionsspule befindet.

Drehstromsysteme

Zunächst sind bei einer Innenpolmaschine für Drehstrom nach Bild 75/1 drei unabhängige Systeme vorhanden (Spulen I, II, III). Man spricht von einem *offenen System*.

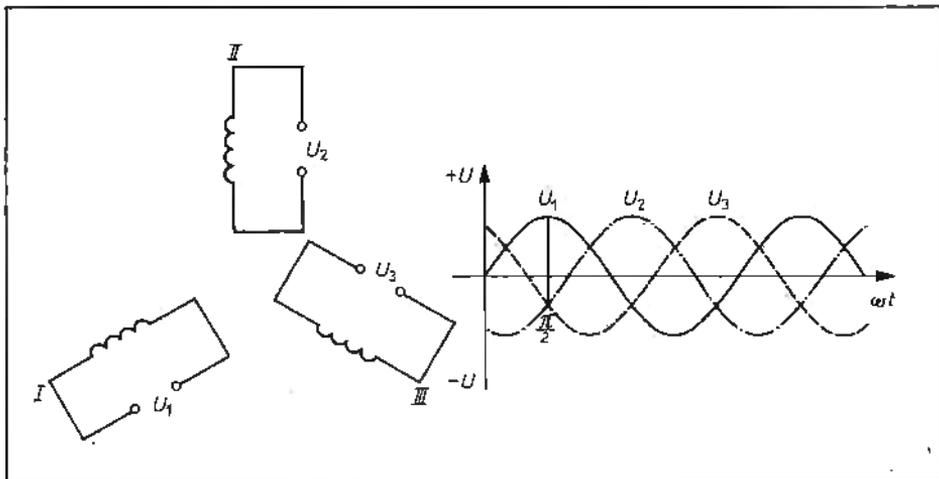


Bild 75/1 Schaltplan und Liniendiagramm des offenen Dreiphasenwechselstromsystems

Zur Übertragung der Energie wären in diesem Fall dreimal zwei Leiter erforderlich, wie der Schaltplan in Bild 75/1 verdeutlicht. Das Liniendiagramm der drei Spannungen zeigt aber auch, daß bei Addition der Augenblickswerte der Spannungen bzw. der Ströme ihre Summe Null ist.

$$u_1 + u_2 + u_3 = 0 \text{ bzw. } i_1 + i_2 + i_3 = 0.$$

Bei $\frac{\pi}{2}$ hat die Spannung in Spule I ihren positiven Scheitelwert. Zum gleichen Zeitpunkt sind die Spannungen in Spule II und Spule III negativ und gleich der Hälfte des Scheitelwertes (Bild 75/1).

$$U_1 = U_{\max}$$

$$U_2 = -\frac{1}{2} U_{\max}$$

$$U_3 = -\frac{1}{2} U_{\max}$$

$$U_1 + U_2 + U_3 = U_{\max} + \left(-\frac{1}{2} U_{\max}\right) + \left(-\frac{1}{2} U_{\max}\right) = 0$$

Die algebraische Summe der Augenblicksspannungen ist in den drei Stromkreisen eines offenen Dreiphasensystems zu jedem Zeitpunkt Null.

Es ist deshalb möglich, die drei Induktionsspulen zusammenzuschalten, ohne daß ein Kurzschluß entsteht.

Vierleitersystem. Die Fortleitung der elektrischen Energie erfolgt aus Gründen, die im folgenden erläutert werden, mit Hilfe des Vierleitersystems.

Bei dem offenen System werden sechs Leiter für den Transport der elektrischen Energie benötigt (Bild 76/1). Jede der drei Spulen hat einen Hin- und Rückleiter. Durch die Zusammenschaltung (*Verkettung*) der drei Spulen ergibt sich ein System für die Fortleitung der Energie mit nur vier Leitern. Es wird also Leitungsmaterial eingespart.

Die Bezeichnung der *Leiter und ihre Kennfarben:*

- Phase R, gelb
- Phase S, grün
- Phase T, violett
- Nulleiter N, weiß, grau, gelb/grün

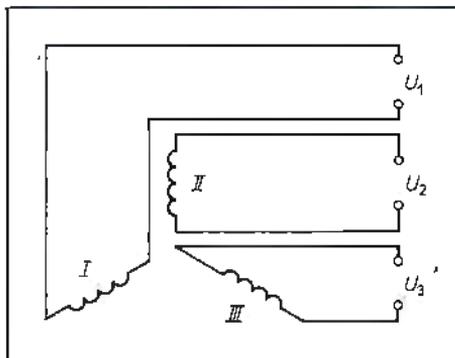


Bild 76/1 Offenes System

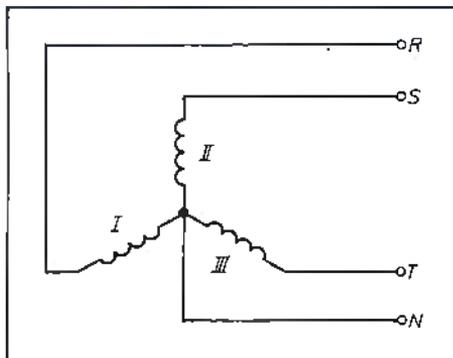


Bild 76/2 Verkettetes System
(Drehstrom-Vierleitersystem)

Auf Grund der geometrischen Form der Schaltung (Bild 76/2) bezeichnet man die Art der Verkettung der drei Spulen als *Sternschaltung*.

Spannungen und Ströme im Drehstrom-Vierleitersystem. Prinzipielle Möglichkeiten der Schaltung von Spannungs- und Strommessern im Drehstrom-Vierleitersystem zeigt Bild 77/2.

- Spannungen:
- zwischen RS
 - RT
 - ST
 - zwischen RN
 - SN
 - TN

Ströme: – in den Leitern R, S, T, N, wenn das System belastet ist.

- Begründen Sie, warum der gemeinsame Rückleiter als Nulleiter bezeichnet wird!
- In einem Drehstrom-Vierleitersystem wird die Strangspannung U gemessen. Sie beträgt 220V . Wie groß ist die Leiterspannung U_L ? Nennen Sie Beispiele für elektrische Geräte oder Maschinen, bei denen diese Spannungshöhen benötigt werden!
- Im Bild 77/1 ist die Meßanordnung für die Bestimmung von U und U_L farblich abgehoben.

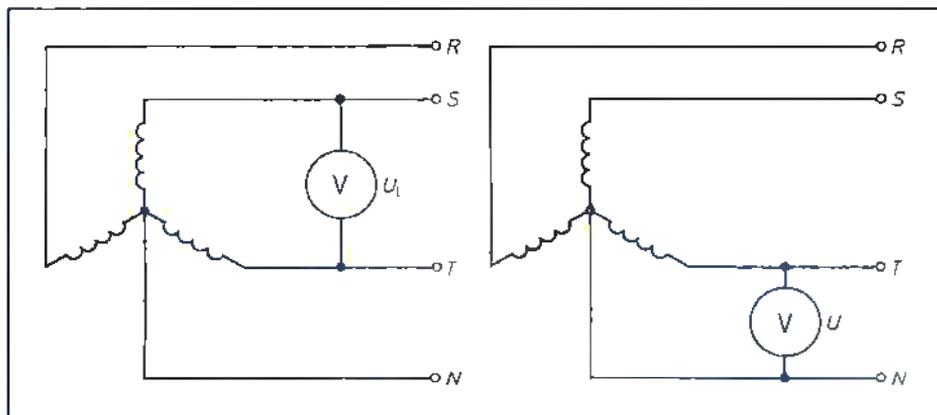


Bild 77/1 Messung von U und U_L im Drehstrom-Vierleitersystem

Erklären Sie, warum $U_L > U$ sein muß!

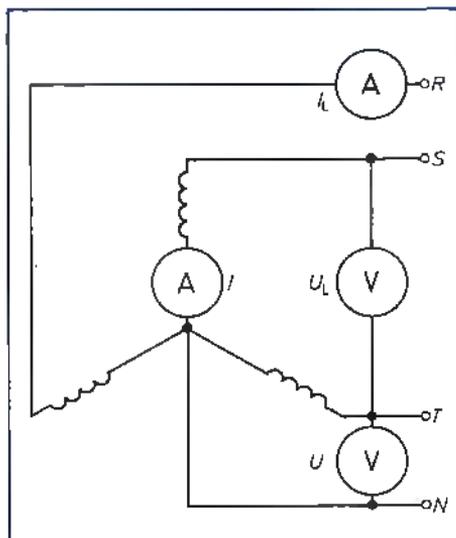


Bild 77/2 Spannungen und Ströme im Drehstrom-Vierleitersystem

Leiterspannung U_L : Es ist die Spannung, die zwischen zwei Leitern (RS, RT, ST) gemessen wird.

Strangspannung U : Es ist die Spannung, die zwischen Anfang und Ende eines Wicklungsstranges bzw. einer Spule gemessen wird (RN, SN, TN).

Zwischen Leiterspannung U_L und Strangspannung U besteht folgende Beziehung:

$$U_L = \sqrt{3} \cdot U$$

Der Faktor $\sqrt{3}$ wird als *Verkettungsfaktor* bezeichnet. Für die Ströme gilt $I_L = I$.

Der Vorteil der Verkettung bei Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom) besteht in der Einsparung von Leitermaterial. Beim Vierleitersystem (Sternschaltung) stehen dem Energieabnehmer zwei verschieden große Spannungen zur Verfügung (z. B. 220V/380V). Außerdem kann bei einem geerdeten Nulleiter die Schutzart „Nullung“ angewendet werden, die einen geringen Aufwand erfordert (Umgang mit elektrischen Betriebsmitteln, S. 15).

Dreileitersystem. Eine weitere Möglichkeit der Verkettung der Generatorspulen besteht in der *Dreieckschaltung* (Bild 78/1).

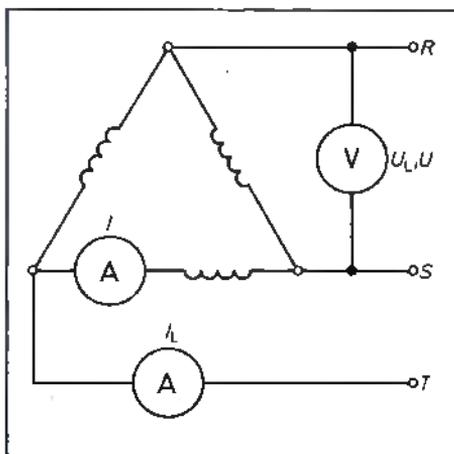


Bild 78/1 Spannungen und Ströme im Drehstrom-Dreileitersystem

Es ergibt sich ein Dreileitersystem, welches für die Fortleitung der elektrischen Energie durch Hochspannungsfernleitungen Bedeutung besitzt. Der mitgeführte vierte Leiter ist ein Blitzschutzleiter.

$$U_L = U \qquad I_L = \sqrt{3} \cdot I$$

Drei Glühlampen mit einer Nennspannung von 220V und einer Leistung von jeweils 100W sollen in Sternschaltung an das Drehstrom-Vierleiternetz angeschlossen werden (Bild 79/1).

a) Betrachten Sie zunächst den Stromkreis zwischen den Phasen R und S, und tragen Sie folgende Größen in den Schaltplan ein:

$$U_L, U; I_L, I$$

b) Können unter den gegebenen Bedingungen alle drei Glühlampen mit einer Leistung von 100W arbeiten? Begründen Sie Ihre Antwort mit Hilfe der Beziehung

$$U_L = \sqrt{3} \cdot U$$

Arbeiten drei Widerstände (z. B. Wicklungen eines Drehstrommotors), die für eine Nennspannung von 380 V ausgelegt sind, mit voller Leistung, wenn sie in Sternschaltung an ein Drehstromnetz mit $U_L = 380V$ angeschlossen werden? Begründen Sie Ihre Antwort!

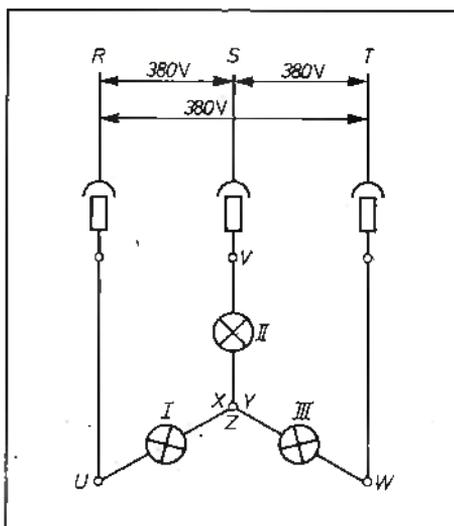


Bild 79/1 Drei Glühlampen (220 V) in Sternschaltung

Beispiele für die Schaltung von Betriebsmitteln in Drehstromnetzen. Elektrische Betriebsmittel sind durch ihre konstruktive Gestaltung nur für bestimmte Spannungshöhen ausgelegt. Schließt man z. B. eine Glühlampe für 24V an das Netz (220V) an, so wird sie zerstört. Es ist aber möglich, eine Glühlampe für 220V an 24V anzuschließen. Sie wird dabei zwar nicht zerstört, bringt aber auch nicht die entsprechende Leistung. Ihr Glühfaden glüht nur dunkelrot.

Die Zusammenschaltung bzw. Verkettung von Betriebsmitteln (z. B. Spulen, Heizwiderstände, Glühlampen usw.) kann in *Stern- oder Dreieckschaltung* erfolgen. (↗ Drehstromsysteme, S. 76)

Betriebsmittel in Sternschaltung. An ein Drehstrom-Vierleitersystem können je nach Anschlußvariante Drehstrommotoren (380 V) und Glühlampen (220 V) angeschlossen werden.

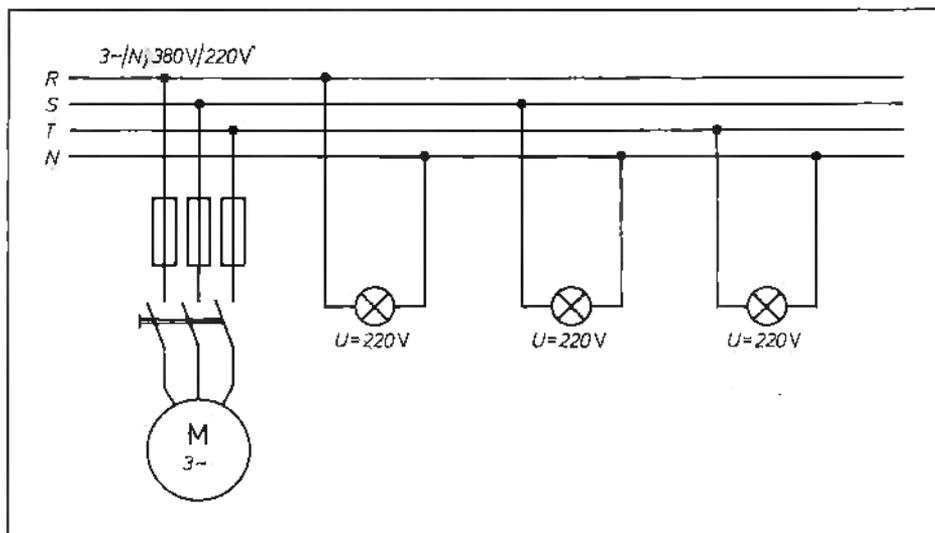


Bild 80/1 Betriebsmittel im Drehstrom-Vierleitersystem

Die an die Netzleiter R, S, T geführten Leitungsanfänge eines elektrischen Betriebsmittels erhalten die Bezeichnungen U, V, W, die im Sternpunkt zusammengeführten Enden die Bezeichnung X, Y, Z.

In der Regel werden zusammenschaltet:

R mit U

S mit V X, Y, Z

T mit W

Symbol Sternschaltung



Betriebsmittel in Dreieckschaltung. Eine weitere Möglichkeit, elektrische Betriebsmittel, z. B. Glühlampen, Widerstände, an ein Drehstromnetz zu schalten, ist die Dreieckschaltung.

- Für welche Nennspannung müssen drei Wicklungen (z.B. eines Drehstrommotors) ausgelegt sein, wenn sie in Dreieckschaltung an ein Drehstromnetz angeschlossen werden sollen (Bild 81/1)?
 - a) Betrachten Sie zunächst den Stromkreis zwischen den Leitern R und S und tragen Sie folgende Größen in den Schaltplan ein: U_L , U ; I_L , I !
 - b) Ermitteln Sie den Wert der Spannung, die an jeder Wicklung anliegt! (Zwischen R und S $U_L = \dots V$)
- Tragen Sie in Bild 81/1 mit einer anderen Farbe die Bezeichnungen U, V, W; X, Y, Z ein!
- An ein Stromversorgungsgerät sind über einen dreipoligen Schalter drei Lampen an Drehstrom $U_L = 42 V$ in Dreieckschaltung anzuschließen:
 - Skizzieren Sie die Meßschaltung, wenn in einem Experiment I_L im Leiter R und I zwischen U–Z und V–X gleichzeitig gemessen werden sollen!
 - Nennen Sie die Höhe der Spannung, für die die Lampen hergestellt sein müssen!

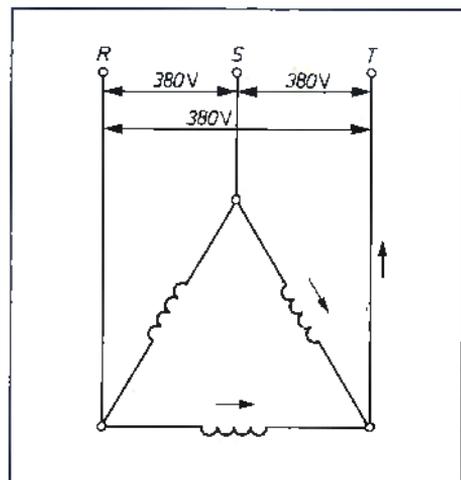


Bild81/1 Dreieckschaltung von Wicklungen

Für die Dreieckschaltung gilt die Beziehung

$$U_L = U.$$

Bei der Dreieckschaltung sind die drei Betriebsmittel so zusammengeschaltet, daß das Leitungsende des einen Betriebsmittels mit dem Leitungsanfang des folgenden Betriebsmittels verbunden wird:

R mit U, Z
 S mit V, X
 T mit W, Y

Symbol Dreieckschaltung



Die Anwendung der Stern- oder Dreieckschaltung von elektrischen Betriebsmitteln hängt davon ab, für welche Betriebsspannung ein elektrisches Gerät hergestellt ist. Beim standardisierten Drehstrom-Vierleitersystem mit den Spannungen $U_L = 380\text{ V}$ und $U = 220\text{ V}$ können zwischen zwei beliebigen Leitern (RS, RT, ST) nur Geräte mit einer Betriebsspannung von 380V angeschlossen werden. Bei solchen Geräten ist die Dreieckschaltung, aber auch die Sternschaltung möglich. Wie bereits festgestellt wurde (↗ Betriebsmittel in Sternschaltung, S. 80), haben diese Geräte dann nicht die volle Leistung. Diese Tatsache wird genutzt, um die drei Wicklungen von Drehstrommotoren mit Hilfe spezieller Schaltgeräte (Stern-Dreieck-Schalter) zuerst beim Anlassen in Sternschaltung und dann in Dreieckschaltung mit voller Leistung zu betreiben. Sind die Wicklungen des Drehstrommotors aber nur für 220 V ausgelegt, so ist der Betrieb dieses Motors nur in Sternschaltung möglich. (↗ S. 94, 96)

Auf den Leistungsschildern von Elektromotoren finden sich deshalb Angaben über die Betriebsspannungen für Stern- und Dreieckschaltung. Zum Beispiel 220V/380V oder 380V/660V. Die erste Spannungsangabe ist die zulässige Betriebsspannung für die Dreieckschaltung, die zweite Spannungsangabe die zulässige Betriebsspannung für die Sternschaltung der Motorwicklungen.

Drehfeld

Wird ein Dauermagnet in eine drehende Bewegung versetzt, so dreht sich auch sein Magnetfeld (Bild 82/1).

Drehfeld – drehendes Magnetfeld.

Der gleiche Effekt läßt sich auch mit einem Elektromagneten erreichen. Bild 82/2 zeigt einen Elektromagneten, d. h. eine Spule mit Eisenkern. Der Strom in den Wicklungen der Spule hat auf den gegenüberliegenden Seiten unterschiedliche Stromrichtungen:

- ⊗ Strom fließt vom Betrachter weg
- ⊙ Strom fließt zum Betrachter hin.

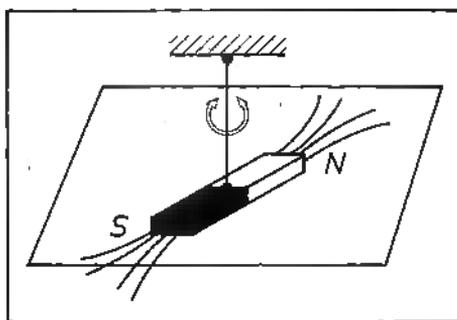


Bild 82/1 Drehender Dauermagnet

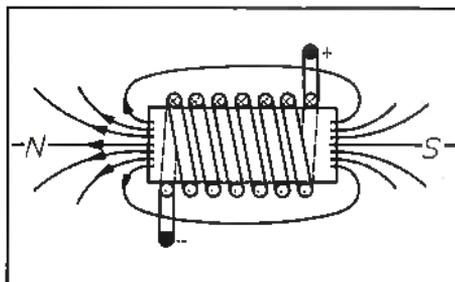


Bild 82/2 Elektromagnet

Erzeugung des Drehfeldes mit Drehstrom. Bei entsprechender Anordnung von drei Spulen kann ebenfalls erreicht werden, daß mit Hilfe von Drehstrom ein Drehfeld entsteht. In Bild 83/1 ist dieser Sachverhalt veranschaulicht.

- Ein Drehstrommotor hat auf seinem Leistungsschild die Angabe 220 V/380 V. Die Leiterspannung des Netzes beträgt 380 V. Kann der Drehstrommotor in Stern- und in Dreieckschaltung betrieben werden? Begründung!
- Wie wird dreiphasige Wechselspannung erzeugt?
Erklären Sie die Begriffe Verkettung, Stern- und Dreieckschaltung!
- Welche Vorteile bietet das Drehstrom-Vierleitersystem?
- An einem Stromversorgungsgerät messen Sie zwischen den Buchsen R und S 42 V. Wie müssen die Glühlampen mit einer Betriebsspannung von 24 V angeschlossen werden? Begründung!
- An ein Drehstromnetz werden über einen dreipoligen Schalter drei Heizwiderstände von gleicher Leistung in Dreieckschaltung angeschlossen. In die Phase R soll ein Strommesser eingebaut werden, um I_L zu messen.
Entwickeln Sie den Schaltplan!
Die Klemmenbezeichnungen sind einzutragen!

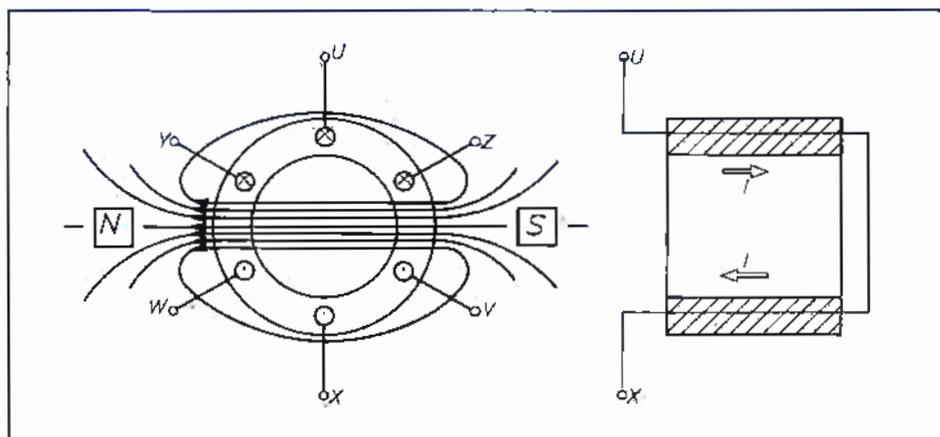


Bild 83/1 Anordnung der drei Spulen

In einem kreisförmigen Ständer sind die drei Spulen um 120° räumlich versetzt angeordnet. Anfang und Ende einer Spule (z. B. Spule I, U und X) liegen sich diametral gegenüber. Dadurch ergeben sich für die jeweils gegenüberliegenden Spulenabschnitte unterschiedliche Stromrichtungen (Bild 83/1). Es entsteht ein Magnetfeld mit Nord- und Südpol. Dieses Magnetfeld dreht sich, obwohl keine mechanische Bewegung der Spulen erfolgt. Die Ursache liegt in der Phasenverschiebung der drei Wechselspannungen des Drehstromsystems begründet.

Das Liniendiagramm zeigt bei $\frac{\pi}{2}$, daß der Strom in R positive Richtung hat.
R an U, \otimes

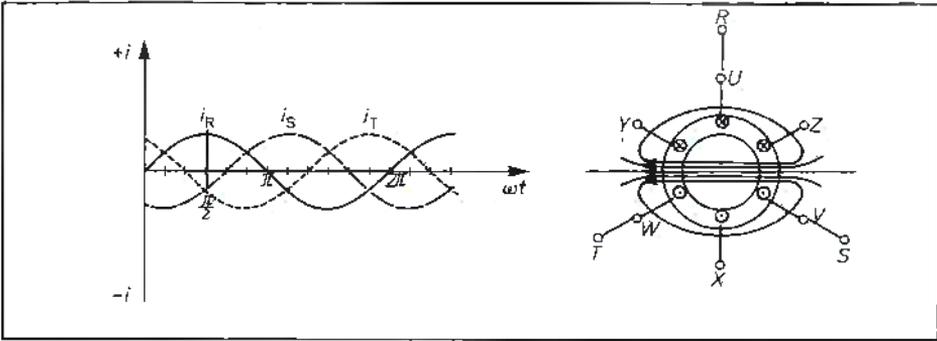


Bild 84/1 Kennzeichnung der Stromrichtung bei $\frac{\pi}{2}$ (90°)

Die Stromrichtung ist im gleichen Augenblick in S und T negativ.

S an V, \odot

T an W, \odot

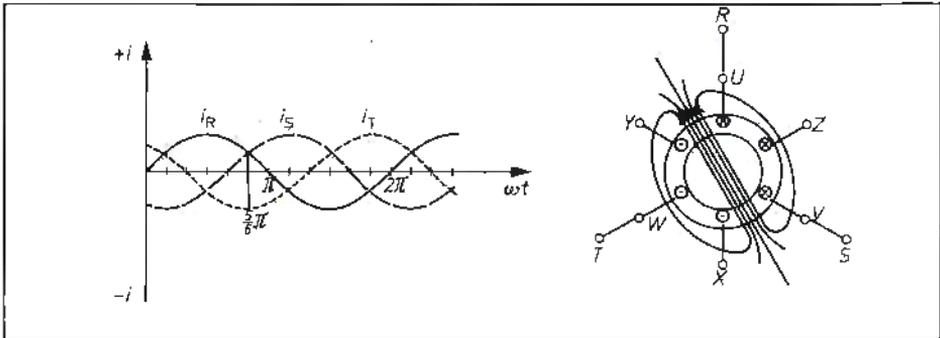


Bild 84/2 Kennzeichnung der Stromrichtung bei $\frac{5\pi}{6}$ (150°)

Im Zeitpunkt $\frac{5\pi}{6}$ sind die Stromrichtungen in R und S positiv. Der Strom in T ist noch negativ.

R an U, \otimes

S an V, \otimes

T an W, \odot

Der Vergleich der Bilder 84/1 und 84/2 zeigt, daß das Magnetfeld sich weitergedreht hat. Nach 2π ist eine Umdrehung vollendet.

Mit Drehstrom kann in drei räumlich um 120° versetzten Spulen ein Drehfeld erzeugt werden.

Die Erzeugung des Drehfeldes mit Drehstrom wird bei Drehstrommotoren angewendet.

- Skizzieren Sie einen Ständer mit den Anfängen und Enden der drei Spulen nach Bild 84/2! Tragen Sie die Stromrichtungen ein, die sich bei $\frac{3\pi}{2}$ ergeben!
- Wie verhält sich das Drehfeld, wenn bei einem Anschluß R-U, S-V, T-W alle drei Anschlüsse vertauscht werden? Fertigen Sie eine Skizze an!

Umkehr der Drehrichtung. In einem Drehstromsystem mit den Phasen R, S, T erreichen die Ströme auch in dieser Reihenfolge den Maximalwert (Bild 84/1). Drei in Stern geschaltete Spulen können in folgender Weise (Bild 85/1) an das Drehstromnetz geschaltet werden:

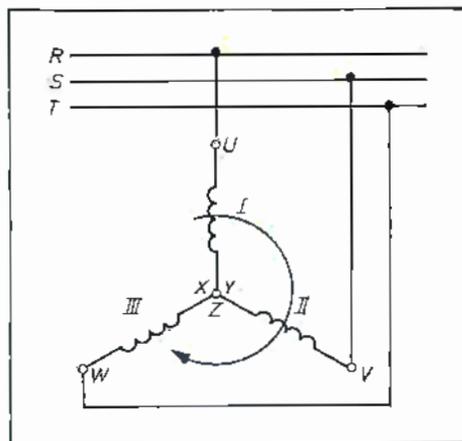


Bild 85/1 Rechtslauf

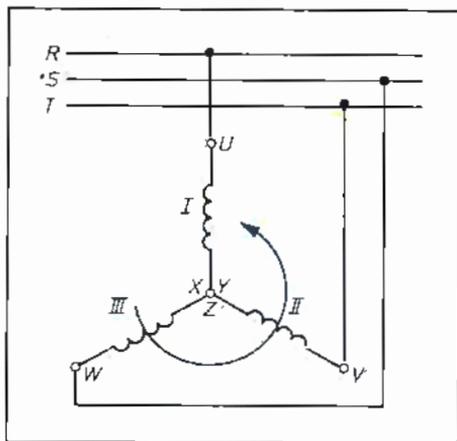


Bild 85/2 Linkslauf

U an R, Spule I
V an S, Spule II
W an T, Spule III

Bei dieser Schaltung tritt das positive Strommaximum zuerst in Spule I, dann in Spule II und in Spule III auf.

Das Drehfeld läuft im Uhrzeigersinn um. Bei diesem Anschluß dreht sich der Läufer eines Drehstrommotors im Rechtslauf (von der Antriebsseite aus gesehen). Werden die Anschlüsse nach Bild 85/2 hergestellt, so liegen

U an R, Spule I
V an T, Spule III
W an S, Spule II

Damit erhält wieder die Spule I zuerst den maximalen Stromwert, dann aber die Spule III, da sie an die Phase S angeschlossen wurde. Schließlich liegt nach Spule I und III der Maximalwert an Spule II an.

Das Drehfeld läuft entgegen dem Uhrzeigersinn (Linkslauf).

Soll die Drehrichtung des Drehfeldes umgekehrt werden, so müssen zwei beliebige Anschlüsse der Spulen am Netz vertauscht werden.

Bei Drehstrommotoren kann auf diese Weise die Drehrichtung geändert werden. Um den Vorgang des Umklebens, der durch das Lösen von zwei Schraubverbindungen erfolgen muß, nicht immer ausführen zu müssen, wurden Drehrichtungsumkehrschalter entwickelt.

Drehstrom-Asynchronmotoren

Elektromotoren haben sich zu unentbehrlichen Antriebsmaschinen entwickelt. Mit ihrer Hilfe wird elektrische Energie in mechanische umgewandelt.

Heute werden meist 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.

In der Landwirtschaft trägt der Elektromotor wesentlich zur Mechanisierung und damit zur Entlastung des Menschen von schwerer körperlicher Arbeit bei. Dabei wird er zum Beispiel als Antrieb für Förderbänder, Melkmaschinen und für die verschiedensten Zwecke der Innenmechanisierung eingesetzt.

Auch im Verkehrswesen nimmt der Elektromotor einen wichtigen Platz ein. Leistungsstarke Motoren sind beispielsweise in Elektrolokomotiven 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. Während hier am häufigsten Gleichstrommotoren eingesetzt werden, nehmen selbst im Kraftfahrzeugwesen die Drehstromaggregate in letzter Zeit zu. So werden bei modernen PKW als Stromerzeuger häufig Drehstromlichtmaschinen eingesetzt, weil sie leistungsstark und robust sind. Als Anlasser sind auch hier Elektromotoren anzutreffen. 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.

Drehstrom-Kurzschlußläufermotor

Die Mechanisierung der Produktion erforderte 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. (→ Ph I ÜB, S. 134)

- Erläutern Sie den Begriff „Drehfeld“!
- Welche Bedingungen müssen erfüllt sein, damit mit Drehstrom ein Drehfeld erzeugt werden kann? (↗ Bild 83/1)
- Begründen Sie, warum durch das Vertauschen von zwei Zuleitungen die Drehrichtung des Drehfeldes geändert wird!
- Nennen Sie die Hauptbaugruppen einer Werkzeugmaschine!
Wie verläuft der Energiefluß?
Woraus bestehen die Antriebselemente?
- Geben Sie Beispiele für den Einsatz von Elektromotoren im Haushalt!
- Auf welchen physikalischen Gesetzmäßigkeiten beruht die Wirkungsweise des Elektromotors? (↗ Ph i Üb, S. 134–137)
- Wie wird Dreiphasenwechselspannung (Drehstrom) erzeugt? (↗ S. 74)
- Welche Vorteile besitzt das Drehstromnetz? (↗ S. 75)
- Welche Form der Energieumwandlung tritt beim Elektromotor auf?

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 (↗ S. 96), durch die diese Motoren ohne Schwierigkeiten für zwei Spannungswerte eingerichtet werden können (z. B. 220/380 V und 380/660 V).

Mechanischer Aufbau. Bei der konstruktiven Gestaltung des Drehstrom-Kurzschlußläufermotors werden folgende Wirkungsprinzipien technisch genutzt:

- Symmetrisch im Ständer verteilte Spulen erzeugen ein magnetisches Drehfeld.
- 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.
- Ein stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld erfährt eine Kraftwirkung.
- Ein drehbar gelagerter Läufer, in dessen Leitern ein Strom fließt, erfährt im Magnetfeld ein Drehmoment.

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 (↗ Wirbelströme, Ph i Üb, S. 138) 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.

Die Anordnung der dreiphasigen Wicklungen 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 standardisierte Anschlußklemmen (Bilder 88/1 und 88/2), die mit einem Klemmkasten abgedeckt werden.

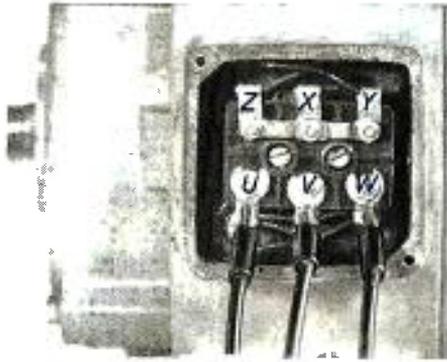


Bild 88/1 Motor in Sternschaltung
angeschlossen

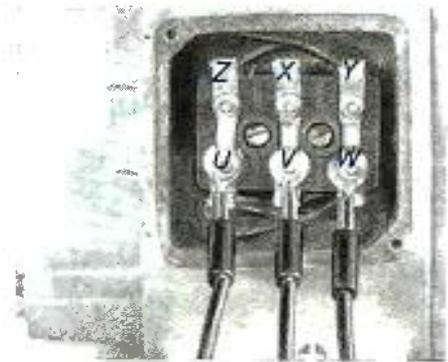


Bild 88/2 Motor in Dreieckschaltung
angeschlossen

Läufer. Er besteht aus einer Welle, den gestanzten Dynamoblechen des Läuferblechpaketes, den Wicklungen und dem Lüfter.



Bild 88/3 Käfigläufer
im Schleudergußverfahren hergestellt

In den Nuten des Läuferblechpaketes ist beim Kurzschlußläufer die Käfigwicklung (Bild 88/3) angeordnet. Käfigläufer werden meist im Spritz- oder Schleudergußverfahren hergestellt. Dabei werden die gestanzten Dynamobleche in eine Form geschichtet, die in Rotation versetzt wird. Gießt man flüssiges Aluminium in diese Form, so füllen sich die Nuten mit dem Leiterwerkstoff aus. Dieses Schleudergußverfahren für die Herstellung der Käfigläufer ist sehr wirtschaftlich.

Belüftung. Die Belüftung des Motors dient zum Abführen der entstehenden Verlustwärme und verhindert ein Erwärmen über die vorgeschriebene Grenztempe-

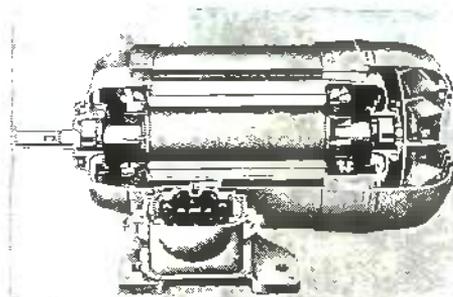


Bild 88/4 Schnitt
durch einen Kurzschlußläufermotor

- Erläutern Sie die Entstehung des Drehfeldes! (↗Abschnitt Drehfeld, S. 82)
- Erläutern Sie das Prinzip, das diesem Vorgang zugrunde liegt! (↗Ph i Üb, Register)

ratur hinaus. Die Hauptbelüftungsarten sind die Durchzugs- und die Oberflächenbelüftung. Den Schnitt durch einen Drehstrom-Asynchronmotor mit Kurzschlußläufer zeigt Bild 88/4.

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.

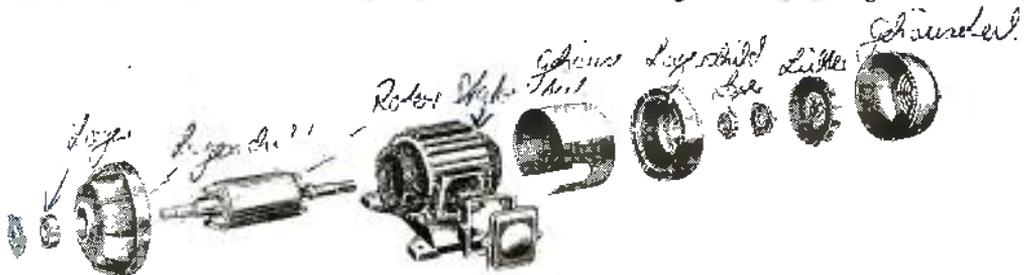


Bild 89/1 Explosionsdarstellung der Teile eines Kurzschlußläufermotors

Entstehen des Drehmoments. Die vom Elektromotor aufgenommene *elektrische Energie* wird in *mechanische Energie* umgewandelt. Die mechanische Energie tritt an der Welle des Motors als *Drehmoment* auf und wird dort an das Übertragungselement abgegeben. Der Energiefluß verläuft also vom Netz über den Motor als Antriebselement, über das Getriebe als Übertragungselement zum Arbeitselement der Maschine.

Die physikalischen Gesetzmäßigkeiten für das Entstehen der Kraftwirkung an der Welle (Drehmoment) des Läufers sind

- die elektromagnetische Induktion
- das elektromotorische Prinzip (↗ Ph i Üb, S. 133)

Die Phasenverschiebung des Dreiphasenwechselstroms beträgt $\frac{2\pi}{3}$ oder 120° .

Ordnet man die Spulen im Ständer des Motors auch um 120° versetzt an und schließt sie an die drei Phasen R, S und T, so erzeugt der dreiphasige Wechselstrom im Ständer ein magnetisches Drehfeld. (↗Abschnitt Drehfeld, S. 85)

Die Feldlinien des umlaufenden Drehfeldes schneiden die Leiterstäbe des innerhalb des Ständers drehbar gelagerten Käfigläufers, der noch stillsteht. In den Stäben des Käfigläufers wird nach dem Induktionsgesetz eine Spannung induziert, die einen *Induktionsstrom* zur Folge hat.

Nach dem LENZschen Gesetz (\nearrow Ph i Üb, S. 137) ist der Induktionsstrom stets so gerichtet, daß sein Magnetfeld der Ursache des Induktionsvorganges entgegenwirkt.

Die Stäbe des Käfigläufers verhalten sich wie ein stromdurchflossener Leiter in einem Magnetfeld (\nearrow Schaukelversuch, Ph i Üb, S. 133). Die auf die stromdurchflossenen Leiterstäbe des Käfigläufers ausgeübte Kraft ist demnach so gerichtet, daß sie der Drehbewegung des Drehfeldes (durch die sie erzeugt wird) entgegenwirkt.

Die Umlaufgeschwindigkeit des Drehfeldes wird durch die Anzahl der Feldspulen und durch die Frequenz des Drehstroms bestimmt. Die *Drehfelddrehzahl* n_d eines Motors mit einem Polpaar (Spule mit Nord- und Südpol) ist gleich der Frequenz des Wechselstroms f , denn in einer Sekunde wiederholt sich das Anwachsen und Absinken sowie das Zurückkehren zum Ausgangszustand f mal, bei technischem Wechselstrom also 50mal.

$$n_d = 50 \cdot \frac{1}{s}$$

Da bei Maschinen die Drehzahl in Umdrehungen je Minute angegeben wird, ist die Zahl der Umdrehungen mit 60 zu multiplizieren.

$$n_d = 60 \cdot f \cdot \frac{1}{\text{min}}$$

Hat ein Ständer 6 Spulen, also 2 Polpaare, so rücken 3 Spulen auf den halben Umfang des Ständers zusammen, auf der anderen Hälfte können die weiteren 3 Spulen angeordnet werden.

Dieses Drehfeld führt während einer Periode nur eine halbe Umdrehung aus, die Drehzahl wird also nur halb so groß. n_d ist zur Polpaarzahl p umgekehrt proportional.

$$n_d \sim \frac{1}{p}$$

Je mehr Polpaare im Ständer eines Drehstrommotors angeordnet werden, desto langsamer läuft er.

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

Für einen Motor mit 3 Polpaaren (6 Polen) ergibt sich bei einer Frequenz des Wechselstroms von 50 Hz die Drehfelddrehzahl

$$n_d = \frac{60 \cdot 50}{3} \cdot \frac{1}{\text{min}} = \underline{\underline{1000 \cdot \frac{1}{\text{min}}}}$$

Das mit konstanter Geschwindigkeit umlaufende Drehfeld sucht den noch stillstehenden, drehbar gelagerten Käfigläufer mit sich zu ziehen. Der Käfigläufer wird in Richtung des Drehfeldes beschleunigt. Je mehr sich die Drehzahl des Käfigläufers der Drehzahl des Drehfeldes nähert, um so weniger Feldlinien des Drehfeldes schneiden die stromdurchflossenen Leiterstäbe des Käfigläufers. 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 synchronen (gleichlaufenden) Laufs – der wegen der vorhandenen Reibungskräfte nie erreicht werden kann – würde der Läufer relativ zum Drehfeld stillstehen. Es wird 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 Drehfelddrehzahl n_d nie vom Läufer erreicht werden kann, nennt man den Motor *Asynchronmotor*. Es ist immer eine Differenz zwischen Drehfelddrehzahl n_d und Läuferdrehzahl (Nenn-drehzahl 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 Prozent ausgedrückt:

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

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

ist, ergibt sich ebenfalls für den Schlupf die Beziehung

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

Der Schlupf beträgt etwa 2...6%.

In der Übersicht sind die gebräuchlichsten Polpaarzahlen mit den dazugehörigen Drehfeld- und Nenn-drehzahlen zusammengestellt.

Polpaare	1	2	3	4
Drehfelddrehzahl in min^{-1}	3 000	1 500	1 000	750
Nenn-drehzahl in min^{-1}	2 875	1 425	925	720



Bild 92/1 Typenschild eines Drehstrommotors

Betriebsverhalten. Bild 93/1 zeigt eine Anlaufcharakteristik des Drehstrom-Kurzschlußläufermotors. Dargestellt ist der zeitliche Verlauf der Stromaufnahme im Einschaltmoment $I = f(t)$. Die Anlaufstromstärke zum Zeitpunkt des Einschaltens des Motors ist sehr hoch. Sie kann das 4...8fache des Nennstromes betragen.

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

Anlaufdrehmoment. Trotz des hohen Anlaufstromes ist das Anlaufdrehmoment nicht das maximale Drehmoment. Bei der einfachen Ausführung eines Kurzschlußläufermotors liegt es etwa in der Größe des Nenndrehmomentes. Der Grund dafür, daß trotz des hohen Anlaufstromes das Anlaufdrehmoment klein ist, liegt in der Phasenverschiebung des Läuferstromes, welche im Einschaltmoment 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 erfahren. Die Ursache für die Phasenverschiebung liegt in der hohen Frequenz der Läufer Spannung 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...60% des Nennstromes und ist somit groß, obwohl keine nutzbringende Arbeit verrichtet 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 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 nehmen 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 Drehmomentes ab. Schlupf und Drehmoment sind bei nicht zu großer Belastung annähernd proportional.

- Berechnen Sie den Schlupf für eine zweipolige Maschine!
- Überlegen Sie, wie man aus der auf dem Typenschild angegebenen Drehzahl die Anzahl der Polpaare bestimmen kann!
- Der Anlaufstrom beträgt das 4...8fache des Nennstromes! Weshalb sinkt die Stromstärke mit steigender Drehzahl?
- Erläutern Sie, warum der Leerlauf von Drehstrommotoren weitgehend zu vermeiden ist!
Gehen Sie dabei von der Betrachtung des Leistungsfaktors aus! (/ Ph i Üb, Register)

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

Bild 93/2 zeigt die Drehzahlkennlinie eines Kurzschlußläufermotors. n_0 ist die Leerlaufdrehzahl, n die Nenndrehzahl, die sich bei angemessener Belastung einstellt. Wird der Motor weiter belastet, so sinkt die Drehzahl allmählich weiter, bis er das Drehmoment nicht mehr aufbringen kann, er „kippt“ ab und bleibt stehen. Das Kippmoment M_K beträgt etwa das 2...2,5fache des Nenndrehmoments. Das ist für kurzzeitige Überlastungen zu berücksichtigen. Die blaue Linie stellt den Drehmomentenverlauf einer Kreiselpumpe dar. Wenn diese Maschine mit dem Motor gekoppelt wird, erfährt sie eine Beschleunigung, bis die Nenndrehzahl n des Motors erreicht ist. Im Schnittpunkt A der beiden Kurven sind beide Momente entgegengesetzt gleich. Um diesen *Arbeitspunkt* A „pendelt“ die Drehzahl. Wird n der Pumpe größer, so muß der Motor ein höheres Moment aufbringen und vermindert die Drehzahl, wird n der Pumpe kleiner, so beschleunigt der Motor die Bewegung.

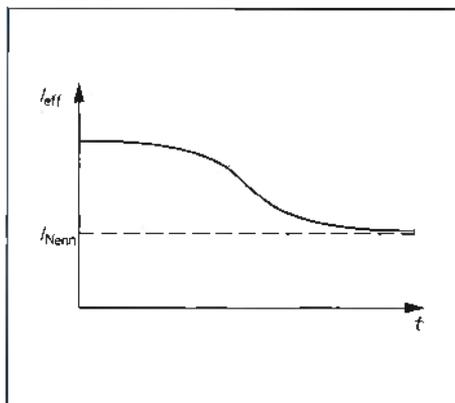


Bild 93/1 Anlaufstrom $i = f(t)$ eines Drehstrom-Kurzschlußläufermotors

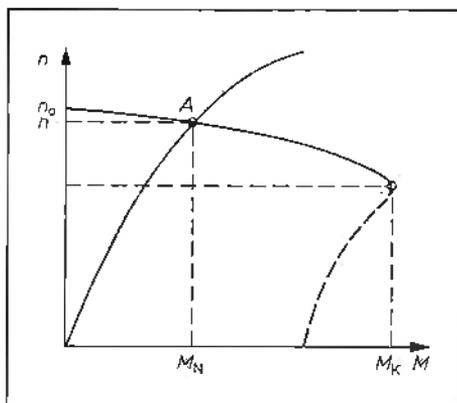


Bild 93/2 Drehzahlkennlinie eines Drehstrommotors und Arbeitscharakteristik einer Kreiselpumpe $n = f(M)$

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: 220/380V, dann kann dieser Motor am 220V-Netz in der Dreieckschaltung, am 380V-Netz in der Sternschaltung betrieben werden. Die Wicklungen des sterngeschalteten Motors liegen jeweils an der Spannung von 220V, und der Motor gibt seine volle Leistung ab.

Die Bilder 94/1 und 94/2 zeigen die Schaltung der Wicklungen und die erforderliche Schaltung am Klemmbrett.

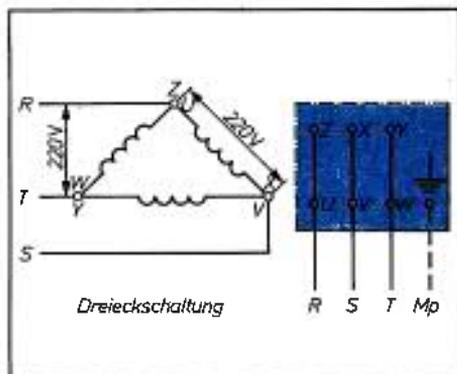


Bild 94/1 Dreieckschaltung

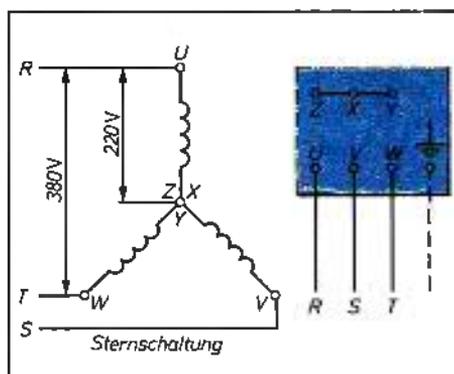


Bild 94/2 Sternschaltung

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 94/3 miteinander vertauscht werden.

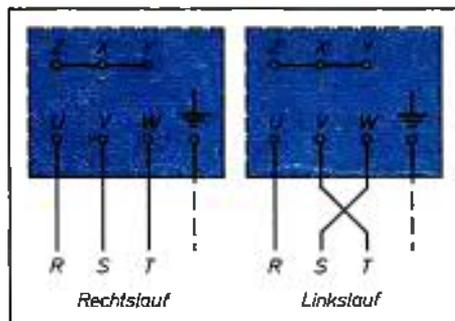


Bild 94/3 Schaltung am Klemmbrett für den Rechts- und Linkslauf

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 95/1). 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 (/ S. 92) Spannungsschwankungen im Netz verursachen, dürfen

Erklären Sie den Begriff „Leistungsfaktor“! (\nearrow Ph i Üb, S. 186)

Erklären Sie die Bezeichnungen

– Drehstrommotor, Induktionsmotor, Kurzschlußläufermotor,

– Asynchronmotor!

Erläutern Sie die Angaben auf dem Typenschild eines Elektromotors!

Wie entsteht im Kurzschlußläufer eines Drehstrommotors der elektrische Strom?

Wann wird im Kurzschlußläufer die größte Spannung induziert?

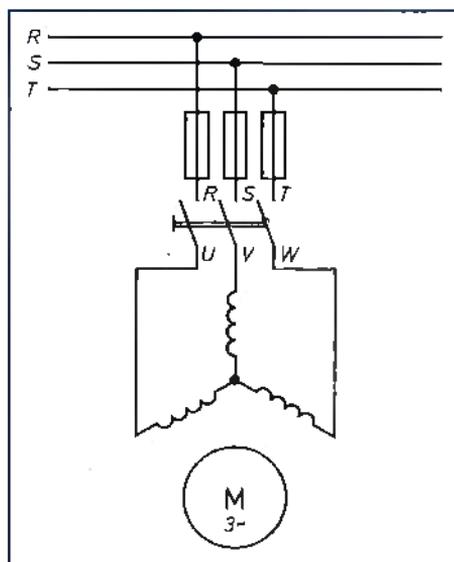


Bild 95/1 Direkter Anlauf eines Drehstrommotors

Drehstrommotoren nur bis zu einer Leistung von 2,2 kW ans öffentliche Netz direkt geschaltet werden. In Industrienetzen liegt dieser Wert wesentlich höher.

Schützschtaltung. Bild 96/2 zeigt die Schützschtaltung eines Drehstrom-Kurzschlußläufermotors mit Fernbetätigung. Die im Schaltschütz bzw. in der Tastertafel vereinigten Bauteile und Anschlüsse sind in den mit der Punkt-Strichlinie gezeichneten Rechtecken zusammengefaßt. Beim Betätigen des EIN-Tasters (Schließer S_1) wird die Wicklung des elektrischen Triebsystems erregt und sein Anker angezogen. Dabei werden die Schaltglieder geschlossen, und der Motor läuft. Mit den Schaltgliedern 1-2, 3-4 und 5-6 schließt sich das zur Steuerung gehörende Schaltglied 15-16 (Selbsthaltung). 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 S_0) betätigt. Dadurch wird der Steuerstromkreis unterbrochen, und das Schütz fällt ab.

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

Anlaufhilfen für Drehstrommotoren

Stern-Dreieck-Schalter

Liegt ein für 380/660V ausgelegter Motor an einem 380V-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.

Anlaufwiderstände und Anlauftransformatoren

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

Bild 96/1

Stern-Dreieck-Anlaufschaltung

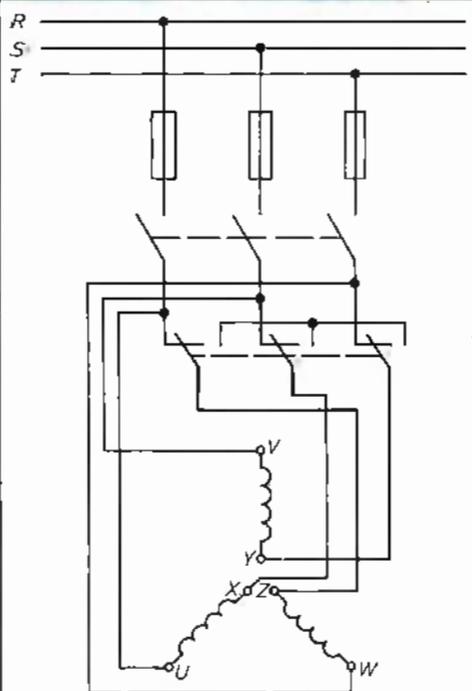
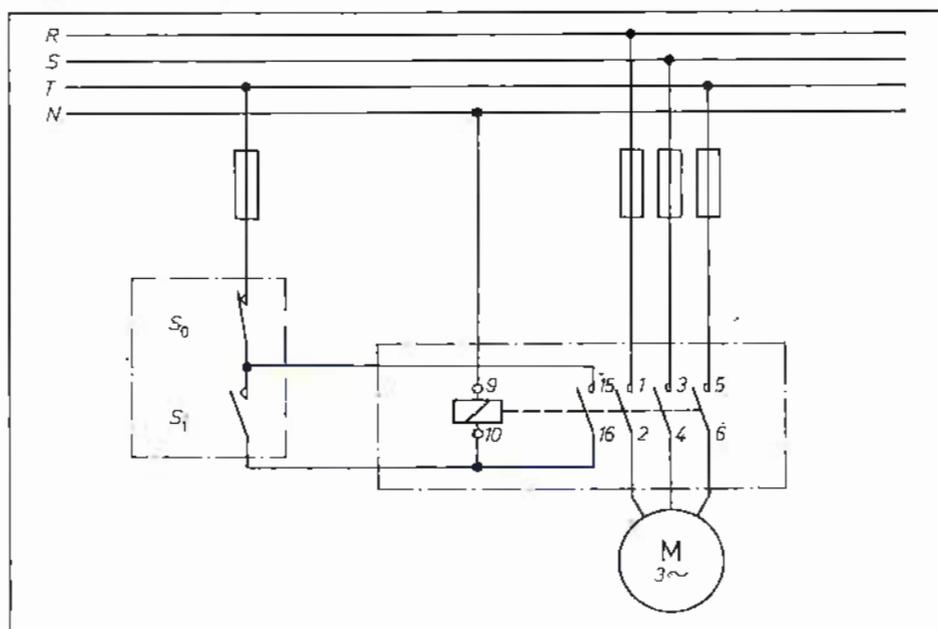


Bild 96/2 Schützschtaltung eines Drehstrommotors



Konstruktive Merkmale von Elektromotoren. Bei der Konstruktion und dem Einsatz eines Elektromotors sind beispielsweise die Forderungen zu beachten, die von der anzutreibenden Arbeitsmaschine beziehungsweise dem Aggregat her erfüllt werden müssen (↑Bild 93/2). Gleichfalls sind die elektrischen Größen des vorliegenden Netzes zu berücksichtigen. In erster Linie sind die folgenden technischen Daten für den Elektromotor festzulegen:

- Spannung,
- Leistung,
- Drehzahl.

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

Einheitsmotoren. Bis Anfang der fünfziger Jahre gab es in der DDR noch sehr viele konstruktiv unterschiedliche Drehstrommotoren (gleicher Leistungen), die oft nicht untereinander austauschbar waren. So produzierten in den ersten Jahren des sozialistischen Aufbaus unsere Elektromotorenwerke noch 166 verschiedene Asynchronmotoren mit Käfigläufern im Leistungsbereich von 0,3... 10 kW.

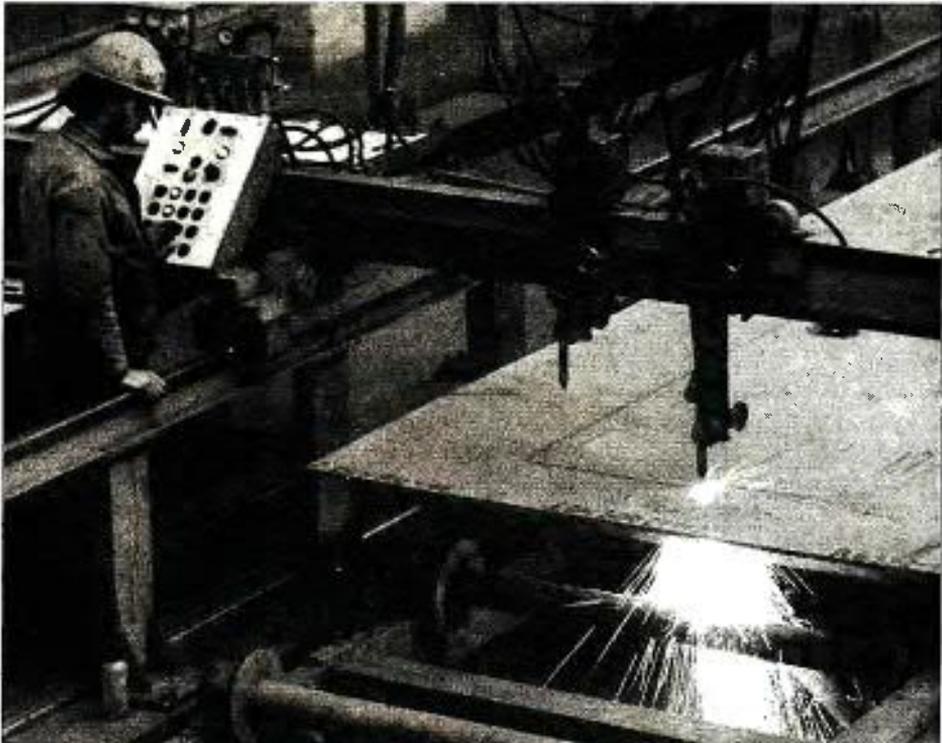
Um dieses Typendurcheinander zu beseitigen, begann man im Jahre 1953 im Rahmen der Rationalisierung und Standardisierung mit der Entwicklung zweckmäßiger Standardmotoren. Seit 1955 werden die Drehstrommotoren der DDR nach einer Einheitsreihe über den Bereich 0,25... 132 kW produziert. Dabei ist die Zahl der Typen wesentlich vermindert worden. Durch die teilweise Verwendung gleicher Bauelemente konnten zusätzlich Werkzeuge und Modelle eingespart werden. Daraus erwächst ein wesentlicher ökonomischer Nutzen. Inzwischen ist die Einheitsreihe für Drehstrommotoren vom RGW (Rat für Gegenseitige Wirtschaftshilfe) als Grundlage für internationale Standards festgelegt worden. Auf diese Weise konnte auch im internationalen Maßstab die Vielzahl der nebeneinander bestehenden Motoreinheiten mit voneinander abweichenden Anschlußmaßen durch eine für alle Zwecke geeignete, einheitliche Ausführung ersetzt werden. 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 Niedersedlitz hergestellt.

Etwa 23 000 Werk­tätige in 13 Betrieben unserer Republik sind an der Produktion von etwa 7 Millionen elektrischer Antriebe beteiligt, wobei Spielzeugmotoren nicht berücksichtigt sind.

Die Kooperation mit Partnern des RGW, vor allem im Rahmen der Organisation INTERELEKTRO, die daraus resultierende wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit und der Expertenaustausch halfen, die Wege zum Erfolg zu verkürzen. 1972 lief in den Werken Thurm und Wernigerode die Produktion einer gemeinsam mit dem sowjetischen Allunionsforschungsinstitut für Elektromotoren (WNJEM) in Moskau entwickelten kompletten Reihe für *Niederspannungs-Asynchronmotoren* an, die den Weltstand im Elektromotorenbau bestimmt. Dabei konnten der Materialeinsatz bis zu 25 % gesenkt, zugleich die Leistung der Motoren erhöht und die Energieverluste reduziert werden. Der Vergleich eines 10-kW-Motors dieser Reihe mit seinem Vorgänger ergibt beispielsweise eine Gewichtsverminderung um fast die Hälfte bei einer Leistungssteigerung auf 11 kW.

Einführung in die Schwachstromtechnik (Informationselektrik)

Dieser wichtige Zweig der Elektrotechnik beruht u. a. auf der Erfindung des Telefons, des Relais, des elektrischen Reglers, des Elektronenrechners und zahlreicher anderer Geräte zur Verarbeitung und Übertragung elektrischer Signale. Mit den Mitteln der Schwachstromtechnik (heute als *Informationselektrik* bezeichnet) können Nachrichten, Meßwerte und Daten über große Entfernungen übertragen werden. Dabei wird eine möglichst fehlerfreie Übertragung angestrebt. Ein bedeutendes Anwendungsgebiet der Schwachstromtechnik ist die Automatisierungstechnik. Sie umfaßt alle Verfahren und Geräte zur Steuerung, Regelung und Überwachung von Produktionsprozessen. Das untenstehende Bild zeigt eine elektronisch gesteuerte Anlage zum Brennschneiden.

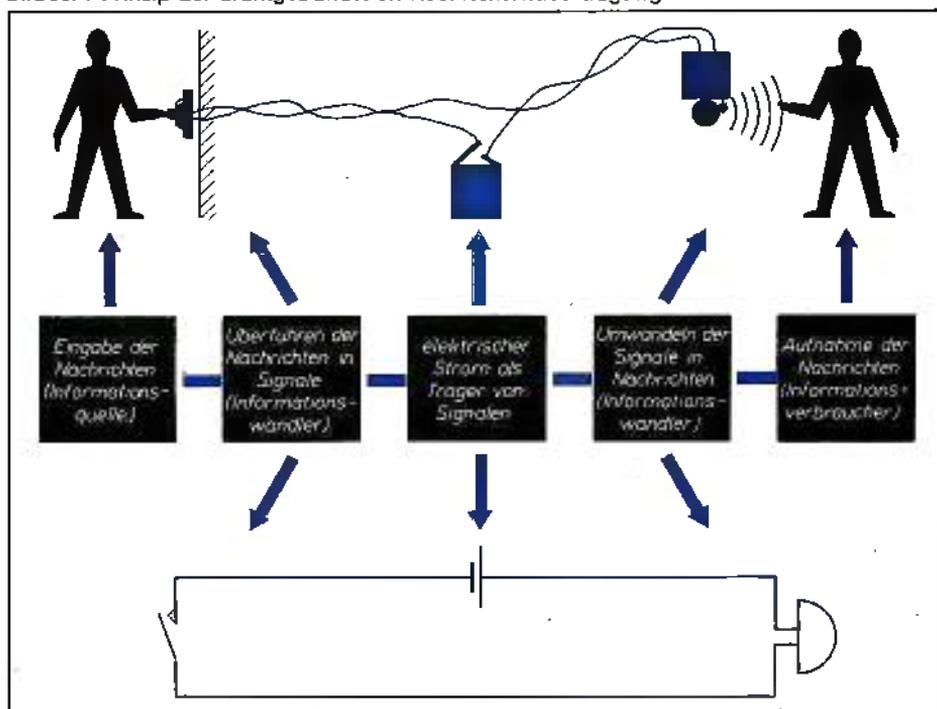


Aufgabengebiete der Schwachstromtechnik (Informationselektrik)

Nach den jeweiligen Aufgabenstellungen lassen sich verschiedene Teilgebiete der Schwachstromtechnik abgrenzen: So befaßt sich die *Fernmeldetechnik* mit dem Austausch von *Nachrichten* zwischen Menschen durch Fernsprecher und Fernschreiber. Aufgabe der *Fernwirktechnik* ist dagegen die Fernsteuerung, Fernmessung und Fernüberwachung technischer Anlagen wie Umspannwerke, Talsperren, Rohrnetze und Pumpstationen. Dabei werden die Befehle, Meldungen und Meßwerte in besondere Signalformen umgewandelt, die sich zur Übertragung über große Entfernungen gut eignen. Die *Rechentechnik* ist im Begriff, alle Bereiche der Volkswirtschaft mathematisch zu durchdringen; ihr Arbeitsgebiet reicht von der Materialwirtschaft großer Betriebe bis zur Steuerung von Werkzeugmaschinen.

In jedem Falle werden die zu übertragenden und zu verarbeitenden Nachrichten, Meßwerte und Daten durch elektrische *Signale* (Spannungen, Ströme, Impulse) dargestellt, die Träger dieser Informationen sind. Man hat deshalb für diese Technik auch den Begriff *Informationselektrik* geprägt. (↗ S. 11)

Bild99/1 Prinzip der drahtgebundenen Nachrichtenübertragung



Das Prinzip der Nachrichtenübertragung über Leitungen ist schematisch in Bild 99/1 am Beispiel einer einfachen Rufanlage dargestellt. Hierbei wird die Nachricht nur in einer Richtung übermittelt.

Die Unterscheidung zwischen *Nachrichten* und *Signalen* geht aus Bild 100/1 hervor.

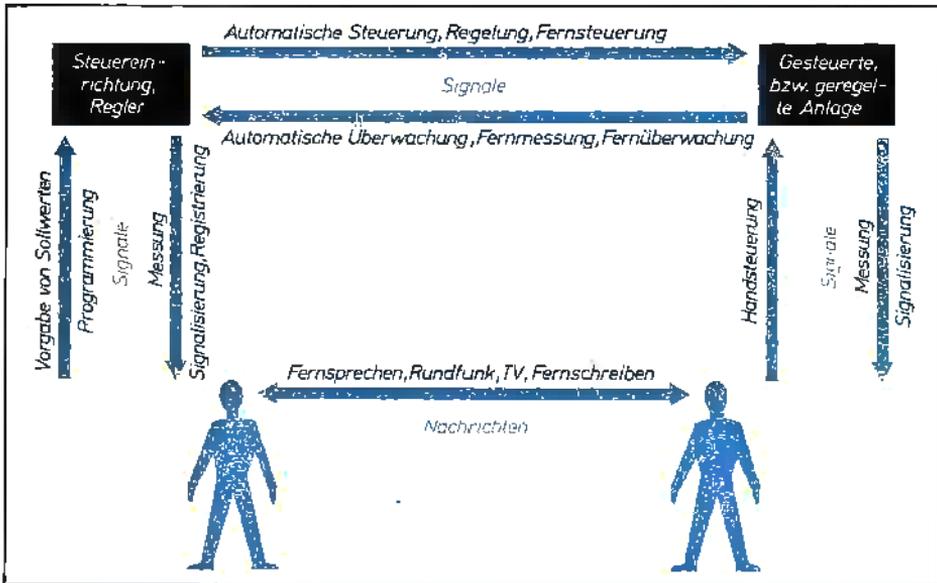


Bild 100/1 Austausch von Nachrichten und Signalen

Signale werden zwischen den zu steuernden bzw. zu regelnden Maschinen und Anlagen und den zugeordneten Steuer- und Regeleinrichtungen sowie Fernwirkeinrichtungen einerseits und den Bedienenden andererseits ausgetauscht. Der Austausch von *Nachrichten* erfolgt nur zwischen Menschen untereinander.

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

Schaltgeräte

Schaltgeräte der Schwachstromtechnik haben im Gegensatz zu den Schaltgeräten der Starkstromtechnik folgende Merkmale:

1. Es müssen oft kleine Spannungen und Ströme (Meßspannungen, Sprechströme) mit geringem Übergangswiderstand geschaltet werden.
2. Bei komplizierten Schaltungen werden Schaltgeräte mit einer Vielzahl von Kontakten benötigt.

3. Wegen der niedrigen Schaltleistungen und Spannungen (Bereich der Kleinspannung bis 60V) können die Bauelemente und Geräte kleiner und leichter gebaut werden.
4. Es tritt oft eine große Schaltfrequenz auf; in vielen Fällen können nur elektronische Schaltungen dieser Forderung genügen.

Betätigungsweise von Schaltern. Jedes Schaltgerät besteht aus einem oder mehreren *Schaltgliedern* und den zugehörigen *Antriebsgliedern*. Es kann auf verschiedene Art betätigt werden (↗ Tech i Üb, S.202):

- von Hand bei Tastschaltern und Stellschaltern;
- durch einen Elektromagneten bei Relais, Schrittschaltwerken und Drehwählern;
- durch zeitabhängige elektromechanische Antriebe bei Programmgebern und Zeitrelais;
- durch Meßeinrichtungen bei Grenzwertschaltern;
- durch Nocken bei Endlagenschaltern an Maschinen und Aufzügen.

Diese Merkmale führen zu einer Einteilung der Schaltgeräte nach Bild 101/1.

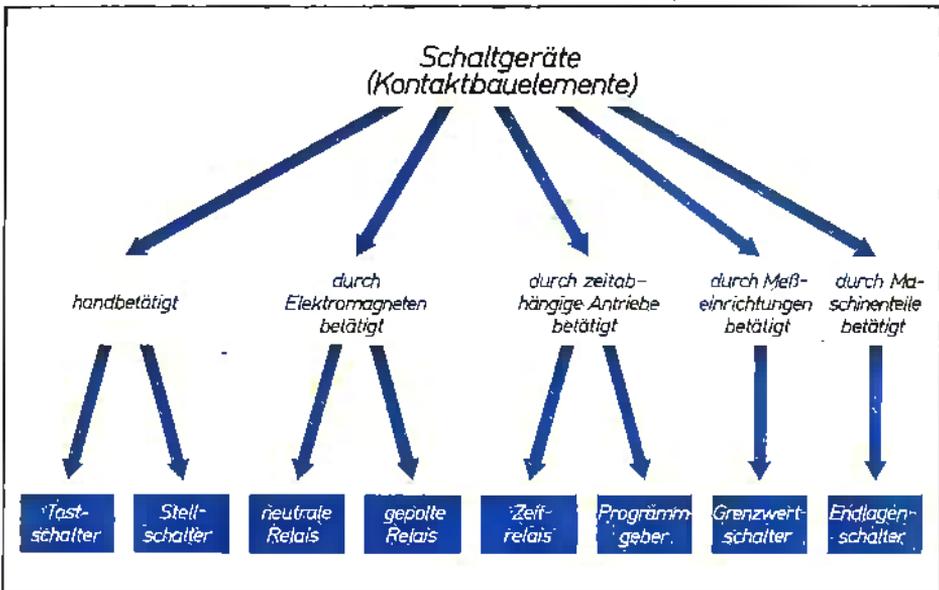


Bild 101/1 Einteilungsmöglichkeiten der Schaltgeräte

Tast- und Stellschalter

Bei allen handbetätigten Bauelementen unterscheidet man solche mit *selbsttätigem* Rückgang (Tastschalter) und *ohne selbsttätigen* Rückgang (Stellschalter). Sie werden, ebenso wie alle anderen Arten elektrischer Bauelemente und Geräte, in Schaltplänen durch standardisierte Schaltzeichen symbolisch dargestellt. Dabei sind die Schaltglieder in Ruhestellung, also im nicht betätigten (spannungslosen) Zustand zu zeichnen. Schließer werden daher offen und Öffner geschlossen, Wechsler (Umschalter) in ihrer nicht betätigten Stellung (Bild 102/1) dargestellt.

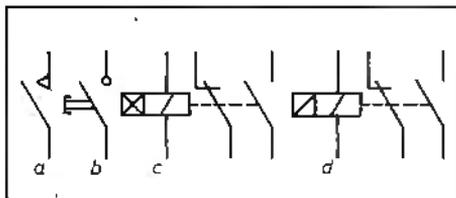


Bild 102/1 Schaltzeichen für Schaltgeräte
 a Schalter mit selbsttätigem Rückgang,
 b Druckknopfschalter ohne selbsttätigen
 Rückgang, c Relais ansprecherverzögert,
 d abfallverzögert

Relais

Diese Bauelemente (/ Tech i Üb, S.203) haben trotz des Vordringens der Elektronik noch eine große Bedeutung für die Fernmeldetechnik und Automatisierungstechnik. Sie werden in den unterschiedlichsten Bauformen gefertigt. Alle Relaisarten bauen sich jedoch aus einigen wenigen Hauptbauteilen auf.

Dies sind:

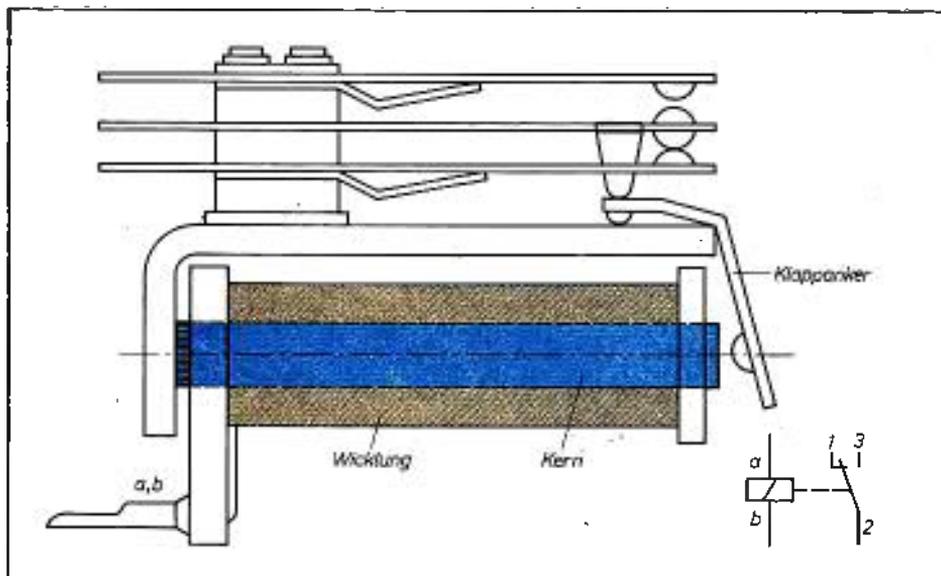
- die Spule mit einer oder mehreren Wicklungen,
- der aus Kontaktfedern aufgebaute Kontaktsatz (Schaltglieder),
- der Eisenkreis (Magnet) mit den Betätigungselementen für die Kontakte und den Befestigungselementen.

Bei einigen Bauformen von Relais kommt noch eine feste oder abnehmbare Abdeckkappe hinzu. Bild 102/2 zeigt den grundsätzlichen Aufbau am Beispiel eines Rundrelais mit Klappanker, das mit einem Wechsler (Umschalter) bestückt ist.

Bei jedem Relais sind mindestens zwei Stromkreise zu unterscheiden:

1. Der *Steuerstromkreis* (Erregerstromkreis); er ist durch die Wickeldaten der Spule für eine bestimmte, meist standardisierte Erregerspannung ausgelegt (z. B.

Bild 102/2 Klappankerrelais (schematisch) mit Schaltzeichen



- Erläutern Sie die Funktion der in Bild 102/1 durch Schaltzeichen dargestellten Schaltgeräte!

12V). Weitere Kenngrößen sind der Erregerstrom und die maximale Schaltfrequenz, die je nach Typ zwischen 2 und 100 Schaltungen je s betragen kann.

2. Der **Arbeitsstromkreis** (Kontaktstromkreis); 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. Relais werden deshalb häufig als Koppelstufe zwischen den mit Kleinspannung betriebenen Teil einer Schaltung und dem mit Netzspannung gespeisten Ausgangsstromkreis eingesetzt. Ein Relais mit beispielsweise einer Erregerleistung von 24 V Gleichspannung kann einen Arbeitsstromkreis mit 220 V Wechselspannung schalten. Setzt man die Erregerleistung zur maximalen Schaltleistung des Kontakts (der Kontakte) in ein Verhältnis, so zeigt das Relais eine beachtliche *Leistungsverstärkung*, es arbeitet als *Schaltverstärker*.

Das Relais ist ein elektromagnetisch betätigter Schalter, der mit einem Steuerstromkreis einen Arbeitsstromkreis schaltet. Durch das besondere Verhältnis von Erregerleistung zur Schaltleistung arbeitet das Relais als Schaltverstärker.

- Für das Relais Typ 2 RG 01 aus dem System RELOG soll die Leistungsverstärkung berechnet werden. Die Erregerleistung beträgt 3 W; da der Kontakt mit einem Schaltstrom von 5 A belastet werden darf, ergibt sich bei voller Ausnutzung des Schaltvermögens eine Schaltleistung

$$P = U \cdot I; \quad P = 220 \text{ V} \cdot 5 \text{ A} = 1100 \text{ W}$$

folglich ergibt sich eine Leistungsverstärkung V

$$V = \frac{\text{Schaltleistung}}{\text{Erregerleistung}}; \quad V = \frac{1100 \text{ W}}{3 \text{ W}} = \underline{\underline{367\text{fach}}}$$

Dieses Relais hat vier Wechsler, seine Ansprech- und Abfallzeiten liegen zwischen 20 ms und 25 ms. Es ist als sogenanntes *Steckrelais* mit Schutzkappe ausgeführt. Das ermöglicht eine schnelle Auswechslung im Schadensfalle (Bild 104/1).

Schutzgas-Relais. Eine besondere Bauform stellen Relais mit geschützten Kontakten (GEKO-Relais, EARID-Relais) dar. Sie sind dadurch gekennzeichnet, daß jeder Kontakt in ein mit Edelgas gefülltes Glasröhrchen eingeschmolzen ist. Bis zu vier Röhrchen sind im Innern einer Magnetspule so angeordnet, daß sich das Magnetfeld innen über die Kontakte und außen über eine Metallkappe schließt. Die beiden Kontaktzungen, die sich im Ruhezustand mit 0,5 ... 1 mm überlappen, bestehen aus einem ferromagnetischen Werkstoff (Bild 104/2).

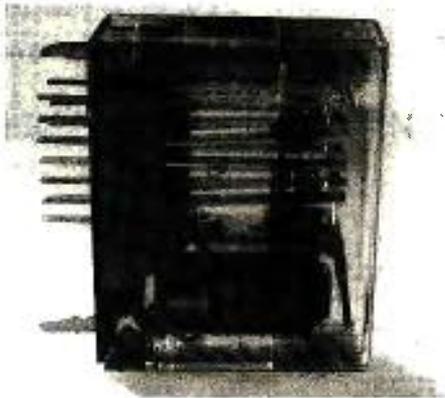
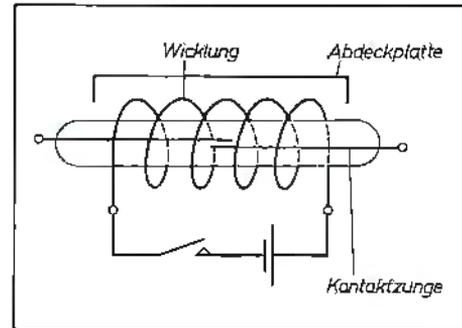


Bild 104/1 RELOG-Relais
Bild 104/2 GEKO-Relais (schematisch)



Schaltet man den Magneten ein, so entstehen in den Kontaktzungen Kräfte, die das Bestreben haben, den Luftspalt zu verkleinern, und der Kontakt schließt innerhalb von 1...4ms. Etwa 0,5ms nach dem Abschalten öffnet der Kontakt wieder. Die Kontakte werden daher bei diesem Relais direkt ohne mechanische Zwischenglieder betätigt. Dieses Prinzip führt zu kurzen Schaltzeiten und ermöglicht Schaltfrequenzen bis 100 Schaltungen je Sekunde. Durch die hermetische Kapselung sind die Kontaktoberflächen der Einwirkung des Luftsauerstoffs und aggressiver Gase (chemische Industrie) entzogen. Sie haben kleine, gleichbleibende Kontaktübergangswiderstände (etwa $10\text{ m}\Omega$) und erreichen eine Lebensdauer von $10^7 \dots 10^8$ Schaltungen. Schutzgas-Relais werden mit Lötanschlüssen an der Unterseite zum Einlöten in Leiterplatten gefertigt (Bild 104/3). Sie können daher unmittelbar mit elektronischen Bauelementen zusammenarbeiten. In der Meßtechnik und Fernwirktechnik haben sie sich sehr gut bewährt.

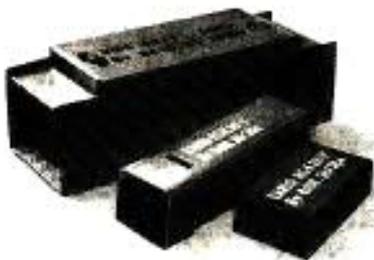


Bild 104/3 GEKO-Relais, Bauformen

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 lammellierten Blechen (Vermeidung von Wirbelströmen!), so können sie auch mit Wechselspannung angesteuert werden. Wegen dieses in bezug auf die Stromrichtung neutralen Verhaltens werden diese Relais auch als *neutrale* Relais bezeichnet. Im Gegensatz dazu sind *gepolte* Relais so ausgeführt, daß sie in Abhängigkeit von der Richtung des Erregerstroms anziehen oder ab-

Nennen Sie Einsatzfälle, wo Schaltgeräte großen Schaltfrequenzen ausgesetzt sind!

Welche Lebensdauer hat ein Relais, das im Dauerbetrieb mit 10 Schaltungen je Sekunde arbeitet und für eine Lebensdauer von 10^7 Schaltungen ausgelegt ist?

Nennen Sie Beispiele aus der industriellen Produktion, wo der Einsatz von Schutzgasrelais notwendig ist!

Charakterisieren Sie die Unterschiede in der Funktion und in den Gebrauchseigenschaften eines Klappankerrelais und eines Schutzgasrelais!

fallen. Dieses Verhalten wird mit Hilfe eines in den Magnetkreis eingefügten Dauermagneten erzielt.

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 Fernmeldetechnik 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 Umlauf. Die maximale Schaltgeschwindigkeit beträgt etwa 10 bis 15 Schaltschritte je Sekunde. Um vielfältige Anwendungen zum Durchschalten mehrerer Stromkreise zu ermöglichen, werden die Drehwähler mit bis zu 6 parallelen Kontaktbahnen hergestellt. Bild 105/1 zeigt einen Drehwähler mit 12 Schritten je Umlauf.

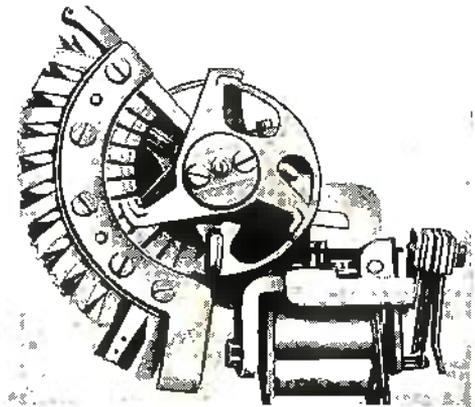


Bild 105/1 Drehwähler aus dem Bereich der Fernmeldetechnik

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 Einschaltverzögerung oder als Ausschaltverzögerung ab.

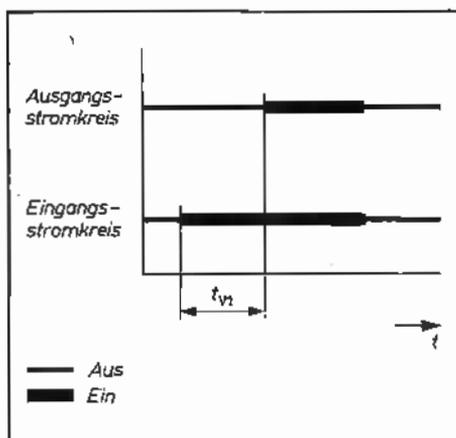
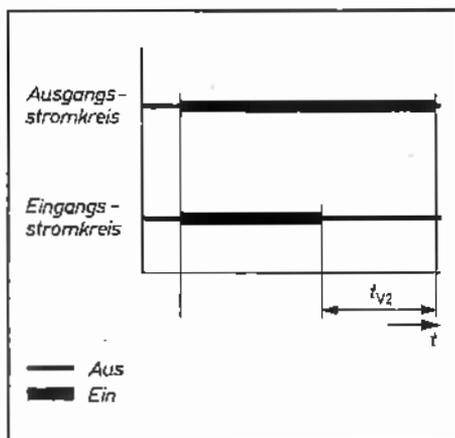


Bild 106/1 Schaltfolgediagramm für
a Einschaltverzögerung



b Ausschaltverzögerung

- *Heizwiderstand* Ein Bimetallstreifen wird durch elektrischen Strom erwärmt, er wölbt sich und betätigt einen Kontakt.
- *Elektromotor* Ein Synchronmotor dreht über ein Untersetzungsgetriebe eine Nockenscheibe; durch einen Nocken wird nach Ablauf ein Kontakt betätigt.
- *R-C-Glied* Ein Kondensator wird über einen Widerstand aufgeladen. Nach Erreichen eines definierten Spannungswertes zieht ein Relais an.

Bei elektronischen Zeitrelais wird fast immer das Prinzip der Kondensatoraufladung benutzt. Das Ausgangssignal wird kontaktlos durch einen Schalttransistor gebildet.

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 entsprechend den vorgegebenen Bedingungen und seine Einstellung (Einspeicherung) am Programmgeber werden

- **Der Treppenlichtautomat ist ein weit verbreitetes Zeitrelais. Beschreiben Sie seine Wirkungsweise!**

durch das *Schaltfolgediagramm* erleichtert, das die Betätigung des Schaltgliedes in zeitlicher Folge wiedergibt. Ein einfaches Beispiel für eine Werkzeugmaschinensteuerung ist in Bild 107/1 dargestellt.

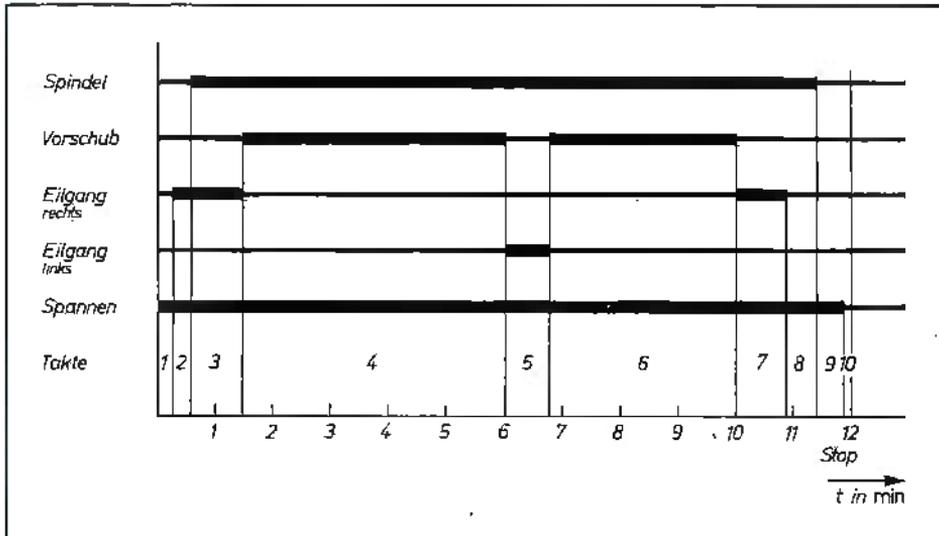


Bild 107/1 Schaltfolgediagramm für die Programmsteuerung einer Werkzeugmaschine; das Programm besteht aus 10 Takten mit einer Gesamtdauer von 12 min

Einen Programmgeber mit Nockenwalze, mit dem beispielsweise das obengenannte Programm realisiert werden kann, zeigt Bild 107/2.

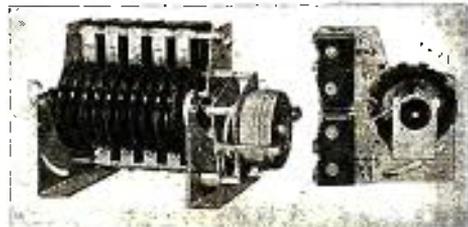


Bild 107/2 Programmgeber mit Nockenwalze

Grenzwertschalter

Sollen industrielle Prozesse selbsttätig überwacht werden, dann müssen die in diesen Prozessen auftretenden Meßwerte ständig auf die Einhaltung zulässiger

Grenzwerte überwacht werden. Wenn diese Aufgaben von *Grenzwertschaltern* übernommen werden, dann wird damit der Bedienende von der monotonen Beobachtung zahlreicher Anzeigeeinstrumente entlastet. Gleichzeitig läßt sich die Sicherheit erhöhen und die Qualität der Produkte verbessern.

Grenzwertschalter liefern Signale für nachgeschaltete Überwachungseinrichtungen oder man benutzt diese Signale, um damit einen Prozeß zu *steuern* oder zu *regeln*.

Damit kann ein Prozeß automatisch, ohne ständige Mitwirkung des Menschen ablaufen.

In Bild 108/1 sind die wichtigsten Grenzwertschalter nach den jeweiligen Meßgrößen eingeteilt. Einige davon werden nachfolgend beschrieben.

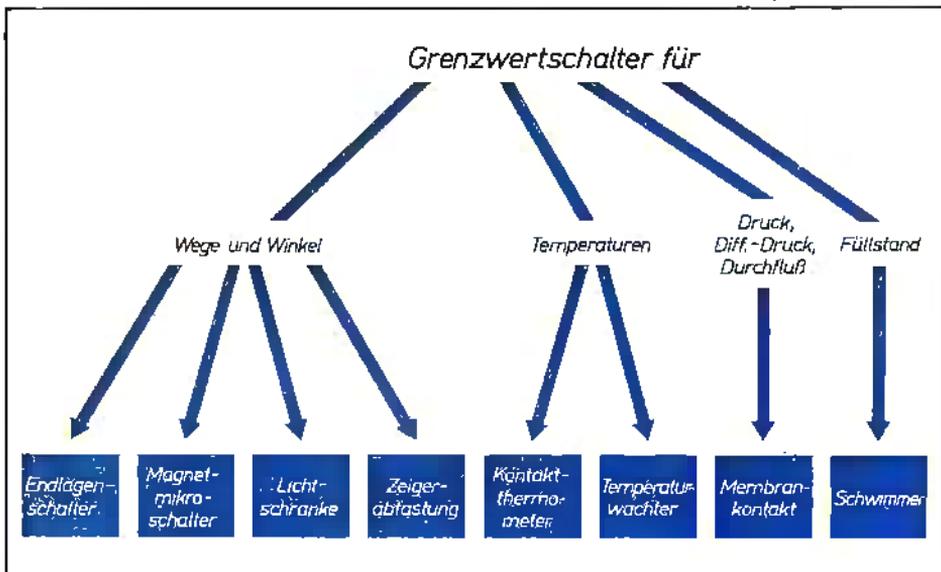


Bild 108/1 Einteilung wichtiger Grenzwertschalter

Grenzwertschalter für Wege und Winkel. Bei vielen Maschinen, Förderanlagen und Aufzügen müssen die Endpunkte von Bewegungsvorgängen, also Wege und Winkel, exakt erfaßt werden. Beispielsweise kann die Weglänge des Bettschlittens einer Drehmaschine entlang der Zugspindel mit Hilfe von zwei Schaltern begrenzt werden. Man benutzt dazu vorwiegend Tastschalter, die über Nockenleisten, Anschläge oder Rollen mechanisch betätigt werden. Die Betätigungskraft wird von dem Maschinenteil oder Werkstück aufgebracht, dessen Lage erfaßt werden soll.

Nennen Sie Beispiele aus der industriellen Praxis, wo die Lage eines Maschinenteils oder Erzeugnisses rückwirkungsfrei erfaßt werden muß!

Initiatoren. Häufig muß in der industriellen Fertigung die Lage eines Maschinenteils oder Werkstücks berührungslos und ohne Ausübung von Betätigungskräften, also rückwirkungsfrei, abgetastet werden. Dazu eignen sich kontaktlose Endlagenschalter, die allgemein als *Initiatoren* bezeichnet werden. Bei dem im Bild 109/1 dargestellten Schlitzinitiator wird die Kopplung des eingebauten Schwingkreises verändert, wenn eine Metallfahne in den Schlitz eingebracht wird. Das Aussetzen der Schwingung wird zur Erzeugung eines Meldesignals ausgenutzt. In ähnlicher Weise werden sogenannte *Lichtschranken* verwendet, die sich aus einer Lichtquelle, einem lichtempfindlichen Bauelement (Fotozelle, Fototransistor) und einer Verstärkerschaltung zusammensetzen.

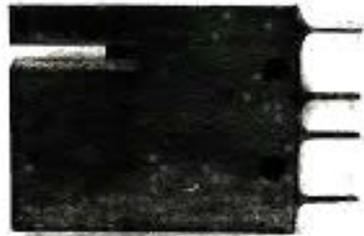


Bild 109/1 Schlitzinitiator

Grenzwertschalter für Temperaturen. Im Meßbereich zwischen -20°C und $+250^{\circ}\text{C}$ 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 $10 \dots 20\text{mA}$ belastbar; empfindliche Relais können jedoch damit betätigt werden. In einer speziellen Ausführung eines solchen Kontaktthermometers (Bild 109/2) kann der Gegenkontakt von außen über eine Spindel mit Hilfe eines Magneten stufenlos eingestellt werden.

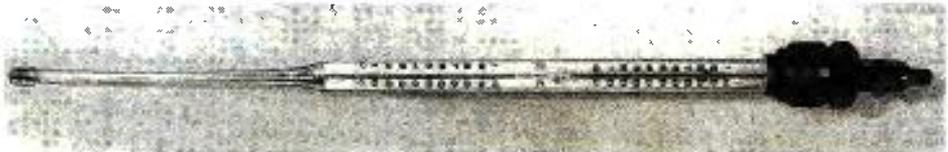


Bild 109/2 Kontaktthermometer

Die Erfassung von Temperaturgrenzwerten zwischen -50°C und $+380^{\circ}\text{C}$ gestatten Grenzwertschalter mit Tensionsfühler, wie sie in der Klima- und Kältetechnologie

nik unter der Bezeichnung Temperaturwächter handelsüblich sind. Bild 110/1 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 Schwellpunkt stufenlos einstellen.

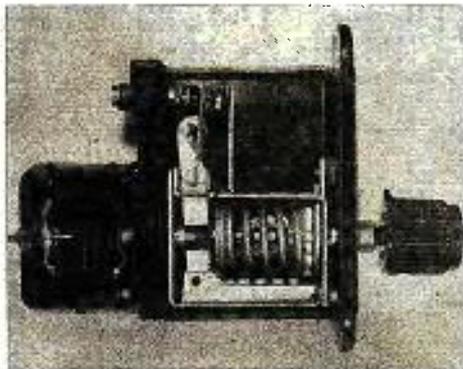


Bild 110/1 Temperaturwächter

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. Als Grenzwertschalter eignen sich Schwimmer mit Kontaktbetätigung.

▶ Mit Grenzwertschaltern können die Endpunkte von Bewegungsvorgängen (Wege, Winkel), Temperaturgrenzwerte oder auch die Füllhöhen in Behältern erfaßt und signalisiert werden.

Meldegeräte

▶ Melder sind Bauelemente oder Geräte, die Signale von technischen Einrichtungen (z. B. von Grenzwertschaltern) an einen zur Kontrolle oder Überwachung eingesetzten Bedienenden geben.

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.

- In jedem Kühlschrank wird die Temperatur durch einen Temperaturwächter gemessen und geregelt. Beschreiben Sie die Wirkungsweise des Temperaturwächters im Zusammenspiel mit dem Kältekompressor in einem Haushaltskühlschrank!

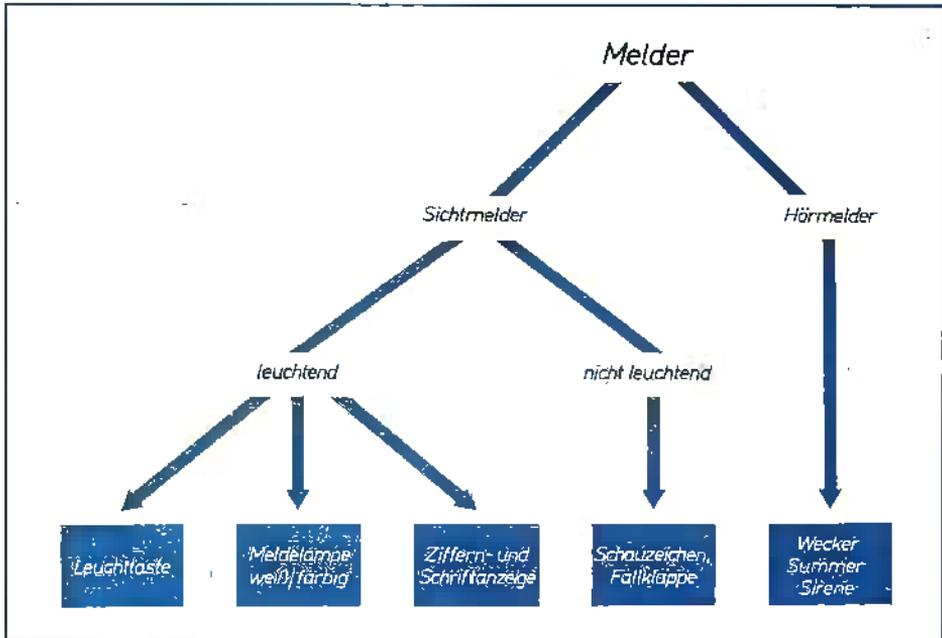


Bild 111/1 Einteilungsmöglichkeiten der Melder

Sichtmelder

Nichtleuchtende Sichtmelder stellen das Signal durch bewegliche Blenden dar, die z. B. ein weißes oder farbiges Feld oder ein Schriftfeld abdecken oder freigeben. Sie sind in manchen Fällen Bestandteil eines Relais, dessen Schaltzustand auf diese Weise anschaulich dargestellt wird. Bei den in Rufanlagen häufig installierten Fallklappen wird die betätigte Stellung mechanisch gespeichert, indem die Klappe einrastet; sie muß von Hand durch Tastendruck zurückgestellt werden. Das entspricht der Quittierung durch den Gerufenen.

Leuchtende Sichtmelder sind mit Glühlampen oder Glimmlampen bestückt. Für die Anzeige von Betriebszuständen bei kleinen Geräten setzen sich zunehmend die rot- oder grünleuchtenden Lichtemitterdioden (Lumineszenzdioden) durch. Sie benötigen nur einen Strom von 10...16 mA und können daher direkt aus einer Transistorschaltung angesteuert werden.

Kombiniert man den Leuchtmelder mit einem handbetätigten Schalter oder Taster, so kann die Anzeige gleichzeitig zur Kontrolle des Vorgangs herangezogen werden, der durch die Betätigung ausgelöst wurde.

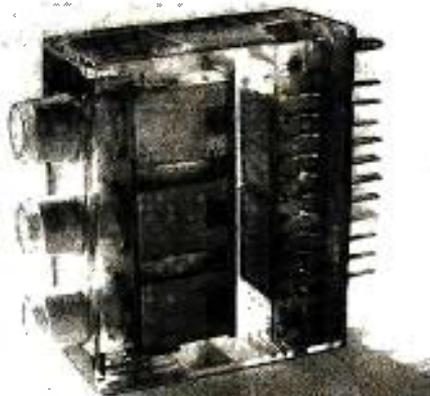


Bild 112/1 Steckbarer Baustein aus dem System TRANSLOG 2 mit drei Leuchtdrucktasten

Jede Taste ist mit Wechslern und einer in den Tastknopf eingebauten Klein-signalampe bestückt.

Ziffernanzeige. Sichtmelder mit einer Lampe können nur eine zweiwertige (binäre) Information übermitteln; erst unter Anwendung von Blinklicht ist eine mehrwertige Information möglich. Im Gegensatz dazu vermag eine einstellige *Ziffernanzeige* zehn, eine zweistellige bereits 99 unterschiedliche Informationen anzuzeigen. Die Ziffern können je nach Anwendungsfall Meßwerte, Betriebszustände oder Rechengrößen darstellen. Damit geht die Ziffernanzeige schon über die Einsatzmöglichkeiten von Sichtmeldern hinaus.

Die zehn Ziffern werden häufig durch eine Grundform mit 7 Balken dargestellt, aus der einzelne Balken ausgeblendet werden. Bild 112/2 zeigt diese Grundform und die Darstellung der ersten drei Ziffern.

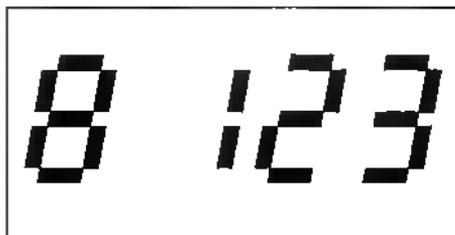


Bild 112/2 7-Balken-Anzeige

Nichtleuchtende Sichtmelder arbeiten mit beweglichen Blenden (Fallklappen), leuchtende Sichtmelder mit Lampen oder Ziffernanzeige.

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.

- *Entwerfen Sie eine Schaltung zur Betätigung eines Relais durch eine Leuchtdrucktaste, bei der das Ansprechen des Relais durch Aufleuchten der Signallampe zurückgemeldet wird!*
- *Erklären Sie die Wirkungsweise des Wagnerschen Hammers!*
- *Wiederholen Sie den Aufbau des Kohlemikrofons und den Aufbau des elektromagnetischen Telefons!*
- *Welche Aufgabe hat die Spannungsquelle im Fernsprechstromkreis, und welche Stromart wird benötigt?*

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 großen Zahl von Schaltungen, die in Geräten und Anlagen der industriellen Technik verwendet werden, wurden einige ausgewählt, in denen die zuvor beschriebenen Bauelemente und Geräte zusammenwirken.

Fernsprechschtaltung

Beim Fernsprechen handelt es sich um die mündliche Übermittlung von Nachrichten zwischen Menschen über solche Entfernungen, die durch direkten Zuruf nicht mehr überbrückt werden können. Diese Übermittlung geschieht über Leitungen. Von einem Mikrofon werden die Schwingungen der menschlichen Sprache in Wechselspannungen (im Frequenzbereich zwischen 300 Hz und 3400 Hz) umgeformt und am Empfangsort durch ein Telefon wieder hörbar gemacht.

Beim Fernsprechgerät sind Mikrofon und Ohrhörer im Handapparat vereinigt. Die üblichen Schaltungen gestatten die Ausnutzung der Verbindungsleitungen in beiden Richtungen, das sogenannte *Gegensprechen*. Jeder der beiden Teilnehmer kann ohne Umschalten von „Hören“ auf „Sprechen“ übergehen und umgekehrt.

Eine Fernsprechschtaltung mit zwei Teilnehmern gibt Bild 114/1 wieder. Man erkennt die Innenschaltung der beiden gleichartig aufgebauten Fernsprechgeräte mit dem Gabelumschalter, einer Ruf-taste und einem Summer. Es wurde der Ruhezustand – beide Handapparate aufgelegt – dargestellt. Alle Stromkreise sind zunächst stromlos.

Betätigt jedoch Teilnehmer A seine Ruf-taste, so ertönt der Wecker bei B (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 (Bild 114/1) zeigt, sind die Teilnehmer durch eine dreiadrige Leitung verbunden. Die Batterie kann bei einem der Teilnehmer oder im Leitungs-

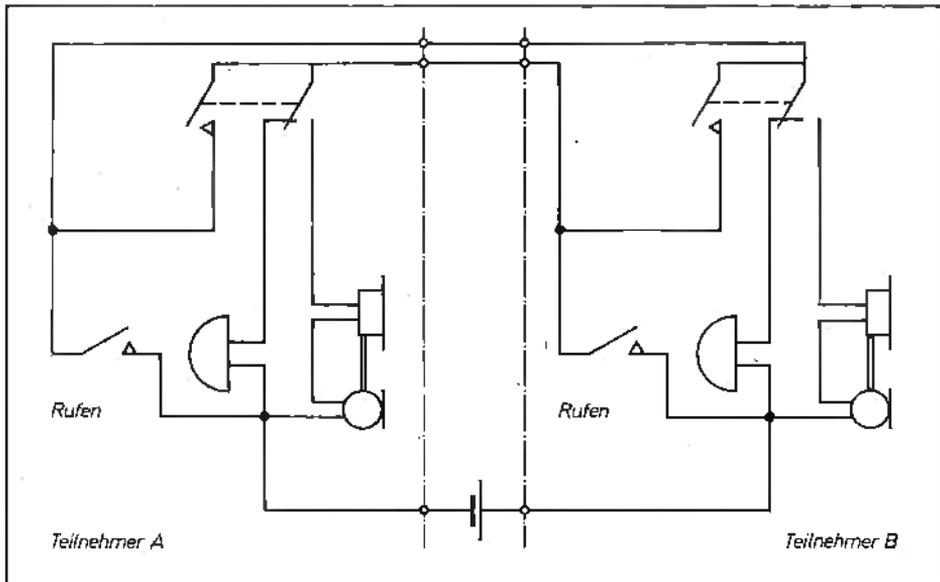


Bild 114/1 Fernsprechschtaltung

weg zwischen ihnen angeordnet sein. Die gezeigte Schaltung wird auch als *direkte* Schaltung bezeichnet, weil sich das Mikrofon direkt am Sprechstromkreis befindet. Sie eignet sich zur Überbrückung kurzer Entfernungen, z. B. auf einer Baustelle oder in einer Werkhalle.

Bei der *indirekten* Schaltung ist im Sprechstromkreis ein Mikrofontransformator angeordnet, der diesen von den Übertragungsleitungen galvanisch trennt.

Fernsprechverkehr zwischen mehreren Teilnehmern, bei dem der Anrufende einen gewünschten Teilnehmer auswählt, erfordert den zusätzlichen Einsatz handbetätigter oder automatischer Kontaktbauelemente für die Durchschaltung des Sprechweges. Diese Schalteinrichtungen sind in Fernsprechzentralen zusammengefaßt. Dabei erfolgt die automatische Vermittlung des gewünschten Teilnehmers im allgemeinen durch Drehwähler, die der Anrufende über die Wählerscheibe seines Fernsprechgeräts durch Stromimpulse ansteuert.

Selbsthalteschaltung

Bei allen Relais (Ausnahme: einige gepolte Relais und sog. *Remanenzrelais*) sind die Kontakte so lange betätigt, wie das Steuersignal anliegt. Benutzt man jedoch einen Relaiskontakt, um den Erregerstromkreis nach dem Einschalten geschlossen zu halten, so bleibt das Relais in dieser *Selbsthalteschaltung* auch dann noch angezogen, wenn das Einschaltsignal verschwindet. Das Relais kann daher mit einem Taster eingeschaltet und mit einem anderen Taster, der einen Öffnerkontakt hat, ausgeschaltet werden (Bild 115/1).

Verknüpfungsschtaltung

Zahlreiche industrielle Steuerungen beruhen auf der Verknüpfung von *zweiwert-*

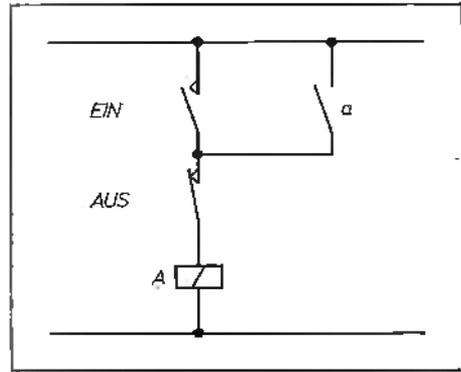


Bild 115/1 Selbsthalteschaltung

gen (binären) Eingangssignalen. Diese Steuerungen werden auch als Schaltsteuerungen bezeichnet. In ihnen treten bestimmte Gesetzmäßigkeiten auf, die im folgenden näher untersucht werden sollen.

In einem Stromkreis mit nur zwei Schaltgliedern können die Schaltglieder 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 parallelen oder in Reihe geschalteten Schaltgliedern bestehen.

Die beiden möglichen Signale in Verknüpfungsschaltungen werden im allgemeinen mit 0 (Null) und 1 bezeichnet.

ODER-Schaltung. Im Schaltbeispiel (Bild 116/1) sind die Schaltglieder (Schließer) zweier Relais *K1* und *K2* parallel geschaltet. Sie betätigen einen Sichtmelder *H*. Der Stromkreis für den Melder kann sich daher sowohl über *K1* als auch über *K2* schließen. Da jedes Relais zwei Schaltstellungen einnehmen kann, ergeben sich vier mögliche Schaltkombinationen, wie sie in der Tabelle rechts im Bild dargestellt sind. Drei Kombinationen führen zum Aufleuchten der Lampe: Sie leuchtet, wenn Relais *K1* ODER Relais *K2* ODER beide Relais betätigt worden sind. Man bezeichnet daher in der Steuerungstechnik und digitalen Rechentechnik (Digitaltechnik) eine solche Verknüpfungsschaltung als ODER-Schaltung. Rechts im Bild ist das allgemeine Symbol einer ODER-Schaltung dargestellt, das keine Aussage über die technische Realisierung enthält.

- Angewendet wird die ODER-Schaltung 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 (Bild 116/2) stellt die Reihenschaltung der Schließer zweier Relais dar. Die möglichen Schaltkombinationen sind in einer Tabelle zusammengestellt.

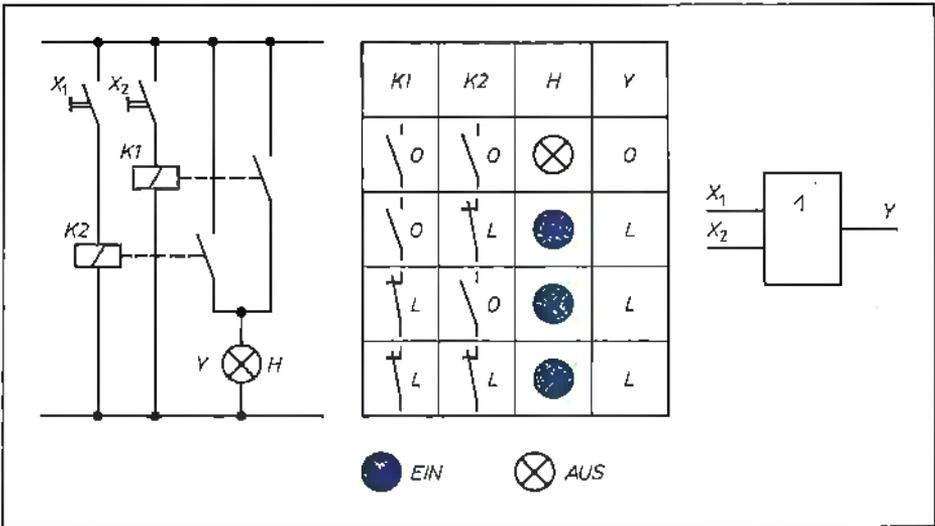
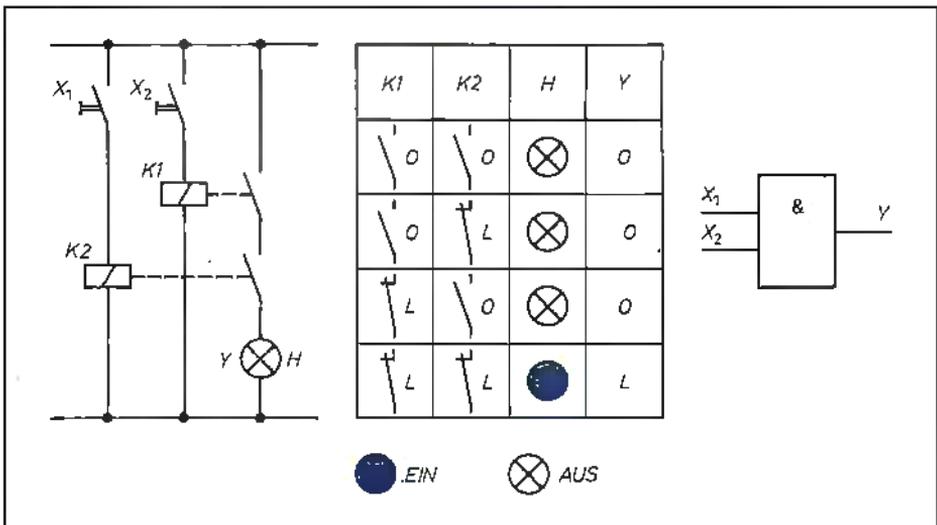


Bild 116/1 Schaltplan einer ODER-Schaltung *Parallelschaltung*

Die Meldelampe H kommt nur in *einem* Falle zum Aufleuchten, wenn nämlich beide Relais betätigt und daher die Kontakte von K1 UND K2 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.

Bild 116/2 Schaltplan einer UND-Schaltung *Reihensch.*



- 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 geschlossen ist (3fach-UND-Verknüpfung). Dieses Beispiel, das eine Anwendung einer UND-Schaltung zum Schutz vor Unfällen zeigt, kann durch viele andere ergänzt werden, vor allem bei Sicherheits-schaltungen, in der Eisenbahnsicherungstechnik und bei Aufzügen.

Umkehrschaltung, Negation. Ein Relais mit einem Öffner wirkt in einer Schaltung (Bild 117/1) als Umkehrschaltung. Bei nicht betätigtem Eingang (Eingangssignal 0) leuchtet die Lampe (Signal L). Sobald das Relais jedoch anzieht, wird der Lampenstromkreis unterbrochen. Umkehrschaltungen, auch als *Negatoren* bezeichnet, werden in Steuer- und Überwachungsschaltungen zur Signalumkehr benötigt. In Verbindung mit anderen Verknüpfungsschaltungen können einzelne Eingangs- oder Ausgangssignale negiert (umgekehrt) werden.

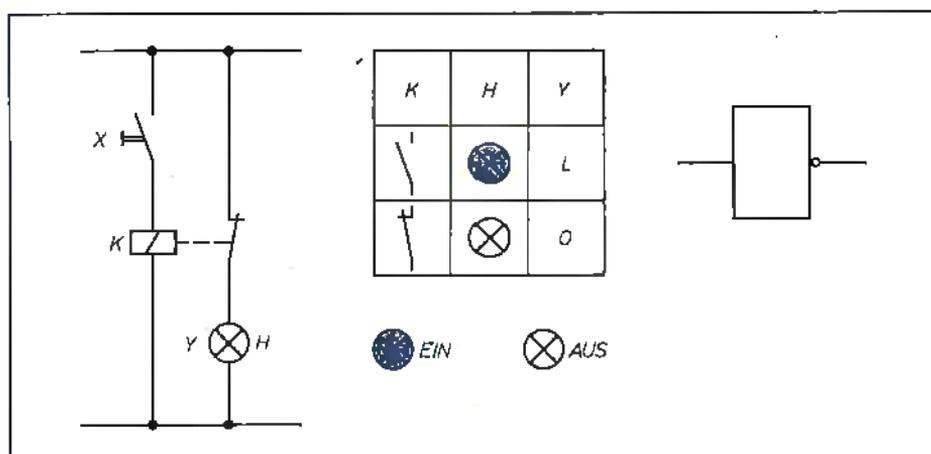


Bild 117/1 Schaltplan einer Umkehrschaltung

Sperr-UND-Schaltung. Das Sperr-UND ist eine UND-Verknüpfung, bei der ein Eingang negiert ist. Bild 118/1 zeigt die Realisierung mit einem Relais, die Schaltbelegungstabelle und das allgemeine Symbol. Die Relaischaltung ist wieder in nicht betätigtem Zustand (alle Eingangssignale 0) dargestellt. Ein L-Signal am negierten Eingang sperrt offensichtlich den Ausgang.

Industriell gefertigte elektronische Bausteinsysteme, z. B. TRANSLOG 2, enthalten steckbare Bausteine mit den beschriebenen Verknüpfungsschaltungen und Speicherschaltungen. Sie werden aus Transistoren, Dioden und Widerständen aufgebaut und können freizügig zu Steuer- und Überwachungsschaltungen zusammengeschaltet (verknüpft) werden. Mit den drei elementaren Funktionen lassen sich alle Arten von Verknüpfungsschaltungen darstellen.

Speicherschaltung

Mit Hilfe einer Rückführung vom Ausgang A zu einem Eingang läßt sich aus einem Sperr-UND und einem ODER-Glied eine Speicherschaltung aufbauen. Nach kur-

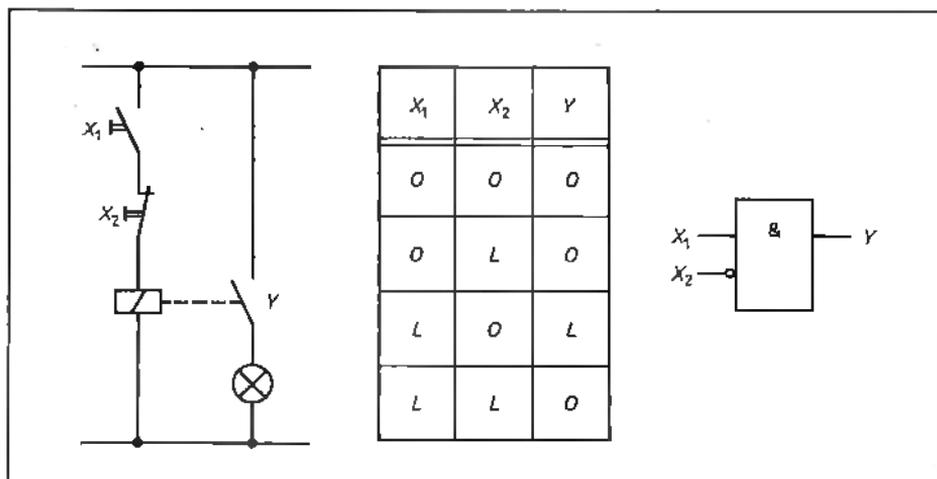


Bild 118/1 Schaltplan einer Sperr-UND-Schaltung

zer Betätigung von S (L-Signal während der Betätigung) erscheint das L-Signal an A und hält den Einschaltzustand des Sperr-UND über die Rückführung für unbegrenzte Zeit aufrecht (Bild 118/2). Erst ein L-Signal am negierten Eingang des Sperr-UND (Betätigung von R) kippt die Schaltung zurück in den Anfangszustand, der durch 0-Signal an A gekennzeichnet ist.

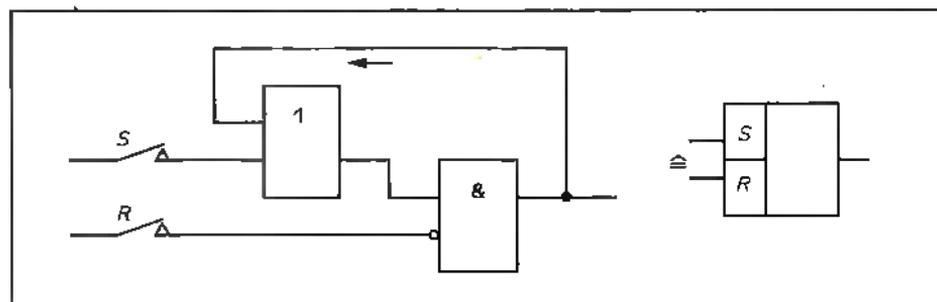


Bild 118/2 Schaltplan einer Speicherschaltung

Verriegelungsschaltung

Kombiniert man zwei Speicherschaltungen zur Steuerung eines Antriebes für die Drehrichtungen Links-Rechts, muß durch eine gegenseitige Verriegelung dafür gesorgt werden, daß ein gleichzeitiges Einschalten beider Drehrichtungen unmöglich ist.

In der Schaltung (Bild 119/1) sind dazu von den beiden Ausgängen Rückführungen zu je einem Sperr-UND eingefügt, die die S-Eingänge beider Speicher freigeben

- Verfolgen Sie die Signale in der Speicherschaltung bei allen auftretenden Schaltzuständen! Welches Ausgangssignal ist an A zu erwarten, wenn gleichzeitig R und S gedrückt werden?
- Wie verhält sich die Speicherschaltung bei Ausfall und Wiederkehr der Speisespannung?
- Vergleichen Sie die Speicherschaltung in ihrem Aufbau und ihrer Wirkung mit einer Selbsthalteschaltung!
- Beschreiben Sie den Verlauf der Signale in der Verriegelungsschaltung in den einzelnen Betriebszuständen!
- Was würde passieren, wenn die Taster zum Schalten der Rechts- bzw. Linkslauf-Drehrichtung gleichzeitig gedrückt werden?
- Geben Sie aus der Praxis Beispiele für die Notwendigkeit einer Drehrichtungsänderung des Antriebs!

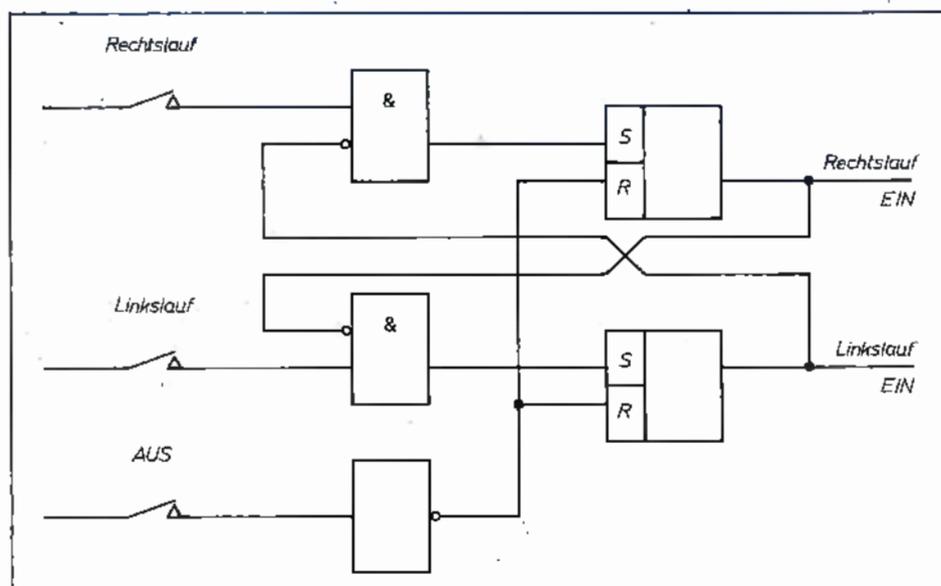


Bild 119/1 Schaltplan einer Verriegelungsschaltung

oder sperren. Sobald eine der beiden Drehrichtungen eingeschaltet ist – die beiden Ausgänge könnten beispielsweise über Verstärker auf je ein Schaltschütz führen – ist das Einschalten der anderen Drehrichtung verhindert. Erst nach Betätigung des AUS-Tasters ist der Wechsel der Drehrichtung möglich.

Überwachungsschaltung

Raumschutzanlage. Zur Alarmierung der Polizei und der Öffentlichkeit werden wichtige Gebäude und Geschäfte oft mit Raumschutzanlagen ausgerüstet.

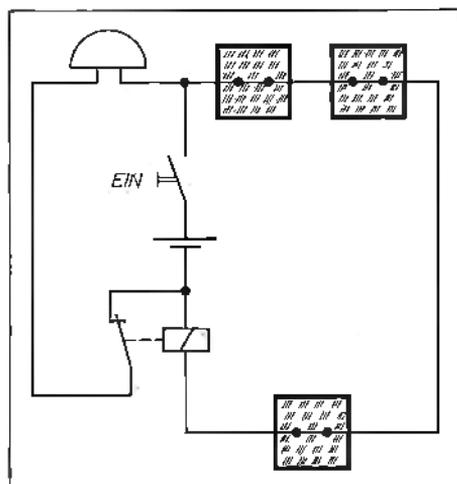


Bild 120/1
Schaltplan einer Raumschutzanlage

Eine für diesen Zweck geeignete Schaltung (Bild 120/1) weist als Geber drei Spanndrähte oder Folienstreifen auf, die in Reihe geschaltet, z. B. an drei Schau Fenstern 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: Ruhestromschaltung). Das hat zwar einen ständigen Energiebedarf zur Folge, gleichzeitig werden aber die Leitungen und Verbindungsstellen mit überwacht.

Fernüberwachung eines Füllstandes. Die in Bild 121/1 gezeigte Schaltung, mit der zwei Grenzwerte des Füllstandes in einem offenen Behälter überwacht werden, liefert durch Aufleuchten von drei Meldelampen folgende Informationen:

Lampe	Leuchtfarbe	Bedeutung
Min.	rot	Unterer Grenzwert erreicht oder überschritten; Ventil für Zufluß öffnen!
Normal	weiß	Normaler Füllstand vorhanden, keine Gefahr!
Max.	rot	Oberer Grenzwert erreicht oder überschritten; Ventil für Zufluß schließen!

Die Grenzwerte werden durch zwei Schlitzinitiatoren (↗ S. 109) erfaßt, die von

- Beschreiben Sie die Funktion der Überwachungsschaltung in allen drei Betriebszuständen!

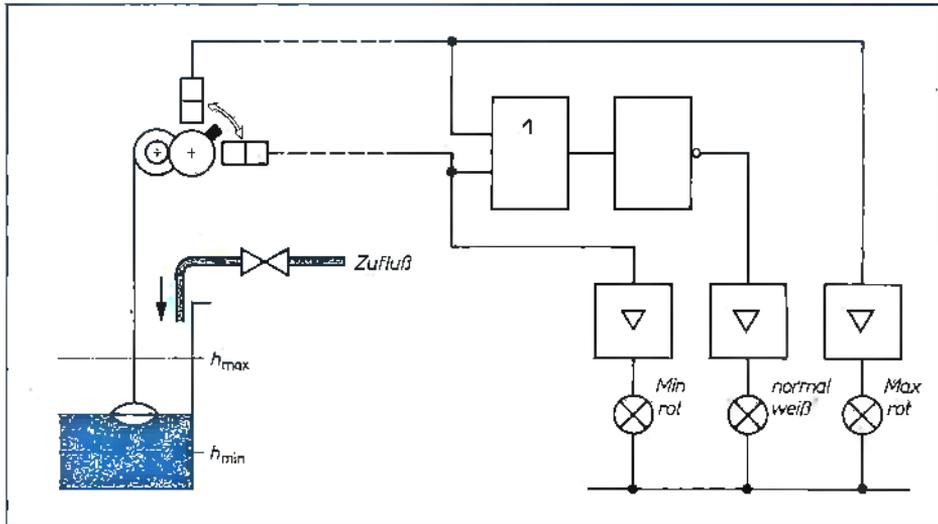


Bild 121/1 Schaltplan einer Füllstandsüberwachung

einer Nockenscheibe über ein Schwimmersystem angesteuert werden. Das Signal ‚normaler Füllstand‘ wird aus den beiden Extremwertsignalen gebildet: Wenn weder der untere noch der obere Initiator angesprochen hat, leuchtet die weiße Lampe auf. Die Ströme zur Speisung der Lampen werden über einstufige Verstärker gewonnen. Zur Verbindung zwischen dem Meßsystem und der Auswerteschaltung dient ein mehradriges Kabel, das die beiden Signale und die Speisung für die Initiatoren überträgt.

Die Bedeutung der Schwachstromtechnik (Informationselektrik) und Automatisierungstechnik für die Entwicklung der Volkswirtschaft

Der Ablauf der Produktion in unserer sozialistischen Industrie ist durch den verstärkten Einsatz mechanisierter und automatisierter Einrichtungen und Anlagen gekennzeichnet. Dabei kommt der Automatisierungstechnik die Aufgabe zu, den Bedienenden von körperlich schwerer und monotoner geistiger Arbeit mehr und mehr zu befreien. Die Steuer-, Regel- und Überwachungseinrichtungen sowie Rechenanlagen und Einrichtungen zur Nachrichtenübermittlung unterstützen ihn wirkungsvoll bei der Lenkung und Kontrolle der Produktionsprozesse.

Für die Leitung eines solchen Prozesses ist es notwendig, ständig den Zufluß von

Rohstoffen, Zulieferteilen und Energieträgern zu überwachen, den Produktionsvorgang selbst zu steuern und zu kontrollieren sowie das Endprodukt zu prüfen und zu sortieren. Auch ökonomische Informationen (Ausbeute, Selbstkosten, Materialverbrauchsnormen) werden berücksichtigt. Diese Zusammenhänge sind in Bild 122/1 schematisch dargestellt.

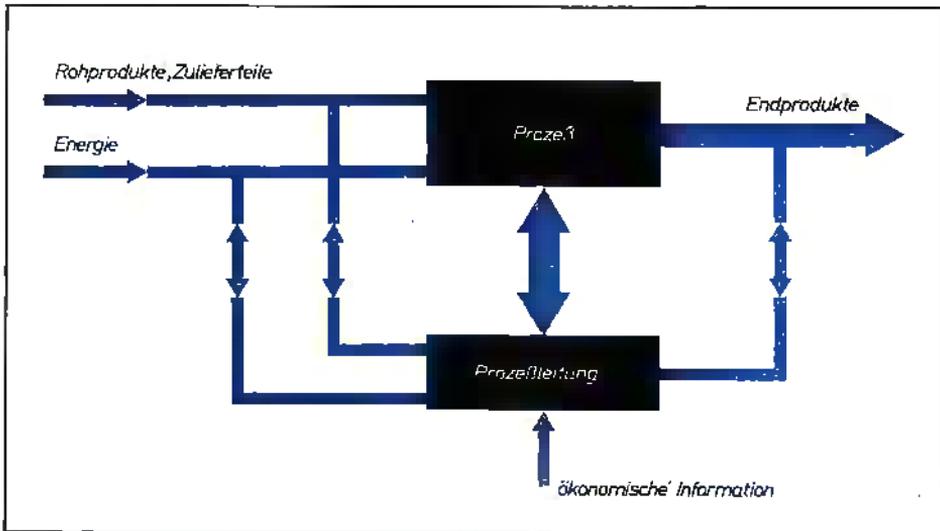


Bild 122/1 Schema der Leitung eines Produktionsprozesses

Bei der Verwirklichung dieser vielseitigen und interessanten Aufgaben haben elektrische und elektronische Bauelemente und Geräte eine zunehmende Bedeutung, insbesondere im Zusammenwirken mit Geräten, Maschinen und Anlagen der Leistungselektrik.

Elektronik – Grundlage moderner Technik

Eng verbunden mit dem weiteren Ausbau der materiell-technischen Basis auf dem Wege der umfassenden Intensivierung der Produktion ist die rasch voranschreitende Entwicklung auf dem Gebiet der Elektronik.

Das auch im internationalen Maßstab sich abzeichnende hohe Wachstum der Elektronik verlangt ein hohes Niveau der wissenschaftlich-technischen Arbeit in vielen Bereichen der Volkswirtschaft, z. B. im wissenschaftlichen Gerätebau, in der chemischen Industrie, Metallurgie, der Glas- und Keramikindustrie, im Maschinenbau und in den wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen. Besondere Bedeutung hat in diesem Zusammenhang die Arbeitsteilung und Kooperation mit der Sowjetunion und den anderen sozialistischen Ländern im Rahmen der sozialistischen ökonomischen Integration. Das betrifft insbesondere solche volkswirtschaftlich wichtigen Gebiete wie die elektronische Rechentechnik, elektronische Bauelemente, die Nachrichtentechnik, den wissenschaftlichen Gerätebau und die

Nennen Sie Beispiele aus dem Physikunterricht und aus der betrieblichen Praxis, wo mit geringer Steuerleistung eine große Ausgangsleistung gesteuert wird! Welche Vorteile weist ein mit Transistoren bestückter Verstärker gegenüber einem Röhrenverstärker gleicher Leistung auf?

Starkstromtechnik. Der weiteren Entwicklung neuartiger elektronischer Bauelemente dienen die schon langjährigen Beziehungen zu wissenschaftlichen Einrichtungen und Betrieben der Halbleitertechnik der UdSSR.

Elektronische Bauelemente unterscheiden sich von elektrischen Bauelementen dadurch, daß an wesentlicher Stelle die Stromleitung und Steuerung des Elektronen- oder Ionenstroms im *Vakuum*, in *Gasen* oder in *Halbleitern* erfolgt. Zu den elektronischen Bauelementen gehören daher alle Arten von Hochvakuumröhren, Gasentladungsröhren, Halbleiterdioden, Transistoren und Thyristoren, aber auch Fotowiderstände und Fotozellen.

Ein wesentliches Merkmal elektronischer Bauelemente ist die kontaktlose Beeinflussung oft großer Ausgangsleistungen durch kleine Steuerleistungen.

Mit elektronischen Verstärker-, Verknüpfungs-, Zähl- und Rechenschaltungen können hohe Frequenzen erfaßt und verarbeitet werden. Dabei wurden in den letzten Jahren röhrenbestückte Geräte zunehmend durch Transistorgeräte ersetzt. Im Vergleich zu Schaltungen mit Kontaktbauelementen ergeben sich wesentlich verbesserte Gebrauchseigenschaften. Bild 124/1 zeigt einige charakteristische Kennwerte von Relais und Transistoren in der Gegenüberstellung.

Schaltungsintegration

Mit der Integration, d. h. Zusammenfassung ganzer Halbleiterschaltungen, wie Verstärker-, Verknüpfungs-, Speicher-, Zähl- und Rechenschaltungen in einem einzigen Element, dem sogenannten *integrierten Schaltkreis* (engl. integrated circuit) wurden der Elektronik vollständig neue Möglichkeiten eröffnet. In einem Schaltkreis ist das einzelne Funktionselement (Transistor, Diode, Widerstand) unlösbarer Bestandteil der Schaltung, die in einem geschlossenen Produktionsprozeß hergestellt wird.

Schaltkreise vereinfachen den Schaltungsentwurf, reduzieren drastisch das Volumen von Baugruppen und Geräten und verbessern deren Zuverlässigkeit durch Wegfall zahlreicher Steck- und Lötverbindungen.

Nachdem es in der Anfangszeit gelungen war, 10 bis 15 Funktionselemente in einem Schaltkreis zu integrieren (z. B. 2 bis 4 Verknüpfungsschaltungen), ist der gegenwärtige technische Stand durch die Integration von einigen Hundert bis zu einigen Tausend Elementen in einem einzigen Schaltkreis gekennzeichnet. So enthält nur *ein* Schaltkreis das vollständige Rechenwerk eines Taschenrechners!

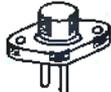
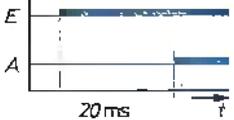
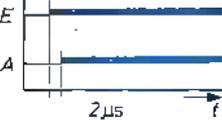
	 <i>Relais</i>	 <i>Transistor</i>
<i>Volumen</i>	 <i>Volumen</i> 25 cm ³	 <i>Volumen</i> 5 cm ³
<i>Masse</i>	 <i>Masse</i> 100 g	 <i>Masse</i> 18 g
<i>Schaltzeit</i>	 20 ms	 2 μs
<i>Schaltfrequenz</i>	 ≈ 20 Schaltg. je s	 10 Hz ... 109 kHz

Bild 124/1 Kennwertvergleich von Relais und Transistor

Die Beherrschung der Mikroelektronik, die sich international mit hohem Tempo entwickelt, geht in ihrer Bedeutung weit über den Bereich der Elektronik hinaus. Durch die zunehmenden Arbeitsgeschwindigkeiten der Maschinen, Geräte und Anlagen sind die steigenden Anforderungen an die Informationsübertragung und -verarbeitung nur noch mit elektronischen Mitteln zu lösen. Der Einsatz moderner mikroelektronischer Bauelemente (z. B. Mikroprozessoren) ermöglicht selbst neue wissenschaftlich-technische Lösungen in der Automatisierungstechnik und Informationsverarbeitung.

Systemtechnik

Elektronische Baugruppen und Geräte werden immer häufiger aus steckbaren Baugruppen aufgebaut, die typisiert und leicht auswechselbar sind. Eine solche Baugruppe umfaßt meist eine Leiterplatte, die mit Widerständen, Kondensatoren, Dioden, Transistoren und Schaltkreisen bestückt ist und eine in sich abgeschlossene Teilschaltung darstellt.

Ein abgestimmtes Sortiment solcher Baugruppen mit einheitlichen elektrischen und konstruktiven Parametern bildet dann ein *Baugruppensystem*. Die einheitlichen Parameter aller Baugruppen und Geräte für die Steuerung, Regelung und Überwachung von Produktionsprozessen sind in der DDR durch Standards im

- Nennen Sie Maschinen und Anlagen in Industriebetrieben, die durch Taster ein-, aus- und umgeschaltet werden!
- Erläutern Sie anhand des Schaltfolgediagramms in Bild 107/1 die einzelnen Arbeitstakte der Drehmaschine, die nach diesem Programm automatisch gesteuert wird!
- Ein Verstärker wird mit einem Eingangsstrom von 2 mA bei 12 V angesteuert. An seinem Ausgang wird ein Strom von 1,5 A bei 60 V zur Betätigung eines Schaltschützes abgegriffen.
Welche Leistungsverstärkung hat der Verstärker?
- Stellen Sie das Schaltfolgediagramm für zwei Verkehrsampeln einer Straßenkreuzung auf, die den Fahrzeugverkehr für zwei Richtungen steuern!

System *ursamat* verankert, das auch Festlegungen für nichtelektrische Geräte enthält. Die elektrischen und elektronischen Baugruppen zur Informationsverarbeitung sind in den folgenden Zweigen des Systems *ursamat* vereinheitlicht:

<i>ursalog</i>	Digitale Baugruppen
<i>ursadat</i>	Einrichtungen zur Meßwerterfassung und -verarbeitung
<i>ursatrans</i>	Fernwirkeinrichtungen

Alle Konstruktionsteile sind im Einheitlichen *Gefäßsystem* (EGS) der Elektrotechnik und Elektronik standardisiert, das ein für alle Einsatzfälle ausreichendes Sortiment von aufeinander abgestimmten Gehäusen, Schränken, Pulten und Gestellen umfaßt und von spezialisierten Betrieben zentral für alle Bedarfsträger produziert wird. Es erspart dem Anwender aufwendige eigene Konstruktionen.



Bild 125/1 EGS-Gruppe

Bild 125/1 zeigt eine mit Bauelementen und Schaltkreisen bestückte EGS-Baugruppe, die einen Teil einer Maschinensteuerung mit Verknüpfungs- und Speicherschaltungen enthält.

Diese Systemtechnik ermöglicht es Herstellern und Anwendern, mit einem begrenzten Sortiment standardisierter Baugruppen und Einrichtungen für eine Vielzahl von Einsatzgebieten spezielle Anlagen zu projektieren und aufzubauen. Betrachtet man die Vorteile moderner elektronischer Bauelemente und Schaltkreise im industriellen Einsatz, so kann die Schlußfolgerung gezogen werden, daß das Tempo bei der weiteren Entwicklung unserer elektronischen Industrie unmittelbar den Grad der Mechanisierung und Automatisierung in der Fertigung, Prüfung und Produktionslenkung und damit die Produktivität unserer Volkswirtschaft bestimmt.

Register

Anlassen 94
Anlaßhilfen 96
Anlaßtransformatoren 96
Anlaßwiderstände 96
Anlaufdrehmoment 92
Anlaufstrom 92
Anlaufstromstärke 91
Anschlußklemmen 87
Anzeigewert 35
Arbeitsstromkreis 103
Asynchronmotor 91
Ausgangssignale 117
Ausschaltung 56
Ausschaltverzögerung 106

Beanspruchung, elektrische 49
mechanische 49
chemische 49
thermische 49

Belastung 92
Belastungsgebiete 42
Belüftung 88
Betriebsmeßinstrumente 26
Betriebsmittel in Dreieckschaltung 80
Betriebsmittel in Sternschaltung 79, 80
Betriebsverhalten 92

Direkter Anlauf 94
Drehisenmeßwerk 26, 27
Drehfeld 82, 89
Drehfelddrehzahl 90, 91
Drehmoment 89
Drehrichtung 85, 94
Drehrichtungsumkehrschalter 86
Drehspulmeßwerk 26, 27
Drehstrom 70, 71, 72, 73, 74
Drehstromerzeugung 74
Drehstromgenerator 74, 86
Drehstrom-Kurzschlußläufermotor 86
Drehstromsysteme 75
Drehwähler 101, 105
Drehzahlkennlinie 93
Dreieckschaltung 78
Dreileitersystem 78
Durchgangsprüfungen 20, 21, 22

Eingangssignale 117
Einheitsmotoren 97
Einschaltverzögerung 106
Elektrische Beleuchtung 66

Elektrische Leitungen 46
Elektroenergie, Bedeutung 9
Elektromagnetische Induktion 71
Elektrowärmegerät 59
Endlagenschalter 101
Energieaustausch 45
Energiebedarf 6, 7
Energiebedarfsspitzen 42
Energieträger 9
Erregerspannung 102
Erregerstrom 103, 104
Erste Hilfe 16, 17

Feinmeßinstrumente 26
Fernsprechschtaltung 113
Freileitungen 46

Genauigkeitsklasse 26
Generator 40
Generatorprinzip 71
Glimmlampe 20
Glühlampe 66
Grenzwertschalter 101, 107
Grenzwertschalter für Füllstände 110
Grenzwertschalter für Wege und Winkel 108
Grundlastkraftwerk 42
Gummiaderleitung 50

Hochspannungsfernleitungen 46
Hörmelder 110, 112

Induktionserwärmung 64
Induktionsmotoren 87
Induktionsspule 72
Induktionsstrom 71, 89
Informationselektrik 11
Initiatoren 108
Innenpolmaschine 74
Innenwiderstand 28, 29
Installationsfernswitcher 53
Isolation 46
Isolierstoff 46

Kabel 46
Kernkraftwerk 40
Kippmoment 93
Klappanker 102
Klemmbrett 87, 94
Konstruktive Merkmale 97
Kontaktwerkstoffe 56
Körperschluß 20
Kragensteckvorrichtung 54
Kupplungssteckvorrichtung 54
Kurzschluß 20

- Kurzschlußläufer 88
- Kurzzeitrelais 106
- Lagerung 89
- Langzeitrelais 106
- Läufer 88
- Läuferdrehzahl 91
- Läuferstrom 91
- Leerlauf 92
- Leerlaufdrehmoment 92
- Leerlaufstrom 92
- Leichte Gummischlauchleitung 51
- Leichte Plastschlauchleitung 51
- Leistungsbestimmung 33
- Leistungselektrik 11
- Leistungsfaktor 93
- Leistungsverstärkung 103
- Leiterstäbe 89
- Leiterwerkstoff 46, 47
- Leitungsarten 48, 49, 50
- Leitungsschutzschalter 55
- Leitungsschutzsicherung 55
- Lenzsches Gesetz 90
- Lichtbogenerwärmung 89
- Lichtbogenschweißanlage 62
- Lichtenergie 58
- Lichtfarben der Niederspannungs-Leuchtstofflampe 68
- Linkslauf 85
- Mehrbereichsinstrumente 33, 34
- Mehrbereichs-Spannungsmesser 33, 34, 67
- Mehrbereichs-Strommesser 33, 34
- Meldegeräte 110
- Meßbereich 34, 35
- Meßbereichserweiterung 28
- Messen, elektrisches 19
- Meßfehler 36
 - systematische 36
 - zufällige 36
- Meßgeräte 25
 - Einteilung 25
 - Kennzeichnung 26
- Meßwandler 30
- Meßwert 34, 35
- Nebenwiderstand 28
- Nenn Drehmoment 93
- Nenn Drehzahl 91
- Nennleistung 93
- Niederspannungs-Leuchtstofflampe 67
- Nullung 16, 78
- NGA 50
- NLH 51
- NSH 51
- NYA 50
- NYLHY 51
- ODER-Schaltung 115
- Offenes System 75
- Öffner 53, 101
- Phasenverschiebung 74, 83
- Plasmaschmelzofen 62
- Plastaderleitung 50
- Plastmantelleitung 50
- Polpaar 87, 90
- Polsucher 20
- Programm 106
- Programmgeber 101, 106
- Prüfen, elektrisches 19, 30
- Pumpspeicherwerk 40
- Rechtslauf 85
- Relais 101, 102
- Relais, gepolt 104
 - neutral 104
- Reservekapazität 45
- Rufstromkreis 113
- Schalter 52
- Schalter, elektromagnetisch 103
- Schaltfolgediagramm 107
- Schaltfrequenz 103
- Schaltgeräte 52
- Schaltgeräteeinteilung 101
- Schaltleistung 103
- Schaltplan 101
- Schalterschütze 52, 53
- Schaltzeichen, standardisiert 101
- Schließer 53, 101
- Schlitzinitiator 109
- Schlupf 91
- Schlupfdrehzahl 91
- Schrittschaltwerk 101, 105
- Schutzgas-Relais 104
- Schutzisolierung 15
- Schutzkleinspannung 15
- Schutzmaßnahmen 15, 16
- Schützenschaltung 95
- Schwachstromtechnik 11
- Selbthalteschaltung 114
- Serienschaltung 56
- Sicherung 52, 54
- Sichtmelder 110
- Signalumkehr 117
- Skalenendwert 35

Spannungsebenen 44
 Spannungsmesser 28
 Spannungsprüfungen 20
 Sperr-UND-Schaltung 117
 Spitzenlastkraftwerk 40
 Sprechstromkreis 113
 Ständer 87, 90
 Starke Gummischlauchleitung 51
 Starkstromtechnik 11
 Steckverbindung 52, 54
 Stellschalter 52
 Stern-Dreieck-Schalter 96
 Steuerstromkreis 102, 103
 Strommesser 27
 Stromrichtung 83, 84
 Stromstoßrelais 57

 Tagesbelastungskurve 41
 Tastschalter 52, 53
 Temperaturstrahlung 60
 Temperaturwächter 110
 Tensionsfühler 109
 Typenschild 94

 Überlaufspeicher 61
 Umkehrschaltung 117
 UND-Schaltung 116
 Unfallgefahren 12, 13

 Verbundnetz 44
 Verkettung 76
 Verknüpfungsschaltung 114
 Vielfachmesser 34
 Vierleitersystem 76
 Vorschaltwiderstand 29

 Wandsteckvorrichtung 54
 Wärmeenergie 58, 59
 Wärmekraftwerk 39
 Wärmespeicheröfen 61
 Wasserkraftwerk 40
 Wechselschaltung 57
 Wechselspannung 72
 Wechsler 101, 102
 Widerstandsbestimmung 30, 31, 32, 33
 Widerstandserwärmung 60
 Widerstandsöfen 60
 Widerstandswerkstoff 47
 Wirbelstromverluste 87

 Zeitrelais 101, 105
 Zeitrelaisschaltung 57
 Ziffernanzeige 112

Quellennachweis der Bilder

Bildarchiv VVV: 11/2, 39/2, 61/2, 62/1, 105/1, 109/2; Bildarchiv Verlag Technik, Berlin: 88/4, 89/1; Brüggemann, Leipzig: 11/1, 60/1; DEFA-Studio für Spielfilme: 18, 39/3, 63/2, 70/2, 70/3; Dr. Manthei, Berlin: 88/1, 88/2; Fey, Berlin: 52/1; Gottschalk, Berlin: 53/1, 104/1, 104/3, 112/1, 125/1; Kombinat EAW-Treptow, Berlin: 53/2, 53/3; Risch, Wernigerode: 88/3; Seifert, Berlin: 20/1, 24/1, 32/1, 92/1; VEB Gerätewerk Beiersfeld: 109/1; VEB Relais-technik Großbreitenbach: 107/2; Zentralbild Berlin: 5, 38, 98.

Abmessungen ausgewählter Schaltzeichen

