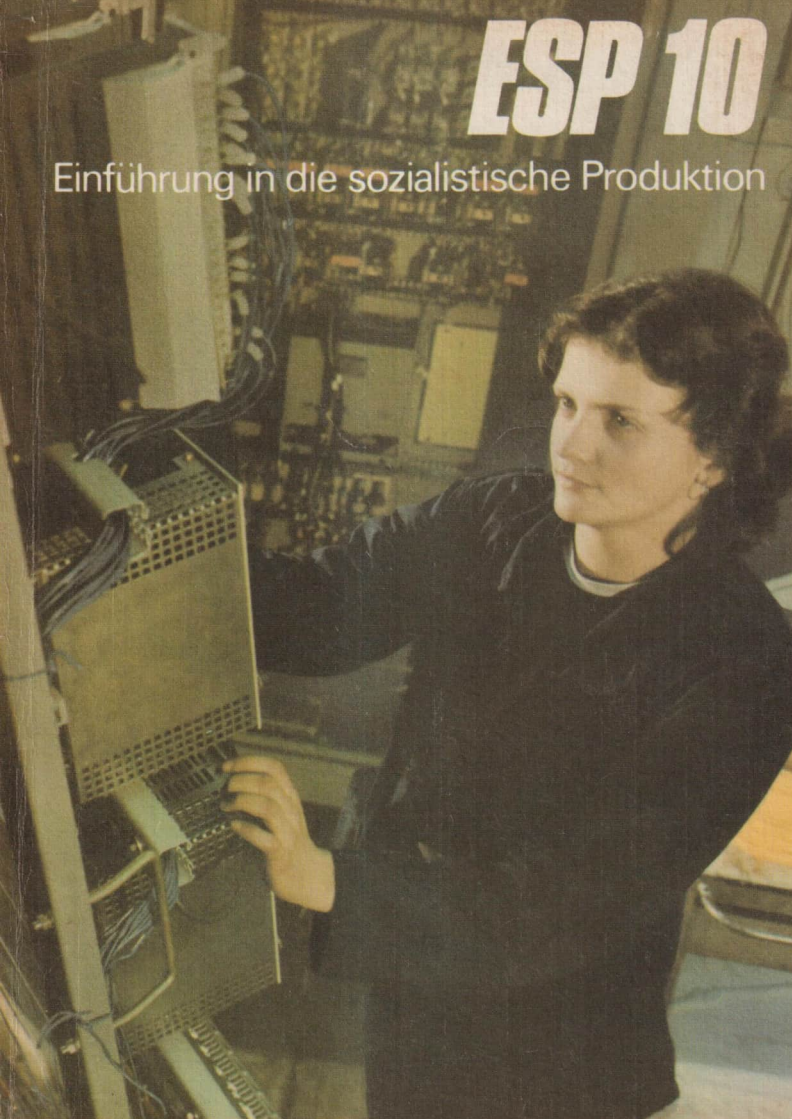
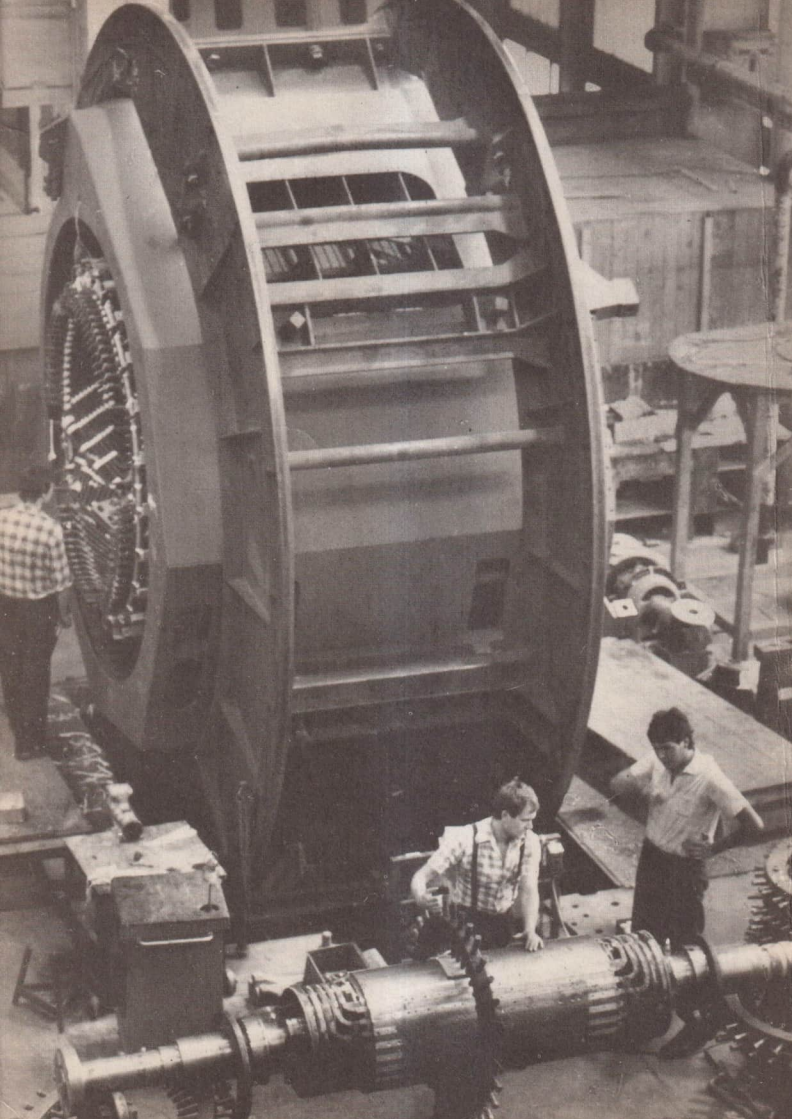


ESP 10

Einführung in die sozialistische Produktion





Einführung in die sozialistische Produktion

Lehrbuch für Klasse 10



Volk und Wissen

Volkseigener Verlag Berlin

1988

Autoren*Elektrotechnik*

Werner Döhl, Dr. Werner Heinzel, Prof. Dr. sc. Conrad Sachs
(Leiter des Autorenkollektivs), Hartmut Schumann

Automatisierung der Produktion

Eckhard Basler, Bernd Bergner, Dr. Wolfgang Hesselbarth,
Dr. Günter Schnapp (Leiter des Autorenkollektivs)

Redaktion

Inge Enger, Renate Pöpsel, Eberhard Zeuschner

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

ISBN 3-06-061006-1

© Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1985

4. Auflage

Ausgabe 1985

Lizenz-Nr. 203/1000/88 (UN 06 10 06-4)

LSV 0681

Typografische Gestaltung: Atelier vvv

Illustrationen und Zeichnungen: Gerhard Anton,
Waltraud Schmidt

Umschlag: Manfred Behrendt

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtproduktion: Druckerei Neues Deutschland, Berlin

Schrift: 9/10 Univers (Digiset)

Redaktionsschluß: 24. August 1987

Bestell-Nr.: 731 241 5

Schulpreis DDR: 1,60

Elektrotechnik

Einsatz der Mikroelektronik in Produktion und Technik

1 Einsatz niedrigintegrierter Schaltkreise in Produktion und Technik	6
2 Einsatz höherintegrierter Schaltkreise in Produktion und Technik	10
3 Entwicklung und Einsatz hochintegrierter Schaltkreise für Produktion und Technik	14

Anwendungsgebiete der Leistungselektrik

4 Aufgaben der Leistungselektrik	20
5 Energiefluß vom Kraftwerk zum Energienutzer	20
6 Bedeutung der Leistungselektrik	22
7 Gewinnung der Elektroenergie in Kraftwerken	23
8 Erzeugung der Dreiphasenwechselspannung (Drehstrom)	26
9 Fernübertragung der Elektroenergie	32
10 Schaltung elektrotechnischer Betriebsmittel im Drehstromvierleitersystem	37

Elektrotechnische Wärme- und Beleuchtungsanlagen

11 Nutzung der Elektroenergie durch Umwandlung in Wärme und Licht	41
12 Elektrotechnische Beleuchtungsanlagen	46

Drehstromasynchronmotor als Beispiel für elektromotorische Antriebe

13 Wirkungsweise des Drehstromasynchronmotors	53
14 Konstruktive Gestaltung des Drehstromasynchronmotors mit Kurzschluß- läufer	56
15 Schaltung des Drehstromasynchronmotors	58
16 Vorteile und Grenzen des Drehstromasynchronmotors mit Kurzschlußläu- fer	62
17 Einsatz weiterer Elektromotoren in der Produktion	63

Automatisierung der Produktion

Automatische Steuerungen von Anlagen und Prozessen

18	Offene automatische Steuerung	68
19	Messen als Voraussetzung zur automatischen Steuerung	70
20	Aufbau und Wirkungsweise der offenen Steuerung	77
21	Anwendungsgebiete der offenen Steuerung	82
22	Regelung als eine Form der geschlossenen automatischen Steuerung	87

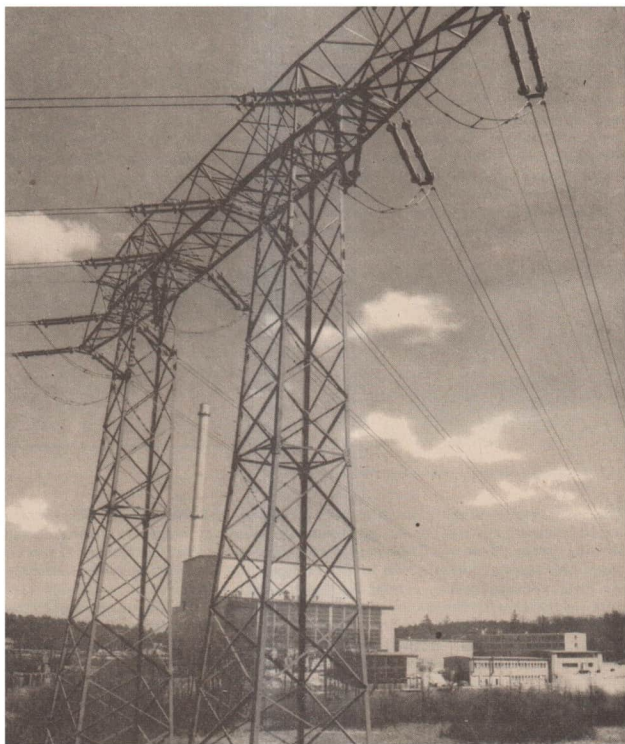
Numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen

23	Arbeitsweise einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine	103
24	Gegenüberstellung der Tätigkeiten des Facharbeiters beim Bedienen traditioneller und numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen	109
25	Arbeitsweise einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine	111
26	Aufbau und Wirkungsweise der wesentlichen Baugruppen der NC-Maschine	113
27	Vorbereitung zum Einsatz numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen	120
28	Erhöhung der Effektivität der Produktion durch komplexe Automatisierung	134

Register	141
---------------------------	-----

Im Lehrbuch verwendete Symbole ↗ S. 140

Elektrotechnik



Einsatz der Mikroelektronik in Produktion und Technik

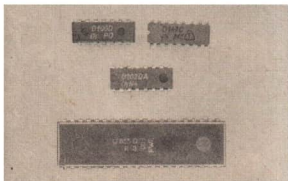
Einsatz niedrigintegrierter Schaltkreise in Produktion und Technik

1

Anfang der 60er Jahre hat sich in der Elektronik ein neues Gebiet entwickelt – die Mikroelektronik.

Unter Mikroelektronik wird die Anwendung integrierter Schaltkreise verstanden. In integrierten Schaltkreisen sind elektronische Schaltfunktionen in kleinsten Schaltungen zusammengefaßt. Das Eindringen der Mikroelektronik in nahezu alle Gebiete der Technik und Produktion bringt grundlegende Veränderungen der Geräte, Maschinen und Anlagen. Sie hat bereits in allen Zweigen der Volkswirtschaft ihren Einzug gehalten und ist unentbehrlich für die weitere Steigerung der Arbeitsproduktivität. Der komplexe Einsatz der integrierten Schaltkreise macht die Automatisierung ganzer Produktionsabschnitte möglich. Es entfallen gesundheitsgefährdende und eintönige Arbeiten. Die Arbeitsbedingungen verbessern sich erheblich. Um die Mikroelektronik meistern zu können, werden befähigte Wissenschaftler, Techniker und Facharbeiter benötigt. Die ersten Schaltkreise in den 60er Jahren vereinigten 20 bis 50 Transistor- und Diodenfunktionen auf einem Siliziumplättchen von 5 mm². In den 70er Jahren konnten bereits mehrere hundert Schaltfunktionen auf einem Chip vereinigt werden. Schaltkreise zum Steuern ganzer Maschinensysteme enthalten 10 000 bis 100 000 Transistor- und Diodenfunktionen auf einem Chip mit einer Fläche von nur 20 bis 40 mm² und einer Dicke von 0,3 mm.

Entsprechend der Anzahl der Transistor- und Diodenfunktionen je Chip werden die integrierten Schaltkreise in Integrationsgrade eingeteilt.



Integrationsgrad	Anzahl der Bauelemente je Chip
Niedrigintegrierte Schaltkreise	10 ... 50
Höherintegrierte Schaltkreise	50 ... 10 ²
Hochintegrierte Schaltkreise	10 ² ... 10 ⁵

6/1 Schaltkreise verschiedener Integrationsstufen

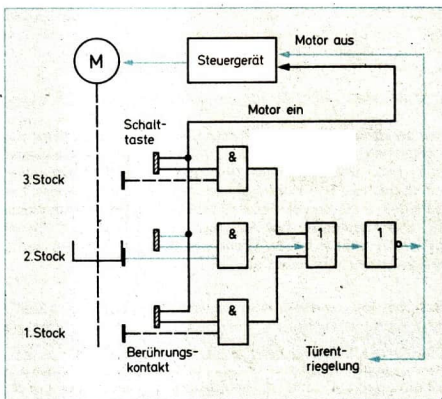
Niedrigintegrierte Schaltkreise sind sehr universell einsetzbar. Diese Schaltkreise werden sehr oft für die Lösung einfacher Steuerungsaufgaben in elektronischen Schaltungen an Stelle von Relais und Transistoren eingesetzt. Sie werden in Signalverknüpfungsschaltungen sowie in Schaltungen zur Kontrolle und Überwachung von Produktionsprozessen verwendet. Zuvor ließen sich diese Schaltungen auch ohne mikroelektronische Bauelemente realisieren, doch die Mikroelektronik bietet besonders einfache, betriebssichere und zuverlässige Lösungen an.

Für die Steuerung des elektrischen Aufzuges (→ Bild 7/2) werden drei niedrigintegrierte Schaltkreise (z. B. D 100) eingesetzt. So können z. B. zwei UND-Verknüpfungen mit einem D 100, eine UND-Verknüpfung und die Negation mit dem zweiten D 100 und die ODER-Verknüpfung mit dem dritten D 100 realisiert werden. Würde diese Schaltung mit Relais aufgebaut, so würde sie ein Vielfaches an Platz und Energie benötigen bei geringerer Betriebssicherheit.



7/1 Modernes Werkzeugmaschinen-system zum Herstellen von Buchsen und Scheiben. Besteht aus zwei numerisch gesteuerten Drehmaschinen mit Roboter und CNC-Stangendrehmaschine mit Werkstück-speicher.

7/2 Schaltplan für die Steuerung eines Aufzuges mit niedrigintegrierten Schaltkreisen



Bei modernen Werkzeugmaschinen (→ Bild 7/1) müssen zahlreiche Motoren nach oft komplizierten, aufeinander abgestimmten Programmen zusammenarbeiten. Diese Motoren sollen z. B.

- nach vorgegebener Laufzeit oder bei Erreichen einer Position abschalten,
- ihre Drehrichtung umkehren,
- die Drehzahl in weiten Bereichen ändern können,
- unabhängig von Belastungsschwankungen eine konstante Drehzahl einhalten.

Diese Aufgaben lassen sich mit den klassischen Relais-schaltungen nicht mehr befriedigend lösen.

Automatische Steuerung eines Montagebandes. Um Montageprozesse in der Produktion effektiv gestalten zu können, werden diese häufig an Montagefließbändern ausgeführt. Nach Beenden eines Arbeitsganges wird das Band eingeschaltet, das nächste Werkstück (Gerät, Maschine) wird durch das Fließband zum Montageplatz transportiert. Danach wird das Band abgeschaltet und der nächste Arbeitsgang kann erfolgen.

Um eine genaue Positionierung des Werkstückes (Gerät, Maschine) am Arbeitsplatz zu erreichen, wird das Montageband meist automatisch abgeschaltet.

Die Steuerung für ein Montageband läßt sich mit niedrigintegrierten Schaltkreisen sehr einfach und funktionssicher aufbauen.



8/1 Montagearbeitsplätze am Endmontageband des Waschautomaten A 55

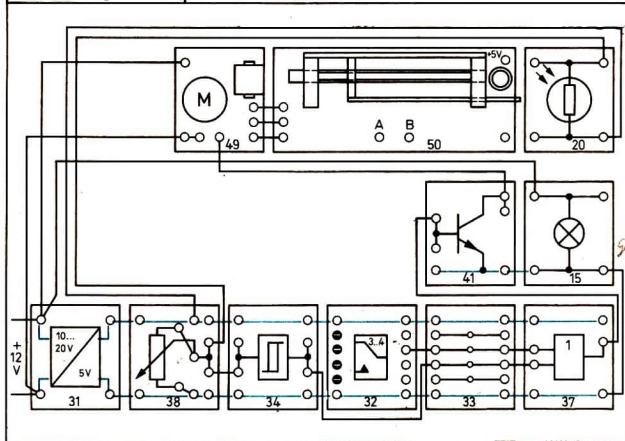
Entwickeln der Schaltung zur Steuerung eines Montagebandes

Technische Aufgabenstellung. In einem Betrieb werden Verbrennungsmotoren hergestellt. Die Montage dieser Motoren erfolgt an einem Montageband. Das Band wird nach Beendigung des Montagearbeitsganges von Hand eingeschaltet und, wenn das nächste Werkstück den Arbeitsplatz erreicht hat, von Hand wieder abgeschaltet. Im Rahmen der Rationalisierung in diesem Betrieb besteht die Aufgabe, für das Abschalten des Montagebandes eine automatische Steuerung mit Lichtschranke zu entwickeln. Wenn das Werkstück in die Lichtschranke einläuft, erfolgt die automatische Abschaltung.

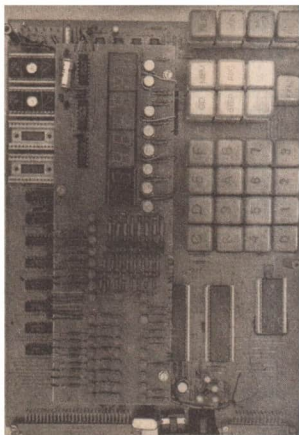
Schrittfolge für das Lösen der technischen Aufgabenstellung

Teilschritte	Lösung			
1. Feststellen, welche Eingangssignale zu verknüpfen sind	Taster (Sensor) betätigt → liefert H-Signal Lichtschranke hell → liefert H-Signal			
2. Aufstellen der Wahrheitstabelle	Vorgänge am Band	Sensor (x_1)	Lichtschranke (x_2)	Band (y)
	es wird montiert	nicht betätigt	dunkel	steht
	Montagearbeit beendet	betätigt	dunkel	läuft

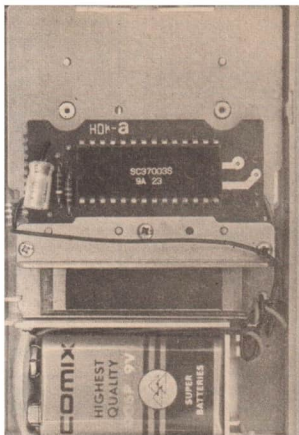
	Vorbereiten des nächsten Montage- arbeitsganges	nicht betätigt	hell	läuft															
	das nächste Werkstück hat den Montage- platz erreicht	nicht betätigt	dunkel	steht															
3. Aufstellen der Schaltbelegungstabelle	Schaltbelegungstabelle																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>x₁</th> <th>x₂</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L</td> <td>L</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>L</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>H</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>L</td> <td>L</td> </tr> </tbody> </table>				x ₁	x ₂	Y	L	L	L	H	L	H	L	H	H	L	L	L
x ₁	x ₂	Y																	
L	L	L																	
H	L	H																	
L	H	H																	
L	L	L																	
4. Bestimmen der logischen Grund- funktion	ODER-Funktion, da Band nur läuft, wenn mindestens ein Eingang mit H belegt ist.																		
5. Entwickeln der Schaltung	9/1 Schaltplan der Montagebandsteuerung																		



▼ Bauen Sie die Schaltung nach dem Schaltplan (↗ Bild 9/1) auf und überprüfen Sie die Funktionsweise!



10/1 Polycomputer mit Schaltkreisen



10/2 Taschenrechner mit Schaltkreis

Einsatzgrenzen niedrigintegrierter Schaltkreise. Integrierte Schaltkreise mit einem niedrigen Integrationsgrad werden nur für einfache Steuerungsaufgaben bzw. in Kombination mit höherintegrierten Schaltkreisen verwendet. Moderne technische Geräte, wie z. B. Taschenrechner, Digitaluhren und Industrieroboter, können mit ihnen nicht aufgebaut werden.

Sollen mit niedrigintegrierten Schaltkreisen kompliziertere Steuerungsaufgaben gelöst werden, so muß eine Vielzahl dieser Schaltkreise verwendet werden. Das ist jedoch nur bis zu einer gewissen Grenze möglich, da sonst die Zuverlässigkeit der Steuerung stark beeinträchtigt wird. Der Platzbedarf ist zu groß, und der Energiebedarf wird so hoch, daß die Stromversorgung für diese Geräte das Vielfache an Masse und Volumen der eigentlichen Schaltung beträgt.

Um kompliziertere Steuerungsaufgaben lösen zu können, müssen Schaltkreise entwickelt und eingesetzt werden, die ein Vielfaches der Leistungsfähigkeit niedrigintegrierter Schaltkreise besitzen.

Einsatz höherintegrierter Schaltkreise in Produktion und Technik

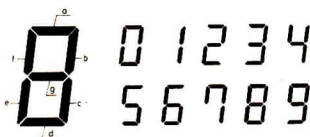
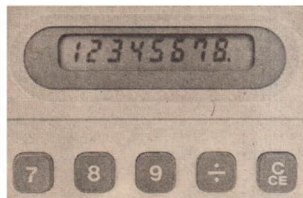
Integrierte Schaltkreise mit höherem Integrationsgrad werden heute in allen Bereichen der Produktion und in zunehmendem Maße auch in Konsumgütern mit hohen Gebrauchswerteigenschaften eingesetzt. (↗ Bilder 10/1 und 10/2).

Bei Taschenrechnern, Digitaluhren und vielen anderen elektronischen Geräten werden die Zahlen durch 7-Segment-Anzeigen dargestellt. Durch Ansteuern der einzelnen Segmente a bis g (↗ Bild 11/2) können alle Zahlen von 0 bis 9 dargestellt werden (↗ Bild 11/1).

2

Einsatz in der Produktion	Einsatz in Konsumgütern
Mikrorechner zur Steuerung von Maschinen und Robotern Bildschirmüberwachungsanlagen Sprechfunkgeräte	Uhren Taschenrechner Kleincomputer Rundfunk- und Fernsehgeräte

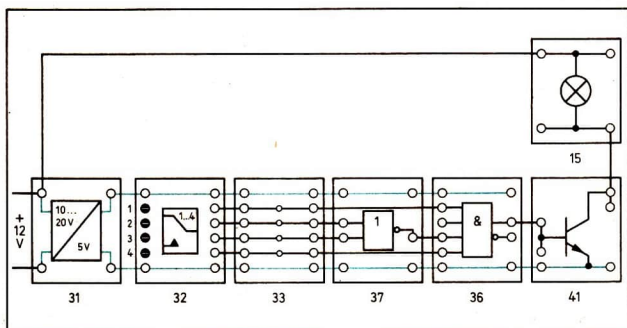
Die 7-Segment-Anzeigen können sowohl mit niedrigintegrierten als auch mit höher-integrierten Schaltkreisen angesteuert werden. Grundlage dafür ist die binäre Verschlüsselung der Zahlen im BCD-Kode.



11/1 7-Segmentanzeige am Taschenrechner

11/2 Ziffern 0–9 als 7-Segmentanzeige

Bild 11/3 zeigt den Schaltplan der Ansteuerschaltung für die Zahl 9. Die Glühlampe leuchtet nur, wenn am Baustein „Binäreingabe“ die Signalkombination H L L H eingeben wird, die dual verschlüsselt der Zahl 9 entspricht (↗ Bild 12/1).



11/3 Schaltplan für die Ansteuerung der Zahl 9

- ① Lesen Sie den Schaltplan der Aufzugsteuerung in Bild 7/2 und erläutern Sie die Funktionsweise!

x_4 2^3	x_3 2^2	x_2 2^1	x_1 2^0	Zahl
L	L	L	L	0
L	L	L	H	1
L	L	H	L	2
L	L	H	H	3
L	H	L	L	4
L	H	L	H	5
L	H	H	L	6
L	H	H	H	7
H	L	L	L	8
H	L	L	H	9

Mit einem NOR- und einem UND-Baustein können alle Schaltungen für das Ansteuern der Zahlen von 0 bis 9 aufgebaut werden. Es sind insgesamt zehn verschiedene Schaltungen nötig. Es ist die Bedingung zu erfüllen, daß nur dann am Ausgang ein H-Signal anliegt (Zahl leuchtet auf), wenn die entsprechende H-L-Signalkombination eingegeben wird.

12/1 Tabelle mit im BCD-Kode verschlüsselten Zahlen

Funktionsweise der Ansteuerschaltungen

1. Voraussetzung

Zum Verständnis dieser Schaltungen sind die Kenntnisse über die logischen Grundschaltungen NOR und UND erforderlich.

x_1	x_2	Y
L	L	H
H	L	L
L	H	L
H	H	L

x_1	x_2	Y
L	L	L
H	L	L
L	H	L
H	H	H

12/2 Schaltbelegungstabelle NOR

12/3 Schaltbelegungstabelle UND

2. Funktion

Die Glühlampe im Schaltplan Bild 11/3 leuchtet nur dann auf, wenn am Ausgang des UND-Bausteins ein H-Signal anliegt, daß heißt, wenn der Transistor durchgesteuert wird. Am Ausgang des UND-Bausteins liegt aber nur dann ein H-Signal an, wenn alle Eingänge mit H belegt sind. Diese Bedingung muß erfüllt werden.

3. Bedingungen

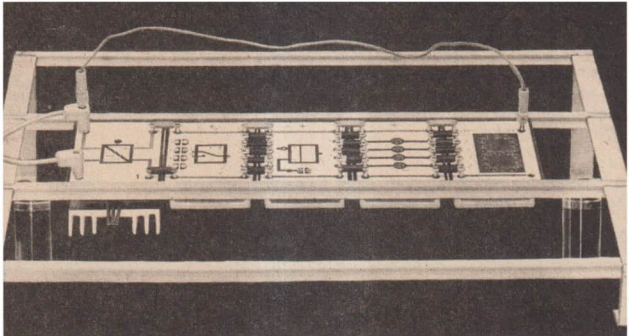
- Bei Ansteuerschaltung der Zahl 9 sind die Eingänge x_1 und x_4 mit dem Signal H belegt und können somit direkt auf den UND-Baustein gelegt werden. Die zwei Eingänge des UND-Bausteins sind mit einem H-Signal belegt.
- x_2 und x_3 , die mit L belegt sind, können nicht direkt auf den UND-Baustein gelegt werden. Werden diese mit einem L-Signal belegten Eingänge auf einen NOR-Baustein gelegt, liefert dieser am Ausgang ein H-Signal (↗ Bild 12/2). Damit ist der dritte Eingang des UND-Bausteins ebenfalls mit einem H-Signal belegt.

- Der vierte Eingang des UND-Bausteins bleibt offen. Da bei TTL-Schaltkreisen ein offener Eingang wie mit H belegt wirkt, ist somit der vierte Eingang auch mit H belegt, und die Bedingung, daß alle vier Eingänge bei UND-Baustein mit H belegt sein müssen, ist erfüllt.

Nach dem gleichen Prinzip lassen sich Steuerungen für Werkzeugmaschinen (z. B. NC-Maschinen) entwickeln. Jede H-L-Kombination löst bei diesen Maschinen einen Steuerbefehl aus (z. B. Abschalten des Vorschubes, Ändern der Drehzahl, Wechseln der Werkzeuge usw.).

4. Schrittfolge zum Entwickeln einer Ansteuerschaltung für eine in BCD-Kode verschlüsselte Zahl

Schritte	Beispiel												
1. Verschlüsseln der Zahl im BCD-Kode (→ Bild 12/1)	<p>Zahl 3:</p> <table border="1"> <tr> <td>2^3</td> <td>2^2</td> <td>2^1</td> <td>2^0</td> </tr> <tr> <td>x_4</td> <td>x_3</td> <td>x_2</td> <td>x_1</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>L</td> <td>H</td> <td>H</td> </tr> </table>	2^3	2^2	2^1	2^0	x_4	x_3	x_2	x_1	L	L	H	H
2^3	2^2	2^1	2^0										
x_4	x_3	x_2	x_1										
L	L	H	H										
2. Die mit H belegten Eingangsgrößen an den UND-Baustein legen													
3. Die mit L belegten Eingangsgrößen an den NOR-Baustein legen													
4. Den Ausgang des NOR-Bausteines mit dem UND-Baustein verbinden													
5. Überbrücken der offenen Eingänge (nur unbedingt beim NOR-Baustein erforderlich)													



14/1 Versuchsaufbau des BCD-Dekoders mit Bausteinen des SEG

Das Beispiel zeigt, daß mit niedrigintegrierten Schaltkreisen (UND- und NOR-Verknüpfung) jede Ansteuerschaltung für die Zahlen 0 bis 9 aufgebaut werden kann. Mit dieser Schaltung ist es aber nur möglich, eine Glühlampe oder andere Melder anzusteuern, die eine bestimmte Zahl symbolisieren sollen. Für die Zahlen 0 bis 9 wären 10 verschiedene Schaltungen erforderlich. Um nun aber immer nur die Balken der 7-Segment-Anzeige anzusteuern (→ Bild 11/2), die die jeweilige Ziffer darstellen, sind weitere Schaltkreise nötig. Da es aber möglich wurde, einige hundert, ja einige tausend Transistorfunktionen auf einem kleinen Siliziumplättchen unterzubringen, wurde hierfür ein spezieller Schaltkreis entwickelt. Er besitzt 4 Eingänge für die nötigen 4 Dualstellen und 7 Ausgänge für die 7 Segmente der Anzeige. Damit ist ein einziger Schaltkreis in der Lage, im BCD-Kode verschlüsselt eingegebene Zahlen zu dekodieren und über eine 7-Segment-Anzeige darzustellen. Dieser Schaltkreis ist nicht größer als der bisher bekannte Schaltkreis (z. B. D 100) (→ Bild 6/1). In ihm ist jedoch ein Vielfaches der Bauelemente des Schaltkreises D 100 integriert. Dementsprechend stellt er auch höhere Anforderungen an die Fertigungstechnologie. Diese Schaltkreise sind nur noch automatisch zu fertigen.

Entwicklung und Einsatz hochintegrierter Schaltkreise für Produktion und Technik

Entwicklung der Mikroelektronik in der DDR. Die Entwicklung der Mikroelektronik in der DDR hat sich seit Beginn der 70er Jahre stürmisch vollzogen. Wurden anfangs nur wenige Typen integrierter Schaltkreise hergestellt, so wird heute eine große Palette für den Einsatz in hochwertigen Konsumgütern und für die Steuerung von Maschinen, Anlagen und Geräten produziert.

Vorteile des Einsatzes der Mikroelektronik in der Produktion und Technik. Die Entwicklung und der Einsatz hochintegrierter Schaltkreise bringt sowohl beim Bauelementenhersteller als auch beim Anwender hohen volkswirtschaftlichen Nutzen. ① ②

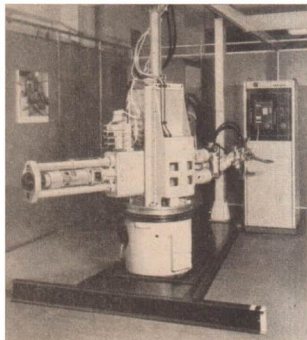


**Einsatzgebiete
hochintegrierter
Schaltkreise**

**Nachrichtentechnik
Produktionsprozeß
Datenverarbeitung
Heimelektronik**



Zugfunksystem



Industrieroboter



**Mikroprozessorgesteuerte
Schreibmaschine**



HiFi-Komponentensystem

- 1 Erkundigen Sie sich in Ihrem Einsatzbetrieb in der produktiven Arbeit, welche ökonomischen Vorteile sich aus dem Einsatz der Mikroelektronik für den Betrieb ergeben! (Nutzen Sie dazu eventuell die Betriebszeitung!)
- 2 Ermitteln Sie in Ihrem Einsatzbetrieb in der produktiven Arbeit Maschinen und Anlagen, die durch den Einsatz mikroelektronischer Schaltungen gesteuert werden!
- 3 Entwickeln Sie die Schaltung für die Ansteuerung der Zahl 5 unter Nutzung der Schrittfolge (↗ S. 13)!
- 4 Überlegen Sie, was passiert, wenn bei dem NOR-Baustein in Bild 11/3 ein Anschluß offenbleiben würde!

- Ein Beispiel soll das verdeutlichen.

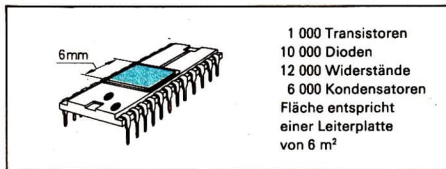
Die erste elektronische Rechenmaschine wurde im Jahre 1936 gebaut. Diese Maschine war mit rund 35 000 Röhren ausgerüstet, und ihre Masse betrug mehrere Tonnen. Die Leistungsaufnahme dieser Rechenmaschine betrug 40 kW. Ihre Zuverlässigkeit war sehr gering. Sie funktionierte durchschnittlich nur eine Stunde ohne Störung. Die Fehlersuche und Reparatur war sehr kompliziert, langwierig und aufwendig. Heute ist es dank der Mikroelektronik möglich, einen elektronischen Rechner in der Größe eines Würfelzuckerstückes herzustellen. Dieser Rechner benötigt nur einen Bruchteil der Energie des mit Röhren ausgerüsteten Rechners bei einer wesentlich schnelleren Arbeitsweise und einer unvergleichlich höheren Zuverlässigkeit.

Gegenüber der Elektronenröhre mit einer durchschnittlichen Leistungsaufnahme von 2 W benötigen wir für eine Transistorfunktion im hochintegrierten Schaltkreis nur noch 10^{-12} W. Ein Taschenrechner benötigt nur noch 0,000 075 W. Durch die Miniaturisierung der Rechner, die geringe Leistungsaufnahme, die hohe Arbeitsgeschwindigkeit und die hohe Zuverlässigkeit ist es erst ökonomisch vertretbar und rentabel geworden, elektronische Rechner im großen Umfang für die Steuerung von Maschinen und Anlagen einzusetzen.

Einsatz von Mikroprozessoren. Integrierte Schaltkreise werden heute fast in allen Bereichen der Produktion und Technik eingesetzt. Es ist aber undenkbar für jeden speziellen Anwendungsfall, einen speziellen Schaltkreis zu entwickeln, da die Kosten dafür nicht vertretbar wären.

- 1 000 Stück je Typ – Kosten für Vorarbeiten und Automaten je Schaltkreis einige tausend Mark
- 1 000 000 Stück je Typ – Kosten für Vorarbeiten und Automaten je Schaltkreis nur noch einige Mark

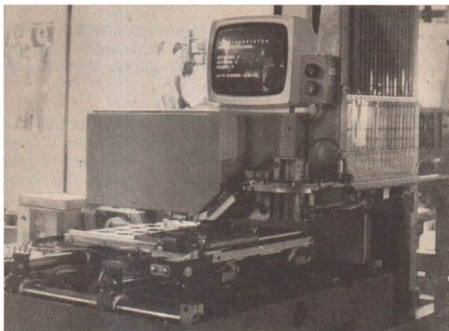
Um für die Produktion hohe Stückzahlen zu erreichen, ist es notwendig, Schaltkreise zu entwickeln, die möglichst universell einsetzbar sind. Ein solcher Schaltkreis ist der **Mikroprozessor**.



16/1 Mikroprozessor mit Bauelementenstruktur

Durch eine externe Beschaltung mit weiteren Schaltkreisen ist dieser Schaltkreis für eine Vielzahl von Steuerungsaufgaben einsetzbar. Er wird heute in jedem Mikrorechner und in jeder modernen Steuerung für Maschinen, Geräte und Anlagen eingesetzt.

- **Mikroprozessoren** sind freiprogrammierbare integrierte Schaltkreise, die viele elektronische Funktionen auf kleinstem Raum konzentrieren und die den Einsatz zur Lösung vielfältiger Steuerungsaufgaben ermöglichen.



■ Beispiele für den Einsatz von Mikroprozessoren

Mikrorechner bilden das „Herzstück“ eines jeden Computers. Diese mit Mikrorechnern ausgerüsteten Computer werden in der modernen Produktion für die Lösung vielfältiger Steuerungsaufgaben eingesetzt.

Einige Beispiele sollen das belegen.

Steuerung einer Drehmaschine durch die CNC 600

vom VEB Numerik „Karl Marx“, Karl-Marx-Stadt

- Über eine Tastatur wird die Aufgabe eingegeben
- Auf dem Bildschirm wird die Arbeitsanweisung dargestellt
- Nach dem Betätigen der Starttaste führt die Maschine automatisch die Befehle aus und kontrolliert sich selbst

Steuerung von Industrierobotern

- Selbständiges Aufnehmen von Werkstücken, Werkzeugen und Materialien
- Positionierung der Werkzeuge und Werkstücke
- Ausführen einfacher Handhabetechniken (Montieren, Schweißen, Spritzen, Sortieren usw.)

Steuerung elektronischer Schreibmaschinen

- Ansteuern der Typen
- Speichern des Textes
- Selbständiges Schreiben des abgespeicherten Textes mit hoher Geschwindigkeit

Steuerung in Tonspeichergeräten (Plattenspieler, Kassettengeräte)

- Vollautomatische Ablaufsteuerungen, wahlfrei vorprogrammierbares Abspielen, automatische, zeitlich vorprogrammierbare Aufzeichnungen auf Band von Empfangsgeräten, automatische Verschleißteilüberwachung und -anzeige (Tonkopf, Abtastsystem, Laufteile)

Elektroherde

- Einspeicherung wählbarer Koch- und Backprogramme durch Tastendruck, vollautomatische Ablaufsteuerung

Kraftfahrzeuge

- Optimale Motorsteuerung bei minimiertem Kraftstoffverbrauch (Zündung, Kraftstoff-Luft-Gemisch), Überwachung funktionsbestimmender Teile, prophylaktische Defektwarnung, Gefahrenwarnung bei Umweltgefahren (Glättebildung)

Telefone

- Automatische Anrufbeantwortung, automatische Aufnahme von Mitteilungen bei Abwesenheit, automatische Teilnehmerwahl bzw. Wiederholwahl, Speicherung gewünschter Nummern, automatisches Absetzen eingespeicherter Mitteilungen an programmierte Teilnehmernummern zu einprogrammierten Zeiten

Herstellung integrierter Schaltkreise. So revolutionierend der Einsatz mikroelektronischer Bauelemente wirkt, so hoch sind die Anforderungen, die an den Produktionsprozeß dieser Bauelemente gestellt werden. Ausgangsmaterial für die Siliziumchips ist reiner Quarzsand, der durch Verhüttung, anschließende chemische Prozesse und durch Kristallzieh Anlagen zu Siliziumeinkristallen verarbeitet wird. Dieser Einkristall muß eine extrem hohe Reinheit besitzen. Auf 1 Si-Atom dürfen höchstens $2 \cdot 10^{-9}$ Fremdatome kommen. Der Einkristall wird in 0,3 mm dicke Scheiben geschnitten. Durch Lappen, Ätzen und Polieren wird eine hochglänzende Oberfläche dieser Scheiben erzielt, in denen in nur wenige Mikrometer Tiefe die Schaltkreisstrukturen erzeugt werden. Durch fototechnische und chemische Prozesse werden diese Strukturen schichtweise in der Siliziumscheibe hergestellt. Schrittweise entstehen die Kollektorflächen, die Basisflächen, die Emitterflächen und die elektrischen Verbindungen. Am Ende dieser Prozesse entsteht eine Siliziumscheibe mit mehreren hundert fertigen Chips, die anschließend geprüft, vereinzelt und auf ein Trägermaterial geklebt werden. Zwischen die Anschlüsse des Trägermaterials und des Siliziumchips werden hauchdünne Drähte gelötet (gebondet). Für diese komplizierten Arbeiten werden Roboter und Automaten eingesetzt.

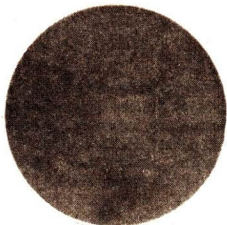
Da der Prozeß der Schaltkreisherstellung sehr kompliziert ist, ist eine Ausbeute von 10 % qualitätsgerechter Schaltkreise bei hochintegrierten Schaltkreisen im Weltmaßstab ein gutes Ergebnis.

Winzige Staubpartikel in den Produktionsräumen können zur Produktion von fehlerhaften Schaltkreisen führen. Die Räume für die Schaltkreisproduktion unterliegen daher strengen Sauberheitskriterien. Die Luft wird über mehrere Filter gereinigt. Die Räume dürfen nur über Duschschleusen betreten werden. Die Arbeiter müssen die Straßenbekleidung ablegen, duschen und eine staubteilchenabsorbierende Spezialkleidung vor dem Betreten der Produktionsräume anziehen. Die Einhaltung der notwendigen Sauberkeit erfordert Disziplin und großes Verantwortungsbewußtsein der Werk tätigen.

Entwicklungs- und Anwendungstendenzen der Mikroelektronik. Das Erhöhen des Integrationsgrades ist eine wesentliche Entwicklungsrichtung der Mikroelektronik. Die Entwicklung des Integrationsgrades sieht international wie folgt aus:

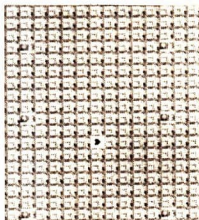
Jahr	Transistorfunktionen je Chip
1960	1
1970	1 000
1980	1 000 000
1990	100 000 000
2015	100 000 000 000

**1. Herstellen der Siliziumscheibe
Reinheit 99,9999 Prozent**



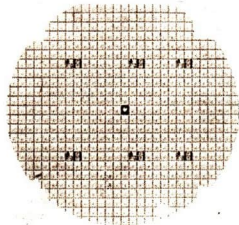
Si-Scheibe

**2. Entwerfen der Schaltkreise
und Herstellen der Fotoschablone**



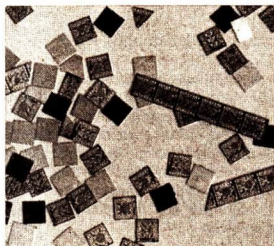
Fotoschablone

**3. Erzeugen der Bauelemente-
struktur auf der Si-Scheibe**



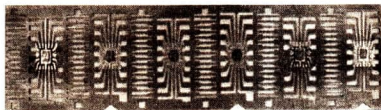
Bearbeitete Si-Scheibe

4. Teilen der Si-Scheibe in Chips



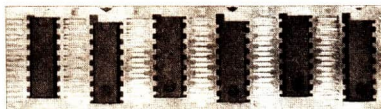
Einzelne Chips

5. Aufbringen der Chips auf Trägermaterial und Bonden der Anschlüsse



Gebondetes Si-Chip

6. Kapseln der Chips in Keramik- oder Plastikgehäuse



Fertiger IS

Herstellung integrierter Schaltkreise

Durch das Erhöhen des Integrationsgrades kann der Verbrauch an volkswirtschaftlich wichtigen Energieträgern, an Roh- und Werkstoffen gesenkt werden.

Ein weiterer Entwicklungstrend ist die Vergrößerung der Chipfläche, dabei zeichnet sich international folgende Tendenz ab:

1980 Chipfläche etwa	100 mm ²
1990	1 000 mm ²
2005	10 000 mm ²

Je größer die Chipfläche, um so mehr Transistorfunktionen lassen sich auf ihr unterbringen. Dadurch wird es möglich, ganze Rechner- bzw. Steuerungssysteme auf einem einzigen Chip zu erzeugen. Die technische Ausführung scheidet gegenwärtig noch daran, daß bei Vergrößern der Chipfläche und weiterem Erhöhen der Transistorfunktionen je Chip die Gefahr eines Kristallfehlers besteht bzw. daß ein Staubkorn einen Transistor trifft und somit den ganzen Schaltkreis zerstört.

Anwendungsgebiete der Leistungselektrik

Aufgaben der Leistungselektrik

Eine wesentliche Voraussetzung, um hochentwickelte industrielle und landwirtschaftliche Produktion zu erreichen und zu sichern, ist das ausreichende Bereitstellen von Elektroenergie. Auch im Haushalt ist Elektroenergie unentbehrlich geworden, um die Vielzahl der elektrischen Geräte betreiben zu können. Der Vorteil der Elektroenergie besteht darin, daß sie mit geringem Aufwand und ohne größere Verluste zum Energienutzer übertragen und dort in andere Energiearten umgewandelt werden kann. Beim Umwandeln von Elektroenergie in Wärmeenergie oder mechanische Energie wird gegenüber anderen Ausgangsenergien der beste Wirkungsgrad erreicht.

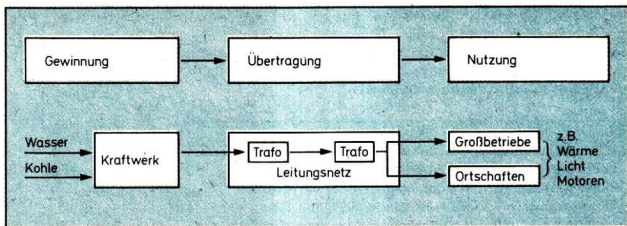
Die **Leistungselektrik** ist ein Teilgebiet der Elektrotechnik, das die Gewinnung, Übertragung und Umwandlung der Elektroenergie umfaßt. ①

Es werden Geräte, Maschinen und Anlagen für unterschiedliche Zwecke in Produktion und Haushalt entwickelt, produziert, eingesetzt und repariert.

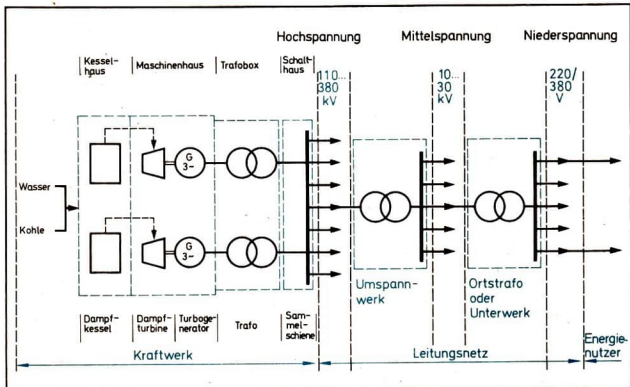
In immer mehr Bereiche der Leistungselektrik greift auch die Elektronik und Mikroelektronik ein. Zur Steuerung des Energieflusses in Maschinen und Anlagen, für Kontroll- und Überwachungseinrichtungen, aber auch unter dem Aspekt der wirtschaftlichen Nutzung der Elektroenergie werden Bauelemente und Schaltungen der Informationselektrik angewendet.

Energiefluß vom Kraftwerk zum Energienutzer

In **Kraftwerken** wird Elektroenergie gewonnen, über **Leistungsnetze** zu den jeweiligen Energienutzern übertragen und in **Geräten, Maschinen und Anlagen** durch Umwandeln in andere Energiearten genutzt (→ Bild 21/1).



21/1 Schema des Energieflusses vom Kraftwerk zum Energienutzer



21/2 Übersichtsschaltplan der Elektroenergieübertragung vom Kraftwerk zum Energienutzer

Die in den **Generatoren** der Kraftwerke erzeugte Elektroenergie hat eine Spannung von 6...20 kV. Diese Spannung wird in unmittelbarer Nähe des Turbogenerators von einem Transformator hochtransformiert und über **Hochspannungsfernleitungen** den Energienutzern zugeleitet (→ Bild 21/2).

Die Hochspannung von 110...380 kV wird in Umspannwerken und Ortstransformatorenstationen auf die Niederspannung von 380/220 V herabtransformiert. Auf die Notwendigkeit und die Bedeutung der Spannungsebenen sowie die dazu erforderlichen elektrotechnischen Anlagen wird später noch näher eingegangen. ②

- ① Erklären Sie die Aufgabenstellung der Informations- und Leistungselektrik!
- ② Erläutern Sie den Energiefluß vom Kraftwerk zum Energienutzer in den Darstellungen der Bilder 21/1 und 21/2!

Elektrowärme wird in Industrie und Haushalt für verschiedene Zwecke benötigt. Deshalb wurden auch jedem Zweck entsprechend unterschiedliche elektrotechnische Geräte und Anlagen entwickelt:

Elektrowärmegerät	Anwendung
Lichtbogenofen	Stahlerzeugung
Widerstandsofen	Wärmebehandlung von Metallen
Wärmestrahler	Trocknen von lackierten Teilen, Tieraufzucht in der Landwirtschaft
Kochplatte	Speisezubereitung in Großküchen und Haushalten
Heißwasserspeicher	Heißwasserzubereitung

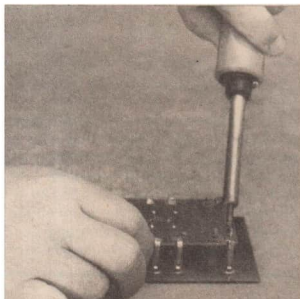
Auch beim Schweißen oder Löten wird Elektroenergie für die Erzeugung der erforderlichen Temperatur zum Schmelzen des Zusatzwerkstoffes benötigt. Bei einigen Verfahren wird die Elektroenergie zum Werkzeug selbst, wie das bei Elektroerosions- und Elektrofunktverfahren der Fall ist.

Die **elektrische Beleuchtung** ist die am häufigsten angewandte Möglichkeit der technischen Beleuchtung. Sie basiert auf der Umwandlung der Elektroenergie in Licht durch Glüh- und Gasentladungslampen. Die Umwandlung von Elektroenergie in Licht bzw. Strahlungsenergie wird auch zur Signalanzeige, für technologische Zwecke in der Fototechnik und Mikroelektronik sowie zur Signalübertragung genutzt.

Elektromotoren sind wichtige Antriebsorgane von Maschinen in der Produktion, an Transporteinrichtungen und in der Haushaltstechnik. Bei Elektromotoren erfolgt die Umwandlung von Elektroenergie in mechanische Energie, die erforderlich ist, um Maschinen und Geräte anzutreiben.



22/1 Verbinden von Blechteilen durch Punkt-schweißen. Das Werkstück befindet sich zwischen den Elektroden.



22/2 Herstellen von elektrisch leitenden Verbindungen an Bauteilen. Das Löt-zinn wird mit dem Löt-kolben auf seine Schmelztemperatur erwärmt.

Kraftwerksarten in der DDR. Die Energiewirtschaft ist heute durch zwei hauptsächliche Entwicklungstendenzen gekennzeichnet, die sich wechselseitig ergänzen und fördern:

- die volle Elektrifizierung aller Prozesse und
- die wirtschaftliche Erzeugung von Elektroenergie.

Dem steigenden Bedarf an Elektroenergie in unserem Land wird durch eine sinnvolle Planung des Neubaus und der Erweiterung von vorhandenen Kraftwerken entsprochen. Im Kraftwerk wird die **Primärenergie** von Primärenergieträgern (Brennstoffe, Stauseen, Flüsse, Kernbrennstoff) in **Gebrauchsenergie** (Elektroenergie) umgewandelt. In der DDR erfolgt die Erzeugung der Elektroenergie überwiegend auf der Basis der Verbrennung von Braunkohle in **Wärmekraftwerken**. Diese Kraftwerke decken im Gesamtsystem der Elektroenergieversorgung unseres Landes gemeinsam mit den **Kernkraftwerken** den Grundbedarf an Elektroenergie (Grundlastkraftwerke). Die als Pumpspeicherwerke vorhandenen **Wasserkraftwerke** werden benötigt, um während der Spitzenzeiten des Elektroenergiebedarfs eine stabile Energieversorgung zu sichern (Spitzenlastkraftwerke).^②

Wichtige Kraftwerke in der DDR

■ Wärmekraftwerke

Boxberg	3 520 MW
Jänschwalde	3 000 MW
Lübbenau	1 300 MW
Vetschau	1 200 MW

Wasserkraftwerke (Pumpspeicherwerke)

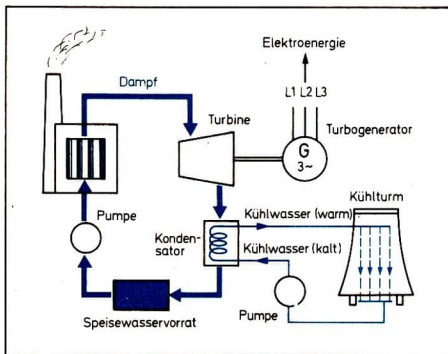
Markersbach	1 050 MW
Hohenwarte II	320 MW
Wendefurt	80 MW

Kernkraftwerke

Rheinsberg	70 MW (Forschungskraftwerk)
Lubmin	3 520 MW

Durch Rohbraunkohle werden 92 % des Eigenaufkommens an Primärenergieträgern gedeckt. Der Errichtung von Wärmekraftwerken auf Braunkohlenbasis sind aber Grenzen gesetzt, da die Braunkohlenförderung der natürlichen Vorkommen nicht unbegrenzt gesteigert werden kann. Auch werden in unserem Land die Folgen des Abbaues und der Verbrennung von Braunkohle, wie Umweltverschmutzung, Eingriffe in die natürliche Landschaft, Verlust angestammter Wohnorte usw. entsprechend gesetzlicher Regelungen beachtet.

-
- ① Nennen Sie elektrotechnische Geräte und Anlagen aus dem Produktionsbetrieb und dem Haushalt, in denen Elektroenergie in Wärmeenergie umgewandelt wird!
 - ② Nennen Sie Ihnen bekannte Kraftwerksarten und ihre Standorte in unserer Republik!
-



24/1 Schema der Gewinnung der Elektroenergie in einem Wärmekraftwerk (Der Wasser-Dampf-Kreisprozeß ist blau dargestellt.).

Die Investitionen für den Bau eines Kraftwerkes auf Braunkohlenbasis sind verhältnismäßig hoch. Sie entsprechen für ein 3000-MW-Kraftwerk auf Braunkohlenbasis denen für den Neubau einer Wohnstadt mit Folgeeinrichtungen für fast 100 000 Menschen.

Das verstärkte Nutzen anderer Primärenergieträger bzw. anderer Energiequellen (Kernenergie, Anfallenergie, Solarenergie, Biogas usw.) ist eine Möglichkeit, den Bedarf an Gebrauchsenergie zu sichern. Darüber hinaus ist die Elektroenergie effektiver zu nutzen, wodurch mit einem geringeren Energieeinsatz das gleiche Produktionsvolumen gesichert bzw. ohne zusätzlichen Energiebedarf mehr produziert wird. Das bedeutet, die Wissenschaft stärker als Produktivkraft zu nutzen und durch die Entwicklung neuartiger Wirkprinzipien Verluste zu umgehen, die Effektivität der Energieumwandlung zu erhöhen und die Transportverluste zu senken. Eine Einsparung von 1 Prozent Elektroenergie in der Industrie sichert die Versorgung von 600 000 Haushalten (Wohnungsbestand des Bezirkes Leipzig) in einem Jahr.

Wärmekraftwerk auf Braunkohlenbasis. In Bild 24/1 sind die wichtigsten Anlagen eines Wärmekraftwerkes schematisch dargestellt. Durch die Verbrennung der **Braunkohle** wird Wärmeenergie (thermische Energie) erzeugt, durch die im Kesselhaus **Wasser** verdampft wird. Der unter hohem Druck stehende **Dampf** (Hochdruckdampf mit 540 °C) wird auf die Laufräder von Dampfturbinen geleitet.

Die Dampfturbine treibt einen **Turbogenerator** an, der durch die rotierende Bewegung seines Läufers auf der Grundlage der elektromagnetischen Induktion die mechanische Energie in elektrische Energie umwandelt. ① ②

Der Generator ist für die Erzeugung einer bestimmten Spannung (z. B. 10 kV, 5 kV) bei einer bestimmten Drehzahl (im allgemeinen $n \approx 3000 \text{ min}^{-1}$) und Frequenz (z. B. $f = 50 \text{ Hz}$) gebaut. Nach dem Verlassen des Turbogenerators gelangt der Dampf in einen Kondensator, wo er kondensiert und als Wasser erneut in das Kesselhaus gelangt (\rightarrow Bild 24/1).

Die Maschineneinheit Dampferzeuger/Dampfturbine und Turbogenerator wird als **Blockeinheit** bezeichnet. Die Blockeinheitsleistungen unserer modernen Großkraftwerke liegen bei 100, 200 und 500 MW.

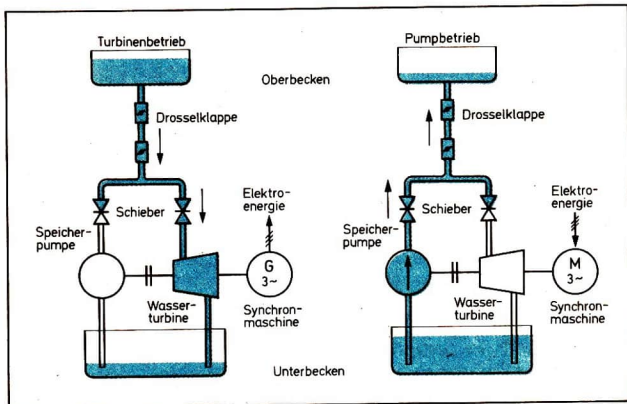
Wasserkraftwerk. Die Umwandlung der potentiellen Energie des Wassers in Elektroenergie kann erfolgen in einem

- Flußkraftwerk;
- Speicherkraftwerk;
- Gezeiten- und Wellenkraftwerk (UdSSR, Frankreich).

Bei einem Flußkraftwerk wird das Gefälle des Wassers durch Anstauen erreicht. Eine besondere Art sind die Kaskadenkraftwerke (Wolgakaskade in der UdSSR, 7135 MW).

Bei Speicherkraftwerken unterscheidet man reine Talsperrenkraftwerke und Pumpspeicherwerke. Die Fallhöhen des Wassers sind bei den Speicherkraftwerken im Vergleich zu den Flußkraftwerken sehr groß.

In unserer Republik haben Pumpspeicherwerke als Spitzenlastkraftwerke eine besondere energiewirtschaftliche Bedeutung. Da der Energiebedarf innerhalb von 24 Stunden bestimmten Schwankungen unterliegt, speisen diese Kraftwerke zu Spitzenzeiten des Energiebedarfs Elektroenergie in das Verbundnetz ein. In dieser Zeit fließt **Wasser** aus dem **Oberbecken** auf **Wasserturbinen** mit geringen Drehzahlen ($n \approx 150 \dots 350 \text{ min}^{-1}$), die als **Generator** arbeitende Synchronmaschinen antreiben (\rightarrow Bild 25/1). Diese erzeugen dann Elektroenergie und speisen sie in das Netz ein. Da das Oberbecken meist nicht den erforderlichen Wasserzufluß hat, muß es im



25/1 Schema eines Pumpspeicherwerkes ③

- ① Erläutern Sie die Wirkungsweise des Turbogenerators bei der Umwandlung von mechanischer Energie in elektrische Energie!
- ② Wie wird eine Induktionsspannung erzeugt?
- ③ Wovon leitet sich der Begriff „Pumpspeicherwerk“ ab?

Pumpbetrieb wieder gefüllt werden. Dazu wird das Wasser in lastarmer Zeit (nachts) aus dem **Unterbecken** über Rohre in das Oberbecken gepumpt (→Bild 25/1). Dabei wird die dem Netz entnommene elektrische Energie umgewandelt und in Form der potentiellen Energie des Wassers gespeichert.

Im Pumpbetrieb arbeiten die Synchronmaschinen als Motoren. Die ersten Pumpspeicherwerke gibt es bereits seit über 80 Jahren. Die erste Anlage in der Welt war das Pumpspeicherwerk Niederwartha bei Dresden. (2)

Kernkraftwerk. Es ist eine komplexe großtechnische Anlage, in der die bei der Spaltung schwerer Atomkerne freigesetzte Kernenergie in drei Prozeßstufen in Elektroenergie umgewandelt wird:

- Umwandlung von Kernenergie in Wärmeenergie;
- Umwandlung der Wärmeenergie in mechanische Energie (Turbine);
- Umwandlung der mechanischen Energie in elektrische Energie (Generator).

Bei der baulichen Gestaltung eines Kernkraftwerkes müssen aus Sicherheitsgründen der Reaktor und die Dampferzeugeranlage in einem gesonderten Gebäude untergebracht sein. Das erste Kernkraftwerk der Welt mit 5 MW elektrischer Leistung wurde 1954 in Obninsk in der UdSSR in Betrieb genommen. Es existieren Kraftwerke mit mehr als 4000 MW Leistung in verschiedenen Ländern, so z. B. in Japan (Fukushima 4696 MW) in Frankreich (Bugma 4388 MW) und in der UdSSR (Lenin-grad 4000 MW).

Ein **Kraftwerk** ist eine Energieumwandlungsanlage, die entweder nur Elektroenergie oder Elektroenergie und Gebrauchswärme liefert. Die verfügbare Primärenergie wird in einem Energieumwandlungsverfahren in mechanische Energie in der Turbine und dann unter Anwendung des Induktionsgesetzes im Generator in elektrische Energie umgewandelt. (1)

Erzeugung der Dreiphasenwechselspannung (Drehstrom)

Der italienische Physiker FERRARIS beschrieb 1885 die Erzeugung der dreiphasigen Wechselspannung (Drehstrom). Damit wurden wesentliche Voraussetzungen für die Erzeugung von Elektroenergie geschaffen. Die in Kraftwerken mit Drehstromgeneratoren erzeugte dreiphasige Wechselspannung wird über das System „Transformator – Übertragungsleitung – Transformator“ dem Energieabnehmer zugeführt.

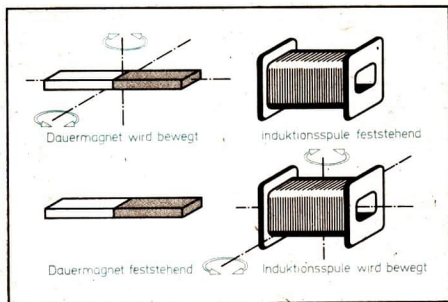
Eine wichtige physikalische Grundlage für technische Prozesse der Erzeugung, aber auch der Übertragung und Umwandlung von Elektroenergie ist die *elektromagnetische Induktion*.

Die **Dreiphasenwechselspannung** (Drehstrom) wird mit Drehstromgeneratoren auf der Grundlage der elektromagnetischen Induktion erzeugt.

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 erfolgt durch Bewegen eines Dauer- oder Elektromagneten bei feststehender Spule oder durch Bewegen der Spule bei feststehendem Dauer- oder Elektromagneten (→Bild 27/1).



27/1 Prinzip der Erzeugung einer Induktionsspannung in einer Spule



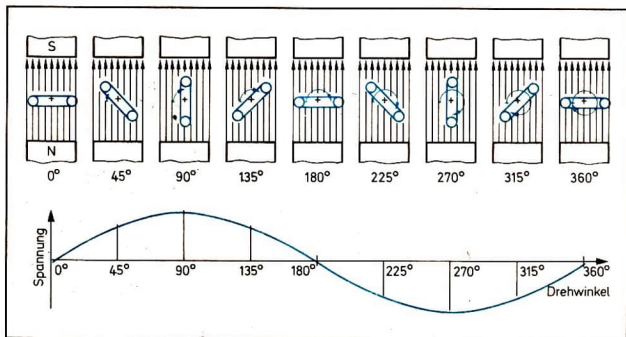
Generatorprinzip (\rightarrow Ph i Üb, S. 134). Bewegt sich ein Leiter in einem magnetischen Feld senkrecht zu den Feldlinien, so wird in ihm eine Spannung induziert. Bei geschlossenem Stromkreis fließt ein Induktionsstrom.

Dreht man eine Spule in einem homogenen Magnetfeld, so wird in der Spule eine **Wechselspannung** induziert. Nach jeder vollen Umdrehung wiederholt sich der Vorgang (\rightarrow Bild 28/1). ③

Man ist in der Technik bemüht, sinusförmige Wechselspannungen zu erzeugen. Da es für die Induktionwirkung gleichgültig ist, ob der Leiter gegenüber dem Magnetfeld oder das Magnetfeld gegenüber dem Leiter bewegt wird, kann man auch den Leiter in den Ständer der Maschine legen und dreht im Inneren ein Magnetfeld (\rightarrow Bilder 27/1 und 28/3). Generatoren werden so konstruiert, daß das Magnetfeld an einer Induktionsspule (Anker) vorbeigeführt wird.

Erzeugung des Magnetfeldes: drehbare Läufer­spule erhält Gleichspannung über Schleifkontakte
 Abnahme der Induktionsspannung: von der feststehenden Ständerspule (Stator) über Klemmen

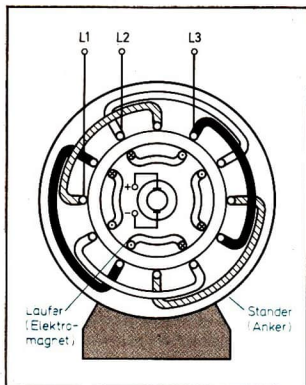
- ① Für ein Kraftwerk mit einer Leistung von 500 MW werden täglich etwa 12 000 t Braunkohle benötigt. Errechnen Sie den Jahresbedarf an Braunkohle für das Großkraftwerk Lützenau!
- ② Nennen Sie die Ursachen für die Schwankungen des Elektroenergiebedarfes innerhalb eines Tages (24 Stunden) und zeigen Sie Möglichkeiten auf, wie dieser Erscheinung bis zu einem gewissen Grade entgegengewirkt werden kann!
- ③ Erläutern Sie die Begriffe „elektromagnetische Induktion“ und Induktionsspannung“! (\rightarrow Ph i Üb, S. 134 bis 157)



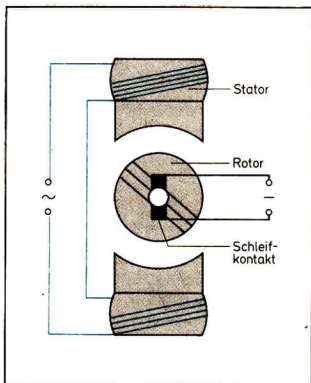
28/1 Prinzip der Erzeugung einer Wechselspannung

Drehstromerzeugung durch Drehstromgeneratoren. Die Dreiphasenwechselspannung (Drehstrom) wird mit **Drehstromgeneratoren** auf der Grundlage der elektromagnetischen Induktion erzeugt. ①

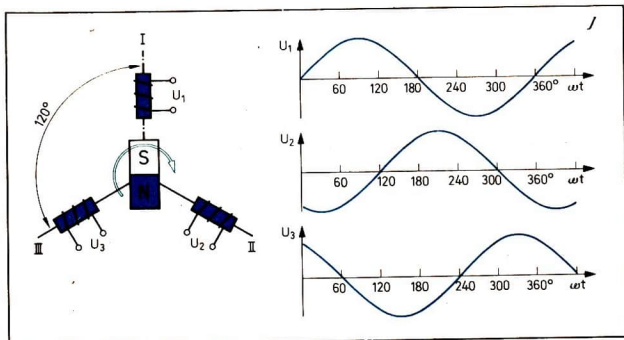
Der Drehstromgenerator besitzt drei *Induktionsspulen*. Diese sind in den Nuten des Ständers (Stator) um 120° versetzt angeordnet. Der Läufer (Rotor) besitzt eine *Feldspule* zum Erzeugen des Magnetfeldes, welches für die Induktion nötig ist. Dieser Feldspule wird über Schleifringe Gleichspannung zugeführt, und es entsteht ein Magnetfeld mit Nord- und Südpol (→ Bild 28/2). ②



28/2 Konstruktionsprinzip bei Drehstromgeneratoren



28/3 Konstruktionsprinzip bei Wechselstromgeneratoren



29/1 Prinzip der Erzeugung einer Dreiphasenwechselspannung

Wird nun der Läufer in Drehung versetzt, dreht sich auch das Magnetfeld mit. Dabei durchsetzen die Feldlinien die Induktionsspulen nacheinander. So wird in jeder der drei Spulen eine Wechselspannung induziert. Sie ist sinusförmig. Für eine vollständige Schwingung (Periode) muß das Magnetfeld eine volle Umdrehung (360°) ausführen (→ Bild 29/1).

Die Periodendauer T entspricht einer Drehung um 360° .
 $(360^\circ \triangleq 2\pi)$

Der Nordpol erzeugt die positive Halbwellen und der Südpol die negative. Die induzierte Spannung erreicht einen Maximalwert, wenn ein Pol des Magnetfeldes einer Spule genau gegenübersteht.

Beispiel: Befindet sich der Südpol des Magnetfeldes genau an der Spule I, so wird in dieser der Maximalwert der negativen Halbwellen induziert (→ Bild 29/1).

Das Bild 29/1 zeigt das Magnetfeld nach 270° Drehung. In diesem Augenblick wird in den Spulen II und III durch den Nordpol eine positive Spannung induziert. Da sich das Magnetfeld dreht, erreichen dessen Pole nacheinander die Induktionsspulen. Aufgrund der räumlichen Anordnung der Induktionsspulen (120°) sind die induzierten Wechselspannungen zeitlich untereinander verschoben. Diese Verschiebung heißt *Phasenverschiebung*, sie beträgt ein Drittel der Periodendauer T .

- ① Erläutern Sie die physikalischen Grundlagen der Umwandlung mechanischer Energie im Generator!
- ② Begründen Sie, warum Drehstromgeneratoren so konstruiert sind, daß die erzeugte Spannung am Ständer abgenommen werden kann!

Die Phasenverschiebung beträgt $\frac{1}{3}T$, das entspricht 120° .

$$\left(120^\circ \triangleq \frac{2}{3}\pi\right)$$

Die so gewonnene Dreiphasenwechselspannung wird auch *Drehstrom* genannt.

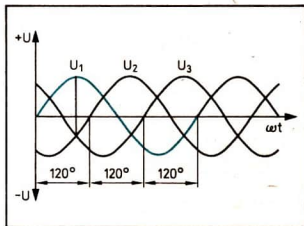
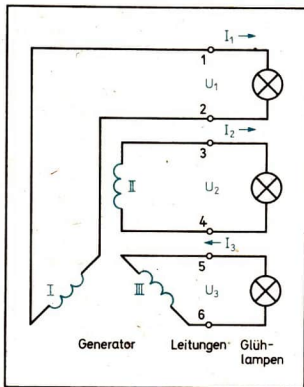
Als **Dreiphasenwechselspannung** (Drehstrom) werden drei gleiche sinusförmige Wechselspannungen bezeichnet, die zeitlich um ein Drittel der Periodendauer gegeneinander versetzt sind.

Drehstromgeneratoren, bei denen das Magnetfeld im Läufer erzeugt wird, sind *Innenpolmaschinen*, da sich die Pole im Inneren befinden. Innenpolmaschinen haben den Vorteil, den hohen Induktionsstrom ohne Schleifringe (Funkenbildung) abführen zu können, da sich die Induktionsspulen im feststehenden Ständer befinden.

Schaltung der Generatorspulen (Verkettung). Wie bereits bekannt, besitzt ein Drehstromgenerator drei Induktionsspulen und bei jeweils einer Läuferumdrehung entsteht eine vollständige Wechselspannungsperiode je Spule (→ Bild 29/1).

Ein Drehstromgenerator besitzt damit drei Wechselspannungsquellen, an die elektrische Betriebsmittel angeschlossen werden können. Es bestehen dann drei Stromkreise, die voneinander unabhängig sind (→ Bild 30/1).

Die drei Induktionsspulen werden jedoch mit ihren Anfängen (U_1, V_1, W_1) und Enden (U_2, V_2, W_2) in bestimmter Weise zusammengeschaltet. Man bezeichnet diese Zusammenschaltung als **Verkettung**. Sie ist möglich, weil die algebraische Summe



30/2 Liniendiagramm der drei sinusförmigen, phasenverschobenen Wechselspannungen (Drehstromliniendiagramm) ① ②

30/1 Generatorspulen als Spannungsquellen

der Momentanwerte der Spannungen und Ströme in den drei Stromkreisen der Generatorspulen in jedem beliebigen Zeitpunkt Null ist.
 Werden die drei Sinuskurven der Wechselspannungen (\rightarrow Bild 29/1) in ein Diagramm gezeichnet, so erhält man das Liniendiagramm des Drehstroms (\rightarrow Bild 30/2).
 Dieses Liniendiagramm zeigt, daß bei Addition der Augenblickswerte der Spannungen bzw. der Ströme ihre Summe an jeder Stelle Null ist.

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

Wenn die Spannung u_1 ihren positiven Scheitelwert erreicht hat, sind zum gleichen Zeitpunkt die Spannungen in Spule II (u_2) und Spule III (u_3) negativ und gleich der Hälfte des Scheitelwertes.

$$u_1 = u_{\max} \quad u_2 = -\frac{1}{2} u_{\max} \quad u_3 = -\frac{1}{2} u_{\max}$$

$$u_1 + u_2 + u_3 = u_{\max} + \left(-\frac{1}{2} u_{\max}\right) + \left(-\frac{1}{2} u_{\max}\right) = 0 \quad \textcircled{3}$$

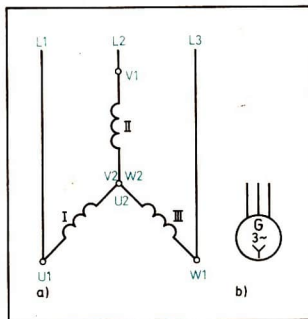
Die Generatorspulen können wie folgt geschaltet werden:

1. Sternschaltung

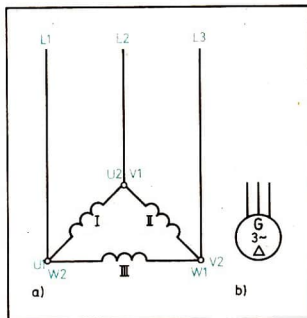
Die drei Anfänge der Induktionsspulen U1, V1, W1 sind nach außen geführt. Sie werden an das Leitungsnetz angeschlossen. Die Spulenden U2, V2, W2 werden im Sternpunkt (Mittelpunkt) zusammengeschaltet (\rightarrow Bild 31/1a).

2. Dreieckschaltung

Das Ende einer Spule wird jeweils mit dem Anfang der nächsten Spule verbunden.



31/1 Generatorspulen in Sternschaltung (a), Schaltungskurzzeichen (b)



31/2 Generatorspulen in Dreieckschaltung (a), Schaltungskurzzeichen (b)

- ① Erläutern Sie das Liniendiagramm des Drehstroms (\rightarrow Bild 30/2)
- ② Wie ist die zeitliche Verschiebung der drei Wechselspannungen zu erklären?
- ③ Warum ist die Summe der Augenblickswerte von Spannung (Strom) in jedem Augenblick Null?

Damit entstehen folgende Verbindungen (Eckpunkte):

U1 an W2

V1 an U2

W1 an V2

An den Eckpunkten des Dreiecks sind die Leitungen des Netzes angeschlossen (→ Bild 31/2a). Ob die Spulen der Drehstromgeneratoren in Stern oder Dreieck geschaltet sind, ist für die angegebene Leistung ohne Bedeutung. Im allgemeinen werden Drehstromgeneratoren jedoch nur in Sternschaltung betrieben.

Die Verkettung der Generatorspulen ist auch eine technisch-ökonomische Lösung im Hinblick auf die Fortleitung der elektrischen Energie, da nur drei Leitungen benötigt werden. Bei einer Schaltung der Generatorspulen nach Bild 30/1 wären sechs Leitungen erforderlich.

Die Induktionsspulen eines Drehstromgenerators können in **Stern** oder **Dreieck** geschaltet (verkettet) werden. ①

Fernübertragung der Elektroenergie

Kraftwerke werden dort errichtet, wo die natürlich vorkommenden Energieträger, z. B. Braunkohle, Flüsse oder Stauseen, vorhanden sind. Die Standorte der Kraftwerke müssen nicht mit den Industriestandorten oder Bevölkerungsballungsgebieten übereinstimmen, weil die Elektroenergie über Leitungen zum Energienutzer übertragen werden kann. Dabei können große Entfernungen zwischen Kraftwerk und Energienutzer liegen. Der Bedarf an Elektroenergie steigt an, und deshalb müssen über diese Leitungen immer größere elektrische Leistungen übertragen werden.

Hinzu kommt noch, daß in der Produktion und Technik für unterschiedliche Zwecke die verschiedensten Spannungen benötigt werden. So hat sich die Kombination 220 V/380 V und 380 V/660 V als besonders günstig erwiesen. Die Erzeugerspannung der Generatoren im Kraftwerk beträgt aber aus technischen Gründen (z. B. Isolation der Wicklungen) zwischen 6 kV und 20 kV. Sie kann nicht beliebig erhöht oder gesenkt werden. Deshalb muß die Höhe der Spannung während der Energieübertragung mehrmals geändert werden (→ Bild 27/2). Bei der Übertragung der Elektroenergie treten Verluste auf, die durch verschiedene Maßnahmen reduziert werden können. Eine dieser Maßnahmen ist die Übertragung der Elektroenergie mit hoher Spannung. ②

Wirtschaftliche Fernübertragung der Elektroenergie. Im Jahre 1882 wurde Elektroenergie mit einer Leistung von 7,5 kW auf eine Entfernung von 57 km mit einer Gleichspannung von 2000 V übertragen. Am Ende der Übertragungsstrecke erhielt man eine nutzbare Leistung von nur 1,5 kW.

Erstmals wurde 1891 auf der „Frankfurter Internationalen Elektrischen Ausstellung“ eine Fernübertragung von Elektroenergie mit **Drehstrom** vorgeführt. In Lauffen am Neckar, etwa 175 km von Frankfurt entfernt, trieb eine Wasserturbine einen Drehstromgenerator, der bei 50 V Spannung 220 kW erzeugte. Die Spannung wurde auf etwa 14 000 V transformiert, über eine Fernleitung übertragen und durch Transformatoren in Frankfurt am Main wieder heruntertransformiert. Man erhielt eine Leistung von 176 kW, mit der 1000 Glühlampen und die Pumpe eines künstlichen Was-

serfalls betrieben wurden. Dieses Projekt stellte einen Durchbruch zur effektiven Fernübertragung der Elektroenergie dar.

Aus der Größengleichung

$$P = U \cdot I$$

läßt sich erkennen, daß bei Zunahme des Energiebedarfs der Abnehmer folgende Lösungen zur Erhöhung der Übertragungsleistung möglich wären:

1. Gleichbleibende Spannung und höhere Stromstärke

Das würde zu steigenden Übertragungsverlusten durch Erwärmung der Leitungen führen. Die Leiterquerschnitte müßten derart vergrößert werden, daß der Materialeinsatz für die Leitungen und Masten unökonomisch würde.

2. Gleichbleibende Stromstärke und höhere Spannung

Diese Lösung ist wesentlich günstiger. Es besteht also das Bestreben, die Übertragungsspannungen zu erhöhen. Hier besteht jedoch das Problem des Anstiegs der elektrischen Feldstärke und der damit bestehenden Gefahr eines Überschlags zwischen den Leitungen. Die Leiterabstände zwischen den Leitungen müssen deshalb erhöht werden.

► Eine wirtschaftliche Fernübertragung der elektrischen Leistung ist mit hohen Spannungen und mit niedrigen Stromstärken möglich.

Die erste europäische Drehstromfernleitung wurde 1912 von Lauchhammer nach Berlin mit einer Spannung von 100 kV in Betrieb genommen. In der UdSSR werden Übertragungsleitungen für Drehstrom mit Höchstspannungen von 500 kV und 750 kV betrieben.

Aufgabe des Transformators. Da die Drehstromgeneratoren nicht die erforderliche Hochspannung für die Fernübertragung erzeugen können und der Energieabnehmer für den Betrieb der Geräte und Anlagen eine niedrige Spannung benötigt, muß im Netz der Energieübertragungs- und -verteilungssysteme die Spannung mehrmals geändert werden. Diese Aufgabe übernehmen die Transformatoren (Umspanner). Sie transformieren die Spannung der Drehstromgeneratoren auf die Übertragungsspannung (Hochspannung) hoch und später auf die Niederspannung für Energienutzer herab. Durchschnittlich ist ein dreimaliges Transformieren (Umspannen) erforderlich, obwohl es technisch auch möglich wäre, die Hochspannung ohne Zwischenstufe auf die Niederspannung herabzutransformieren. Infolge der hohen Eingangsspannung würden sich jedoch aufwendige Isolationen ergeben. Außerdem ergeben sich bei ausgedehnten Ortsnetzen erhöhte Leistungsverluste, die durch Ausdehnung der Mittelspannungsnetze bei stärkerer Konzentration der Ortsnetze auf Wohngebiete usw. verringert werden. Das würde aber den Einsatz teurer Großtransformatoren in jedem Ortsnetz erforderlich machen.

-
- ① Erklären Sie den Begriff „Verkettung“, welche Möglichkeiten der Verkettung von Drehstromsystemen sind möglich?
 - ② Nennen Sie elektrotechnische Geräte oder Anlagen aus ihrem Betrieb, der Umwelt und dem Haushalt, die unterschiedliche Betriebsspannungen benötigen!
-

Großtransformatoren arbeiten mit Ölkühlung, wodurch die Betriebstemperatur des Transformators in vertretbaren Grenzen gehalten und gleichzeitig die Isolation verbessert wird.

► **Transformatoren** haben die Aufgabe, durch Induktion elektrische Leistung zu übertragen. Wichtige Funktion: Erhöhen oder Verringern der Spannungen zwischen den Netzsystemen. ① ②

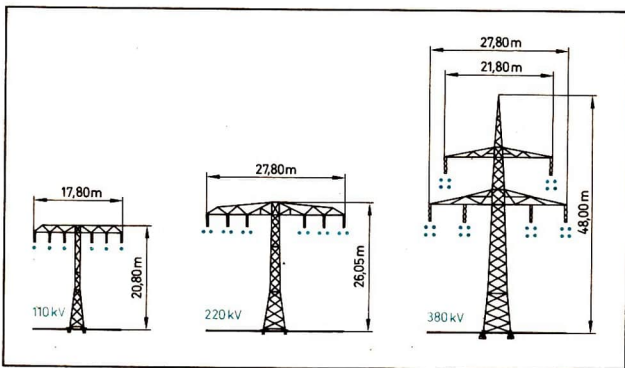
Transformatoren besitzen einen Wirkungsgrad bis zu 98 %.

Drehstromübertragung. Für die Drehstrom-Fernübertragung in der DDR sind die Spannungen 110 kV, 220 kV und 380 kV üblich. Da Form und Abmessungen der Tragmasten und Hochspannungsfreileitungen standardisiert sind, kann die Höhe der übertragenen Spannung am Mastbild und den Bündelleitern erkannt werden (→ Bild 34/1).

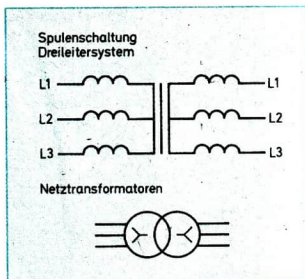
Um Freileitungen gegen Blitzschläge und ihre Folgen zu schützen, werden Erdseile über die Traversen bzw. Mastspitzen geführt. Diese Erdseile sind leitend mit den Masten verbunden. Die Freileitungen zur Energieübertragung sind fast immer blanke Leiter, die durch Isolatoren aus Hartporzellan von den Masten elektrisch getrennt sind.

Drehstromdreileitersystem: Hochspannungsfernübertragungen werden mit Drehstromdreileitersystemen vorgenommen (→ Bild 35/1)

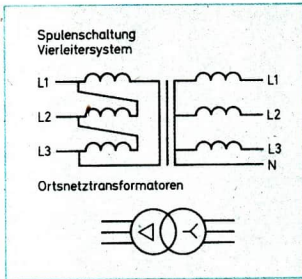
Drehstromvierleitersystem: Dieses System wird für Niederspannungsnetze verwendet. Es entsteht, wenn die drei Spulen des Drehstromtransformators auf der Abnehmerseite (Sekundärseite) im Stern geschaltet werden und im Sternpunkt ein vierter Leiter, der Neutralleiter angeschlossen wird (→ Bild 35/2).



34/1 Mastbilder der Tragmaste für Hochspannungsleitungen verschiedener Übertragungsspannungen



35/1 Schaltung der Drehstromtransformatoren im Drehstromdreileitersystem



35/2 Schaltung der Drehstromtransformatoren im Drehstromvierleitersystem

Die Bezeichnung der Leiter und ihre Kennfarben:

Leiter L1 – gelb

Leiter L2 – grün

Leiter L3 – violett

Neutralleiter N – hellblau

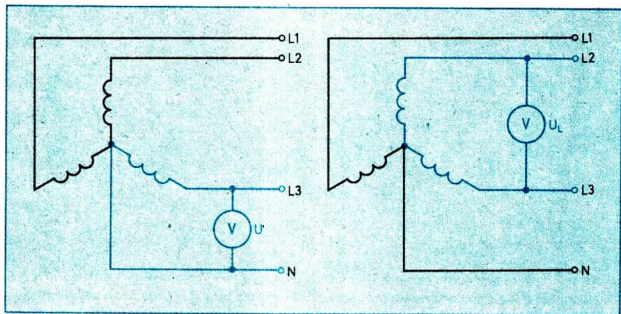
Schutzleiter PE – grün/gelb
(geerdet)

Vorteile des Drehstromvierleitersystems. Das Drehstromvierleitersystem bringt für die Abnehmer der Elektroenergie Vorteile, da nunmehr zwei unterschiedliche Spannungen zur Verfügung stehen (↗ Bilder 36/1 und 37/1).

Strangspannung U : Es ist die Spannung, die zwischen Anfang und Ende eines Wicklungsstranges (einer Spule) gemessen wird (L1–N, L2–N, L3–N).

Leiterspannung U_L : Es ist die Spannung, die zwischen zwei Leitern (L1–L2, L2–L3, L1–L3) gemessen wird.

- ① Begründen Sie, warum die Fortleitung elektrischer Energie bei hoher Spannung und geringer Stromstärke günstig ist!
Gehen Sie vom Widerstandsgesetz (↗ Ph i Üb, S. 121) und dem Energieerhaltungssatz beim idealen Transformator (↗ Ph i Üb, S. 188) aus!
- ② Berechnen Sie die jeweiligen Stromstärken, die bei der Übertragung einer elektrischen Leistung von 100 MW fließen, wenn die Übertragungsspannung
 - a) 380 kV,
 - b) 15 kV oder
 - c) 6 kV beträgt!
- ③ Nennen Sie die Vorteile des Verbundbetriebes der Kraftwerke!



36/1 Messung von U und U_L im Drehstromvierleitersystem

- Es betragen im Niederspannungsnetz $U = 220 \text{ V}$ und $U_L = 380 \text{ V}$ (→ Bild 21/2).

Verbundbetrieb der Kraftwerke. Sämtliche Kraftwerke eines Landes werden an das Energienetz (Verbundnetz) angeschlossen. Sie arbeiten im *Verbundbetrieb*. Ein Lastverteiler, der sich an einer Stelle des Verbundnetzes befindet, übernimmt die Energieverteilung und sichert einen wirtschaftlichen Betrieb. Es muß jederzeit ein Überblick über Energiebedarf und Energieangebot, aber auch über Betriebsstörungen und Unterbrechungen vorhanden sein. Diese Aufgaben werden durch Meßeinrichtungen und Computer gelöst.

▶ Sämtliche Kraftwerke und alle Energieabnehmer eines Landes sind indirekt über Umspanner parallel geschaltet. Das sie verbindende Leitungssystem ist das **Verbundnetz**.

Das Verbundnetz bietet bei der Energieübertragung und -verteilung folgende Vorteile:

1. Es kann eine ökonomische Energieverteilung gesichert werden, wenn der Betrieb der Grundlastkraftwerke (z. B. Wärmekraftwerke) und Spitzenlastkraftwerke (z. B. Pumpspeicherwerke) koordiniert wird. Ein Kraftwerk arbeitet am wirtschaftlichsten, wenn es ständig ausgelastet wird.
2. Der Kostenaufwand für Reserveanlagen bei Kraftwerkshavarien kann wesentlich geringer gehalten werden, da Ausfälle zeitweilig von anderen Kraftwerken ausgeglichen werden können.

Internationaler Verbundbetrieb von Elektroenergienetzen bietet die Vorteile dieser Art der Energieübertragung noch ausgeprägter. Deshalb betreiben die sozialistischen Länder im RGW ein gemeinsames Verbundnetz. 1963 hat in Prag die zentrale Lastverteilungsstelle ihre Tätigkeit aufgenommen.

Vorteile des internationalen Verbundbetriebes:

- 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.

Die DDR spart als Partnerland 140 MW Reservekapazität ein. Der gemeinsame Bau des Pumpspeicherwerkes Markersbach im Bezirk Karl-Marx-Stadt durch die DDR und ČSSR ist ein Beispiel für die Zusammenarbeit der sozialistischen Staaten auf diesem Gebiet.

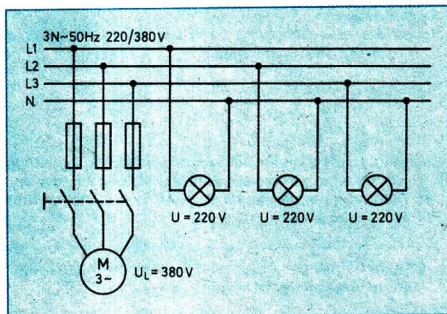
Schaltung elektrotechnischer Betriebsmittel im Drehstromvierleitersystem

10

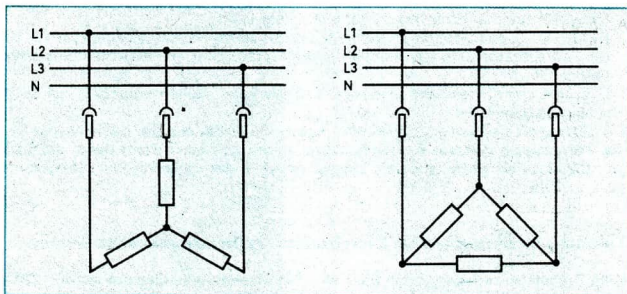
Dem Drehstromvierleitersystem kann eine **Einphasenwechselspannung** von 220 V oder eine **Dreiphasenwechselspannung** (Drehstrom) von 380 V entnommen werden. Damit stehen dem Energienutzer für den Geräteanschluß zwei Spannungen zur Verfügung. Es können Betriebsmittel mit einer Betriebsspannung von $U = 220\text{ V}$, z. B. Glühlampen, Haushaltgeräte, Elektrowerkzeuge usw., angeschlossen werden oder Betriebsmittel mit einer Betriebsspannung von $U = 380\text{ V}$, z. B. Drehstrommotoren, Wärmeöfen usw. In Bild 37/1 ist der Anschluß von Betriebsmitteln in einem solchen Netz dargestellt. Es kann also ein Anschluß des Betriebsmittels (Lampe) zwischen einem beliebigen Leiter L und N erfolgen ($U = 220\text{ V}$), oder es werden alle drei Leiter an das Betriebsmittel (Motor) herangeführt. So ist der Motor in Bild 37/1 an alle drei Leiter (L_1, L_2, L_3) des Netzes angeschlossen. Er liegt an $U_L = 380\text{ V}$ an.

► **Einphasenwechselspannung** ($U = 220\text{ V}$) erhält der Energienutzer, wenn ein Leiter und der Neutralleiter des Drehstromvierleitersystems verwendet werden.

Drehstrom ($U = 380\text{ V}$) erhält der Energienutzer, wenn alle Leiter des Drehstromvierleitersystems verwendet werden.



37/1 Anschluß von Betriebsmitteln mit unterschiedlichen Betriebsspannungen im Drehstromvierleitersystem



38/1 Anschlußmöglichkeiten von drei Widerständen in Sternschaltung

38/2 Anschlußmöglichkeiten von drei Widerständen in Dreieckschaltung

Für diese unterschiedlichen Anschlußmöglichkeiten gibt es auch unterschiedliche Steckdosen. Diese sind in ihrem Aufbau dem jeweiligen Leitungsnetz angepaßt und gewährleisten das Anschließen ortsveränderlicher elektrotechnischer Betriebsmittel, z. B. Radio, Waschmaschine, Kreissäge usw. Sie verhindern Verwechslungen und dienen auch dem Einhalten weiterer Sicherheitsbestimmungen (Schutzkontakt).

Stern- und Dreieckschaltung der Betriebsmittel. Steht dem Energienutzer Drehstrom eines Vierleitersystems zur Verfügung, so können elektrotechnische Betriebsmittel (z. B. Drehstrommotoren oder Heizwiderstände) in Stern- oder Dreieckschaltung an das Drehstromnetz angeschlossen werden (→ Bild 38/1 a, b). Es ergibt sich die Frage, ob elektrotechnische Maschinen oder Geräte sowohl in Stern- als auch in Dreieckschaltung ohne Schaden beliebig betrieben werden können. Das kann experimentell untersucht werden, indem die Verhältnisse von Stromstärken und Spannungen in der Stern- und Dreieckschaltung ermittelt werden.

▼ Sternschaltung

Bauen Sie eine Schaltung nach Schaltplan Bild 39/1 auf, und messen Sie die Stromstärken und Spannungen!

Ergebnis: $U_L > U$
 $I_L = I$

Schlußfolgerung: Wenn Betriebsmittel in Sternschaltung betrieben werden, können sie für eine geringere Betriebsspannung als die vorhandene Leiterspannung des Drehstromnetzes gebaut sein. U_L und U stehen immer in einem bestimmten Verhältnis zueinander.

► Das Verhältnis von Leiter- und Strangwert (hier U_L und U) bezeichnet man als **Verkettungsfaktor**. Er beträgt $\sqrt{3} = 1,73$.

- Auch die beiden Spannungen des Drehstromvierleitersystems (220 V/380 V) unterscheiden sich durch den Verkettungsfaktor.

Sternschaltung

An die Netzleiter L 1, L 2, L 3 werden die Leitungsanfänge U 1, V 1, W 1 eines elektrischen Betriebsmittels angeschlossen. Die Leitungsenden U 2, V 2, W 2 werden im Sternpunkt zusammengeschaltet.

L 1 mit U 1

L 2 mit V 1

L 3 mit W 1

U 2 mit V 2 und W 2

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

Strom: $I_L = I$

Symbol:



- Glühlampen für 220 V können in *Sternschaltung* an das Drehstromnetz geschaltet werden. Es ist zu untersuchen, ob auch diese Glühlampen in *Dreieckschaltung* für Normalbetrieb an das Drehstromnetz 220/380 V geschaltet werden können!

Dreieckschaltung

Untersuchen Sie die Spannungen und Stromstärken bei der Dreieckschaltung von Betriebsmitteln!

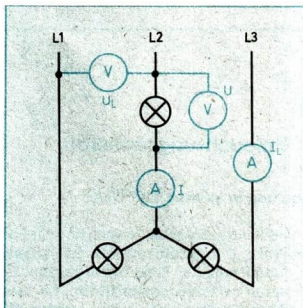
Stellen Sie fest, ob die im Beispiel genannte Dreieckschaltung der Glühlampen für Normalbetrieb geeignet ist!

Für die Dreieckschaltung gilt die Beziehung $U_L = U$

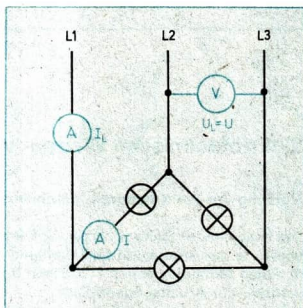
Der in einem Leiter L fließende Strom I_L setzt sich aus zwei Strangströmen I zusammen.

$$I_L > I$$

Die Ströme in der Dreieckschaltung sind verkettet (\nearrow Bild 39/2).



39/1 Glühlampen in Sternschaltung geschaltet



39/2 Glühlampen in Dreieckschaltung geschaltet

Dreieckschaltung

Die drei Betriebsmittel sind so zusammengeschaltet, daß das Leitungsende des einen Betriebsmittels mit dem Leitungsanfang des folgenden Betriebsmittels verbunden wird:

L 1 mit U 1, W 2

L 2 mit V 1, U 2

L 3 mit W 1, V 2

Spannung: $U_L = U$

Strom: $I_L = \sqrt{3} \cdot I$

Symbol:



Anschlußbedingungen und Anwendung. Die Anwendung der Stern- oder Dreieckschaltung von elektrischen Betriebsmitteln hängt davon ab, für welche Betriebsspannung das elektrische Gerät konstruiert ist. Beim standardisierten Drehstromvierleitersystem mit den Spannungen $U_L = 380 \text{ V}$ und $U = 220 \text{ V}$ können zwischen zwei beliebigen Leitern (L 1 – L 2, L 2 – L 3, L 1 – L 3) nur Geräte mit einer Betriebsspannung von $U = 380 \text{ V}$ angeschlossen werden.

Bei solchen Geräten ist die Dreieckschaltung erforderlich. Wird aber die Sternschaltung benutzt, haben sie nicht die volle Leistung. Diese Tatsache wird zur Senkung des Anlaufstroms bei Drehstrommotoren genutzt. So werden z. B. die drei Wicklungen mit Hilfe spezieller Schaltgeräte (Stern-Dreieck-Schalter) während des Anlaufs in Sternschaltung mit gemindertem Strom und nach Erreichen der Nenn-drehzahl in Dreieckschaltung mit voller Leistung betrieben. Sind die Wicklungen des Drehstrommotors aber nur für 220 V ausgelegt, so ist der Betrieb dieses Motors nur in Sternschaltung möglich. Auf den Leistungsschildern von Elektromotoren befinden sich deshalb Angaben über die Betriebsspannungen für Stern- und Dreieckschaltung. Zum Beispiel $220 \text{ V}/380 \text{ V}$ oder $380 \text{ V}/660 \text{ V}$.

Die erste Spannungsangabe auf Leistungsschildern ist die zulässige Betriebsspannung für die Dreieckschaltung, die zweite Spannungsangabe die zulässige Betriebsspannung für die Sternschaltung der Motorwicklungen.

Elektrotechnische Wärme- und Beleuchtungsanlagen

Nutzung der Elektroenergie durch Umwandlung in Wärme und Licht

Die Nutzung der Elektroenergie für wärme- und lichttechnische Zwecke hat die Entwicklung der Produktion entscheidend beeinflußt. Die Arbeitsproduktivität konnte in vielen technologischen Prozessen durch den Einsatz der Elektroenergie zum Erwärmen der Arbeitsgegenstände, zum Schmelzen verschiedenster Stoffe, für thermische und chemische Prozesse im beachtlichen Umfange gesteigert werden. Effektive künstliche Beleuchtungen konnten mit Hilfe der Elektroenergie entwickelt werden. Dadurch war es möglich, den Produktionsprozeß vom Tageslicht unabhän-

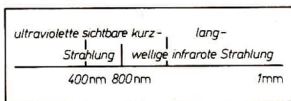
gig zu machen und ihn zeitlich zu verlängern.

Die Grundlage für diesen Nutzungsbereich der Elektroenergie ist der *Umwandlungsprozeß* der Elektroenergie in Wärme- und Lichtenergie. Diese Umwandlung beruht auf folgenden physikalischen Wirkprinzipien:

► **Temperaturstrahler:** Fließt ein elektrischer Strom durch einen Widerstand (Heizleiter), wird elektrische Energie in Wärmeenergie umgewandelt. Der Leiter erwärmt sich und kann bei entsprechenden Bedingungen (Stromfluß, Widerstand) Weißglut erreichen, wobei er Licht aussendet.

Gasentladungsstrahler: Befinden sich Gasatome in einem elektrischen Feld (Gasentladungsstrecke), werden sie beim Überschreiten einer bestimmten Feldstärke ionisiert. Der im ionisierten Gas fließende Strom überträgt den Gasionen und neutralen Molekülen Energie, wodurch Licht abgestrahlt wird.

Die von Temperatur- und Gasentladungsstrahler abgegebene Strahlung reicht von den kurzwelligen unsichtbaren UV-Strahlen über das sichtbare Licht, bis zu den langwelligen unsichtbaren Wärmestrahlen (→ Bild 41/1).



41/1 Wellenlängen im Bereich der Temperaturstrahler und Gasentladungsstrahler

- ① Vergewöhnen Sie sich die Verhältnisse von Spannungen und Stromstärken bei Stern- und Dreieckschaltung:
 - a) Die Leiterspannung eines in Dreieck geschalteten Motors beträgt 380 V. Wie groß ist die Strangspannung?
 - b) An einem in Stern geschalteten Motor liegt eine Leiterspannung von 42 V an. Wie groß ist die Strangspannung?
- ② Erläutern Sie die Begriffe Verkettung und Verkettungsfaktor, Stern- und Dreieckschaltung!
- ③ Bei welcher Schaltung ist $U_L > U$ und warum?
- ④ An einem Schülerarbeitsplatz mit Drehstromanschluß sollen Glühlampen mit einer Betriebsspannung von 24 V angeschlossen werden. Zwischen den Buchsen L1 und L2 der Energieversorgungsanlage messen Sie 42 V. Wie erfolgt der Anschluß der drei Glühlampen? Begründen Sie Ihre Antwort!
- ⑤ 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? Begründen Sie Ihre Antwort!
- ⑥ Arbeitet ein Heizofen für Drehstrom mit drei Widerständen ($U = 380 \text{ V}$) mit Nennleistung, wenn er in Sternschaltung an ein Drehstromnetz mit $U_L = 380 \text{ V}$ angeschlossen wird? Begründen Sie Ihre Antwort!

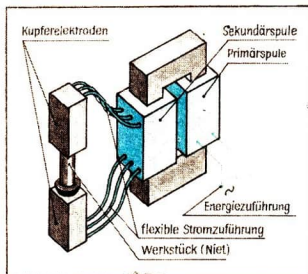
Nutzung der Elektrowärme in Industrie und Technik. Die Prinzipien der Umwandlung von Elektroenergie in Wärmeenergie oder Licht werden in vielen Bereichen technisch genutzt.

Widerstandserwärmung		Gasentladung	
Wärme	Licht	Wärme	Licht
Infrarotlampe Wärmegeräte im Haushalt Widerstands- und Induktionsofen in der Industrie	Glühlampe	Lichtbogenofen Lichtbogen- schweißanlage	Leuchtstofflampe Halogenlampe Natriumdampflampe Lichtbogenlampe

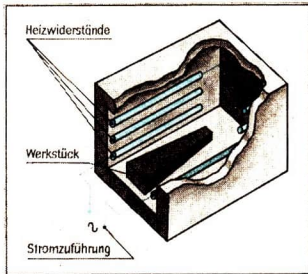
Widerstands- und Induktionserwärmung. Neben Lichtbogenöfen zur Stahl- und Kalziumkarbiderzeugung werden überwiegend Elektrowärmegeräte und -anlagen, die auf der Grundlage der *Widerstandserwärmung* arbeiten, eingesetzt. Sie sind von großer Bedeutung für eine Vielzahl technologischer Prozesse in der Produktion. So werden in den entwickelten Industrieländern bis zu 40 % der erzeugten Elektroenergie für thermische Prozesse in der Industrie verwendet. Aber auch in der Landwirtschaft und nicht zuletzt im Haushalt werden zahlreiche Elektrowärme-geräte eingesetzt.

Das Prinzip der *Widerstandserwärmung* wird in zwei verschiedenen technisch-konstruktiven Arten angewendet (→ Bilder 42/1 und 42/2).

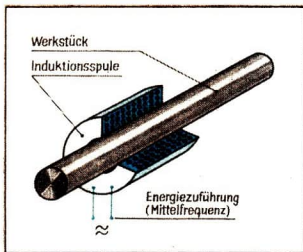
Direkte Widerstandserwärmung: Die Energieumwandlung erfolgt unmittelbar, **direkt** im Arbeitsgegenstand (Werkstück). Dazu wird der Strom durch das Werkstück geleitet. Es liegt als „Heizwiderstand“ direkt im Hauptstromkreis.



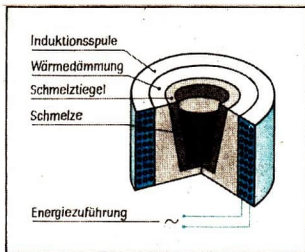
42/1 Direkte Widerstandserwärmung



42/2 Indirekte Widerstandserwärmung



43/1 Direkte Induktionserwärmung



43/2 Indirekte Induktionserwärmung

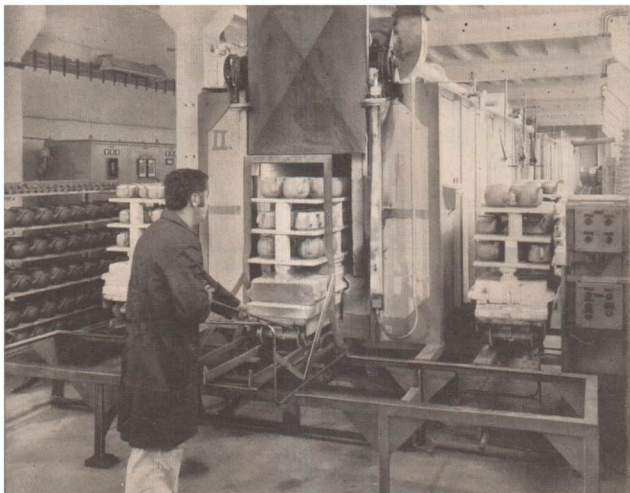
Da das Werkstück einen geringen Widerstand und einen relativ großen Querschnitt hat, werden kleine Spannungen und große Ströme benötigt. Zu diesem Zweck wird ein entsprechender Transformator vorgeschaltet.

► **Indirekte Widerstandserwärmung:** Die Energieumwandlung erfolgt in besonderen Heizwiderständen. Die Übertragung der Wärmeenergie auf das Werkstück erfolgt durch Wärmeleitung und -strahlung.

Als Heizwiderstand werden spezielle metallische Legierungen oder auch elektrisch leitende keramische Stoffe eingesetzt. Heizwiderstände und Werkstück sind in dem geschlossenen nach außen thermisch isolierten Raum untergebracht.

Eine Abwandlung der Widerstandserwärmung ist das Prinzip der *Induktionserwärmung*. Hier wird die Energieumwandlung durch den Stromfluß in einem Widerstand realisiert, jedoch wird der für diesen Vorgang erforderliche Stromfluß auf dem Wege der elektromagnetischen Induktion erzeugt. In jedem elektrisch leitenden Gegenstand wird eine Spannung induziert, wenn er sich in einem magnetischen Feld befindet und die Stärke des Feldes sich ändert. Ein solches „Wechselfeld“ kann durch Wechselspannung problemlos erzeugt werden.

-
- ① Erläutern Sie die technisch-physikalischen Prinzipien der Umwandlung von Elektroenergie in Wärmeenergie!
 - ② Welche Kriterien sind beim Einsatz von Elektroenergie für wärmetechnische Zwecke im Produktionsprozeß zu beachten?
 - ③ Nennen Sie Beispiele für den Einsatz von Elektrowärmegegeräten und -anlagen in Ihrem Betrieb!
 - a) Welches technisch-konstruktive Prinzip wird angewendet?
 - b) Aus welchen Gründen hat man sich für den Einsatz von Elektrowärme entschieden?
-



44/1 Brennen von keramischem Material in einem Elektrotunnelofen

Auch hier gibt es in der technischen Nutzung zwei technisch-konstruktiv verschiedene Arten der Induktionserwärmung (↗ Bilder 43/1 und 43/2).

► **Direkte Induktionserwärmung:** Ein magnetisches Wechselfeld induziert in einem zu erwärmenden Gegenstand eine elektrische Spannung, die „Wirbelströme“ erzeugt. Das Fließen dieser Wirbelströme durch den Gegenstand führt zu seiner Erwärmung.

Bei hohen Frequenzen des Wechselfeldes verlagert sich der Fluß der Wirbelströme in die Randzonen des Gegenstandes, und es wird nur die Oberfläche erwärmt.

► **Indirekte Induktionserwärmung:** Der zu erwärmende bzw. zu schmelzende Stoff befindet sich in einem Gefäß (Tiegel) aus Edelstahl oder elektrisch leitender Keramik. In diesem Gefäß wird die Wärme durch die induzierten Wirbelströme erzeugt.

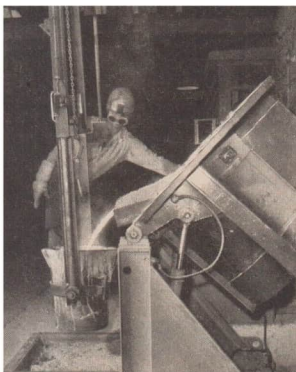
Wichtig ist, daß bei Schmelzvorgängen das Material des Tiegels einen höheren Schmelzpunkt hat als das sich in ihm befindende Schmelzgut.

Wärmegeräte und -anlagen im Produktionsprozeß. Durch die Vielfältigkeit der Einsatzgebiete von Elektrowärmegeräten und -anlagen im Produktionsprozeß ist ihre technisch-konstruktive Gestaltung sehr differenziert und von der jeweiligen Technologie des Produktionsprozesses abhängig. Ein großes Anwendungsgebiet ist die Erwärmung solcher Materialien, die für eine nachfolgende Warmverformung (Umformen) auf eine bestimmte Temperatur erwärmt werden müssen.

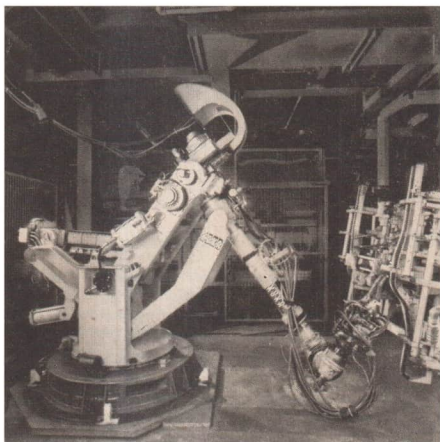
Große Bedeutung hat die Elektrowärme bei der Warmbehandlung von Stahl (Härten, Anlassen, Glühen, Vergüten). Hier wird vielfach das Prinzip der direkten Induktionserwärmung angewendet, um durch partielle Erwärmung des Werkstücks (z. B. Oberfläche) begrenzte Bereiche zu härten.

Ebenso werden in der keramischen Industrie Elektroöfen für Brennprozesse eingesetzt (→ Bild 44/1).

Ein weiterer umfangreicher technologischer Bereich für die Nutzung für Elektrowärme sind die Schmelzprozesse zum Schmelzen von metallischen und nichtmetallischen Stoffen (→ Bild 45/1).



45/1 Schmelzen in einem Mittelfrequenziegelofen (Abguß der Schmelze)



45/2 Punktschweißroboter beim Schweißen von Karosserieteilen

Das Widerstandspunkt- und -nahtschweißen ist eine spezielle Art der Widerstandserwärmung. Es zählt zu den effektivsten Technologien der Fügetechnik. An der Verbindungsstelle zweier Teile wird das Material bis auf Schmelztemperatur erwärmt, und es entsteht eine stoffschlüssige Verbindung (→ Bild 45/2).

Rationelle Nutzung der Elektrowärme. Unter technologischen und ökonomischen Gesichtspunkten hat der Einsatz von Elektrowärme viele Vorteile:

- ständige Betriebsbereitschaft,
- keine Rauchbelästigung,
- gute Regelbarkeit,
- geringe Raumbeanspruchung,
- keine chemischen Reaktionen,
- gute Arbeitsbedingungen.

Es ist jedoch zu beachten, daß Elektrowärmegeräte vielfach einen erheblichen Bedarf an Elektroenergie haben.

Das zeigen die folgenden Beispiele in der Übersicht:

Elektrowärmegerät	Leistungsaufnahme
Kochplatte	600 ... 1 300 W
Heißwasserspeicher	500 ... 6 000 W
Wärmespeicherofen	2 ... 5 kW
Widerstandsofen	100 kW
Lichtbogenofen (35 t)	12 000 kVA
Induktionsofen	120 kVA

Die Elektroenergie ist eine hochveredelte Energieform. Durch den mehrmaligen Umwandlungsprozess – vom Primärenergieträger ausgehend – ist ein umfangreicher technischer Aufwand erforderlich, und es treten große Umwandlungsverluste auf. Das führt zu einem beträchtlichen Kostenaufwand.

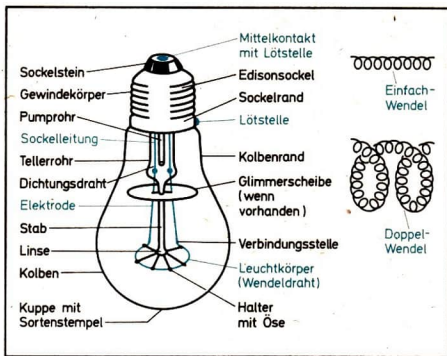
So entstehen beim Einsatz von Elektroenergie für wärmetechnische Zwecke Energiekosten, die etwa 4- bis 8mal so hoch sind wie beim Einsatz fester, flüssiger oder gasförmiger Brennstoffe. Deshalb wird Elektroenergie für wärmetechnische Zwecke nur dort eingesetzt, wo die hohen Energiekosten durch die Vorteile in der technologischen Anwendung aufgewogen werden bzw. Importenergieträger abgelöst werden können. ① ②

Elektrotechnische Beleuchtungsanlagen

Aufbau und Wirkungsweise der Glühlampe. Die Nutzung der Elektroenergie zum Gewinnen eines „künstlichen Lichtes“ reicht zurück in das 19. Jahrhundert. Dabei zielte die Entwicklung neben der Nutzung des Lichtbogens (Gasentladung) bei der „Bogenlampe“ auf die Schaffung einer gebrauchstüchtigen „Glühlampe“.

▶ In der Glühlampe wird ein dünner Widerstandsdraht durch den fließenden Strom bis zur Weißglut erhitzt und so zum Leuchten gebracht (Widerstandserwärmung).

47/1 Aufbau der Glühlampe (Allgebrauchslampe) mit Darstellung der Wendlungsarten des Leuchtkörpers

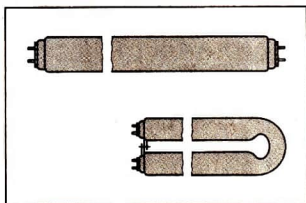
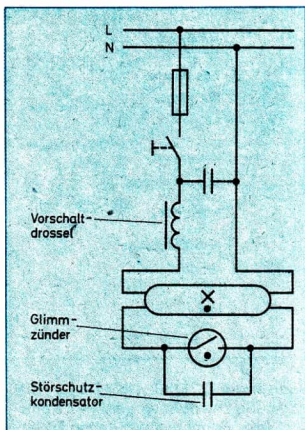


Mit der Entwicklung der Glühlampe sind Namen wie GOEBEL (1854), LEDYGIN (1873) und EDISON (1879) untrennbar verbunden. Die Entwicklung ging vom Kohlefaden über den einfachen bis zum gewendelten bzw. doppelt gewendelten Metallfaden. Die Lichtausbeute einer Glühlampe ist um so besser, je höher die Temperatur des verwendeten Widerstandes ist. Auf dem Wege zu höheren Temperaturen war der Ersatz des Vakuums im Kolben durch Edelgase, die Verwendung immer besserer Materialien für den „Leuchtdraht“ und seine Wendelung bzw. doppelte Wendelung wichtig.

Ein weiteres Ziel war die Erhöhung der Lebensdauer der Lampe (Kohlefadenlampe etwa 600 Stunden, heutige Allgebrauchslampe etwa 1000 Stunden).

Leistungsaufnahme und Spannung sind die wesentlichsten Merkmale, die bei der Auswahl und dem Einsatz der Glühlampen zu beachten sind.

- ① Der Gesamtwirkungsgrad in der Umwandlung von der Primärenergie zur Elektroenergie beträgt etwa 30 Prozent.
 - a) Berechnen Sie, welche Wärmeenergie bei der Verbrennung von 1 t Steinkohle auf dem Umwandlungsweg bis zur Elektroenergie verlorengelht! [Steinkohle enthält etwa 29 307,6 kJ (7000 kcal) je kg]
 - b) Welche Elektroenergie steht am Ende zur Verfügung, wenn 3600,65 kJ (860 kcal) eine kWh ergeben?
- ② Welche Wärmeenergie wird in einem elektrisch betriebenen Wärmewasserkessel erzeugt, wenn im Heizwiderstand bei einer Spannung von 220 V ein Strom von 25 A fließt und die Anlage 5 Stunden betrieben wird?



48/2 Gebräuchlichste Formen bei Niederspannungsleuchtstofflampen, U-Form (oben), Stabform (unten)

48/1 Schaltplan für die Installation einer Niederspannungsleuchtstofflampe

Aufbau und Wirkungsweise der Niederspannungsleuchtstofflampe. Leuchtstofflampen haben einen besseren Wirkungsgrad als Glühlampen. Ihre „Lichtausbeute“ ist etwa 4- bis 6mal so groß wie bei einer Glühlampe gleicher Leistung.

In einem gasgefüllten Rohrkolben (Stab- und U-Form) werden durch die angelegte Spannung (elektrisches Feld) Gasionen und neutrale Moleküle in Schwingungen versetzt und strahlen Energie in Form von UV-Strahlen ab. Durch die im Inneren des Rohres angebrachte spezielle „Leuchtstoffschicht“ wird die UV-Strahlung (Lumineszenzen) in Licht gewandelt.

Die Niederspannungsleuchtstofflampe benötigt zum Zünden beim Einschalten einen Spannungstoß. Dieser wird im Zusammenwirken von Glimmzünder und Vorschalt-drossel durch Induktion erzeugt. Die Vorschalt-drossel sichert außerdem die Strombegrenzung während des Betriebes.

Einsatz von Glüh- und Niederspannungsleuchtstofflampen. Die bessere Lichtausbeute der Niederspannungsleuchtstofflampe führt dazu, daß sie in zunehmendem Maße zur Beleuchtung von Kultur- und Produktionsräumen eingesetzt wird. Ein weiterer Vorteil ist die relative Blendungsfreiheit der Niederspannungsleuchtstofflampe durch ihre große Abstrahlungsfläche. Durch Leuchtstoffschichten verschiedener Zusammensetzung können unterschiedliche Lichtfarben (Tageslicht, Neutralweiß, gelblich-weiß, Warmton) erreicht werden.

Niederspannungsleuchtstofflampen sind jedoch gegen Spannungsschwankungen sehr empfindlich. Bei einer Unterspannung von mehr als 10 Prozent zünden sie nicht mehr. Häufiges Ein- und Ausschalten verkürzt ihre Lebensdauer. Die Anlage-

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
Niederspannungsleuchtstofflampe	Stabform	40	47...70
		65	46...66
	U-Form	40	55
		65	52

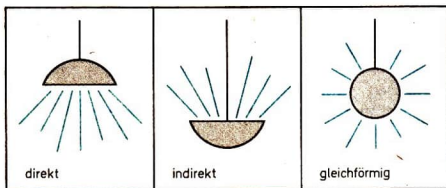
49/1 Vergleich von Glühlampe und Niederspannungsleuchtstofflampe

kosten sind durch den höheren Lampenpreis und durch die Kosten für Zusatzgeräte (Vorschaltdrossel – Glimmzünder – Kondensatoren) höher als bei Glühlampen. Alle diese Fakten sind neben den Energiekosten bei der Entscheidung, ob für einen bestimmten Zweck Glühlampen oder Niederspannungsleuchtstofflampen eingesetzt werden, zu beachten. Die wissenschaftlich-technische Entwicklung auf dem Gebiet der Lichtquellen verfolgt aus energieökonomischen Gründen eine Erhöhung der Lichtausbeute und aus materialökonomischen Gründen eine Erhöhung der Lebensdauer.

Lampe	Leistungsaufnahme in W	Lichtausbeute in lm je W	Lebensdauer in h
Niederspannungsleuchtstoffdoppelrohrlampe LD 9	9,0	55,5	5 000
Quecksilberdampf-Hochdrucklampe NF 80-01	80,0	42,5	12 000
Natriumdampf-Hochdrucklampe NA 175-01	175,0	80,0	8 000

49/2 Ausgewählte Beispiele für neuentwickelte Lichtquellen

- ① Überlegen Sie, unter welchen Bedingungen dem Einsatz von Niederspannungsleuchtstofflampen gegenüber Glühlampen der Vorzug zu geben ist!
- ② Berechnen Sie den Energiebedarf für die Beleuchtung eines Werkstattraumes bei 350 Betriebsstunden
 - a) beim Einsatz von Niederspannungsleuchtstofflampen mit einer Leistungsaufnahme von insgesamt 4500 W,
 - b) beim Einsatz von Glühlampen, wenn die gleiche Helligkeit erreicht werden soll! (Lichtausbeute lm/W: Leuchtstofflampen 51,5; Glühlampen 10,3)



50/1 Die Art der Lichtverteilung der Leuchten ist vom Beleuchtungszweck abhängig.

Ein Ergebnis ist z. B. die Entwicklung der NL-Doppelrohrlampe, eine kompakte Leuchtstofflampe mit einem Stecksockel und integriertem Starter, die neue Einsatzgebiete im Wohnbereich erschließt.

Beachtliche Ergebnisse wurden auch in der Entwicklung der Quecksilber-Hochdrucklampen und Natriumdampf-Hochdrucklampen erreicht. Diese Lampen eignen sich jedoch nur für langfristig betriebene Allgemeinbeleuchtung von Straßen, Plätzen, Produktionshallen usw., weil sie eine Anheizzeit von 4 bis 8 Minuten benötigen.

Beleuchtungskörper und Beleuchtungsschaltungen. Allgemeine Gesichtspunkte für eine gute Beleuchtung sind:

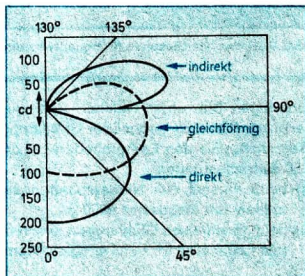
- ausreichende Beleuchtungsstärke
- Vermeiden von starker Schattenbildung
- geringer Unterschied zwischen Allgemeinbeleuchtung und Beleuchtung des Arbeitsplatzes
- zweckentsprechende Lichtfarbe

Neben dem Einsatz der entsprechenden Lampen ist für eine gute Beleuchtung die Verwendung zweckmäßiger Beleuchtungskörper – kurz als **Leuchten** bezeichnet – wichtig (→ Bild 50/1).

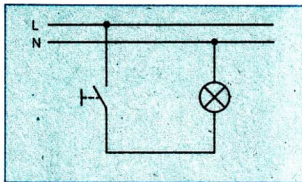
Die **Aufgaben der Leuchte** bestehen darin, eine zweckentsprechende und blendungsfreie Lichtverteilung zu sichern, das erforderliche Zubehör (Fassung, Anschlußklemmen, Zusatzeinrichtungen) aufzunehmen und die Lampe gegen Beschädigung und Verschmutzung zu schützen.

Die Lichtverteilung der Leuchte kann man grafisch durch die Lichtverteilungskurve darstellen (→ Bild 50/2).

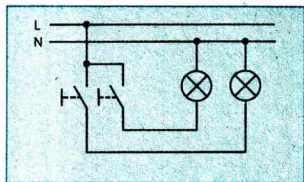
Beleuchtungsanlagen zu berechnen und zu gestalten ist eine wichtige Aufgabe, bei der Gesichtspunkte der Ästhetik, der Arbeitsplatzgestaltung und der Energieökonomie zu beachten sind. ②



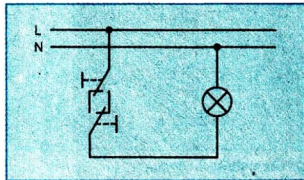
50/2 Verschiedene Lichtverteilungskurven



51/1 Schaltplan der Ausschaltung



51/2 Schaltplan der Serienschaltung



51/3 Schaltplan der Wechselschaltung

Für die Installation von Beleuchtungsanlagen werden die folgenden Grundsaltungen verwendet:

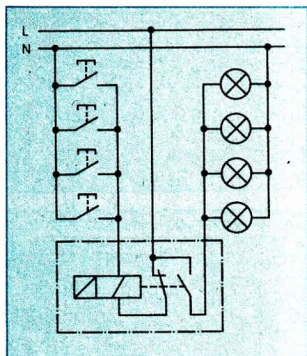
Ausschaltung. Eine Lampe kann von einer bestimmten Stelle ein- oder ausgeschaltet werden (↗ Bild 51/1).

Serienschaltung. Zwei Lampen oder Lampengruppen können von einer bestimmten Stelle gemeinsam oder einzeln ein- oder ausgeschaltet werden (↗ Bild 51/2). ③

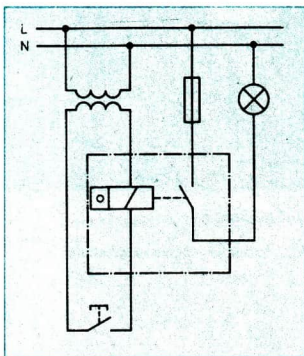
Wechselschaltung. Eine Lampe oder Lampengruppe kann von zwei räumlich getrennten Stellen ein- oder ausgeschaltet werden (↗ Bild 51/3).

Zeitrelaisschaltung (Treppenhauusschaltung). Durch Tastschalter in den einzelnen Stockwerken wird ein Zeitrelais betätigt, welches den Lampenstromkreis schließt. Mit einer einstellbaren Zeitverzögerung unterbricht das Relais selbsttätig den Lampenstromkreis (↗ Bild 52/1).

-
- ① Wieviel kWh beträgt die Energieeinsparung innerhalb eines Jahres bei der Beleuchtung einer Produktionshalle, wenn an Stelle von Glühlampen mit 25 000 W Leistungsaufnahme entsprechende Niederspannungsleuchtstofflampen verwendet werden? (8 Stunden je Tag – 250 Arbeitstage im Jahr)
 - ② Welche Vorteile bietet die Kombination von Allgemeinbeleuchtung und Arbeitsplatzbeleuchtung beim Beleuchten von Produktionsräumen?
 - ③ Welche Vorteile bietet die Anwendung der Serienschaltung in der Beleuchtungstechnik, wie viele Helligkeitsstufen der Raumbeleuchtung können maximal erreicht werden?
-



52/1 Zeitrelaisschaltung



52/2 Installationsfernsteuerung ① ②

Die Zeitrelaisschaltung ist für die Beleuchtung von Räumen, die nur kurzzeitig passiert werden, eine energieökonomische technische Lösung.

Installationsfernsteuerung. Durch Tastschalter wird ein mit Kleinspannung betriebenes *Stromstoßrelais* betätigt, welches den Lampenstromkreis schließt. Bei erneuter Betätigung des Tastschalters (Stromstoß) wird der Lampenstromkreis wieder unterbrochen. Die Schutzkleinspannung für den Steuerstromkreis wird durch einen Transformator bereitgestellt (↗ Bild 52/2).

Für den Steuerstromkreis der Installationsfernsteuerung wird Schutzkleinspannung verwendet. Das ermöglicht den Einsatz von Leitungen mit geringem Querschnitt und dünner Isolation. Die dadurch einfache Verlegung der Steuerleitungen bietet Vorteile bei modernen Bautechnologien.

Drehstromasynchronmotor als Beispiel für elektromotorische Antriebe

Täglich begegnen wir Maschinen und Geräten, die von Elektromotoren angetrieben werden. Der Elektromotor ist zur wichtigsten Antriebsmaschine geworden. Heute werden ungefähr 80 Prozent aller technischen Bewegungsabläufe mit dieser Antriebsart verwirklicht, und die Tendenz ist steigend.

- Ein einziger Brückenverband in einem Braunkohlentagebau bewegt sich mit nahezu 1000 Elektromotoren der verschiedensten Bauarten.
- In einem Großbetrieb treiben durchschnittlich 20 000 Elektromotoren die verschiedensten Maschinen an.
- Ein moderner Haushalt ist mit 10 bis 15 Elektromotoren ausgestattet. ③

▶ Mit Elektromotoren lassen sich vielfältige praktische Antriebsaufgaben relativ einfach verwirklichen. Dies ist durch unterschiedliche Funktions- und Konstruktionsprinzipien möglich, die auch den Anschluß an unterschiedliche Spannungsquellen ermöglichen.

In den Anfangsjahren ersetzten Elektromotoren mit großen Leistungen die bis dahin verwendeten Dampfmaschinen bzw. Gasmotoren. Die Antriebsenergie wurde dabei über Transmissionen oft zu vielen Maschinen geleitet. Mehr und mehr setzte sich der Einzelantrieb mit kleineren Motoren durch. Heute besitzen moderne Maschinen eine Vielzahl von Elektromotoren, weil sich damit komplizierte Bewegungsabläufe leichter verwirklichen lassen als mit aufwendigen Übertragungsmechanismen. In unserer Republik werden Elektromotoren in 12 Betrieben, die zum VEB Kombinat Elektromaschinenbau gehören, produziert. In Dresden wurden bereits um 1890 die ersten elektrischen Maschinen gefertigt.

In allen Elektromotoren wird die Kraftwirkung genutzt, die ein stromführender Leiter im Magnetfeld erfährt (\nearrow Ph i ÜB, S. 133). Der Strom kann dem „Leiter“ auf folgende Arten zugeführt werden:

Art der Stromzuführung	Technische Lösung
Direkt (galvanisch) Indirekt (elektromagnetische Induktion)	Schleifkontakte Veränderliches Magnetfeld

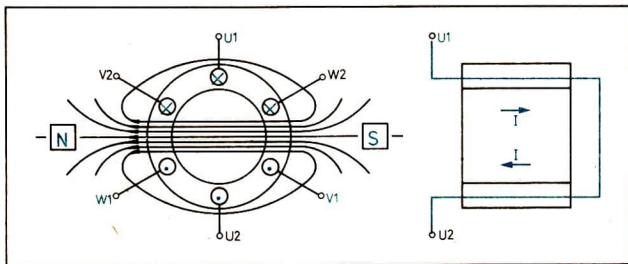
Die indirekte Stromzuführung mittels elektromagnetischer Induktion bietet eine Vielzahl praktischer Vorteile. Induktionsmotoren sind deshalb zur wichtigsten Antriebsart geworden. Der am häufigsten eingesetzte Motor ist der Drehstromasynchronmotor mit Kurzschlußläufer. In diesem Motor wird das veränderliche Magnetfeld durch Dreiphasenwechselstrom erzeugt.

Wirkungsweise des Drehstromasynchronmotors

Entstehung des magnetischen Drehfeldes. Wird ein Dauermagnet in Rotation versetzt, so dreht sich auch sein Magnetfeld.

13

-
- ① Überlegen Sie, wie die Installationsfern-schaltung als Wechselschaltung installiert werden kann!
Entwerfen Sie einen Schaltplan!
 - ② Welche Anforderungen werden an das Leitungsmaterial des Steuerstromkreises der Installationsfern-schaltung gestellt?
 - ③ Nennen Sie Beispiele für den Einsatz von Elektromotoren im Haushalt!
-



54/1 Anordnung der drei um 120° räumlich versetzten Spulen in einem kreisförmigen Ständer. Betrachtet wird der Stromfluß in Spule 1.

Ein rotierendes Magnetfeld wird als **Drehfeld** bezeichnet.

Dieses Drehfeld wirkt auf einen drehbar gelagerten Eisenblechstreifen, der ebenfalls in eine Rotationsbewegung versetzt wird. Ein Drehfeld kann auch mit einer ruhenden Anordnung erzeugt werden, wenn Dreiphasenwechselspannung und drei um jeweils 120° räumlich versetzte Spulen vorhanden sind, wie das in Bild 54/1 gezeigt ist.

Eine solche Anordnung besitzt der Ständer des Drehstromasynchronmotors. Es ist möglich, das Vorhandensein des Drehfeldes damit experimentell nachzuweisen.

Legt man an eine Spulenanordnung von drei räumlich um 120° versetzten Spulen Dreiphasenwechselspannung an, so entsteht ein Drehfeld.

Durch die einfache Möglichkeit der Erzeugung eines rotierenden Magnetfeldes mittels Drehstrom läßt sich mit geringem technischem Aufwand Elektroenergie in mechanische Rotationsenergie umwandeln. Weil mit Hilfe des Dreiphasenwechselstromes ein magnetisches Drehfeld erzeugt werden kann, bezeichnet man diese Stromart auch als Drehstrom. ①

Entstehung des Drehmoments

Untersuchen Sie experimentell das Verhalten von Werkstoffen und Läuferformen im Drehfeld!

Ergebnis:

Läufermaterialien und -formen erfahren im Drehfeld ein Drehmoment, wenn sie folgende Bedingungen erfüllen:

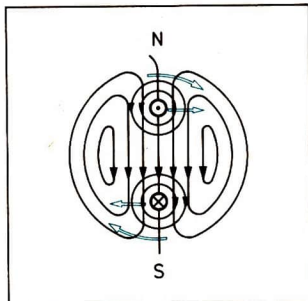
- Sie müssen aus elektrisch leitenden Stoffen bestehen.
- Die elektrischen Leiter müssen in sich geschlossene Kreise bilden.

Ursache für die Kraftwirkung im Läufermaterial sind elektrische Ströme. Sie werden im Läufer durch elektromagnetische Induktion erzeugt.

Betrachten wir im Augenblick des Einschaltens eines Drehfeldes den Stromfluß in den beiden Teilen einer Leiterschleife.

Das trägheitsfreie Magnetfeld besitzt sofort seine volle Drehzahl. Die Leiterschleife ruht noch. Am oberen Leiterteil drehe sich das Feld nach rechts vorbei. Dies ist damit gleichbedeutend, als ob sich der Leiter im ruhenden Magnetfeld nach links bewegen würde (Ursache). Auf die Ladungsträger des Leiters wirkt eine Kraft. In der Leiterschleife fließt ein Strom. Dieser ist sowohl senkrecht zum Magnetfeld als auch zur scheinbaren Bewegung des Leiters gerichtet ($\vec{v} \times \vec{B} \parallel \vec{I}$, S. 133). Seine Richtung ist aus Bild 55/1 ersichtlich. Im unteren Leiterteil sind die Verhältnisse analog. Die im Magnetfeld befindlichen nun stromführenden Leiter erfahren eine Kraft. Diese Kraft wirkt senkrecht zu den Feldlinien und zum stromdurchflossenen Leiter.

Die Bewegungsrichtung des Feldes und die entstehende Kraft liegen somit auf der gleichen Wirkungslinie. Die Richtung dieser Kraft ergibt sich aus dem LENZ'schen Gesetz. Da Induktionsströme stets so gerichtet sind, daß sie ihrer Ursache entgegenwirken (scheinbare Bewegung des Leiters gegen das Drehfeld), erfährt die Leiterschleife in beiden Teilen ein Drehmoment in Richtung des Drehfeldes. Die Leiterschleife folgt dem Feld. Aber nicht nur im Augenblick des Einschaltens wird im Läufermaterial Spannung induziert. Das geschieht auch im sich drehenden Läufer. Allerdings nur dann, wenn Drehfeld und Läufer unterschiedliche Geschwindigkeiten haben. Je mehr sich die Drehzahl des Läufers der des Feldes nähert, um so geringer wird die im Läufer induzierte Spannung, und damit verringert sich auch der Läuferstrom. Im Fall des Gleichlaufs (Synchronlauf) von Drehfeld und Läufer würde der Läufer relativ zum Drehfeld stillstehen. Es würde keine Spannung induziert werden. Diesen Grenzfall kann der Läufer wegen des Luftwiderstandes und vorhandener Reibungskräfte aus eigener Kraft nie erreichen. Die Läuferdrehzahl bleibt stets hinter der Drehzahl des Drehfeldes zurück. ②



55/1 Leiterschleife im Magnetfeld

- ① Welche Bedingungen müssen erfüllt sein, damit mit Drehstrom ein Drehfeld erzeugt werden kann?
- ② Begründen Sie, daß bei Drehstromasynchronmotoren kein Gleichlauf zwischen Drehfeld und Läufer möglich ist!

▶ Motoren, bei denen kein Gleichlauf zwischen dem Magnetfeld und dem Läufer möglich ist, werden als Asynchronmotoren bezeichnet. Zu dieser Gruppe gehört der Drehstromasynchronmotor mit Kurzschlußläufer.

Konstruktive Gestaltung des Drehstromasynchronmotors mit Kurzschlußläufer

14

Rotierende elektrische Maschinen besitzen grundsätzlich drei Teile: Stator (Ständer), Rotor (Läufer) und Lagerung.

Stator: Er umfaßt alle feststehenden Teile. Dazu gehören besonders das **Ständerblechpaket** und die **Wicklung**. Das Ständerblechpaket besteht aus gestanzten Dynamoblechen, die gegeneinander meist durch eine Oxidschicht (Zunder) isoliert sind. Das ist notwendig, um die Wirbelströme zu verringern, die zu zusätzlicher Erwärmung und damit zu Energieverlusten führen würden (→ Bild 57/1).

Blechpakete kleinerer Motoren, die in hohen Stückzahlen gefertigt werden, sind außen verschweißt. Größere Blechpakete werden durch Nieten oder Klammern zusammengehalten.

In den Nuten befindet sich die dreiphasige Wicklung. Die einzelnen Windungen bestehen aus Kupfer- oder Aluminiumdraht, der mit Lack isoliert ist. Getränkte Gewebe und Plastmaterialien verhindern zwischen den einzelnen Spulen Kurzschlüsse und zwischen den Spulen und dem Blechpaket Körperschluß. Die Spulenden sind meist an ein standardisiertes Klemmbrett geführt. Das Leistungsschild, auf dem die technischen Daten des Motors verzeichnet sind, und das Gehäuse vervollständigen den Stator (→ Bilder 57/1 und 57/2).

Rotor: Auch der Rotor besitzt ein **Blechpaket**. In den Nuten des Läuferblechpaketes befindet sich beim Kurzschlußläufer eine **Käfigwicklung**. Die einzelnen Bleche werden in einer Druckgußform zusammengesetzt. Flüssiges Aluminium wird unter hohem Druck in die Form gepreßt. Dabei werden die Nuten vollständig ausgefüllt. Es entstehen Stäbe, die während des Gießens an den Enden durch Ringe verbunden werden. Nach dem Erstarren hält der Läuferkäfig das Blechpaket zusammen. Der Läuferkäfig besteht damit aus mehreren in sich geschlossenen Leiterschleifen. Bei größeren Motoren werden Stäbe aus Kupfer, Bronze oder Messing in das Blechpaket geschoben. Diese werden an den Stirnseiten mit Kurzschlußringen verschweißt (→ Bilder 57/3 und 57/4).

Blechpaket und Käfigwicklung bilden eine robuste Einheit, die hohen mechanischen, thermischen und elektrischen Beanspruchungen standhält. Der Läuferkörper wird auf eine Welle gepreßt. Auf dieser wird bei der Montage oft noch ein Lötter befestigt.

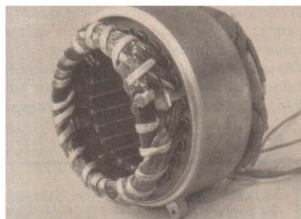
Lagerung: Die Welle des Motors wird in Wälz- oder Gleitlagern gelagert. Bei kleineren und mittleren Motoren werden die Lager von den Lagerschilden aufgenommen. Für größere Motoren ist ein besonderes Läufergestell notwendig.

Abhängigkeit der Drehzahl

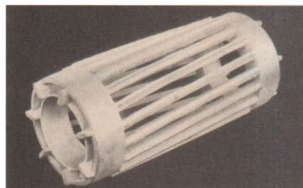
▶ Die **Drehzahl des Läufers** wird von der Drehzahl des Drehfeldes bestimmt. Diese wiederum ist von der Frequenz des Drehstromes abhängig.



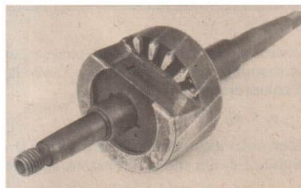
57/1 Blechpaket mit Nuten



57/2 Stator mit eingelegerter Wicklung



57/3 Kurzschlußläuferkäfig



57/4 Rotor, ein Segment herausgeschnitten

Eine Frequenzänderung des technischen Drehstromes ($f = 50 \text{ Hz}$) und damit eine Drehzahlstellung des Motors ist zwar möglich, findet aber wegen des derzeit damit verbundenen hohen technischen Aufwandes noch wenig Anwendung. Hier bieten sich neue Einsatzmöglichkeiten der Leistungselektronik an.

Um Drehstromasynchronmotoren mit Kurzschlußläufer mit unterschiedlichen Drehzahlen trotz gleicher Netzfrequenz zu erhalten, wurde in der Praxis ein anderer Weg gewählt. Ordnet man im Ständer drei um jeweils 120° versetzte Spulen an, so entsteht ein *Polpaar* mit einem Nord- und einem Südpol. Das Drehfeld besitzt bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ eine Drehzahl von $n_d = 50 \text{ s}^{-1}$. Da Drehzahlen in Umdrehungen je Minute angegeben werden, ist diese Drehzahl mit 60 zu multiplizieren.

$$n_d = 3000 \text{ min}^{-1}$$

57/5 Leistungsschild eines Drehstromasynchronmotors

VEM	VEB Elektromotorenwerk		1
	Grünhain		
Typ DNK 134/2-F3/300		D Mot	
2 4 8 4 8 9 /84		IM	
cos φ	0,83	50 Hz	
Δ/Y	220/380 V	1,99/1,15 A	
	2870 U/min	4,3 kg IP 44	
W-Kl. E	400 W		
TGL 11854			

Rückt man die drei Spulen auf den halben Umfang des Ständers zusammen und ordnet auf der anderen Seite ein weiteres Spulensystem an, so entstehen auf dem gesamten Umfang zwei Polpaare.

Dieses Drehfeld führt während einer Periode des Stromes nur eine halbe Umdrehung aus. Die Drehzahl ist also nur halb so groß.

Sie ist demnach der Anzahl der Polpaare p umgekehrt proportional.

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

Je mehr Spulensysteme im Ständer angeordnet werden, um so größer wird die Anzahl der Polpaare und um so kleiner wird die Drehzahl.

$$\text{Allgemein gilt: } n_d = \frac{f \cdot 60}{p}$$

Zwischen der Drehzahl des Feldes n_d und der des Läufers n ist stets eine Differenz vorhanden (Asynchronmotor). Diese ist von der Belastung abhängig und wird als Schlupfdrehzahl n_s bezeichnet.

$$n_s = n_d - n$$

Man setzt diese Schlupfdrehzahl zur Drehfeldzahl ins Verhältnis und erhält den Schlupf s , der meist in Prozent angegeben wird.

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

Der Schlupf beträgt beim Nenndrehmoment (standardisierte Belastung des Motors) etwa 2 bis 6 % bei kleinen und weniger als 1 % bei großen Maschinen.

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

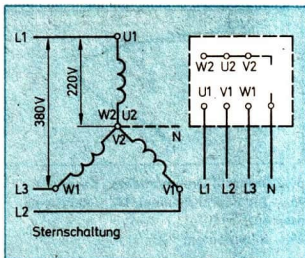
Sie beziehen sich auf eine Netzfrequenz von 50 Hz.

Polpaare	1	2	3	4
Drehfeldzahl in min^{-1}	3 000	1 500	1 000	750
Nenndrehzahl in min^{-1}	2 875	1 425	924	720

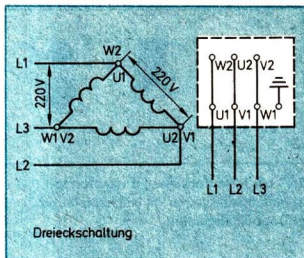
Motoren für spezielle Antriebe können im Ständer zwei verschiedene Spulensysteme besitzen. Durch die Umschaltung dieser Systeme ist der Motor für zwei verschiedene Drehzahlstufen einsetzbar.

Schaltung des Drehstromasynchronmotors

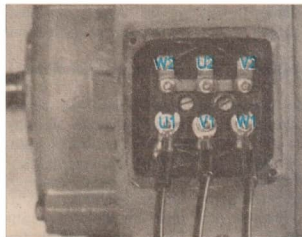
Drehstrommotoren sind in der Regel so ausgeführt, daß sie für zwei Spannungsebenen eingesetzt werden können. Das ist notwendig, weil es neben dem gebräuchlichen Drehstromnetz mit einer Leiterspannung von 380 V auch noch ein solches mit einer Leiterspannung von 220 V gibt. Die Wicklung des Motors ist so angelegt, daß bei einer Spulenspannung (Strangspannung) von 220 V in dieser die



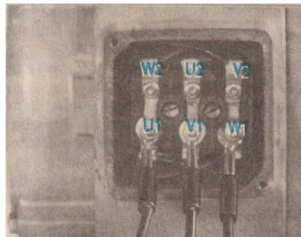
59/1 Motorwicklungen in Sternschaltung



59/2 Motorwicklungen in Dreieckschaltung



59/3 Klemmbrett bei Sternschaltung



59/4 Klemmbrett bei Dreieckschaltung

höchstzulässige Stromstärke fließt. Soll der Motor an ein Netz mit einer Leiterspannung von 380 V angeschlossen werden, so ist dies grundsätzlich nur in Sternschaltung möglich. Die Strangspannung beträgt dann 220 V. Wird der Motor jedoch an ein Drehstromnetz mit einer Leiterspannung von 220 V angeschlossen, so sind die Spulen in Dreieck zu schalten.

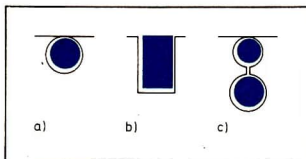
Zu diesem Zweck besitzen die meisten Elektromotoren ein standardisiertes Klemmbrett. An diesem sind die Anfänge und Enden der drei Spulen befestigt. Durch Veränderung der Lage der Klemmbrücken lässt sich die eine in die andere Schaltung überführen. Die Anordnung W2–U2–V2 ermöglicht eine kreuzungsfreie Lage der Klemmbrücken bei der Dreieckschaltung.

Betriebsverhalten

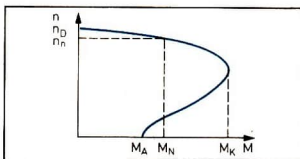
- ▼ *Schalten Sie je nach den Spannungsverhältnissen im Fachunterrichtsraum das Motormodell über einen handbetätigten dreipoligen Stellschalter an das Drehstromnetz!*

Messen Sie in einem Leiter den Anlauf- und den Leerlaufstrom!

Das technische Betriebsverhalten und die Leistung eines Motors sind für die optimale Anpassung an die Arbeitsmaschine von großer Bedeutung. Weitere Faktoren sind die Bauform, die Art der Kühlung, die geforderte Schutzart sowie ökonomi-



60/1 Läuferformen und -stabformen
 a) Einfachkäfigläufer, b) Hochstabläufer,
 c) Doppelkäfigläufer



60/2 Drehzahl-Drehmoment Kennlinie
 M_A – Anlaufdrehmoment, M_N – Nennmoment,
 M_K – Kippmoment

sche Überlegungen. Die Motorenarten zeigen recht unterschiedliches Verhalten. Meßreihen geben Auskunft über bestimmte funktionale Zusammenhänge. Diese werden in Kennlinien verdeutlicht. Die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie gibt beispielsweise Auskunft, bei welcher mechanischen Belastung des Motors sich welche Drehzahl einstellt. Man kann ebenfalls daraus ablesen, wie hoch sein maximales Drehmoment ist (→ Bild 60/2).

Der Drehstromasynchronmotor mit Kurzschlußläufer zeigt das folgende charakteristische Verhalten:

Anlaufstrom: Der Anlaufstrom ist sehr hoch. Er kann das 4- bis 8fache des Nennstromes (Stromaufnahme bei Abgabe des Nenn Drehmoments) betragen. Im Moment des Einschaltens steht der Läufer noch still. In ihm wird die maximale Spannung induziert, die das Fließen eines großen Stromes hervorruft (Kurzschlußläufer). Der Motor kann im Augenblick des Stillstandes mit einem kurzgeschlossenen Transformator verglichen werden. Wenn sekundärseitig ein Kurzschluß auftritt, muß auch primärseitig ein sehr hoher Strom fließen. Also fließt im Motor ein sehr großer Ständerstrom. Mit zunehmender Drehzahl sinkt der Strom bis auf einen der jeweiligen Belastung entsprechenden Wert.

Anlaufdrehmoment: Dem hohen Anlaufstrom steht ein relativ geringes Anlaufdrehmoment entgegen. Es liegt in der Nähe des Nenn Drehmoments. Der Grund dafür ist die Höhe der Frequenz des Läuferstromes. Die Frequenz der im Läufer induzierten Spannung wird vom Schlupf bestimmt. Sie ist im Moment des Einschaltens am größten und nimmt mit steigender Drehzahl des Läufers ab. Sie wirkt sich auf den induktiven Widerstand der Käfigwicklung aus und bestimmt damit die Größe der Phasenverschiebung des Läuferstromes. Durch besondere Stabformen (→ Bild 60/1) kann das Anlaufverhalten verbessert werden.

Leerlaufstrom: Im unbelasteten Zustand erreicht der Motor die Leerlaufdrehzahl n_o . In ihm fließt dabei ein relativ hoher Strom. Obwohl keine nutzbringende Arbeit verrichtet wird, kann der Leerlaufstrom bei kleineren Maschinen bis zu 60 % des Nennstromes betragen. Das ständige Ummagnetisieren der Eisenkerne von Stator und Rotor ist der Hauptgrund dieses hohen Energiebedarfs.

Nennstrom: Jeder Motor ist für eine bestimmte Nennleistung und Nennzahl konstruiert. Diese Werte sind auf dem Leistungsschild von Motoren angegeben. Die Stromstärke bei dieser Drehzahl und Leistung ist der Nennstrom, der ebenfalls auf dem Leistungsschild des Motors in Verbindung mit der Betriebsspannung angegeben wird. Von diesem Wert ausgehend, können Rückschlüsse auf den zu erwartenden Anlauf- und Leerlaufstrom gezogen werden.

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 ver-

langte Arbeit zunächst aus der kinetischen Energie des Läufers nehmen, so daß die Drehzahl sinkt. Durch die Drehzahlminderung nimmt die Relativgeschwindigkeit zwischen Drehfeld und Läufer zu. Damit vergrößern sich aber die induzierte Spannung und der Läuferstrom. Der Schlupf wird so groß, daß der Motor das verlangte Drehmoment abgeben kann. Der Schlupf hängt somit von der Größe des abgegebenen Drehmoments – also von der mechanischen Belastung – ab. Schlupf und Drehmoment sind bei nicht zu großer Belastung annähernd proportional. Die Drehzahl sinkt bei zunehmender Belastung also nur gering.

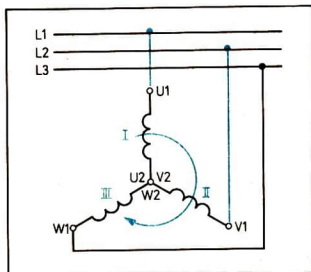
Drehrichtungsänderung

▼ Untersuchen Sie das Verhalten des Motors nach Vertauschen von Zuleitungen!

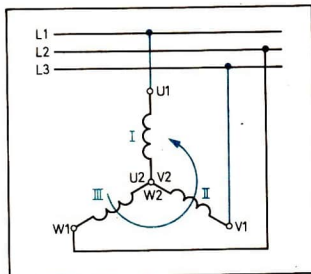
Die Drehrichtung des Drehstromasynchronmotors wird von der Drehrichtung des Drehfeldes bestimmt. Die Änderung der Richtung des Feldes führt folglich auch zur Drehrichtungsänderung des Läufers. Durch den einfachen Aufbau des Käfigläufers sind grundsätzlich beide Drehrichtungen möglich.

In einem Drehstromsystem mit den Leitern L1, L2 und L3 erreichen die Ströme auch in dieser Reihenfolge den Maximalwert. Die in Stern geschalteten Spulen können in folgender Weise (→ Bild 61/1) an das Drehstromnetz geschaltet werden:

- | | | |
|----|-------|-----------|
| U1 | an L1 | Spule I |
| V1 | an L2 | Spule II |
| W1 | an L3 | Spule III |



61/1 Rechtslauf des Motors



61/2 Linkslauf des Motors

- ① Berechnen Sie den Schlupf für einen Motor mit zwei Polpaaren (→ Tabelle, S. 58)!
- ② Überlegen Sie, wie aus der auf dem Leistungsschild angegebenen Drehzahl die Anzahl der Polpaare bestimmt werden kann!
- ③ In einigen Ländern, so z. B. in der Republik Kuba, beträgt die Netzfrequenz 60 Hz. Stellen Sie die Drehzahlen der Drehfelder für dort eingesetzte Asynchronmotoren zusammen!
- ④ Geben Sie die Nenn Drehzahlen an, wenn jeweils mit einem Schlupf von 5 % gerechnet wird!

Bei dieser Schaltung tritt das positive Strommaximum zuerst in Spule I, dann in Spule II und zuletzt in Spule III auf. Das Drehfeld läuft im Uhrzeigersinn um. Bei diesem Anschluß dreht sich der Läufer im Rechtslauf (von der Antriebsseite aus gesehen). Werden die Anschlüsse nach Bild 61/2 hergestellt, so liegen

U1 an L1 Spule I
 V1 an L3 Spule II
 W1 an L2 Spule III

Damit erhält wieder die Spule I zuerst den maximalen Stromwert, dann aber die Spule III, da sie am Leiter L2 angeklemt wurde. Erst dann erreicht der Strom in der Spule II den Maximalwert. Das Drehfeld läuft entgegen dem Uhrzeigersinn (Linkslauf).

Die Drehrichtungsumkehr kann auch erfolgen, wenn die Motoren in Dreieck geschaltet sind.

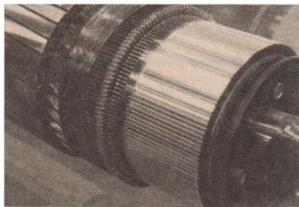
Soll die Drehrichtung des Drehfeldes umgekehrt werden, so müssen zwei beliebige Anschlüsse der Spulen am Netz vertauscht werden. Mit der Änderung der Richtung des Drehfeldes ändert sich auch die Drehrichtung des Läufers des Drehstrommotors.

Vorteile und Grenzen des Drehstromasynchronmotors mit Kurzschlußläufer

16

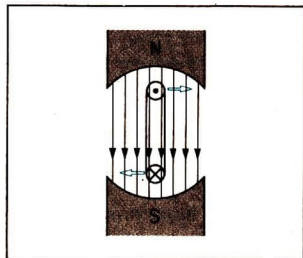
Die weitverbreitete Anwendung dieser Motorart ist besonders auf den unkomplizierten konstruktiven Aufbau zurückzuführen, der eine rationelle Fertigung in automatisierten Anlagen erlaubt. Er wird vorzugsweise für solche Antriebsaufgaben eingesetzt, die eine relativ konstante Drehzahl erfordern. So findet man ihn beispielsweise als Antriebsmotor für viele Werkzeug- und Verarbeitungsmaschinen, als Pumpen- und Lüfterantrieb in Industrie und Landwirtschaft.

Da der Läuferstrom durch elektromagnetische Induktion hervorgerufen wird, entfallen Schleifkontakte. Der Motor arbeitet deshalb funkenfrei und benötigt nur einen äußerst geringen Wartungsaufwand. Kurzzeitige Überlastungen bis in die Nähe des Kippmoments (etwa das 2- bis 2,5fache des Nennrehmoments) wirken sich nicht nachteilig für den Motor aus. Gegenüber anderen Motorarten besitzt er allerdings ein ungünstiges Masse-Leistungs-Verhältnis. Der hohe Anlaufstrom bei ei-



62/1 Kommutator des Gleichstrommotors

62/2 Entstehung des Drehmoments



nem relativ geringen Anlaufdrehmoment sowie die schwer zu verwirklichende Drehzahlstellung begrenzen seinen Einsatz. ① ②

In unserer Republik werden Drehstromasynchronmotoren mit Kurzschlußläufer seit 1955 in standardisierten Einheitsreihen gefertigt. Diese Reihen umfassen heute Motoren im Leistungsbereich von 0,12... 160 kW. Der hohe Standardisierungsgrad im Rahmen des RGW brachte für die Produzenten und für die Anwender eine Vielzahl von Vorteilen. Die Typenbegrenzung ermöglichte eine rationelle Fertigung in Großserien. Ständige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten führten seither zu einer günstigeren Gestaltung des Masse-Leistungs-Verhältnisses und damit zu Materialeinsparungen großen Ausmaßes. So konnte beispielsweise die Masse eines Standardmotors von anfänglich 146 kg auf nur noch 84 kg gesenkt werden. Gleichzeitig stieg die Leistung von bisher 10 kW auf nunmehr 11 kW.

Beim Anwender ermöglichen die einheitlichen Maße die schnelle Austauschbarkeit eines Motors oder von Einzelteilen. Der Elektromaschinenbau unseres Landes wurde besonders durch diese Einheitsreihen zu einem geachteten Welthandelspartner.

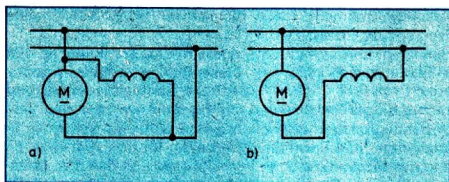
Einsatz weiterer Elektromotoren in der Produktion

Gleichstrommotoren. Bei nichtstationären Antriebsaufgaben, wie sie z. B. bei elektrifizierten Bahnen auftreten, bereitet die Zuführung von Dreiphasenwechselspannung Schwierigkeiten, weil mindestens drei Leitungen notwendig wären. Zur Erfüllung solcher Aufgaben eignen sich Gleichspannung und Einphasen-Wechselspannung besser, denn es sind nur zwei Zuleitungen notwendig.

Während bei Asynchronmotoren der Läuferstrom durch elektromagnetische Induktion hervorgerufen wird, ist bei Gleichstrommotoren eine direkte (galvanische) Stromzuführung zum Läufer notwendig (→ Bild 62/1).

Entstehung des Drehmoments. Im ruhenden Magnetfeld des Ständers, das durch Gleichstrom hervorgerufen wird, ist eine Leiterschleife drehbar gelagert. Läßt man durch die Leiterschleife einen Gleichstrom entsprechend der in Bild 62/2 angegebenen Richtung fließen, so wirkt auf den oberen Leiterteil eine Kraft nach rechts. Auf den unteren Leiterteil wirkt eine Kraft nach links. Dadurch wird die Leiterschleife in Uhrzeigerichtung solange gedreht, bis sie quer zum Feld steht. In diesem Punkt erfolgt durch den Kommutator (Stromwender) eine Umkehr der Stromrichtung in der Leiterschleife (→ Ph i Üb, S. 134). Der Läufer bewegt sich durch Trägheitskräfte über diesen Punkt hinaus. Auf die Leiterschleife wirken wiederum Kräfte, die den Läufer in Uhrzeigerichtung bewegen. Durch die ständige Stromwendung führt der Läufer eine Drehbewegung aus.

-
- ① Wann wird im Kurzschlußläufer die größte Spannung induziert? Begründen Sie Ihre Antwort!
 - ② Begründen Sie, weshalb das Drehstromnetz, an dem ein Asynchronmotor mit Kurzschlußläufer angeschlossen werden soll, stärker abzusichern ist, als es die Stromstärke auf dem Leistungsschild angibt!
 - ③ Warum muß der Leerlauf eines Drehstromasynchronmotors weitgehend vermieden werden?
-



64/1 Schaltungsarten
des Gleichstrommotors

- a) Nebenschlußmotor,
b) Reihenschlußmotor

Aufbau des Gleichstrommotors. Der Eisenkern des Stators besteht bei diesem Motor meist aus Stahlguß, weil sich in ihm ein konstantes Magnetfeld ausbildet. Der geblechte Läufer besitzt eine Wicklung, die aus mehreren winklig zueinander liegenden Spulen besteht. Die Enden der Spulen sind an den Kommutator geführt.

Schaltungsarten. Da sowohl dem Stator als auch dem Rotor Gleichstrom zugeführt wird, können beide Teile an das gleiche Netz angeschlossen werden. Es sind zwei Schaltungen möglich (→ Bild 64/1 a, b).

Bei der Reihenschlußmaschine sind Stator- und Rotorwicklung in Reihe geschaltet. Die Nebenschlußmaschine besitzt eine Parallelschaltung der beiden Wicklungssysteme.

Betriebsverhalten und Einsatz.

Nebenschlußmotor: Dieser Motor ändert seine Drehzahl mit der Belastung nur geringfügig. Er ist leicht in der Drehzahl steuerbar. Das kann durch Änderung der Läuferspannung oder durch Schwächung des Magnetfeldes im Stator erfolgen. Zu diesem Zweck werden Vorwiderstände oder Thyristorschaltungen verwendet. Nebenschlußmotoren treiben wegen ihrer guten Regelbarkeit in der Praxis vor allen Dingen größere Werkzeugmaschinen, Walzstraßen und Förderanlagen im Bergbau an.

Reihenschlußmotor: Auch bei diesem Motor ist eine Drehzahlstellung durch Änderung der Klemmspannung möglich. Vor- oder Parallelwiderstände zur Läufer- oder Feldwicklung sowie Thyristorschaltungen finden dabei Anwendung. Darüber hinaus ist die Drehzahl des Reihenschlußmotors sehr stark von der Belastung (elastisches Betriebsverhalten) abhängig. Sie können bei Leerlauf Drehzahlen erreichen, bei denen die auftretenden Fliehkräfte zur Zerstörung des Motors führen können.

Reihenschlußmotoren dürfen niemals unbelastet an die volle Netzspannung angeschlossen werden.

Der Motor wird hauptsächlich für elektrische Straßen- und Schienenfahrzeuge (Straßenbahn) eingesetzt. Das außerordentlich hohe Anzugsmoment und das elastische Drehzahlverhalten sind die hauptsächlichsten Gründe für diesen Einsatz.

Universalmotor. Der Universalmotor ist ein Reihenschlußmotor, der sowohl an Gleichspannung als auch an Wechselspannung angeschlossen werden kann. Beim Anschließen an eine Gleichspannung arbeitet er wie ein Gleichstromreihenschlußmotor.

Betrieibt man den Universalmotor mit einer Wechselspannung, so ändert der Wechselstrom in der Läufer- und in der Feldwicklung gleichzeitig seine Richtung. Die

Kraftwirkung auf den Läufer und das entstehende Drehmoment haben deshalb die gleiche Richtung wie beim Betrieb mit Gleichstrom. Da mit der Frequenz des Wechselstromes das Magnetfeld der Feldwicklung ständig ummagnetisiert wird, muß der Eisenkern des Universalmotors im Gegensatz zum Gleichstrommotor geblecht sein. Universalmotoren werden für unterschiedliche Leistungen gebaut und sind für Betriebsspannungen von 110 V und 220 V ausgelegt. Motore kleinerer Leistung erreichen Drehzahlen von mehr als $10\,000\text{ min}^{-1}$, wobei die Reibungskräfte so groß sind, daß auch im Leerlauf die Drehzahl begrenzt bleibt.

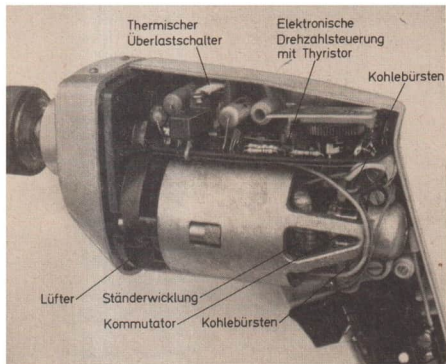
Universalmotore werden in Haushaltgeräten wie z. B. Staubsaugern, Kaffeemühlen, Rührgeräten u. ä., in Elektrokleinwerkzeugen wie z. B. Handbohrmaschinen und in Büromaschinen eingesetzt.

Weiterentwicklung. Schon die ersten Elektromotoren, vor einem Jahrhundert eingesetzt, waren den bis dahin angewendeten Dampfmaschinen und Gasmotoren überlegen. In den folgenden Jahren wurden die elektrischen Maschinen ständig weiterentwickelt, so daß sie den unterschiedlichsten Betriebsbedingungen und Antriebsaufgaben entsprechen. Auch heute ist diese Entwicklung keineswegs abgeschlossen. Die Umweltfreundlichkeit der elektrischen Maschinen und die einfache Anwendung der Leistungs- und Informationselektronik erschließen immer neue Einsatzmöglichkeiten.

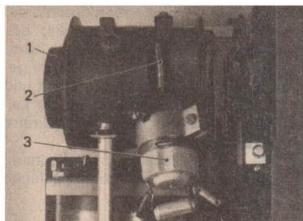
In den Betrieben des VEB Kombinat Elektromaschinenbau werden Antriebsmotoren von der Größe eines Knopfes und Bleistiftstärke bis zu Motoren und Generatoren von der Größe eines Einfamilienhauses gefertigt. Gerade der Entwicklung kleiner und kleinster Motoren kommt eine immer größere Bedeutung zu. Bei solchen Mikromotoren wird das Feld von einem Permanentmagneten gebildet. Der Hohläufer (kein Eisenkern) ist äußerst trägheitsarm.

Mikromotoren werden in der Meß-, Steuer- und Regelungstechnik, in der Labor- und Medizintechnik sowie in der Foto- und Feingerätetechnik benötigt. Größere Motoren dieser Art sind für Roboterantriebe hervorragend geeignet.

Beim Einsatz rotierender elektrischer Maschinen ist oft eine anschließende Umformung in eine geradlinige Bewegung notwendig. Zur direkten Erzeugung einer fort-



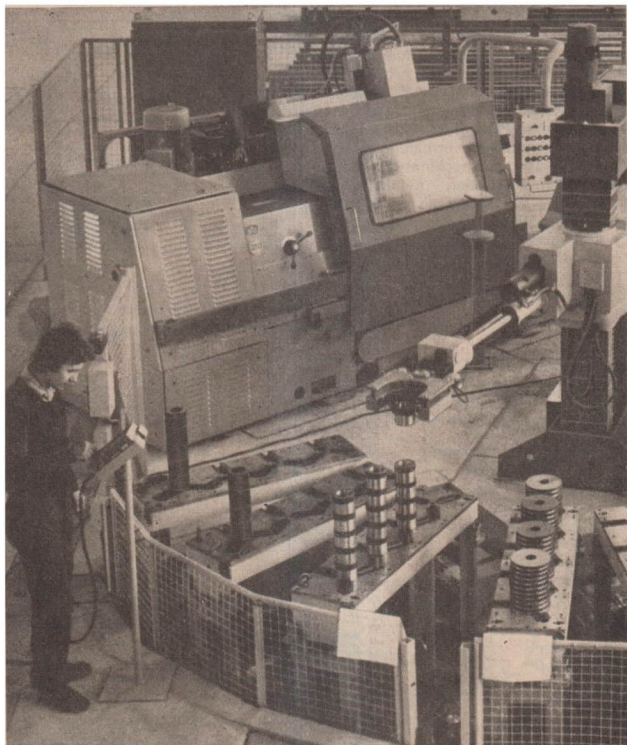
65/1 Handbohrmaschine
HBM 251.1R (Multimax)
mit Universalmotor



66/1 Diaprojektor I 24 (Aspectomat) mit Stellmotor (3) für das Objektiv (1), Schneckenradgetriebe (2)

schreitenden oder hin- und hergehenden (oszillierenden) Bewegung wurde der Linearmotor entwickelt. Er ist meist ein Induktionsmotor und entspricht im Wirkprinzip dem Drehstromasynchronmotor mit Kurzschlußläufer. Bei ihm sind die Ständerspulen auf einer Geraden angeordnet. Führt man diesen Spulen Dreiphasenwechselspannung zu, so ändern sich Stärke und Polarität des Magnetfeldes. Weil diese Änderung jedoch auf einer Geraden erfolgt, bezeichnet man dieses Feld als Wanderfeld. Der Läufer ist eine Metallschiene. In ihr werden Ströme induziert, die eine Kraftwirkung in Richtung des Wanderfeldes zur Folge haben. Sein Einsatz erfolgt bei Magnetfahrzeugen (Hochgeschwindigkeitsbahnen), in Förderanlagen, in Positioniereinrichtungen von Werkzeugmaschinen sowie als Pumpe für flüssige Metalle.

Automatisierung der Produktion

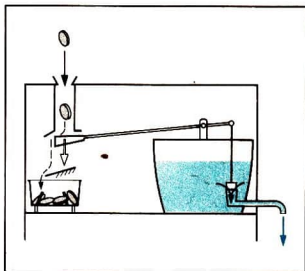


Offene automatische Steuerung

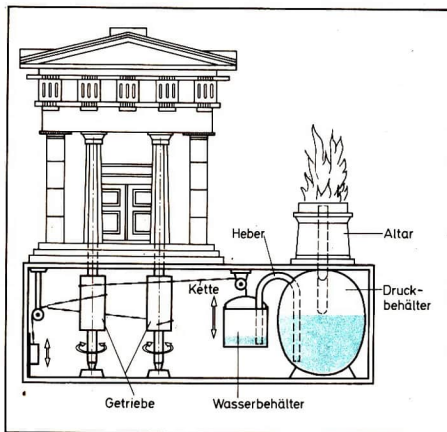
Die Entwicklung der ersten selbsttätigen Steuerungen begann schon in der Antike. So wurden bereits im alten Griechenland und Rom Steuerungen entworfen und gebaut.

Beispielsweise entwarf HERON VON ALEXANDRIA etwa 100 v. u. Z. einen Weihwasserautomaten, der bei Einwurf einer Münze einige Tropfen „Weihwasser“ abgab (↗ Bild 68/1). Ein anderer Automat, ebenfalls von HERON entwickelt, diente dem selbsttätigen Öffnen von Tempeltüren (↗ Bild 68/2). Er nutzte die sich bei Erwärmung ausdehnende Luft und das dadurch verdrängte Wasser.

Während diese Beispiele kultischen Zwecken dienten, wurden später Steuerungen geschaffen, die im Arbeitsprozeß eingesetzt wurden, um die Produktion zu steigern. Meilensteine auf dem Weg zur modernen Automatisierungstechnik waren solche Erfindungen wie die Nachformdrehmaschine mit Support des russischen Mechanikers A. W. NARTOW (1712), ein lochkartengesteuerter Webstuhl von J. M. JACQUARD (1805) und der Fliehkraftregler an der Dampfmaschine von J. WATT (1786).



68/1 Weihwasserautomat



68/2 Automatische Öffnung von Tempeltüren

Bei den bereits bekannten Steuerungen, wie Anschlagsteuerung, Nockensteuerung oder Kurvensteuerung, wurde durch die Steuerorgane **zielgerichtet** auf einen Energiefluß eingewirkt. Diesen Sachverhalt kann man verallgemeinern, weil in jedem Falle bei einer Steuerung auf eine technisch-physikalische Größe eingewirkt wird. Bei der Anschlag-, Nocken- oder Kurvensteuerung ist es der Energiefluß, beim Getränkeautomaten ist es der Stofffluß (Flüssigkeitsmenge), und beim Waschautomaten sind es u. a. der Energiefluß (Temperatur) und der Stofffluß (Wassermenge).

► **Steuern** ist das zielgerichtete Beeinflussen von Größen.

Die Größe, die durch das Steuern beeinflusst wird, nennt man *gesteuerte Größe*. Der Einfluß der Steuerung auf die gesteuerte Größe kann sich immer nur auf einen abgegrenzten Bereich beziehen. Beispielsweise ist bei der Temperatursteuerung im Waschautomaten der Behälter mit Heizung der Bereich, in dem die Laugtemperatur aufgabengemäß beeinflusst wird. In der Steuerungstechnik werden die diesem Bereich zugeordneten Bauteile als *Steuerstrecke* bezeichnet. ②

► **Steuerstrecke** sind die Bauteile, die durch die Steuerung aufgabengemäß beeinflusst werden.

Bei der Anschlagsteuerung einer Bohrmaschine sind die Vorschubeinrichtung und die Bohrspindel mit Bohrfutter die Steuerstrecke, weil durch die Steuerung in der Vorschubeinrichtung der Energiefluß für den Vorschub der Bohrspindel unterbrochen wird. In der Tabelle (→ Bild 69/1) sind für einige bekannte Steuerungen die gesteuerte Größe und die Steuerstrecke angegeben.

Steuerung	Gesteuerte Größe	Steuerstrecke
Automatische Bahnschranke	Winkel	Straße mit Bahnschranke
Aquariumheizung	Temperatur	Becken mit Heizung
Raketenfernsteuerung	Kurs	Rakete
Kinobeleuchtung	Helligkeit	Kinosaal mit Leuchten
Personenaufzug	Weg	Aufzugkabine

69/1 Beispiele für gesteuerte Größe und Steuerstrecke

- ① Analysieren Sie bei weiteren, Ihnen z. B. aus der produktiven Arbeit bekannten Steuerungen, welche Größe gesteuert wird!
- ② Welche Bauteile stellen bei folgenden Steuerungen die Steuerstrecke dar: Getränkeautomat, Nockensteuerung einer Drehmaschine, Lichtsignalanlage, Lichtschrankensteuerung zum Zählen von Werkstücken?

Messen als Voraussetzung zur automatischen Steuerung

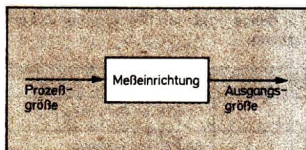
Die zielgerichtete Beeinflussung der gesteuerten Größe bedingt, daß in Abhängigkeit von bestimmten Größen eine Einwirkung auf die Steuerstrecke erfolgt. Dazu ist die Messung dieser Größen notwendig. Die gewonnenen Meßwerte geben Aufschluß über den Zustand einer Maschine oder eines Prozesses und bilden den Ausgangspunkt für entsprechende Einwirkungen.

- Die **meßtechnische Erfassung** der unterschiedlichen technisch-physikalischen Größen ist eine notwendige Voraussetzung für die automatische Steuerung von Produktionsanlagen und Produktionsprozessen.

Die gewonnenen Meßwerte stellen *Informationen* dar. Man spricht beim Messen auch von der Informationsgewinnung. Die Informationen werden durch *Signale* übertragen.

- Signale** sind Träger von Informationen.

Zur Gewinnung von Informationen über Größen von Produktionsprozessen benötigt man **Meßeinrichtungen**. Die Meßeinrichtung erfäßt die zu ermittelnde *Prozeßgröße*. Diese technisch-physikalische Größe stellt die Eingangsgröße der Meßeinrichtung dar. ①



70/1 Blockdarstellung der Meßeinrichtung

Die Meßeinrichtung bildet diese Information auf einem Signal ab, das als Ausgangsgröße weitergeleitet wird.

- Die **Meßeinrichtung** wandelt die Information über eine Prozeßgröße in ein Signal um, so daß sie in der Steuerung verarbeitet werden kann.

Durch eine Meßeinrichtung werden stets physikalische Gesetze ausgenutzt. ②
Zur Messung einer bestimmten Prozeßgröße bieten sich häufig mehrere physikalische Gesetze an. Es muß von Fall zu Fall entschieden werden, welches Meßverfahren gewählt wird. Die Tabelle (→ Bild 71/1) zeigt für die Prozeßgröße „Temperatur“ einige Möglichkeiten.

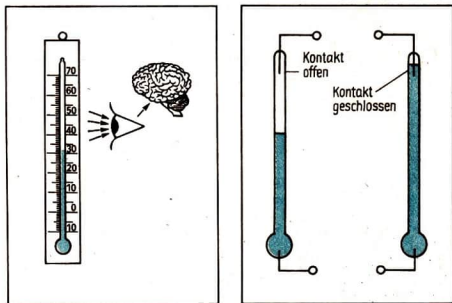
Die Meßbarkeit mancher Prozeßgrößen ist nicht ohne weiteres möglich. In der Lebensmittelindustrie kommt es beispielsweise oft auf den Geschmack eines Produk-

tes an. Diese „Größe“ ist jedoch nicht meßbar. Deshalb kann auch nur bedingt eine automatische Kontrolle und Steuerung dieser Größe erfolgen, indem sie in Komponenten, wie Säurehaltigkeit – pH-Wert usw. zerlegt wird. Erst diese Komponenten können gemessen werden.

Prozeßgröße	Physikalisches Gesetz	Meßeinrichtung
Temperatur	Volumenänderung fester Körper	Stabthermometer Bimetallthermometer
	Volumenänderung flüssiger Körper Widerstandsänderung von Leitern Thermospannungsänderung Widerstandsänderung von Halbleitern	Flüssigkeitsthermometer Widerstandsthermometer Thermoelement Thermistor

71/1 Messung der Prozeßgröße Temperatur

Soll eine Meßeinrichtung für automatische Steuerungen eingesetzt werden, so ist zu beachten, daß die Ausgangsgröße technisch weiterverarbeitbar sein muß. Ein Flüssigkeitsthermometer mit Quecksilberfüllung kann nur vom Menschen abgelesen werden. Die Ausgangsgröße (Länge des Quecksilberfadens) dieser Meßeinrichtung ist nur bedingt verarbeitbar. Um solche Thermometer auch für Steuerungen einsetzen zu können, werden elektrische Kontakte in das Glas eingeschmolzen. Bei der Temperaturerhöhung steigt das Quecksilber in der Kapillare an. Erreicht der Quecksilberfaden den oberen Kontakt, so kann bei angelegter Spannung über das Thermometer ein Strom fließen. Dadurch ist die Abgabe eines elektrischen Signals möglich (→ Bild 71/3). In der Tabelle (→ Bild 72/1) sind einige Meßeinrichtungen, ihre Ausgangssignale und deren technische Verarbeitbarkeit ausgewiesen.



71/2 Flüssigkeitsthermometer

71/3 Kontaktthermometer

- ① Nennen Sie Meßeinrichtungen, die zur Erfassung von Prozeßgrößen verwendet werden!
- ② In Produktionsbetrieben wird das Lichtschrankenprinzip oft zum Zählen von Werkstücken eingesetzt. Welche physikalischen Gesetze werden dabei ausgenutzt?

Meßeinrichtung	Ausgangssignale	Technische Verarbeitung
Flüssigkeitsthermometer	Höhe der Flüssigkeitssäule	ungünstig
Kontaktthermometer	Stromfluß	günstig
Stoppuhr	Winkelstellung des Zeigers	ungünstig
Elektronische Stoppuhr	Elektrischer Impuls	günstig
Widerstandsthermometer	Stromfluß	günstig

72/1 Meßeinrichtungen

Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß im allgemeinen solche Meßeinrichtungen Vorteile haben, die unmittelbar ein elektrisches Signal abgeben, obwohl auch andere Möglichkeiten in der Produktion genutzt werden. Beispielsweise finden pneumatische Signale Anwendung (pneumatische Steuerung), oder mit Hilfe elektrischer bzw. elektronischer Bauelemente werden nichtelektrische Signale in elektrische gewandelt. **Die Vorteile elektrischer Signale** sind unter anderem folgende:

- Elektrische Signale lassen sich über beliebige Entfernungen ohne großen Aufwand übertragen (Informationsverarbeitung in zentralen Steuerwarten).
- Elektrische Signale lassen sich verstärken.
- Elektrische Signale lassen sich leicht in einen Einheitsbereich umwandeln. Dadurch ist der Anschluß standardisierter Steuergeräte möglich (z. B. Geräte des URSAMAT-Systems).

Aus den genannten Gründen werden deshalb bei Steuerungen oft Meßeinrichtungen eingesetzt, die ein elektrisches Signal abgeben.

Bei vielen Produktionsprozessen hat die Temperatur einen erheblichen Einfluß. Sie muß deshalb ständig kontrolliert und beeinflußt werden. ②

In der Tabelle (→ Bild 71/1) sind einige Meßeinrichtungen für die Prozeßgröße Temperatur aufgeführt. Auch für die Ermittlung der Temperatur haben sich elektrische Meßverfahren in vielen Fällen als vorteilhaft erwiesen.

Zur elektrischen Erfassung der Prozeßgröße Temperatur können alle physikalischen Gesetze genutzt werden, bei denen die Temperatur einen Einfluß auf eine elektrische Größe ausübt.

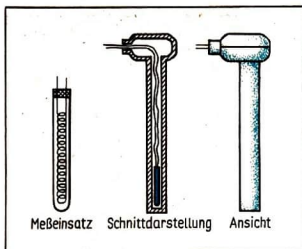
Ein solches Gesetz ist die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von Leitern und Halbleitern. ③

Der **Widerstand** eines metallischen Leiters ist von der Temperatur abhängig. Er wird beim Erwärmen größer.

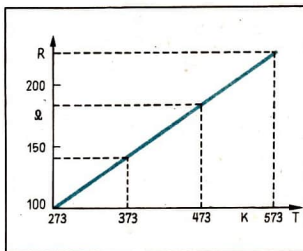
Diesen Zusammenhang nutzt man für die elektrische Temperaturmessung aus. Bild 73/1 zeigt ein Widerstandsthermometer, wie es auch für Steuerungsaufgaben verwendet wird. Der Meßeinsatz besteht aus einem Isolierkörper, der mit einem dünnen Widerstandsdraht aus Platin umwickelt ist. Der Zusammenhang zwischen Temperatur und Widerstand dieser Meßeinrichtung ist im Bild 73/2 dargestellt.

Aus der Kennlinie (→ Bild 73/2) ist ersichtlich, daß eine geringe Temperaturänderung nur eine minimale Widerstandsänderung zur Folge hat. So ergibt eine Temperaturänderung von 10 K eine Widerstandsänderung von 3,85 Ω.

Für Steuerungen wendet man deshalb in der modernen Technik zunehmend Halbleiter als Meßeinrichtung an, weil sich deren Widerstand bei Temperaturänderungen stärker ändert.



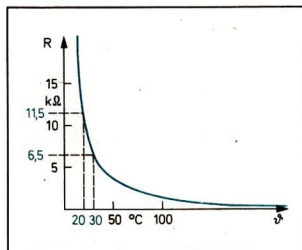
73/1 Schematische Darstellung eines Widerstandsthermometers



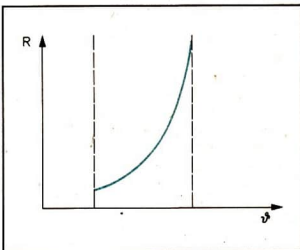
73/2 Kennlinie des Platin-Widerstandsthermometers Pt 100

Temperaturabhängige Halbleiterwiderstände werden **Thermistoren** genannt.

Man unterscheidet Thermistoren nach ihrem Temperaturkoeffizienten. Dieser kann sowohl negativ als auch positiv sein (→ Bilder 73/3 und 73/4).

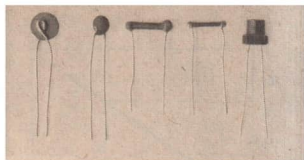


73/3 Kennlinie eines Thermistors mit negativem Temperaturkoeffizienten

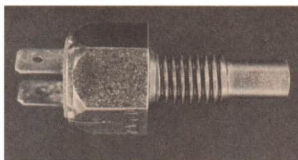


73/4 Kennlinie eines Thermistors mit positivem Temperaturkoeffizienten

- ① Schätzen Sie folgende Meßeinrichtungen hinsichtlich der technischen Verarbeitbarkeit des Ausgangssignals ein: Kfz-Tachometer, Barometer, Bimetallthermometer, Federwaage, Fotodiode!
- ② Nennen Sie Produktionsprozesse, bei denen die Temperatur ständig kontrolliert und beeinflusst werden muß!
- ③ Nennen Sie physikalische Gesetze, bei denen durch die Temperatur elektrische Größen beeinflusst werden!



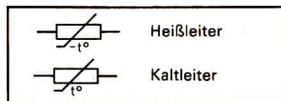
74/1 Thermistoren, unterschiedlich ausgeführte Bauformen



74/2 Temperaturmeßeinrichtung für Waschautomaten

Werden **Thermistoren** mit negativem Temperaturkoeffizienten erwärmt, so nimmt ihr elektrischer Widerstand ab (Heißeleiter). Bei Thermistoren mit positivem Temperaturkoeffizienten erhöht sich der elektrische Widerstand bei Erwärmung (Kaltleiter).

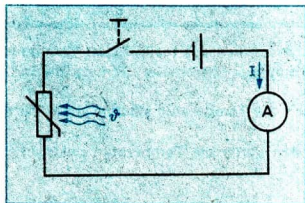
In Steuerungsanlagen werden zur Messung der Temperatur meist Heißeleiter verwendet. Für die unterschiedlichen Anwendungsfälle in der Praxis werden Thermistoren in verschiedenen Bauformen gefertigt.



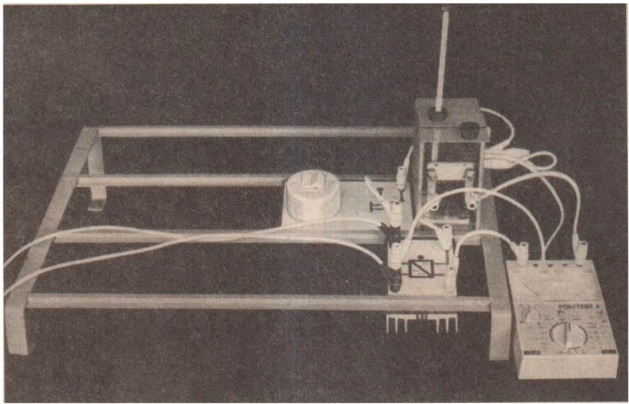
74/3 Schaltzeichen von Thermistoren

Die Veränderung des Widerstandes eines Thermistors wird durch Strom-Spannungsmessung ermittelt. Dazu wird der Thermistor in einen Stromkreis mit konstanter Spannung geschaltet (→ Bild 74/4).

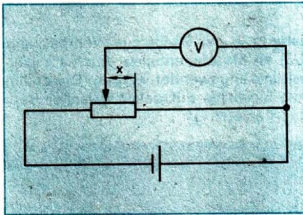
Wird der Thermistor erwärmt, so verringert sich sein elektrischer Widerstand und die Stromstärke erhöht sich. Sie ist also ein Maß für die Temperatur. (S. 77) Anwendung finden Thermistoren zur Temperaturmessung beispielsweise in Waschautomaten (→ Bild 74/2). Bei der Erwärmung der Waschlauge ändert sich die Stromstärke im Meßkreis. Über einen Verstärker wird dieses Signal verstärkt und bei Erreichen der eingestellten Waschttemperature die Heizung durch ein Relais ausgeschaltet.



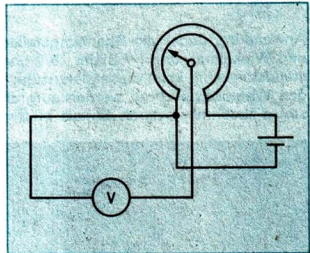
74/4 Temperaturmeßschaltung



75/1 Experimentiergerät zur Temperaturmessung mit Thermistor (?)

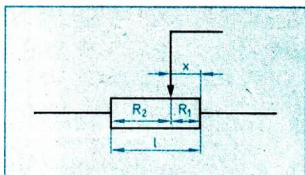
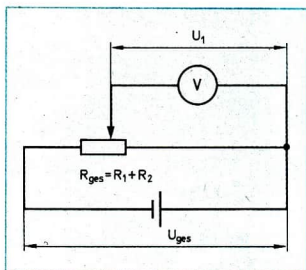


75/2 Schaltung eines Spannungsteilers für Wegmessung



75/3 Schaltung eines Spannungsteilers für Winkelmessung

In der Produktion müssen oftmals andere Prozeßgrößen gemessen und gesteuert werden, z. B. die Größe *Weg* (Länge, Dicke, Abstand ...). Bei automatischen Werkzeugmaschinen muß sowohl die Position des Werkzeuges als auch die des Werkstückes ermittelt werden. Eine Möglichkeit der analogen Wegmessung besteht in der Anwendung der **Spannungsteilerschaltung**. Bei diesem Meßverfahren wird ein *Spannungsteiler* (z. B. Potentiometer) eingesetzt. Es ist ein elektrisches Meßverfahren für eine nichtelektrische Größe, denn die Eingangsgröße „Weg“ wird in die elektrische Ausgangsgröße „Spannung“ gewandelt. Im Bild 76/1 ist ein Schleifdrahtgeber in Spannungsteilerschaltung dargestellt. Die abgegriffene Teilspannung U , wird am Spannungsmesser abgelesen. Bei der Spannungsteilerschaltung gilt folgender formelmäßiger Zusammenhang:



76/1 a, b Verhältnisse in der Spannungsteilerschaltung

$$\frac{R_1}{R_{\text{ges}}} = \frac{x}{l} \quad \text{und} \quad \frac{R_1}{R_{\text{ges}}} = \frac{U_1}{U_{\text{ges}}}$$

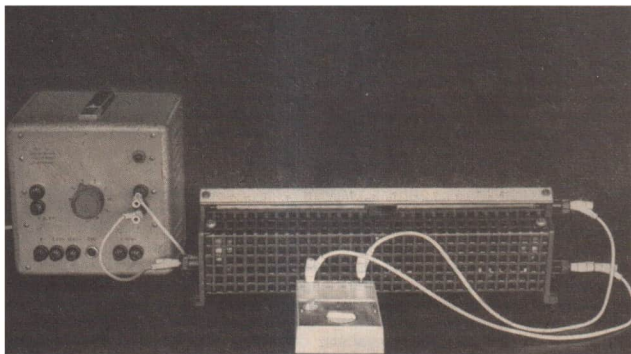
Daraus folgt:

$$\frac{x}{l} = \frac{U_1}{U_{\text{ges}}} \quad \text{und} \quad x = \frac{l}{U_{\text{ges}}} \cdot U_1$$

Da die Gesamtlänge l und die angelegte Spannung U_{ges} konstant sind, ist die Meßlänge x der Teilspannung U_1 proportional:

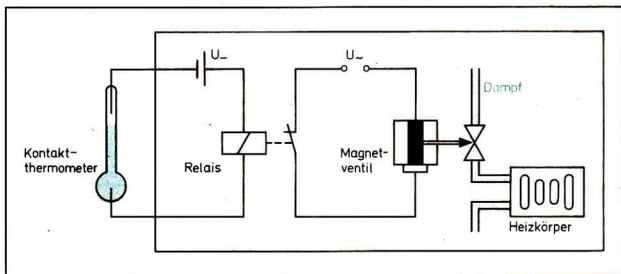
$$x \sim U_1$$

Anwendung findet die Spannungsteilerschaltung in der Praxis zur Wegmessung und Winkelmessung (↗ Bilder 75/2 und 75/3) an Maschinenteilen. Auch zur Füllstandsmessung kann diese elektrische Schaltung angewendet werden. Die analogen Wegmeßverfahren werden aufgrund des Einsatzes mikroelektronischer Bausteine zunehmend durch digitale Meßverfahren ersetzt. ③



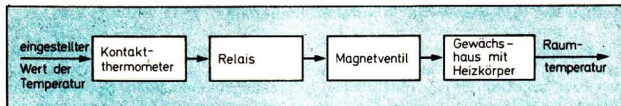
76/2 Versuchsanordnung zur Wegmessung

Die automatischen Steuerungen dienen der Erhöhung der Effektivität der Produktion. Sie entlasten den Menschen von schwerer körperlicher oder monotoner Arbeit bzw. schützen ihn vor gefährlichen Umgebungsbedingungen. Sowohl in der Produktion als auch in anderen Bereichen werden automatische Steuerungen zunehmend eingesetzt. Selbst im Haushalt vergrößert sich immer mehr die Anzahl der automatisierten Geräte. In der Produktion sind es vielfältige Prozeßgrößen, die durch Steuerung beeinflußt werden. Eine häufig gesteuerte Prozeßgröße ist die Temperatur (\rightarrow S. 71). In Gewächshäusern oder Lagerhallen für frostempfindliche Güter (Medikamente, Flüssigkeiten) muß in den Wintermonaten bei absinkenden Außentemperaturen eine Heizung eingeschaltet werden. Eine Möglichkeit besteht darin, die Heizung nur dann einzuschalten, wenn die Außentemperatur einen bestimmten Grenzwert unterschreitet. Durch eine solche automatische Steuerung kann bei effektivem Energieaufwand eine Schädigung der Pflanzen bzw. ein Verderb der frostempfindlichen Güter vermieden werden. Bei dieser Temperatursteuerung muß die Außentemperatur durch eine Meßeinrichtung erfaßt werden, die mit einer Kontakteinrichtung (\rightarrow Bild 71/3) versehen ist. Es wird nur dann ein Signal abgegeben, wenn der eingestellte Wert der Größe „Temperatur“ unterschritten wird. Steuerungstechnisch wird eine solche Größe als Führungsgröße (w) bezeichnet. Die schematische Darstellung dieser Steuerung ist im Bild 77/1 zu sehen.



77/1 Temperatursteuerung eines Gewächshauses

- ① Ein Thermistor hat bei einer Temperatur von $\vartheta = 30^{\circ}\text{C}$ einen Widerstand von $R = 3,80\text{ k}\Omega$ und bei $\vartheta = 40^{\circ}\text{C}$ einen Widerstand von $R = 3,0\text{ k}\Omega$. Berechnen Sie für beide Temperaturen die Stromstärke, wenn eine Spannung $U = 5\text{ V}$ anliegt!
- ② Mit dem SEG wurde im Experiment (\rightarrow Bild 75/1) bei einer Temperatur von $\vartheta = 40^{\circ}\text{C}$ eine Stromstärke $I = 1,15\text{ mA}$ gemessen. Berechnen Sie den Widerstand des Thermistors, wenn eine Spannung $U = 5\text{ V}$ anliegt!
- ③ Entwerfen Sie eine Schaltung zur elektrischen Messung der Kraftstoffmenge im Tank von Kraftfahrzeugen!



78/1 Signalflußbild der offenen Temperaturregung
(mit Bauteilbenennung)

Die **gesteuerte Größe** (↗ S. 69) ist in diesem Beispiel die Innentemperatur des Gewächshauses. Sie ist diejenige Größe, die durch die Steuerung aufgabengemäß beeinflusst werden soll.

Die **Steuerstrecke** (↗ S. 69) ist das Gewächshaus mit Heizkörpern. Die **Führungsgröße** ist ein Signal, welches als Eingangsgröße auf die Steuerung wirkt. Dadurch wird beispielsweise bei der Temperaturregung der Stromkreis für das Relais geöffnet oder geschlossen. Durch das Relais wird nunmehr das Magnetventil entsprechend geschaltet. Somit wird die Dampfzufuhr für die Heizkörper geöffnet oder gesperrt.

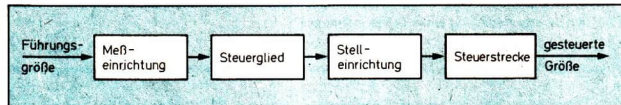
In das Signalflußbild (↗ Bild 78/1) dieser Steuerung sind die wesentlichen Bauteile eingezeichnet.

Aus diesem Signalflußbild der Temperaturregung lassen sich einige Verallgemeinerungen ableiten. Das Kontaktthermometer ist die **Meßeinrichtung** (↗ S. 70), und das Magnetventil ist die **Stelleinrichtung**.

Die **Stelleinrichtung** greift zum Zwecke der Steuerung unmittelbar in einen Stofffluß oder Energiefluß ein.

Stelleinrichtungen können beispielsweise elektrische oder elektronische Schalter, Relais bzw. Schütze, aber auch Kupplungen in mechanischen Steuerungen sein. Erfolgt der Eingriff in einen Stofffluß, so werden Ventile, Schieber oder Klappen mit den entsprechenden Antriebsorganen verwendet (↗ Bild 79/2).

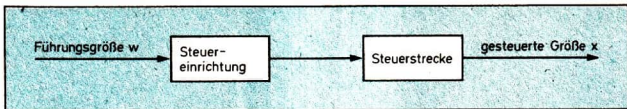
Das Relais stellt das **Steuerglied** dar. Damit hat das Signalflußbild einer Steuerung folgendes Aussehen:



78/2 Signalflußbild mit steuerungstechnischen Begriffen

Die **Meßeinrichtung**, das **Steuerglied** und die **Stelleinrichtung** sind Teile der **Steuereinrichtung** und können in einem Block dargestellt werden (↗ Bild 79/1).

Die **Steuereinrichtung** ist die Gesamtheit aller Bauteile, die die automatische Steuerung realisieren.

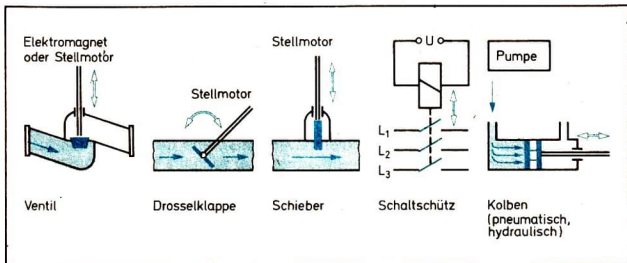


79/1 Allgemeines Signalflußbild einer offenen Steuerung

Das Signalflußbild der Temperaturregung zeigt, daß die einzelnen Bauteile in Reihenstruktur angeordnet sind. Steuerungen mit Reihenstruktur bezeichnet man als **offene Steuerungen**.

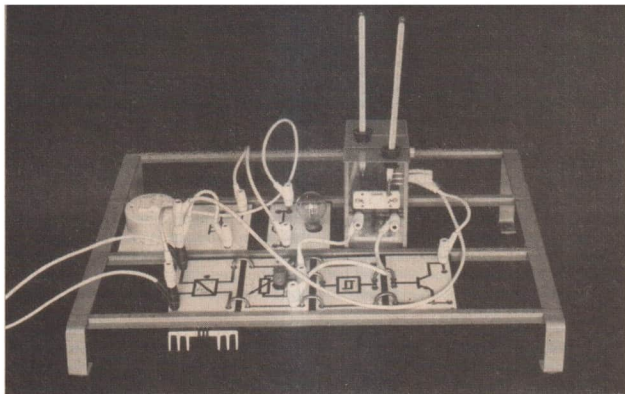
Bei der **offenen Steuerung** wird die gesteuerte Größe nach einer vom Menschen vorgegebenen Führungsgröße (Sollwert) über einen *offenen Wirkungsweg* beeinflusst. Es erfolgt *keine Rückwirkung* in der Weise, daß eine Veränderung der gesteuerten Größe gemessen wird und bei Abweichungen die Einwirkung solange erfolgt, bis die Übereinstimmung von Führungsgröße (Sollwert) und Istwert der gesteuerten Größe vorliegt.

Die offene Steuerung hat durch die fehlende Rückwirkung (auch Rückkopplung genannt) einige Grenzen, die ihre Anwendung einschränken. Welche Einsatzgrenzen sich bei der offenen Steuerung ergeben, soll an einer Temperaturregung erläutert werden. Sie kann mit dem Schülerexperimentiergerät (SEG) aufgebaut werden (→ Bilder 80/1 und 81/2).



79/2 Stelleinrichtungen

- ① Begründen Sie, warum bei der Temperaturregung (→ Bild 77/1) das Relais mit einem Öffner als Kontakt ausgerüstet ist!
- ② Überlegen Sie, ob bei der Temperaturregung (→ Bild 77/1) das Relais nicht eingespart werden könnte, wenn das Magnetventil unmittelbar durch das Kontaktthermometer geschaltet wird!



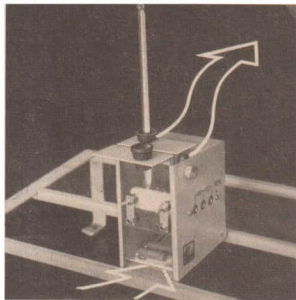
80/1 Experimentieranordnung ☺

Die *Steuerstrecke* ist bei der Experimentieranordnung der Innenraum des Bausteins Nr. 53 (Temperatursteuerung) und die *gesteuerte Größe* die Temperatur im Innenraum. In der Praxis könnte die Experimentieranordnung einer Temperatursteuerung in einem Gewächshaus entsprechen. Sinkt die Außentemperatur unter einen bestimmten Grenzwert (z. B. $10\text{ }^{\circ}\text{C}$), so wird die Heizung im Gewächshaus eingeschaltet (Aufleuchten der Signallampe im SEG), und die Temperatur steigt durch die Energiezufuhr an. Am Kontrollthermometer kann die Temperaturveränderung abgelesen werden. Wie hoch der Temperaturanstieg im Innenraum ist, wird von dieser Art der automatischen Steuerung nicht berücksichtigt. Es kann also zu einer Überhöhung der Temperatur kommen, ohne daß die Steuerung darauf reagiert. Im Gewächshaus könnte eine Schädigung der Pflanzen bzw. eine Ertragsminderung eintreten. Auch bei Störungen (z. B. Wärmeverluste durch offene Fenster oder Türen) kann die offene Steuerung nicht entsprechend reagieren. Die gesteuerte Größe wird nicht ständig mit der Führungsgröße (Sollwert) verglichen. Dafür benötigt man eine geschlossene Steuerung (Regelung) (↗ LE 22).

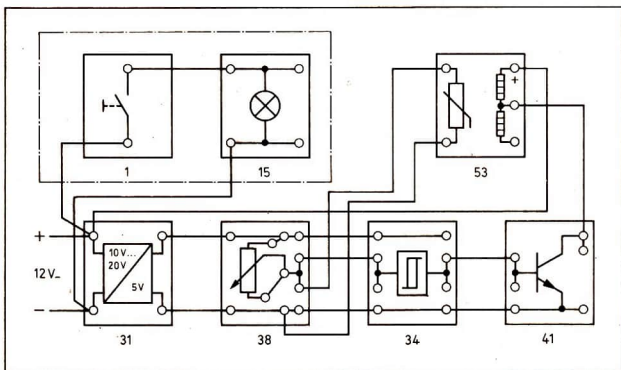
Die **offene Steuerung** kann nicht auf die Wirkungen unvorhersehbarer Störungen reagieren.

Mit dem SEG kann die Wirkung solcher Störungen (steuerungstechnisch Störgrößen genannt) simuliert werden, indem die Frontplatte des Bausteins Nr. 53 mit Hilfe der Exzentrerschraube angehoben wird (↗ Bild 81/1). Durch den Luftspalt strömt die kältere Luft durch das Gehäuse. Das Absinken der Temperatur kann am Kontrollthermometer abgelesen werden. Aus dem Temperaturverlauf ist zu ersehen, daß die offene Steuerung auf Störungen dieser Art nicht reagieren kann.

Trotz der genannten Grenzen sind viele Steuerungen in der Produktion oder anderen Bereichen offene Steuerungen, weil sie den Anforderungen genügen. Dies trifft dann zu, wenn die Wirkungen von Störungen vernachlässigt werden können oder abschätzbar sind und bei der Konstruktion bereits berücksichtigt werden.



81/1 Baustein Nr. 53 des SEG



81/2 Schaltung der offenen Temperatursteuerung ② ③

- ① Welche Bauteile stellen bei der Temperatursteuerung (→ Bild 80/1) Meßeinrichtung, Steuerglied, Stelleinrichtung, Steuereinrichtung und Steuerstrecke dar?
- ② Analysieren Sie die Aufgabe des Potentiometers in der Schaltung zur Temperatursteuerung (→ Bild 81/2)!
- ③ Skizzieren Sie das Signalfußbild der Temperatursteuerung (→ Bilder 80/1 und 80/2)!
- ④ Beschreiben Sie offene Steuerungen, die in Produktionsbetrieben zum Einsatz kommen!

In der Produktion stellen die analogen Steuerungen ein wesentliches Mittel zur Rationalisierung dar. Durch Anschlagsteuerungen kann beispielsweise die Herstellung von Bohrungen rationalisiert werden. Mit Hilfe solcher Steuerorgane werden die Arbeitsbewegungen der Maschine zuverlässiger und genauer gesteuert als bei der Bedienung von Hand. Bei der Bohrmaschine wird durch die Anschlagsteuerung der Vorschub bei Erreichen der eingestellten Bohrtiefe selbsttätig ausgeschaltet. Dadurch ist eine Mehrmaschinenbedienung möglich, die ständige Kontrolle der Bohrtiefe entfällt, und es wird eine höhere Genauigkeit erreicht.

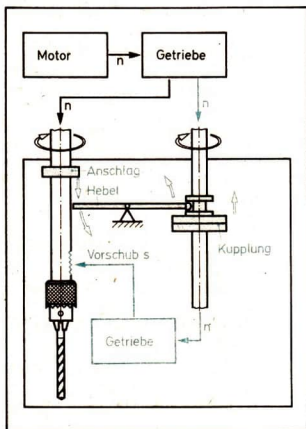
Die **Anschlagsteuerung** ist eine **offene Steuerung**. Die **gesteuerte Größe** ist der Vorschub und damit die Bohrtiefe. Die **Steuerstrecke** ist die Bohrspindel mit der Vorschubeinrichtung. Eine Überprüfung des Arbeitsergebnisses in Form einer Rückkopplung erfolgt bei der Anschlagsteuerung nicht.

Zur Steuerung des Vorschubes an der Bohrmaschine dienen Anschlag, Hebel, Gestänge und Kupplung. Diese Bauteile stellen in ihrer Gesamtheit die **Steuereinrichtung** dar (↗ Bild 82/1).

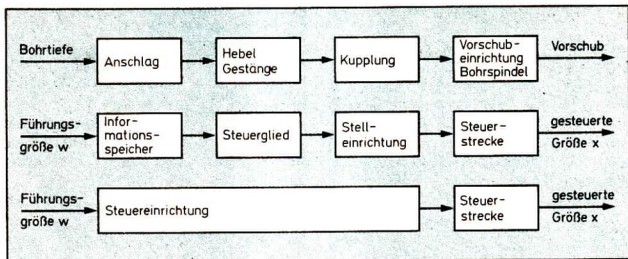
Der Anschlag ist ein Informationsspeicher, denn durch seine Lage wird die Information über die Bohrtiefe gespeichert. Diese Information stellt gleichzeitig die **Führungsgröße w** der Anschlagsteuerung dar. Die Verarbeitung der gespeicherten Informationen erfolgt durch Hebel und Gestänge. Sie sind also das **Steuerglied**. Der Eingriff in den Energiefluß des Vorschubes wird durch die Kupplung realisiert. Sie ist die **Stelleinrichtung**. Im Bild 83/1 sind die Bauteile der Anschlagsteuerung und ihre steuerungstechnischen Bezeichnungen zusammengestellt. Die **Nockensteuerung** von Werkzeugmaschinen ist ebenfalls eine offene Steuerung. Die Nocken auf der Nockenleiste speichern die Weginformationen, indem sie entsprechend den

Maßen des zu bearbeitenden Werkstückes eingestellt werden. Bei der Bearbeitung des Werkstückes bewegt sich der Werkzeugschlitten mit den Tastschaltern über die Nockenleiste. Wird ein Nocken überfahren, so löst der jeweilige Tastschalter ein Signal aus, das über einen Schaltschütz den Motor für den Antrieb des Werkzeugschlittens entsprechend dem technologischen Programm schaltet.

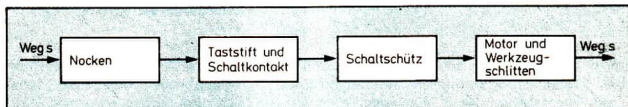
Bild 83/2 zeigt das Signalflußbild einer Nockensteuerung mit der Bauteilbezeichnung. (1) (2)



82/1 Anschlagsteuerung



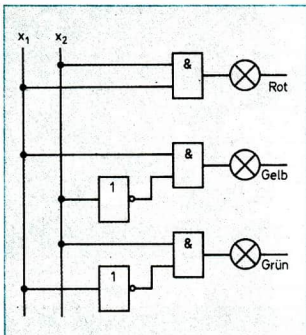
83/1 Signalflussbilder der Anschlagsteuerung



83/2 Signalflussbild der Nockensteuerung

- Offene Steuerungen werden in der modernen Technik immer häufiger als **digitale Steuerungen** ausgeführt. Ein Beispiel dafür sind Lichtsignalanlagen, die an Straßenkreuzungen und -einmündungen mit hoher Verkehrsdichte zur Steuerung des Verkehrsflusses eingesetzt werden. Durch die Kopplung mehrerer Signalanlagen zur „Grünen Welle“ wird ein optimaler Verkehrsfluß erreicht.^③ Die zeitliche Folge der Signalfarben wird durch verkehrstechnische und verkehrsökonomische Überlegungen bestimmt. Die Steuerung der untereinander abgestimmten Lichtsignalanlagen erfolgt nach einem programmierten Zeitplan. Oft wird heute ein Mikrorechner zur Optimierung des Verkehrsflusses je nach Verkehrsdichte eingesetzt. Die Informationen erhält der Mikrorechner durch Meßeinrichtungen, die in der Fahrbahndecke eingelassen sind (Induktionsschleifen). Die Signale in solchen Anlagen sind digital verschlüsselt. Bild 84/1 zeigt die Anwendung logischer Grundschaltungen zur Ansteuerung der Signallampen für Rot, Gelb und Grün.

- ① Stellen Sie das Signalflußbild der Nockensteuerung mit steuerungstechnischen Begriffen auf!
- ② Ordnen Sie die Bauteile der Nockensteuerung den folgenden Begriffen zu: Informationsspeicher, Steuerglied, Stelleinrichtung, Steuerstrecke!
- ③ Bewerten Sie anhand von Fakten den ökonomischen Nutzen des Einsatzes von Lichtsignalanlagen zur Steuerung des Verkehrsflusses!



x_1	x_2	Signalfarbe
0	1	Grün
1	0	Gelb
1	1	Rot

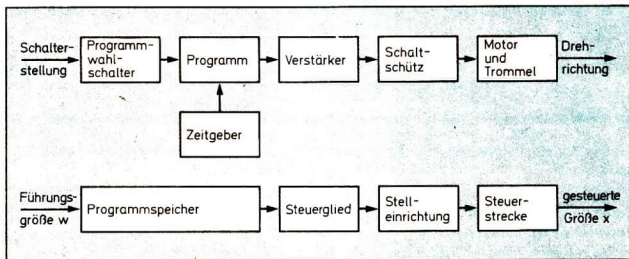
84/1 Vereinfachte logische Schaltung einer Lichtsignalanlage und Schaltbelegungstabelle ① ②

Zur Ansteuerung der drei Signallampen über die logische Schaltung werden nur zwei Steuerleitungen (x_1 ; x_2) benötigt. Die Übergangsphasen „Gelb/Grün“ und „Gelb/Rot“ können damit nicht geschaltet werden. Soll dies jedoch ebenfalls realisiert werden, so sind drei Steuerleitungen (x_1 ; x_2 und x_3) notwendig. Dieses Beispiel ist stark vereinfacht, da in der Praxis die Signallampen Rot, Gelb, Grün oder Lichtsignalanlagen mit einer zusätzlichen Zeitsteuerung gekoppelt sind.

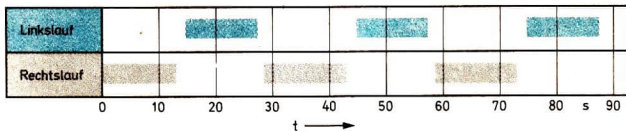
- Moderne Waschautomaten gestatten gewebegerechte Waschprogramme für alle Textilien. Die Realisierung der unterschiedlichen Programme wird durch eine Steuereinrichtung im Automaten gewährleistet. Die Steuereinrichtung besteht aus einem Programmwählschalter, dem Programmspeicher, dem Zeitgeber und dem Schaltverstärker sowie dem Schaltschütz.

Mit Hilfe des *Programm-wählschalters* können im *Programmspeicher* die gewünschten Waschprogramme ausgewählt werden. In ihm sind in einer *Programmspeicherscheibe* alle Informationen gespeichert, die zur Verwirklichung der Waschprogramme notwendig sind (Führungsgrößen).

Magnetventile, Laugenpumpe, Waschtrommelmotor und Heizung werden dadurch ein- oder ausgeschaltet. Den zeitlichen Ablauf steuert der *Zeitgeber*. Seine Signale



84/2 Signalflußbilder der Waschtrommelsteuerung



85/1 Steuerdiagramm für die Zeitsteuerung der Waschtrommel

steuern über den Programmspeicher beispielsweise die Drehrichtung der Waschtrommel. Der Schaltverstärker wird von digitalen Signalen angesteuert. Seine verstärkten Ausgangssignale greifen über das Schaltschütz in den Energiefluß des Antriebsmotors der Waschtrommel ein. Im Signalflußbild (→ Bild 84/2) ist das Zusammenwirken der einzelnen Baugruppen für die Waschtrommelsteuerung dargestellt. Das Steuerdiagramm für die Zeitsteuerung der Waschtrommel zeigt Bild 85/1. ③

Die Anwendungsbereiche der automatischen Steuerungen haben sich in den zurückliegenden Jahren ständig erweitert. Dies trifft ganz besonders auch auf die digitalen Steuerungen zu. Hier hat der Einsatz mikroelektronischer Bauelemente der Automatisierung viele neue Einsatzbereiche eröffnet. Entscheidende Vorteile der digitalen Steuerungen sind:

- Verminderung der Kosten,
- Steigerung der Zuverlässigkeit,
- Verminderung des Raumbedarfs,
- Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit,
- Verbesserung der Mensch-Maschine-Kommunikation,
- flexible Programmsteuerung.

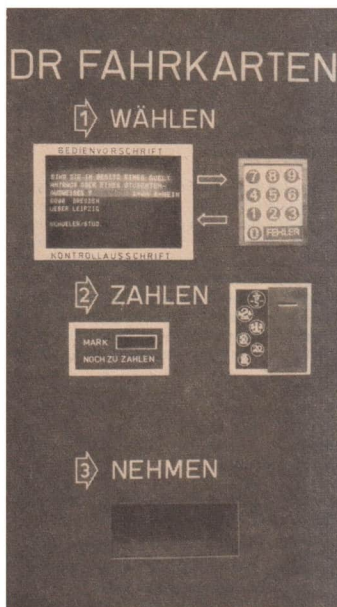
Als Steuereinrichtungen für hochproduktive Anlagen werden zunehmend Mikroprozessoren oder komplette Mikrorechner eingesetzt.

Ein **Mikrorechner** ist eine programmgesteuerte elektronische Anlage, die Informationen aufnehmen, verarbeiten, speichern und ausgeben kann.

Die Leistungsfähigkeit der mikrorechnergesteuerten automatischen Anlagen soll am Beispiel des Fahrkartenverkaufsautomaten (→ Bild 86/1) gezeigt werden.

Der Fahrkartenverkaufsautomat wird von einem Mikrorechner gesteuert. Über Bildschirm kann der Automat mit dem Bediener in einen Dialog treten (→ Bild 86/2). Im Speicher des Rechners sind für 200 Fahrziele alle Angaben gespeichert, die zur Ausstellung einer Fahrkarte notwendig sind. Auch unterschiedliche Tarifarten (Normalfahrkarte, Arbeiterrückfahrkarte, Schülerfahrkarte usw.) werden vom Automaten berücksichtigt. Darüber hinaus wird das eingeworfene Hartgeld kontrolliert, die

- ① Stellen Sie das Signalflußbild der Steuerung einer Lichtsignalanlage auf!
- ② Entwerfen Sie die Schaltbelegungstabelle für die Steuerung einer Lichtsignalanlage mit den Signalfarben Rot, Gelb, Grün, Gelb/Rot und Gelb/Grün!
- ③ Ordnen Sie den Begriffen Programmspeicher, Steuerglied, Stelleinrichtung und Steuerstrecke die Baugruppen des Waschautomaten zu!



86/1 Mikrorechnergesteuerter Fahrkartenverkaufs-
automat



86/2 Bildschirm
86/3 Sensor-Tastenfeld

Summe ermittelt und der noch fehlende oder überbezahlte Betrag auf dem Bildschirm angezeigt. Ist der eingezahlte Betrag größer als der Fahrpreis, so wird der überbezahlte Betrag herausgegeben. Durch solche Verkaufsautomaten wird das Personal auf den Bahnhöfen wesentlich entlastet.

Typisch für diese neue Qualität der Steuerung ist der Dialog zwischen Bediener und Mikrorechner. Über Bildschirm gibt der Rechner Informationen aus, die den Bediener zu bestimmten Handlungen auffordern.

Die entsprechende Kodeziffer muß nunmehr über das Sensor-Tastenfeld (→ Bild 86/3) eingegeben werden. Über den Bildschirm wird danach die Eingabe der Information quittiert.

Die vielfältige Anwendung der offenen Steuerung beweist, daß sie dem Zweck der zielgerichteten Beeinflussung einer Größe in vielen Fällen gerecht wird. ①

In vielen Bereichen der Produktion und Umwelt müssen Prozeßgrößen trotz störender Einflüsse konstant gehalten werden. Somit muß gewährleistet sein, daß auf Störungen reagiert werden kann. Dieser Anforderung wird die offene Steuerung nicht gerecht. Man benötigt somit ein weiteres Steuerungsprinzip.

In der Fertigung mikroelektronischer Schaltkreise werden höchste Anforderungen an Produktionsbedingungen gestellt, die entscheidenden Einfluß auf die Qualität der Produkte ausüben. So dürfen die Werte der Luftfeuchtigkeit, der Lufttemperatur und des Staubgehaltes der Luft in den Produktionsräumen nur geringfügig in festgelegten Grenzen schwanken. Beispielsweise darf die Lufttemperatur vom vorgeschriebenen Wert $\vartheta = 20^\circ\text{C}$ nur $\pm 0,5\text{ K}$ abweichen.

Gleichbleibende, optimale Bedingungen wirken sich letztlich ökonomisch aus. Jede Abweichung würde eine Qualitätsminderung bzw. Ausschuß zur Folge haben. Bei den hohen Stückzahlen produzierter mikroelektronischer Schaltkreise würde ein unvermeidbarer volkswirtschaftlicher Verlust entstehen. ③

Auch bei der Fertigung von Präzisionsmaschinen werden ähnlich hohe Forderungen an bestimmte Bedingungen gestellt.

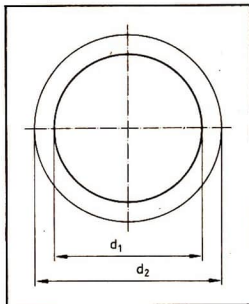
Das folgende Beispiel zeigt, welche Auswirkungen eine Temperaturüberhöhung verursachen kann. Wird aus einem Stahlrohling eine Welle mit einem Durchmesser $d_1 = 200\text{ mm}$ gedreht und tritt während der spanenden Bearbeitung eine unzulässige Erwärmung $\Delta\vartheta = 50\text{ K}$ über die normale Bearbeitungstemperatur auf, so ist die Folge eine Durchmesserdifferenz zum beabsichtigten Fertigmaß (\rightarrow Bild 87/1).

$$\Delta d = d_2 - d_1; d_2 = d_1 (1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta);$$

Ausdehnungskoeffizient von Stahl:

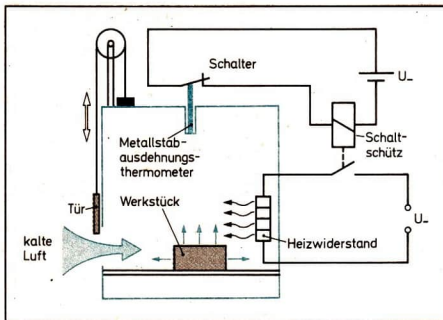
$$\alpha = 0,000\,013\text{ K}^{-1}$$

Nach der Abkühlung auf die Normaltemperatur ($\vartheta = 20^\circ\text{C}$) beträgt die Differenz zum geforderten Fertigmaß $0,13\text{ mm}$. Dies bedeutet, daß der Wellendurchmesser zu gering ist.



87/1. Wärmeausdehnung eines zylindrischen Körpers

- ① Beschreiben Sie den Zweck Ihnen bekannter offener Steuerungen aus der Produktion!
- ② Warum kann eine offene Steuerung auf Störungen nicht reagieren?
- ③ Welche Auswirkungen hätte der Einsatz einer offenen Steuerung für die Lufttemperatur in einem Produktionsraum?



Fertigungstoleranzen von 1/100 mm bis 1/1000 mm bei der spanenden Bearbeitung von Präzisionsteilen belegen die Notwendigkeit, die Bearbeitungstemperaturen annähernd konstant zu halten. In modernen Werkzeugmaschinen werden außer der Temperatur auch solche Größen wie der Werkzeugverschleiß gemessen, um die Maßhaltigkeit des Produktes zu garantieren. Durch den Einsatz spezieller Steuerungen, die automatisch auf Störgrößen reagieren und ihre Wirkungen ausgleichen, werden die geforderten Bedingungen gewährleistet. ① ②
 Derartige technische Lösungen bezeichnet man als **geschlossene Steuerungen**. Eine Form dieser geschlossenen Steuerungen ist die **Regelung**.

Aufbau und Wirkungsweise der Regelung. Während der Wärmebehandlung von Stahl, keramischen oder silikatischen Werkstoffen (z. B. Emaille) in Glühöfen muß eine bestimmte, vom Werkstoff abhängige Temperatur eingehalten werden. Dieser Zustand muß auch dann garantiert sein, wenn durch das Öffnen der Tür beim Einbringen und durch das „kalte“ Werkstück selbst sowie durch andere Wärmeverluste die Ofentemperatur merklich beeinflusst wird. Deshalb wird hierfür die **Regelung** eingesetzt.

Im Beispiel (→ Bild 88/1) ist die Innentemperatur des Ofens diejenige Größe, die nach einem vorgegebenen Wert zielgerichtet beeinflusst werden soll. Sie wird bei der Regelung als **Regelgröße** x bezeichnet (→ S. 69 – gesteuerte Größe). Die Innentemperatur des Ofens wird also in der Weise beeinflusst, daß sie an eine **Führungsgröße** (→ S. 78) angeglichen wird.

Den Wert, den die Regelgröße haben soll, nennt man **Sollwert der Regelgröße**.

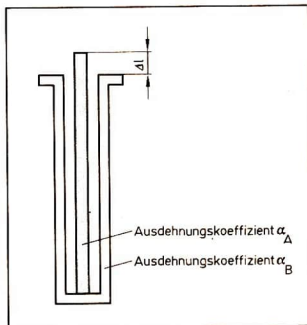
Die **Regelstrecke** (→ S. 69 – Steuerstrecke) ist der Ofenraum mit Heizwiderstand. Der Vorgang des **Regelns** läuft in diesem Beispiel folgendermaßen ab:
 Ein Metallstabausdehnungsthermometer als **Meßeinrichtung** erfaßt ständig die vorhandene Innentemperatur (Vorgang: **Messen**). Dieses Thermometer besteht aus zwei Materialien mit unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten α_A und α_B (→ Bild

89/1). Somit wird die Temperaturmessung auf das physikalische Gesetz der Wärmeausdehnung zurückgeführt (→ S. 87). Die Längenänderung Δl wird nach folgender Formel berechnet:

$$\Delta l = l_1 (\alpha_A - \alpha_B) \cdot \Delta \vartheta$$

Je nach den Bedingungen am Meßort werden auch andere Temperaturmeßeinrichtungen eingesetzt (→ Bild 89/2 und S. 71).

Sinkt die Temperatur im Ofenraum aufgrund einwirkender *Störgrößen* ab, so verkürzt sich der Metallstab. Im Schalter erfolgt dabei der Vergleich des *Istwertes der Regelgröße* „Temperatur“ mit der *Führungsgröße* (Vorgang: *Vergleichen*).



89/1 Schematische Darstellung eines Metallstabausdehnungsthermometers

Kontaktthermometer	Bimetallthermometer	Widerstandsthermometer	Thermoelement	Thermistor

89/2 Temperaturmeßeinrichtungen

- ① Berechnen Sie die Längenausdehnung Δl für ein Werkstück mit der Länge $l = 2000 \text{ mm}$ bei einer einwirkenden Temperatur $\vartheta = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ (Ausgangstemperatur $\vartheta_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$)!
- ② Erklären Sie, wodurch während der Einfahrzeit von Kraftfahrzeug-Verbrennungsmotoren sogenannte „Kolbenklemmer“ auftreten können!
- ③ Ordnen Sie den im Bild 89/2 dargestellten Temperaturmeßeinrichtungen die ihnen zugrunde liegenden physikalischen Gesetze (→ S. 71) zu!
- ④ Beobachten Sie die Schaltvorgänge im Kühlschrank nach dem Einbringen unterschiedlicher Mengen an Kühlgut!

Größen, die in ungewollter Weise die Regelgröße x (gesteuerte Größe) merklich beeinflussen, nennt man **Störgrößen** z .

Durch die ungewollte Abkühlung liegt der Istwert aber unter dem Sollwert (\rightarrow S. 88). Das Resultat des Vergleiches ist eine Differenz, die als **Regelabweichung** x_w (\rightarrow S. 92 f.) bezeichnet wird. Gleichzeitig verarbeitet der Schalter die Abweichung und veranlaßt eine Korrektur in der Weise, daß die Regelabweichung beseitigt wird.

Istwert der Regelgröße x ist der Wert, den die Größe im betrachteten Zeitpunkt besitzt.

Durch die Längenausdehnung als Maß für die Temperaturabweichung (Regelabweichung) schließt der Schalter den Stromkreis für das Schaltschütz, das anspricht und somit den Stromfluß für den Heizwiderstand schaltet (Vorgang: *Stellen*). Das Schaltschütz greift in den Energiefluß in der Regelstrecke ein. Es ist die *Stelleinrichtung* dieser Regelung (\rightarrow S. 78 – Stelleinrichtung).

Durch das Heizen erfolgt ein Temperaturanstieg im Ofenraum (Regelstrecke). Da eine ständige *Messung* der Temperatur und ein ständiger *Vergleich* des Istwertes mit der Führungsgröße vorgenommen wird, erfolgt bei Übereinstimmung beider Werte (Regelabweichung = 0) die Unterbrechung (*Stellen*) des Stromflusses für den Heizwiderstand. Dieser Vorgang des Regeln geschieht fortlaufend und automatisch.

Prinzipiell kann man feststellen, daß in einer Regelung ständig folgende Vorgänge automatisch ablaufen:

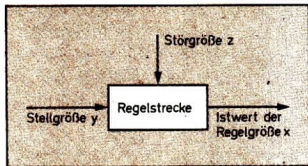
Messen – Vergleichen – Stellen.

Die **Darstellung des Wirkungsweges einer Regelung** erfolgt wie bei der offenen Steuerung mittels Signalfußbild (\rightarrow Bild 78/2), das den prinzipiellen Aufbau und das Zusammenwirken der Bauteile darstellt. Die Struktur einer Regelung und die ablaufenden Vorgänge werden nachfolgend im einzelnen dargestellt. Betrachtet man zunächst die *Regelstrecke* (\rightarrow S. 69 – Steuerstrecke), so wird deutlich, daß sie wie bei der offenen Steuerung die aufgabengemäß zu beeinflussenden Bauteile einer Regelung umfaßt.

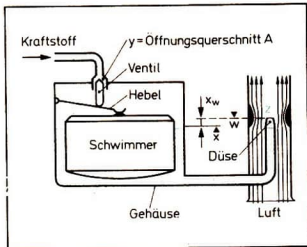
Die Eingangsgröße der Regelstrecke – die *Stellgröße* y – wirkt hierbei in der Weise auf den Stoff- bzw. Energiefluß in der Regelstrecke ein, daß die Wirkung der *Störgröße* z ausgeglichen (kompensiert) und der Istwert der Regelgröße x an die Führungsgröße w angeglichen wird (\rightarrow Bilder 91/1 bis 91/5).

Die Ausgangsgröße der Regelstrecke – der *Istwert der Regelgröße* x – wird ständig von der *Meßeinrichtung* automatisch erfaßt (*Messen*) und stellt deren Eingangsgröße dar. Die Meßeinrichtung wandelt die gewonnene Information derartig um, daß sie als verarbeitbare Ausgangsgröße zur Verfügung steht (\rightarrow S. 70 ff.). Die zu messende physikalische Größe wird als Meßgröße bezeichnet (\rightarrow Bild 93/1).

Das bedeutet im Beispiel der Glühofentemperaturregelung (\rightarrow S. 88), daß die Längenausdehnung Δl des Metallstabausdehnungsthermometers ein proportionales Abbild der momentanen Ofentemperatur ϑ ist.



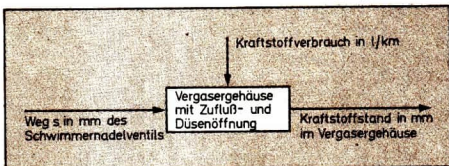
91/1 Signalflußbild der Regelstrecke



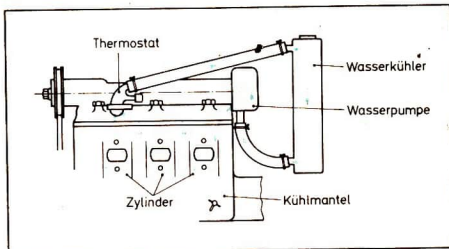
91/2 Schematische Darstellung des Vergasers;

x – Regelgröße, x_w – Regelabweichung,
 w – Führungsgröße, z – Störgröße

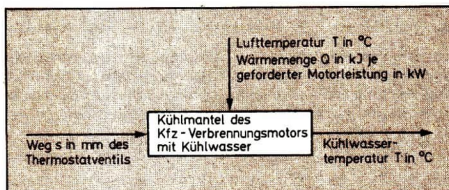
91/3 Signalflußbild der Regelstrecke des Vergasers

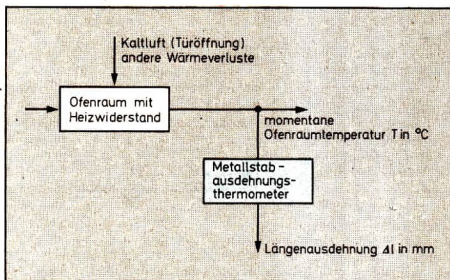


91/4 Schematische Darstellung des Kühlsystems eines Kraftfahrzeugs

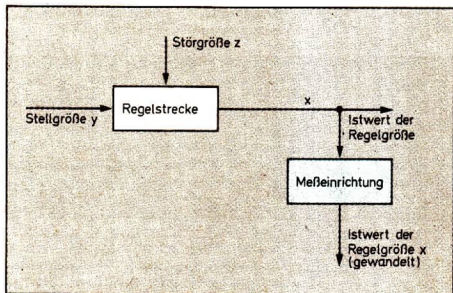


91/5 Signalflußbild der Regelstrecke des Kühlsystems





92/1 Signalflußbild der Glühofentemperaturregelung



92/2 Signalflußbild der Regelstrecke und der Meßeinrichtung

In der Tabelle (↗ Bild 93/1) sind die Eingangsgrößen (Meßgröße = Istwert der Regelgröße x) und Ausgangsgrößen von Meßeinrichtungen verschiedener Regelungen ausgewiesen.

Im weiteren Wirkungsweg erfolgt jetzt der **Vergleich** des Wertes der Ausgangsgröße der Meßeinrichtung mit der **Führungsgröße** w .

➤ **Führungsgröße** w ist die Größe, an die die gesteuerte Größe, hier Regelgröße x , angeglichen wird.

Der Ort des Vergleiches im Wirkungsweg wird **Vergleichsstelle** genannt und im Signalflußbild symbolisch als Kreis dargestellt (↗ Bilder 94/1 und 94/2).

Das Resultat des Vergleiches ist eine Differenz, die als **Regelabweichung** x_w bezeichnet und nach folgender Formel berechnet wird:

$$x_w = x - w$$

Regelungsbeispiel	Eingangsgröße (Meßgröße)	Meßeinrichtung	Ausgangsgröße
Glühofentemperaturregelung	Temperatur T	Metallstabausdehnungsthermometer	Längenänderung Δl
Drehzahlregelung eines E-Motors	Drehzahl n	Tachogenerator	Spannung U
Temperaturregelung im Kfz-Kühlsystem	Temperatur T	Thermostat	Öffnungsquerschnitt A
Temperaturregelung im Bügeleisen	Temperatur T	Bimetallstreifen	Wärmeausbiegung A
Lagerregelung im Flugzeug (Autopilot)	Winkel α	Kardanisches Kreiselssystem	Spannung U

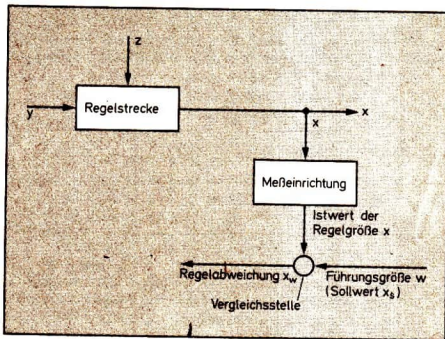
93/1 Eingangs- und Ausgangsgrößen von Meßeinrichtungen

Die **Regelabweichung** x_w ist die Differenz zwischen dem Istwert der Regelgröße x und der Führungsgröße w .

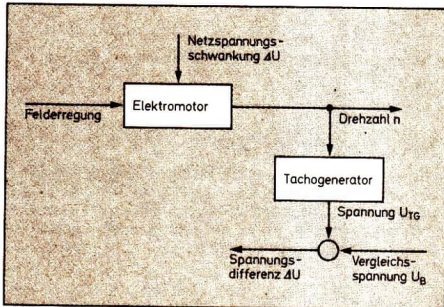
Der Vergleich von Kräften, Drücken, Wegen, Spannungen, Stromstärken oder Frequenzen ist möglich.

Bei der Drehzahlregelung eines Elektromotors gibt die Meßeinrichtung *Tachogenerator* je nach Drehzahl n die gewandelte Ausgangsgröße Spannung U_{TG} ab (↗ Bild 93/1 und 94/2). Diese Spannung (Generatorprinzip) wird mit einer Vergleichsspannung U_B (Führungsgröße w) verglichen. Sie ist der Wert, den die Regelgröße „Drehzahl“, die gewandelt wird, erreichen soll.

- ① Beschreiben Sie die Wirkungsweise der Glühofentemperaturregelung!
- ② Ergünden Sie, welche der nachfolgend genannten Temperaturen geregelt werden: Temperatur im Eisenbahnabteil, Temperatur im Aquarium, Temperatur im Hochofen, Temperatur des Bügeleisens, Temperatur im Gewächshaus, Temperatur im Haushaltelektroherd!
- ③ Welche Bauteile des Vergasers stellen die Regelstrecke und die Meßeinrichtung dar?
- ④ Begründen Sie, warum oft die Meßgröße für die Weiterverarbeitung im Wirkungsweg gewandelt werden muß!



94/1 Signalflußbild mit Vergleichsstelle



94/2 Signalflußbild zur Drehzahlregelung eines Elektromotors

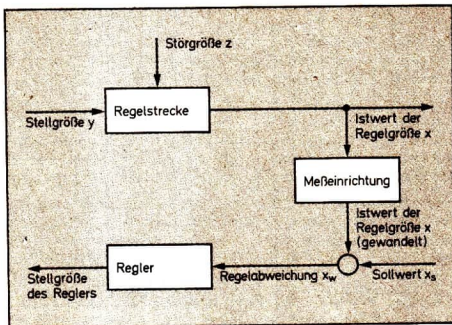
■ Beispiel:
Tachogenerator

Spannung U_{max}	= 40 V $\hat{=} 5000 \text{ min}^{-1}$
Istwert der Regelgröße x	$\hat{=} 30 \text{ V}$
Führungsgröße w	$\hat{=} 32 \text{ V}$
Regelabweichung x_w	$\hat{=} -2 \text{ V}$

①

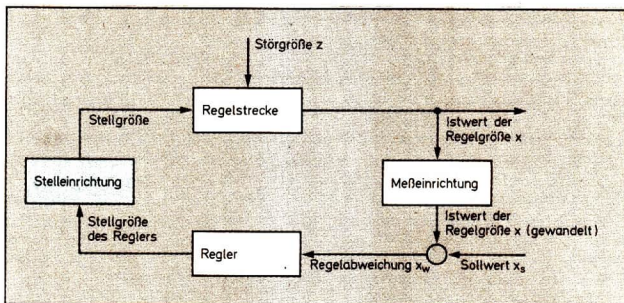
Der Vergleich beider Werte erfolgt im **Regler**. Die mögliche Regelabweichung x_w wird nun im Regler so verarbeitet, daß die von ihm abgegebene Größe die Stelleneinrichtung derartig beeinflusst, daß die Regelabweichung beseitigt wird (\nearrow Bild 95/1).

► Bauteile, die in Abhängigkeit von der Regelabweichung ein Signal an die Stelleneinrichtung abgeben, nennt man **Regler**.

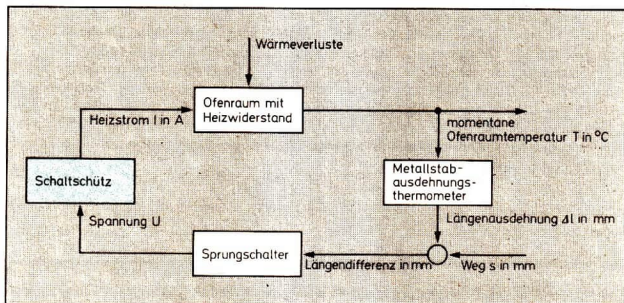


Regler werden oftmals nach der physikalischen Größe benannt, die geregelt werden soll. Folgende Beispiele sollen dies belegen: Spannungsregler, Drehzahlregler, Füllstandsregler, Druckregler, Temperaturregler, Durchflußmengenregler. (3)
Die Ausgangsgröße des Reglers ist gleichzeitig die Eingangsgröße der Stelleinrichtung (→ S. 78). Diese greift solange in den Stoff- bzw. Energiefluß der *Regelstrecke* ein, bis der *Istwert der Regelgröße x* an die *Führungsgröße w* angeglichen soll, nennt man den *Sollwert der Regelgröße*. Die Ausgangsgröße der Stelleinrichtung, die als Eingangsgröße auf die *Regelstrecke* wirkt, heißt *Stellgröße y*.

- 1 Errechnen Sie die Drehzahldifferenz Δn (Regelabweichung) anhand der im Beispiel „Tachogenerator“ (→ S. 94) gegebenen Werte!
- 2 Nennen Sie Beispiele aus ihrem Erfahrungsbereich, wo Spannungen geregelt werden!
- 3 Ordnen Sie den Beispielen für Regler die Zeichen der physikalischen Größen und ihre Einheiten zu!
- 4 Erläutern Sie die Funktion des Reglers an einem selbstgewählten Beispiel!
- 5 Wiederholen Sie die Definitionen für alle aufgeführten regelungstechnischen Begriffe für Bauteile und Größen!
- 6 Zeichnen Sie das Signalflußbild der Füllstandsregelung des Vergasers (→ S. 91)!
- 7 Ordnen Sie den Bauteilen der Glühofentemperaturregelung die regelungstechnischen Begriffe zu! Stellen Sie das Ergebnis tabellarisch dar!
- 8 Welche Bauteile stellen bei folgenden Regelungen die Regelstrecke und die Meßeinrichtung dar? (Industrieller Backofen, Aquarium, Brutschrank für Küken, Warmwasserboiler)
- 9 Welche physikalische Größe stellt bei den Beispielen (→ 8) die Regelgröße x dar?



96/1 Signalflußbild – Stelleinrichtung

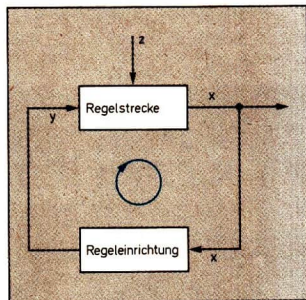
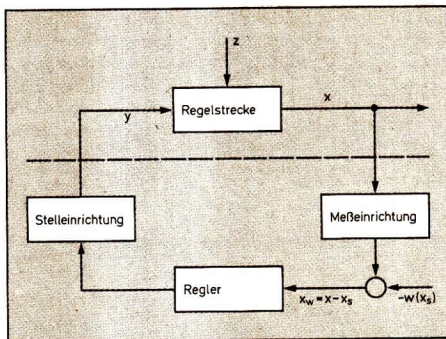


96/2 Signalflußbild der Glühofentemperaturregelung

Betrachtet man das Signalflußbild (↗ Bild 96/1), so ist ersichtlich, daß der Wirkungsweg jetzt *geschlossen* ist. Deshalb sind Regelungen eine Form der **geschlossenen Steuerung**. Die Bauteile Meßeinrichtung, Regler und Stelleinrichtung sind hier Teile der Regeleinrichtung (↗ S. 78 – Steuereinrichtung) und können in einem Block dargestellt werden (↗ Bild 97/2). Regelungen können die Wirkung von Störgrößen ausgleichen (kompensieren).

Die **Wirkungsweise der Regelung** besteht in der zielgerichteten Angleichung des Istwertes der Regelgröße an eine Führungsgröße. Es erfolgt ein Vergleich des Istwertes mit dem Sollwert der Regelgröße. Bei auftretender Regelabweichung durch den Einfluß von Störgrößen reagiert die Regelung automatisch. Es erfolgt eine Beseitigung bzw. Verringerung der Regelabweichung. Der **Wirkungsweg** einer Regelung ist **geschlossen** (Kreisstruktur).

97/1 Signalflußbild der Regelung

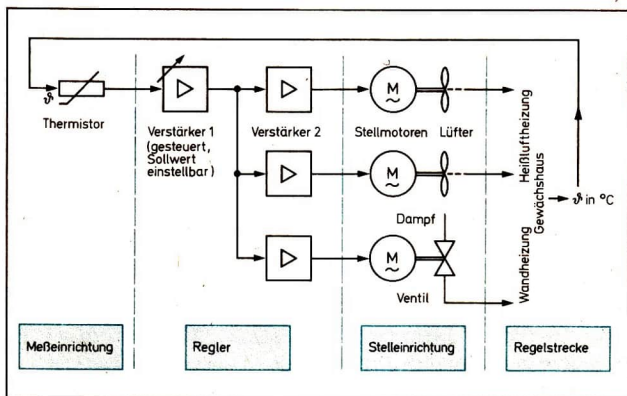


97/2 Allgemeines Signalflußbild der Regelung



97/3 Regeleinrichtung des Gewächshauses zur Regelung der Lufttemperatur

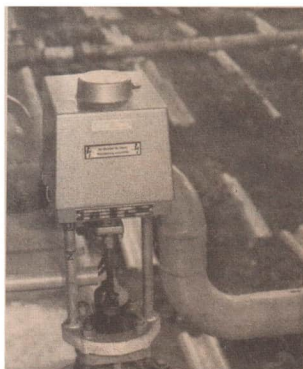
Temperaturregelung als Anwendungsbeispiel. Die begrenzten Naturressourcen der DDR erfordern hochproduktive, effektive Verfahren zur Umwandlung der Energie von Primärenergieträgern in Wärme- und Elektroenergie. Auch solche Energie-reserven wie Biogas in der Landwirtschaft und Abwärme (z. B. Kühlwasser) gilt es zu nutzen. Es ist eine vorrangige Aufgabe, durch Temperaturregelung den Energieverbrauch bei Steigerung der Arbeitsproduktivität zu senken. Die zunehmende Rationalisierung und die industriemäßige Produktion in der Landwirtschaft führen zum Einsatz immer größerer Gewächshäuser. Wissenschaftliche Erkenntnisse über die Wachstumsfaktoren – Licht, Temperatur, Feuchte und CO₂-Gehalt der Luft, Bodentemperatur und -feuchte sowie Nährstoffgehalt – wer-



98/1 Prinzip der Lufttemperaturregelung im Gewächshaus



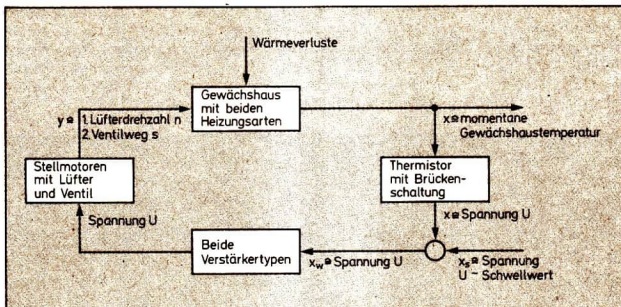
98/2 Temperaturmeßeinrichtung



98/3 Stellmotor mit Ventil

den durch derartige Regelungen beeinflusst. Diese Faktoren wirken sich auf die Quantität und Qualität der im Gewächshaus erzeugten Produkte aus. Der Einsatz von Regelungen in einem Gewächshaus ergibt in einer Vegetationsperiode folgende Einsparungen:

- Einsparung an Kosten für Wärmeenergie: 19 000 Mark je Hektar
- Einsparung an Kosten für Elektroenergie: 4 500 Mark je Hektar.



99/1 Signalfußbild der Lufttemperaturregelung ① ②

Zugleich erfolgt eine Ertragssteigerung um 30 % bei Einsparung von einer Arbeitskraft je Hektar.

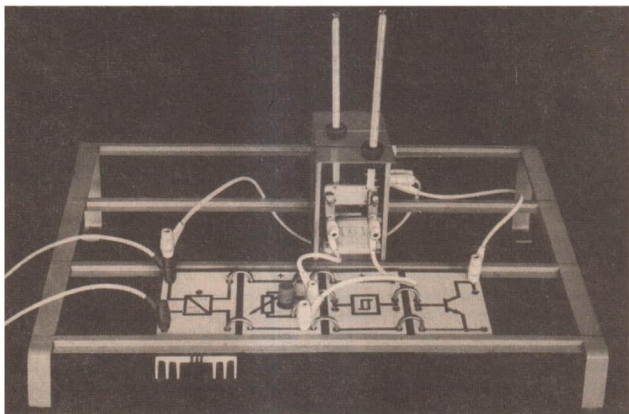
Eine der wesentlichen Prozeßgrößen ist die Lufttemperatur, die in enger Wechselwirkung mit der Bodenfeuchte und Luftfeuchte sowie der Bodentemperatur steht. Deshalb werden mehrere Regelungen eingesetzt, die miteinander verknüpft sind. Vereinfacht ist die Lufttemperaturregelung in Bild 98/1 dargestellt.

Eine *Meßeinrichtung* (Thermistor) erfaßt die Innentemperatur. Entsprechend dem Istwert der Temperatur wird ein Signal abgegeben, das im Verstärker 1 mit der Führungsgröße w verglichen wird. Die ermittelte Regelabweichung x_w wird verstärkt und dem Verstärker 2 zugeführt. Dieser verstärkt das Signal der Regelabweichung derartig, daß die *Stelleinrichtungen* (Stellmotor mit Lüfter der Heißluftheizung und Stellmotor mit Ventil der Wandheizung) zielgerichtet beeinflusst werden. Vereinfacht betrachtet sind beide Verstärker im Beispiel der *Regler*. Das Gewächshaus mit den Heizkörpern stellt die *Regelstrecke* dar. Das Signalfußbild dieser Temperaturregelung ist in Bild 99/1 zu sehen. Störgrößen, wie Absinken der Außentemperatur, Öffnen der Türen, Beregnung mit zu kühlem Wasser, die die Innentemperatur beeinträchtigen, werden also ausgeglichen.

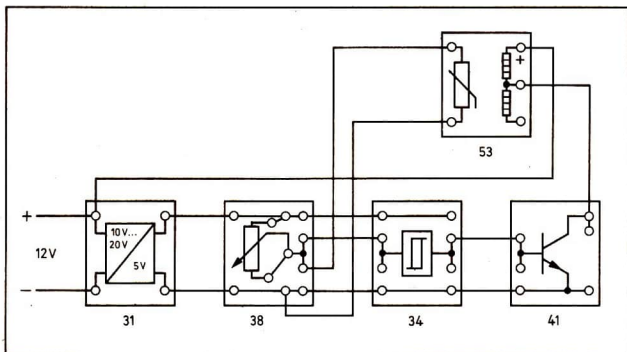
Mit Hilfe des SEG „Temperaturregelung“ kann dieser Vorgang der Temperaturregelung nachvollzogen werden (↗ Bilder 100/1 und 100/2).

- ① Ordnen Sie den einzelnen Größen der Gewächshaustemperaturregelung (↗ Bild 99/1) die regelungstechnischen Begriffe zu!
- ② Zeichnen Sie das Signalfußbild der Gewächshaustemperaturregelung mit regelungstechnischen Begriffen für die Bauteile und Größen!
- ③ Entwerfen Sie eine einfache Temperaturregelung für einen Brutschrank unter Verwendung der Bauteile Thermistor, Verstärker, Relais und Heizwiderstand! Skizzieren Sie den Schaltplan!

Der Innenraum des Bausteins Nr. 53 ist die *Regelstrecke*. Die Innentemperatur stellt die *Regelgröße* x dar (↗ S. 80). Im Unterschied zur offenen Temperaturregelung ist die Meßeinrichtung (Thermistor) in der Regelstrecke angeordnet. Mittels Potentiometer (Baustein Nr. 38) lässt sich die *Führungsgröße* w einstellen. Durch die Exzentrerschraube kann die Frontplatte angehoben werden. Die kühlere Außenluft tritt in die Regelstrecke ein und wirkt somit als *Störgröße*.



100/1 Experimentieranordnung



100/2 Schaltung der Temperaturregelung ② ④

Die Wirkung der *Stelleinrichtung* (Transistor-Baustein Nr. 41), das heißt das Ein- und Ausschalten der Heizung im Innenraum, kann durch die Signallampe beobachtet werden. Der *Istwert* der Temperatur wird am Kontrollthermometer abgelesen (↗ Bild 100/1).

Die verbreitete Anwendung von Temperaturregelungen soll an einem weiteren Beispiel aus der Volkswirtschaft belegt werden. Der steigende Energiebedarf wird im wesentlichen durch Großkraftwerke abgedeckt. Solche Giganten der Energieerzeugung wie das Kraftwerk Hagenwerder – ausgestattet mit 500-MW-Blöcken aus der UdSSR – schaffen die energetischen Voraussetzungen für ein zielstrebiges Wirtschaftswachstum (↗ ET, Kl. 10).

Die Fülle und die Kompliziertheit der dabei ablaufenden Prozesse zwingt dazu, für deren Beherrschung vor allem auch automatische Regelungen einzusetzen. Jeder Block hat 170 Regelungen und 2100 Meßstellen. Ein Automat arbeitet zuverlässiger, exakter, schneller und „ausdauernder“ als der Mensch mit seinen physischen und psychischen Grenzen. Durch Ausnutzung der modernen Technik wird der Mensch somit von routinemäßigen, monotonen und physisch belastenden Tätigkeiten, so z. B. im Turbinenraum, befreit.

Für die im Tagesablauf auftretenden Spitzenbelastungszeiten wird Elektroenergie u. a. durch Gasturbinenkraftwerke bereitgestellt. Diese Kraftwerke arbeiten bei Vollast mit höchstem ökonomischem Effekt. Die Überwachung und Steuerung aller Gasturbinen erfolgt von der zentralen Meßwarte aus.

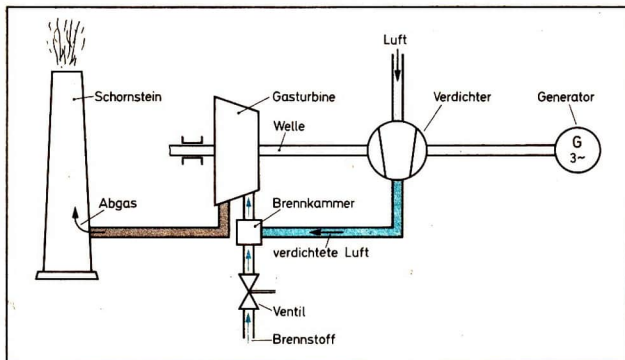
Eine entscheidende Prozeßgröße ist die Temperatur des Gases beim Eintritt in die Gasturbine. Das Schema einer solchen Anlage ist vereinfacht in Bild 102/1 dargestellt. Die Ermittlung der Gastemperatur erfolgt mit Thermoelementen. Das Thermolement der Werkstoffpaarung Platin-Rhodium-Platin gibt bei einer Isttemperatur $\vartheta = 900^\circ\text{C}$ des Gases beispielsweise eine Thermospannung $E_{\text{th}} = 8,43\text{ mV}$ ab. Diese Spannung wird im Regler mit der Vergleichsspannung (Führungsgröße) verglichen. Die gebildete Spannungsdifferenz ist der gewandelte Wert für die Abweichung der Isttemperatur von der Führungsgröße, hier der Temperatur, die das Gas haben soll (Sollwert). Das vom Regler (Schwellwertschalter und Verstärker) abgegebene Signal veranlaßt das Magnetventil, die Brennstoffleitung zu öffnen. Der zugeführte, in der Brennkammer gezündete Brennstoff bewirkt die Aufheizung des vom Verdichter zur Gasturbine gedrückten Gases (z. B. Luft oder Kohlendioxid). Nach Erreichen der Solltemperatur wird durch Schließen der Magnetventile die

-
- ① Welche Wirkung hat die Außenluft auf die Regelgröße beim SEG „Temperaturregelung“?
 - ② Welche Funktion erfüllt der Schwellwertschalter (Baustein Nr. 34, ↗ Bild 100/2) im SEG „Temperaturregelung“?
 - ③ Welche Größe ist beim SEG „Temperaturregelung“ die Führungsgröße?
 - ④ Zeichnen Sie das Signalfußbild des SEG „Temperaturregelung“ mit Benennung der Bausteine des SEG!
 - ⑤ Unter welchen Bedingungen (beachten Sie die Jahreszeit) kann im Gewächshaus für die Beeinflussung der Temperatur eine offene Steuerung bzw. eine geschlossene Steuerung eingesetzt werden? Stellen Sie eine vergleichende Betrachtung zwischen den Experimenten „Offene Temperatursteuerung“ und „Geschlossene Temperatursteuerung“ an (↗ S. 80 und S. 100)!
-

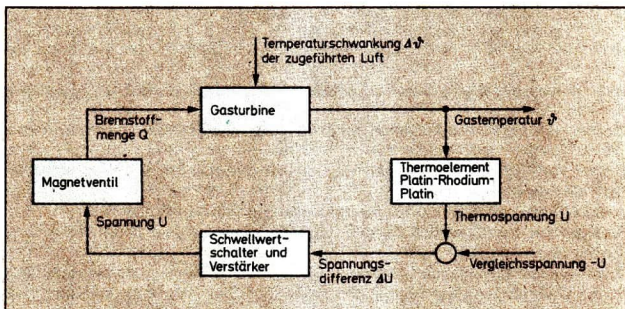
Brennstoffzufuhr unterbrochen. Ein weiterer Temperaturanstieg ist somit unterbunden (→ Bilder 102/1 und 102/2).

In zunehmendem Maße finden Mikrorechner bei der Regelung von Produktionsprozessen Anwendung. Sie eröffnen neue Möglichkeiten bei der Automatisierung der Produktion. Die damit verbundene Digitalisierung hat gegenüber der analogen Technik solche Vorteile wie:

- größere Genauigkeit,
- schnellere Reaktion auf die Veränderung der Werte von Prozeßgrößen,
- höhere Zuverlässigkeit.



102/1 Schematische Darstellung einer Gasturbinenanlage



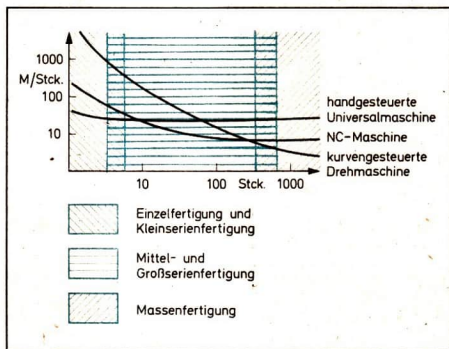
102/2 Signalflußbild der Temperaturregelung einer Gasturbine ②

Numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen

Arbeitsweise einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine

23

Numerische Steuerungen. Die Entwicklung der Werkzeugmaschinen wurde maßgeblich durch die Forderung nach Erhöhung der Produktivität, der Verbesserung der Qualität und der Entlastung des Maschinenbedieners beeinflusst. Diese Anforderungen konnten durch die Anwendung analog-mechanischer Steuerungen aus ökonomischen Gründen nur in der Großserien- und Massenfertigung weitestgehend erfüllt werden. Da der Einsatz dieser Steuerungen mit umfangreichen Vorbereitungsarbeiten verbunden ist, blieben für die Mittel-, Kleinserien- und Einzelfertigung die traditionellen (handbedienten) Universalmaschinen die ökonomisch günstigen Fertigungsmittel. Erst mit der Entwicklung und dem Einsatz numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen war die Voraussetzung gegeben, Arbeiten in diesen Fertigungsarten wirtschaftlich zu automatisieren (→ Bild 103/1).



103/1 Grafische Darstellung der Wirtschaftlichkeit von Werkzeugmaschinen

- 1 Berechnen Sie den Istwert der Regelgröße „Temperatur“, wenn ein Thermoelement (Eisen-Konstantan) eine Thermospannung $E_{th} = 10,95 \text{ mV}$ abgibt ($100 \text{ }^\circ\text{C} \hat{=} 5,53 \text{ mV}$)!
- 2 a) Welche regelungstechnische Funktion übt das Magnetventil der Temperaturregelung der Gasturbine aus?
b) Nennen Sie Störgrößen, die die Regelgröße dieser Temperaturregelung beeinträchtigen!
c) Ordnen Sie allen Größen und Bauteilen tabellarisch die regelungstechnischen Begriffe zu!

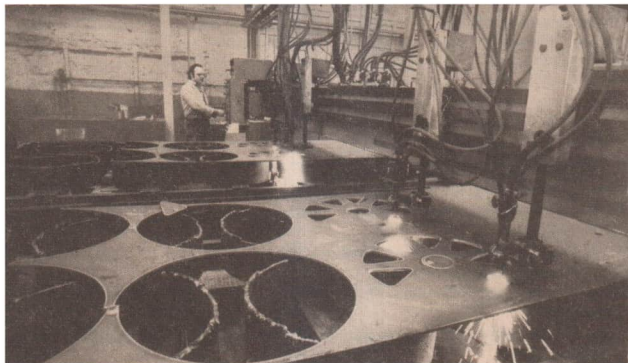
Durch den Einsatz numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen ist die automatische Bearbeitung von Werkstücken auch in der Mittel-, Kleinserien- und Einzelfertigung ökonomisch vorteilhaft.

Bild 104/1 zeigt eine numerisch gesteuerte Brennschneidemaschine. Die beim Ausschneiden der Werkstücke vom Brennerkopf auszuführenden Arbeitsbewegungen sind durch die geometrische Form der Werkstücke festgelegt. Die Arbeitswege und Arbeitsgeschwindigkeiten (Arbeitsinformationen) sind auf einem Lochband ziffernmäßig verschlüsselt. Durch die Steuerorgane der Maschine werden diese Arbeitsinformationen verarbeitet und dadurch der Ausschneidevorgang automatisch ausgeführt. Diese Maschine eignet sich auch bei geringen Stückzahlen für das Ausschneiden von Werkstücken mit komplizierten geometrischen Formen und hohen Genauigkeitsanforderungen.

Der aus dem Englischen stammende Begriff „numerical controlled machine“ bedeutet „zifferngesteuerte Werkzeugmaschine“. Er sagt aus, daß bei *numerischen Steuerungen* ziffernmäßig verschlüsselte Arbeitsinformationen verarbeitet werden, um Arbeitsvorgänge und -prozesse automatisch ablaufen zu lassen. Damit ist die numerische Steuerung eine digitale Steuerung.

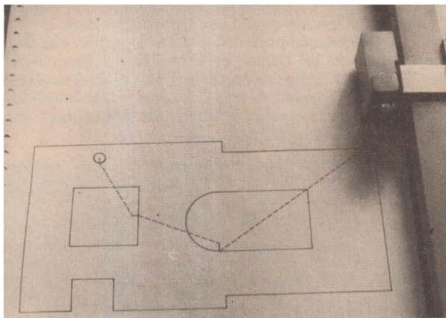
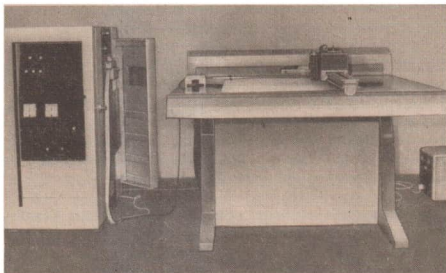
NC-Werkzeugmaschinen müssen alle Arbeitsinformationen in Form binärkodierter *digitaler* Signale erhalten und verarbeiten.

Mit dem Einsatz mikroelektronischer Bauelemente wird die numerische Steuerung zunehmend auch in der Produktionsvorbereitung angewendet. Dadurch werden die Vorbereitungszeiten verkürzt und die Konstrukteure und Technologen von Routinearbeiten zugunsten geistig-schöpferischer Arbeiten befreit.



104/1 Numerisch gesteuerte Brennschneidemaschine

105/1 Numerisch gesteuerte Zeichenmaschine



105/2 Zeichenkopf und angefertigte Zeichnung

Der Konstrukteur legt Form, Abmessungen, Toleranzen, Werkstoffart und Oberflächengüte des Werkstückes in der technischen Zeichnung fest. Um das Anfertigen der technischen Zeichnung zu rationalisieren, werden numerisch gesteuerte Zeichenmaschinen eingesetzt.

Bei der in Bild 105/1 dargestellten NC-Zeichenmaschine werden die Informationen, die grafisch darzustellen sind, über Lochbänder oder Magnetbänder eingegeben. Die von der Leseeinrichtung aufgenommenen digitalen Signale steuern die Bewegung des Zeichenkopfes (→ Bild 105/2). Die NC-gesteuerten Zeichenmaschinen besitzen eine hohe Zeichengenauigkeit und -geschwindigkeit. Das manuelle Herstellen einer Zeichnung dauert gegenüber dem Anfertigen mit einer NC-Zeichenmaschine etwa 30mal länger.

Auch die umfangreichen Vorbereitungsarbeiten der Technologen werden immer häufiger durch den Einsatz von Mikrorechnern automatisiert. Beim manuellen Erarbeiten der technologischen Unterlagen entfällt ein beträchtlicher Teil der Zeit für das Suchen und Verarbeiten von Informationen aus Richtwerttabellen, Werkzeugkatalogen usw.

Die konventionellen Arbeitsmittel des Technologen waren dabei Formblätter, Bleistift, Radiergummi und Taschenrechner.

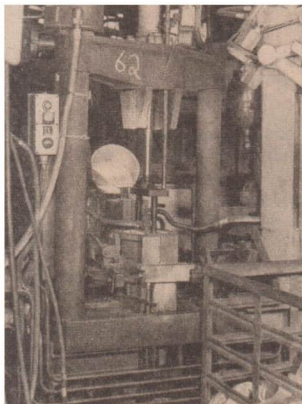
Eine deutliche Zeiteinsparung und Entlastung von immer wiederkehrenden geistig monotonen Tätigkeiten erbringt die Anwendung der Mikrorechner. Im Mikrorechner sind eine Vielzahl von Programmen in mikroelektronischen Bauelementen als digitale Signale gespeichert. An dem in Bild 106/1 dargestellten Technologenarbeitsplatz mit Mikrorechner werden z. B. Arbeitspläne (→ Bild 123/1) rechnergestützt erarbeitet. Ähnlich wie beim automatischen Fahrausweisdrucker (→ S.86), tritt auch hier der Bedienende (Technologe) mit dem Rechner über den Bildschirm in einen Dialog. Auf dem Bildschirm erscheinen die programmierten Fragen, die der Technologe über ein Tastenfeld beantwortet. Der Rechner sucht in seinem Speicher die entsprechenden Informationen.

Die Einsatzgebiete solcher oder ähnlicher digitaler Steuerungen mit Mikrorechner sind vielfältig. So werden Rechner in der Medizin zur Diagnoseermittlung, in der chemischen Industrie zur Überwachung und Steuerung von chemischen Prozessen, in der Landwirtschaft zur Futtermitteldosierung, im Verwaltungsbereich zur Rechnungs- und Kontenführung usw. genutzt. Ein weiteres Einsatzgebiet der Mikrorechner ist die Steuerung von Industrierobotern.

Beim Punktschweißroboter (→ Bild 45/2) werden alle Bewegungen des Schweißwerkzeuges und die Dauer des Schweißvorganges durch den Rechner gesteuert. Der in Bild 106/2 dargestellte Gießroboter schöpft selbsttätig die Schmelze aus einem Behälter und gießt sie in die Kokille ein. Die Anwendung solcher mikrorechnergesteuerten Industrieroboter befreit die Werk tätigen von schwerer körperlicher und gesundheitsschädigender Arbeit.

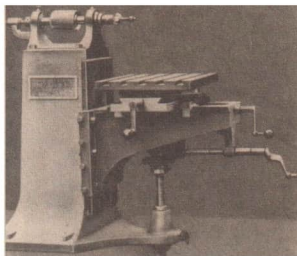


106/1 Technologenarbeitsplatz mit Mikrorechner und Bildschirmereinheit



106/2 Industrieroboter mit Gießpfanne zum Gießen von Werkstücken aus Aluminiumlegierungen

Von der traditionellen Werkzeugmaschine zur numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine. Aus der Geschichte der Technik erkennt man das jahrhundertelange Bemühen, die Herstellung von Werkstücken selbsttätig ablaufen zu lassen. Der Vergleich einer numerisch gesteuerten Waagrecht-Bohr- und Fräsmaschine aus dem Jahre 1983 (→ 3. Umschlagseite) mit einer der ersten Fräsmaschinen aus dem Jahre 1880 (→ Bild 107/1) oder einer Fräsmaschine mit Nockensteuerung aus dem Jahre 1960 (→ Bild 108/1) zeigt, in welchem Maße der Mensch aus dem direkten Fertigungsprozeß heraustritt.



107/1 Historische Fräsmaschine (1880)

Bei der handgesteuerten Werkzeugmaschine erfolgt die Steuerung des Arbeitsablaufes unmittelbar durch den Bedienenden über Hebel, Handräder, Schalter, Kurbeln usw. Das mit solchen Maschinen erzielte Arbeitsergebnis ist bezüglich der Qualität und Quantität entscheidend von den Fertigkeiten und Fähigkeiten des Facharbeiters abhängig.

Durch die Anwendung von analog-mechanischen Steuerungen konnten einfache Steueraufgaben an Maschinen übertragen werden. So werden z. B. bei der im Bild 108/1 dargestellten Fräsmaschine alle gesteuerten Bewegungen (Schnitt-, Vorschub-, Zustellbewegung) durch Nocken ausgelöst.

Der Einsatz nockengesteuerter Maschinen ist ökonomisch nur vertretbar, wenn Werkstücke in größerer Stückzahl gefertigt werden. Häufiges und schnelles Umstellen bei geringen Stückzahlen auf neue Arbeitsaufgaben würde zu langen Stillstandszeiten führen, denn das Umrüsten erfolgt an der Maschine.

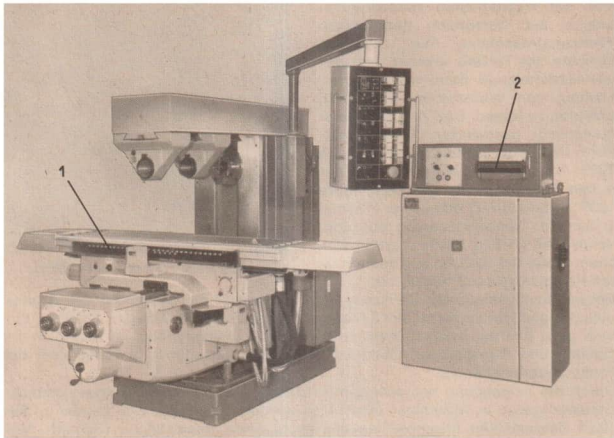
Trotz der hier aufgezeigten Nachteile bedeutet der Einsatz von nockengesteuerten gegenüber handgesteuerten Fräsmaschinen eine wesentliche Erleichterung der Arbeit. Der Facharbeiter wird von immer wiederkehrenden gleichartigen geistigen und manuellen Tätigkeiten befreit. Er wird aus dem unmittelbaren Bearbeitungsprozeß teilweise herausgelöst und kann dadurch mehrere Maschinen gleichzeitig bedienen.

1. Nennen Sie traditionelle Universalmaschinen, die in der produktiven Arbeit und in Ihrem Betrieb eingesetzt sind!

2. Begründen Sie, warum durch den Einsatz numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen die Voraussetzung gegeben ist, die Mittel-, Kleinserien- und Einzelfertigung wirtschaftlich zu automatisieren!

3. Nennen Sie Erzeugnisse (Maschinen und Anlagen) aus anderen Industriezweigen, die mit numerischen (digitalen) Steuerungen ausgerüstet sind!

4. Nennen und vergleichen Sie die vom Facharbeiter auszuführenden Tätigkeiten beim Bedienen einer traditionellen, einer analog-mechanischen und einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine! (→ LE 24)



108/1 Fräsmaschine mit Nockensteuerung und Kugelschrittschaltwerk;
1 Nockenbahn, 2 Programmwalze

Durch die Anzahl der Nocken und Nockenbahnen ist das Speichervolumen von Arbeitsinformationen begrenzt. Komplizierte Bearbeitungsaufgaben erfordern die Speicherung und Verarbeitung von umfangreichen Informationen. Eine Erweiterung des Speichervolumens erreicht man durch ein Kugelschrittschaltwerk mit Programmwalze. Die Bearbeitungswege sind durch Nocken und die Schaltinformationen durch die Programmwalze gespeichert. Für die elektrische Verarbeitung der Arbeitsinformation ist ein separater Schaltschrank erforderlich. Der elektromechanische Aufwand für diese Steuerung ist erheblich. Mit diesem größeren Aufwand erhöhte sich auch die Störanfälligkeit solcher Steuerungen.

Die Struktur der Nockensteuerung entspricht einer Steuerung mit offenem Wirkungsweg (→ S. 82). Bei analog-mechanischen Steuerungen werden Weginformationen durch die geometrische Form (von Kurvenscheiben) oder durch die mit Anschlägen bzw. Nocken eingestellten Abstände an der Maschine gespeichert. Bei Werkstücken mit komplizierten geometrischen Formen ist die Herstellung bzw. das Einrichten dieser Speicher an der Maschine mit hohem Zeit- und Kostenaufwand verbunden. Dieser Arbeitsaufwand kann wesentlich verringert werden, wenn Werkzeugmaschinen numerische (ziffernmäßige) Angaben der Arbeitsinformationen ohne Zwischenschaltung des Menschen „verstehen“ und „verarbeiten“ können. Die Maßzahlen, wie sie aus der technischen Zeichnung zu entnehmen sind, und die technologischen Zahlenangaben dienen *direkt* zur Steuerung einer Maschine. Sie werden vorher jedoch in eine der Steuerung verständliche Form gebracht, d. h. in binärkodierte digitale Signale gewandelt.

Damit ist es möglich, die erforderlichen Positionen der Arbeitsorgane (Weginformationen) und alle Schaltinformationen ziffernmäßig verschlüsselt auf einem Programmspeicher (z. B. Lochband) vorzugeben. Durch das Zusammenwirken von

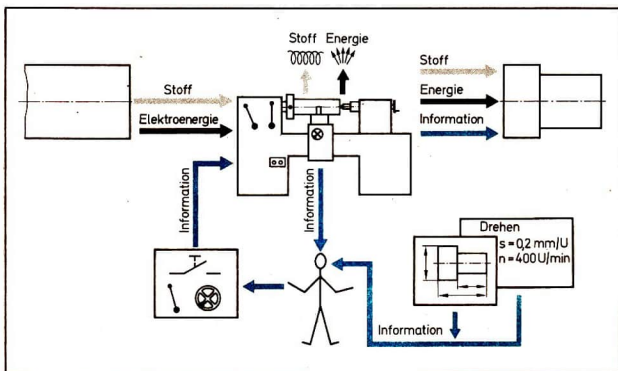
Leseeinrichtung, Wegmeßeinrichtung und Vergleichseinrichtung kann die NC-Maschine das eingegebene Programm selbsttätig abarbeiten.

NC-Maschinen sind mit Steuerorganen ausgerüstet, die ein ziffernmäßiges Erkennen, Speichern und Verarbeiten von Arbeitsinformationen ermöglichen.

Gegenüberstellung der Tätigkeiten beim Bedienen traditioneller und numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen

24

Die Tätigkeiten des Facharbeiters unterscheiden sich beim Bedienen von traditionellen und numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen wesentlich voneinander. Bei der traditionellen Werkzeugmaschine entnimmt der Facharbeiter aus der technischen Zeichnung und den technologischen Unterlagen Arbeitsinformationen und speichert sie in seinem Gedächtnis. Die in der technischen Zeichnung als Maßzahlen enthaltenen Weginformationen (Sollwerte der Führungsgröße) dienen ihm zum Bestimmen des Bewegungsablaufes des Werkzeuges. Er richtet danach die Maschine ein (Einspannen des Werkzeuges und Werkstückes). Beim Bedienen werden durch Betätigung von Schaltern und Hebeln Drehzahlen und Vorschübe eingestellt und die einzelnen Arbeitsschritte ausgelöst. Der Facharbeiter gibt also die Arbeitsinformationen an die Steuerorgane der Maschine. Während der Bearbeitung erhält er ständig durch die an der Maschine vorhandene Meßeinrichtung Weginformationen (Istwerte), wie z. B. Meßwerte über den vom Werkzeug zurückgelegten Weg. Diese Informationen werden mit den im Gedächtnis gespeicherten Informationen verglichen. Je nach dem Ergebnis des Soll-/Istwert-Vergleichs greift der Facharbeiter durch Betätigen von Hebeln, Schaltern, Handrädern usw. in den Energiefluß der Maschine ein.



109/1 Bedienen einer traditionellen Werkzeugmaschine

Bei der **Handbedienung** einer traditionellen Werkzeugmaschine handelt es sich um einen geschlossenen Steuerungsvorgang, bei dem der Facharbeiter ständig messen, vergleichen und stellen muß. Er ist noch *fest* in den Fertigungsablauf einbezogen.

Im Unterschied zur traditionellen Werkzeugmaschine wird bei der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine ein großer Teil der Verantwortung für die Produktion in die produktionsvorbereitenden Abteilungen verlagert. Von Technologen wird ein Programmablaufplan erarbeitet (↗ S. 130 ff.). Die darin enthaltenen Arbeitsinformationen gibt der Facharbeiter durch ein Lochband in die Leseeinrichtung der Maschine ein. Der vorgegebene Fertigungsablauf wird dann automatisch abgearbeitet. Damit ist der Facharbeiter beim Bedienen von NC-Maschinen nicht mehr „Teil“ der geschlossenen Steuerung und somit von den formal-geistigen und manuellen Tätigkeiten des Messens, Vergleichens und Stellens entbunden. Die Effektivität des Einsatzes von numerisch gesteuerten Maschinen ist aber trotzdem vom Facharbeiter an der Maschine abhängig. Er nimmt durch das Einrichten, Bedienen, Warten und Pflegen der Maschine Einfluß auf die Maschinenauslastung. In der folgenden Tabelle sind die Tätigkeiten des Facharbeiters beim Einrichten und Bedienen von numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen aufgeführt. ↗ ④ S. 107

Tätigkeiten des Facharbeiters beim Einrichten	Bedienen
<ul style="list-style-type: none"> ● Spannen des ersten Werkstückes ● Einsetzen der Werkzeuge in den Werkzeugspeicher ● Einlegen des Lochbandes in den Lochbandleser 	<ul style="list-style-type: none"> ● Ein- und Ausschalten der Maschine ● Wechseln der Werkstücke ● Erkennen von Maschinenfehlern ● Prüfen der Werkstücke ● Warten und Pflegen der Maschine

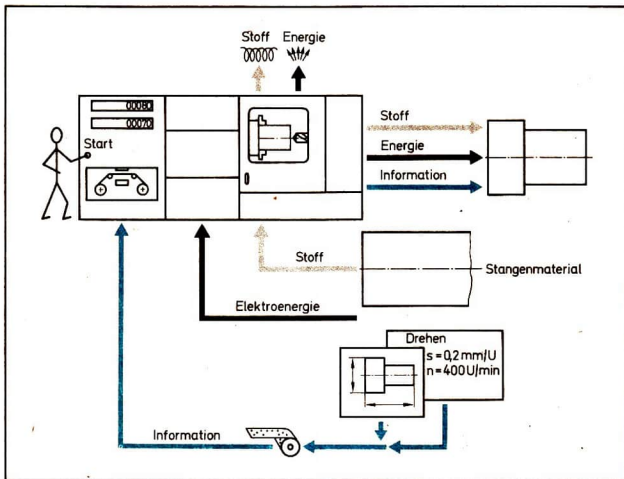
110/1 Tätigkeiten des Facharbeiters

An den Facharbeiter, der numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen bedient, werden hohe Anforderungen gestellt, und ihm wird aufgrund des hohen Grundmittelwertes der Maschinen eine hohe Verantwortung übertragen. Anforderungsmerkmale sind:

- hohes Verantwortungsbewußtsein,
- schnelle Aufnahme und Verarbeitung von Informationen,
- gutes und sicheres Reaktionsvermögen,
- Kenntnisse auf dem Gebiet der Programmierung und Fertigungstechnik,
- umfassende Kenntnisse über Aufbau und Wirkungsweise sowie hohe Sicherheit beim Bedienen der NC-Maschine.

Vergleicht man die traditionelle Werkzeugmaschine und die numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile, so ergeben sich für die NC-Maschine zahlreiche Vorteile:

- Verbesserung der Arbeitsbedingungen des Facharbeiters durch Entlastung von immer wiederkehrenden gleichartigen geistigen und manuellen Tätigkeiten,
- Steigerung der Arbeitsproduktivität durch Verringerung der Grund-, Hilfs-, Vorbereitungs- und Stillstandszeiten,



111/1 Bedienen einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine

- Sicherung der Qualität der Werkstücke,
- Mehrmaschinenbedienung,
- verbesserte Flexibilität durch geringeren Vorbereitungsaufwand der Maschine beim Umrüsten auf ein neues Werkstück.

Die Anschaffungskosten (Grundmittelwert) numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen sind gegenüber vergleichbaren traditionellen Werkzeugmaschinen wesentlich höher (2...5fach). Die genannten zahlreichen Vorteile und eine hohe Auslastung im 3-Schicht-System sichern einen ökonomischen Einsatz dieser hochproduktiven Maschinen.

Arbeitsweise einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine

Prinzip der geschlossenen Steuerung mit Abschaltkreis. Zur Bearbeitung von Werkstücken sind Arbeitsinformationen notwendig. Die Schaltinformationen schaffen die Arbeitsbedingungen. Mit ihnen werden die Drehzahl, der Vorschub, das Werkzeug, die Kühlmittelzufuhr usw. eingestellt (↗ Bild 112/1). Diese auf dem Lochband gespeicherten Schaltinformationen werden bei der numerisch gesteuerten

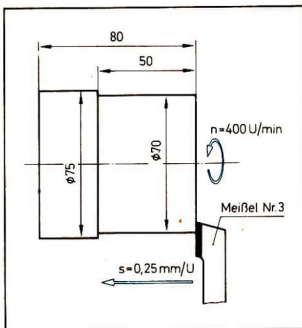
25

- ① Stellen Sie das Signalflußbild der „geschlossenen Steuerung“ beim Bedienen einer traditionellen Werkzeugmaschine auf!

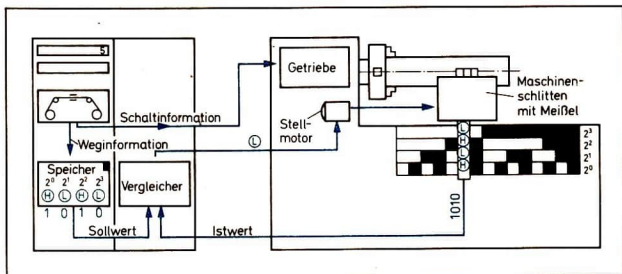
Werkzeugmaschine über die Eingabe-einrichtung als Steuersignale direkt an die Stelleinrichtung geleitet (↗ Bild 112/2).

Die Weginformationen müssen in Wegänderungen der Arbeitsorgane umgesetzt werden. Ihre Verarbeitung erfolgt mit wesentlich höherem Aufwand. Es wird dabei das Prinzip der *geschlossenen Steuerung* angewendet (↗ Bild 113/1). Die auf dem Lochband digital verschlüsselte Weginformation stellt den Positions-Sollwert der Führungsgröße dar. Der Weg s des Maschinenschlittens mit Werkzeug (*Steuerstrecke*) ist die zu steuernde Größe x . Der Istwert der Steuergröße wird ständig von der Meßeinrichtung automatisch erfaßt (*Messen*). Die Ausgangsgrößen der Eingabe-einrichtung und der Meßeinrichtung (Sollwert der Führungsgröße und Istwert der Steuergröße) werden der Vergleichseinrichtung als digitale elektrische Signale zugeführt.

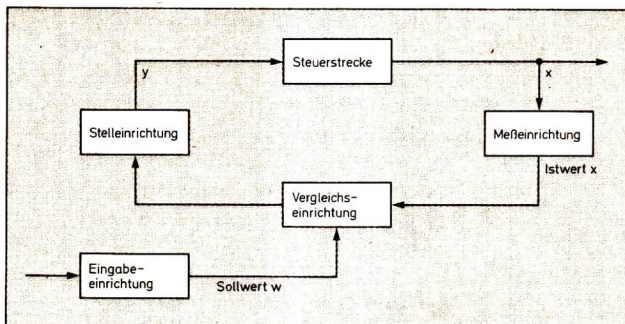
Hier erfolgt der *Vergleich* der Werte der beiden Größen. Bei Übereinstimmung von Soll- und Istwert gibt die Vergleichseinrichtung ein Signal an die *Stelleinrichtung* ab. Damit wird der Energiefluß der Vorschubbewegung des zu positionierenden Maschinenteils (Maschinenschlitten) unterbrochen. Es erfolgt dabei das Löschen des gespeicherten Programmsatzes. Erst nach erfolgter Eingabe und Speicherung des nächsten Programmsatzes wird der Soll-/Istwert-Vergleich wieder in Gang gesetzt. Das heißt, die Abarbeitung des gesamten Bearbeitungsprogrammes erfolgt abschnittsweise (satzweise). Das hier angewendete Prinzip der geschlossenen Steuerung mit Abschaltkreis ist nicht in der Lage, auf Störungen (z. B. Werkzeugverschleiß) automatisch zu reagieren und deren Wirkungen (Maßhaltigkeit des Werkstückes) auszugleichen.



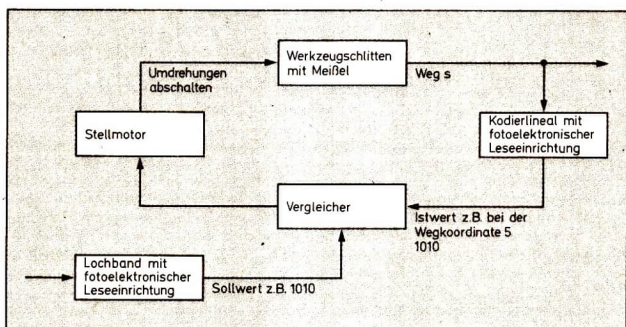
112/1 Weg- und Schaltinformationen für einen Arbeitsschritt



112/2 Schematische Darstellung des Wirkungsablaufes an einer NC-Maschine



113/1 Signalflußbild der NC-Steuerung mit Abschaltkreis



113/2 Signalflußbild mit Bauteilbenennung

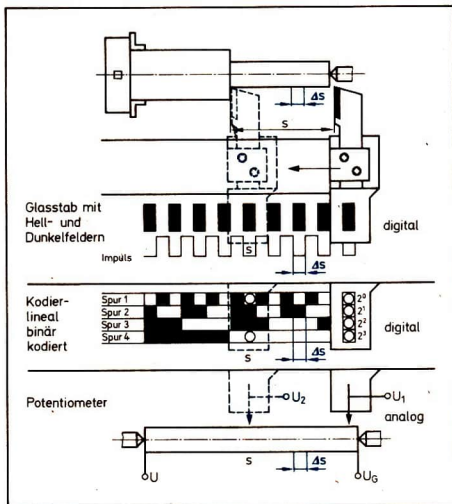
Aufbau und Wirkungsweise der wesentlichen Baugruppen der NC-Maschine

26

Meßeinrichtung. Der Istwert der gesteuerten Größe muß fortlaufend der Vergleichseinrichtung übermittelt werden (↗ Bild 113/1). Deshalb sind an allen numerisch gesteuerten Maschinen Wegmeßeinrichtungen vorhanden, die während der Bearbeitung des Werkstückes den augenblicklich zurückgelegten Weg (Istwert) des Arbeitsorgans automatisch messen (↗ Bild 114/1).

Die Meßeinrichtung wandelt die gewonnenen Weginformationen in elektrische Signale um. Diese Signale können in analoger oder digitaler Form vorliegen (↗ Bild 114/1).

Eine Möglichkeit zur analogen Meßwerterfassung ist die Anwendung der Span-

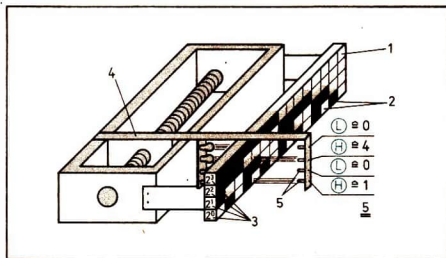


114/1 Wegmeßverfahren
numerisch gesteuerter
Werkzeugmaschinen

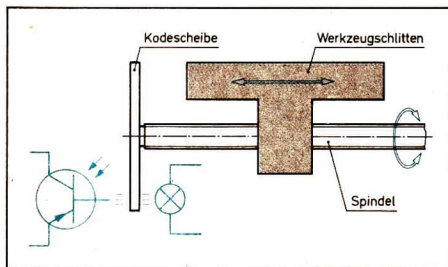
nungsteilerschaltung (↗ S. 75 f. und Bild 114/1). Bei diesem Meßverfahren wird die Weglänge s in eine andere analoge physikalische Größe (Spannung U) gewandelt. Für die weitere Verarbeitung im Vergleicher muß das Meßergebnis jedoch als digitales Signal vorliegen. Das bedeutet, bei der Spannungsteilerschaltung muß das durch die Messung gewonnene analoge Signal mit Hilfe mikroelektronischer Analog-Digital-Umsetzer in ein digitales Signal gewandelt werden. Es werden häufig Meßeinrichtungen eingesetzt, die den erfaßten Weg sofort in digitale elektrische Signale wandeln können (↗ Bild 115/1). Eine *digitale* Meßwerterfassung erfolgt, wenn kleine Wegschritte (Δs) des Arbeitsorgans mit Hilfe des dualen Zahlensystems gekennzeichnet werden. Jeder Schritt ist dabei gegenüber einem festen Nullpunkt eindeutig gekennzeichnet, das heißt, jeder Position ist nur *ein* Zahlenwert (Signalkombination) zugeordnet. Der mit dem Arbeitsorgan direkt verbundene Maßstab (Kodierlineal) (1) ist nach dem Dualsystem mit Hell- und Dunkelfeldern (2) (dual-kodiert) versehen. Jeder Spur (3) des Lineals ist eine Wertigkeit (z. B. 2^2 ; 2^1 ; 2^0 ; 2^2) zugeordnet. Bewegt sich das Arbeitsorgan (4), werden nach dem Prinzip der Lichtschranke in den Fototransistoren (5) digitale elektrische Signale erzeugt. Der abgetastete Wert (Position des Arbeitsorgans) setzt sich aus einer Kombination der Hell- und Dunkelfelder bzw. 0- und 1-Aussagen zusammen. In Bild 115/1 wird als Meßergebnis die Position 5 als Summe der Einzelwertigkeiten je Spur ermittelt.

Dualzahl	0	1	0	1
Stellenwert	2^3	2^2	2^1	2^0
Dezimalwert	0	+ 4	+ 0	+ 1 = 5

115/1 Prinzip der digitalen Meßwerterfassung



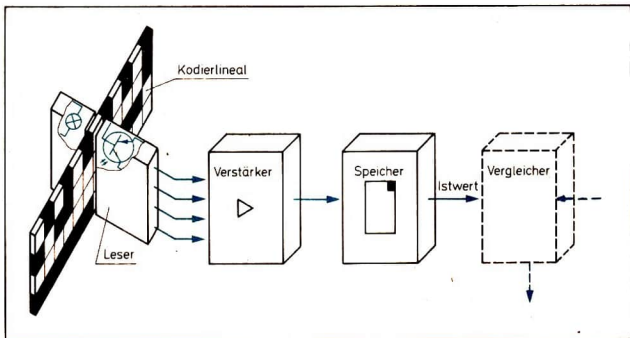
115/2 Wegmessung mit Kodescheibe



Die Teilung der feinsten Spur des Kodierlineals bestimmt die kleinste Wegeinheit. Bei einem Linearmaßstab muß die Teilung der feinsten Spur z. B. $s = 0,01$ mm betragen. Dadurch sind bei einer Maßstablänge von 1000 mm in dualer Verschlüsselung insgesamt 17 Maßstabspuren erforderlich. Ein solcher Maßstab ist sehr aufwendig in der Herstellung. Die meisten Meßeinrichtungen werden deshalb mit Kodescheiben ausgerüstet.

Die Kodescheibe ist in einem geschlossenen Gehäuse meist an der Spindel des Schlittens angebracht (→ Bild 115/2).

- ① Vergleichen Sie die Wirkungsweise einer nockengesteuerten mit einer numerisch gesteuerten Fräsmaschine! Stellen Sie die Signalfußbilder der beiden Steuerungsarten gegenüber!
- ② Ordnen Sie den Bauteilen der NC-Steuerung mit Abschaltkreis die steuerungstechnischen Begriffe zu!
- ③ Erläutern Sie den Unterschied zwischen einer NC-Steuerung mit Abschaltkreis und einer Regelung!
- ④ Stellen Sie das Signalfußbild der offenen Steuerung zur Verarbeitung der auf einem Lochband gespeicherten Schaltinformationen auf!



Kodierlineal
speichert
digital ver-
schlüsselte
Längen-
einheiten (Wege)

Leser
wandelt
die Längenein-
heiten in
elektrische
Signale

Verstärker
verstärkt die
elektrischen
Signale

Speicher
speichert die
digitalen
elektrischen
Signale für den
Vergleich

116/1 Schematische Darstellung der Wegmeßeinrichtung

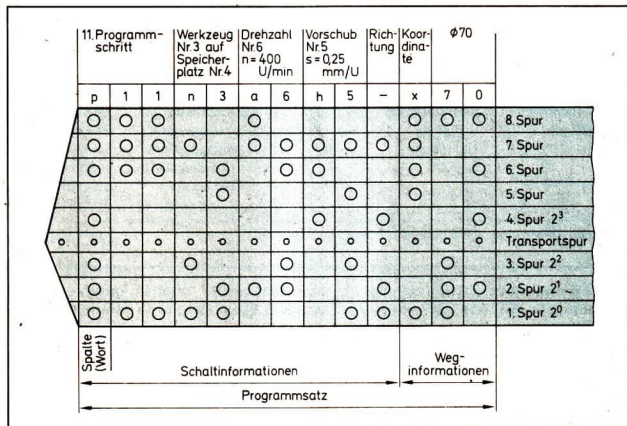
Die **Wegmeßeinrichtung** erfasst ständig den Istwert der Position der Arbeitsorgane, wandelt die dabei gewonnenen Weginformationen in elektrische Signale um, verstärkt und speichert sie.

Zur weiteren Verarbeitung werden die gespeicherten digitalen Signale der Vergleichseinrichtung zugeführt (→ Bild 116/1).

Eingabeeinrichtung. Für den Soll-/Istwert-Vergleich müssen der Vergleichseinrichtung – außer den von der Meßeinrichtung erfaßten Istwerten – die Sollwerte der Führungsgröße übermittelt werden. Dem Leser der Eingabeeinrichtung werden deshalb die binär-kodierten Arbeitsinformationen durch einen Informationsträger (externer Speicher) eingegeben. Als Informationsträger können Lochkarte, Lochband, Magnetband und Magnetplatte eingesetzt werden.

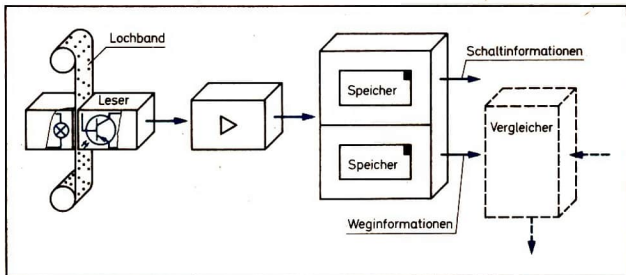
Sie unterscheiden sich nach der Informationsdichte (bit/cm^2). Die Lochkarte wird aufgrund ihres begrenzten Speichervermögens (etwa $7 \text{ bit}/\text{cm}^2$) kaum noch verwendet. Das Magnetband ist ein Informationsträger mit hoher Informationsdichte (etwa $1250 \text{ bit}/\text{cm}^2$). Es wird häufig in der Rechentechnik eingesetzt. Als Informationsträger für numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen wird das Lochband (etwa $15 \text{ bit}/\text{cm}^2$) verwendet. Alle Arbeitsinformationen sind auf dem Lochband durch Ziffern, Buchstaben und andere Zeichen als lesbare Lochkombinationen verschlüsselt. Man spricht von alpha-numerischer Kodierung. Die Weginformationen sind dabei im BCD-Kode verschlüsselt.

International hat sich das 8-Spur-Lochband durchgesetzt (↗ Bild 117/1). Bei acht Spuren sind 255 Lochkombinationen möglich. Es werden jedoch nicht alle Kombinationen für die NC-Steuerung von Werkzeugmaschinen benötigt. Die Vielzahl der möglichen Kodierungen macht es erforderlich, die Zuordnung von Zeichen zu standardisieren. Im Bereich des RGW wird der ISO-Programmcode benutzt. Das Lochband wird fotoelektronisch abgetastet (gelesen). Die als Lochkombinationen (↗ Bild 117/1) vorliegenden Arbeitsinformationen werden in digitale elektrische Signale gewandelt. Es werden immer die für *einen* Arbeitsschritt (Satz) notwendigen Arbeitsinformationen nacheinander vom Lochband abgelesen und über eine Verstärkerschaltung als elektrische Signale den jeweiligen internen Speichern zugeführt. Die Signale für die Schaltinformationen werden vom Speicher zur Weiterverarbeitung der Stelleinrichtung und die für die Weginformationen der Vergleichseinrichtung zugeführt.



117/1 8-Spur-Lochband

- ① Welche Größen werden durch die Verarbeitung der Schaltinformationen in der Steuerstrecke gesteuert?
- ② Erläutern Sie das Prinzip der analogen Meßwerterfassung mit einer Potentiometerschaltung (↗ Bild 114/1)!
- ③ Bestimmen Sie bei dem im SEG „NC-Maschinenmodell“ eingebauten Kodierlineal die Anzahl der Spuren sowie den kleinsten Teilschritt s!
- ④ Entwerfen Sie eine Speicherschaltung zur Speicherung eines binären Signals!



<i>Lochband</i>	<i>Leser</i>	<i>Verstärker</i>	<i>Speicher</i>	<i>Speicher</i>
speichert Arbeitsinfor- mationen	wandelt die Informationen in digitale elektrische Signale	verstärkt die digitalen elektrischen Signale	<i>Schalt- information</i> speichert die Schalt- informationen entsprechend den techno- logischen Angaben	<i>Weg- information</i> speichert die Werk- stück- sollwerte entsprechend der technischen Zeichnung

118/1 Schematische Darstellung der Eingabeeinrichtung

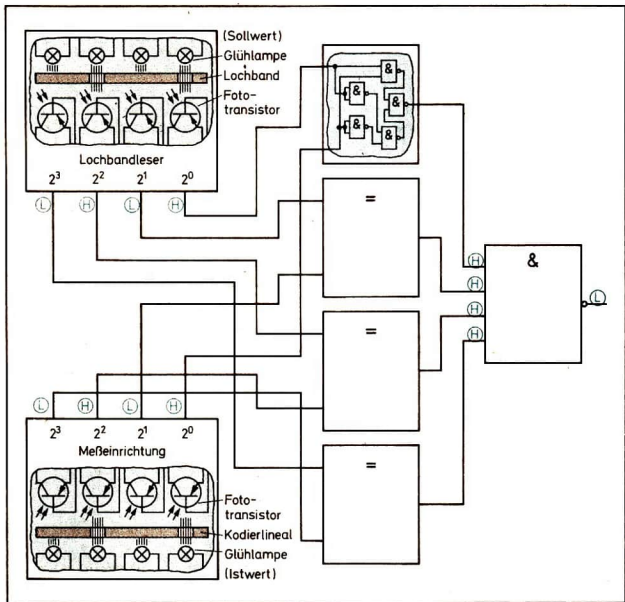
Die **Eingabeeinrichtung** wandelt digital verschlüsselte Arbeitsinformationen in elektrische Signale (Sollwert), verstärkt und speichert sie in internen Speichern.

Vergleichseinrichtung. Die Aufgabe der Vergleichseinrichtung ist es, das im inneren Speicher der Eingabeeinrichtung vorliegende digitale Signal (Sollwert) mit dem von der Wegmeßeinrichtung ermittelten digitalen Signal (Istwert) zu vergleichen und ein Signal an die Stelleinrichtung abzugeben (→ Bild 113/1).

Das am Ausgang der Vergleichseinrichtung anliegende Signal wird vom Soll-/Istwert-Vergleich bestimmt. Ist die Differenz zwischen Soll- und Istwert ungleich Null (keine Übereinstimmung), bewirkt das Ausgangssignal der Vergleichseinrichtung ein Weiterlaufen des Stellmotors für die Vorschubbewegung. Wenn Übereinstimmung von Soll- und Istwert vorliegt, erfolgt das Signal zum Abschalten des Stellmotors.

- Im Bild 119/1 ist der Soll-/Istwert-Vergleich für je 4 binäre Signale mit mikroelektronischen Bauelementen dargestellt. Die Vergleichseinrichtung besteht dabei aus 4 Vergleichern, deren innerer Schaltungsaufbau im Teilschnitt zu sehen ist.

Die **Vergleichseinrichtung** führt ständig den Soll-/Istwert-Vergleich aus und gibt ein Steuersignal an die Stelleinrichtung ab.



119/1 Prinzip eines Vergleichers für 8 binäre Signale

Die Vergleichseinrichtung erhält von der Eingabeeinrichtung folgende Signale:

Spur	Wertigkeit	Dualzahl	Signalpegel	Dezimalwert
1	2^0	1	H	1
2	2^1	0	L	0
3	2^2	1	H	4
4	2^3	0	L	0
				Sollwert = $\frac{5}{5}$

Von der Meßeinrichtung werden der Vergleichseinrichtung folgende Signale zugeführt:

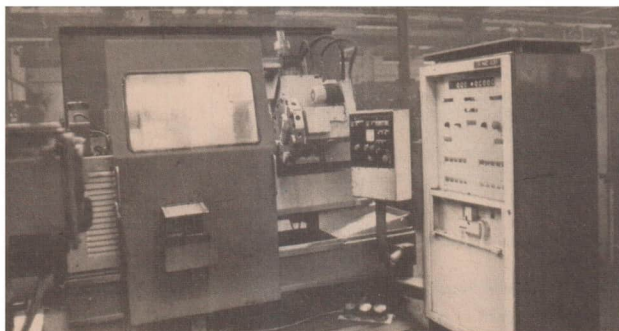
Spur	Wertigkeit	Dualzahl	Signalpegel	Dezimalwert
1	2^0	1	H	1
2	2^1	0	L	0
3	2^2	1	H	4
4	2^3	0	L	0
				Istwert = $\frac{5}{5}$

Daraus folgt, an allen vier Vergleichen liegt Übereinstimmung vor. Die Ausgangssignale der Vergleicher werden durch einen NAND-Baustein logisch so verknüpft, daß bei Übereinstimmung die Stelleinrichtung ein Schaltsignal erhält. Dieser Vorgang gilt nur für *einen* Programmschritt (Satz). Für jeden weiteren Programmschritt wird vom Lochband ein neuer Sollwert vorgegeben. Der im Bild 119/1 dargestellte Soll-/Istwert-Vergleich für je 4 binäre Signale ist bei einer 4-Spur-Eingabe notwendig (↗ SEG). Für die in der Praxis eingesetzten 8-Spur-Lochbänder sind 8 Vergleicher erforderlich.

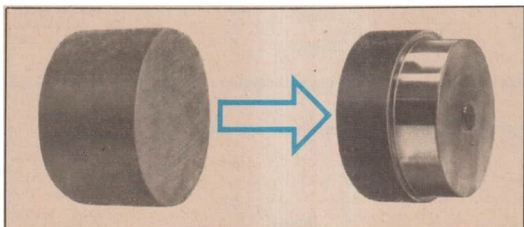
Vorbereitung zum Einsatz numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen

27

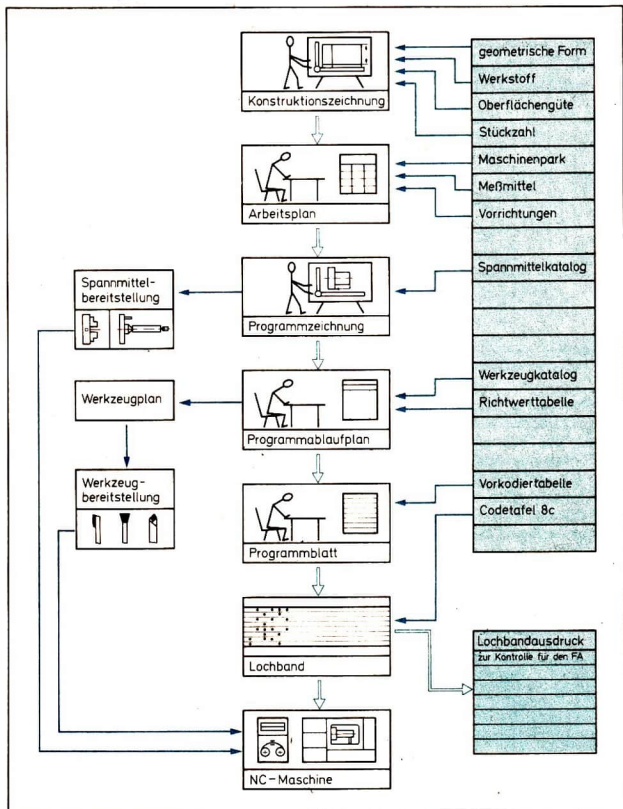
Notwendigkeit einer Programmzeichnung. Zur Herstellung von Werkstücken werden immer häufiger numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen eingesetzt (↗ Bild 120/1). Die komplette Bearbeitung des Werkstückes (Drehteil) erfolgt auf der NC-Drehmaschine automatisch. Das heißt, die Zuführung und Spannung des Rohmaterials, alle notwendigen Arbeitsbewegungen des Werkstückes und der Werkzeuge, der Werkzeugwechsel, die Kühlmittelzufuhr und die Abführung des fertigen Werkstückes werden von der Maschine selbsttätig ausgeführt.



120/1 NC-Drehmaschine

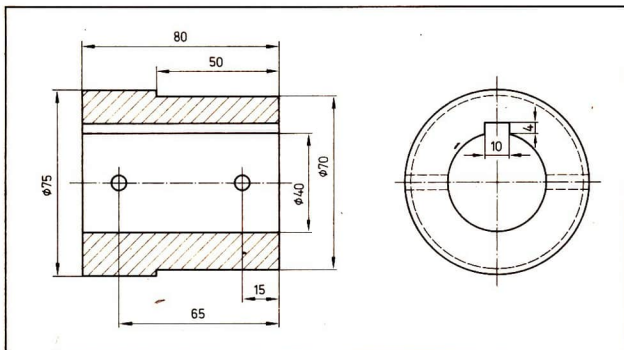


120/2 Rohteil und bearbeitetes Werkstück



121/1 Übersicht zur Fertigungsvorbereitung

Die für die Bearbeitung erforderlichen Arbeitsinformationen werden durch ein Lochband den Steuerorganen der NC-Maschine zugeführt. Bevor jedoch das Lochband in die Eingabeeinrichtung der Maschine eingelegt werden kann, sind umfangreiche Vorbereitungsarbeiten notwendig. Diese Arbeiten erfolgen außerhalb der Maschine in den produktionsvorbereitenden Abteilungen des Betriebes (→ Bild 121/1).

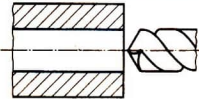
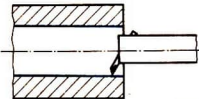
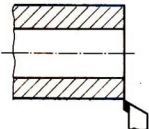
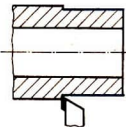

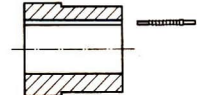
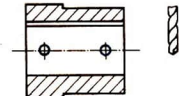


122/1 Technische Zeichnung des Kupplungsstückes

Alle Arbeiten von der Herstellung der Konstruktionszeichnung bis zur Anfertigung des Lochbandes werden als *Programmieren* bezeichnet. Grundlage für die Ausarbeitung der technologischen Unterlagen ist die Konstruktionszeichnung. Sie stellt die Forderungen des Konstrukteurs an die Fertigung dar, wie z. B. geometrische Form (Grundform und Teilformen), Oberflächenbeschaffenheit, Stückzahl, Werkstoffeigenschaften. Es liegen also bestimmte Bedingungen für die Bearbeitung des Werkstückes vor (→ Bild 122/1).

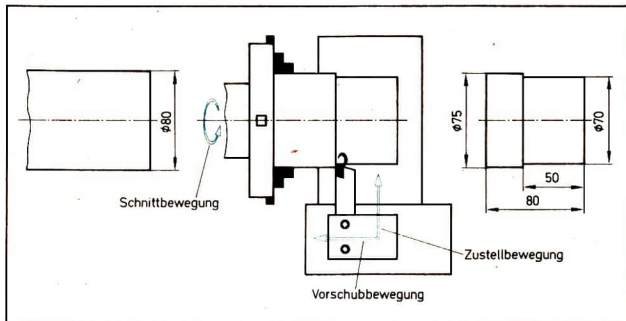
Die Forderungen des Konstrukteurs in Form der Konstruktionszeichnung und die zur Verfügung stehenden Betriebsmittel (Maschinenpark, Meßmittel, Vorrichtungen usw.) werden von den Technologen zur Erarbeitung des Arbeitsplanes genutzt. Der *Arbeitsplan* beinhaltet Art, Anzahl und Reihenfolge der Arbeitsgänge, einzusetzende Maschinen, Werkzeuge, Vorrichtungen und Gütekontrollvorschriften. Das Bild 123/1 zeigt den Arbeitsplan für das Kupplungsstück.

Benennung Kupplungsstück	Arbeitsplan	Stückzahl 125	Wema Union Gera
Werkstoff St 42	Halbzeug Stangenmaterial ∅ 80		
Arbeitsgang	Bearbeitungsskizze	Werkzeuge, Vorrichtungen, Meßmittel	Maschine
1. Drehen 1.1. Vorbohren		Spiralbohrer ∅ 15	DS 2 NC NC-Dreh- maschine

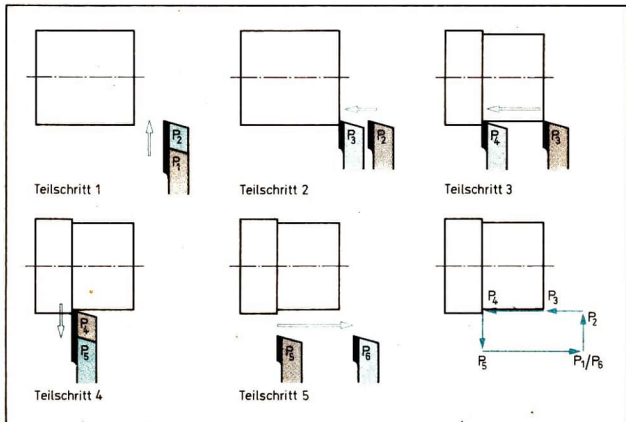
1.2. Aufbohren		Spiralbohrer Ø 35	DS 2 NC
1.3. Ausdrehen auf Ø 40		Bohrstange	DS 2 NC
1.4. Außendurchmesser 75 überdrehen		Abgesetzter Seitendrehmeißel	DS 2 NC
1.5. Ansatz Ø 70 50 lang drehen		Abgesetzter Seitendrehmeißel	DS 2 NC
1.6. Abstechen 80 lang		Abstechmeißel Meßschieber	DS 2 NC
2. Nut 10 × 4 ziehen		Räumnadel Meßschieber	Räummaschine
3. Bohrung Ø 8 nach Vorrichtung bohren		Spiralbohrer Ø 8 Bohrvorrichtung	Ständerbohrmaschine B 32

Für die im Arbeitsplan festgelegten Dreharbeiten wird eine numerisch gesteuerte Drehmaschine eingesetzt (→ Bild 120/1). Der vom Technologen aufgestellte Arbeitsplan und die Konstruktionszeichnung bilden die Grundlage für die weiteren Programmierungsarbeiten.

Beim automatischen Bearbeiten von Werkstücken auf Werkzeugmaschinen führen die Arbeitsorgane bei jedem Arbeitsschritt Arbeitsbewegungen in festgelegten Richtungen aus. Bild 124/1 zeigt die beim Längsdrehen vom Werkstück und Werkzeug auszuführenden Arbeitsbewegungen.



124/1 Arbeitsbewegungen beim Längsdrehen

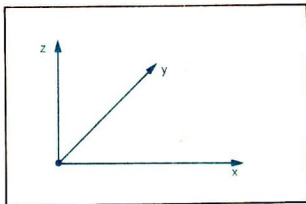


124/2 Bewegungsablauf beim Drehen eines Ansatzes

Im Bild 124/1 soll an dem Kupplungsstück ein Ansatz $\varnothing 70$; 50 lang gedreht werden. Das Werkzeug befindet sich bei Beginn dieses Arbeitsganges in der Position 1. Der gesamte Bewegungsablauf des Drehmeißels für diesen Arbeitsgang läßt sich in fünf Teilschritte zerlegen (→ Bild 124/2).

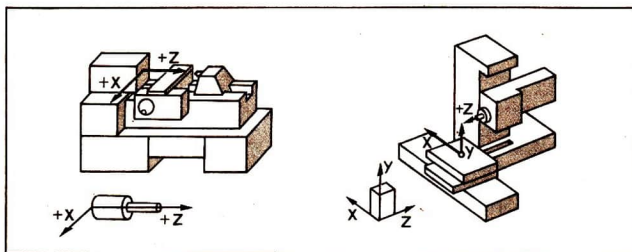
Bei der Bearbeitung von Werkstücken auf einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine ist es notwendig, die Position der Arbeitsorgane *zahlenmäßig* zu beschreiben. Voraussetzung dazu sind Koordinatensysteme. Um die jeweilige Position der Arbeitsorgane (Istwert) der Vergleichseinrichtung mitteilen zu können, müssen die zurückgelegten Wege durch die Wegmeßeinrichtung gemessen werden. Dazu muß die Maschine ein Koordinatensystem besitzen. Die Bezeichnungen der Koordinatenachsen des *maschinenbezogenen Koordinatensystems* sind standardisiert. Sie werden übereinstimmend mit einem rechtsdrehenden, rechtwinkligen Koordinatensystem mit den Buchstaben x, y, z bezeichnet (→ Bild 125/1).

Die z-Achse wird so festgelegt, daß sie *immer* parallel zur Hauptspindel der Werkzeugmaschine verläuft. Entscheidend zum Ermitteln der zu programmierenden Weginformationen sind die Wirkrichtung beim Positionieren und die Weglängen. Dem Werkstück wird deshalb in Abhängigkeit von den Maschinenkoordinaten ein eigenes Koordinatensystem, das *Werkstückkoordinatensystem*, zugeordnet. Sämtliche Koordinatenwerte werden beim Programmieren auf dieses Koordinatensystem bezogen. Die Bezeichnungen der Koordinatenachsen entsprechen denen der Maschinenachsen (→ Bild 126/1). Die Bestimmung der *Wirkrichtung* des Arbeitsorgans beim Positionieren erfolgt durch das *Vorzeichen*. Der Ursprung des Koordinatensystems könnte beliebig festgelegt werden. Um den Programmieraufwand so gering wie möglich zu halten (Umrechnen von Maßen), wird z. B. beim Drehen der Koordinatenursprung (Nullpunkt) auf die Symmetrieachse des Werkstückes gelegt. ④

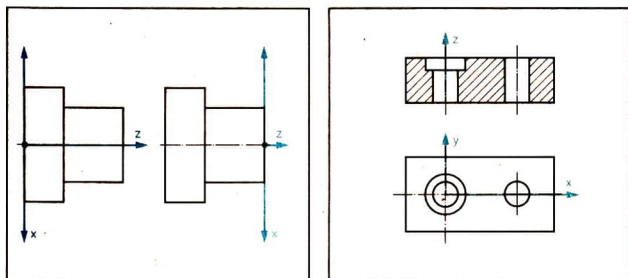


125/1 Koordinatensystem

- ① Nennen Sie die für die automatische Bearbeitung eines Werkstückes auf einer NC-Maschine erforderlichen Programmierarbeiten!
- ② Welche Forderungen stellt der Konstrukteur an die Fertigung des Kupplungsstückes (→ Bild 122/1)?
 - a) Beschreiben Sie die geometrische Form (Grundform und Teilformen)!
 - b) Welche Anforderungen werden an die Oberflächenbeschaffenheit und Werkstoffeigenschaften gestellt?
- ③ Ermitteln Sie die zur Herstellung des Kupplungsstückes dienenden Fertigungsverfahren (→ Bild 123/1) und die dabei einzusetzenden Werkzeuge!
- ④ Warum sind zwei Koordinatensysteme (Maschinen- und Werkstückkoordinatensystem) bei NC-Maschinen erforderlich?



126/1 Maschinen- und Werkstückkoordinatensysteme



126/2 und 126/3 Werkstücke mit Koordinatensystem

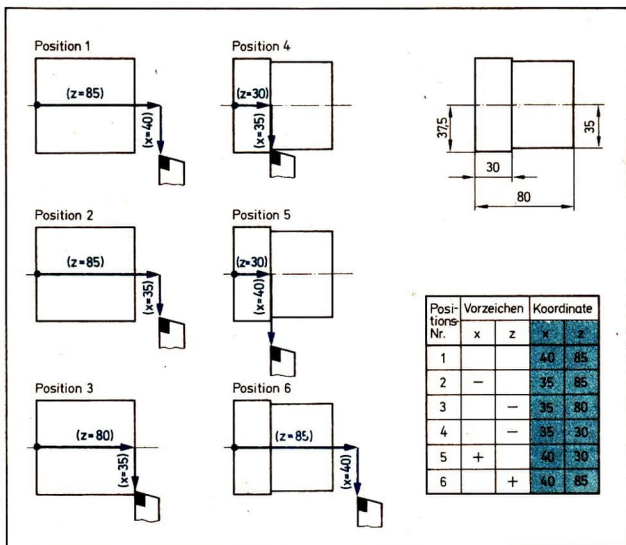
Je nach Bearbeitung wählt man die zweckmäßigste Stirnseite für den Koordinatenursprung aus (↗ Bild 126/2).

Bei prismatischen Werkstücken, die auf NC-Bohr- oder NC-Fräsmaschinen bearbeitet werden, wird der Koordinatenursprung oftmals in eine Werkstückecke oder in den Mittelpunkt einer Bohrung (↗ Bild 126/3) gelegt.

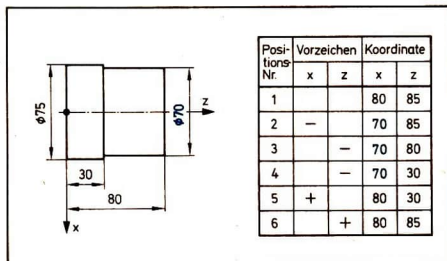
Um die fünf Positionen des Drehmeißels im Bild 124/2 zahlenmäßig zu beschreiben, wurde der Koordinatenursprung in die linke Stirnseite des Werkstückes gelegt (↗ Bild 124/1). Die Koordinatenwerte für die Positionen des Drehmeißels können aus den Werkstückmaßen ermittelt werden. Der Zahlenwert für die z-Koordinate (30) der 4. Position dieses Arbeitsganges kann aus der Konstruktionszeichnung nur durch Umrechnung der Werkstückmaße für die Gesamtlänge und die Ansatzlänge ermittelt werden ($80 - 50 = 30$).

Daraus folgt: Für das zahlenmäßige Beschreiben des Bewegungsablaufes genügt oftmals die Konstruktionszeichnung nicht. Es wird in solchen Fällen eine Programmzeichnung angefertigt (↗ Bild 127/1).

Damit beim Drehen rotationssymmetrischer Körper nicht jeder Durchmesser umgerechnet werden muß (↗ Bild 127/1), ist das Wegmeßsystem der NC-Drehmaschinen so gestaltet, daß als x-Koordinaten gleich die Durchmesser programmiert werden (↗ Bild 127/2).



127/1 Bestimmen der Koordinaten beim Drehen



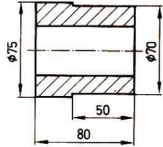
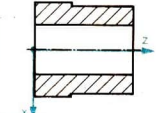
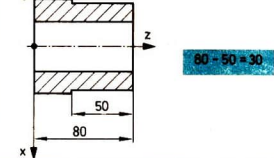
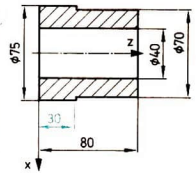
127/2 Programmzeichnung zum Drehen und Koordinatentabelle

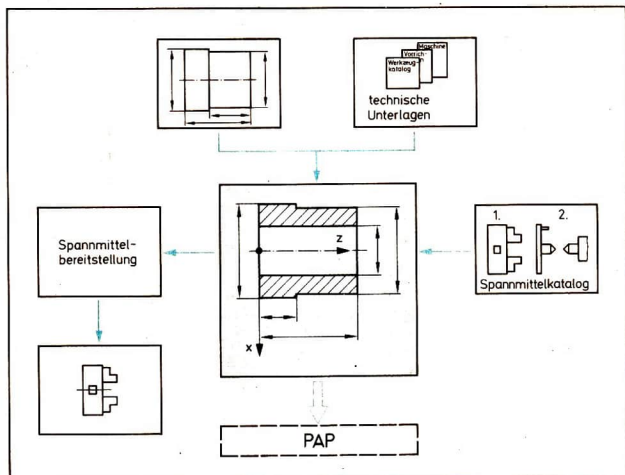
Die **Programmzeichnung** ist eine technische Zeichnung des zu bearbeitenden Werkstückes, die alle für die numerische Steuerung erforderlichen Werkstückmaße koordinatenbezogen enthält. Sie dient zur Festlegung des Bewegungsablaufes (→ Bild 127/2).

Sämtliche Positionen, die während des Programmablaufes vom Arbeitsorgan angefahren werden sollen, werden der Programmzeichnung in Form von Koordinatenwerten entnommen (→ Bild 127/2).

Bei anderen Fertigungsverfahren, z. B. Bohren oder Fräsen, sind wesentlich mehr Umrechnungen der Werkstückmaße für das Bestimmen der Positionen (Koordinatenpunkte) erforderlich.

Schrittfolge zum Anfertigen einer Programmzeichnung. Für das Anfertigen der Programmzeichnung sind umfangreiche Vorbereitungsarbeiten notwendig. Deshalb ist es sinnvoll, diese Arbeiten in Teilschritten mit festgelegter Reihenfolge durchzuführen. In der folgenden Tabelle sind die Tätigkeiten für das Anfertigen einer Programmzeichnung anhand eines Beispiels dargestellt. Bei dem Beispiel handelt es sich um den Arbeitsgang 1.5. aus dem Arbeitsplan (→ Bild 123/1).

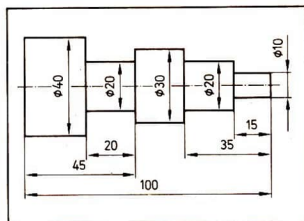
Tätigkeiten	Lösung
1. Analyse der technischen Zeichnung und anderer technologischer Unterlagen zur Ermittlung der notwendigen Arbeitsschritte	 <p>Ansatz $\phi 70$ 50 lang drehen</p> <p>Abgesetzter Seitendrehmeißel</p>
2. Bestimmen des Koordinatenursprungs	
3. Umrechnung der Werkstückmaße	 <p>$80 - 50 = 30$</p>
4. Eintragen der Maße in die Programmzeichnung	



129/1 Informationsfluß beim Anfertigen der Programmzeichnung

Aufstellen eines Programmablaufplanes. Alle Arbeitsinformationen für das Bearbeiten von Werkstücken auf numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen müssen in festgelegter Reihenfolge auf dem Lochband enthalten sein. Grundlage für das Festlegen der Reihenfolge der Weg- und Schaltinformationen ist der Programmablaufplan.

- ① Ermitteln Sie weitere theoretische Möglichkeiten der Lage des Koordinatenursprungs im abgebildeten Drehteil (→ Bild 126/2)!
- ② Fertigen Sie nach vorgegebener Schrittfolge die Programmzeichnung an (→ Bild 129/2)!



129/2 Drehteil

Der **Programmablaufplan** stellt ein unverschlüsseltes Programm für die numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine dar. Er dient als Arbeitsunterlage zur weiteren Programmierung (↗ Bild 121/1).

Der Programmablaufplan enthält die Reihenfolge der *Programmschritte* und die dazu erforderlichen Werkzeuge, Drehzahlen, Vorschübe und Angaben über die zurückzulegenden Arbeitswege (↗ Bild 132/1).


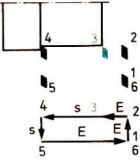
Ein **Programmschritt** ist charakterisiert als eine Bewegung mit *konstanten* Schalt- und Weginformationen.

Zur Aufstellung des Programmablaufplanes werden die Programmzeichnung (↗ Bild 127/2), die maschinenspezifische Richtwerttabelle bzw. ein entsprechendes Diagramm (↗ Bild 132/1) und der Werkzeugkatalog benötigt.

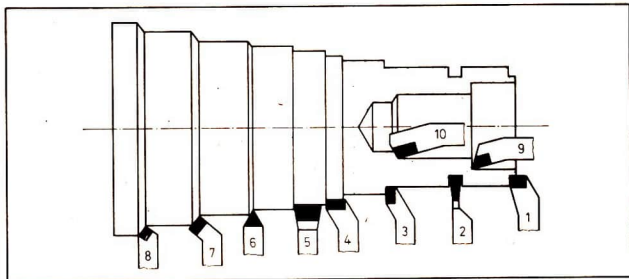
Die Erarbeitung des Programmablaufplanes erfolgt nach festgelegter Schrittfolge und wird in der folgenden Tabelle am Beispiel der Bearbeitung der Außenform des Kupplungsstückes dargestellt.

Ermitteln der Arbeitsinformationen für den Programmablaufplan nach Schrittfolge

Tätigkeiten	Skizzen zur grafischen Kontrolle	Beispiel Bild 122/1
		Arbeitsinformationen
1. Ermitteln der Form, Größe und Oberflächenbeschaffenheit des Werkstückes aus der Programmzeichnung zum Bestimmen der notwendigen Werkzeuge aus dem Werkzeugkatalog		 Abgesetzter Seitendrehmeißel Abgesetzter Seitendrehmeißel
2. Festlegen der Reihenfolge der Bearbeitungsschritte und des sich daraus ergebenden Einsatzes der Werkzeuge		1. Längsdrehen $\phi 75$ 2. Längsdrehen $\phi 70$

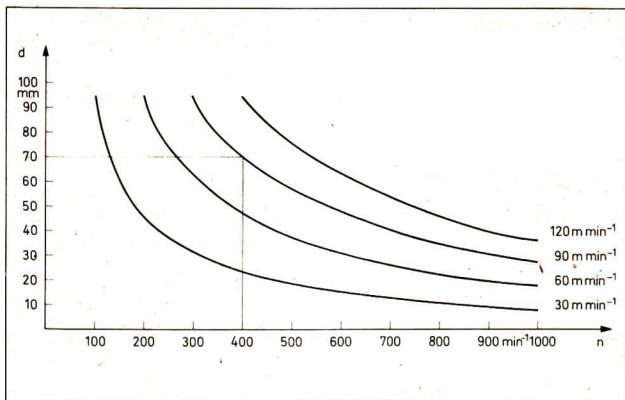
<p>3. Ermitteln der für den zu bearbeitenden Werkstoff und die Oberflächenbeschaffenheit vorteilhaften Drehzahlen und Vorschübe aus der maschinenspezifischen Richtwerttabelle bzw. aus dem Diagramm (↗ Bild 132/1)</p>	 <p>St 42</p>	<p> $\phi 75$ $n = 400 \text{ U/min}$ $s = 0,25 \text{ mm/U}$ $\phi 70$ $n = 400 \text{ U/min}$ $s = 0,25 \text{ mm/U}$ Anstell- und Rückstellbewegung im Eilgang </p>																																																	
<p>4. Festlegen der Programmschritte und der zurückzulegenden Arbeitsbewegungen (Bewegungsablauf) aus den Maßangaben der Programmzeichnung</p>	 <p> $s \hat{=}$ Arbeitsvorschub $E \hat{=}$ Eilgang </p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pos. Nr.</th> <th colspan="2">Vorzeichen</th> <th colspan="2">Koordinate</th> </tr> <tr> <th>x</th> <th>z</th> <th>x</th> <th>z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>80</td> <td>85</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>-</td> <td></td> <td>70</td> <td>85</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td>-</td> <td>70</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td>-</td> <td>70</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>+</td> <td></td> <td>80</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td>+</td> <td>80</td> <td>85</td> </tr> <tr> <td>*</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>*</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Pos. Nr.	Vorzeichen		Koordinate		x	z	x	z	1			80	85	2	-		70	85	3		-	70	80	4		-	70	30	5	+		80	30	6		+	80	85	*					*				
Pos. Nr.	Vorzeichen			Koordinate																																															
	x	z	x	z																																															
1			80	85																																															
2	-		70	85																																															
3		-	70	80																																															
4		-	70	30																																															
5	+		80	30																																															
6		+	80	85																																															
*																																																			
*																																																			
<p>5. Die ermittelten Arbeitsinformationen werden in das nachfolgende Formblatt eines vereinfachten Programmablaufplanes eingetragen.</p>																																																			

131/1 Schrittfolge zum Ermitteln der Arbeitsinformationen



131/2 Werkzeugkatalog

- | | |
|--------------------------------|------------------------|
| 1 Abgesetzter Eckdrehmeißel | 6 Spitzer Drehmeißel |
| 2 Stechdrehmeißel | 7 Gebogener Drehmeißel |
| 3 Abgesetzter Seitendrehmeißel | 8 Gerader Drehmeißel |
| 4 Abgesetzter Stirndrehmeißel | 9 Inneneckmeißel |
| 5 Breiter Drehmeißel | 10 Innendrehmeißel |



132/1 Schnittgeschwindigkeits-Durchmesser-Diagramm (v - d -Diagramm)

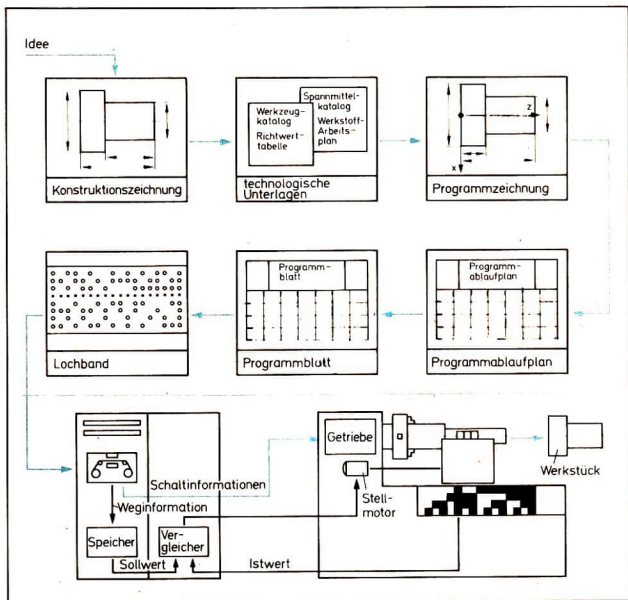
Maschine: DS 2 NC		PROGRAMMABLAUFPLAN			Arbeitsgang: Drehen					
Benennung: Kupplungs- stück		Werkstoff: St 42		WMW „Fritz Heckert“				WMW Union Gera		
Pro- gramm- schritt Nr.	Bearbei- tungs- skizze	Schaltinformationen							Weg- information	
		Werk- zeug	Speicher- platz Nr.	Drehzahl n U/min	Vorschub s mm/U		Vorzeichen		Koordinaten	
					längs	plan	z	x	z	x
1									85	75
:										
11		3	4	400		E		-	85	70
12					E			-	80	70
13					0,25			-	30	70
14						E		+	30	80
15						E		+	85	80

132/2 Programmablaufplan (Auszug)

Die im Programmablaufplan enthaltenen Arbeitsinformationen werden auf einem *Programmblatt* handschriftlich vorkodiert. Als Arbeitsunterlage für diese Tätigkeit dient die Vorkodiertabelle.

Mit Hilfe des Programmblattes und des *Programmkodes* werden die vorkodierten Arbeitsinformationen in Form von Lochkombinationen in das Lochband eingestanzt.

Bei der bisher beschriebenen manuellen Programmierung (→ Bild 121/1) ist eine Vielzahl von formal-geistigen Tätigkeiten auszuführen. Diese anfallenden Wiederholungsarbeiten können durch die Anwendung der Mikroelektronik digitalen Rechnern übertragen werden. Durch die damit erreichte Automatisierung der Programmierungsarbeiten wird die Effektivität der Vorbereitung der Produktion erhöht.



133/1 Schema der inneren und äußeren Informationsverarbeitung (Bild oben: Produktionsvorbereitung, Bild unten: Fertigung)

Erhöhung der Effektivität der Produktion durch komplexe Automatisierung

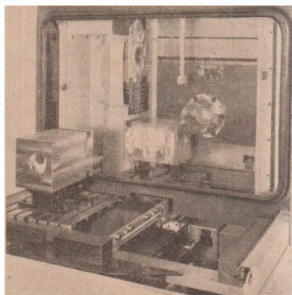
Der Übergang zur umfassend automatisierten Werkzeugmaschine und zum vollautomatisierten Fertigungsabschnitt zeichnet sich deutlich ab. Weltweit wird intensiv daran gearbeitet, die bedien- und stufenarme Fertigung schrittweise einzuführen. Der Einsatz von Bearbeitungszentren, Fertigungszellen und flexiblen automatisierten Fertigungssystemen sowie von Industrierobotern ermöglicht eine wesentliche Erhöhung der Effektivität der Produktion in allen Bereichen der Volkswirtschaft. In der Tabelle (→ Bild 134/1) sind die möglichen Produktivitätssteigerungen für die genannten Produktionsmittel aufgeführt.

Produktionsmittel	Produktivitätssteigerung
NC-Maschinen und Bearbeitungszentren	bis 200 %
Automatisch arbeitende Fertigungszellen für den bedienarmen Betrieb	bis 500 %
Flexible automatische Fertigungssysteme für spanende und umformende Prozesse	300 bis 400 %
Industrieroboter	mindestens 180 %

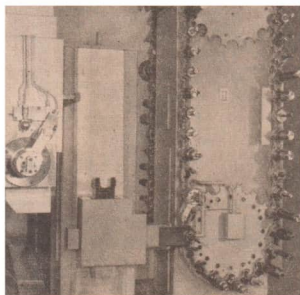
134/1 Moderne Produktionsmittel und Produktivitätssteigerung

Im Maschinenbau ist charakteristisch, daß viele Werkstücke eine ähnliche Grundform aufweisen. Dabei ist die zylindrische oder prismatische Form vorherrschend. Dadurch bietet es sich an, Bearbeitungszentren einzusetzen, auf denen Werkstücke mit ähnlicher geometrischer Gestaltung automatisch bearbeitet werden können.

Ein **Bearbeitungszentrum** ist eine numerisch gesteuerte Maschine, bei der die Werkzeuge und Werkstücke automatisch gewechselt werden.



134/2 Bearbeitungszentrum für prismatische Werkstücke



134/3 Werkzeugspeicher mit automatischer Wechseleinrichtung

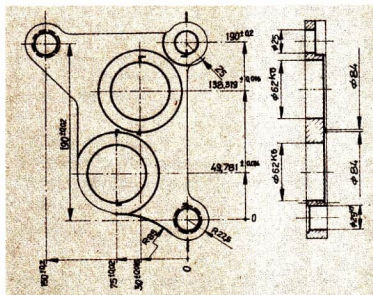
Vorteile eines Bearbeitungszentrums:

- komplexe Bearbeitung geometrisch ähnlicher Werkstücke durch mehrere Bearbeitungsverfahren,
- Verringerung der Hilfszeiten für Werkzeug- und Werkstückwechsel,
- hohe Flexibilität bei der Umrüstung der Maschine für andere Werkstücke.

Bild 134/2 zeigt ein Bearbeitungszentrum für prismatische Werkstücke. Es lassen sich die Fertigungsverfahren Stirn- und Walzenfräsen, Bohren, Gewindeschneiden, Ausdrehen, Reiben und Senken realisieren. Die Werkzeuge für die Bearbeitung befinden sich alle in einem Werkzeugspeicher und werden von einer automatischen Werkzeugwechseleinrichtung entsprechend dem Programmablauf in die Hauptspindel der Maschine eingespannt. Der Werkzeugspeicher kann bis zu 40 Werkzeuge enthalten (→ Bild 134/3).

Das Wechseln der Werkstücke wird durch eine spezielle Werkstückwechseleinrichtung oder einen Roboter ausgeführt. Das gesamte Bearbeitungszentrum wird von einem Mikrorechner numerisch gesteuert.

- Bild 135/1 zeigt eine Programmzeichnung eines Werkstückes, welches auf einem Bearbeitungszentrum in einer Aufspannung gefertigt wurde.

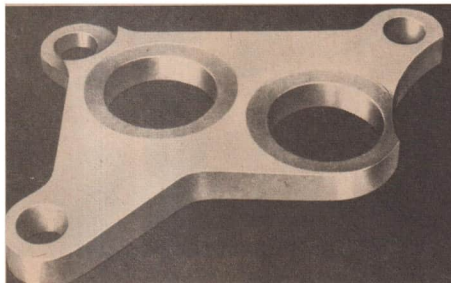


135/1 Programmzeichnung

Arbeitsgänge:

- Fräsen Radius 85 mm
- Bohren $2 \times \varnothing 62$ mm
- Fräsen $2 \times \varnothing 84$ mm
- Bohren $2 \times \varnothing 24,7$ mm
- Senken $2 \times \varnothing 25$ mm
- Reiben $2 \times \varnothing 25$ mm
- Fräsen $\varnothing 50 \times 10$ mm
- Bohren $\varnothing 25$ mm

135/2
Fertigteil



Bei der herkömmlichen Fertigung der Platte wurde eine Normzeit von 48 min benötigt. Auf einem Bearbeitungszentrum reduziert sich die Normzeit auf 17 min. ①
Eine Weiterentwicklung der Bearbeitungszentren stellen die Fertigungszellen dar. Alle technologisch notwendigen Vorgänge laufen dabei automatisch ab.

► Eine **Fertigungszelle** ermöglicht die komplette automatische Bearbeitung von Werkstücken im bedienarmen Betrieb.

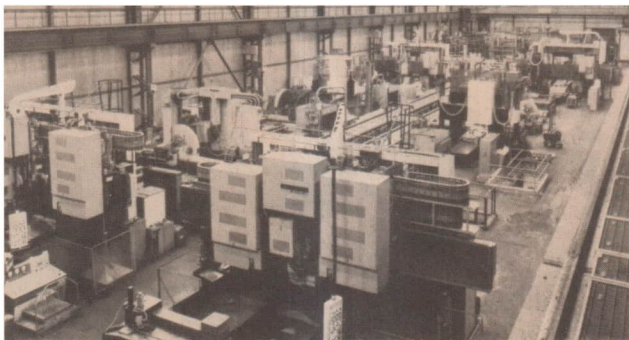
Vorteile einer Fertigungszelle:

- automatische Beschickung der Maschine mit Werkstücken aus einem Speicher,
- bedienungsarme Arbeitsweise,
- Automatisierung aller Hilfsprozesse, wie Werkzeugwechsel, Späntransport, Schmierung und Kühlung,
- selbsttätige Fehlererkennung und Fehlerdiagnose zur Vermeidung von Havarien.

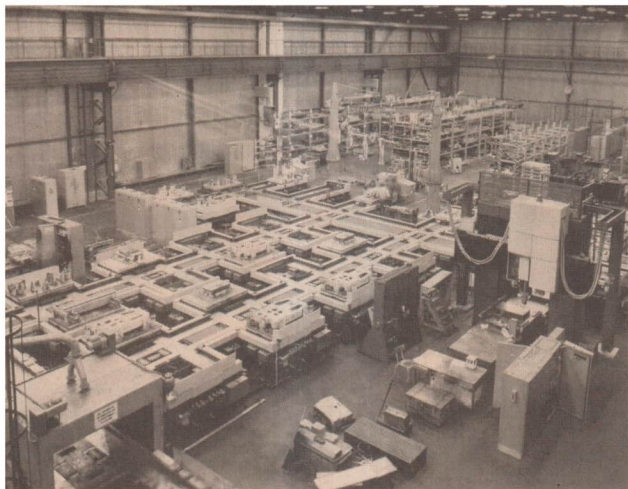
Die Fertigungszellen werden vorrangig in der Mittel- und Kleinserienfertigung von geometrisch ähnlichen Werkstücken eingesetzt. Ihre Steuerung durch Mikrorechner ist so flexibel gestaltet, daß die Programme für die jeweils zu bearbeitenden Werkstücke nur aus dem Speicher abgerufen zu werden brauchen.

Die höchste Stufe der Automatisierung von Bearbeitungsprozessen sind die integrierten Maschinensysteme. Hier werden zur kompletten Bearbeitung von Werkstücken unterschiedliche NC-Maschinen steuerungstechnisch miteinander verkettet.

► Ein **integriertes Maschinensystem** ist eine steuerungstechnisch verkettete Anlage verschiedener automatisierter Maschinen zur Bearbeitung eines technologisch ähnlichen Werkstücksortiments.



136/1 Integriertes Maschinensystem PRISMA 2

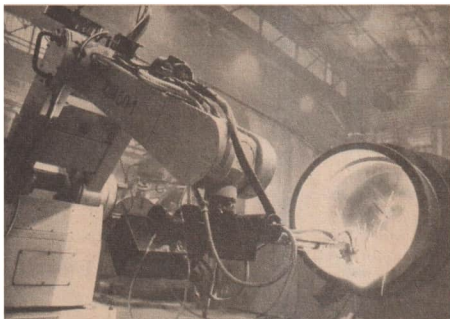


137/1 Übergabeeinrichtung für Werkstücke beim System PRISMA 2

Ein Beispiel für ein integriertes Maschinensystem ist das System PRISMA 2 (↗ Bilder 136/1 und 137/1). Es ermöglicht die Bearbeitung prismatischer Werkstücke. Durch sieben Bearbeitungszentren, eine Meßmaschine und zwei Meßzentren, das Werkstücktransportsystem sowie Spann-, Wasch- und Kühlstationen werden Werkstücke in den Abmessungen bis 1000 mm × 1000 mm × 1600 mm komplett bearbeitet.

Bei der automatischen Fertigung gewinnen **Roboter** immer mehr an Bedeutung. Sie werden sowohl zur Beschickung von Einzelmaschinen oder Bearbeitungszentren eingesetzt als auch zur Verkettung von Maschinen zu einem Maschinensystem genutzt. Damit ist aber nur ein Einsatzgebiet genannt. Es gibt für sie viele Einsatzmöglichkeiten, jedoch wird man sich besonders auf technologische Prozesse und Prozesse der Werkstückbewegung konzentrieren, weil dabei noch ein hoher Anteil an manuellen (körperlich schweren und monotonen) Tätigkeiten zu finden ist. In der Industrie werden noch sehr viele Montagearbeiten manuell ausgeführt und allein die Werkstückbewegung erfordert einen hohen Anteil der Montagezeit. Auch solche technologischen Prozesse wie Schweißen und Farbspritzen werden oft noch

-
- ① Berechnen Sie die prozentuale Normzeitreduzierung und die Steigerung der Arbeitsproduktivität für die Fertigung der Platte auf einem Bearbeitungszentrum!
-



manuell ausgeführt. Dafür haben sich schon eine ganze Reihe von Robotern in unserer Republik bewährt.

► **Roboter** sind Einrichtungen, die der selbsttätigen Handhabung von Werkstücken, Werkzeugen oder Materialien zur Automatisierung von Prozessen dienen. Hauptziel des Robotereinsatzes ist die Freisetzung von Arbeitskräften für andere Aufgaben.

Ein Roboter besteht prinzipiell aus der Bewegungseinheit und der Steuereinheit. Die Bewegungseinheit kann je nach Einsatzgebiet des Roboters ganz unterschiedlich gestaltet sein. Die Bewegung kann sowohl linear als auch durch Drehung realisiert werden. In vielen Fällen wird eine Kombination aus beiden Bewegungsarten genutzt.

Zwischen der Steuerung einer NC-Maschine und der Steuerung eines Roboters besteht kein prinzipieller Unterschied.

Handhabungsaufgaben, wie beispielsweise das Zu- und Abführen von Werkstücken sowie das Führen von Werkzeugen, erfordern häufig gleiche Bewegungsabläufe. In der Robotersteuerung werden deshalb als Programm die Bewegungsabläufe (Sollwertprogramm) gespeichert. Die Bewegungsbahnen (Führungsgrößen) werden dadurch im Automatikbetrieb beliebig oft wiederholt.

Eine Veränderung des Bewegungsablaufes erfordert eine Veränderung des gespeicherten Sollwertprogrammes und damit eine Neuprogrammierung. Roboter mit einer solchen Steuerung (speichergesteuerte Roboter) haben dadurch ein begrenztes Einsatzgebiet.

Für den Montageprozeß, besonders für die Durchführung von Fügeoperationen, lassen sich speichergesteuerte Roboter nicht einsetzen. Solche Operationen, die sonst nur mit Hilfe des menschlichen Tastsinnes oder mit Hilfe des menschlichen Auges ausführbar sind, lassen sich aber mit dem Einsatz von Sensoren als technische Hilfseinrichtung auch durch Roboter lösen. Sie verfügen über optische und taktile (berührende) Sensoren, die Meßgrößen über das Objekt aufnehmen und der Steuerung zuführen. Von der Steuerung werden aus den Meßgrößen der Sensoren

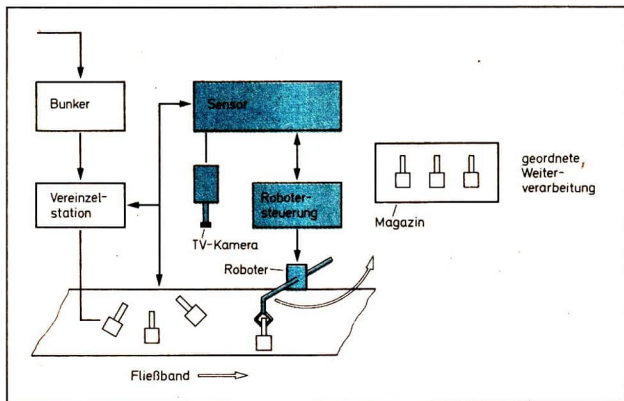
notwendige Korrekturen zum eingespeicherten Sollwertprogramm ermittelt und die Bewegungsbahn den gegebenen Bedingungen angepaßt.

Taktile (berührende) Sensoren wurden insbesondere für das zielgerichtete, empfindliche Greifen entwickelt. Die Innenseite der Greifer des Roboters wird mit diesen Sensoren ausgerüstet. Sobald der Greifer ein Werkstück oder ein Werkzeug aufnimmt, melden die Sensoren der Steuerung, welche Kräfte bei dem Greifvorgang ausgeübt wurden und welche Lage und Form das Erfasste aufweist. Aufgrund dieser Rückmeldungen werden die nachfolgenden Steuerbefehle ausgelöst. Taktile Sensoren besitzen technisch umgesetzte motorische und erkennende Fähigkeiten der menschlichen Hand, wenn auch deren Vollkommenheit bei weitem noch nicht erreicht wird.

Als optische Sensoren werden Fernseh- oder Spezialkameras eingesetzt. Das von diesen Kameras erfasste Bild wird in einer für die anschließende Verarbeitung günstigen Form, das heißt in einem Bildpunkt-Raster, abgetastet. Das übliche Format von 256 mal 256 Bildpunkten ergibt 65 536 Einzelpunkte für jedes Bild. Zu jedem Punkt ist noch die Helligkeitsstufe zu verarbeiten. Diese große Informationsmenge ist in weniger als einer Sekunde zu verarbeiten. Das erfordert eine leistungsstarke und schnelle Steuerungstechnik auf der Grundlage von Mikrorechnern.

Bild 139/1 zeigt die schematische Darstellung eines Roboters mit optischen Sensoren als Fernsehkamera. Die auf dem Fließband in ungeordneter Lage ankommenden Teile werden von der Fernsehkamera erfaßt, und ihre Lage wird der Robotersteuerung übermittelt. Der Greifer des Roboters wird nunmehr so gesteuert, daß er die Teile aufnimmt und sie geordnet auf einer Palette oder einem Magazin absetzt. Sie können nunmehr von einem Automaten weiterverarbeitet werden. Der Roboter hat seine Umwelt in diesem einfachen Fall erkannt und seine Handlungen entsprechend darauf eingestellt.

In allen Industrieländern wird an der Weiterentwicklung der Industrieroboter intensiv gearbeitet. In der Sowjetunion wurden neben vielen bereits industriemäßig ein-



139/1 Schema eines Roboters mit optischen Sensoren



140/1 Produktion von Industrierobotern

gesetzten Lösungen auch Roboter entwickelt, die Hindernisse erkennen können und ihre Bewegungen dadurch so steuern, daß Zusammenstöße ausgeschlossen sind („lernende“ Roboter).

Diese Roboter sind bereits mit der Fähigkeit ausgerüstet, auf unvorhergesehene Situationen „vernünftig“ zu reagieren. Sie können Erfahrungen speichern und lernen. Die Techniken zur Erkennung, zur Aufstellung optimaler Handlungspläne und zur Entscheidungsfindung, über die sie verfügen, verleihen ihnen ein bestimmtes Maß an „Intelligenz“. Sie werden sich auch Einsatzbereiche außerhalb der Industrie erobern, so etwa im Dienstleistungsbereich.

Eine Anwendung im Haushalt – wie oft in utopischen Erzählungen vorgestellt – ist nicht von vornherein auszuschließen.

In der Industrie sind die Industrieroboter das komplizierteste Glied bei der Automatisierung des gesamten Bearbeitungsprozesses von Produkten. Ihr Einsatz eröffnet den Weg zur vollautomatisierten, flexiblen Produktion, in der der Mensch nur noch mittelbar am Bearbeitungsprozeß beteiligt ist.

Register

A

Abschaltkreis 11 f.
Analoge Meßwerterfassung 105 f., 114
Anlaufdrehmoment 60
Anlaufstrom 59 f., 62
Anschlagsteuerung 82
Anschlußbedingungen von elektrischen Betriebsmitteln 40 f.
Ansteuerschaltung 11 f.
Anwendungstendenzen der Mikroelektronik 18 f.
Ansteuerung der Segmente 10 f.
Arbeitsplan 122
Arbeitsplatzgestaltung 50
Ausschaltung 51

B

Basisfläche 18
Bauelemente 18
Bauelementenstruktur 19
BCD-Kode 11 f.
Bearbeitungszentrum 134 f.
Belastung des Motors 60 f.
Beleuchtung
–, direkt 50
–, gleichförmig 50
–, indirekt 50
Beleuchtungsanlagen 46
Beleuchtungskörper 50
Betriebsmittel im Drehstromvierleitersystem 37
Binäre Verschlüsselung 11, 13

Blockeinheit 24
Blockeinheitsleistung 24
Betriebsverhalten 59
Bonden 18 f.

C

Chip 6, 19
Chipfläche 20
Chipfläche, Vergrößerung 20
Computer 17

D

Dampfturbine 24
Dekoderbaustein 14
Dekodieren 14
Digitale Meßwerterfassung 114
Digitale Steuerung 83
Drehfeld 53 ff.
Drehfelddrehzahl 58
Drehmoment, Entstehung 54, 55
Drehzahl
–, Drehfeld 56
–, Läufer 55, 56
Drehrichtungsänderung 61
Drehrichtungsumkehr 61
Drehstrom 28, 30, 54
Drehstromasynchronmotor 52
–, Grenzen 62
–, Vorteile 62
Drehstromerzeugung 28
Drehstromgenerator 28, 30

Drehstromdreileitersystem 34
Drehstromübertragung 34
Drehstromvierleitersystem 34, 35
Drehzahl des Drehfeldes 55
Dreieckschaltung 31, 39 f., 59
Dreiphasenwechselspannung 26, 28, 30
Dreiphasenwechselstrom 54

E

Eingabeeinrichtung 116 ff.
Einganggröße 13
Eingangssignal 8
Elektrische Beleuchtung 22
Elektrische Energie 24
Elektromagnetische Induktion 24, 26, 28
Elektrowärme 22
Emitterfläche 18
Energiebedarf 25
Energienutzer 20 f.
Energieumwandlung 24
Erzeugung des Magnetfeldes 27

F

Fahrkartenautomat 85 f.
Fernübertragung der Elektroenergie 32 f.
Fertigungszelle 136

Führungsgröße 78, 82, 88,
90, 92, 95, 100

G

Gasentladungsstrahler 41
Gasturbine 101
Gebrauchsenergie 23 f.
Generator 21
Generatorprinzip 27
Generatorspulen
–, Schaltung 30
–, Verkettung 32
Geschlossene Steuerung
88, 96, 112
Gesteuerte Größen 69, 78,
80, 83
Gießroboter 106
Gleichstrommotor
–, Aufbau 64
–, Betriebsverhalten 64
–, Einsatz 64
–, Schaltungsarten 64
Glühlampe
–, Aufbau 46, 47
–, Einsatz 48, 49
–, Wirkungsweise 46, 47
Glühofentemperatursteuerung
88
Grundsaltungen der Installationstechnik 51

H

Heißeleiter 74
Herstellung
–, Fotoschablone 19
–, integrierte Schaltkreise
18
Hochintegrierte Schaltkreise
14
Hochspannung 33
Hochspannungsfernleitung
21
Höherintegrierte Schaltkreise
10
H-Signal 12, 13

I

Induktionserwärmung 42 f.
Induktionserwärmung
–, direkte 43
–, indirekte 43
Induktionsspannung 27
Induktionsspulen 28
Induktionsspulen, Anordnung
29
Induktionsstrom 27
Informationselektrik 20
Innenpolmaschine 30
Installationsfern-schaltung
52
Integrationsgrad 6
Integrationsgrad, Erhöhung
18, 20
Integrierter Schaltkreis 6,
16
Integriertes Maschinensystem
136 f.
Internationaler Verbundbetrieb
36
Istwert 90 f., 95

K

Käfigwicklung 56
Kaltleiter 74
Kapseln der Chips 19
Kennfarben der Leiter 35
Kernkraftwerk 23, 26
Kippmoment 60
Klemmbrett 59
Kodescheibe 115
Kodierlineal 114 f.
Kollektorfläche 18
Kommutator 63
Kontaktthermometer 71
Koordinatensystem 125 f.
Kreisstruktur 96
Kraftwerk 20
Kraftwerksart 23
Kristallfehler 20
Kristallziehenanlage 18
Kugelschrittschaltwerk
108

L

Läufer 28, 56
Läuferspule 27
Lebensdauer, Erhöhung 49
Leerlaufstrom 59 f.
Leistungsaufnahme 47, 49
Leistungselektrik, Aufgabe
20
Leistungsfähigkeit 10
Leiterspannung 35, 58
Lichtausbeute 40, 41
Lichtschrankensteuerung
8
Lichtsignalanlage 83
Lichtverteilungskurve 50
Liniendiagramm des Drehstroms
30 f.
Linkslauf des Motors 61 f.
Logische Grundsaltung
NOR 12
Logische Grundsaltung
UND 12
L-Signal 12 f.
Lufttemperaturregelung
99 f.

M

Magnetfeld 27
Magnetfeld, rotierendes
54
Masse-Leistungs-Verhältnis
62
Mastbild 34
Mechanische Energie 24
Meßeinrichtung 70 f., 88,
112 f.
Messen 70, 88, 90, 112
Meßgröße 90
Metallstabausdehnungsthermometer
88
Mikroelektronik
–, Entwicklung 14
–, Einsatz 14
–, Vorteile 14
Mikroprozessor 16, 85
Mikrorechner 17, 102,
105 f.
Momentanwerte der Spannungen
31

Momentanwerte der
Ströme 31
Montagebandsteuerung 9
Montageprozeß 8

N

NAND-Gatter 6
Natrium-Hochdrucklampe
49f.
NC-Maschine 109ff.
Nebenschlußmotor 64
Nenn Drehmoment 58, 60
Nenn Drehzahl 58
Nennstrom 60
Niederspannung 33
Niederspannungsleucht-
stofflampe
-, Wirkungsweise 48f.
-, Aufbau 48
Niederspannungsnetz 34
Niedrigintegrierter Schalt-
kreis 6, 8, 10, 14
NL-Doppelrohrlampe 50
Nockensteuerung 82
NOR-Baustein 12f.
Numerische Steuerung
103ff.

O

Offene Eingänge 13
Offene Steuerung 77, 79,
80, 82
Offener Wirkungsweg 79

P

Periodendauer 29
Phasenverschiebung 29f.
Polpaar 57
Potentiometer 75f.
Primärenergie 23
Primärenergieträger 23f.
Programmablaufplan
129ff.
Programmblatt 131
Programmieren 122
Programmschritt 130

Programmwalze 108
Programmzeichnung 120,
127f.
Pumpspeicherwerk 23, 25

Q

Quecksilber-Hochdruck-
lampe 49f.

R

Rechtslauf des Motors 61
Regelabweichung 90, 92f.,
99
Regelgröße 88f., 90, 95,
100
Regelstrecke 88, 90, 99f.
Regelung 87f., 96
Regler 94
Reihenschlußmotor 64
Roboter 138
Rotor 56
Rückwirkung 79

S

Schaltbelegungstabelle 9
Schaltkreis 14
Schaltkreisstruktur 18
Schlupf 58, 60f.
Schlupfdrehzahl 58
Sensor 138f.
Serienschaltung 51
Sieben-Segment-Anzeige
14
Signal 70
Signalkombination 11f.
Siliziumchip 18
Siliziumscheibe 19
Soll-/Istvergleich 118f.
Sollwert, 90, 95
Spannungsteilerschaltung
75
Speicherkraftwerk 25
Spitzenlastkraftwerk 25
Stabform 60
Ständer 28, 56
Ständerblechpaket 56

Stator 56
Stelleinrichtung 78, 82, 90,
99, 101, 112
Stellen 90
Stellgröße 90, 95
Sternpunkt 31, 34
Sternschaltung 31, 34, 38,
59
Steuereinrichtung 78, 82
Steuerglied 78, 82
Steuern 69
Steuerstrecke 69, 78, 80,
Störgröße 90
Strangspannung 35, 58
Stromstoßrelais 52
Stromwendung 63
Synchronlauf 55

T

Tachogenerator 93f.
Talsperrenkraftwerk 25
Temperaturkoeffizient 13
Temperaturregelung 97
Temperaturstrahler 41
Thermistor 73
Thermoelement 101
Trägermaterial 18f.
Transformator 32, 34
Treppenhauusschaltung 51
Turbogenerator 24

U

Übertragungsspannung
32f.
Umspannwerk 21
Universalmotor 64f.

V

Verbundnetz 36
Vergleichen 89f.
Vergleichseinrichtung
118ff.
Vergleichsstelle 92
Verkettung 30
Verkettungsfaktor 38f.

W	Wechselspannung 27ff.	Widerstandsthermometer 72
Wahrheitstabelle 8	Wechselstromgenerator 28	Winkelmessung 76
Wärmeenergie 40f.	Wegmessung 76	
Wärmekraftwerk 23f.	Wegmeßeinrichtung 116	Z
Waschautomat 84	Widerstandserwärmung –, direkte 42	Zeichenmaschine 105
Wasserkraftwerk 23, 25	–, indirekte 43	Zeitrelaisschaltung 51
Wechselschaltung 51		

Quellennachweis der Bilder

ADN-ZB, Berlin: 2. Umschlagseite, Seite 5, 7/1, 8/1, 67/1, 104/1, 106/1, 138/1; Bergner, Gera: 105/2, 120/1, 120/2; Brüggemann, Leipzig: 134/3; Frenzel, Harzgerode: 106/2; Fuchs, Karl-Marx-Stadt: 134/2; Grund, Leipzig: 107/1; Jugend und Technik, Berlin: 15/1, 15/2, 15/3, 15/4, 17/1; Manther, Berlin: 59/3, 59/4; Pädagogische Hochschule Erfurt/Mühlhausen, Albrecht: 86/1, 86/2, 86/3; Pädagogische Hochschule Erfurt/Mühlhausen, Lorber: 74/1, 74/2, 75/1, 76/2, 80/1, 81/1, 100/1; Römer, Karl-Marx-Stadt: 137/1; Schenke, Gera: 3. Umschlagseite; Schumann, Grünhain: 57/1, 57/2, 57/3, 57/4, 57/5, 62/1; Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt, Seidel: 6/1, 10/1, 10/2, 11/1, 14/1, 19/1, 22/1, 22/2; VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow: 97/3, 98/2, 98/3; VEB Verlag Technik, Berlin: 44/1, 45/1, 45/2, 105/1, 108/1; Werkzeugmaschinenbaukombinat „Fritz Heckert“, Karl-Marx-Stadt: 135/1, 135/2, 136/1.

2. Umschlagseite: Montage einer elektrischen Großmaschine

3. Umschlagseite: Numerisch gesteuerte Waagrecht-Bohr- und Fräsmaschine

Im Lehrbuch verwendete Symbole und Abkürzungen

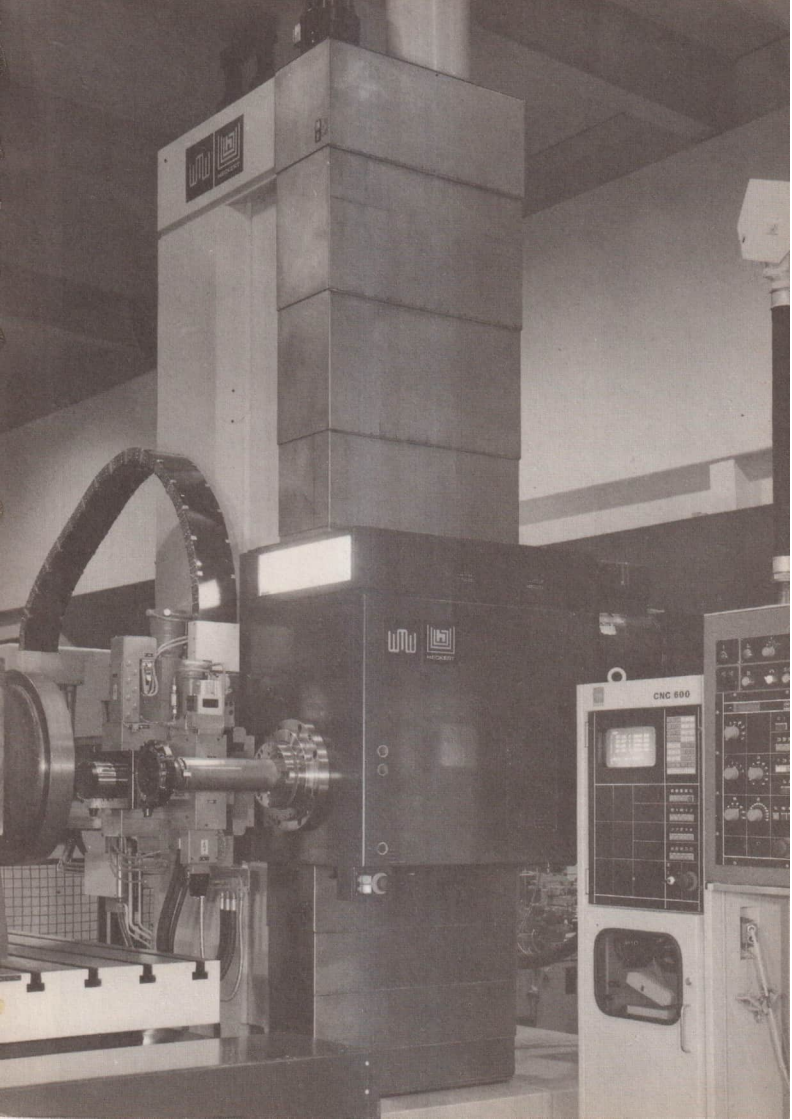
- ▶ Merksätze
- ▣ Beispiele
- ▼ Experimente
- Aufgaben
- ↗ siehe

Tech i Üb Technik und Produktion in Übersichten

Ph i Üb Physik in Übersichten

LE Lerneinheit

SEG Schülerexperimentiergerät



CNC 600



Kurzwort: 061006 Lehrb.ESP Kl. 10
Schulpreis DDR: 1,60
ISBN 3-06-061006-1