

**Antriebstechnik  
in der Metallverarbeitung  
Einführung in die Automatisierung**

# Antriebstechnik in der Metallverarbeitung

Einführung in die Automatisierung

Von

**Dr.-Ing. Paul Volk**

Abteilungsdirektor der Siemens-Schuckertwerke AG., Erlangen

Mit 393 Abbildungen



**Springer-Verlag**

**Berlin / Heidelberg / New York**

**1966**

**Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten  
Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es auch nicht gestattet,  
dieses Buch oder Teile daraus auf photomechanischem Wege  
(Photokopie, Mikrokopie) oder auf andere Art zu vervielfältigen  
© by Springer-Verlag, Berlin / Heidelberg 1966  
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1966  
Library of Congress Catalog Card Number: 66-18970  
ISBN-13: 978-3-642-92926-7 e-ISBN-13: 978-3-642-92925-0  
DOI: 10.1007/978-3-642-92925-0**

Titelnummer 1315

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buche berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften

## Vorwort

Die Antriebstechnik in der metallverarbeitenden Industrie hat sich im letzten Jahrzehnt sprunghaft weiterentwickelt. Den technologischen Forderungen nach einer weitgehenden Automatisierung hat die Elektrotechnik durch eine Verfeinerung der Signalverarbeitung mit Halbleitersbauelementen in überraschend vollkommener Weise Rechnung getragen. Wie der Untertitel des Buches andeutet, soll die Antriebstechnik im wesentlichen in dieser Entwicklungsphase geschildert werden.

Der Hinweis auf eine Einführung in die Automatisierung wirft die Frage auf, wo man mit den Betrachtungen anfangen soll. Wenn man vom Wesen der Automatisierung spricht, müßte das Problem sowohl von der naturwissenschaftlichen als auch von der geistes- und gesellschaftswissenschaftlichen Seite angepackt werden, denn bei der Automatisierung kommt es nicht nur auf die allbekannte Vergrößerung des Sozialproduktes an, sondern auch auf die Stellung des Menschen in diesem Prozeß. Wir dürfen die Menschlichkeit des Menschen, das, was man Humanität nennt, nicht außer acht lassen.

Auf diese sittlichen Werte wird in dem vorliegenden Buch nicht etwa deshalb nicht eingegangen, weil ihre Bedeutung unterschätzt wird, sondern weil der Verfasser sich auf den physikalischen Teil der Automatisierung beschränken möchte. Das Buch soll allen denen, die sich mit der Automatisierung beschäftigen müssen, genügend theoretische Kenntnisse vermitteln, um die aus Messungen und Beobachtungen erarbeiteten Einzelerfahrungen auf möglichst viele andere Fälle übertragen zu können.

Bei der Darstellung dieses Stoffes erscheint es wegen der Vielgestaltigkeit der Maschinen und der unerhörten Dynamik des technischen Fortschrittes zweckmäßig, in synthetischer Weise vorzugehen. Dabei werden die elementaren Bauelemente schrittweise erläutert und durch folgerichtige Zusammensetzung zu einem vollständigen Antrieb ausgebaut. Man kann dann auf die Beschreibung der Antriebe von einzelnen Maschinen weitgehend verzichten und vermeidet viele Wiederholungen. Lediglich in den letzten Kapiteln werden zur Betonung der Zielsetzung und als Anregung zu schöpferischer Tätigkeit einige fertige Anlagen analytisch beschrieben.

Für das Verständnis der Vorgänge brauchen wir die Mathematik. Die Voraussetzungen an mathematischen Vorkenntnissen sind im wesentlichen auf die elementaren Funktionen, die Grundlagen der Differential- und Integralrechnung und die komplexe Rechnung beschränkt. Darüber hinausgehende mathematische Hilfsmittel sind im Text erläutert und möglichst so angewendet, daß das Schwierigere sich auf dem vorhergehenden Leichterem aufbaut.

Der damit angestrebte einheitliche Gedankengang erleichtert die Zusammenarbeit zwischen dem spezialisierten Fachmann auf der elektrischen und dem Maschinenbauer auf der technologischen Seite. Letzterer soll in der Lage sein, die zukünftige Entwicklung durch eine klar umrissene Aufgabenstellung zu beeinflussen. Der Elektriker muß berechnete oder auch unbedachte technologische Forderungen hinsichtlich der Auswirkung auf Aufwand und Betriebssicherheit kritisch beurteilen können.

Bei der Materialsammlung und -ordnung standen mir die Einrichtungen und Erfahrungen aus dem Hause Siemens und dem Springer-Verlag in großzügiger Weise zur Verfügung. Ich darf auch hier allen Mitarbeitern für ihre wertvollen Anregungen und mühevollen Kleinarbeit herzlich danken.

Erlangen, im Februar 1966

P. Volk

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Einleitung . . . . .	1
II. Das Wesen der Automatisierung . . . . .	4
A. Wahl der Energieart . . . . .	5
B. Nachrichtenart . . . . .	6
1. Informationen . . . . .	7
2. Signale . . . . .	7
C. Der Mensch als Informationswandler . . . . .	8
III. Der Energiefluß . . . . .	13
A. Allgemeines . . . . .	13
B. Änderung der Energieart . . . . .	15
1. Der Drehstrom-Asynchronmotor . . . . .	15
a) Wirkungsweise und Eigenschaften . . . . .	15
b) Dynamisches Verhalten . . . . .	22
c) Energieverluste beim Schalten . . . . .	28
d) Der stationäre Betrieb . . . . .	32
$\alpha$ ) Dauerbetrieb . . . . .	32
$\beta$ ) Stoßlast . . . . .	33
e) Kurzzeitbetrieb und Aussetzbetrieb . . . . .	34
f) Erwärmung . . . . .	43
2. Sonderbauarten von Asynchronmotoren . . . . .	45
a) Schwingungsarme Motoren . . . . .	45
b) Drehfeldmagnete . . . . .	49
c) Drehstrom-Schleifgantriebe . . . . .	51
3. Elektrische Wellen . . . . .	52
a) Wirkungsweise . . . . .	53
b) Dynamisches Verhalten . . . . .	59
4. Drehstromnebenschlufmotoren . . . . .	60
5. Gleichstrommotoren . . . . .	62
a) Rechnungsgrundlagen . . . . .	62
b) Stationärer Betrieb . . . . .	64
c) Anlassen und Schalten . . . . .	66
d) Dynamisches Verhalten . . . . .	68
6. Translatorische Energieänderung . . . . .	76

	Seite
C. Die Steuerung des mechanischen Energieflusses . . . . .	78
1. Steuerungsarten . . . . .	78
2. Elektrokupplungen. . . . .	78
a) Bemessungsgrundlagen. . . . .	79
b) Kupplungsbauarten . . . . .	86
$\alpha$ ) Reibungskupplungen . . . . .	86
$\beta$ ) Formschlüssige Kupplungen . . . . .	92
$\gamma$ ) Induktionskupplungen . . . . .	93
c) Kupplungsgetriebe . . . . .	94
d) Betriebsverhalten . . . . .	98
$\alpha$ ) Arbeitsbedingungen. . . . .	98
$\beta$ ) Erregung . . . . .	99
$\gamma$ ) Schaltvorgang . . . . .	101
3. Schalttriebemotoren . . . . .	103
4. Bremsmotoren. . . . .	104
a) Bremsmotoren mit Lamellenbremse . . . . .	104
b) Bremsmotoren mit Federbremse . . . . .	105
c) Motoren mit Konusläufer . . . . .	105
IV. Die Signalerzeugung . . . . .	106
A. Arten der Signalerzeugung . . . . .	106
B. Programmieren. . . . .	106
1. Analoge Informationen . . . . .	108
2. Codierte Informationen. . . . .	108
3. Lochkarten . . . . .	113
4. Lochstreifen. . . . .	113
5. Magnetbänder . . . . .	119
a) Bandantriebe . . . . .	120
b) Aufzeichnungsverfahren . . . . .	120
c) Informationskapazität . . . . .	125
6. Kernspeicher . . . . .	126
V. Bauelemente für die Signalverarbeitung. . . . .	128
A. Verarbeitungsarten . . . . .	128
1. Verteilen . . . . .	128
2. Ändern der Signalform . . . . .	129
3. Mischen. . . . .	129
a) Logische Verknüpfungen. . . . .	130
b) Funktionelle Verknüpfungen . . . . .	130
B. Signal- und Störpegel. . . . .	131

## Inhaltsverzeichnis

IX

	Seite
C. Schaltgeräte . . . . .	133
1. Übersicht über Schalterarten . . . . .	133
2. Das Kontaktsystem für Leistungsschalter . . . . .	134
3. Motorschutzschalter . . . . .	140
4. Steuerschalter . . . . .	142
5. Schütze . . . . .	143
a) Das Kontaktsystem . . . . .	143
b) Das Kraftsystem . . . . .	144
c) Der Gesamtaufbau der Schütze . . . . .	147
d) Zusatzeinrichtungen an Schützen . . . . .	150
6. Signalschalter . . . . .	152
a) Der Druckknopftaster . . . . .	152
b) Der Endtaster . . . . .	155
$\alpha$ ) Aufbau und Wirkungsweise . . . . .	156
$\beta$ ) Schaltstückanordnungen . . . . .	157
$\gamma$ ) Gehäuse . . . . .	157
$\delta$ ) Antriebe . . . . .	158
$\epsilon$ ) Betätigung . . . . .	159
c) Relais . . . . .	163
$\alpha$ ) Begriff und Aufgaben . . . . .	163
$\beta$ ) „Starkstrom“relais . . . . .	164
$\gamma$ ) Fernmelderelais . . . . .	165
$\delta$ ) Zeitrelais . . . . .	180
D. Verstärker und Gleichrichter . . . . .	182
1. Röhrenverstärker . . . . .	183
2. Thyatron . . . . .	187
3. Kaltkathoden-Röhre . . . . .	187
4. Halbleiter-Bauelemente . . . . .	188
a) Gleichrichter . . . . .	190
b) Zenerdiode . . . . .	193
c) Transistoren . . . . .	195
d) Thyristoren . . . . .	200
e) Hallgenerator . . . . .	204
f) Fotodioden . . . . .	207
5. Magnetverstärker . . . . .	209
E. Kontaktlose Baugruppenelemente . . . . .	214
1. Logische Verknüpfungen . . . . .	216
2. Kontaktlose Änderung des Signals . . . . .	220
a) Monostabile Kippstufen . . . . .	220
b) Bistabile Kippstufen . . . . .	221
c) Untersetzer . . . . .	224
d) Schieberegister . . . . .	227
3. Algebraische Verknüpfungen . . . . .	228



	Seite
F. Die Zuverlässigkeit kontaktloser Bauelemente . . . . .	232
G. Leitungsverlegung . . . . .	238
1. Schaltpläne . . . . .	239
2. Der Aufbau der Steuerungen . . . . .	243
3. Verdrahtungssysteme. . . . .	244
4. Gedruckte Schaltungen . . . . .	246
VI. Der Signalfluß . . . . .	247
A. Darstellungsarten. . . . .	248
1. Der Signalflußplan. . . . .	248
2. Mathematische Methoden. . . . .	250
a) Übergangsfunktion . . . . .	251
b) Frequenzgang. . . . .	253
c) Laplace-Transformation . . . . .	255
B) Antriebe für kontinuierliche Prozesse. . . . .	265
1. Steuerungen. . . . .	267
a) Drehstromantriebe . . . . .	267
b) Gleichstromantriebe . . . . .	274
2. Regelung . . . . .	276
a) Grundlagen. . . . .	276
b) Der Regelverlauf . . . . .	285
c) Optimierungsverfahren. . . . .	289
3. Drehzahlregelungen . . . . .	292
a) Regelstrecke 2. Ordnung . . . . .	293
$\alpha$ ) Schaltung . . . . .	293
$\beta$ ) Signalflußplan . . . . .	295
$\gamma$ ) Stationärer Betrieb. . . . .	297
$\delta$ ) Dynamischer Regelablauf . . . . .	297
b) Regelstrecke höherer Ordnung . . . . .	303
c) Absolutes Regelverhalten . . . . .	310
d) Störwertaufschaltung . . . . .	312
e) Verstärkerschaltungen . . . . .	313
$\alpha$ ) Maschinenverstärker . . . . .	314
$\beta$ ) Magnetverstärker. . . . .	319
$\gamma$ ) Röhrenverstärker. . . . .	321
$\delta$ ) Thyatron . . . . .	322
$\epsilon$ ) Quecksilberdampf-Gleichrichter . . . . .	322
$\zeta$ ) Thyristor . . . . .	323
$\eta$ ) Zweipunktverstärker . . . . .	325
f) Drehmomentregelung mit drehzahlabhängiger Führungsgröße	329
g) Gemischte Regelung und Steuerung. . . . .	331
h) Das Regelmodell . . . . .	331
i) Drehzahlmeßgeber. . . . .	334

	Seite
C. Wegabhängige Prozesse . . . . .	337
1. Der Signalfuß . . . . .	338
2. Der integrierende Antrieb . . . . .	339
3. Der Grenzlagenschalter . . . . .	343
a) Mechanischer Signalvergleich . . . . .	343
$\alpha$ ) Mechanische Endschalter . . . . .	344
$\beta$ ) Berührungslose Signalgeber . . . . .	344
b) Elektrische Feineinstellung der Führungsgröße . . . . .	349
$\alpha$ ) Resistive Geber . . . . .	350
$\beta$ ) Kapazitive Geber . . . . .	351
$\gamma$ ) Induktive Geber . . . . .	352
c) Elektrische Wahl der Führungsgröße . . . . .	355
$\alpha$ ) Drehmelder . . . . .	356
$\beta$ ) Optische Systeme . . . . .	368
4. Der Nachlauf ( <i>v-s</i> -Diagramm) . . . . .	373
D. Folgesteuernngen . . . . .	374
1. Funktionsdiagramme . . . . .	375
2. Drehzahlwahl bei Folgesteuernngen . . . . .	376
a) Drehzahlwähler . . . . .	376
b) Schrittschaltwerke . . . . .	377
c) Schützketten . . . . .	378
d) Meßgeber . . . . .	380
3. Wegabhängige Folgesteuernngen . . . . .	382
a) Programmwähler . . . . .	383
b) Schrittschaltwerke . . . . .	384
c) Lochstreifenleser . . . . .	386
d) Folgeschaltungen von Mehrfachprozessen . . . . .	387
e) Mechanische Wahl der Führungsgröße . . . . .	389
f) Numerische Wahl der Führungsgröße . . . . .	389
E. Bahnsteuerungen . . . . .	403
1. Fühlersteuerungen . . . . .	404
a) Aufbau und Wirkungsweise . . . . .	404
b) Bearbeitungsarten . . . . .	407
c) Schaltungsarten . . . . .	409
2. Fotoelektrisches Nachfahren von Zeichnungen . . . . .	415
a) Technologische Forderungen . . . . .	415
b) Nachführereinrichtung . . . . .	416
c) Optik . . . . .	417
d) Der Signalfuß . . . . .	418
e) Strich-Kanten-Abtastung . . . . .	420
3. Numerische Bahnsteuerungen . . . . .	420
a) Interpolator . . . . .	422
$\alpha$ ) Treppenförmige Nachbildung . . . . .	423
$\beta$ ) Polygonale Nachbildung . . . . .	425

	Seite
b) Der Vorschubantrieb . . . . .	427
c) Der Aufbau der Steuerung . . . . .	428
$\alpha$ ) Der Außeninterpolator . . . . .	428
$\beta$ ) Der Inneninterpolator . . . . .	428
d) Die Programmsprache . . . . .	428
F. Prozeßgekoppelte Steuerungen . . . . .	429
1. Fertigung von Fließgut . . . . .	429
2. Fertigung von Stückgut . . . . .	430
a) Elektromechanische Speicher . . . . .	430
b) Speicher mit Hallgeneratoren . . . . .	432
G. Simulativ gekoppelte Steuerungen . . . . .	439
Schrifttum . . . . .	443
Sachverzeichnis . . . . .	448

## I. Einleitung

Bei der Behandlung der Antriebstechnik in der Metallverarbeitung wollen wir die Betonung auf Automatisierung legen. Die mechanischen Prozesse selbst werden nur insoweit beschrieben, als sie zum Verständnis der Automatisierung nötig sind. Wir beschränken uns dabei auf Fertigungsprozesse, die durch mechanische Kräfte entstehen, also Veränderungen von festen Körpern — hauptsächlich Metallen — verursachen; diese wirken sich auf die Form der Körper, ihre Eigenschaft oder ihre Lage zueinander aus.

Das Wesen dieser Fertigungsprozesse ist, daß sie sich nicht von selbst vollziehen, sondern nur durch die bewußte Beeinflussung durch den Menschen zustande kommen. Die treibende Kraft für diese schöpferische Tat geht auf existentielle Bedürfnisse zurück.

Historisch gesehen muß die Entstehung dieser Fertigungsprozesse wohl auf die Steinzeit zurückgeführt werden, in der sich der Mensch — im Gegensatz zum Tier — naturfremde Werkzeuge fertigte, die ihm im Kampf ums Dasein Vorteile brachten.

Anstelle des spröden Steines trat dann später das Metall. Es ist bis heute noch der gebräuchlichste Werkstoff für die meisten Werkzeuge, die wir für die mechanischen Fertigungsprozesse benötigen. Mit diesen Werkzeugen konnte man andere feste Gegenstände bearbeiten und ihnen Formen und Eigenschaften geben, die in erster Linie das Leben erleichtern sollten. Das Handwerk war entstanden.

In dieser ersten Phase der Entwicklung ist das grundsätzlich Neue das Werkzeug. Es ist eine Erfindung des Menschen, mit der er seinen ihm von der Natur gegebenen Kräften mehr Wirkung in einer bewußt gewünschten Richtung gibt. Der Mensch beschäftigte sich also mit dem, was wir heute Technologie nennen. Auch heute noch ist es wichtig, erst die technologischen Verhältnisse auf Entwicklungsmöglichkeiten hin zu untersuchen, und wir erleben es immer wieder, daß grundsätzlich neue Wege durch technologische Fortschritte möglich sind.

In der zweiten Entwicklungsphase genügte dem Menschen die Kraft seiner eigenen Muskeln nicht mehr. Er suchte nach neuen Energiequellen. Das fing beim Sklaven und Haustier an und bekam neue Impulse durch Erfindungen zur Ausnutzung der Naturkräfte. Das Wasserrad

spielte dabei eine große Rolle. Die Dampfmaschine leitete schließlich ein neues Zeitalter ein.

Das wesentlich Neue dieser Entwicklungsepoche ist wohl die Einführung der Drehbewegung, die Erfindung des Rades als tragendes Konstruktionselement der Maschine. Der Mensch mußte die in der Natur hauptsächlich vorkommende translatorische Bewegung in eine rotatorische Bewegung verwandeln. Abb. 1 zeigt einen solchen kinematischen

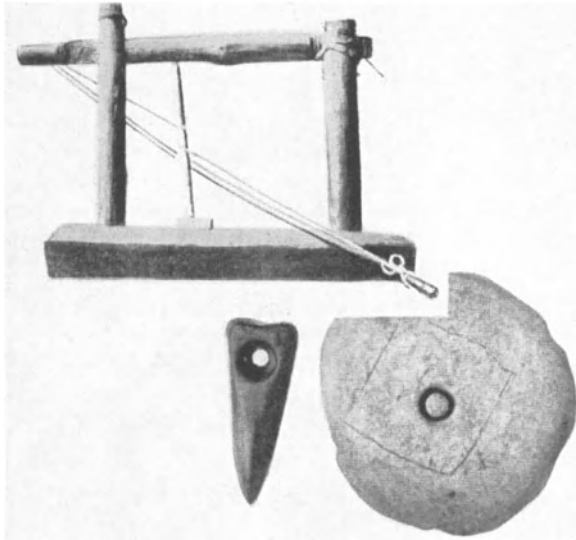


Abb. 1. Bohrvorrichtung (Rekonstruktion) um 4000 v. Chr. mit Bohrproben (Museum für Völkerkunde Berlin)

Wandler in der Form des Fiedelbogens. Die rotierende Energie ermöglichte das Bohren. Erst viel später versetzte man das Werkstück in Drehbewegungen und hielt das Werkzeug fest. Es entstand das Drehen (Abb. 2). Damit ließen sich schon die neuartigen umlaufenden Konstruktionselemente bearbeiten, um Maschinen für die Ausnutzung der Naturkräfte zu bauen [1].

Ein wichtiger Schritt auf dem Wege des technologischen Fortschritts war die Erfindung der Dampfmaschine. Die erzeugte Energie war jetzt schon so groß, daß man damit nicht nur einzelne Maschinen, sondern vielmehr die Einrichtungen ganzer Fabriken antreiben konnte. Es kam jetzt darauf an, den Energiestrom zu bändigen, also die einzelnen Maschinen im richtigen Augenblick an die energieverteilenden Transmissionen anzuschließen und nach erfolgter Arbeit wieder zu trennen. Man mußte fremden Energiestrom dem menschlichen Willen genauso gefügig machen, wie es die Muskeln als Energiequelle sind. Genauso

wie im Gehirn des Menschen entstandene Entscheidungen die Muskeln durch Nachrichten zur Bewegung veranlassen und diese durch die Sinnesorgane kontrolliert werden, genauso mußte man den fremden Energiefluß mit Nachrichten versehen können, die vom Bedienungsmann der Maschine ausgingen.

Auch heute noch vollzieht sich jeder Fertigungsprozeß durch eine ihm — und nur ihm — eigentümliche Zusammenwirkung von Energie und Nachricht. In diesem Verzahnungsproblem zweier wichtiger Gebiete der Technik — der Energietechnik und der Nachrichtentechnik —

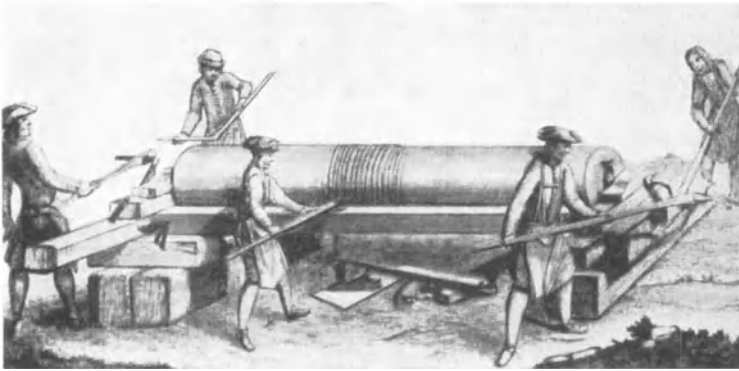


Abb. 2. Holzdrehbank. Antrieb mittels Stoßstange, nach einem Kupferstich von 1736

führte eine weitere grundsätzliche Erfindung zu einer völlig neuen Situation, nämlich dem Elektromotor.

Seine Bedeutung liegt in der Änderung der Energieart, die jetzt mit seiner Hilfe ganz nahe an der Verbraucherstelle erfolgen kann. Die langen mechanischen Energieleitungen konnten wegfallen, mit ihnen die großen Energieverluste in den Übertragungsgliedern. Wegfallen konnten auch mechanische Kupplungen, um den Energiefluß zu steuern. Dafür kamen leicht verlegbare elektrische Leitungen, die wenig Energieverluste brachten und vielseitige Möglichkeiten schufen, den Energiefluß durch elektrische Schalt- und Stellglieder mit Nachrichten aller Art zu versehen.

Die so entstandenen Fertigungsstätten — Fabriken — produzieren heute viel mehr als der Mensch für seine existentiellen Bedürfnisse benötigt. Der Mensch möchte nämlich nicht nur existieren, er möchte Freude haben am Besitz und Verbrauch von nützlichen Gütern. Für die Herstellung dieser Güter will der Mensch aber möglichst wenig Arbeit aufwenden, denn durch Arbeit wird er abhängig. Der Mensch möchte seinem Wesen nach frei sein.

Die heutige Wirtschaft braucht seinen großen Konsum. Sie muß dem Menschen, den sie beschäftigt — wenn man von Maßnahmen der Forschung und Verteidigung absieht —, so viel geben, daß er die produzierten Güter kaufen und verbrauchen kann. Die Wirtschaft pulsiert deshalb zwischen zwei entgegengesetzten Polen, zwischen Rationalität der Produktion und der Irrationalität des Konsums. Diese zwei Kräfte müssen sich das Gleichgewicht halten, sonst ist Arbeitslosigkeit einerseits oder Inflation andererseits zu befürchten. In der Aufrechterhaltung dieses Gleichgewichtes spielt die Automatisierung eine immer größer werdende Rolle. Durch sie wird von weniger Menschen mehr produziert. Sie befreit den Menschen von der monotonen mechanischen Arbeit. Seine Tätigkeit verlagert sich auf neuartiges geistiges Gebiet. Er muß mehr lernen, um die Produktion zu verstehen, ist mit seiner Tätigkeit nicht mehr an einen kurzen Arbeitstakt gebunden und fühlt sich freier.

Bei allen Fragen der Automatisierung müssen wir deshalb sowohl an die rationelle Fertigung als auch an den Menschen denken, der hier zwei Rollen spielt: Er arbeitet mit an der Produktion und ist als Konsument der entscheidende Marktfaktor. Wir wollen uns nicht mit diesen Marktfragen, die voller Werturteile stecken und mit soziologischen Interessen verbunden sind, beschäftigen, sondern denken an die rationelle Fertigung und den arbeitenden und schöpferischen Menschen. Dabei wollen wir von der schon genannten Erkenntnis ausgehen, daß jeder Fertigungsprozeß durch eine ihm eigentümliche Zusammenwirkung von Energie und Nachricht gekennzeichnet ist.

## II. Das Wesen der Automatisierung

Die Aufgabe des Menschen besteht zunächst darin, an den Energiefluß Nachrichten im richtigen Augenblick zu geben. Leider ist der Mensch für unsere Ansprüche recht unvollkommen und oft schuld daran, daß der Prozeß nicht mit der optimalen Produktivität abläuft. Unter Produktivität verstehen wir dabei letzten Endes das Verhältnis zwischen dem Ergebnis einer Produktionsanlage und dem hineingesteckten Aufwand. Durch die Automatisierung soll das Zusammenwirken von Nachricht und Energie nach einer optimalen Produktivität ausgerichtet werden.

Es besteht kein Zweifel, daß die Lösungselemente für diese Aufgaben in der Steuerungs- und Regelungstechnik zu suchen sind. Hier bieten sich Möglichkeiten an, die gelegentlich weit über die Grenzen dessen hinausgehen, was durch Einsatz des Menschen erreicht werden kann.

Und doch soll gleich von vornherein auch sehr deutlich gesagt sein, daß es in der Fertigungstechnik nicht immer möglich sein wird, den Menschen durch Roboter zu ersetzen. Die besten Computer werden die jahrzehntelange Erfahrung unserer Facharbeiter, ihr Fingerspitzengefühl, ihr handwerkliches Können, ihre Einsatzbereitschaft und ihr Verantwortungsgefühl nicht ersetzen können.

Bei der Analysierung der Lösungswege gehen wir von dem in der Einleitung erwähnten Hinweis aus, daß die Änderung der Energieart eine große Rolle spielt.

### A. Wahl der Energieart

Mechanische Fertigungsprozesse erfordern mechanische Energie. Es ist schwierig, diese Energieart mit Nachrichten zu beeinflussen. Man braucht dazu mechanische Kupplungen verschiedenster Art. Viel einfacher ist es aber, die elektrische Energie mit Nachrichten zu versehen. Dafür stehen schnellwirkende Schalter oder kontaktlos arbeitende Einrichtungen zur Verfügung, die leicht fernsteuerbar sind. Das führt dazu, die Energie der Verbraucherstelle zunächst auf elektrischem Wege zuzuleiten und möglichst spät in die verlangte mechanische Energie überzuführen.

Dies soll am Beispiel der historischen Entwicklung des Antriebes einer Bohrmaschine näher erläutert werden. Die Änderung der Wärmeenergie in mechanische Energie erfolgt in der Dampfmaschine, die einen Niederspannungsgenerator antreibt. Die elektrische Energie wurde anfangs noch an die Gruppenantriebe weitergeleitet (Abb. 3a), die zuerst Gleichstrommotoren, später Drehstrommotoren mit Schleifringläufer waren. Die am Motorwellenende zur Verfügung stehende mechanische Energie bedurfte noch einer Drehmomentwandlung, die sich im Riemenvorgelege vollzog, dessen Riemenscheiben verschiedene Durchmesser hatten. Als weiteres Bauelement benötigte man einen Energieschalter, weil man die mechanische Energie zu- und abschalten mußte. Als Schalter diente das Riemenvorgelege mit Fest- und Losscheibe [18].

Beim nächsten Schritt, dem Einzelantrieb (Abb. 3b), erkennen wir als wesentliche Änderungen zunächst einen Energieschalter, der die Energie nicht mehr auf mechanischem Wege, sondern durch einen elektrischen Schalter zu- und abschaltet (Abb. 3b). Die außerhalb der Maschine liegenden Drehmomentwandler mit Riemen und Vorgelege fallen weg. Danach vollzog sich innerhalb der Maschine ebenfalls eine Abkehr vom Riemen. Als Drehmomentwandler dienten Zahnradgetriebe mit einrückbaren Zahnrädern für die Drehzahlwahl (Abb. 3c). Der Zerspanungsleistung sind jetzt keine energetischen Grenzen mehr gesetzt. Im Rahmen dieser ganz auf die Maschine gerichteten Entwick-



lungstendenzen entstand nach und nach der „Regelantrieb“. Man versuchte, die Drehzahländerung ganz dem Motor zu übertragen (Abb. 3d). Dazu war es notwendig, jeder Energieverbraucherstelle innerhalb der Maschine einen eigenen Motor mit möglichst stetig veränderbarer Drehzahl zuzuordnen. Da der Drehmomentwandlung im Motor physikalische Grenzen gesetzt sind, entstanden Getriebe mit elektrisch fernsteuerbaren

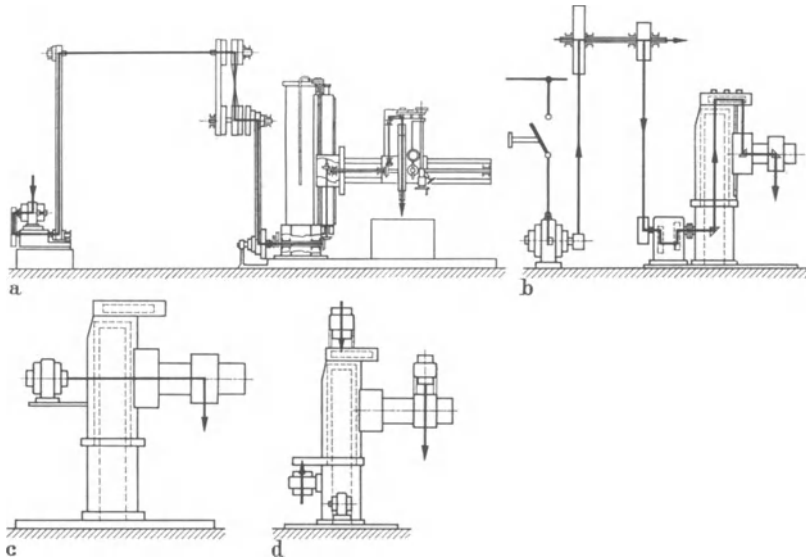


Abb. 3. Der Energieweg beim Bohrmaschinenantrieb  
 a) Gruppenantrieb; b) Einzelantrieb mit Deckenvorgelege; c) Einzelantrieb;  
 d) Mehrmotorenantrieb

Kupplungen. Schon vorher erhielten die für die einzelnen Motoren vorhandenen Schalter Einrichtungen für die Fernsteuerung. Damit waren die Voraussetzungen geschaffen, den Energiefluß in zweckmäßiger Form mit Nachrichten zu versehen.

## B. Nachrichtenart

In der Umgangssprache ist Nachricht eine Mitteilung zum „Sich-danach-richten“, ist Übermittlung von Begebenheiten, Belehrung, Auskunft, Information. Die moderne Technik erfordert eine Erweiterung des Begriffes der Nachricht. In Anlehnung an eine Definition von KÜPFMÜLLER [2] kann man jede, nicht voraussehbare, denkbare Folge von Ereignissen Nachricht nennen. Nachricht ist also das nicht Voraussetzbare, nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zu Erwartende. In die Informationstheorie hat man deshalb ein quantitatives Maß für die Nachricht eingeführt, das vom reziproken Wert der Wahrscheinlichkeit

für das Eintreffen eines Ereignisses abhängt. Je kleiner die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses ist, um so mehr Nachricht vermittelt es.

Bei der Betrachtung der Nachrichtenverarbeitung für die aufgezählten Aufgaben wollen wir die Nachricht als Oberbegriff werten. Informationen sind Darstellungsformen einer Nachricht. Nach der NTG-Empfehlung 0102 (Entwurf 1962) ist das Signal „die physikalische Repräsentation einer Nachricht“. Es hat eine physikalische Dimension und eine meßbare Größe.

### 1. Informationen

Wie wir einleitend festgestellt haben, sind mechanische Fertigungsprozesse ohne den Menschen nicht denkbar. Er ist nicht nur ihr Schöpfer, sondern er hat auch den Willen sie durchzuführen. Sowohl für den schöpferischen Gedanken als auch für die Willenskraft zur ausführenden Handlung liegen dem Menschen Informationen aus seiner Umwelt vor, die er durch seine Sinnesorgane wahrnimmt und durch gedankliche Weiterverarbeitung zur entscheidenden Handlung heranreifen läßt oder als neue Information anderen Menschen weitergibt. In deren Kreis entstehen dann die für die Durchführung des Fertigungsprozesses notwendigen „Handlungen“ zur Einleitung des Energieflusses. Die Verbindung der Information mit dem Energiefluß stellt das Signal her.

### 2. Signale

Für die Automatisierung ist das Signal von grundlegender Bedeutung. Wir wollen bei ihm unterscheiden zwischen der Signalart und der Signalform. Die Signalart sagt aus, ob es sich um ein elektrisches, optisches, akustisches, hydraulisches oder pneumatisches Signal handelt. Wir wollen uns hier vorwiegend mit elektrischen Signalen beschäftigen, worunter aber alle Signale zählen, bei denen auch auf mittelbarem (hydraulisch, pneumatisch usw.) Wege ein elektrischer Impuls zur Weiterleitung entsteht.

Bei der Signalform lassen sich 5 Hauptformen unterscheiden:

a) Das stetig veränderliche und kontinuierliche Signal. Es kann in einem vorgegebenen Intervall jeden beliebigen Wert annehmen. Es wird auch als analoges Signal bezeichnet, weil es einen anderen physikalischen Wert nachbildet, ihm also analog ist [19].

b) Numerische, digitale und quantisierte Signale nehmen nur bestimmte diskrete Werte an, welche ein ganzes Vielfaches einer frei wählbaren kleinsten Einheit betragen. Werte unterhalb dieser Einheit sind nicht angebar. Diese Signale treten z. B. beim Zählen und in der Digitaltechnik auf.

c) Logische und zweiwertige (binäre) Signale nehmen nur zwei Werte an, die im allgemeinen durch kein Signal (0) und Signal (1) wiedergegeben werden. Sie charakterisieren zwei Zustände wie „ein-aus“

oder „wahr-falsch“ oder „leitend-sperrend“. Im Gegensatz zum analogen und digitalen Signal besteht zwischen der physikalischen Ausgangsgröße kein funktioneller (z. B. algebraischer), sondern ein logischer Zusammenhang.

Ein Wechsel des logischen (binären) Signals vom Zustand 0 auf 1 oder umgekehrt stellt in seinem Nachrichteninhalte eine Elementarentscheidung dar. Sie wird als Nachrichteneinheit (NE) betrachtet und hat im technischen Sprachgebrauch die Bezeichnung „bit“ als Abkürzung für den englischen Ausdruck „binary digit“. Es sind auch mehrwertige Signalformen denkbar. Ternäre Signale haben drei stabile Betriebszustände, die z. B. durch die Werte plus Eins, Null, minus Eins gekennzeichnet sind.

Im Grenzfall geht ein  $n$ -wertiges System in die analoge Signalform über. In der digitalen Signalverarbeitung werden aber fast ausschließlich binäre Systeme verwendet.

d) Impulsförmige Signale treten in Form von einzelnen diskreten, zeitlich begrenzten Zustandsänderungen auf, wobei z. B. deren Form, deren Amplitude und deren Breite maßgebend sind. Diese Werte können kontinuierlich oder digital sein. Es kann auch die Zahl der Einzelimpulse in einem Impulspaket maßgebend sein. Das Signal kann z. B. aus Gleichstromimpulsen oder periodischen, auch hochfrequenten Schwingungen bestehen.

e) Stochastische, aleatorische oder regellose Signale haben einen Wert, der einem Zufallsprozeß unterliegt. Sie können sowohl kontinuierlich wie impulsförmig verlaufen. Zu ihnen gehören vor allem die Störsignale.

In unseren Betrachtungen beschränken wir uns also auf Signale, deren physikalische Dimension und Intensität durch elektrische Größen gekennzeichnet werden können. Ist diese elektrische Größe ein Energiewert, spricht man von einem „aktiven“ Signalglied, weil es ohne Zuhilfenahme der Energie eines anderen Signalgliedes im Ausgang mit endlichem Widerstand einen Strom erzeugt. Die meisten Signale kommen von „passiven“ Signalgliedern, die eine fremde Energiequelle benötigen. Jedes passive Signal muß also erst „verarbeitet“ werden, bevor es wirksam werden, also einen anderen Vorgang auslösen kann.

Aber auch das „aktive“ Signal wird selten in der Lage sein, einen meist größeren Energiefluß zu ändern. Diese „aktiven“ Signale müssen dann zunächst verstärkt werden.

### C. Der Mensch als Informationswandler

Die für einen Fertigungsprozeß vorliegenden Informationen muß der Mensch nach zwei völlig verschiedenen Richtungen in Signale für die Beeinflussung des Energiestromes verwandeln.

Einerseits muß er dafür sorgen, daß die dazu nötigen Einrichtungen für den Energiefluß, die Signalgabe und Signalverarbeitung entstehen. Das ist im weiteren Sinne eine Aufgabe des Konstrukteurs. Andererseits sorgt er aber auch dafür, daß mit diesen Einrichtungen die Fertigungskapazität den Marktbedürfnissen angepaßt und in Gang gehalten wird. Darüber hinaus muß er an die betrieblichen und soziologisch-wirtschaftlichen Erfordernisse denken.

Die Aufgabe des *Konstrukteurs* soll dabei so umfassend wie möglich sein. Er soll nicht nur die elektrischen Einrichtungen an sich konstruieren, sondern muß auch weitgehend die Fertigungsverfahren beeinflussen und in die Gestaltung der Werkstücke eingreifen.

Ein weiterer ganz wesentlicher Gesichtspunkt ist die Betriebssicherheit der Einrichtungen. Dazu gehört die Wahl der geeigneten Bauelemente und ihre Beurteilung hinsichtlich der Lebensdauer und der Möglichkeit einer schnellen Ersatzbeschaffung. Es müssen also günstige betriebliche Voraussetzungen geschaffen werden.

Am sichersten sind Erfolge immer dann zu erwarten, wenn es gelingt, mit der Automatisierung ein neues Qualitätsniveau zu erreichen, an das vorher nicht heranzukommen war. Solche Fälle gibt es viele.

Wesentlich schwieriger wird die Wahl der Mittel bei der Automatisierung, wenn diese qualitativen Fortschritte nicht mehr ausschlaggebend sind, weil die vorherige Qualität den gestellten Anforderungen genügt. Dann muß die Automatik wirtschaftlichen Gesichtspunkten Rechnung tragen.

Stehen die wirtschaftlichen Überlegungen im Vordergrund, hängt der bei der Automatisierung einzuschlagende Weg wesentlich von der Stückzahl ab. Sie bestimmt, ob man die Automatisierung nach technologischen, energetischen oder nachrichtentechnischen Gesichtspunkten durchführt. Bei der Frage, welcher dieser drei Gesichtspunkte in Frage kommt, kann man schon von einer Gesetzmäßigkeit insofern sprechen, als technologische Gesichtspunkte immer dann mit Vorzug zu betrachten sind, wenn es sich um große, d. h. besonders extrem große Stückzahlen handelt. Bei kleiner werdenden Stückzahlen gewinnen energetische Lösungen an Bedeutung, und die untere Grenze in der Mengenfertigung wird man mit nachrichtentechnischen Lösungen suchen müssen. Je nach den gegebenen Voraussetzungen verwendet man Sondermaschinen, Maschinengruppen oder ganze Fertigungsstraßen.

Leider liegen die für eine weitgehende Automatisierung notwendigen Stückzahlen wegen der Marktverhältnisse oft nur zeitweise vor. Man sucht deshalb nach Lösungen, sich flexibel der Stückzahl anzupassen. Die elektrischen Einrichtungen der Automatisierung sind dafür am geeignetsten. Der Gedanke führt dann wieder von der technologisch eingerichteten Spezialmaschine weg zu der elektrisch gesteuerten