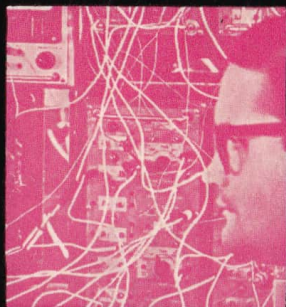


**KLAUS · LIEBSCHER**



**WAS IST · WAS SOLL**

**KYBERNETIK**

**KLAUS · LIEBSCHER**  
**WAS IST · WAS SOLL**  
**KYBERNETIK**

**GEORG KLAUS · HEINZ LIEBSCHER**

**WAS IST · WAS SOLL**

# **KYBERNETIK**

**URANIA-VERLAG**

**LEIPZIG · JENA · BERLIN**

*Ausgezeichnet mit einem Preis im dritten Preisausschreiben  
zur Förderung der populärwissenschaftlichen Literatur 1966*

7. Auflage 1970, 64.—73. Tausend · Alle Rechte vorbehalten  
Copyright 1966 by Urania-Verlag Leipzig/Jena/Berlin,  
Verlag für populärwissenschaftliche Literatur  
VLN 212—475/64/70 · ES 3 B 1 / 20 K 2  
Einbandentwurf: Helmut Selle  
Typografie: Hans-Jörg Sittauer  
Illustrationen: Hasso Seyferth  
Satz: VEB Interdruck, Leipzig  
Druckerei: VEB Buch- und Stahlstichdruck Greiz, Werk Zeulenroda  
Buchbinderei: E. P. Berger, Leipzig  
Printed in the German Democratic Republic  
Bildnachweis: Foto Heyphot 1; Foto Brüggemann 2, 3;  
Zentralhaus der DSF Berlin 4; Zentralbild 5, 6  
4,80

## *Vorwort*

Das 20. Jahrhundert ist reich an bedeutsamen Entdeckungen. Wissenschaft und Technik haben einen Aufschwung genommen, wie ihn sich frühere Generationen nicht vorstellen konnten. Wollte man von den hervorragenden Neuerungen, die unser Jahrhundert gebracht hat, die wichtigsten nennen, so wäre auf dem Gebiet der Gesellschaftswissenschaft die Weiterentwicklung des Marxismus durch *Lenin* und in der Politik die Verwirklichung der sozialistischen Gesellschaftsordnung in einem Teil der Welt zu nennen. Im Bereich der Naturwissenschaft und der Technik müßten die Entfesselung und Beherrschung der Atomenergie und die Astronautik genannt werden. In unser Jahrhundert fällt aber auch die Geburt und die erste Entwicklung einer neuen Wissenschaft, die mit den erwähnten Neuerungen an Bedeutung und Reichweite vergleichbar ist. Diese Wissenschaft trägt den Namen „Kybernetik“. Die Herausbildung der Kybernetik ist eng mit der Entwicklung der modernen Produktivkräfte verbunden, vor allem mit der Entwicklung der heutigen Technik. Ständig komplexer werdende technische Systeme verlangen zuverlässig arbeitende Regelungs- und Steuerungseinrichtungen. Komplizierte technische Systeme durch automatische Regelung sicher beherrschen zu können ist für die gegenwärtige und erst recht für die künftige Entwicklung der modernen Maschinenwelt eine unumgängliche Notwendigkeit.

Die neue Wissenschaft entstand Anfang der 40er Jahre unseres Jahrhunderts. Der Öffentlichkeit wurde sie allerdings erst im Jahre 1948 bekannt, und zwar durch ein Buch mit dem Titel „Kybernetik oder Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine“. Sein Autor ist der amerikanische Mathematiker *Norbert Wiener*. Er war es auch, der ihr den Namen gab.

Wir werden versuchen, das Wesen dieser neuen Wissenschaft zu zeigen, ihre Denkweisen und Methoden zu beschreiben. Es erübrigt sich deshalb, eine Definition ihres Gegenstandes an den Anfang zu

stellen; wir wollen uns zunächst damit begnügen, Herkunft und Bedeutung des Wortes „Kybernetik“ anzugeben. Es stammt aus dem Griechischen und heißt soviel wie „Steuermannskunst“. Man verstand im Altertum darunter die Kunst, ein Schiff zu steuern. Freilich vermag diese Worterklärung nur sehr wenig über den heutigen Inhalt des Begriffes Kybernetik auszusagen.

Wiener arbeitete besonders eng mit dem mexikanischen Physiologen *Arturo Rosenblueth* zusammen. Neben weiteren amerikanischen Mathematikern, Logikern, Physiologen und Wissenschaftlern anderer Spezialgebiete haben auch sowjetische Wissenschaftler sowie Gelehrte verschiedener anderer Länder wichtige Vorarbeiten für die Entwicklung der Kybernetik geleistet. So nennt z. B. *Norbert Wiener* selbst in dem erwähnten Buch den russischen Physiologen *I. P. Pawlow* und den sowjetischen Mathematiker *A. N. Kolmogorow*.

Nach dem zweiten Weltkrieg entwickelte sich die neue Wissenschaft sehr rasch weiter. Eine Reihe internationaler Kongresse über allgemeine Probleme der Kybernetik und zahlreiche spezielle Fragen ihrer Anwendung unterstützten diesen Prozeß wesentlich. Zu den führenden Ländern in der kybernetischen Forschung gehören heute die Sowjetunion und die USA. Die Sowjetunion und ebenso auch die Deutsche Demokratische Republik sehen diese neue Wissenschaft für außerordentlich bedeutsam an und fördern sie dementsprechend. In den grundlegenden Dokumenten über den Aufbau des Kommunismus in der UdSSR und über die Vollendung des sozialistischen Aufbaus in der DDR wird sie im Zusammenhang mit den entscheidendsten Aufgaben erwähnt. So heißt es beispielsweise im Programm der Kommunistischen Partei der Sowjetunion: „Der Übergang zu vollkommensten automatischen Steuerungsanlagen wird sich beschleunigen. Kybernetik, elektronische Rechenmaschinen und Steuerungsanlagen werden bei den Produktionsprozessen in der Industrie, der Bauindustrie und dem Verkehrswesen, im Forschungswesen, bei der Planung, beim Projektieren und Konstruieren, in der Rechnungsführung und Verwaltung weitgehend angewandt werden.“

Die Sozialistische Einheitspartei Deutschlands räumt der Kybernetik in ihrer Wissenschaftspolitik einen maßgeblichen Platz ein. Bereits in dem auf ihrem VI. Parteitag beschlossenen Programm ist der bemerkenswerte Satz enthalten: „Die Kybernetik ist besonders zu

fördern.“ Die internationale kybernetische Forschung und entsprechende Anstrengungen in der Deutschen Demokratischen Republik haben seither die fundamentale Bedeutung der Kybernetik für die verschiedenen Bereiche der wissenschaftlichen und der allgemeinen gesellschaftlichen Entwicklung gezeigt. In den Beschlüssen und Referaten des VII. Parteitages der SED fand dies in eindrucksvoller Weise seinen Niederschlag. So erklärte Walter Ulbricht in der Schlußansprache: „Und wenn — wie das Leben beweist — die Wissenschaft von der Kybernetik hilft, die Arbeitsproduktivität in vielen Fällen beträchtlich zu steigern, dann werden wir uns gerade deshalb so lange und so gründlich in diese neue Wissenschaft hinein-knien, bis wir sie vollständig beherrschen.“

Die Bedeutung, die der Kybernetik als Wissenschaft heute zugemessen wird, entspricht ihrer künftigen Rolle in der Gesellschaft: Sie gehört zu den entscheidenden Grundlagen unserer Welt von morgen. Die Kybernetik ist aber nicht nur für die Wissenschaft von größter Bedeutung. Sie interessiert nicht nur einen kleinen Kreis von Fachleuten. Vielmehr gehört es heute zur Allgemeinbildung und zum Weltbild eines jeden modernen Menschen, neben Grundkenntnissen etwa auf dem Gebiet der marxistischen Gesellschaftswissenschaften, der Mathematik, der Nutzung der Atomkernenergie und der Welt-raumfahrt auch entsprechende Kenntnisse auf dem Gebiet dieser neuen Wissenschaft zu besitzen.

Die Geschichte der Gesellschaft und der Wissenschaft kennt viele Beispiele für die große historische Bedeutung wesentlicher naturwissenschaftlicher und technischer Entdeckungen sowie für die Art und Weise ihrer Einwirkung auf die weitere Entwicklung der Produktionsweise und auf das gesellschaftliche Sein und Bewußtsein der Menschen. Was jedoch Auswirkung und Reichweite der Kybernetik betrifft, so dürften von ihr zahlreiche Entdeckungen der Vergangenheit noch in den Schatten gestellt werden. Dies mag durch einen Vergleich veranschaulicht werden: Die Entdeckung des *Kopernikus* über die Beschaffenheit unseres Sonnensystems hob die These von der Mittelpunktstellung des Menschen im Weltall auf; nicht die Erde, sondern die Sonne steht im Mittelpunkt des Planetensystems. *Darwin* beseitigte mit seiner Lehre von der natürlichen Evolution der Organismen das Dogma von der Sonderstellung des Menschen im Bereich der irdischen Lebewesen. Die Kybernetik jedoch

bringt nicht nur Änderungen der Vorstellungen des Menschen über die äußere Welt mit sich, wie dies den angeführten Entdeckungen eigen ist, sondern über das Wesen des Menschen selbst, über sein Denken, sein Bewußtsein und seine Arbeit. Auch der Mensch und die Gesellschaft sind — im Sinne unserer späteren Darlegungen — kybernetische Systeme. Vor allem muß das Gehirn als ein höchst komplexes kybernetisches System angesehen werden. Schließlich wird die technische Anwendung der Kybernetik auch zu einer Veränderung des Wesens der menschlichen Arbeit führen, indem moderne und vielfältig einsetzbare Automaten weitgehend mechanische sowie eintönige körperliche und geistige Arbeit verrichten. Der Mensch selbst wird von solchen Tätigkeiten immer mehr befreit und kann sich den höheren Formen der schöpferischen Arbeit widmen. Wenn aber, wie die Klassiker des Marxismus darlegten, die Arbeit das eigentliche Wesen des Menschen ausmacht, so bedeutet dieser radikale Wandel letztlich einen Wandel im Wesen des Menschen selbst!

Dieses kleine Buch will eine erste Einführung in die neue Wissenschaft der Kybernetik vermitteln. Es setzt keinerlei besondere wissenschaftliche Vorkenntnisse voraus und wendet sich daher an einen sehr großen Leserkreis. Das Buch möchte lediglich auf zwei wichtige Fragen eine einfache Antwort geben, auf die Frage „Was ist Kybernetik?“ und auf die Frage „Was bringt uns die Kybernetik?“ Deshalb ist die Darstellung so einfach wie möglich gehalten. Die Grundkategorien und Denkweisen der Kybernetik werden an elementaren Beispielen erläutert. Zahlreiche Abbildungen sollen das Verständnis des Textes erleichtern.

Das Anliegen der Autoren besteht nicht darin, ein einführendes Lehrbuch der Kybernetik zu schreiben. Sie verfolgen vielmehr in erster Linie die Absicht, dem Leser die allgemeinen Denkweisen der Kybernetik vor Augen zu führen. Es soll ihn anregen, die Welt seiner näheren und weiteren Umgebung auch unter dem Blickwinkel dieser neuen Denkweisen zu betrachten, darüber hinaus soll es zu weitergehenden Studien anregen. Diesem Zweck dienen auch die Literaturhinweise.

Die Verfasser



# WAS IST KYBERNETIK?

Die Kybernetik ist eine junge Wissenschaft. Ihre Begriffe, Fachausdrücke und ihre Denkweisen sind erst vor kurzer Zeit entstanden. Der Leser würde uns daher kaum recht verstehen, wenn wir uns bemühen wollten, in einem Satz zu sagen, was Kybernetik ist. Im übrigen ist es immer ein fragwürdiges Unterfangen zu versuchen, die Definition einer Wissenschaft an den Anfang ihrer Darlegungen zu stellen. Denn wir müßten dabei notgedrungen Begriffe und Ausdrucksweisen gebrauchen, deren Erläuterung und Begründung bereits Gegenstand dieser Wissenschaft selbst ist. Wir wollen deshalb lieber zunächst zeigen, womit sich die Kybernetik beschäftigt. Wir lernen den Bereich der Wirklichkeit kennen, den diese neue Wissenschaft erforscht, und dabei werden wir bemerken, daß sie sich einer vielgestaltigen Betrachtungsweise bedient.

## *Ein Kybernetiker betrachtet einen Kraftwagen*

Ein moderner Kraftwagen ist ein ziemlich kompliziertes technisches Gebilde. Er setzt sich aus einer Vielzahl von Teilen zusammen, die aus verschiedenen Werkstoffen bestehen: aus verschiedenen Metallen, aber auch aus Plaste, Gummi und Glas. Die einzelnen Teile (oder „Elemente“) sind zu Funktionsgruppen — etwa dem Motor, dem Getriebe, dem Lenksystem usw. — zusammengesetzt, deren sinnvolles Zusammenwirken gerade dem Zwecke dient, für den ein Kraftwagen gebaut wird, nämlich Lasten und Personen im Straßenverkehr befördern zu können. Außer der Verwendung geeigneter Materialien für die Herstellung der Bauelemente und dem technisch sinnvollen Zusammenwirken der Funktionsgruppen ist selbstverständlich ein hinreichender Energieaufwand erforderlich, etwa der von Elektroenergie für den Anlasser des Motors oder für die Beleuchtung; vor allem aber der Aufwand von Antriebsenergie in Ge-

stalt der von der Verbrennung des Kraftstoffes in den Motorzylindern herrührenden mechanischen Energie.

Um ein derart kompliziertes technisches System zustande zu bringen, sind die vereinten Bemühungen einer ganzen Reihe von Wissenschaften notwendig. Außer physikalischen und chemischen Grundlagenuntersuchungen erfordert der Bau eines Kraftwagens die Erkenntnisse zahlreicher technischer Spezialgebiete. Jede dieser Wissenschaften richtet ihr Augenmerk auf ganz bestimmte Teilsysteme und untersucht den Kraftwagen unter Berücksichtigung ihrer spezifischen Aspekte. Die Kybernetik zählt nun freilich gegenwärtig nicht zu den Wissenschaften, die für die Konstruktion von Kraftwagen eine wesentliche Rolle spielen. Die große Allgemeinheit der kybernetischen Betrachtungsweise gestattet es aber durchaus, einen Kraftwagen der heute üblichen Konstruktion, ein relativ einfaches, auch dem Laien einigermaßen vertrautes technisches Gerät, auf diese Art zu sehen.

Wie wird nun ein Kybernetiker vorgehen, wenn er einen Kraftwagen zu untersuchen hat? Zunächst ist wesentlich, daß er sich nicht für die chemische Zusammensetzung des beim Bau verwendeten Materials interessiert. Ihm ist es gleichgültig, ob die Baugruppen aus diesem oder jenem Metall, aus Glas oder aus Gummi usw. bestehen. Es interessiert ihn auch nicht, welche Arten von Energie und von Energieumsetzungen benutzt werden, ob elektrischer Strom, mechanische Energie, Wärmeenergie oder gar Atomenergie eine Rolle spielen. Der Kybernetiker betrachtet den Kraftwagen als abstraktes dynamisches *System* (Abb. 1). Was meinen wir mit dem Wort „dynamisch“? Unseren Kybernetiker interessiert nicht so sehr der „tote“ Kraftwagen, der zum Parken abgestellt wurde, sondern der fahrende, der in *Funktion* befindliche Wagen. Dieser aber besteht aus zwei deutlich unterschiedenen *Teilsystemen*, aus dem Fahrer des Kraftwagens und aus dem Kraftwagen. Jedes dieser beiden „Teilsysteme“ besteht selbstverständlich seinerseits wiederum aus zahlreichen mehr oder weniger komplizierten und miteinander in Verbindung stehenden Teilsystemen. Setzt man die Aufspaltung in Teilsysteme immer weiter fort, so gelangt man schließlich zu Einheiten, deren weitere Unterteilung für einen bestimmten Zweck der Untersuchung nicht mehr sinnvoll ist. Solche Einheiten nennt man „Elemente“ des betreffenden Systems.

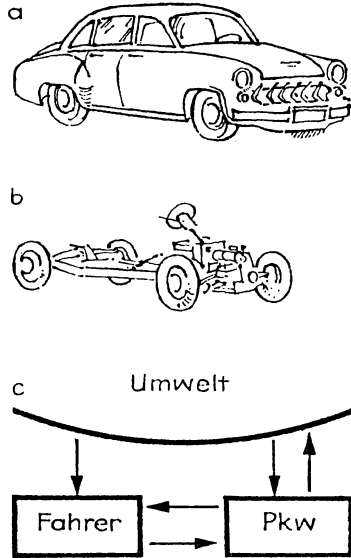
**Abb. 1**

*Der Kraftwagen als System,  
betrachtet*

a) vom Laien

b) vom Techniker

c) vom Kybernetiker



In unserem Beispiel handelt es sich bei dem aus Kraftfahrer und Kraftwagen bestehenden Gesamtsystem nicht um ein „isoliertes“ System, bei dem lediglich Wechselbeziehungen zwischen Elementen und zwischen Teilsystemen bestehen, sondern um ein System, das auch in Wechselbeziehung zu seiner *Umgebung* steht. System und Umgebung bzw. Umwelt bilden auf diese Weise eine neue, höhere Einheit. Im Falle unseres Kraftwagens besteht die „Umwelt“ in der Regel aus der Straße und dem Straßenverkehr. Sie übt die verschiedensten Einflüsse auf das System aus. Kleine Unebenheiten auf gerader Strecke drohen den Wagen aus seiner Richtung zu bringen. Eine Biegung der Straße oder das Abzweigen des vorgeschriebenen Weges können eine Richtungsänderung verlangen. Und neben diesen „geographischen“ Gegebenheiten gibt es auch Einflüsse, die von „verwandten Systemen“ herrühren, nämlich von Fußgängern, auf die Rücksicht genommen sein will, von Verkehrspolizisten, die den Verkehr regeln, und von anderen Fahrzeugen, die überholt werden oder denen ausgewichen wird. Auf alle diese Einwirkungen der Umwelt reagiert das System Kraftwagen/Fahrer auf ganz bestimmte Art

und Weise. Der Kybernetiker nennt die verschiedenen Arten von Reaktionen, die ein System zeigt oder zu denen es mindestens im Prinzip fähig ist, seine *Verhaltensweisen*.

Der Leser wird uns jetzt vielleicht fragen, welchen Sinn und Wert eine solche Betrachtungsweise haben soll. Vom konkreten Material, aus dem das System besteht, wird abgesehen, und auch die besondere Art des Energie- oder Stoffaustausches interessiert nicht. Ist es denn überhaupt möglich, auf dieser mageren Grundlage auch nur eine brauchbare Aussage zu machen, die etwa für den Bau des Systems „Kraftwagen“ von Bedeutung wäre? Wir werden in unseren weiteren Ausführungen noch im einzelnen zeigen, daß dies tatsächlich der Fall ist. Es wird sich sogar herausstellen, daß viele wichtige und allgemeingültige Aussagen über Systeme und über wesentliche Eigenschaften von Systemen gemacht werden können, wenn auf die Besonderheiten der *stofflichen* Zusammensetzung und auf die speziellen *Energieumsetzungen* keine Rücksicht genommen wird.

Unsere bisherige Betrachtung hat uns mit dem vertraut gemacht, was der Kybernetiker den *Systemaspekt* nennt. Wenn wir nun unsere Aufmerksamkeit auf eine wichtige Besonderheit der Wechselbeziehungen von System und Umgebung richten, gelangen wir zum Verständnis eines weiteren Aspekts der kybernetischen Betrachtungsweise. Das Verhalten des Systems Kraftwagen beruht nicht auf einer einfachen Reaktion gegenüber äußeren Einwirkungen, die etwa mit der Reaktion des Zurückspringens eines Gummiballs zu vergleichen wäre, den man gegen eine Wand geworfen hat. Unser System unterwirft die Einwirkungen der Umwelt bzw. die *Signale* und *Informationen* (wir kommen auf diese beiden Begriffe noch zu sprechen), die es aus der Umwelt erhält, einem mehr oder weniger komplizierten Prozeß der „Verarbeitung“, und erst danach erfolgt eine entsprechende Reaktion. Das Zentrum dieser Verarbeitung der äußeren Einwirkungen ist das Teilsystem Mensch bzw. das menschliche Nervensystem und Gehirn als Teilsysteme des Teilsystems Mensch. Während der Gummiball dem Spiel der äußeren Kräfte ausgeliefert ist, zeigt die Bewegung des Systems Fahrer/Kraftwagen Beständigkeit und zweckgerichtete Reaktion gegenüber den äußeren Einflüssen, die das System davon abzubringen trachten, ein bestimmtes Ziel — in unserem Falle das Fahrziel — zu erreichen. Derartiges Verhalten eines Systems nennt der Kybernetiker *geregelt*. Systeme, die ein sol-

ches Verhalten aufweisen, heißen *Regelungs-* bzw. *Regelsysteme*, *ge-regelte Systeme* oder auch *selbstregulierende Systeme*.

Wie kann nun eine „Regelung“ bzw. „Selbstregulation“ verwirklicht werden? Da uns nur das Wesen der Sache, das Prinzip einer solchen Regelung interessieren soll, betrachten wir den einfachsten Fall der bei einem fahrenden Kraftwagen auftretenden Regelungen. Das „Verhalten“ des Kraftwagens soll so geregelt werden, daß er auf einer geraden Straße geradeaus fährt. Dazu genügt es keinesfalls, das Lenkrad einfach festzuhalten, nachdem der Wagen auf die gerade Bahn gebracht worden ist. Denn jede kleinste Unebenheit der Fahrbahn oder auch ein minimaler Ausschlag der Räder bewirken Abweichungen von der geraden Richtung. Diese Schwankungen muß der Fahrer durch entsprechendes Drehen des Lenkrades ausgleichen. Liefe der Wagen wie ein Eisenbahnzug auf einem geraden Schienenstrang, wären solche Richtungsabweichungen selbstverständlich nicht möglich. Der Verlauf des Weges, den ein Eisenbahnzug zurücklegt, wird im Sinne der Kybernetik nicht geregelt, sondern durch den Verlauf der Schienen „gesteuert“. Bei unserem Kraftwagen ist jedoch die Fahrtrichtung mittels des Lenkmechanismus an sich frei wählbar. Sie wird lediglich durch Forderungen festgelegt, die sich aus dem Fahrauftrag, aus der allgemeinen Beschaffenheit des Fahrtweges und aus den Verkehrsbedingungen ergeben. In unserem speziellen Falle besteht die Forderung darin, das Fahrzeug in gerader Bahn zu halten, also *eine* der beliebig möglichen Richtungen trotz Unebenheiten der Straße usw. einzuhalten. Diese Richtung ist gerade das, was hier „geregelt“ werden soll.

Wie geschieht das praktisch? Zunächst gehört zu dieser Regelung unbedingt die ständige Beobachtung der Fahrbahn, der geraden Richtung. Auf der Autobahn kann man diese Richtung unmittelbar „sehen“; sie wird von der unterbrochenen weißen Linie in der Mitte der Fahrbahn angezeigt (Abb. 2a). Mit der Beobachtung der Fahrbahn allein ist es allerdings nicht getan. Der Fahrer muß die Fähigkeit besitzen, entsprechend den beobachteten Abweichungen von der geraden Richtung zu entscheiden, welche Korrekturen er vermittlems des Lenkmechanismus vornehmen muß, d. h., ob und in welchem Ausmaße er das Lenkrad nach links oder nach rechts um einen größeren oder kleineren Winkel drehen muß. Ein geübter Kraftfahrer vermag durch relativ geringe Bewegung des Lenkrades den Wagen

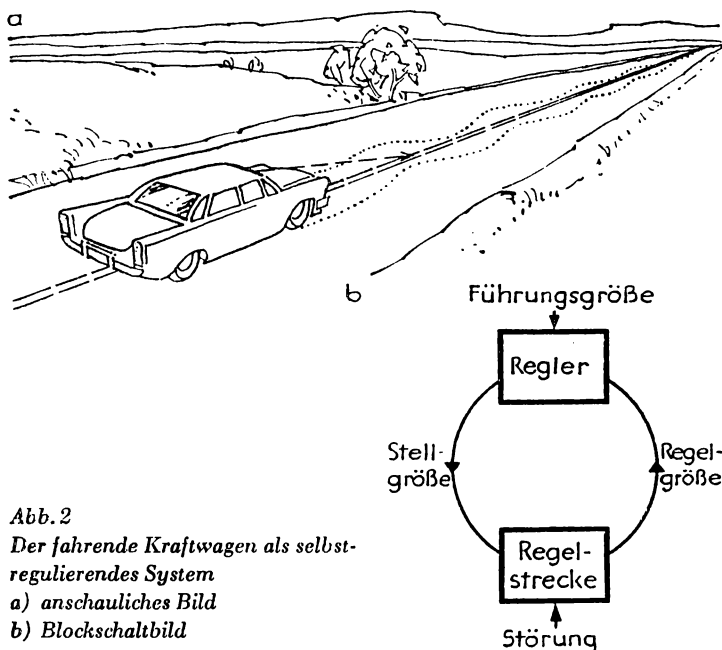


Abb. 2  
 Der fahrende Kraftwagen als selbst-  
 regulierendes System  
 a) anschauliches Bild  
 b) Blockschaltbild

so genau auf der geraden Bahn zu halten, daß ein mitfahrender Laie die Änderungen vielleicht gar nicht wahrnimmt. Ein Anfänger wird möglicherweise immer wieder „über das Ziel hinausschießen“, d. h., er wird größere Korrekturen vornehmen, als eigentlich erforderlich sind. Es entsteht so eine ständige Pendelbewegung um die gerade Linie. Strenggenommen erfolgt auch die Bewegung des von einem erfahrenen Kraftfahrer gesteuerten Wagens in einer solchen Pendelbewegung um die gerade Linie, nur sind die jeweiligen Abweichungen nach links oder rechts wesentlich kleiner und dadurch im ganzen weniger auffallend.

Das für das Verständnis der kybernetischen Betrachtungsweise Wichtigste ist in diesem Zusammenhang folgendes: Die für die Lenkung des Kraftwagens benutzte Methode besteht nicht etwa darin, daß die einzelnen Lenkungsmaßnahmen, die der Fahrer trifft, nach einem vorgefaßten Plan, nach einem „Programm“ erfolgen. Es ist also nicht etwa so, daß sich der Fahrer sagt, zuerst hältst du das Lenkrad 20 Sekunden lang fest, dann drehst du es 3 Winkelgrade nach links, nach

weiteren 5 Sekunden soundso viele Winkelgrade nach rechts usw. Vielmehr erfolgen die einzelnen Regulationsmaßnahmen entsprechend dem Ergebnis der vorangegangenen Maßnahmen. Aus diesem Grunde ist ja auch die Beobachtung der Fahrbahn unerlässlich. Je nach dem Erfolg der Auslenkung werden weitere Lenkungsmaßnahmen getroffen. Ein derartiges Lenkungssystem wird *System mit Rückkopplung* (oder Rückkopplungssystem) genannt. Auf diesem *Prinzip der Rückkopplung* beruhen alle kybernetischen Regulationssysteme.

Wenn wir im Sinne der Kybernetik diese Betrachtungsweise verallgemeinern und von den speziellen Gegebenheiten unseres Beispiels absehen — wie etwa vom Lenkrad, der vorgegebenen Richtung usw. —, so gelangen wir zu einem Schema, wie es in Abb. 2b als „Blockschaltbild“ bezeichnet ist. Es stellt das allgemeine Struktur- und Funktionsschema eines sogenannten *kybernetischen Regelkreises* dar.

Die Verallgemeinerung unseres speziellen Falles liefert folgende wesentliche Gegebenheiten: Die Vorderräder bzw. deren Stellung, auf die in der Regel der Lenkmechanismus wirkt, werden in allgemeiner Betrachtungsweise zur *Regelstrecke*. Diese Regelstrecke interessiert hinsichtlich einer ganz bestimmten Gegebenheit (in unserem Falle der Richtung), allgemein gesprochen der sogenannten *Regelgröße*. Bestimmte Angaben über die Regelgröße — oder besser gesagt über deren Abweichungen vom „gewünschten“ Betrag — werden einer Zentrale gemeldet. Im speziellen Falle handelt es sich um bestimmte Zentren des menschlichen Gehirns. Diese Zentrale wird als *Regler* bezeichnet. Der Regler seinerseits trifft bestimmte Maßnahmen, die geeignet sind, die Regelgröße auf dem vorgeschriebenen Wert zu halten bzw. auf ihn zurückzubringen. Diese Rückwirkung auf die Regelstrecke — die die *Rückkopplung* realisiert — wird *Stellgröße* genannt. Die Abweichungen von der Regelgröße kommen durch *Störungen* zustande. Ohne solche Störungen wäre eine Regelung gar nicht erforderlich. Wir haben diejenigen Störungen angedeutet, die auf die Regelstrecke und damit auch auf die Regelgröße wirken. Schließlich unterliegt das Regulationssystem noch einem weiteren Einfluß, nämlich der „Aufgabenstellung“ für den Regler. In unserem Beispiel wurde vorausgesetzt, daß der Wagen einer geraden Linie folgen soll. Die Aufgabenstellung besteht also darin, einen

gleichbleibenden Wert, die gerade Fahrtrichtung, einzuhalten. In diesem Falle wird die Aufgabenstellung für den Regler *Sollwert* genannt. Meist wird es sich um viel verwickeltere Aufgaben handeln, die dem Regler übertragen werden. Zum Beispiel kann verlangt werden, die Regelgröße einer anderen, sich verändernden Größe in bestimmtem Verhältnis nachzuführen. Die veränderliche Größe, die die Unveränderlichkeit (eines Sollwertes) als Spezialfall einschließt, wird *Führungsgröße* genannt.

Das Regelkreisschema ist außerordentlich allgemein. Auf dem gleichen Prinzip beruhen Regulierungen von Systemen in den verschiedensten Bereichen der Wirklichkeit. Von besonderem Interesse sind dabei die Regelungsmechanismen der komplizierteren Systeme, z. B. der Systeme im biologischen Bereich und im Bereich der menschlichen Gesellschaft.

Was wir jetzt beschrieben haben, wird als *Regelungsaspekt* der Kybernetik bezeichnet. Bei der Betrachtung unseres Systems berücksichtigt der Kybernetiker aber noch einen weiteren Gesichtspunkt. Wir erwähnten bereits, daß der Kraftfahrer die Straße ständig beobachten muß. Was bedeutet das eigentlich? Zunächst können wir feststellen, daß die von der Umgebung reflektierten Lichtstrahlen in unser Auge dringen und auf der Netzhaut ein einigermaßen getreues Bild der Umgebung erzeugen, ebenso wie eine Kamera mittels ihrer gläsernen Linse ein Bild der Umgebung auf den Film projiziert. Nun geschieht mit dem Netzhautbild allerdings etwas sehr Merkwürdiges. Es gelangt keineswegs so, wie es ist, zum Gehirn, um dort etwa die Wahrnehmung der Umgebung zu erzeugen. Im Gegenteil, das Bild wird völlig „vernichtet“! Es wird in einzelne Punkte aufgelöst, die in Nervenimpulse umgewandelt und über eine ungeheuer große Zahl von Nervenverbindungen zum Gehirn geleitet werden. Dieser Vorgang hat gewisse Ähnlichkeit mit der Aufnahme und Übertragung von Fernsehbildern. Auch hier werden uns nicht die fertigen Bilder ins Haus geschickt; auch hier erfolgt die Umwandlung des Bildes in gänzlich andere physikalische Erscheinungen. Im Gehirn werden die ankommenden Impulse „verarbeitet“, und danach gelangen andere Nervenimpulse über weitere Nervenverbindungen zu den Muskeln der Arme, die in unserem Falle das Lenkrad bewegen. Das Lenkrad ist mit dem Lenkmechanismus verbunden, der seinerseits schließlich die Stellung der Räder verändert.



Zunächst fällt auf, daß auf dem ganzen Weg von der Umgebung bzw. der Straße über das System Kraftfahrer/Kraftwagen bis zur Straße zurück (vereinfacht dargestellt in Abb. 3) eine fortgesetzte Umwandlung der ursprünglichen Gegebenheiten erfolgt. Handelt es sich ursprünglich um elektromagnetische Wellen, um die Lichtstrahlen, die ins Auge gelangen, so werden diese physikalischen Tatbestände zunächst in physiologische Erscheinungen verwandelt, nämlich in Nervenimpulse. Nach ziemlich verwickelten Umwandlungsprozessen, die mit diesen Impulsen im menschlichen Nervensystem (insbesondere im Gehirn) erfolgen, werden Nervenimpulse, die sich von den ursprünglichen nach Anzahl und Art der Aufeinanderfolge wesentlich unterscheiden, wiederum in physikalische Sachverhalte

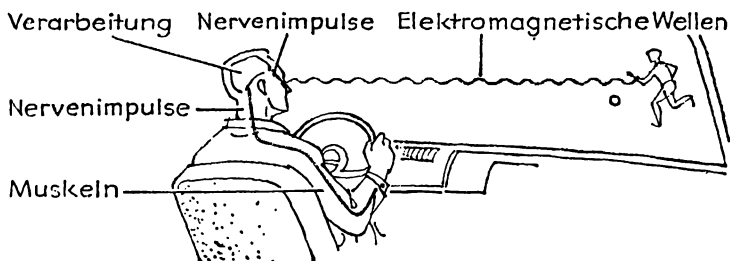


Abb. 3

*Das Teilsystem Kraftfahrer als informationsverarbeitendes System*

und zwar in völlig andere als am Anfang — umgesetzt. Es handelt sich jetzt um die mechanische Bewegung der menschlichen Muskeln von Armen und Händen, um Drehbewegungen des Lenkrades, um Drehbewegungen und Verschiebewegungen im Lenkmechanismus und schließlich um eine Drehbewegung der Räder um eine senkrechte Achse. Auf dem so von uns betrachteten Wege treten also sowohl verschiedene Energieformen auf — noch dazu mit verschieden großer Intensität — als auch unterschiedliche chemische Stoffe, die gewissermaßen als „Leiter“ auf dem Übertragungsweg wirken. Aber weder die Energie noch der Stoff können in diesem Zusammenhange das Wesentliche sein. Zwar müssen bestimmte stoffliche und energetische Voraussetzungen gegeben sein, damit eine sichere Lenkung des Kraftwagens erfolgen kann. Man denke nur daran, daß eine

hinreichend starke natürliche oder künstliche Beleuchtung gesichert sein muß. Aber die Beleuchtungsverhältnisse können zum Beispiel in ziemlich weiten Grenzen schwanken, ohne daß dies die sichere Steuerung eines Kraftwagens durch einen guten Fahrer nennenswert beeinträchtigen würde.

Zum genaueren Verständnis wollen wir noch einmal den ersten Teil des beschriebenen Übertragungsweges betrachten. Von dem Bild, das auf der Netzhaut unseres Auges entworfen wird, wenn wir unsere Umwelt betrachten, ist für bestimmte Zwecke durchaus nicht alles interessant. Der Kraftfahrer betrachtet die Landschaft jedenfalls nicht, um ihre Schönheit zu genießen (wenigstens sollte er das nicht tun), sondern er muß darauf achten, daß er — wie wir für unser spezielles Beispiel annahmen — geradeaus fährt. Das Grün der Bäume braucht er hierzu nicht zu berücksichtigen. Überhaupt spielt die weitere Umgebung der Straße keine Rolle. Und selbst das, was unmittelbar in der Nähe der Straße oder der Autobahn gelegen ist, hat nur unter ganz bestimmten Aspekten eine Bedeutung für ihn. Zum Beispiel genügt es, wenn er ständig darauf achtet, daß die unterbrochene weiße Linie immer an der gleichen Stelle des Bildes bleibt. Verschiebt sie sich von dieser Stelle, so hat der Wagen die ursprüngliche Spur auf der Fahrbahn verlassen. Er muß jetzt danach trachten, daß er die Linie wieder an dieselbe Stelle bringt. Allgemein gesagt, spielen nur bestimmte Teile bzw. Elemente des Bildes — besser: bestimmte *strukturelle Beziehungen* — eine Rolle, wobei diese Beziehungen in diesem oder jenem Falle recht unterschiedlichen Charakter haben können. Wenn wir nun an die vielen Umformungen auf dem Gesamtwege denken, den wir betrachtet haben, kommt noch ein weiterer Umstand hinzu, der beachtet werden muß. Sollen die Einflußnahme des Kraftfahrers auf den Lenkmechanismus und die Korrektur der Abweichungen von der geraden Linie sinnentsprechend erfolgen oder, kybernetisch gesprochen, soll die Regelgröße durch die Stellgröße in Abhängigkeit von Störungs- und Führungsgröße im gewünschten Sinne beeinflussbar sein, so muß unbedingt zwischen dem Anfang unseres Weges und seinem Ende eine irgendwie geartete „sinnvolle“ Beziehung bestehen. Das heißt: Trotz der vielen Umformungen sowohl in stofflicher als auch in energetischer, in quantitativer wie in qualitativer Hinsicht muß irgend etwas erhalten bleiben. Wir wollen hier nicht näher darauf eingehen, wie im Rah-

men der Kybernetik dieser Sachverhalt genauer untersucht und beschrieben wird. Statt dessen wollen wir die Begriffe nennen, die hierbei die entscheidende Rolle spielen.

Wir sahen, daß es weder stoffliche noch energetische Prozesse sind, die das Wesen der Vorgänge auf dem von uns betrachteten Wege ausmachen. Vielmehr handelt es sich um Prozesse der Erzeugung, der Übertragung und der Verarbeitung von *Informationen*. Informationen bedürfen stets eines „physikalischen Trägers“, der aus *Signalen* bzw. *Signalgruppen* besteht. Signale und Informationen stehen in enger Beziehung zu dem, was wir weiter oben *strukturelle* Gegebenheiten des Bildes der Umwelt genannt haben. Das, was sehr allgemein als „Umformung“ oder „Umsetzungen“ bezeichnet wurde, nennt man in der Kybernetik „Codierung“ bzw. „Decodierung“ von Nachrichten oder Informationen. Wir haben damit einen weiteren wichtigen Aspekt der Kybernetik erwähnt, den sogenannten *Informationsaspekt*. Kybernetische Systeme können stets auch als Systeme betrachtet werden, die Informationen aufnehmen, verarbeiten oder speichern und solche verarbeiteten oder zeitweilig gespeicherten Informationen in Wirkungen auf die Umwelt umsetzen.

Wir wollen das Verhalten unseres geradeaus fahrenden Kraftwagens bzw. das Verhalten seines Fahrers noch unter einem anderen Gesichtspunkt betrachten. Angenommen, die Fahrt erfolge diesmal im Winter, bei vereister Fahrbahn. Unser Fahrer wäre ziemlich hilflos, wenn er unter diesen Umständen allein auf das bisher beschriebene Regelungssystem zur Einhaltung der geraden Richtung angewiesen wäre. Genau in dieser Situation befindet sich aber ein Anfänger, der bei Glatteis eine Straße zu befahren hat. Auch wenn er noch so aufmerksam die Straße verfolgt, kann es ihm leicht passieren, daß er mit seinem Wagen plötzlich ins Rutschen kommt, quer steht oder daß gar noch Schlimmeres geschieht. Das hängt damit zusammen, daß hier nicht allmähliche Abweichungen von der geraden Linie die entscheidende Rolle spielen, die dann durch unser Regelungssystem wieder ausgeglichen werden können, sondern daß plötzliche Einwirkungen etwa die Hinterräder ganz scharf nach rechts oder links rutschen lassen. Der erfahrene Kraftwagenführer beschränkt sich ja auch keineswegs auf die Beobachtung der Straße, sondern sein Verhalten richtet sich auch nach den Erfahrungen, die er im Verlaufe seiner Fahrpraxis für solche Situationen gewonnen hat und die in

seinem Gedächtnis — ihm selbst vielleicht unbewußt — gespeichert sind. Wenn man einen solchen Fahrer fragen würde, wie er sich in einer derartigen Situation verhält, dann gäbe er wahrscheinlich zur Antwort: „Ich reagiere auf glatter Straße auf bestimmte Abweichungen eben gefühlsmäßig.“ Eine sorgfältige Analyse des Sachverhaltes zeigt jedoch, daß es sich bei diesen Erfahrungen und bei dem „Gefühl“, auf das sich der Fahrer verläßt, um eine unterbewußte eingespeicherte, ganz bestimmte Art und Weise des Verhaltens handelt. Wir können uns dies an einem einfachen Schema (Abb. 4) veranschaulichen. In der oberen waagerechten Zeile sind die möglichen Reaktionen des Kraftfahrers aufgeführt. G heißt Lenkrad geradehalten, L bedeutet Linksdrehen des Lenkrades, und R bedeutet Rechtsdrehung. In der ersten Senkrechten sind die möglichen Einflüsse der Umwelt (in diesem Fall der vereisten Fahrbahn) auf einen Teil unseres Systems, nämlich auf die Hinterräder des Kraftwagens, verzeichnet. l heißt „Wagen rutscht mit Hinterrädern nach links“, g heißt „Wagen fährt geradeaus“, und r heißt „Wagen rutscht mit Hinterrädern nach rechts“. Setzen wir nun noch voraus, daß der Wagen Vorderradantrieb hat, so kennzeichnen die Kreise unseres Schemas die Zuordnung der möglichen Umwelteinflüsse zu den sinnvol-

Reaktionen des Fahrers Einwirkungen der Straße	G	L	R
l	x	○	x
g	○	x	x
r	x	x	○

○ richtige ›Züge‹  
x falsche ›Züge‹

Abb. 4

*Kraftwagenfahrer und Straße als Partner eines strategischen Spiels*

len, zweckmäßigen, die Kreuze die Zuordnung zu den unzweckmäßigen, falschen Reaktionen des Fahrers. Gerade ein Schema dieser Art ist es, was sich der Erfahrung des Kraftwagenführers eingeprägt hat und wonach er sich — in der Regel unbewußt — verhält.

Die hier geschilderte Situation hat eine gewisse Ähnlichkeit mit einer bestimmten Art von Gesellschaftsspielen. Wir meinen solche Spiele, bei denen der Spielausgang gar nicht oder mindestens nicht allein von einer Ausgangssituation, etwa von der ursprünglichen Anordnung der Spielsteine, abhängt. Zu solchen Spielen gehören zum Beispiel das Damespiel, das Mühlespiel und das Schachspiel. Nicht hierher gehören reine Glücksspiele wie etwa das Zahlenlotto oder Würfelspiele. Die Spiele, die in unserem Zusammenhang von Belang sind, heißen *strategische* Spiele. Bei ihnen haben — im Gegensatz zu den reinen Glücksspielen — die *persönlichen Entscheidungen* mindestens eines der Spieler Bedeutung. Von dieser Warte aus gesehen, können wir unseren Fahrer als einen „Spieler“ in einem sogenannten „Zweipersonenspiel“ auffassen. Der dazugehörige „Gegenspieler“ sind die Straße und deren Einwirkungen, die wir auch als „Züge“ der Straße in dem „Spiel“ zwischen Fahrer und Straße ansehen könnten. Zu den Zügen der Straße wählt der Spielpartner Fahrer entsprechende Gegenzüge aus, um das Spiel für sich zu „gewinnen“, das heißt das Ende der Straße sicher zu erreichen. Jede der möglichen Folgen von Zügen, die der Fahrer auswählen kann, heißt eine *Strategie*. Es liegt auf der Hand, daß in unserem Falle nur *eine* solche Folge, nämlich die im Schema angegebene, für Fahrer und Fahrzeug günstig ist. Eine derartige Strategie wird *optimale* Strategie genannt. Mit Untersuchungen der skizzierten Art, besonders mit der Auffindung optimaler Strategien, beschäftigt sich der sogenannte *spieltheoretische Aspekt* der Kybernetik.

Schließlich wollen wir noch einen Gesichtspunkt der kybernetischen Denkweise kennenlernen, der mit allen übrigen verflochten ist. Wir knüpfen zunächst an unsere spieltheoretischen Betrachtungen an. Es wurde gezeigt, wie der Kraftfahrer unter gewissen Bedingungen des Straßenzustandes auf Grund seiner Erfahrungen eine bestimmte Verhaltensstrategie wählt. Wir haben auch angedeutet, wie eine solche Strategie aufgebaut wird. Jetzt wollen wir unsere Aufmerksamkeit ausschließlich auf ihre Struktur richten. Man kann sie als ein

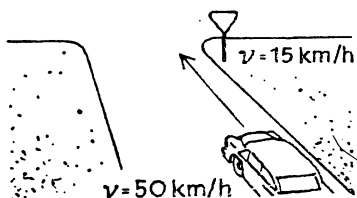
System von Regeln, das auf ein bestimmtes gesetztes Ziel hinlenkt, begreifen, wobei die Regeln — allgemein gesagt — so beschaffen sind, daß sie unter Berücksichtigung gewisser Bedingungen von einem Schritt zum anderen führen, bis das Ziel erreicht ist. Der Fahrer muß selbstverständlich neben seiner „Glatteisverhaltensstrategie“ noch eine ganze Reihe anderer solcher „Systeme von Regeln“ zur Verfügung haben. Auch das Verhalten im normalen Straßenverkehr auf einer Straße, die nicht vereist ist, verlangt die Einhaltung bestimmter Regeln und die schrittweise Lösung aufeinanderfolgender Teilaufgaben. Deshalb sei noch das Nach-rechts-Einbiegen in eine Hauptstraße erwähnt (Abb. 5). Das Beispiel zeigt, wie die Anwendung dieses oder jenes nächsten Schrittes von bestimmten objektiven Bedingungen abhängig sein kann, die sich als entsprechende „logische Bedingungen“ ausdrücken lassen. Systeme von Regeln dieser Art heißen *Algorithmen*. Wir bemerken, daß dieser Begriff ebenfalls von großer Allgemeinheit ist. Die genaue Definition des Begriffes „Algorithmus“ ist eine sehr schwierige Aufgabe der mathematischen Grundlagenforschung und kann hier nicht erörtert werden.

Damit haben wir den sogenannten *algorithmentheoretischen Aspekt* der Kybernetik kennengelernt. Hinzugefügt sei noch, daß er in mancher Hinsicht allgemeiner ist als die anderen erwähnten Aspekte, in deren Rahmen selbst Algorithmen möglich sind. So gibt es Algorithmen der Systemkonstruktion, Regelungsalgorithmen, Algorithmen der Informationsverarbeitung, Spielalgorithmen (wovon wir einen ganz einfachen Fall kennengelernt hatten), ja, es gibt sogar Algorithmen für die Entwicklung von Algorithmen.

Wenn wir unsere bisherigen Darlegungen zusammenfassen, gelangen wir zu folgender kurzen Antwort auf die Frage, womit sich die Kybernetik beschäftigt, worin ihr Gegenstand besteht: Sie untersucht Prozesse in dynamischen Systemen unter den Aspekten des Systems, der Regelung, der Information, des Spiels und des Algorithmus.

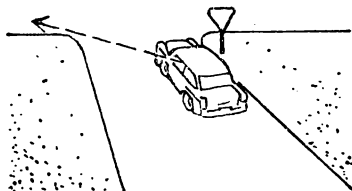
1. Schritt:

Fahrtrichtungsanzeiger nach rechts,  
Geschwindigkeit stark herabsetzen



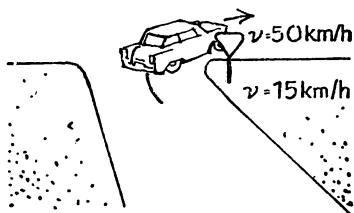
2. Schritt:

Blick nach links zur rechten Fahr-  
bahn der Hauptstraße



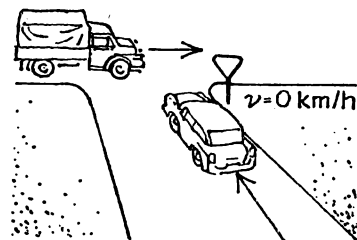
a) Fahrbahn frei:

Rechts abbiegen ausführen,  
Fahrtrichtungsanzeiger aus-  
schalten, Geschwindigkeit wie-  
der erhöhen



b) Fahrbahn nicht frei:

Fahrzeug anhalten, Schritt 2 so  
oft wiederholen, bis Bedingung  
a) erfüllt ist



Algorithmus

Verkehrssituation

Abb. 5

Algorithmus zum Rechtsabbiegen in eine Hauptstraße

## *Keine Angst vor Mathematik!*

Dynamische Systeme können unter den genannten Gesichtspunkten untersucht werden, gleichgültig, ob sie der unbelebten oder der belebten Natur angehören, ob sie dem Bereich des Menschen und der menschlichen Gesellschaft zuzurechnen sind oder dem der Technik. Die abstrahierende Betrachtungsweise der Kybernetik ermöglicht dies. Sie ist von außerordentlicher Tragweite für die Anwendung kybernetischer Methoden in den verschiedensten Bereichen der herkömmlichen Wissenschaften. Kybernetische Denkweisen dringen heute in Philosophie, Mathematik, Pädagogik, Psychologie, Technik, Biologie und Medizin, Sprachwissenschaft, Wirtschaftswissenschaft, Staats- und Rechtswissenschaft sowie die Soziologie ein, und zweifellos ist zu erwarten, daß sich dieser geistige Prozeß in Zukunft auf weitere Gebiete ausdehnen wird. (Die hier gewählte Aufzählung bedeutet selbstverständlich keine Wertung der Bedeutung der Kybernetik für die genannten Wissenschaften.) Mit dem abstrahierenden Charakter der Kybernetik hängt eng deren innige Verbindung mit mathematischen Methoden zusammen. Da bei manchem Leser jetzt vielleicht der Eindruck entstanden ist, es handle sich hauptsächlich darum, bestimmte an sich bekannte Sachverhalte mit neuartigen Wörtern zu bezeichnen, so müssen wir jetzt ergänzend hervorheben, daß es zum Wesen der Kybernetik gehört, diese neuartigen Wörter als streng mathematische Begriffe zu fassen. Dabei gelingt es, traditionelle und auch neue mathematische Methoden zu benutzen. In dem Maße, wie die Kybernetik in die verschiedensten Bereiche mit ihren Denkweisen eindringt, wird zugleich exaktes mathematisches Denken in diese Bereiche eingeführt.

Wir haben aber keineswegs die Absicht, dem Leser damit Angst vor der Kybernetik einzuflößen. Im Gegenteil! Wir werden in diesem Buch fast völlig ohne mathematische Formeln auskommen und nur ausnahmsweise einiges aus dem Bereiche der Schulkenntnisse voraussetzen. Es war aber erforderlich, den engen Zusammenhang von Kybernetik und Mathematik hervorzuheben, weil jedes tiefere Eindringen in die neue Wissenschaft Vertrautheit mit der Mathematik und deren Methoden voraussetzt. Trotzdem kann aber gerade von der Kybernetik wie kaum von einer anderen modernen Wissenschaft gesagt werden, daß ihre Denkweise auch schon ohne alle Mathematik



durchaus zu praktisch brauchbaren Nutzanwendungen führen kann. Wir wollen dies durch ein einfaches Beispiel belegen.

In einem Berliner Werk gab es beim Beschlämmen in der Fertigung von Leuchtstofflampen eine recht einförmige Arbeit. Die gläsernen Leuchtröhren tragen im Innern bekanntlich eine milchige Schicht. Sie wird auf das Glas aufgetragen, indem eine bestimmte Flüssigkeit, in der die Substanz der Schicht gelöst ist, bis zu einer vorgeschriebe-

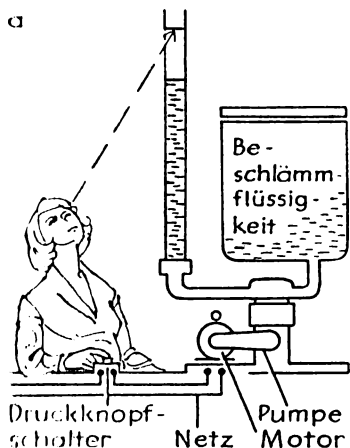


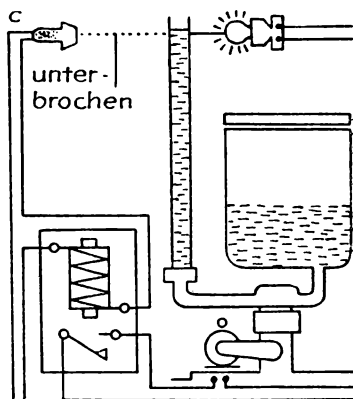
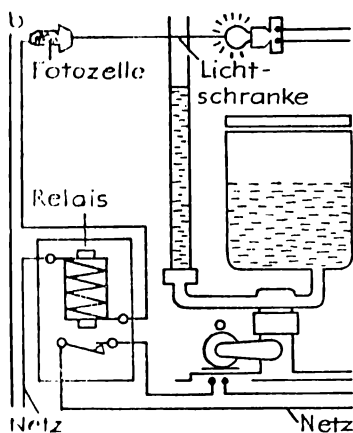
Abb. 6

Beschlämmen von Leuchtröhren

a) nichtautomatisiert

b) automatisiert (Pumpe arbeitet)

c) automatisiert (Pumpe arbeitet nicht)



nen Höhe in die senkrecht aufgestellten Röhren von unten hineingepumpt wird. Der Zufluß der Lösung wurde dabei von einer Arbeiterin gesteuert. Durch Drücken eines Knopfes konnte sie bewirken, daß der Zufluß der Lösung zu den Röhren entweder aufhört oder wieder beginnt (Abb. 6a). Jetzt ist diese einförmige Arbeit einer kybernetischen Einrichtung, nämlich einer Rückkopplung über eine Lichtschranke, übertragen worden (Abb. 6b und c). Das Prinzip dieser Anlage ist einfach, und seine technische Realisierung kostet nicht viel. Eine Lampe durchleuchtet die noch leere Glasröhre. Auf der gegenüberliegenden Seite ist eine Fotozelle angebracht. Solange die Röhre leer bleibt, trifft Licht auf die Fotozelle, und der Stromkreis in ihr bleibt geschlossen. Über ein Relais ist mit diesem Stromkreis ein anderer verbunden, der früher von der Arbeiterin durch Druck eines Knopfes geschlossen wurde. Steigt die Flüssigkeit so hoch an, daß die Lichtschranke unterbrochen wird, hört der Strom in der Fotozelle zu fließen auf, und über das Relais wird der Zufluß der Lösung unterbunden.

Dieses Beispiel kann als Modell für ähnlich gelagerte Fälle gelten. Es zeigt deutlich, daß bei der Verwirklichung einer echten „Kleinautomatisierung“ nicht der materielle Aufwand ausschlaggebend und entscheidend ist, sondern der kybernetische Grundgedanke. In unserem Falle ging es um eine elementare Anwendung kybernetischer Gedanken aus dem Bereich des Regelungsaspektes. Es ist klar, daß es sich dabei nicht unbedingt um elektronische oder fotoelektrische Systeme handeln muß. Manchmal erfüllen sogar rein mechanische Hebelsysteme, die aber kybernetisch verbunden sind, vollständig den gewünschten Zweck. Wir wissen ja bereits, daß kybernetische Grundprinzipien nicht an bestimmte stoffliche oder energetische Realisierungen geknüpft sind.

### *„Kybernetische Systeme“*

Von den fünf Aspekten der Kybernetik, die wir bisher kennengelernt haben, müssen wir den Systemaspekt als den Hauptaspekt ansehen. Denn stets handelt es sich um Systeme bestimmter Art, die der Selbstregulation unterworfen sind, in denen Informationen verarbeitet

werden, die ein strategisches Spiel spielen oder die Algorithmen verarbeiten.

Die unter unseren fünf Aspekten betrachteten dynamischen Systeme können wir als *kybernetische Systeme* bezeichnen. Freilich bleibt uns noch die Aufgabe, genauer zu sagen, was solche kybernetischen Systeme eigentlich sind, worin ihr Wesen besteht. Der einführende Überblick, der das Herangehen des Kybernetikers beschreibt, wird dem Leser das Verständnis erleichtern. Wir haben gesehen, daß der Kybernetiker nur bestimmte Seiten, bestimmte Momente natürlicher oder künstlicher Systeme untersucht. Das hierbei angewandte Verfahren nennt man in der Sprache der Wissenschaft ein Abstraktionsverfahren.

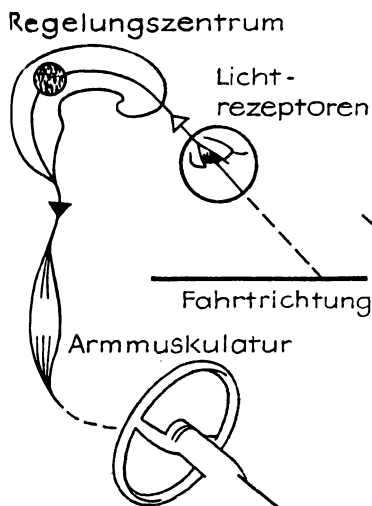
Vereinfacht kann man sich dies etwa so vorstellen. Die Wirklichkeit — insbesondere auch die vom Kybernetiker untersuchten wirklichen Systeme — sind außerordentlich vielgestaltig, und auf den ersten Blick erscheint die uns umgebende Welt in einer verwirrenden Mannigfaltigkeit von Einzeltatsachen. In diesem Geflecht von Zusammenhängen und Gesetzmäßigkeiten bemüht sich der Wissenschaftler, allgemeine Zusammenhänge, Regeln und Gesetze zu finden, die gerade durch Abstraktionen formulierbar werden. Beim Abstrahieren werden gleiche Eigenschaften verschiedener Gegenstände unter einen gemeinsamen Ausdruck gefaßt. Wenn ich zum Beispiel einen Schrank, einen Tisch und einen Stuhl als Möbel kennzeichne, so habe ich eine ganze Reihe von Merkmalen beiseite gelassen, die entweder nur für den Schrank, für den Tisch oder für einen Stuhl gelten. Durch den abstrakteren Begriff „Möbel“ hingegen wird ein allgemeines Merkmal, nämlich Einrichtungsgegenstände unserer Wohnung zu sein, in den Vordergrund gerückt.

Die Abstraktion läßt aber die für sie unwesentlichen Merkmale eines Gegenstandes nicht gänzlich aus dem Auge. Vielmehr können wir uns diese — bildlich gesprochen — als farblose Glasstückchen in einem Mosaik vorstellen, das in seiner bunten Vielgestaltigkeit als Ganzes den jeweiligen Begriff darstellt. Werden nun die farblosen Flächenstückchen mit bestimmten Merkmalen „ausgefüllt“, so verwandelt sich der allgemeinere, der abstraktere Begriff in einen weniger abstrakten, spezielleren Begriff, der unter den abstrakteren fällt. Denken wir also — um noch einmal unser Beispiel zu benutzen — an ein Möbelstück zum Sitzen, so handelt es sich um eine

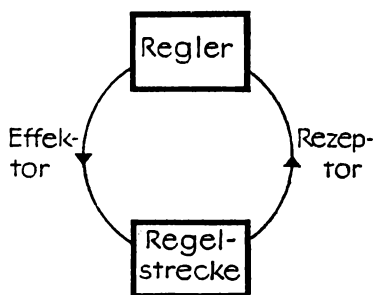
„Sitzgelegenheit“. Durch weitere Merkmale kann von dem Begriff „Sitzgelegenheit“ noch genauer auf deren Art geschlossen werden, also darauf, ob es sich um einen Stuhl, einen Sessel usw. handelt. In einem derartigen „Veränderlichmachen“ von einzelnen Merkmalen besteht gerade der große Erkenntniswert von Abstraktionen. Es gelingt auf diese Weise, dem Anschein nach sehr verschiedene Gegenstände unter dem gleichen Begriff zusammenzufassen. Ebenso können äußerlich sehr verschiedenen Regelmäßigkeiten unterworfenen Prozesse *einem* Gesetz untergeordnet werden. So führen Abstraktionen zum Wesen der Erscheinungen hin.

Wovon abstrahiert nun der Kybernetiker, um zu den von ihm betrachteten „kybernetischen Systemen“ zu gelangen? Wie wir bereits wissen, abstrahiert er zunächst vom konkreten Baumaterial, vom Stoff. Es ist also unerheblich, ob anorganisches Material oder ob organische Verbindungen verwendet worden sind, ob dieses oder jenes Metall Grundbestandteil eines Systems ist usw. Des weiteren abstrahiert der Kybernetiker vom konkreten Charakter der Austauschprozesse zwischen den Teilen des Systems. Es ist also zum Beispiel gleichgültig, ob Stoff- oder Energieaustausch vorwiegen. Ebenso ist es unerheblich, welche konkrete Energieform — elektrische Energie, chemische Energie, Wärmeenergie oder Atomenergie — der Bewegung oder den Austauschprozessen des Systems zugrunde liegt. Schließlich wird von jeder Bezugnahme auf die speziell menschlichen Bedürfnisse bzw. Emotionen abstrahiert. Abb. 7 veranschaulicht diesen kybernetischen Abstraktionsprozeß.

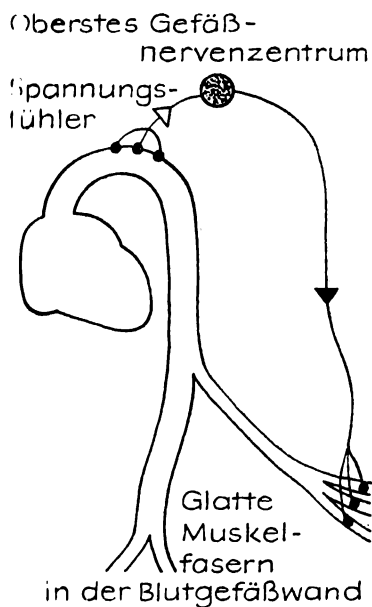
Um das zuletzt Gesagte, das in unseren bisherigen Darlegungen unmittelbar noch keine Rolle gespielt hat, verständlich zu machen, sei ein Beispiel erwähnt. Wenn wir an ein kybernetisches System im volkswirtschaftlichen Bereich denken, so ist sofort klar, daß der Kybernetiker etwa eine Planuntererfüllung als eine Störung auffassen wird. Vom üblichen Sprachgebrauch abweichend, muß der Kybernetiker aber ebenso auch eine Planübererfüllung als „Störung“ auffassen! Denn auch Planübererfüllungen üben bestimmte Wirkungen auf volkswirtschaftliche Systeme aus, die — auch wenn sie durchaus angenehm sind — von dem betreffenden System auf diese oder jene Weise zu „verarbeiten“ sind. Zum Beispiel müssen an anderer Stelle genügend Materialreserven vorhanden sein, damit eine Mehrproduktion überhaupt möglich ist. Es müssen entsprechende Voraussetzun-



*Technisch-biologisches System.  
(Fahrtrichtungsregelung)*



*Kybernetisches System*



*Biologisches System,  
(Blutdruckregelung)*

*Abb. 7  
Kybernetischer Abstraktions-prozeß*

gen dafür geschaffen werden, daß die größere Anzahl der Produkte im übrigen Wirtschaftsgefüge tatsächlich auch verwendet werden kann.

Als Ergebnis der kybernetischen Abstraktion bleiben schließlich bestimmte Gegebenheiten übrig. So interessiert die Wechselbeziehung von System und Umgebung, von Gesamt- und Teilsystem bzw. Element, das Verhältnis von Struktur und Funktion bzw. Verhalten, die Frage des Stabilitätsverhaltens und ähnliches. Die genannten Begriffe und Zusammenhänge sind zugleich die wichtigsten Merkmale kybernetischer Systeme.

Bevor wir auf einige dieser Merkmale näher eingehen, müssen wir noch eine Bemerkung hinzufügen, die zum vollen Verständnis des kybernetischen Systembegriffes notwendig ist. Wir sind bisher so vorgegangen, daß wir ein bestimmtes reales System durch schrittweise Abstraktion von allem Beiwerk, das nicht kybernetisch ist, befreit haben. So gelangten wir zu dem *kybernetischen* System, das gewissermaßen in dem betrachteten *realen* System enthalten ist. Diese Abstraktionskette ist aber nicht eindeutig. Es können sich, obwohl von ein und demselben realen System ausgegangen wird, schließlich doch verschiedene kybernetische Systeme ergeben, und zwar je nach dem beschrittenen Abstraktionsweg. Um dies an unserem bewährten Beispiel zu demonstrieren: Wir hatten den fahrenden Kraftwagen als eine Kopplung zweier Teilsysteme verstanden, nämlich des Teilsystems Fahrer und des Teilsystems Kraftwagen. Dieses so gebildete Gesamtsystem kann jedoch seinerseits zum Teilsystem werden, wenn wir einen ganz anderen Zusammenhang wählen. Betrachten wir zum Beispiel unser System als Bestandteil einer bestimmten Verkehrssituation, zu der also mehrere Fahrzeuge beitragen können und bei der eine Fülle von Umwelteinflüssen einschließlich der Regelung durch die Verkehrspolizei eine wesentliche Rolle spielen, so erscheint das einzelne fahrende Kraftfahrzeug nur als Teilsystem eines viel umfassenderen Gesamtsystems, etwa dem des Großstadtverkehrs. Diesen Sachverhalt bezeichnet man *als Relativität des Systembegriffs*. Die Relativität bezieht sich freilich nicht nur auf das Verhältnis Gesamtsystem und Teilsystem, sondern sie kann auch für andere Aspekte kybernetischer Systeme gelten. Zum Verständnis vieler kybernetischer Betrachtungen ist es erforderlich, diese „Relativität des Systembegriffs“ zu kennen.

Die kybernetischen Systeme kann man nach verschiedenen Gesichtspunkten einteilen. Zum Beispiel ist ihre *Komplexität* ein Merkmal für die Klassifizierung. Darunter versteht man ein gleichsam zusammenfassendes Maß für die Anzahl der Elemente, die Zahl der Zustände dieser Elemente und die Vielgestaltigkeit der Kopplungen zwischen den Elementen. Man kann dementsprechend etwa zwischen komplexeren und weniger komplexen Systemen unterscheiden (Abb. 8). Wir wollen bei unseren weiteren Betrachtungen aber andere Gesichtspunkte in den Vordergrund rücken. Zunächst wird von Systemen die Rede sein, die über verschiedene Arten (oder auch Stufen) von *Stabilität* gegenüber äußeren und inneren Störungen verfügen. Danach werden wir Systeme betrachten, die verschiedene Typen von *Vollkommenheit* aufweisen.

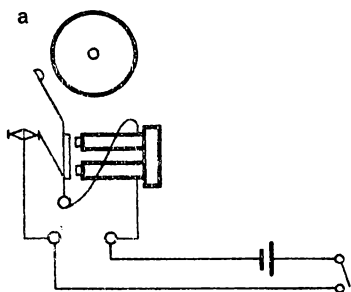
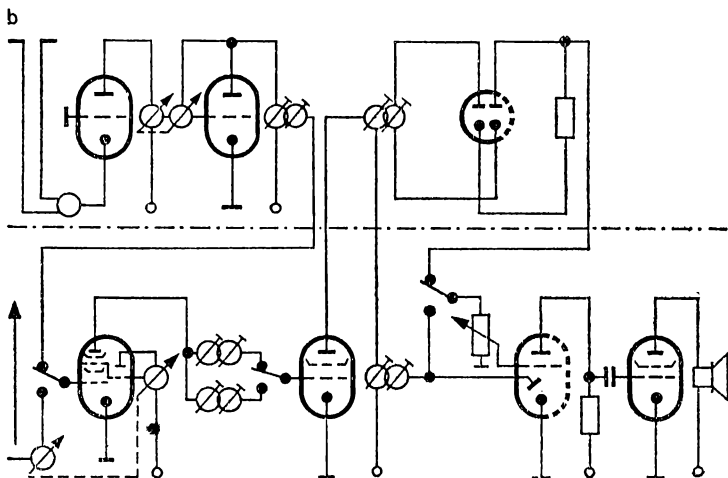


Abb. 8

*Technische Systeme unterschiedlicher Komplexität*

a) Schaltbild einer elektrischen Klingelanlage

b) Schaltbild eines modernen Rundfunkempfängers



## *Störung nicht unerwünscht*

Wenn wir im Alltag von „Stabilität“ reden hören, etwa davon, daß ein Kinderspielzeug stabiler sei als ein anderes, so ruft dies bei uns die Vorstellung hervor, daß es durch „äußere Einwirkungen“ weniger leicht zerstört werden kann. In solchem Zusammenhang handelt es sich meist um die Stabilität *statischer* Systeme. Wir wissen aber bereits, daß es die Kybernetik mit *dynamischen* Systemen zu tun hat. Dementsprechend hat sie auch eine etwas andere Auffassung von Stabilität als die eben erwähnte. Zwar hat auch beim kybernetischen Begriff der Stabilität das Verhalten gegenüber äußeren Einwirkungen große Bedeutung. Denn gäbe es diese Einwirkungen nicht, verstünde sich Stabilität beinahe von selbst. Aber während bei der Stabilität statischer Systeme erwartet wird, daß sie durch Einwirkungen keinerlei wesentliche Veränderungen erfahren, keine Deformierungen erleiden usw., hat die kybernetische Stabilität selbst einen gewissen dynamischen Charakter. Man erwartet nicht eine starre Beständigkeit, sondern zum Beispiel die Rückkehr zu einem bestimmten Zustand, der nach einer äußeren Einwirkung im Rahmen gewisser Grenzen verlassen worden war. Vom Typ dieser Art Stabilität ist das uns vertraute Beispiel, die Einhaltung einer bestimmten Richtung eines Kraftfahrzeuges.

Bevor wir aber auf den kybernetischen Begriff der Stabilität näher eingehen und in diesem Zusammenhang unser Kraftwagenbeispiel noch einmal genauer betrachten, wollen wir uns zunächst ein wenig mit den äußeren Einwirkungen, denen alle dynamischen Systeme ausgesetzt sind, beschäftigen. Sie — in der Kybernetik allgemein als *Störung* bezeichnet — lassen sich in zwei Gruppen einteilen: in *Wirkungsstörungen* und *Informationsstörungen*. Während Wirkungsstörungen Einfluß auf den Energie- oder den Stoffaustausch ausüben, handelt es sich bei den Informationsstörungen um Einflüsse auf den Signal- und Informationsfluß. Wir wissen bereits, daß zwischen beiden selbstverständlich (etwa in einem Regelkreissystem) ein Zusammenhang besteht. Zum Beispiel werden die störenden Einflüsse, die die Straße auf die Räder des Kraftwagens ausübt und die ihrer Natur nach Wirkungsstörungen sind, durch Aktionen des Fahrers (also auch Wirkungen) ausgeglichen, die jedoch von Informations-



prozessen im menschlichen Gehirn veranlaßt werden. Wir müssen aber zwischen den Störungen, die auf die Räder des Kraftwagens wirken, und den Störungen, die im „Beobachtungskanal“ zwischen Straße und Sehorgan des Fahrers (etwa bei Sichtbehinderung durch Nebel) bestehen, sorgfältig unterscheiden. Bei den zuletzt genannten handelt es sich im Sinne unserer Klassifizierung um Informationsstörungen.

Wir sehen also: Störungen können nicht nur, wie wir früher vereinfachend angenommen haben, in der Regelstrecke auftreten, sondern an sehr verschiedenen Stellen eines kybernetischen Systems. Abb. 9 vermittelt eine Vorstellung davon. Die Regelstrecke (1), die Verbindung der Regelstrecke mit dem Rezeptor (2), der Rezeptor selbst (3), der Kanal vom Rezeptor zum Regler (4), der Regler (5), die Verbindung von Regler und Effektor (6), der Effektor (7) und schließlich die Kopplung des Effektors mit der Regelstrecke (8) sind störanfällig. Je nach dem konkreten Fall, um den es sich handelt, können hierbei Wirkungs- oder Informationsstörungen die entscheidende Rolle spielen, oder es können beide Hauptarten von Störungen wesentlich sein.

Charakteristisch ist am Verhalten kybernetischer Systeme, daß sie den Wirkungen äußerer Störungen nicht einfach ausgeliefert sind, sondern daß sie die Störungen in dieser oder jener Weise „verarbeiten“. Man könnte sagen, „sie machen aus der Not eine Tugend“. Alle Systeme in der Welt sind unablässig Störungen der verschiedensten Art ausgesetzt. Zu Hause stört uns die Türglocke oder das Telefon. Wenn wir uns im Urlaub erholen wollen, kann es geschehen, daß ein Lautsprecher uns aufschreckt. Die Kategorie der Störung hat bei Goethe ihren dichterischen Ausdruck dort gefunden, wo Faust, unwillig über das Anklopfen seines Famulus Wagner, von der „Fülle der Gesichte“ spricht, die der „trockene Schleicher“ *stört!* Bedeutungsvoller sind Störungen in der Produktion, besonders in der Technik, deren Auswirkungen in jedem Betrieb beobachtet werden können: Ein Werkzeug hat sich abgenutzt, der Materialzufluß zu einer Maschine ist ins Stocken geraten, ein Stromaggregat ist ausgefallen usw. Während es sich bei den zuerst angeführten Beispielen um ein kybernetisches System handelt (das System Mensch), das die Störungen verarbeitet, betreffen die andern Beispiele gewöhnlich nicht-kybernetische Systeme, die den Störungen ausgeliefert sind und

ihnen ratlos gegenüberstehen, die nicht von sich aus in der Lage sind, die Störungen auszugleichen, zu paralysieren.

Es gibt zwei mögliche Wege, um der Störungen Herr zu werden. Den einen Weg beschreitet im wesentlichen noch die gesamte heutige Technik. Er besteht darin, Störungen so weit wie möglich auszuschalten, sie gar nicht zur Wirkung gelangen zu lassen. Dies kann dadurch erreicht werden, daß zum Beispiel zur Bearbeitung von Werkstoffen entsprechend widerstandsfähige Werkzeuge, Schneidstähle von hoher Standfestigkeit verwendet, daß zur Erzielung eines kontinuierlichen Materialflusses genügend Reserven bereitgestellt werden. Störungen so zu begegnen ist sehr wichtig und keineswegs mit dem Aufkommen der Kybernetik gänzlich überholt. Zum Beispiel begnügen wir uns nicht etwa mit der Einsicht, daß das menschliche System durch-

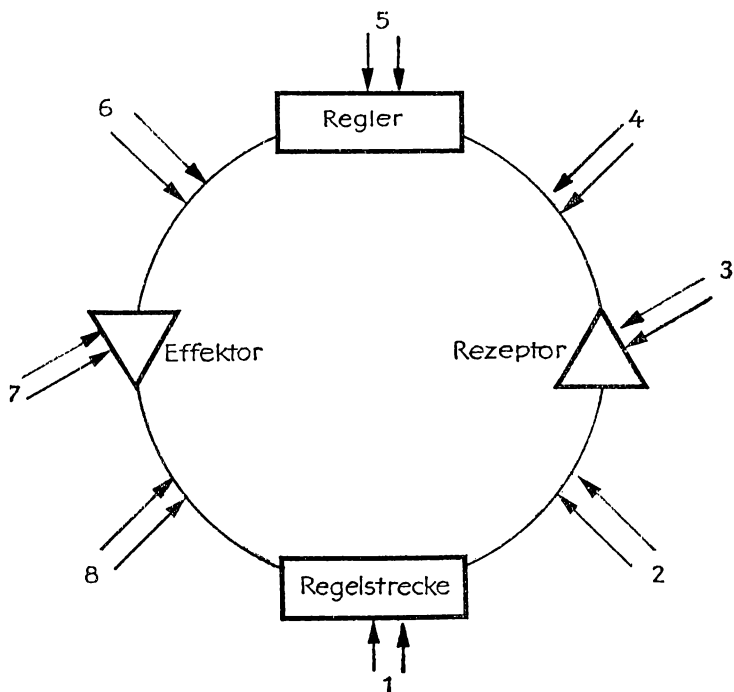


Abb. 9  
Mögliche Wirkungs- und Informationsstörungen im Regelkreis

aus in der Lage ist, Störungen zu verarbeiten, wenn wir im Urlaub vom Strandfunk allzusehr belästigt werden, sondern versuchen, darauf hinzuwirken, daß er nur für wichtige Mitteilungen benutzt wird. Aber die kybernetischen Systeme, die — wie wir sagen — die Störungen „verarbeiten“, sind den mechanischen nichtkybernetischen Systemen weit überlegen. Während die zweiten ein „ideales Milieu“ voraussetzen bzw. deren Konstrukteure eine derartige Umwelt soweit wie möglich herbeizuführen bestrebt sind — nämlich weitestgehende Befreiung vom Einfluß durch Störungen —, gehen die kybernetischen Systeme sozusagen vom realen Sachverhalt in der wirklichen Welt aus, eben von der Tatsache, daß in der wirklichen Welt unausgesetzt ein Wirkungs Austausch zwischen den verschiedenen Systemen stattfindet und daß jedes System den vielfältigsten äußeren Störungen ausgesetzt ist, die ihm zum Teil schädlich, zum Teil nützlich sind. Kybernetische Systeme machen vor allem insofern aus der Not eine Tugend, als sie die äußeren Einflüsse — gleichgültig, ob sie nützlich oder nicht nützlich sind — „organisieren“, „ihren Zwecken unterwerfen“, „für sich ausnutzen“. In philosophischer Ausdrucksweise kann man hierfür sagen, daß die inneren Widersprüche kybernetischer dynamischer Systeme gegenüber den äußeren die entscheidenden sind. Die kybernetische Theorie der dynamischen Systeme gestattet es, diese These der marxistischen Philosophie zu präzisieren und wesentlich zu bereichern. Die mit diesen Einsichten verbundene Denkweise hat für die Konstruktion künstlicher kybernetischer Systeme und deren Beherrschung sowohl im technischen als auch im ökonomischen Bereich eine kaum zu überschätzende Bedeutung.

Da die bisherige, gewissermaßen „klassische“ Denkweise darauf orientiert, Störungen soweit wie möglich von vornherein auszuschalten, wird diese Betrachtungsweise durch die kybernetische Denkungsart wesentlich ergänzt. Das *kybernetische* technische und ökonomische System verarbeitet die Störung, analysiert unangenehme Störungen und „organisiert“ die zufälligen Einwirkungen. Fassen wir zusammen: Das *klassische* dynamische System funktioniert nur, wenn *alle* Störungen vorher genau bekannt sind und entsprechende Maßnahmen vorgesehen werden. Für Zufälle ist hier kein Platz! Das *kybernetische* System muß *nicht* alles vorher kennen. Es wird mit bestimmten Klassen zufälliger Einwirkungen fertig, ohne daß jede dieser

Störungen vorher einkalkuliert war. Um dies am Beispiel biologischer Systeme zu erläutern: Dem ersten Fall entsprächen Organismen, denen für jede Situation ihres Lebens eine Verhaltensweise vererbt ist. Im zweiten Fall sind nicht alle Verhaltensweisen vererbt, sondern manche müssen erst durch Wechselwirkung mit der Umgebung erworben werden.

Nach den bisherigen Darlegungen werden wir den kybernetischen Begriff der Stabilität leichter verstehen können. Ein kybernetisches System heißt stabil bzw. hat stabiles Verhalten, wenn es in der Lage ist, äußere Störungen (gleichgültig, ob es sich um Wirkungsstörungen oder um Informationsstörungen handelt) durch innere, systemeigene Maßnahmen auszugleichen. Im Gegensatz hierzu ist unstabiles Verhalten die Unfähigkeit eines Systems, auf äußere Störungen bzw. auf einen bestimmten Typ äußerer Störungen so zu reagieren, daß das „innere Milieu“ des Systems aufrechterhalten wird; derartiges Verhalten führt letztlich zur Zerstörung des betreffenden Systems. Das Stabilitätsverhalten kybernetischer Systeme gehört also zu ihren wesentlichen Merkmalen, es ist grundlegend für ihre Existenz.

Nach dem Gesagten bedeutet diese Art von Stabilität nun keineswegs völlige Unveränderlichkeit des jeweiligen Zustandes eines Systems, sondern lediglich Veränderungen in einem begrenzten Rahmen unter dem Einfluß äußerer Einwirkungen und häufig auch schließliche Rückkehr zum ursprünglichen Zustand. Philosophisch gesehen, geht es hier um eine Seite des Zusammenhangs von quantitativen und qualitativen Veränderungen. Bleibt ein System im gekennzeichneten Sinne in einem stabilen Zustand, so führen die unter dem Einfluß äußerer (oder auch innerer) Störungen erfolgenden quantitativen Veränderungen nicht zu qualitativen Veränderungen.

Die Art und Weise einer Rückkehr zum ursprünglichen Zustand, die nach der Einwirkung von Störungen erfolgt, kann sehr verschieden sein. Wir wollen den Sachverhalt wiederum an unserem Kraftwagenbeispiel demonstrieren. Dabei werden wir noch einige weitere wichtige kybernetische Begriffe kennenlernen. Erinnern wir uns an die Art und Weise der Reaktionen unseres „Fahrer/Kraftwagen-Systems“ auf Störungen. Uns war ein merkwürdiges Schwanken um die gerade Richtung und das nur *allmähliche* Zurückkehren in diese Richtung aufgefallen.

Bevor wir hierauf näher eingehen, wollen wir das Verhalten eines Systems unter dem Einfluß äußerer Einwirkungen ganz allgemein betrachten. Wir wählen irgendein kybernetisches System, dessen innerer Aufbau nicht weiter interessieren soll (Abb.10). Das System S habe einen „Eingang“ und einen „Ausgang“ (in der kybernetischen Literatur werden hierfür häufig die englischen Ausdrücke „input“ und „output“ gebraucht). Auch die Natur dieser beiden Gegebenheiten interessiert nicht weiter. Der Eingang kann irgendeine physikalische Größe oder auch ein bestimmter Informationsstrom sein. Es kann sich aber ebensogut auch um die Einwirkungen auf ein gesellschaftliches System handeln, etwa im Bereich der Volkswirtschaft. Der Eingang kann dann zum Beispiel das Rohmaterial sein, das einem bestimmten Betrieb (dem System S) zugeführt wird. Der Ausgang könnte in diesem Falle das Fertigprodukt sein. Gleichgültig, um welche konkrete Realisierung eines Systems es sich handelt: In jedem Falle besteht eine bestimmte Zuordnung zwischen dem Eingang und dem Ausgang oder — genauer gesagt — zwischen dem jeweiligen Betrag der Eingangsgröße und dem Betrag der Aus-

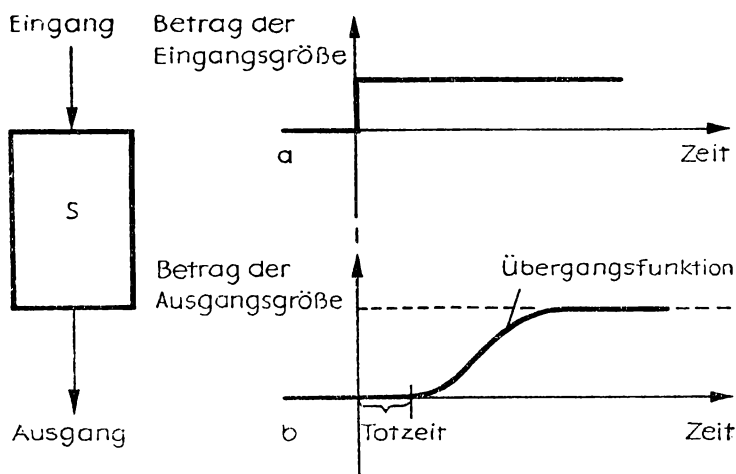


Abb. 10

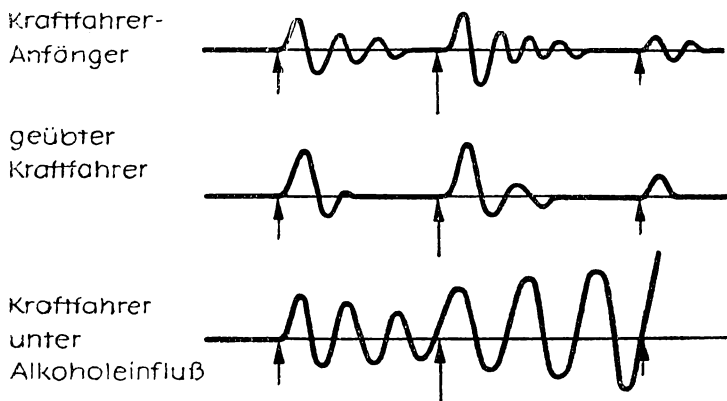
Reaktion eines Systems auf eine sprunghafte Änderung der Eingangsgröße

gangsgröße. Selbstverständlich kann ein System auch mehrere Ein- und Ausgänge haben. Das ist besonders bei komplexen Systemen der Fall. Darauf wollen wir aber nicht eingehen.

Der funktionelle Zusammenhang zwischen Eingangsgröße und Ausgangsgröße stellt ein wichtiges Charakteristikum dynamischer Systeme dar. Dies wird deutlich, wenn der Betrag der Eingangsgröße in einer sprunghaften Veränderung eines ursprünglichen Zustandes besteht (Abb. 10a). Der Betrag der Ausgangsgröße ändert sich dann in einer für jedes System charakteristischen Art und Weise, die zum Beispiel die Gestalt der Kurve in Abb. 10b haben kann. Hierbei ist folgendes interessant: Das System reagiert zunächst praktisch überhaupt nicht, sondern ist offenbar anfangs nur mit der Aufnahme der Eingangsgröße und deren Verarbeitung „beschäftigt“. Die Zeit, in der nahezu keinerlei Veränderungen der Ausgangsgröße erfolgen, nennt man die *Totzeit* des Systems. In Abb. 10b ist es dasjenige Stück der Kurve, das sich der Zeitachse noch völlig anschmiegt. Schließlich ändert sich die Ausgangsgröße aber doch nach einer ganz bestimmten Gesetzmäßigkeit. Diese für ein System spezifische Zuordnung von Eingang und Ausgang heißt *Übergangsfunktion*. Nach einer bestimmten Zeit — der sogenannten *Übergangszeit* — stellt sich ein neuer Betrag der Ausgangsgröße ein. Er ist in Abb. 10b durch die unterbrochene Linie parallel zur Zeitachse angegeben.

Die sehr allgemeinen Betrachtungen sollen nun — wie angekündigt — an unserem Kraftwagenbeispiel erläutert werden. Auch hier kann eine „Störung“ (z. B. Wegrutschen der Räder) bzw. ein „Eingang“ nicht blitzartig und ohne Übergang verarbeitet werden, so daß der Kraftwagen augenblicklich wieder in seine „vorschriftsmäßige“ Lage kommt. Auch hier ist also mit einem „Übergangsverhalten“ zu rechnen. Beschränken wir uns der Einfachheit halber auf die Störungen, die auf die Regelstrecke wirken. Wir können diese Störungen als plötzliche, momentane Einwirkungen betrachten. Es handelt sich also nicht — wie in dem in Abb. 10 erläuterten Fall — um eine sprunghafte *bleibende* Veränderung der Eingangsgröße, sondern um rasch vorübergehende, um stoßartige Veränderungen oder — wie man dafür mit einem Fachausdruck sagen kann — um *Impulse*. Abb. 11 veranschaulicht die Veränderungen der Regelgröße „gerade Richtung“ unter dem Einfluß solcher „Störimpulse“. Der Kraftfahranfänger reagiert einigermaßen „stürmisch“ auf äußere

Störungen. Er schießt öfter über das Ziel hinaus, verursacht besonders bei größeren Störungen auch ziemliche Abweichungen nach beiden Richtungen und bringt erst nach allmählich abklingenden Schwingungen den Wagen wieder in die gerade Richtung. Durch unterschiedliche Länge der Pfeile, die die Störungen andeuten sollen, ist auch zum Ausdruck gebracht, wie der Fahrer auf verschieden große Störungen antwortet. Der geübte Kraftfahrer reagiert weniger stürmisch. Er vermag bereits nach wenigen Korrekturschritten den Wagen wieder in die gerade Bahn zu lenken. Wie die Abbildung



**Abb. 11**

*Veränderungen der Regelgröße „gerade Richtung“ unter dem Einfluß von Störimpulsen*

zeigt, kann dies bei geringeren Störungen sogar sofort geschehen. Welchen nachteiligen Einfluß Alkohol auf die für die Steuerung eines Kraftwagens verantwortlichen Gehirnzentren ausüben kann, verdeutlicht die dritte Kurve. Der Kraftfahrer hat so träge reagiert, daß er den Wagen gar nicht wieder in die gerade Bahn bekommt, da er die Korrekturbewegungen am Lenkrad zu heftig vornimmt und die Abweichungen des Wagens von der Normalrichtung immer größer werden. Im Gegensatz zu den anderen beiden Fällen, in denen die Schwingung „gedämpft“ verläuft, erfolgt hier eine „Aufschaukelung“ des Systems, die schließlich zur Katastrophe führt: Es gelingt nicht mehr, den Wagen in die gerade Bahn zurückzubringen, er lan-

det schließlich im Straßengraben, an einem Baum oder kollidiert mit einem anderen Fahrzeug. Handelt es sich bei den ersten beiden Kurven der Abbildung 11 um stabile Regelungssysteme, so ist das Regelungssystem des Kraftfahrers unter Alkoholeinfluß instabil. Instabiles Verhalten aber führt, wie wir bereits sagten, zur Zerstörung des Systems.

Es wurde bereits angedeutet, daß nach der Art und Weise der Regelung ein Unterschied zwischen dem Kraftfahranfänger und dem geübten Kraftfahrer besteht. Die graphische Darstellung legt den Gedanken nahe, daß man die Güte von Regelungsmechanismen geradezu daran messen kann, wie schnell sie den ursprünglichen Zustand wiederherzustellen vermögen. Der Begriff der *Regelgüte* spielt bei der Realisierung automatischer Regelungssysteme eine bedeutende Rolle.

Abbildung 11 läßt außerdem erkennen, daß ein System nicht unter allen Umständen seine Stabilität gegenüber äußeren Störungen bewahren kann. Das vermag es nicht einmal innerhalb jenes bestimmten Typs von Störungen, für den das System eigentlich bestimmt ist. Also: Auch der geübte Kraftfahrer kann in „ausweglose“ Situationen geraten. So kann z. B. ein Stein auf der Fahrbahn, den er nicht rechtzeitig sieht, oder ein größeres Schlagloch u. dgl. einen derart starken Impuls auf das System ausüben, daß dem Fahrer das Lenkrad aus den Händen gerissen wird, der Wagen ins Schleudern gerät und von der Bahn abkommt. Die Intensität der Störungen eines bestimmten Typs kann im allgemeinen stets so groß werden, daß sie ein Regelungssystem nicht mehr zu verarbeiten vermag. Wir gelangen damit zum Begriff des *Stabilitätsbereiches* und zugleich zu dem der *Stabilitätsgrenze*. Als Stabilitätsbereich können wir nach den bisherigen Darlegungen jenen Bereich von Zuständen eines Systems ansehen, innerhalb dessen das System im Prinzip von jedem Zustand wieder in den Ausgangszustand zurückkehren kann. Befindet sich ein System an der Stabilitätsgrenze, so ist sein Zustand mit dem des labilen Gleichgewichts in der klassischen Mechanik vergleichbar: Der geringste weitere Anstoß, die allergeringste Störung genügt jetzt, um das System instabil werden zu lassen (Abb. 12).

Wir haben damit näher kennengelernt, daß der Begriff Stabilität relativ zu verstehen ist. Diese Relativität bezieht sich nicht nur auf eine begrenzte Stärke der Störung bzw. auf eine begrenzte Varia-



tionsbreite der Störungsgröße eines *bestimmten* Störungstyps, sondern in noch höherem Maße gilt sie im Hinblick auf Störungen anderen Typs. Ein einfaches Regelungssystem ist gewöhnlich nur in bezug auf Störungen *eines* Typs stabil. Wenn also zum Beispiel unser Kraftwagen von einem anderen gerammt wird, ist der Fahrer in der Regel hilflos und vermag durch keinerlei Reaktionen etwas dagegen zu machen.

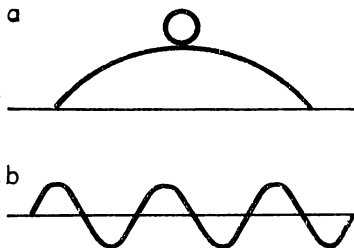
Allerdings handelt es sich nicht in jedem Falle um derart einfache Regelungssysteme. Wir müssen daher an dieser Stelle einschränkend

Abb. 12

Stabilitätsgrenze

a) *mechanisches System in labilem Gleichgewicht*

b) *mögliches Verhalten eines kybernetischen Systems an der Stabilitätsgrenze*



hinzusetzen, daß durch den Begriff und die Gesetzmäßigkeiten der von uns bisher beschriebenen Art und Weise der Selbstregulation nicht alle Besonderheiten des Verhaltens kybernetischer Systeme erfaßbar sind. Gerade die komplizierteren kybernetischen Systeme, wie sie im Bereich der lebenden Organismen und auch im Bereich der Gesellschaft auftreten, besitzen höhere Formen der Stabilität. Dabei handelt es sich weniger darum, daß die Variationsbreite der Störungen eines bestimmten Typs größer ist, als vielmehr darum, daß diese Systeme ihre Stabilität zum Beispiel mehr als einem Störungstyp gegenüber aufrechtzuerhalten vermögen. Sie „springen“ von einer Verhaltensweise, die den Zweck möglicherweise nicht erfüllt, zu einer zweiten, dritten, vierten usw., bis wiederum Stabilität erreicht wird. Die einzelnen Verhaltensweisen sind dabei durch sogenannte „Stufenschaltungen“ miteinander verbunden, und je nach „Bedarf“ wird diese oder jene Stufe „eingeschaltet“. In manchen Fällen wird auch durch einfaches Probieren ermittelt, welche Stufe zum Ziel, das heißt zur Wahrung der Stabilität des Systems führt. Systeme dieser Art heißen *ultrastabile Systeme*, die Art der hier vorliegenden Stabilität *Ultrastabilität*.

Wenn wir auch feststellen mußten, daß unser elementares Beispiel für die Richtungsregelung eines Kraftwagens diese Besonderheiten nicht aufweist, so können wir eine elementare Form der Stufenschaltung und damit der Ultrastabilität auch bei unserem System Fahrer/Kraftwagen beobachten. Eine Einrichtung, die diese Ultrastabilität für einen bestimmten Aspekt des Verhaltens unseres Systems herbeiführt, ist das Getriebe mit der Gangschaltung. Die Regelgröße, die hierbei eine entscheidende Rolle spielt, ist nicht die Fahrtrichtung, sondern die Geschwindigkeit des Fahrzeuges. Nehmen wir zum Beispiel an, ein „Trabant“ fährt mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h auf ebener Straße. Er wird dabei selbstverständlich im vierten Gang fahren, denn nur in diesem Gang gibt es bei einer solchen Geschwindigkeit eine zugehörige „optimale“ Drehzahl der Kurbelwelle des Motors und damit eine optimale (d. h. hier: wirtschaftliche) Belastung des Motors. Im Diagramm der Abbildung 13 ist der optimale Drehzahlbereich gekennzeichnet. Er liegt zwischen dem maximalen Drehmoment und der maximalen Leistung, die der Motor entwickelt. Das Diagramm zeigt ferner — zum Ausdruck gebracht durch die

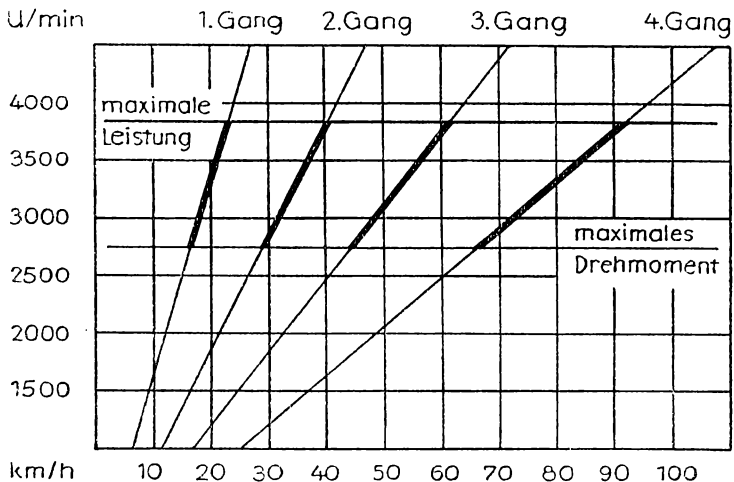


Abb. 13

Gang-Diagramm für einen Personenkraftwagen „Trabant“  
(nach E. Preusch, „Ich fahre einen Trabant“, 1962, S. 8)

stark ausgezogenen Linienteile für die einzelnen Gänge —, mit welchen Geschwindigkeiten in dem jeweiligen Gang gefahren werden soll. Nehmen wir nun an, die Straße steige stark an. Die Folge davon ist, daß die Geschwindigkeit entsprechend sinkt. Ist der Anstieg zu groß, wird das auch durch mehr Gasgeben nicht zu verhindern sein. Wenn die Geschwindigkeit unter 65 km/h absinkt, vermag der Motor kein ausreichendes Drehmoment mehr zu entwickeln. Das „Teilsystem Motor“ unseres Kraftwagens droht im Sinne der Kybernetik instabil zu werden. Jeder Kraftfahrer weiß, daß er nun rechtzeitig in den dritten Gang schalten muß, um in diesem Gang wiederum mit optimaler Wirkung und ausreichendem Drehmoment fahren zu können. Sinkt die Geschwindigkeit noch weiter ab, bzw. ist die Steigung entsprechend groß, dann muß auf den zweiten oder gar den ersten Gang heruntergeschaltet werden. Kybernetisch gesprochen handelt es sich jedesmal um die Einschaltung einer neuen Verhaltensweise und um den Sprung von einer Verhaltensweise zu einer anderen, einer der Situation besser angepaßten, die es ermöglicht, wiederum Stabilität des Systems zu sichern.

Die Forschung hat gezeigt, daß die lebenden Organismen mit Mechanismen ähnlicher Art in der vielfältigsten Weise ausgestattet sind. Es ist sicher verständlich, daß die Anpassungsmöglichkeiten eines dynamischen Systems durch den Besitz derartiger Stufenschaltungen entscheidend vergrößert werden, von denen bereits einige wenige mit jeweils verhältnismäßig geringer Stufenzahl eine große Zahl von Verhaltensweisen erzeugen können. Unter diesem Aspekt verschwindet das Wunder der Anpassung lebendiger Systeme an die Umwelt und wird einer wissenschaftlichen Erklärung zugänglich.

Auf einer noch höheren Stufe der Stabilität stehen die sogenannten *multistabilen Systeme*. Man versteht darunter aus ultrastabilen Teilsystemen bestehende Systeme. Diese Teilsysteme können zeitweilig voneinander unabhängig sein. Ein multistabiles System kann sich bestimmten Einwirkungen der Umwelt anpassen, ohne daß hierfür das gesamte System mit allen seinen Elementen und Teilsystemen herangezogen werden muß. Für neue Aufgaben wird jeweils nur immer ein bestimmtes Teilsystem eingesetzt. Gäbe es diese Form der Stabilität nicht, so blieben trotz der Einsicht in das Wesen der Ultrastabilität viele Verhaltensweisen hochkomplizierter organischer Systeme völlig unerklärlich. So könnte etwa auf der Grundlage ein-

facher Ultrastabilität ein zufälliges Durchprobieren der verschiedenen zur Verfügung stehenden Verhaltensweisen so lange Zeit in Anspruch nehmen („lange Zeit“, bezogen auf die große Zahl durchzuprobierender Verhaltensweisen bzw. auf die Notwendigkeit, die Störung rasch zu beseitigen), daß das System zwar an sich und rein theoretisch gesehen eine Verhaltensweise hat, die der Störung gerecht wird, diese Verhaltensweise aber erst dann gefunden würde, wenn die durch den Einfluß der Störungen verursachten Abweichungen bestimmter wichtiger Regelgrößen des Systems bereits so groß geworden sind, daß das System der Zerstörung anheimfällt.

Auch die Multistabilität läßt sich an einem elementaren Beispiel demonstrieren. Denken wir etwa an die Verhaltensweise eines Fahrschülers! Er lernt nicht alle Regeln des Kraftfahrens auf einmal. Zuerst, bevor er überhaupt am Steuer Platz nehmen darf, wird er die Verkehrsregeln lernen müssen. Dann wird der Fahrlehrer ihn zunächst möglichst verkehrsarme Straßen mit geringer Geschwindigkeit befahren lassen. Erst allmählich kommen die verschiedensten schwierigeren Bedingungen hinzu, bevor er in der Endphase schließlich im regulären Verkehr fahren kann. Dieses Nacheinander verschiedener Lernphasen erleichtert das Erlernen (in unserem Falle des Autofahrens) ganz entscheidend. Ermöglicht wird dies vor allem dadurch, daß die verschiedenen Operationen, die beim Führen eines Kraftwagens vorgenommen werden müssen (Schalten und Gasgeben, Beobachten des Verkehrs, Bedienen des Fahrtrichtungsanzeigers), von relativ isolierten Teilsystemen unseres Organismus verrichtet werden. Dies geht so weit, daß der geübte Kraftfahrer lediglich noch den Straßenverkehr beobachtet und alle Tätigkeiten, die die Umstände des Verkehrs erfordern, relativ selbständig und vom Beobachtungssystem relativ isoliert ablaufen. Es finden nur noch unbewußte Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Teilsystemen statt.

Wir haben bisher von Störungen gesprochen, die von Systemen verarbeitet werden, um einen bestimmten Zustand zu *bewahren*. Wie wir bereits andeuteten, werden aber die Einflüsse der Umgebung auf kybernetische Systeme nicht nur hierfür benutzt. Sie können zum Beispiel auch dazu ausgenutzt werden, das System nach einem bestimmten äußeren Ziel hin zu bewegen und es von einem bestimmten Zustand in einen anderen Zustand zu überführen.

## Das „vollkommene“ System

Wir hatten in Gestalt des ultrastabilen Systems einen Systemtyp kennengelernt, der gegenüber verschiedenen Arten von Störungen stabil ist. Dabei deuteten wir an, daß ein ultrastabiles System genügend großer Komplexität entsprechend den grundsätzlich verschiedenen Störungstypen sogar eine ziemlich große Zahl wesentlich verschiedener Typen von Verhaltensweisen haben kann. Hieraus ergibt sich die Frage, ob es auch Systeme in der Natur gibt und ob Systeme möglich sind, die gegenüber *jedem* Störungstyp stabil sind. Ein solches System könnte — mindestens hinsichtlich des Merkmales der Stabilität — als vollkommen angesehen werden.

Derartige Systeme existieren in der Wirklichkeit nicht. Sie konnten von keiner Wissenschaft beobachtet werden, und aus philosophischen Erwägungen ergibt sich, daß sie auch gar nicht möglich sind. Die gesamten bisherigen menschlichen Erfahrungen lehren, daß sich alle Erscheinungen der Wirklichkeit in ewiger Bewegung und Veränderung befinden. Ein Moment dieses unaufhörlichen Bewegungsprozesses im Universum besteht in dem ständigen Entstehen und Vergehen von dynamischen Systemen. Existenz und Beständigkeit von Systemen sind also nur relativ. Dies gilt auch für das wichtigste Merkmal kybernetischer Systeme, nämlich für deren Stabilität. Unabhängig davon, wie viele Verhaltensweisen ein kybernetisches System zur Verfügung hat, ist Stabilität immer nur in bezug auf eine begrenzte Anzahl von Typen äußerer Einwirkungen innerhalb bestimmter Varianzbreiten der einwirkenden Größen erzielbar. Außerdem ist sie zeitlich begrenzt. Dennoch können wir mit einigem Recht die verschiedenen Arten von Stabilität, wie wir sie im vorigen Abschnitt kennengelernt haben, als verschiedene Formen der *Vollkommenheit* kybernetischer Systeme betrachten.

Stabilität ist nur ein wichtiges Merkmal kybernetischer Systeme. Der Leser wird daher erwarten, daß es auch in bezug auf andere Merkmale unterschiedlich hoch entwickelte Formen der Vollkommenheit gibt. Wir wollen uns damit im folgenden näher beschäftigen.

Als erstes lenken wir unsere Aufmerksamkeit auf ein Merkmal im Verhalten kybernetischer Systeme, das wir als *Zielstrebigkeit* bezeichnen können. Kybernetische Systeme weisen Zielstrebigkeit in unterschiedlichen Entwicklungsformen auf.

Bereits auf der elementarsten Stufe — nämlich bei einem einfachen *Festwertregler* — tritt zielgerichtetes Verhalten in Erscheinung. Wir hatten eine derartige Regelung bereits bei der Richtungsregelung eines Kraftwagens kennengelernt. In Abb. 14a ist noch einmal eine solche Festwertregelung dargestellt. Als Beispiel wurde ein Thermostat zur Regulierung der Wassertemperatur eines Aquariums und seine grundsätzliche technische Ausführung schematisch dargestellt. Die Aufgabe, die dem Regler gestellt ist, besteht darin, die Temperatur bei  $25^{\circ}\text{C}$  zu halten. Dies ist der festbleibende (der konstante) Wert der Führungsgröße in unserem allgemeinen Struktur- und Funktionsschema des Regelkreises (vgl. Abb. 2), den wir auch als Sollwert bezeichnet hatten. Von dieser speziellen Forderung leitet sich auch der Name „Festwertregelung“ für eine derartige Anordnung her. Sinkt die Quecksilbersäule unter  $25^{\circ}\text{C}$  ab, so wird in dem Stromkreis, in dem sich die Spule des Relais befindet, der Kontakt zwischen dem Quecksilber und einem eingeschmolzenen Draht, der den Strom zuführt, unterbrochen. Damit wird die Spule stromlos, das Magnetfeld der Spule bricht zusammen, und der bis dahin durch den Elektromagneten offengehaltene Schalter eines zweiten Stromkreises, der einen Heizwiderstand enthält, schließt sich. Die Folge davon ist, daß sich das Wasser im Aquarium wieder erwärmt, die Quecksilbersäule ansteigt und schließlich die  $25^{\circ}$ -Marke überschreitet. Ist an dieser Stelle der Kontakt wiederhergestellt und der erste Stromkreis geschlossen, zieht der Spulenanker des Relais den Schalter des zweiten Stromkreises wieder auf. Wer diesen ganzen Mechanismus nicht kennt oder nur verfolgt, wie die Temperatur stets um die  $25^{\circ}$ -Marke pendelt, hat den Eindruck, daß unser einfaches System ein zielgerichtetes Verhalten besitzt. Es strebt stets einem „Ziel“, nämlich einer Temperatur von  $25^{\circ}\text{C}$  zu.

Ähnlich verhält es sich bei der sogenannten *Programmregelung*. Hierbei ist die Führungsgröße kein konstanter Sollwert mehr, sondern verändert sich entweder in Abhängigkeit von der Zeit oder in Abhängigkeit von einer anderen physikalischen Größe entsprechend einem bestimmten gesetzmäßigen Zusammenhang. Im ersten Falle heißt die Programmregelung Zeitplan-, im zweiten Folgeregelung. Zur Veranschaulichung der Programmregelung ist in Abb. 14b eine Zeitplanregelung für die spezielle Aufgabe eines Autopiloten, wie er in Flugzeugen Verwendung finden kann, dargestellt. Sie besteht

darin, das Flugzeug automatisch in einer Kreisbahn zu halten. Eine solche Aufgabe kann sich zum Beispiel ergeben, wenn ein Flugzeug keine Landeerlaubnis erhält und kreisend wartet, daß sie erteilt wird. Zum leichteren Verständnis dieser Art von Regelung betrachten wir zunächst das Flugzeug im Punkt A seiner Flugbahn, also da, wo es noch einen geraden Kurs fliegt. Auch dieser kann vom Autopiloten gehalten werden. Die Regelgröße ist dann — ähnlich wie bei unserem Kraftwagen auf der geraden Straße — eine feste Richtung bzw., wie man üblicherweise sagt, ein konstanter Kurswinkel (im Bild als Winkel  $\alpha$  zwischen der mit N bezeichneten Nordrichtung und dem mit R bezeichneten vorgeschriebenen Flugkurs eingetragen). Die Einzelheiten der gesamten Regelungsanlage, die technisch sehr kompliziert sein kann, sollen hier nicht interessieren. Als Stellgröße kann der Verstellwinkel des Seitenruders des Flugzeuges betrachtet werden, dessen Stellungsänderungen zu Änderungen in der Flugrichtung führen. Als Störgrößen wirken der Wind und — da es sich um ein zweimotoriges Flugzeug handelt — die unterschiedliche Stärke der Triebwerkkräfte. Solange ein konstanter Kurs mit dem festen Winkel  $\alpha$  eingehalten werden soll, haben wir es mit einer Festwertregelung zu tun. Wir wollen aber jetzt annehmen, daß das Flugzeug vom Punkt B an eine Kreisbahn beschreiben soll. Dies bedeutet, daß sich der Kurswinkel fortgesetzt ändern muß. Soll das Flugzeug die Kreisbahn mit konstanter Geschwindigkeit durchfliegen, muß diese Änderung des Kurswinkels proportional der Zeit erfolgen. Abb. 14b zeigt das Flugzeug in den Punkten C und D der Kreisbahn mit unterschiedlicher Größe des Kurswinkels  $\alpha$ ; der Zusammenhang zwischen Kurswinkel und Zeit läßt sich durch die Beziehung  $\alpha = \omega t$  beschreiben, wobei  $\omega$  (sprich: Omega) ein konstanter Wert (die sogenannte „Winkelgeschwindigkeit“) und  $t$  die Zeit ist. Der Autopilot des Flugzeuges ist in der Lage, die Kreisbahn zu steuern, wenn eine Einrichtung vorhanden ist, die den Regler des Autopiloten veranlaßt, den Kurswinkel in Übereinstimmung mit dem angegebenen funktionalen Zusammenhang fortlaufend zu ändern. Das bedeutet aber, daß an die Stelle der beim Geradeausflug *konstanten* eine in der angegebenen Weise *veränderliche* Führungsgröße (beide Male handelt es sich um den Kurswinkel  $\alpha$ ) treten muß. Dabei ist der gesetzmäßige (mathematische) Zusammenhang  $\alpha = \omega t$  die Grundlage des „Programms“, nach dem sich die Führungsgröße ändern muß. Auch bei

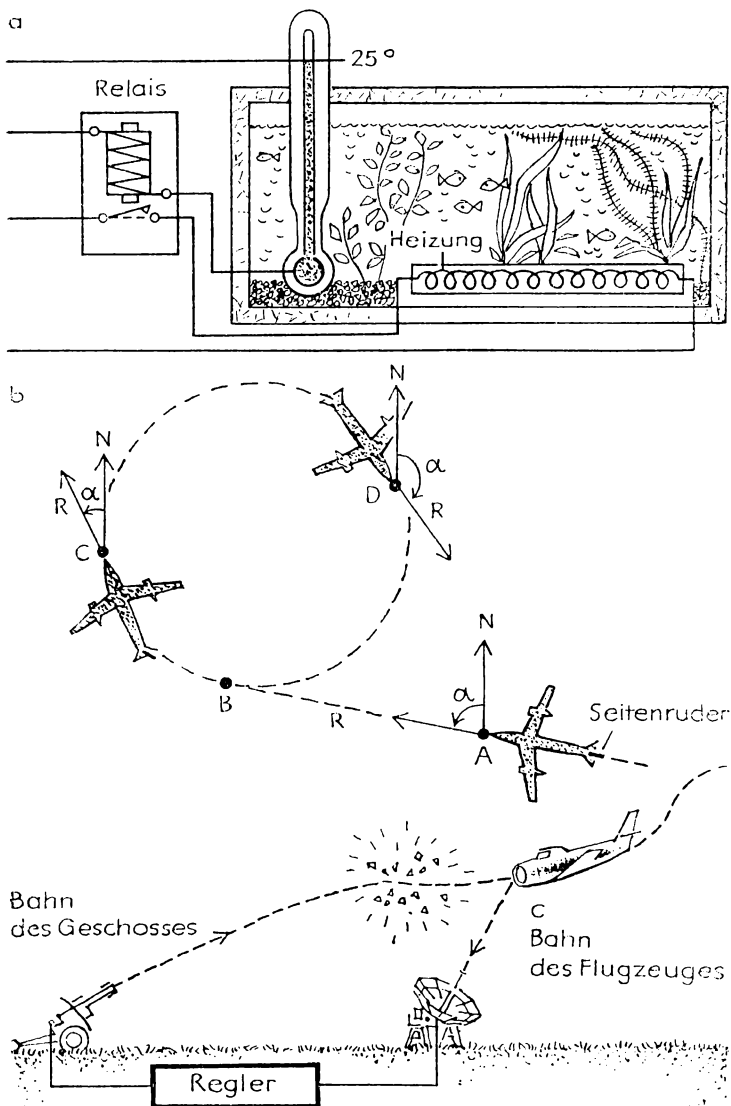


Abb. 14

Elementare Formen zielstrebigen Verhaltens von Regelkreisstrukturen

a) Temperaturregler (Thermostat) als Beispiel einer Festwertregelung

b) Autopilot bei Kreisflug als Beispiel einer Programmregelung

c) automatisches Luftabwehrsystem als Beispiel einer Nachlaufregelung



dieser Form der Regelung erscheint das Verhalten des geregelten Systems zielstrebig. Seine Ortsbewegung erfolgt auf einer festgelegten Bahn und verharret in ihr, bis das Programm verändert oder der Autopilot überhaupt ausgeschaltet wird. Der Regler des Autopilots hat bei dieser Form der Regelung die Aufgabe, einen bekannten, festgelegten und mathematisch beschreibbaren Programmablauf zu sichern.

In beiden Fällen (Abb. 14 a und b) handelte es sich darum, die Führungsgröße konstant zu halten oder nach einem vorgeschriebenen Gesetz zu verändern. Diese Tatsachen sind von vornherein im Bauplan des Regelungssystems enthalten. Es ist aber auch noch ein anderer Sachverhalt denkbar, der für viele Aufgaben der automatischen Regelung bedeutungsvoll ist. Er liegt vor, wenn die Führungsgröße weder eine Konstante ist noch sich nach einem vorgeschriebenen, mathematisch ausgedrückten Gesetz verändert, sondern eine Größe ist, deren Veränderungen von irgendeinem Prozeß abhängig sind. Dabei muß das „Änderungsgesetz“, der funktionale und mathematisch formulierte Zusammenhang zwischen der Führungsgröße und der Zeit bzw. einer anderen gegebenen Größe (wie dies bei der Programmregelung der Fall ist) gar nicht bekannt sein. Eine Regelkreisstruktur dieser Art heißt *Nachlaufregelung*. Als Beispiel hierfür ist in Abb. 14 c das sehr stark vereinfachte Schema einer der Möglichkeiten für ein automatisches System der Luftabwehr dargestellt. Dabei kommt es uns vor allem darauf an, die besondere Art der Führungsgröße des zugrunde liegenden Regelungssystems zu veranschaulichen. Der die Veränderungen der Führungsgröße bedingende „Prozeß“, von dem wir sprachen, ist hier die Bewegung eines gegnerischen Flugzeuges. Es liegt auf der Hand, daß diese Bewegung der eigenen Flugabwehr selbstverständlich nicht in allen Einzelheiten und im voraus bekannt sein kann. Mit modernen funktechnischen Mitteln ist es aber möglich, die Bewegung des Flugzeuges ständig genau zu verfolgen, entsprechende Geräte dem Flugzeug ununterbrochen nachzuführen.

Freilich würde es zu weit führen, auf den Aufbau des speziellen Systems der Nachlaufregelung, das für die automatische Luftabwehr erforderlich ist, im einzelnen einzugehen. Dem Leser wird aber klar geworden sein, daß auch ein derartiges Regelungssystem eine be-

stimmte Art zielstrebigen Verhaltens hat, die schon durch die Aufgabenstellung, ein bestimmtes Ziel zu treffen, festgelegt ist.

Die hier besprochenen verschiedenen Formen der Regelung bestätigen unsere frühere allgemeine Behauptung, daß immer dann, wenn Regelungsprozesse beobachtet werden, Regelkreisstrukturen bzw. das Prinzip der Rückkopplung zugrunde liegen. Freilich können diese Strukturen noch wesentlich komplizierter beschaffen sein: Es kann eine Verknüpfung mehrerer Regelkreise vorliegen, wovon wiederum jeder eine andere spezielle Ausführung haben kann. Man spricht dann von sogenannten vermaschten oder auch von verschachtelten Systemen.

Wir wissen jetzt, daß wir Regulationsvorgänge stets als zielgerichtete Prozesse auffassen können. Dieses Moment hat wie das Regelkreisprinzip überhaupt eine große weltanschauliche und philosophisch-theoretische Bedeutung. Die erstaunliche Erscheinung der Zielgerichtetheit von Bewegungen und Verhaltensweisen dynamischer Systeme, wie sie vor allem aus dem biologischen Bereich bekannt ist, erfährt hierdurch eine sehr natürliche Erklärung. Erschienen die zielgerichteten Prozesse in der Welt der Lebewesen früheren Generationen als etwas Wunderbares und Übernatürliches und wurde in deren philosophischer Interpretation entweder eine geheimnisvolle Lebenskraft oder ein höheres zielsetzendes Wesen — etwa in der Gestalt eines persönlichen Gottes — vorausgesetzt, so lehrt uns das heute in allen Bereichen der Wirklichkeit nachgewiesene Rückkopplungsprinzip, wie solche erstaunlichen Erscheinungen der lebenden Materie als klar überschaubare objektive Gesetzmäßigkeiten der Wirklichkeit erklärt werden können.

Bei den bisher behandelten Beispielen ist das jeweilige Ziel festgelegt, entweder unmittelbar durch Vorkehrungen des Menschen oder durch äußere Umstände. Es gibt aber auch kybernetische Systeme, die nicht nur vorgegebene Ziele zu erreichen imstande sind, sondern die sogar sich selbst Ziele setzen können. Das höchstentwickelte kybernetische System, das wir überhaupt kennen, ist der Mensch. Aber auch bei nichtmenschlichen höheren biologischen Systemen treten entsprechend elementarere Formen solchen zielbestimmenden oder zielfindenden Charakters auf. Für derartige Leistungen sind noch weitaus kompliziertere Einrichtungen erforderlich, als wir sie bisher kennengelernt oder bei unseren Beschreibungen einiger

technischer Systeme angedeutet haben. Vor allem genügt es hierfür nicht, nur die augenblicklichen Einwirkungen auf das System oder seine momentanen Zustände zu berücksichtigen. Vielmehr wird es notwendig, daß das System Mechanismen hat, die frühere, in der Vergangenheit liegende Einwirkungen und Zustände festhalten, aufbewahren und die ebenso die etwaigen Folgen, die solche früheren Einwirkungen gezeitigt haben, registrieren. Das System muß also „Erfahrungen“ sammeln können, muß etwas aufweisen, was wir beim Menschen „Gedächtnis“ nennen. In kybernetischer Verallgemeinerung können wir von einer *Speicherung von Informationen* sprechen. Die Art und Weise, wie eine solche Informationsspeicherung geschieht, ist sehr unterschiedlich und hängt von der besonderen Beschaffenheit des betreffenden dynamischen Systems ab.

Die Tatsache, daß diese Mechanismen in den natürlichen kybernetischen Systemen eine wichtige Rolle spielen und übrigens auch für technische Systeme realisierbar sind, führt uns zu einem weiteren Aspekt der „Vollkommenheit“ mancher Systeme, der ebenfalls in verschiedenen Formen auftritt. Es handelt sich um den Typ sogenannter *lernender Systeme*, um Systeme, die Lernverhalten aufweisen oder auch um „Erfahrungen sammelnde Systeme“. Für ein derartiges Verhalten ist es nicht allein wichtig, die früheren Ereignisse und deren Erfolg oder Mißerfolg zu registrieren, sondern es muß auch eine „Vorrichtung“ vorhanden sein, die zu entscheiden gestattet, ob eine vom System *beabsichtigte* Handlung für das System auch tatsächlich günstig ist, das heißt, ob sie unter Berücksichtigung der bisherigen Erfahrungen des Systems zum Erfolg führen wird oder nicht. Wenn wir uns selbst als „Systeme“ beobachten, können wir sehr gut das Wesen derartigen Systemverhaltens verstehen lernen. Gelangen wir zum Beispiel auf einer Wanderung an einen Bach oder Wassergraben, den wir überqueren müssen, dann springen wir keineswegs sofort blindlings darauf los, um schließlich am Ergebnis zu merken, ob wir auf der anderen Seite gut angekommen oder ins Wasser gefallen sind. Statt dessen werden wir uns — was uns selbstverständlich im einzelnen gar nicht bewußt wird — an ähnliche Situationen erinnern, ungefähr abschätzen, ob wir bei der vorliegenden Breite und dem möglichen Anlauf gut hinübergelangen werden oder nicht. Wir „spielen“ auch die verschiedenen Varianten durch, die es gibt, indem wir überlegen, ob es überhaupt sinnvoll ist

zu springen oder ob es vielleicht besser ist, sich Schuhe und Strümpfe auszuziehen und durch den Bach zu waten.

Für diese Denkopoperationen nehmen wir einen Bereich in unserem Gehirn in Anspruch, der in der kybernetischen Terminologie *Umweltmodell* oder *Modell der Außenwelt* genannt wird. Was im wissenschaftlichen Sinne unter einem „Modell“ zu verstehen ist, werden wir erst in einem späteren Abschnitt dieses Buches kennenlernen. Hier können wir uns zunächst mit der allgemeinen Vorstellung vom Modellbegriff begnügen, die jedem Laien geläufig ist. Eine Modelleisenbahn, wie sie als Kinderspielzeug verkauft wird, ist ein Beispiel dafür. Und so, wie wir aus der Funktion der Modelleisenbahn durchaus bestimmte Rückschlüsse auf die Funktion einer großen Eisenbahn ziehen können — hierin besteht ja gerade eine Seite des erzieherischen Wertes einer Modelleisenbahn für das Kind —, ähnlich vermögen wir auch mit unserem „inneren Modell der Außenwelt“ vorgegebene Anforderungen „durchzuspielen“, um dann erst zu entscheiden, welche der verschiedenen sich anbietenden Möglichkeiten wir verwirklichen. Das Beispiel von unserer Wanderung, die uns an einen Bach führt, ist selbstverständlich ein sehr primitiver Fall, und das „Modell“, das hierbei für die Auswahl einer entsprechend „günstigen“ Entscheidung nötig ist, sehr elementar. Allgemein gesehen, handelt es sich aber um eine für den Menschen typische Verhaltensweise, das „Nachdenken“.

Wenn wir jetzt wissen wollen, was man allgemein unter dem „Lernen“ eines kybernetischen Systems versteht, so können wir auch dies am uns vertrauten „System Mensch“ demonstrieren. Wir haben dann etwas Neues hinzugelernt, wenn wir in der Lage sind, auf der Grundlage des Gelernten unser Verhalten günstiger zu gestalten, uns klüger zu verhalten oder — anders ausgedrückt — aus verschiedenen möglichen Verhaltensweisen die günstigste auszuwählen. In kybernetischer Ausdrucksweise bedeutet dies, das Modell der Außenwelt, das bis zu einem bestimmten Zeitpunkt bereits im Gehirn eingespeichert ist, zu *verbessern*. Lernen eines kybernetischen Systems besteht also darin, daß es auf der Grundlage seiner im Laufe der Zeit erungenen Erfolge oder erlittenen Mißerfolge, also entsprechend seinen „Erfahrungen“, sein inneres Modell der Außenwelt ständig verbessert. Dieser auf den westdeutschen Nachrichtentheoretiker und Kybernetiker, Prof. Dr. *Karl Steinbuch*, zurückgehende Begriff

des Lernens ist außerordentlich allgemein und nicht nur auf den Menschen beschränkt. Er gilt für alle dynamischen Systeme, die eine sogenannte *Lernstruktur* aufweisen. Wir haben es hier wiederum mit einer typischen kybernetischen Abstraktion zu tun. In Abbildung 15 wird in Gestalt von Blockschaltbildern einem System ohne Lernstruktur ein System mit Lernstruktur gegenübergestellt. Das, was wir bereits am menschlichen Verhalten demonstriert haben, wird hier für den technischen Bereich gezeigt. Es handelt sich um die prinzipielle Möglichkeit für die Verwirklichung von zwei Typen technischer automatischer Systeme. Im Falle a steht ein Automat unmittelbar mit der Umwelt in Verbindung. Erfolg oder Mißerfolg seiner Handlungen werden in ihm zwar registriert, und die günstigste Variante wird ausgewählt, aber es besteht die Gefahr, daß der Automat auch Handlungen vornimmt, die zu Katastrophen in der Umwelt führen bzw. ihn selbst zerstören. Im Falle b haben wir es mit einem wesentlich verbesserten Automaten zu tun. Auch dieser Automat steht in Verbindung mit der Umwelt, aber seine „Entschlüsse“

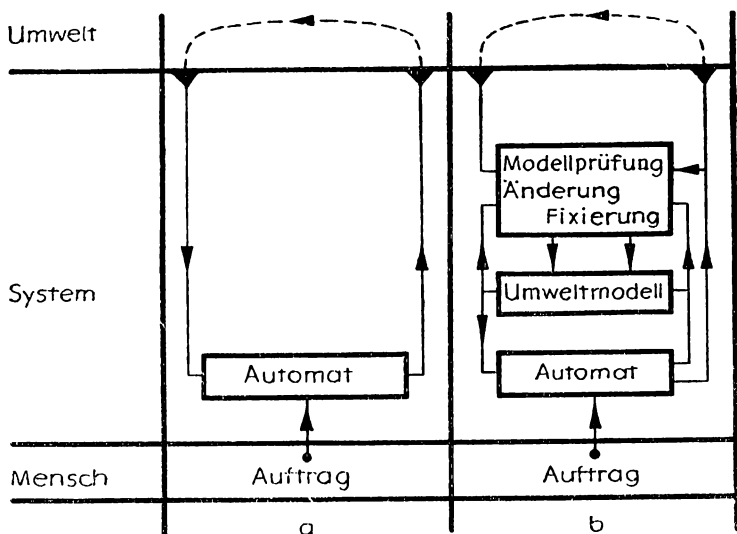


Abb. 15  
System ohne und System mit Lernstruktur  
(in Anlehnung an K. Steinbuch)

werden nicht unmittelbar in Einwirkungen auf die Umwelt umgesetzt, sondern er „probiert“ zunächst so, wie wir dies bereits kennengelernt haben, die möglichen Folgen an einem Umweltmodell durch. Erst, wenn dabei die günstigste Variante gefunden ist, erfolgt die Wirkung des Automaten auf die Umwelt. Ein solches Umweltmodell allein vermöchte freilich noch nicht, Katastrophen einigermaßen zuverlässig zu verhindern. Es sei denn, man setzt ein Modell abstrakt universalen Charakters voraus, das es aber bei wirklichen Systemen nicht gibt und das erst recht nicht in Form technischer Systeme gebaut werden kann. Unser Automat hat im Falle b daher noch eine Einrichtung, die man als Modellprüfung charakterisieren kann. Auch bei einem System mit Umweltmodell sind in jedem Stadium der „Entwicklung des Modells“ kleinere Fehler, Mißerfolge in den „Handlungen“ des Systems nicht vermeidbar. Gerade sie — ebenso natürlich auch die Erfolge — werden von der Modellprüfungseinrichtung berücksichtigt: Wenn die Aktion des Automaten in die Umwelt trotz vorheriger Probe am Umweltmodell nicht von Erfolg gekrönt ist, so ist mit dem Modell etwas nicht in Ordnung, und es muß entsprechend verändert werden. Wenn dagegen die Handlung zum Erfolg führt, kann das vom System als Bekräftigung aufgefaßt werden. So wird das Umweltmodell weiter vervollkommenet.

Weil es sich in Abbildung 15 um technische Systeme handelt, muß der Automat selbstverständlich in jedem Falle noch vom Menschen den allgemeinen Auftrag erhalten, ohne daß dabei jedoch genauere Anweisung gegeben werden muß, wie er im einzelnen zu erfüllen ist. In beiden der in Abb. 15 dargestellten Fälle ist der Automat in der Lage, den Weg zur Erfüllung der betreffenden Aufgabe selbständig zu finden. Welchen gewaltigen Einfluß die Entwicklung solcher Automaten auf die Stellung des Menschen im Produktionsprozeß ausüben wird und welche Auswirkungen darüber hinaus die moderne und die zu erwartende Maschinenwelt überhaupt auf den Menschen und die menschliche Gesellschaft haben wird, soll uns im zweiten Teile unseres Buches beschäftigen. Es sei noch gesagt, daß der Bau lernender Automaten durchaus nicht so utopisch ist, wie dies auf den ersten Blick anmuten mag. Erste Schritte in dieser Richtung sind bereits heute Wirklichkeit.

Ein weiteres Merkmal der Vollkommenheit bestimmter hochent-

wickelter Systeme wird uns im folgenden beschäftigen. Bei unseren Darlegungen über das Stabilitätsverhalten dynamischer Systeme hatten wir u. a. zwei Besonderheiten kennengelernt. Einmal hat die Stabilität kybernetischer Systeme einen dynamischen Charakter, das heißt, die Systeme verharren nicht in einem bestimmten Zustand, sondern sind bestrebt, nach mehr oder weniger großen Abweichungen von einem bestimmten Zustand diesen entweder nicht allzu weit zu verlassen oder sich ihm ständig wieder beliebig zu nähern. Zum anderen wird diese Stabilität gegenüber inneren und äußeren Störungen verschiedenen Typs aufrechterhalten, wobei diese Störungen gerade die erwähnten Abweichungen von einem bestimmten Zustand bewirken. Mit diesen und einer Reihe weiterer spezieller Gegebenheiten haben es Stabilitätsuntersuchungen an kybernetischen Systemen zu tun. Wenn wir jetzt von allen solchen Einzelheiten völlig abstrahieren und uns weder für gerade noch zulässige Abweichungen noch für den für die Abweichungen verantwortlichen Störungstyp oder für die Größe der betreffenden Störung interessieren, gelangen wir zu einem weiteren wichtigen Merkmal kybernetischer Systeme, zur sogenannten *Zuverlässigkeit*. Man versteht darunter die Funktionsfähigkeit eines Systems entweder *bis* zu einem bestimmten Zeitpunkt oder *in* einem bestimmten Zeitpunkt. Wir beschränken uns bei unseren Überlegungen auf Zuverlässigkeit im Sinne der Funktionsfähigkeit *in* oder *zu* einem bestimmten (späteren) Zeitpunkt. Die Untersuchung dynamischer Systeme unter dem Gesichtspunkt der Zuverlässigkeit hat besonders große Bedeutung für komplexe Systeme, die aus einer großen Zahl von Elementen bestehen oder aus Teilsystemen, die ihrerseits aus sehr vielen Elementen zusammengesetzt sind. Diese Problematik ist uns allen aus der alltäglichen Erfahrung geläufig. Denken wir etwa an die ersten Fernseh-Versuchssendungen. Oft fielen damals Ton oder Bild aus, oder das Bild wurde in grotesker Weise verzerrt. In kybernetischer Denkweise können wir diesen Sachverhalt so interpretieren, daß einer der wesentlichen Gründe hierfür in der Schwierigkeit besteht, sehr komplexe Systeme zuverlässig zu beherrschen. Denn das System für die Aufnahme, die Übertragung und die Wiedergabe von Fernsehsendungen ist tatsächlich relativ kompliziert, obwohl es sich zwar um ein dynamisches, im wesentlichen aber noch nicht um ein kybernetisches System handelt.

Wie kann man die Zuverlässigkeit eines Systems, das aus einer sehr großen Anzahl einzelner Elemente besteht, erhöhen? Eine Möglichkeit hierfür besteht darin, die Zuverlässigkeit der einzelnen Elemente entsprechend zu erhöhen. Wenn an unserem Rundfunkempfänger ein einziger Widerstand durchbrennt, „schweigt“ das Gerät. Bei Systemen dieser Art hängt die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems von der Zuverlässigkeit des „schwächsten Elements“ ab. Die geläufige Redewendung von der Kette, die an ihrem schwächsten Glied reißt, illustriert den Zusammenhang deutlich. Die erwähnte Möglichkeit, die Zuverlässigkeit eines komplexen Systems zu erhöhen, wird in der bisherigen Technik in erster Linie ausgenutzt. Hierauf beruht beispielsweise die Tatsache, daß die Elektronenröhren, die wir in unseren modernen Radioapparaten und funktechnischen Geräten verwenden, weitaus funktionstüchtiger sind, eine viel höhere Lebensdauer haben als ihre Vorläufer in den 20er oder 30er Jahren. Für besonders hohe Ansprüche stehen heute Röhren von außerordentlich langer Lebensdauer zur Verfügung. Mit der Verwendung von Transistoren und dem Ersatz der Röhrenschaltungen durch Transistorschaltungen wird schließlich die Zuverlässigkeit funktechnischer Einrichtungen beträchtlich erhöht, da Transistoren über eine praktisch unbegrenzte Lebensdauer verfügen. Freilich treten nicht nur Störungen in Röhren auf, ebenso können Widerstände und Kondensatoren ausfallen, Drahtbrüche auftreten usw.

Obwohl bei allen diesen Elementen im Laufe der technischen Entwicklung fortgesetzt größere Zuverlässigkeit erzielt werden konnte, ist und bleibt dieses Mittel beschränkt, wenn es um sehr komplexe Systeme geht. Denn ebenso, wie es keine absolut stabilen Systeme gibt, ebenso gibt es auch keine absolut zuverlässigen Elemente, aus denen sich Systeme zusammensetzen. Die Gründe für diese Relativität der Zuverlässigkeit sind im Prinzip die gleichen wie für die Relativität der Stabilität. Alle Systeme der wirklichen Welt stehen in fortgesetzten Wechselbeziehungen mit ihrer Umgebung und verändern sich unausgesetzt, was schließlich zur qualitativen Veränderung dieser Systeme und damit zu deren Verwandlung aus einer Gestalt in eine andere führt. Die neue Struktur und Funktion des Systems kann aber für einen bestimmten Verwendungszweck völlig ungeeignet sein. Nun gehört es aber gerade zu den Besonderheiten der Entwicklung der modernen Technik, zu immer komplizierteren Sy-



stemen zu gelangen. Denken wir nur etwa an die Konstruktion elektronischer Rechenmaschinen oder an große Raketen für die Welt-  
raumforschung, die hinsichtlich ihrer Komplexität mit elektronischen Rechenmaschinen durchaus vergleichbar sind. Es dürfte keine besonders gewagte Prophezeiung sein, vorauszusagen, daß bereits die technischen Systeme der nächsten Zukunft noch um ein Vielfaches komplizierter sein werden als die, die wir heute kennen. Und gäbe es kein anderes Mittel für die Erhöhung der Zuverlässigkeit hochkomplexer Systeme als das erwähnte, so strebten wir gleichsam einem „größten technisch möglichen System“ zu, über das der Mensch nicht hinausgelangen könnte. Hierin bestünde eine Grenze in der Entwicklung der Technik, die unüberschreitbar wäre. Wir befinden uns aber nicht in dieser Situation; denn — und damit kommen wir zur eigentlichen kybernetischen Problematik — es gibt auch andere Mittel, um die Zuverlässigkeit dynamischer Systeme zu erhöhen. Beweis dafür ist die Natur. Schon biologische Systeme auf relativ niedriger Entwicklungsstufe sind in ihrem inneren Aufbau unvergleichlich komplizierter als selbst die komplexesten Systeme der heutigen Technik. Dabei sind die „Elemente“, aus denen biologische Systeme bestehen, häufig wesentlich weniger zuverlässig als Elemente, aus denen sich technische Geräte zusammensetzen. Wir wissen aber, daß gerade biologische Systeme als Gesamtsysteme außerordentlich sicher funktionieren. Kein Mensch stirbt zum Beispiel, wenn er sich in den Finger geschnitten hat, obgleich er damit eine beträchtliche Zahl von „Elementen“ beschädigt oder zerstört haben kann. Ja, wir wissen aus den Ergebnissen der Beobachtung entsprechender Verletzungen, daß sogar bestimmte Teile des menschlichen Gehirns zerstört sein können, ohne daß die intellektuelle Fähigkeit des betreffenden Menschen und die Funktion des Gesamtorganismus nennenswert gestört sein muß.

Diese Tatsachen führen uns zu dem Schluß, daß es offenbar möglich ist, aus relativ unzuverlässigen Elementen oder Teilsystemen ein relativ zuverlässiges Gesamtsystem aufzubauen. Wenn uns die Biologie gelehrt hat, daß solche Systeme tatsächlich bestehen, so lehrt uns die Kybernetik, wie solche Systeme aufgebaut werden können, worauf ihre Existenz beruht. Das eigenartige Phänomen hängt mit Besonderheiten in der Struktur der betreffenden dynamischen Systeme zusammen, und zwar vor allem mit der sogenannten *Weit-*

*schweifigkeit* (oder *Redundanz*) der inneren Organisation. Was in unserem Zusammenhang darunter zu verstehen ist, wollen wir uns an einem einfachen Beispiel klarmachen (Abb. 16). Das System  $S_1$  sei Teilsystem eines größeren und komplizierteren Gesamtsystems, dessen Funktion möglichst gesichert sein soll. Die einfachste Sicherung besteht in einem solchen Falle darin, daß man dieses Teilsystem doppelt ausführt, was wir in unserem Blockschaltbild mit dem System  $S'_1$  zum Ausdruck gebracht haben. Außer den beiden Systemen  $S_1$  und  $S'_1$  muß noch ein Kontrollmechanismus  $K$  vorhanden sein, der über die Verbindung  $k$  prüft, ob der Eingang unseres Systems vom System  $S_1$  verarbeitet wird und eine entsprechende „Aktion“ am Ausgang auftritt. Ist dies aus irgendeinem Grunde nicht mehr der Fall, so schaltet der Kontrollmechanismus die Verbindung  $V_1$  nach  $S_1$  automatisch aus und dafür die Verbindung  $V'_1$  zu  $S'_1$  ein, wodurch die Funktion durch das „Ersatzelement“  $S'_1$  gesichert ist. Dieses „Dublieren“ (Verdoppeln) von Bauteilen oder ganzen Geräten wird in der Technik schon seit einiger Zeit praktisch angewandt, zum Beispiel bei automatischen Anlagen ohne Bedienungspersonal und ohne Möglichkeit der Reparatur. So haben automatische Wetterstationen häufig zwei Sender und können die Wetterinformationen auch dann zu einer entfernten Zentrale übertragen, wenn einer der Sender ausfällt.

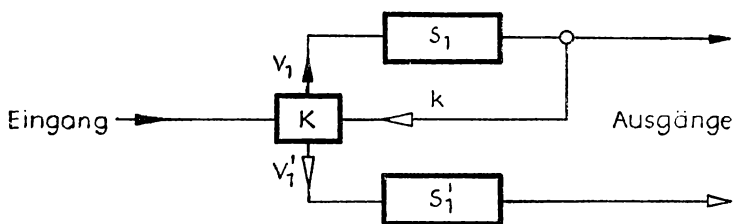


Abb. 16 Dublieren

Es liegt auf der Hand, daß die hier wiedergegebene Anordnung auch nur eine begrenzte Zuverlässigkeit garantiert. Denn wenn auch das System  $S'_1$  ausfällt, gibt es keine weitere Möglichkeit, die Funktion von  $S_1$  zu ersetzen. Bei Unterbrechungen in den Verbindungen, zum Beispiel Unterbrechung in der Verbindung  $k$  zum Kontrollmechanis-

mus, fällt die Funktion des Systems  $S_1$  auch dann aus, wenn sogar  $S'_1$  an sich noch funktionsfähig ist. Schließlich können auch noch Störungen im Kontrollmechanismus selbst auftreten. Ein derartiges System wird also nur sinnvoll einzusetzen sein, wenn die Zuverlässigkeit der Systeme  $S_1$  und  $S'_1$  wesentlich geringer ist als die des Kontrollmechanismus und der Verbindungen.

Unser elementares Beispiel sollte zeigen, wie selbst einfachste Formen erhöhter Zuverlässigkeit in der gekennzeichneten kybernetischen Art und Weise eine Erhöhung der Anzahl der Elemente bzw. der Teilsysteme und der Verbindungen erfordern. Dadurch entsteht das, was man einen „Überschuß an Struktur“ oder einen „Überschuß an Organisation“ nennen könnte. Das zuverlässigere Gesamtsystem, das in dieser Art aufgebaut ist, hat also — wie wir behauptet hatten — hinsichtlich seiner inneren Organisation tatsächlich eine gewisse Weitschweifigkeit oder Redundanz.

Alle lebenden Systeme sind derartig gestaltet; wir können an ihnen besonders das Prinzip des Dublierens einzelner Elemente oder Verbindungen (wie der Nervenverbindungen von den Sinnesorganen zum Gehirn) beobachten, das die Zuverlässigkeit wesentlich steigert. Darüber hinaus dienen in lebenden Organismen noch andere Prinzipien dem gleichen Zweck. So gibt es als besonders wichtige Form zur Erhöhung der Zuverlässigkeit biologischer Strukturen eine echte Regeneration von Teilsystemen nach Verletzungen; eine ständige Regeneration und Reproduktion spielt bei der überwiegenden Zahl der Zellen, aus denen sich ein lebender Organismus zusammensetzt, eine wesentliche Rolle. Endlich sind viele biologische Strukturen in dem Sinne universeller verwendbar als die meisten der heutigen technischen Bauelemente, da sie Funktionen zu erfüllen vermögen, für die sie ursprünglich gar nicht „vorgesehen“ waren; sie können andere (unter Umständen ausgefallene) Teilsysteme ersetzen.

Die Kybernetik bemüht sich darum, die in den organischen Strukturen auf ganz bestimmter energetischer und stofflicher Grundlage realisierten Prinzipien der Zuverlässigkeit in ihrer allgemeinsten Form aufzudecken und zu untersuchen. Das führt nicht nur zu einem tieferen Verständnis biologischer Geschehnisse, sondern wird auch zu völlig neuen technischen Konstruktionsprinzipien für den Entwurf hochkomplizierter künstlicher Systeme führen, die auch dann noch einwandfrei funktionieren, wenn eine größere Anzahl ihrer

Elemente bzw. ein größerer Teil ihrer Struktur beschädigt oder zerstört ist. Forschungen in dieser Richtung werden bereits heute unternommen und haben auch schon zu ersten Ergebnissen geführt. Wegen der großen Allgemeinheit der in der Kybernetik aufgedeckten Gesetze dürften sie aber nicht nur für den Bereich der Technik von Bedeutung sein, sondern zum Beispiel auch für die künftige Organisation der sozialistischen Volkswirtschaft. Hier kommt es darauf an, zu den bereits bestehenden Strukturen bewußt weitere zu schaffen, die eine zuverlässige Funktion des Gesamtsystems oder von Teilsystemen der Volkswirtschaft trotz dieser oder jener unangenehmen Störung, dieses oder jenes Ausfalles sichern können.

Am Schluß des Abschnittes wollen wir noch zwei weitere Aspekte der Vollkommenheit von Systemen andeutungsweise erwähnen. Es handelt sich um die Erscheinungen der *Selbstreproduktion* und der *Höherentwicklung* von kybernetischen Systemen. Beide sind aus dem biologischen Bereich wohlbekannt. Die Existenz des Phänomens der Selbstreproduktion lehrt uns zum Beispiel das Ausschlüpfen eines Kükens aus einem Hühnerei. Kybernetisch betrachtet, hat hier ein System ein anderes, ihm selbst gleiches System geschaffen. Wir kennen beispielsweise auch die stammesgeschichtliche Entwicklung bei Tier und Mensch, die sich in Stufen vom Niederen zum Höheren vollzieht.

Die naturwissenschaftliche Forschung hat für die Erscheinungen der Selbstreproduktion und der Höherentwicklung ein reiches Tatsachenmaterial zusammengetragen und zahlreiche gesetzmäßige Zusammenhänge ermittelt. Auch für diese Erscheinungen sind von der kybernetischen Forschung prinzipiell neue Resultate zu erwarten, und es zeichnet sich die Möglichkeit ab, eine allgemeine, also nicht an bestimmte stoffliche oder energetische Realisierungen gebundene Theorie der Selbstreproduktion und der Höherentwicklung zu schaffen.

Erste Ansätze hierzu finden ihren Ausdruck zum Beispiel in den theoretischen und mathematisch fundierten Überlegungen zum Problem der Selbstreproduktion, die der amerikanische Mathematiker *John v. Neumann* angestellt hat. Er vermochte mathematisch exakt zu beweisen, daß die Konstruktion einer technischen Anlage möglich ist, die sich selbst reproduzieren kann, die also ihresgleichen herzustellen vermag. Ohne auf die Überlegungen *John v. Neumanns* näher eingehen zu wollen, sei noch erwähnt, daß diese Maschine aus

mehr als 100 000 Elementen bestehen müßte. Sie konnte bisher noch nicht gebaut werden. Das verringert aber die Bedeutung des Beweises und der Überlegungen keinesfalls, da sie ein wesentliches Moment der von uns erwähnten und als möglich anzusehenden allgemeinen Theorie der Selbstreproduktion und der Höherentwicklung darstellen. Höherentwicklung kann in diesem Zusammenhang mit genannt werden, da die Selbstreproduktion offenbar die grundlegende Voraussetzung für sie ist: Die identische Reproduktion von Strukturen kann als Bestandteil, als Element, als Moment jeder Höherentwicklung angesehen werden; denn Höherentwicklung betrifft niemals alle Teilstrukturen und Elemente eines komplexen Systems, sondern Einzelstrukturen und Elementgruppen, so daß ein höher entwickeltes System  $S'$  gleichsam als Summe des Systems  $S$  und bestimmter zusätzlicher Strukturen, Elemente usw. angesehen werden muß. Selbstverständlich wird hierdurch in der Regel nicht nur ein zusätzliches Reservoir von Verhaltensweisen des höherentwickelten Systems, entstanden durch eine arithmetische Summierung, erlangt. Vielmehr wird — philosophisch ausgedrückt — die Vergrößerung der Quantität im allgemeinen zu einem qualitativen Umschlag führen.

Wir deuteten schon an, daß Untersuchungen zu dem zuletzt berührten Problemkreis noch in den ersten Anfängen stecken. Trotzdem kann man ihnen schon heute große Perspektiven voraussagen; sie werden zum tieferen Verständnis derartiger Prozesse bei lebenden Organismen führen. Darüber hinaus haben sie auch große weltanschauliche Bedeutung und werden Einfluß auf die Weiterentwicklung der marxistischen Philosophie ausüben. Eine allgemeine Theorie der Selbstreproduktion und der Höherentwicklung würde den Idealismus auf dem Gebiet schlagen, in das er sich heute zum Teil noch einzuschleichen vermag, nämlich überall dort, wo es noch ungeklärte Probleme der Entwicklung der lebenden Organismen gibt. Endlich können solche Untersuchungen auch zur Konstruktion immer vollkommenerer künstlicher bzw. technischer Systeme beitragen. Die Möglichkeiten reichen in dieser Beziehung von einer ungeahnten Verbesserung der industriellen Gütererzeugung bis zur Entsendung von hochkomplizierten automatischen Systemen, von „Robotern“, auf vom Menschen gar nicht oder nur sehr schwer zu betretende Himmelskörper. Solche Entwicklungen sind freilich zu-

nächst nur von theoretischem Interesse und keineswegs Aufgaben der Technik der allernächsten Zukunft. Näherliegender sind schon derartige Überlegungen im volkswirtschaftlichen Bereich. Denn auch die Volkswirtschaft und darüber hinaus das gesamtgesellschaftliche System können als sich selbst reproduzierende und höherentwickelnde Systeme begriffen werden.

# WAS BRINGT UNS DIE KYBERNETIK?

In unseren bisherigen Darlegungen haben wir uns mit der Frage beschäftigt, was Kybernetik eigentlich ist, worin ihr Gegenstand besteht, womit sie sich beschäftigt. Im folgenden soll eine Übersicht über den Nutzen und die Folgen der Kybernetik auf den verschiedensten Gebieten von Theorie und Praxis, von Wissenschaft und gesellschaftlichem Leben gegeben werden. Es sind vor allem drei Gebiete, in die die Kybernetik und ihre Methoden eindringen, in denen sich erste Auswirkungen dieser Wissenschaft nachweisen lassen und in denen noch bedeutendere Wirkungen der Kybernetik zu erwarten sind.

Die Kybernetik ist zunächst ein wichtiges Instrument wissenschaftlicher Forschung in den verschiedensten traditionellen Wissenschaftsbereichen. Die mit ihr verbundenen neuen Denkweisen stehen den traditionellen Wissenschaften als methodische Hilfsmittel zur Verfügung und erlauben es, manche einzelwissenschaftlichen Probleme unter völlig neuen Gesichtspunkten zu betrachten. Dieser methodologische Aspekt ist vielleicht der wirkungsmächtigste der Kybernetik, weil er nicht nur dazu dient, mit Hilfe wissenschaftlicher Erkenntnisse unsere technische und soziale Umwelt zu verändern und zu verbessern, sondern weil dieser Aspekt dazu beiträgt, die Methodik unserer Erkenntnis, durch die wir zu solchen Veränderungen gelangen können, selbst fortschreitend zu verbessern.

Ein weiteres Gebiet, in dem die Kybernetik entscheidende Auswirkungen hat und noch haben wird, ist das der *Technik*. Moderne Technik — das heißt Automatisierung in zunehmend vollkommenerer Form — ist ohne den Einsatz spezifisch kybernetischer Mittel unmöglich. Wir müssen die Kybernetik in diesem Zusammenhang als ein sehr wesentliches Element der wissenschaftlich-technischen Revolution begreifen, die sich in unserer Zeit vollzieht und die das Antlitz der Technik des Jahres 2000 gestalten wird.

Mit den technischen Neuerungen, die von der Kybernetik ihren Ausgangspunkt nehmen, sind bestimmte *soziale* Auswirkungen eng verbunden. In dem Maße, wie die Automatisierung fortschreitet und ständig vollkommenere Formen annimmt, tritt der Mensch allmählich neben die Maschine. Unter den Bedingungen des sozialistischen und kommunistischen Aufbaus wird sich damit der Charakter der menschlichen Arbeit von Grund auf umgestalten.

In den folgenden Abschnitten wollen wir uns mit einigen Fragen des methodologischen, des technischen und des soziologischen Aspektes der Auswirkungen kybernetischen Denkens beschäftigen.

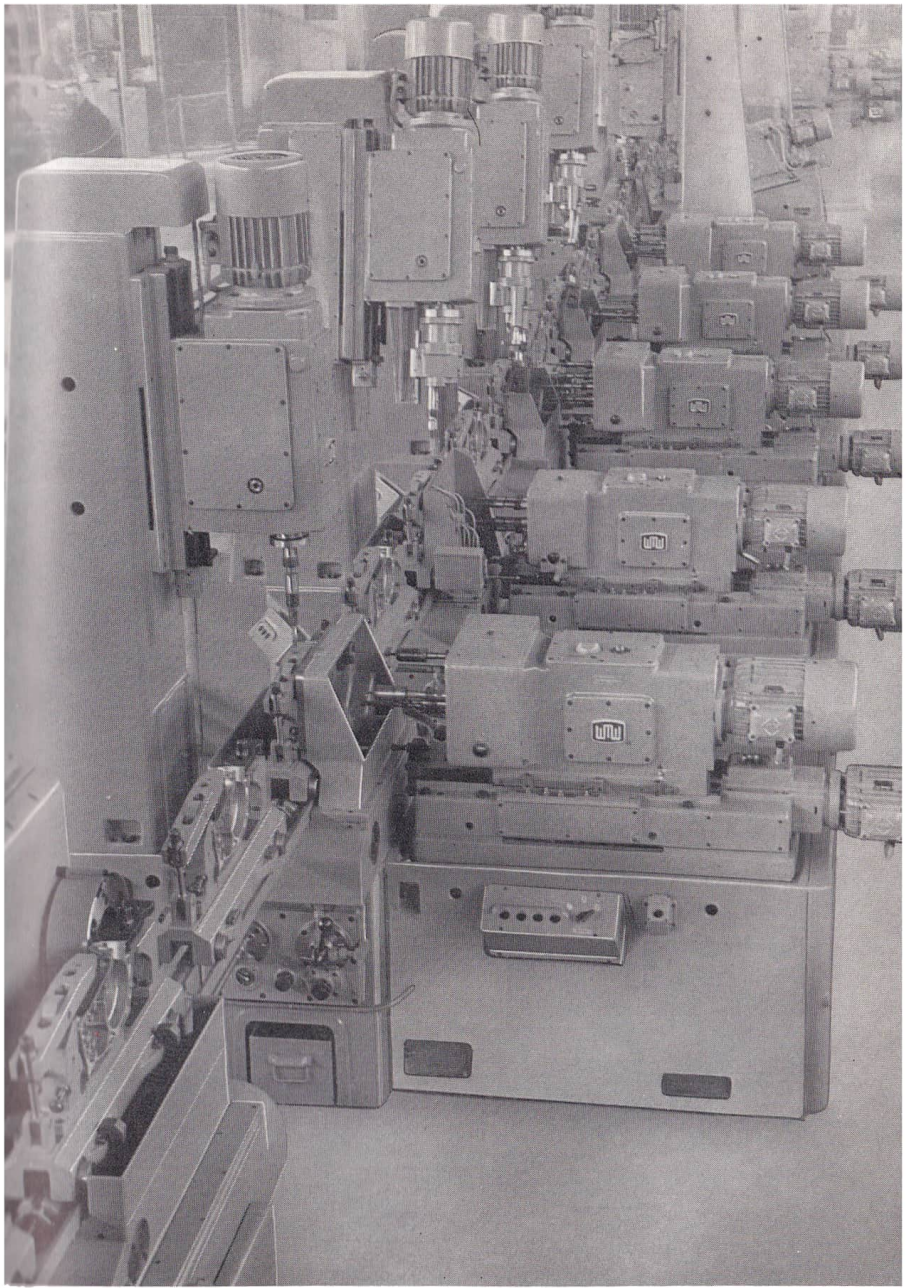
## Neue Methoden

Die Kybernetik ist keine Schöpfung aus dem „Nichts“, sondern ein Produkt der geschichtlichen Entwicklung von Wissenschaft und Technik. Die meisten ihrer Begriffsbildungen sind daher nicht absolut neu, sondern wurden in diesem oder jenem Sinne schon seit längerer Zeit in den verschiedensten Wissenschaften gebraucht. Entsprechendes gilt für die Methoden dieser neuen Wissenschaft. Auch sie sind in ihrer überwiegenden Zahl von der Kybernetik nicht neu „erfunden“ worden. In bezug auf die im folgenden erwähnten Methoden — die Methode des „Schwarzen Kastens“, die Modellmethode und die Versuch-und-Irrtum-Methode — ist es aber das Verdienst der Kybernetik, sie systematisch entwickelt und mit einem exakten mathematischen Apparat ausgestattet zu haben. Insofern hat ihnen die Kybernetik eine völlig neue Gestalt verliehen und sie in Methoden verwandelt, die für ihren Gegenstand und ihre Denkweise charakteristisch sind.

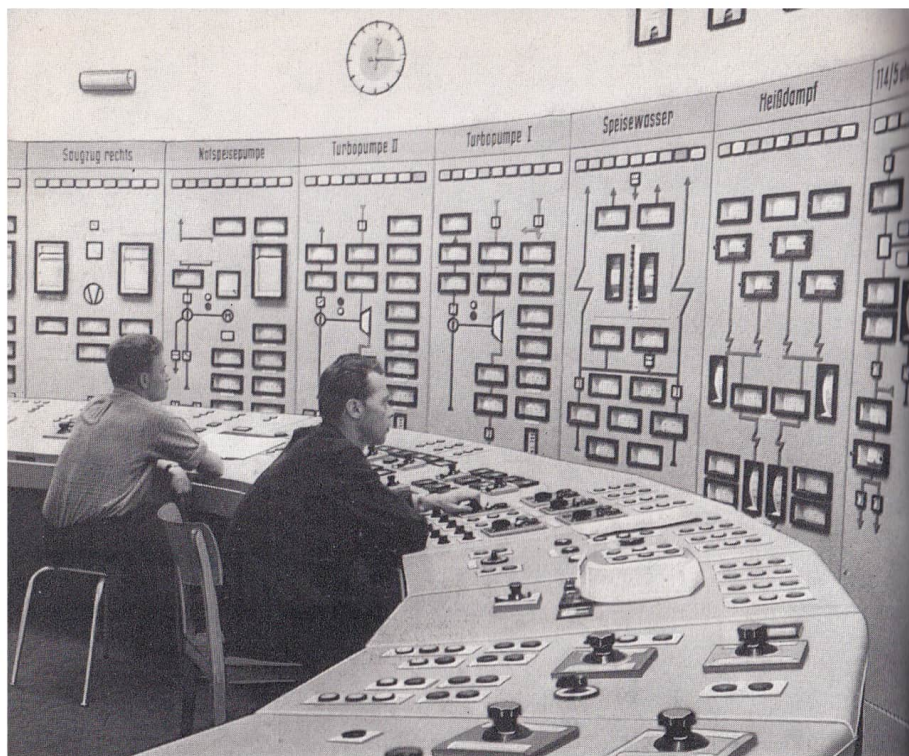
### *Der „Schwarze Kasten“*

Erinnern wir uns an den Begriff der Übergangsfunktion. Sie vermittelt gewisse Angaben darüber, wie sich bestimmte Eingaben eines Systems auf die Ausgabe des betreffenden Systems auswirken.

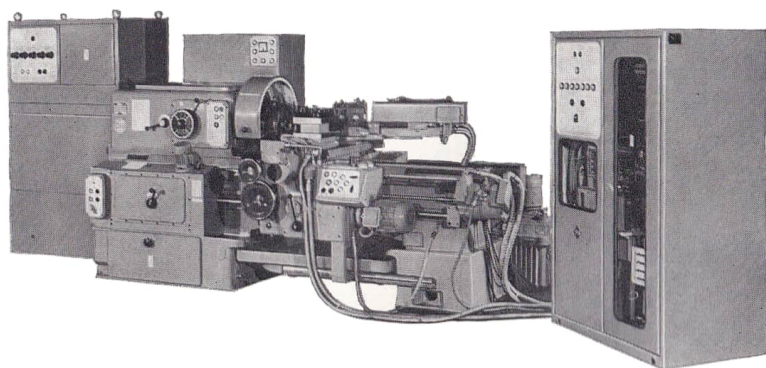




*Tafel 1*  
*Vollautomatische Taktstraße*



*Tafel 2*  
*Schaltwarte eines Turbosatzes im Kombinat Schwarze Pumpe*



*Tafel 3*  
*Numerisch gesteuerte Zugspindeldrehmaschine*

Die Beschaffenheit der Übergangsfunktion hängt neben der Natur der Eingabe selbstverständlich von der inneren Beschaffenheit, von der Struktur des Systems ab. Auf sie waren wir aber bei unseren Betrachtungen zur Übergangsfunktion gar nicht weiter eingegangen, weil wir uns ja keineswegs dafür interessierten, wie die Übergangsfunktion im einzelnen zustande kommt, worin die Ursachen für diese oder jene ihrer Gestalten bestehen, sondern lediglich für ihr Vorhandensein und für ihre Beschaffenheit. Deshalb brauchten wir nur festzustellen, auf welche Weise ein System auf eine Eingabe „antwortet“, das heißt, wie die Ausgabe in Abhängigkeit von einer bestimmten Eingabe beschaffen ist. Das Verfahren zur Ermittlung der Übergangsfunktion eines Systems ist außerordentlich verallgemeinerungsfähig. Systeme, die wir entweder erforschen sollen oder die uns für irgendwelche anderen Zwecke gegeben sind und deren Struktur nicht oder höchstens zum Teil bekannt ist, heißen in der Kybernetik „Schwarzer Kasten“ (im Englischen „black box“).

Der Kybernetiker behandelt solche „Schwarze Kästen“ auf zwei verschiedene Art und Weisen. Zunächst kann die Struktur in einem bestimmten Zusammenhang durchaus unbekannt bleiben, das heißt, es kann von ihr abstrahiert werden. Der Kybernetiker interessiert sich dann lediglich für die Beziehungen zwischen Ein- und Ausgabe des Systems. Ein solcher Fall liegt bei der Analyse der Übergangsfunktion vor. Weitere Beispiele, die zwar mit den Untersuchungsmethoden der Kybernetik zunächst gar nichts zu tun haben, aber dem Laien geläufig sind, lassen sich in großer Zahl angeben. So benutzt jeder von uns eine Armbanduhr oder einen Wecker und vermag mit diesen Geräten recht gut zurechtzukommen, ohne in der Regel etwas vom inneren Mechanismus dieser Geräte zu verstehen. Ebenso können wir entsprechend der gegebenen Gebrauchsanweisung unseren Fernsehempfänger „fachgerecht“ einstellen, obwohl wir auch in diesem Falle meist keine Ahnung von den komplizierten elektrischen Vorgängen in einem solchen Gerät und vom inneren Aufbau unseres Empfängers haben. Kybernetisch gesehen wissen wir lediglich etwas über gewisse Eingabe-Ausgabe-Beziehungen: Drehen wir an dem einen Knopf, ändert sich der Kontrast des Bildes; drehen wir an einem anderen, verändert sich die Bildhelligkeit usw. Sind solche Systeme, deren innere Struktur nicht bekannt ist, Teilsysteme umfassender Gesamtsysteme, so werden derartige — häufig

komplexe — Anordnungen in den für viele kybernetische Betrachtungen typischen *Blockschaltbildern* dargestellt. Abbildung 17 zeigt das Prinzip des Blockschaltbildes, das in unserem Buch in den verschiedensten Zusammenhängen Anwendung findet.

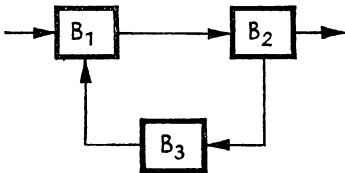


Abb. 17

*Blockschaltbild,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  sind „Schwarze Kästen“*

Eine andere wichtige Aufgabenstellung mancher kybernetischer Betrachtungen ist die Ermittlung der Struktur des „Schwarzen Kastens“. Wenn es richtig ist, daß die Ausgabefunktion, daß überhaupt das Verhalten eines Systems im wesentlichen von seiner inneren Systembeschaffenheit abhängt, dann muß es selbstverständlich von großem Nutzen für die Verwendung oder für den Bau künstlicher kybernetischer Systeme sein, die innere Struktur, den Aufbau des Systems möglichst genau zu kennen. Insofern ist diese Seite der „Methode des ‚Schwarzen Kastens‘“ auch die bedeutungsvollere. Allerdings müssen wir uns darüber im klaren sein, daß wir die Struktur eines einigermaßen komplizierten Systems selten vollständig aufzuklären vermögen, sondern stets auf Teilwahrheiten angewiesen sind. Die Aufklärung der Struktur organischer Systeme in der Biologie oder in der Medizin zum Beispiel ist eine ständige Aufgabe der biologisch-medizinischen Forschung und führt uns in einer komplizierten wissenschaftsgeschichtlichen Entwicklung zu immer tieferen Einsichten in den inneren Bau und in die Struktur und Funktionsweise der lebenden Organismen. In diesem Zusammenhang erweist sich aber auch die erste der erwähnten Seiten der Methode des „Schwarzen Kastens“ als außerordentlich bedeutungsvoll: Wir können mit Systemen bzw. Teilsystemen arbeiten, deren innere Struktur uns nicht bekannt ist, wenn wir nur wissen, wie sie auf die für einen bestimmten Zweck wichtigen Einwirkungen von außen

reagieren. Beide Seiten der Methode des „Schwarzen Kastens“ haben also ihre Berechtigung und ergänzen sich gegenseitig.

Wir wollen uns anhand eines einfachen Beispiels damit vertraut machen, wie eine „Black-Box-Analyse“ im Prinzip vor sich geht, das heißt, wie man einen „Schwarzen Kasten“ allmählich „aufhellen“, seine innere Struktur enthüllen kann. Gegeben ist ein völlig abgeschlossener Kasten, dessen innere Struktur wir überhaupt nicht kennen. Auf jeder Seite hat er zwei elektrische Anschlußbuchsen (Abb. 18a). Unter diesen Umständen ist anzunehmen, daß in seinem Innern irgendeine elektrische Schaltstruktur vorhanden ist. Um eine Eingabe-Ausgabe-Beziehung herzustellen, mit deren Hilfe wir die innere Struktur aufklären wollen, werden wir daher elektrotechnische Bauelemente verwenden. Auf der einen Seite des Kastens schließen wir eine elektrische Glühlampe an, auf der anderen Seite eine Akkumulatoren-Batterie und einen Schalter (Abb. 18b). Die Black-Box-Analyse wollen wir damit beginnen, daß wir den Schalter schließen. Wir bemerken, daß die Lampe aufflammt. Öffnen wir den Schalter wieder, verlöscht sie. Es liegt daher die Vermutung nahe, daß die beiderseits angebrachten Buchsen einfach durch Drähte miteinander verbunden sind (Abb. 18c). Wenn der „Schwarze Kasten“ zum Beispiel lediglich für die Verbindung der Stromquelle mit der Lampe benutzt werden soll, also gleichsam als Kabel, so würde bereits diese erste Vermutung über die innere Schaltstruktur des Kastens genügen, um ihn als für diese Aufgabe geeignet ausgeben zu können.

Da wir uns mit einer derart einfachen Lösung nicht zufriedengeben möchten, sondern annehmen, daß die innere Struktur vielleicht doch noch etwas komplizierter beschaffen ist, machen wir jetzt ein zweites Experiment, bei dem wir die Eingabe etwas umgestalten. Statt einer Akkumulatoren-Batterie nehmen wir deren zwei und schalten sie in Reihe. Wie wir aus der Schule wissen, können wir damit eine doppelt so große Spannung erzeugen. Ist unsere Vermutung über die innere Struktur des „Schwarzen Kastens“ richtig, so müßte jetzt beim Schließen des Schalters die Lampe heller brennen oder gar durchbrennen. In Wirklichkeit ergibt sich aber zu unserer Verwunderung etwas ganz anderes: Die Lampe leuchtet genauso hell wie vorher. Damit ist unsere erste Vermutung über die innere Struktur unserer „Black-Box“ widerlegt oder — genauer gesagt — als Teil-

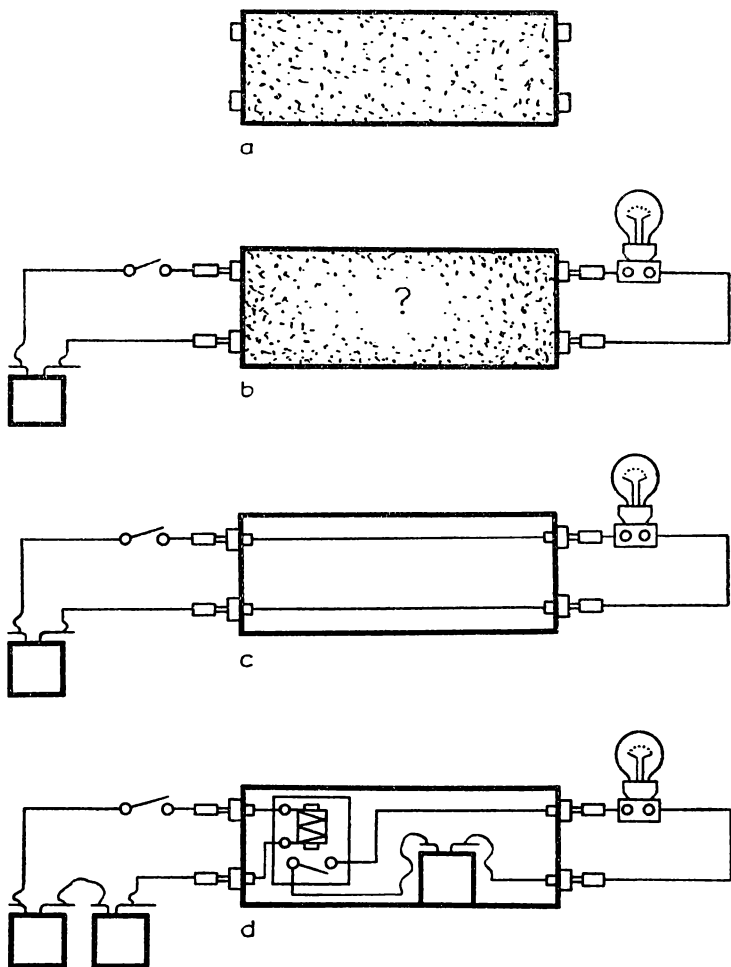


Abb. 18

*Black-Box-Analyse,*

- a) *gegebener „Schwarzer Kasten“ mit unbekannter elektrischer Schaltstruktur*
- b) *Herstellung einer Eingabe-Ausgabe-Beziehung*
- c) *erste Vermutung über die Schaltstruktur*
- d) *zweite Vermutung über die Schaltstruktur*



wahrheit erkannt. Wir wissen jetzt, daß zwar die Buchsen irgendwie miteinander verbunden sind, aber es können keine einfach durchgehenden Drähte sein, die Schaltstruktur muß komplizierter beschaffen sein. Als zweite naheliegende Vermutung über die innere Schaltstruktur bietet sich die in Abb. 18d gegebene Anordnung an. Wir haben es jetzt im ganzen mit zwei Stromkreisen zu tun, die durch ein Relais miteinander verbunden sind. Der eine Stromkreis wird von einer Akkumulatoren-Batterie im Innern des Kastens gespeist. Demzufolge erhält die Lampe, völlig unabhängig von der außen angelegten Spannung, stets die gleiche Spannung, nämlich die der inneren Akkumulatoren-Batterie. Das Relais ist so angeschlossen, daß es den Lampenstromkreis schließt, wenn der äußere Stromkreis geschlossen wird. Der Zusammenhang zwischen Schließen und Öffnen des Schalters einerseits und Aufflammen und Verlöschen der Lampe andererseits ist also genau derselbe wie im Falle unserer ersten Vermutung über die Schaltstruktur. Man spricht daher von einer „Äquivalenz“, das heißt Gleichwertigkeit beider Schaltstrukturen. Es läßt sich nun zeigen, daß es im Prinzip neben unseren beiden Varianten unendlich viele solcher äquivalenter Strukturen, die ein und denselben Schaltprozeß zu realisieren vermögen, gibt.

In philosophischer Ausdrucksweise bedeutet der Übergang von der ersten zur zweiten Vermutung über die Schaltstruktur im Innern des Schwarzen Kastens ein Aufsteigen von einer relativen Wahrheit niederer Stufe zu einer relativen Wahrheit höherer Stufe, nämlich unseres Wissens über die innere Struktur des Systems. Die Wahrheit der niederen Stufe ist dabei in der der höheren enthalten; denn die erste Vermutung ist völlig richtig unter der Bedingung, daß sich die von außen angelegte Spannung nicht verändert. Erst wenn dies eintritt, zeigen sich Wirkungen, die mit der ersten Vermutung nicht erklärt werden können. Dieses Fortschreiten von relativen Wahrheiten niederer Stufe zu relativen Wahrheiten immer höherer Stufe, in denen die relativen Wahrheiten der niederen Stufe als Moment enthalten sind, ist für unsere gesamte Erkenntnis von Natur und Gesellschaft charakteristisch. In bezug auf die Analyse komplexer Systeme wird diese These des dialektischen Materialismus von der kybernetischen Black-Box-Analyse in eindrucksvoller Weise bestätigt und zugleich präzisiert.

## Wissenschaftliche Spielereien?

Eine weitere wichtige Methode, deren sich die Kybernetik bedient, ist die sogenannte „Modellmethode“ oder „kybernetische Modellierung“, wie sie im Zusammenhang mit kybernetischen Untersuchungen genannt wird. Dieses Wort taucht immer häufiger in der Presse, im Rundfunk und in populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen auf. Da ist die Rede von elektronischen Modellen des menschlichen Gehirns, von mathematischen Modellen physikalischer Prozesse, von technischen Modellen der Volkswirtschaftsbilanz usw.

Die Modellmethode ist eine neue Arbeitsmethode, mit der wir uns vertraut machen müssen, wenn wir die technische und ökonomische Welt von morgen verstehen und meistern lernen wollen. Ihre Perspektiven sind gewaltig und bis jetzt kaum abzuschätzen, aber ihre Grundgedanken sind außerordentlich einfach.

Ein elementares Beispiel, das oft zutage tritt, soll uns zunächst mit diesem Begriff bekannt machen. Wir betrachten einen ganz einfachen elektrischen Stromkreis, der den Ohmschen Widerstand  $R$  hat und in dem Gleichstrom der Spannung  $U$  mit der Stromstärke  $I$  fließt (Abb. 19a). Die Spannung  $U$  der Stromquelle, die in Volt gemessen wird, möge mit Hilfe irgendeiner Schaltvorrichtung (die in unserem Bild nicht angegeben ist) veränderbar sein. Auch der Ohmsche Widerstand  $R$  soll in bestimmten Grenzen verändert werden können. (Unsere symbolische Darstellung bei  $R$  soll daher einen Schiebewiderstand andeuten.) In den Stromkreis bauen wir noch ein Amperemeter zum Messen der Stromstärke  $I$  ein. Jeder Schüler weiß, daß in diesem einfachen physikalisch-technischen System das

Ohmsche Gesetz  $I = \frac{U}{R}$  gilt. Haben wir die regelbare Spannung zum Beispiel auf 10 Volt, den Schiebewiderstand auf 5 Ohm eingestellt, so muß das Amperemeter  $I = \frac{U}{R} = \frac{10}{5} = 2$  Ampere anzeigen.

Diese Rechnung stimmt natürlich nur, wenn wir jeweils die einander entsprechenden Maßeinheiten nehmen. Wir haben hier einen sehr einfachen Fall zu unserem Thema. Die Formel  $I = \frac{U}{R}$  ist ein *mathematisches Modell* des physikalischen Prozesses. Es gelten die Beziehungen, die Abb. 19b zeigt.



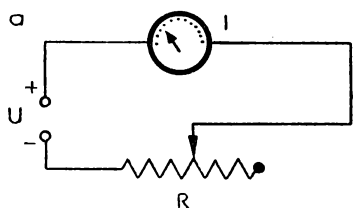
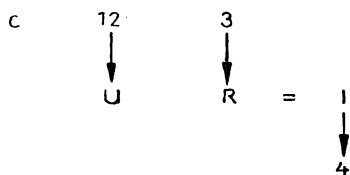
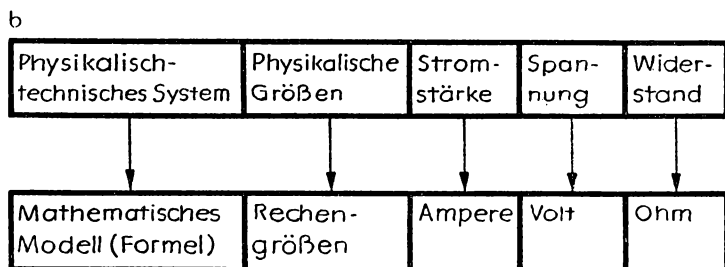


Abb. 19

a) Stromkreis mit regulierbarer Spannung  $U$

b) Beziehungen zu einem Modell

c) Der Stromkreis als „Rechenmaschine“



Umgekehrt können wir das technische System auch als physikalisch-technisches Modell der mathematischen Gleichung ansehen. Damit gewinnen wir eine „Analogierechenmaschine“ (Analogie — Entsprechung, Ähnlichkeit). Sie ist zwar insofern sehr einseitig, als wir mit ihr nur multiplizieren und dividieren können, aber die eingesetzten physikalischen Hilfsmittel sind ja auch einfach. Unser Analogierechner kann also rein technisch ohne jede Rechenarbeit eine beliebige Größe  $a$  durch irgendwelche Größen  $b$  dividieren und automatisch das richtige Resultat anzeigen. Nehmen wir an, wir sollen die Zahl 12 durch die Zahl 3 dividieren. Natürlich würden wir wegen einer derart einfachen Aufgabe keine Rechenmaschine bauen, aber wir wollen ja hier nur die Methode illustrieren. Gemäß unserem Modell gelten dann die Beziehungen, die Abbildung 19 c zeigt. Eine tech-

nische Rechnerin, die unsere Analogierechenmaschine bedient, hätte folgendes zu tun: Sie stellt die veränderliche Spannung  $U$  auf 12 ein, verändert den Schiebewiderstand  $R$  so lange, bis er die Maßzahl 3 anzeigt, und liest danach an der Skala des Amperemeters die Stromstärke  $I$  ab. Es wird sich  $I$  gleich 4 ergeben. Wir haben also das Rechnen, und zwar ein schematisches Rechnen, durch das Betätigen physikalischer Geräte und das Ablesen der Meßresultate physikalischer Prozesse ersetzt.

Unser physikalisch-technisches System und sein mathematisches Modell waren sehr einfach. Geht es aber nicht nur um die drei Größen  $U$ ,  $R$  und  $I$ , sondern um viele Größen, und geht es nicht nur um eine so einfache mathematische Beziehung wie das Ohmsche Gesetz, sondern um komplizierte Gleichungen (zum Beispiel um sogenannte „Differentialgleichungen“), dann bedeutet die „Übersetzung“ aus dem Mathematischen ins Physikalisch-Technische und umgekehrt eine große Einsparung an Arbeitszeit und Arbeitskraft, einen Gewinn an Schnelligkeit und Genauigkeit, die Möglichkeit, die Arbeit eines hochqualifizierten Mathematikers durch die Arbeit einer technischen Rechnerin zu ersetzen. In der Praxis können heute durch eine solche Analogierechenmaschine Rechenarbeiten, die früher von Dutzenden von Mathematikern in Monaten erledigt wurden, in Stunden getan werden.

Der Modellbegriff leistet aber noch viel mehr; denn wir können die bisherigen Ergebnisse auf jedes System anwenden, das die gleiche mathematische Struktur besitzt. Was damit gemeint ist, soll wieder an einem Beispiel erläutert werden. In einem Zylinder möge sich Gas befinden, das durch einen Kolben zusammengedrückt werden kann (Abb. 20a). Zwischen dem Gasdruck  $p$ , dem Gasvolumen  $V$  und der (absoluten) Temperatur  $T$  des Gases besteht dann für eine für jedes sogenannte ideale Gas charakteristische Gasmenge (das sogenannte Mol) die mathematische Beziehung  $p \cdot V = R \cdot T$ , wobei  $R$  eine physikalische Konstante, die sogenannte „universelle Gaskonstante“, ist. Der Kybernetiker sagt nun, daß dieses technische System die gleiche mathematische Struktur aufweist wie das in unserem ersten Beispiel angegebene. Um dies zu verstehen, formen wir das „mathematische Modell“ um. Da  $R$  eine Konstante ist, können wir sie zum Verschwinden bringen, wenn wir für  $T$  neue Maßzahlen wählen. Das mathematische Modell (der Physiker nennt es allge-

meine Zustandsgleichung idealer Gase) nimmt dann die Gestalt  $p \cdot V = T'$  (wobei  $T' = R \cdot T$ ) an. Hierfür läßt sich entsprechend einfachster Umformungsregeln auch  $p = \frac{T'}{V}$  schreiben. Eine Gegenüberstellung der Formeln für das einfache elektrische System mit der Gasformel (Abb. 20b) zeigt unmittelbar, was wir mit „gleicher mathematischer Struktur“ meinen.

Jetzt können wir unseren Modellbegriff noch ausbauen. Wir dürfen nämlich sagen: Das elektrische System ist ein „elektrisches Modell“ unseres Gassystems. Entsprechend gilt selbstverständlich auch: Das Gassystem ist ein „gasdynamisches Modell“ unseres elektrischen Systems. Diese Tatsache hat außerordentliche wissenschaftliche und praktische Bedeutung. Zunächst können wir mit unserer elektrischen Analogierechenmaschine die Rechnungen am Gassystem durchführen. Wir brauchen nur einen für immer gültigen Übersetzungsschlüssel für die Größen  $I, U, R$  einerseits und für die Größen  $p, T, V$  andererseits aufzustellen. Aber noch mehr! Wir können Experimente

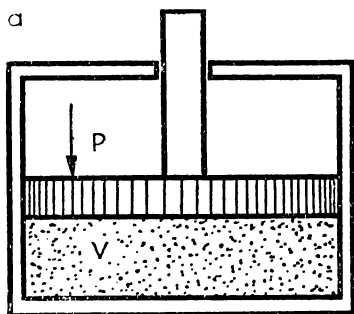


Abb. 20

- a) Gasdynamisches System  
b) Beziehungen zwischen einem elektrischen und einem Gassystem

b

Elektrisches System	Ohmsches Gesetz	Stromstärke	Spannung	Widerstand
Gas-System	Allgemeine Zustandsgleichung	Gasdruck	Gasvolumen	Absolute Temperatur

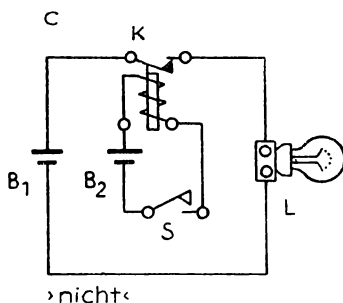
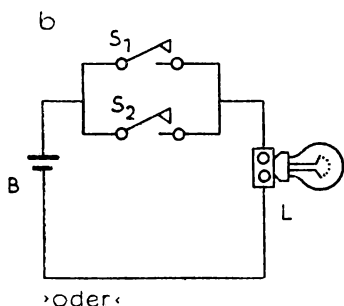
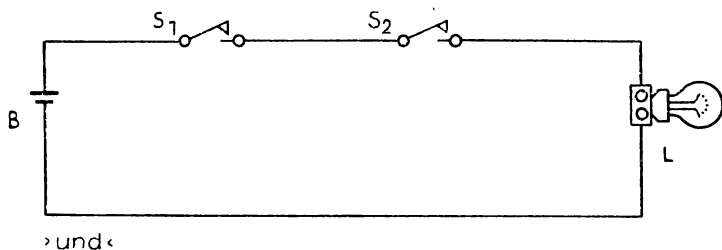
am Gassystem durch Experimente am elektrischen System ersetzen. Das kann technisch sehr wichtig sein. Elektrizität kann zum Beispiel leichter beherrscht werden als Gas. Vielleicht haben wir aber auch alle die Apparaturen, die wir für bestimmte Experimente brauchen, im Bereich der Elektrizität schon gebaut, während wir sie im Bereich der Gastechnik erst bauen müßten. Auch ist oft ein Gebiet, auf dem wir experimentieren müssen, aus irgendwelchen Gründen nicht zugänglich. Dann sind wir sehr froh, wenn wir die Vorgänge des unzugänglichen Gebiets mit einem Modell aus einem anderen, zugänglichen Gebiet nachbilden können. Aus grundsätzlichen humanitären Erwägungen ist es zum Beispiel völlig ausgeschlossen, zum Zwecke des Experiments chirurgische Veränderungen am menschlichen Gehirn vorzunehmen. Wir wissen aber heute, daß die Grundbausteine des Gehirns, die sogenannten Neuronen, sich in gewisser Weise so verhalten wie die Grundbausteine der elektronischen Rechentechnik, die Transistoren. Es konnte auch festgestellt werden, daß die mathematische Struktur der Zusammenschaltung der Neuronen zum Gesamtnervennetz des menschlichen Gehirns in mancher Hinsicht die gleiche ist wie die Schaltung bestimmter Transistorensysteme bzw. Systeme von Elektronenröhren, die wir in elektronischen Rechenmaschinen verwenden. Diese biologisch-medizinischen bzw. elektronischen Systeme und ihre mathematischen Modelle (Schaltssysteme) sind natürlich viel komplizierter als unser Beispiel. Aber die hier dargestellten grundsätzlichen Beziehungen gelten für beide Fälle. Deshalb können wir jetzt sagen, daß wir Experimente an Gehirnstrukturen in gewissem Umfang durch Experimente an elektronischen Schaltssystemen, vor allem an bestimmten elektronischen Rechenmaschinen, ersetzen können.

In unseren Tagen wird viel über die Planung und Leitung der Volkswirtschaft gesprochen. Die Art und Weise, wie die verschiedenen Zweige der Volkswirtschaft ineinandergreifen, stellt ein kompliziertes Schaltssystem dar. Dazu gibt es ein mathematisches Modell, für dessen Aufstellung die Mathematiker die sogenannte Matrizenrechnung einsetzen. Es kann durch elektronische Schaltssysteme, die die gleiche mathematische Struktur haben, modelliert werden. Auch in der Volkswirtschaft kann man auf verschiedene Weise experimentieren. Beim Abschätzen der Auswirkungen einer Industriepreisreform probieren wir nicht, indem wir diese Preise aufs Geratewohl

festsetzen, um zu sehen, was dabei herauskommt, sondern wir rechnen. Wir experimentieren am technisch-physikalischen Modell unserer Volkswirtschaft, und in Zukunft werden wir dies mit dem Fortschreiten entsprechender wissenschaftlicher Forschungen auf dem Gebiete der politischen Ökonomie, der elektronischen Rechentechnik usw. noch verstärken. So finden wir die günstigsten Lösungswege für die verwickelten Probleme der Wirtschaft.

Es ist interessant und für die moderne Automatisierung äußerst bedeutungsvoll, daß es nicht nur möglich ist, mathematische Beziehungen in Gestalt von stetigen funktionalen Zusammenhängen zu modellieren, sondern auch technische Modelle logischer Verknüpfungen zu bauen. Das ist besonders wichtig, weil es bei manchen Problemen nicht so sehr darauf ankommt, in welcher Art und Weise sich eine Größe (etwa eine elektrische Spannung) ändert, sondern darauf, ob zum Beispiel ein Sachverhalt, eine Bedingung vorhanden ist oder nicht. Ein sehr einfaches Beispiel für die Abhängigkeit einer bestimmten Handlung von der Existenz einer derartigen „logischen Bedingung“ hat der Leser bereits im Zusammenhang mit unseren Darlegungen über den algorithmentheoretischen Aspekt der Kybernetik kennengelernt. Freilich geht es häufig um viel verwickeltere logische Zusammenhänge, können diese oder jene Handlungen bzw. Situationen von zwei oder gar mehreren Bedingungen abhängig sein, und zwar dergestalt, daß eine bestimmte Situation von einer oder mehreren Kombinationen von Erfülltsein oder Nicht-erfülltsein der Bedingungen abhängt.

Wir wollen die Möglichkeit einer physikalisch-technischen Modellierung zunächst für zwei Bedingungen in einfachster Weise demonstrieren. Es sei die Aufgabe gestellt, daß eine Glühlampe nur dann aufleuchten darf (ebenso könnte es sich natürlich um die Ingangsetzung eines Motors oder dergleichen handeln), wenn zwei Sachverhalte,  $S_1$  und  $S_2$ , erfüllt sind; ist also auch nur einer nicht gegeben, darf die Lampe nicht brennen. Abb. 21 a zeigt eine elektrische Schaltung, die diesen logischen Zusammenhang imitiert. In dem von der Stromquelle B gespeisten Stromkreis flammt die Glühlampe L nur dann auf, wenn die Schalter  $S_1$  und  $S_2$  geschlossen sind. Diese elektrische Schaltung — den meisten Lesern wird sie sicherlich als „Reihenschaltung“ bekannt sein — realisiert die *logische Verknüpfung* „und“; denn L leuchtet nur auf, wenn die Schalter  $S_1$  und  $S_2$



**Abb. 21**

*Logische Verknüpfungen*

a) „und“    b) „oder“    c) „nicht“

geschlossen sind. In Abb. 21 b ist ein mögliches technisches Modell der logischen Verknüpfung „oder“ dargestellt: L flammt dann auf, wenn Schalter  $S_1$  oder Schalter  $S_2$  geschlossen ist. Abb. 21 c zeigt schließlich ein elektronisches Modell, der sogenannten „logischen Negation“; die Lampe brennt immer gerade dann, wenn der Schalter S nicht geschlossen, also offen ist, und sie brennt nicht, wenn der Schalter geschlossen ist. Dieser Zusammenhang wird dadurch realisiert, daß ein Relais mit dem Kontakt K zwischengeschaltet ist: Immer dann, wenn S geschlossen wird, öffnet sich K und umgekehrt.

Als zweites Beispiel sei die Aufgabe gestellt, eine Fahrstuhlsteuerung zu entwerfen. Der Einfachheit halber sei angenommen, daß es sich nur um zwei Etagen handelt, die mit dem Fahrstuhl verbunden werden sollen (Abb. 22). Außerdem wollen wir uns nur für die Sachverhalte interessieren, die eintreten, wenn sich die Fahrstuhlkabine abwärts bewegt. Offenbar sind zwei Fälle möglich. Wenn wir die in

Abb. 22 für die entsprechenden logischen Bedingungen bzw. Aussagen angegebenen Abkürzungen verwenden, lassen sie sich folgendermaßen darstellen ( $\sim P$  bzw.  $\sim T_F$  bezeichnen die „logische Negation“ von  $P$  bzw.  $T_F$ ):

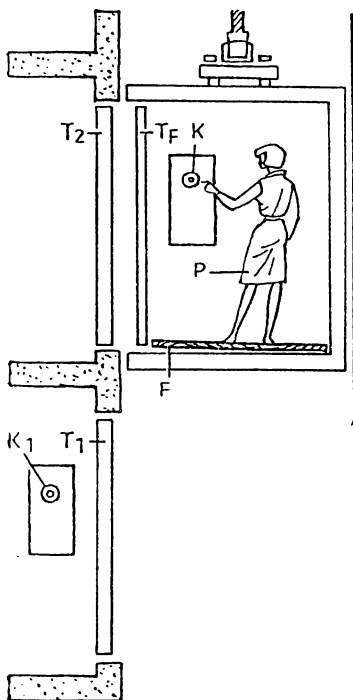


Abb. 22

*Fahrstuhlsteuerung (logische Bedingungen)*

$T_1$  Die Tür des Fahrstuhlschachtes in der ersten Etage ist geschlossen

$T_2$  Die Tür des Fahrstuhlschachtes in der zweiten Etage ist geschlossen

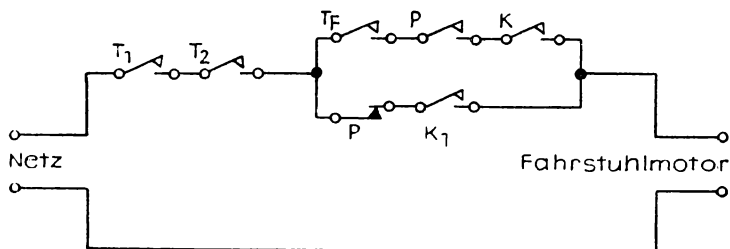
$T_F$  Die Tür der Fahrstuhlkabine ist geschlossen

$P$  In der Kabine befinden sich Personen, der Fußschalter  $F$  ist betätigt

$K$  In der Fahrstuhlkabine ist der Abwärtsknopf gedrückt

$K_1$  Der Ruftaste in der ersten Etage ist gedrückt

*Fahrstuhlsteuerung (Schaltbild)*



(1)  $T_1$  und  $T_2$  und  $T_F$  und  $P$  und  $K$

(2)  $T_1$  und  $T_2$  und  $\sim P$  und  $(T_F \text{ oder } \sim T_F)$  und  $K_1$

Da (1) oder (2) gleichermaßen Abwärtsbewegung der Fahrstuhlkabine zum Ausdruck bringen, kann man beide Ausdrücke auch in einem zusammenfassen. Wenn wir zur weiteren Abkürzung noch das Zeichen  $\wedge$  für „und“ und das Zeichen  $\vee$  für „oder“ einführen, gelangen wir zu folgender Beziehung für die Abwärtsbewegung der Fahrstuhlkabine:

$$[T_1 \wedge T_2 \wedge T_F \wedge P \wedge K] \vee [T_1 \wedge T_2 \wedge \sim P \wedge (T_F \vee \sim T_F) \wedge K_1]$$

Wir möchten dem Leser an dieser Stelle ganz nebenher verraten, daß er hiermit zugleich einige „Vokabeln“ der „Sprache“ der modernen mathematischen Logik kennengelernt hat. Nach den in dieser Wissenschaft begründeten Regeln läßt sich unser letzter Ausdruck in die folgende gleichbedeutende, aber einfachere Form bringen:

$$[T_1 \wedge T_2] \wedge [(T_F \wedge P \wedge K) \vee (\sim P \wedge K_1)]$$

Benutzen wir jetzt die dargestellten Möglichkeiten für eine elektrotechnische Modellierung der entsprechenden logischen Verknüpfungen, so können wir diesen „logischen Ausdruck“ durch die in Abb. 22 dargestellte Schaltung realisieren. Von der die logische Negation modellierenden Anordnung wurde nur der Kontakt des Relais gezeichnet, der in Abb. 21c mit  $K$  bezeichnet ist. Der Leser kann sich anhand dieses Schaltbildes leicht davon überzeugen, daß dem Motor des Fahrstuhls tatsächlich nur dann Strom zugeführt wird, wenn die den einzelnen Bedingungen entsprechenden Kontakte in Übereinstimmung mit den für die Abwärtsfahrt der Fahrstuhlkabine vorausgesetzten Verknüpfungen dieser Bedingungen betätigt werden.

Bei Erwähnung der kybernetischen Modellmethode oder der kybernetischen Modellierung denkt der Kybernetiker auch noch an etwas anderes, nämlich an eine speziellere Anwendung der von uns skizzierten allgemeinen Prinzipien. Sie besteht im Bau und im Studium des Verhaltens sogenannter „kybernetischer Tiere“. Da es sich hierbei nur um einen Sonderfall der bereits umrissenen allgemeinen Grundgedanken handelt, wollen wir darauf nur am Rande eingehen.

Zu den ersten allgemeiner bekannt gewordenen „kybernetischen Tieren“ gehören die „Schildkröten“ des Engländers *Grey Walter*. Einem dieser Modelle gab *Grey Walter* den Namen „Elsie“. „Elsie“ ist ein



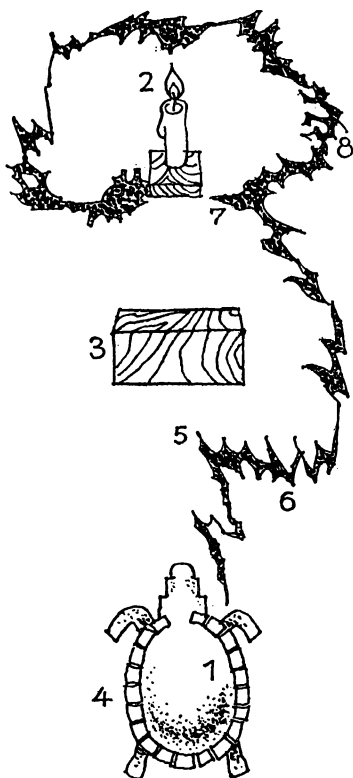


Abb. 23

Zwei Minuten aus dem Leben der (1) „Schildkröte Elsie“. Eine Kerze (2) wurde in einiger Entfernung aufgestellt. (3) Zwischen der Kerze und der Schildkröte befand sich ein Hindernis. (4) Ausgangsposition der Schildkröte, sie beginnt ihre Bewegung in Richtung auf die Lichtquelle (2). (5) Zusammenstoß mit dem Hindernis. (6) Umgehen des Hindernisses und Wiederherstellung der Bewegungsrichtung zur Lichtquelle. (7) Die Schildkröte kam zufällig sehr nahe an die Kerze heran, das Licht war ziemlich stark, (8) die Schildkröte war gezwungen, zurückzuweichen, sie umging die Kerze.

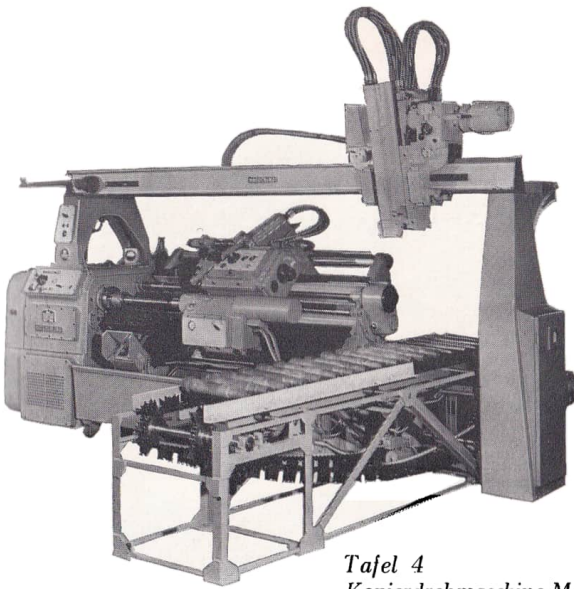
kleiner Wagen mit Rädchen, die von zwei Elektromotoren geringer Größe angetrieben werden. Der eine Motor dreht die Räder und bewegt damit die Schildkröte fort, der andere bewegt die Steuerungseinrichtung. Auf dem kleinen Wagen befinden sich außer den Energiequellen Fotoelemente, „Fühler“, die einen elektrischen Kontakt bei der Berührung mit einem Hindernis herstellen, eine Reihe von Relais und einige weitere elektronische Bauelemente. Im Dunkeln oder bei schwacher Beleuchtung vollführt „Elsie“ zufällige Bewegungen, als würde sie etwas suchen. Stößt sie auf ein Hindernis, biegt sie ab und versucht, es zu umgehen. Ist eine genügend starke Lichtquelle vorhanden, „bemerkt Elsie“ sie schnell und bewegt sich zielstrebig auf sie zu. Bei biologischen Systemen spricht man in solchen Fällen von einem „positiven Fototropismus“. Wenn sie jedoch

dem Lichte zu nahe ist, wendet sie sich von ihm ab („negativer Fototropismus“). Sie bewegt sich dann um die Lichtquelle herum, bis sie „optimale Bedingungen“ für sich gefunden hat, die sie dann ständig beibehält. Abb. 23 vermittelt eine Vorstellung von der Bewegungsweise der Schildkröte „Elsie“. Läßt man zwei derartige „Schildkröten“ einander „begegnen“, so kann man noch andere hübsche Erscheinungen beobachten: Sie „sehen“ und „erkennen“ einander und kriechen aufeinander zu. Derartiges „kybernetisches Spielzeug“ stellt aber nicht nur einen amüsanten Spaß dar, sondern ist in mehrfacher Weise äußerst lehrreich. Die auf einfacher technischer Grundlage erzeugte Imitation bestimmten elementaren tierischen Verhaltens kann wichtige Rückschlüsse auf den analogen Wirkungsmechanismus im entsprechenden organischen System gestatten. Darüber hinaus können Experimente mit solchen kybernetischen Tieren auch Grundeinsichten für den Bau moderner und vielseitiger Automaten vermitteln.

### *Probieren und Studieren*

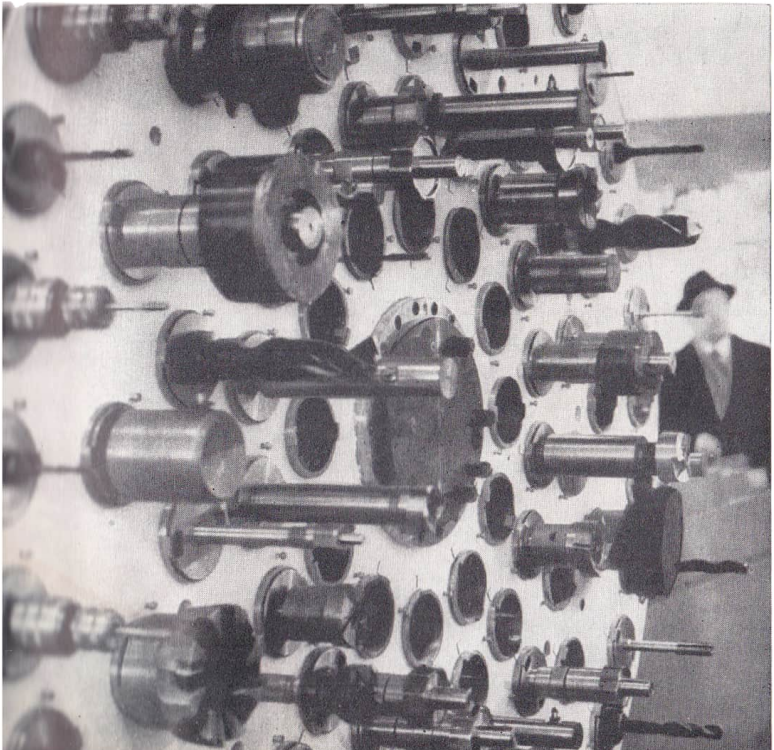
Wenn ein Gegenstand in einem völlig dunklen Raum zu Boden fällt, finden wir ihn mehr oder weniger leicht, wenn wir die Möglichkeit haben, irgendwie Licht herbeizuschaffen oder, falls dies ausgeschlossen ist, wenigstens aus dem Geräusch des Aufschlagens einigermaßen zuverlässig die ungefähre Stelle des Niedergehens zu ermitteln. In diesen Fällen können wir *systematisch* suchen. Bestehen jedoch keinerlei Anhaltspunkte für die genaue oder wenigstens die ungefähre Lage des Gegenstandes auf dem Fußboden, so bleibt uns weiter nichts übrig, als *willkürlich* bzw. *zufällig* von einem Ort zum anderen zu tasten, so lange, bis wir den Gegenstand gefunden haben. Ein derartiges Vorgehen bezeichnet man in der Kybernetik als *Methode von Versuch und Irrtum*. Sie ist außerordentlich allgemein und charakterisiert sehr oft bestimmte Seiten des Verhaltens kybernetischer Systeme.

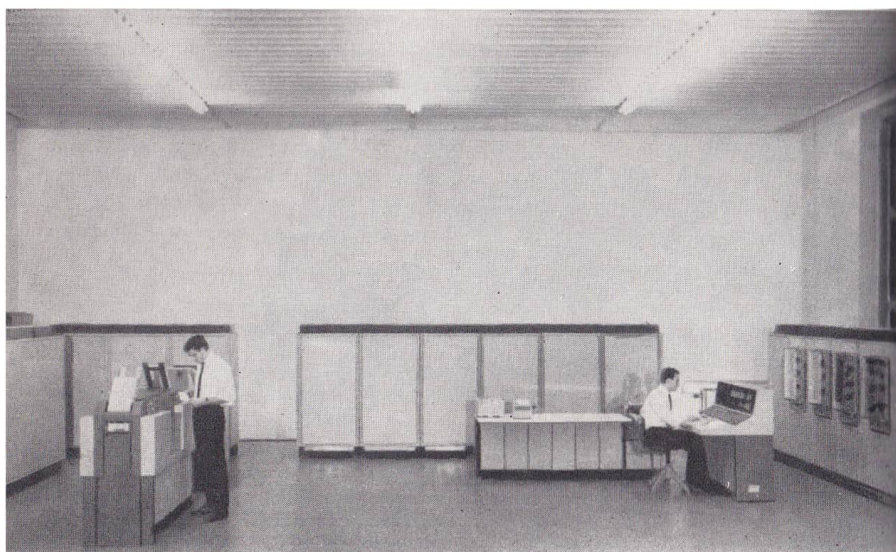
Derartiges Versuch-und-Irrtum-Verhalten ist zum Beispiel bei den verschiedensten organischen Strukturen, bei Organismen zu beobachten. Wir wissen aus zahlreichen Experimenten von Tierpsychologen und Physiologen, daß sich Ratten und Mäuse im wesent-



*Tafel 4*  
Kopierdrehmaschine MAGKOMAT

*Tafel 5*  
Speicher für 138 Werkzeuge eines numerisch gesteuerten  
Bearbeitungszentrums





*Tafel 6*  
*Elektronische Datenverarbeitungsanlage Robotron 300*

lichen entsprechend dieser Methoden verhalten, wenn man sie in ein Labyrinth sperrt, das heißt also in ein System von vielfach verzweigten Gängen, die zum Teil wieder auf sich selbst zurückführen können und bei denen es gewöhnlich nur einen einzigen Weg zum Ziel, z. B. zu einem Stück Speck oder zum Ausgang, gibt. Die Tiere laufen zunächst willkürlich irgendeinen Weg entlang und verfolgen ihn, soweit es möglich ist. Gelangen sie nicht zum Ziel, versuchen sie es mit irgendeinem anderen Weg. Ein Mensch könnte sich übrigens in einem solchen Falle auch nicht anders verhalten, wenn er nicht schon von vornherein irgendeine Angabe über die Struktur des Labyrinths erhalten hätte. Ratten und Mäuse bringt der Hunger dazu, so lange nach der Methode von „Versuch und Irrtum“ umherzulaufen, bis sie den Speck oder den Ausweg des Labyrinths gefunden haben.

Werden diese Experimente mit denselben Tieren und in demselben Labyrinth öfter wiederholt, so zeigt sich eine bemerkenswerte Erscheinung. Die Zeit, die die Tiere brauchen, um bei nacheinander ausgeführten Experimenten den Ausgang oder den Speck im Labyrinth zu finden, verringert sich gewöhnlich gesetzmäßig. Daraus kann man auf einen Lernvorgang schließen, der sich im Gehirn der Tiere vollzieht. Die Resultate der einzelnen Versuche, den richtigen Weg zu finden, werden im Gehirn der Ratten und Mäuse dergestalt registriert, daß die erfolgreich gewesenen Wege festgehalten, durch öfter wiederholte Experimente gefestigt, die anderen Wege als in die Irre gehende Wege vermerkt und dementsprechend künftig mehr und mehr vermieden werden. Wir haben hier ein interessantes Beispiel dafür vorliegen, wie die Methode von Versuch und Irrtum die „Erfahrung“ eines kybernetischen Systems bereichern kann.

Die erwähnten Versuche mit Ratten und Mäusen wurden schon zu Zeiten durchgeführt, als von der Kybernetik noch gar keine Rede war. Wichtig ist für uns die Tatsache, daß das Verhalten von Ratten und Mäusen im Labyrinth imitiert, das heißt technisch nachgeahmt und damit nach der Methode von Versuch und Irrtum modelliert werden konnte. Ein erstes Gerät dieser Art, eine „künstliche Maus“, konstruierte der amerikanische Mathematiker und Nachrichtentheoretiker *Claude Shannon*. Die „Maus“, von ihrem Schöpfer nach dem altgriechischen Helden *Theseus* benannt, ist ein sehr einfaches Gebilde. Ein einige Zentimeter langes Stück Stahl bewegt sich auf

Rädern. Alles übrige — Augen, Ohren und ein Schwänzchen — sind bloße Attrappe. Die Maus kriecht auf einer quadratischen Tafel, die wiederum in 25 gleichartige Quadrate eingeteilt ist. Die Bewegung der Maus bewirkt ein Magnet, der sich unter der Tafel befindet und von einem entsprechenden Führungsmechanismus gesteuert wird. Dieser Mechanismus ist gewissermaßen das „Gehirn“ der Maus. Er besteht aus 50 Relais, wie sie in Telefonzentralen verwendet werden, die in sinnreicher Weise zu einer Rechenapparatur zusammengeschaltet sind und die einen kleinen Motor, der den Führungsmechanismus

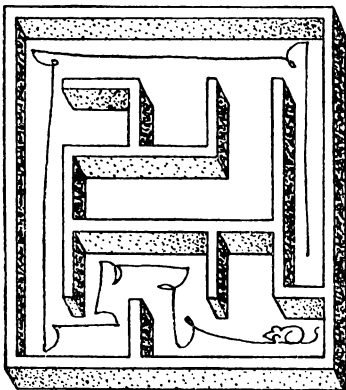
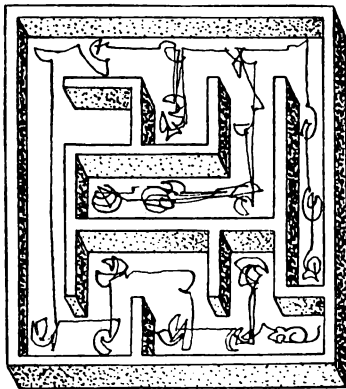


Abb. 24  
Weg der Maus „Theseus“ im  
Labyrinth

- a) der erste Versuch (die Maus läuft aufs Geratewohl umher)
- b) der zweite Versuch (die Maus findet sofort den kürzesten Weg zum Ziel)

nismus antreibt, steuern. Das Labyrinth entsteht dadurch, daß an den Grenzen der Quadrate Zwischenwände in willkürlicher Anordnung aufgebaut werden. In einem beliebigen Quadrat liegt der „Speck“, realisiert durch einen Schalter. Dieser schließt sich, sobald die „Maus“ das Ziel erreicht hat. Abb. 24 zeigt die künstliche Maus „Theseus“ im Labyrinth.

Der Mechanismus arbeitet ähnlich wie der analoge Mechanismus bei „richtigen“ Mäusen. Zunächst läßt er die Maus sich aufs Geratewohl bewegen. Stößt sie an eine Wand, so sorgt der Mechanismus dafür, daß sie sich um 90 Grad entweder nach rechts oder nach links dreht und dann sich weiterzubewegen versucht. Mißlingt dies, stößt sie also wieder an eine Wand, wird erneut eine zufällige Drehung um 90 Grad nach rechts oder links erfolgen und ein weiterer Versuch, zum Ziel zu kommen, unternommen — bis es gelingt. Auf diese Weise gelangt die Maus von einem Quadrat zum anderen, um nach einer mehr oder weniger langen Zeit schließlich den „Speck“ zu erreichen. Setzen wir die Maus ein zweites Mal in dasselbe Ausgangs-quadrat, so können wir etwas ganz Eigenartiges beobachten: Ohne Umweg bewegt sich die Maus auf dem kürzesten Weg durch das Labyrinth zum „Speck“.

Wie ist das zu erklären? Nun, wir können hier nicht auf alle Einzelheiten der Konstruktion des Shannonschen Apparates eingehen. Der Mechanismus ist aber im Prinzip höchst einfach. Jedesmal, wenn die Maus bei ihrem erstmaligen Weg durch das Labyrinth auf eine Wand stößt, signalisiert dies ein spezielles Gerät an das Gedächtnis des Mechanismus, das die Gestalt der 50 Telefonrelais hat. Etwas Ähnliches geschieht, wenn die Maus zufällig freien Weg hat. Auf diese Weise der Registrierung von Erfolg und Nichterfolg — Ergebnis der Anwendung der Methode von Versuch und Irrtum — wird ein Teil der Struktur des Labyrinths im Gedächtnis der künstlichen Maus gespeichert. Diese „Kenntnis“ aber wird beim zweiten Weg durch das Labyrinth benutzt.

Der Leser kann inzwischen den Eindruck gewonnen haben, daß ein Verhalten nach der Methode von Versuch und Irrtum außerordentlich primitiv sei. Dies wäre aber nur die halbe Wahrheit. Zwar ist es richtig, daß wir die Versuch-und-Irrtum-Methode als Menschen nur in Ausnahmefällen „rein“ anwenden. Trotzdem ist sie aber in gewissem Sinne fundamental, und zwar insofern, als alle höheren

Formen des Verhaltens auf ihr aufbauen. So hat zum Beispiel die Erfahrung, die wir bei der Analyse eines „Schwarzen Kastens“ zur Verfügung haben, die Gestalt eines „inneren Modells der Außenwelt“. Seine Bildung und Vervollkommnung erfolgt letztlich stets auf der Grundlage der Versuch-und-Irrtum-Methode. Entsprechend den Erfolgen oder Mißerfolgen unserer Handlungen wird dieses Modell fortgesetzt verbessert. Soweit aber unser Handeln in bezug auf die in die Umwelt gerichteten Handlungen nicht unmittelbar auf der Grundlage der Versuch-und-Irrtum-Methode erfolgt, geschieht Entsprechendes mittels unseres inneren Modells der Umwelt. Die meisten unserer Handlungen werden als die günstigsten bewußt oder unbewußt durch entsprechende „Experimente“ am inneren Modell der Außenwelt ausgewählt.

Wir gelangen zu dem Resultat, daß Versuch-und-Irrtum-Verhalten und zielstrebiges Verhalten eng miteinander zusammenhängen. Alle Systeme, die wir aus dem Bereich der lebenden Organismen kennen und die sich zielstrebig verhalten, sind durch die Wirksamkeit der Versuch-und-Irrtum-Methode aufgebaut worden. Philosophisch gesehen, liegt hier ein Spezialfall des Wechselverhältnisses von Zufall und Notwendigkeit vor.

Es würde im Rahmen dieser elementaren Einführung zu weit führen, auf die verzweigte Problematik einzugehen, die von der kybernetischen Methode von Versuch und Irrtum aufgeworfen wird. Vor allem ist es hier nicht möglich, die tatsächlich sehr allgemeine Bedeutung und umfassende Wirksamkeit dieser Methode zu zeigen. Sie erstreckt sich von den primitivsten lebenden Organismen bis zu den höchsten Formen des menschlichen schöpferischen Denkens. Mit Rücksicht auf die noch folgenden Abschnitte dieses Buches sei aber noch erwähnt, daß die Experimente mit der Shannonschen Maus nicht nur dem allgemeinen Verständnis tierischen Verhaltens im Labyrinth dienen, sondern zugleich auch über eine praktische technische Bedeutung verfügen, die den eigentlichen Anstoß zu dieser Imitation tierischen Verhaltens gegeben hatte. Sie besteht darin, ein System der Schaltung von Telefonverbindungen zu schaffen, das automatisch die kürzesten Verknüpfungswege mit dem geringsten möglichen Aufwand auswählt. Damit können nicht nur Mittel eingespart, sondern vor allem kann ein vorhandenes Telefonnetz maximal ausgenutzt werden, das heißt, es wird ein Maximum an



Gesprächen gleichzeitig möglich. In allen großen Städten wirkt die starke Belastung des Telefonnetzes schon heute zahlreiche Probleme auf, die sich mit der fortwährend anwachsenden Zahl dieser Nachrichtenverbindungen in der nächsten Zukunft noch wesentlich vermehren werden.

Darüber hinaus hat das Shannonsche Gerät selbstverständlich auch noch für andere technische Neuerungen große Bedeutung. Die Imitation des Versuch-und-Irrtum-Verhaltens erlaubt die Konstruktion automatischer Systeme, die wir bisher kaum kennen, ja nicht einmal für möglich gehalten hätten.

## Moderne Automatisierung

Gegenwärtig ist im Zusammenhang mit den Aufgaben, die uns von der technischen Revolution gestellt werden, sehr viel von Automatisierung die Rede. Sie ist allerdings nicht nur eine Aufgabenstellung, sondern als eine allgemeine Entwicklungstendenz der modernen Technik tatsächlich nachweisbar.

Was heißt aber „Automatisierung“ eigentlich? Zunächst könnte man auf diese Frage einfach antworten: „Automatisierung heißt, Automaten, technische automatische Geräte aufzustellen, sie zu verwenden.“ Was aber ist ein „Automat“? Richten wir unsere Aufmerksamkeit zunächst auf die Geräte, die wir gewöhnlich als Automaten bezeichnen: Zigarettenautomaten, Automaten für Gepäckaufbewahrung, Flaschenfüllautomaten, automatische Werkzeugmaschinen, Rechenautomaten usw. Alle derartigen technischen Geräte weisen einige Besonderheiten auf, die sie von anderen technischen Geräten unterscheiden: Immer dient ein Automat dem Ersatz bestimmter menschlicher Tätigkeit. Er ist eine Einrichtung, die zwar vom Menschen konstruiert und von ihm gebaut wird, die aber nicht seinen ständigen und unmittelbaren Eingriff verlangt. Mindestens über längere Zeit läuft der Automat selbständig und reagiert auf „äußere Einwirkungen“ entsprechend dem Zweck, für den er gebaut ist. Der Zigarettenautomat wirft eine Schachtel aus, wenn wir die entsprechende Münze eingeworfen haben; beim Flaschenfüllautomaten wird stets die gleiche Menge Flüssigkeit ausgestoßen, sobald die

Flasche auf den vorgesehenen Platz gerückt ist; ein Rechenautomat liefert nach Eingabe entsprechender Zahlen und eines sogenannten „Programms“ die Resultate einer mehr oder weniger komplizierten Rechnung usw. Hierbei ist noch folgendes bemerkenswert. Schon lange vor der Entdeckung der Kybernetik ist es üblich und möglich, *körperliche* Tätigkeiten des Menschen durch technische Gerätschaften, durch Maschinen zu ersetzen. Heute wird aber in zunehmendem Maße auch die *geistige* Tätigkeit, insbesondere gleichförmige, mechanische geistige Arbeit ersetzt. Möglich wird dies vor allem durch die kybernetische Technik.

Eine weitere Besonderheit von automatischen Einrichtungen besteht darin, daß sie auf sehr verschiedenen Ebenen der menschlichen Tätigkeit verwendet werden können, in der Produktion ebenso wie im Handel, für Aufgaben der Dienstleistung oder im Rahmen der Verwaltungstätigkeit. Wenn wir „Automatisierung“ hören, denken wir zwar zumeist an die Automatisierung der materiellen Produktion, dürfen dabei aber nicht vergessen, daß die prinzipielle Möglichkeit und auch die Notwendigkeit einer Automatisierung ebenso für zahlreiche Gebiete menschlicher Tätigkeit außerhalb der materiellen Produktion besteht. Diese Tatsache ist sehr wichtig für das Verständnis der allumfassenden Aufgaben auf dem Gebiete der Automatisierung, die im Rahmen der technischen Revolution unseres Jahrhunderts bestehen.

Schließlich möchten wir noch erwähnen, daß es verschiedene Stufen der Automatisierung gibt. Man unterscheidet zum Beispiel nach dem Ausmaß, in dem menschliche Tätigkeit ersetzt wird. Es können etwa einzelne Phasen eines Produktionsprozesses automatisiert sein, während die übrigen Phasen nach wie vor den unmittelbaren Eingriff des Menschen verlangen. Dementsprechend unterscheidet man zwischen teil- oder halbautomatisierten und vollautomatisierten Anlagen. Andere mögliche Unterscheidungsmerkmale sind der Grad der Zuverlässigkeit des automatischen Systems und die mehr oder weniger große Universalität in der Einsetzbarkeit für verschiedene Tätigkeiten. Derartige Stufen der Automatisierung sind durch den allgemeinen Stand der Entwicklung der Produktivkräfte und insbesondere der Technik bedingt und bringen daher im wesentlichen die historische Entwicklung der Technik zum Ausdruck. Sie werden wie die Entwicklung des Automatisierungsprozesses überhaupt, aber

auch wesentlich von den jeweiligen gesellschaftlichen Verhältnissen, unter denen die Automatisierung vor sich geht, beeinflußt.

Unsere bisherigen Überlegungen zum Begriff des Automaten und dem der Automatisierung zusammenfassend, können wir sagen: Ein *Automat* ist ein künstliches dynamisches System, das ohne unmittelbaren Eingriff des Menschen arbeitet. Solche Anlagen können den Menschen teilweise oder völlig von der körperlichen Arbeit befreien und vermögen, einige Arten seiner geistigen Arbeit zu übernehmen. Unter *Automatisierung* versteht man den historischen gesellschaftlichen Prozeß, in dem derartige künstliche Systeme in die verschiedensten Bereiche des gesellschaftlichen Lebens, vor allem aber auf den verschiedenen Gebieten der Volkswirtschaft eingeführt werden. Dieser Prozeß, der bereits seit mehreren Jahrzehnten anhält, ist durch die Entstehung der Kybernetik in ein neues, höheres Stadium eingetreten.

### *Maschinen und Automaten*

Manchmal wird moderne Automatisierung mit Anwendung der Kybernetik in der Technik gleichgesetzt. Das ist nicht richtig, und zwar schon deshalb nicht, weil die Automatisierung nicht allein eine Frage der Konstruktion der Automaten ist, sondern weil für den Bau automatischer Aggregate vielerlei wissenschaftliche und wissenschaftlich-technische Untersuchungen im Bereich der Physik, der Chemie und in anderen Naturwissenschaften erforderlich sind. Außer der theoretischen Forschung und der Arbeit in den sogenannten experimentellen Naturwissenschaften sind entsprechende Voraussetzungen in der Bauelemente-Industrie zu schaffen, ferner müssen ständig neuartige Bauelemente entwickelt werden. Darüber hinaus sind auch ohne die Anwendung kybernetischer Grundgedanken, z. B. ohne Ausnutzung des Rückkopplungsprinzips, Automaten möglich. Denken wir an einen Zigarettenautomaten, der uns für eine Mark eine Zehnerpackung Zigaretten auswirft. Er ist ein höchst mechanisches Gebilde, das lediglich nach einem einzigen, von vornherein festliegenden „Programm“ arbeitet. Rückkopplungen treten hier nicht auf; sie sind freilich auch gar nicht erforderlich. Um einen solchen Automaten zu bauen, den man als Ersatz für die Tätigkeit eines

Verkäufer ansehen kann, braucht man keine kybernetischen Prinzipien anzuwenden. Wir müssen daher zwei Hauptformen der Automatisierung unterscheiden, die wir *nicht- oder vorkybernetische Automatisierung* und *kybernetische Automatisierung* nennen wollen.

In der vorkybernetischen Phase der Automatisierung haben wir es mit relativ starren Systemen zu tun, in denen Rückkopplungen oder andere spezifische Merkmale kybernetischer Systeme, wie wir sie in diesem Buche kennengelernt haben, im wesentlichen nicht auftreten. Beide Formen der Automatisierung kommen freilich nicht in „chemischer Reinheit“ vor. Auch bei der modernen Automatisierung und in den automatischen Anlagen der Zukunft werden sie mindestens noch längere Zeit nebeneinander bestehen. Außerdem sind in ein und derselben Anlage in der Regel nichtkybernetische und kybernetische Elemente gleichzeitig vorhanden. Im übrigen treten einzelne Merkmale der kybernetischen Automatisierungsphase schon verhältnismäßig früh in der geschichtlichen Entwicklung der Technik auf. So erfand der russische Mechaniker *Polsunow* im Jahre 1765 einen Regler zur Konstanthaltung des Wasserstandes im Kessel einer Dampfmaschine, dessen Funktion, von der heutigen Warte aus ge-

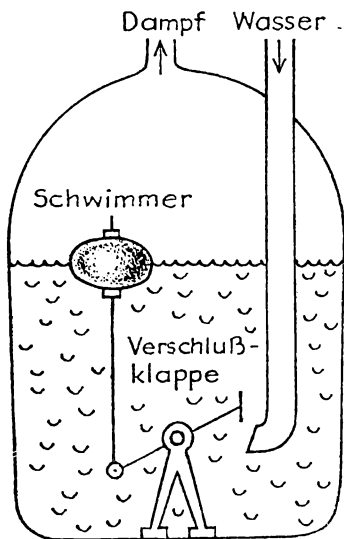


Abb. 25  
Polsunowscher Schwimmerregler

sehen, auf der Anwendung des kybernetischen Rückkopplungsprinzips beruht (Abb. 25). Ein Schwimmer, der durch ein Gestänge mit einer Verschlussklappe verbunden ist, wird durch ins Innere des Dampfkessels einströmendes Wasser solange in die Höhe gehoben, bis die Klappe das Zuleitungsrohr abschließt.

Als weiteres Beispiel erwähnen wir noch den von *James Watt* im Jahre 1785 erfundenen Fliehkraftreglers zur Regelung der Umlaufgeschwindigkeit von Dampfmaschinenwellen (Abb. 26). Eine derartige Regelung ist notwendig, um die Umlaufgeschwindigkeit trotz schwankender Belastung der Dampfmaschine konstant halten zu können. Auch in diesem Falle wird das Rückkopplungsprinzip ausgenutzt. An einer Welle, der sogenannten Reglerwelle, die über entsprechende Übersetzungen mit der Antriebswelle der Dampfmaschine in Verbindung steht, sind zwei Pendelarme mit Gewichten angehängt. Wird die Drehzahl zu groß, bewegen sich die Gewichte infolge der Fliehkraft nach oben und verstellen einen Schieber, der die Dampzufuhr verringert. Ist umgekehrt die Drehzahl zu klein geworden, sinken die Gewichte nach unten und öffnen den Schieber.

Zwischen der Erfindung der genannten und einer Reihe ähnlicher kybernetischer Geräte und der modernen Automatisierung liegt allerdings eine ganze Epoche naturwissenschaftlicher Forschung und technischer Entwicklung, auf die wir nicht näher eingehen können. Statt dessen wollen wir jetzt die von uns genannten beiden Hauptformen der modernen Automatisierung näher charakterisieren. Ein

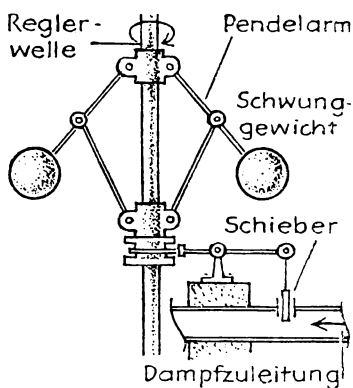


Abb. 26  
Watt'scher Fliehkraftregler

Beispiel für eine moderne nichtkybernetische Automatisierung ist die einfache *Takt- oder Transferstraße*. Irgendein Erzeugnis durchläuft bei seiner Fertigung eine Reihe von Maschinen, von denen jede auf eine oder höchstens einige wenige Tätigkeiten spezialisiert ist (Tafel 1). Diese Form der Automatisierung ersetzt gleichsam die vor der Automatisierung bestandene Arbeitsteilung unter den Arbeitern durch die Arbeitsteilung zwischen einzelnen Maschinen, deren jede einen bestimmten „Arbeitstakt“ ausführt.

Es ist ohne weiteres verständlich, daß die Form der Automatisierung nur dort sinnvoll ist, wo es sich um Massenproduktion handelt. Denn die einzelnen Spezialmaschinen und Aggregate sind naturgemäß teuer, und die Anlage wird sich nur dann rentieren, wenn ein und derselbe Gegenstand in sehr großen Mengen und vielleicht über Jahre hinweg produziert werden kann. Die Einrichtung ganzer automatischer Werke auf dieser Basis hat daher ihre besondere Problematik, die vor allem darin besteht, daß die Anlage ihrer Natur nach starr, unbeweglich ist. Hier gilt auf der Ebene der automatischen Maschinen gleichsam dasselbe, was uns aus der Entwicklung der lebenden Organismen recht gut bekannt ist: Je spezialisierter Lebewesen sind, desto geringer sind ihre Aussichten, sich bei einem Wechsel der Umweltbedingungen zu erhalten. Aus diesem Umstand erklärt sich zum Beispiel die Tatsache, daß viele Tiere im Laufe der Entwicklungsgeschichte der Arten ausgestorben sind. Eine einseitige Spezialisierung hat zugleich mangelhafte Anpassungsfähigkeit an mögliche Veränderungen der Verhältnisse zur Folge. Auf die Industrie übertragen heißt das: Vollautomatische Fabriken, die aus Teilaggregaten bestehen, von denen jedes auf eine ganz bestimmte spezifische Art der Produktion spezialisiert ist, werden wertlos, wenn zum Beispiel irgendwelche ökonomischen oder auch nichtökonomischen Bedingungen eine wesentliche Änderung der Produktion verlangen. Wollte man auf dieser Grundlage die Fertigung von Damenmänteln automatisieren, so wäre unter Umständen die ganze Anlage mit einer Veränderung der Mode wertlos. In dieser Weise wird demzufolge nur dann automatisiert, wenn tatsächlich nach Menge und Zeit eine konstant bleibende Massenproduktion gesichert ist.

Nun ist leider noch sehr stark die Meinung verbreitet, daß diese Art der Automatisierung die einzig mögliche ist und daß Automatisierung mit Massenproduktion und damit auch mit verschiedenen nach-

teiligen Auswirkungen auf den Produktionsgegenstand untrennbar verbunden sei. Hierher gehört auch die Vorstellung, daß Massenproduktion von Gütern für den persönlichen Bedarf zugleich „Uniformierung“ oder „Unterdrückung der Individualität“ bedeute.

Alle derartigen Ansichten werden von den Möglichkeiten der kybernetischen Form der Automatisierung entkräftet. Wir hatten schon darauf hingewiesen, daß auch sie eine Geschichte hat und das Elemente kybernetischer Automatisierung schon früh in der Geschichte der Technik aufgetreten sind. Ungeachtet dessen sind jedoch mit der umfassenden Ausnutzung kybernetischer Prinzipien radikale Änderungen im Wesen der modernen Automatisierung verbunden. Als Hauptkennzeichen kann die *Anpassungsfähigkeit* der eingesetzten Aggregate angesehen werden. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit, eine Automatisierung auch dann durchzuführen, wenn einzelne Werkstücke oder auch zusammengesetzte Geräte in kleineren Stückzahlen herzustellen sind. Es ist völlig klar, daß man für eine Serie von vielleicht 10 oder 100 Geräten keine Taktstraße vorkybernetischer Konstruktion mit vielleicht 200 Spezialmaschinen und -aggregaten bauen kann. Das wäre unökonomisch im höchsten Grade!

Soweit es die ausführenden Organe betrifft, existieren bereits einzelne Baugruppen für die kybernetische Form der Automatisierung, und zwar in Gestalt von Maschinen wie der Allzweck-Drehmaschinen, der Universal-Fräsmaschinen oder — auf einer höheren Stufe — der programmgesteuerten Werkzeugmaschinen (Tafel 3 und 4). Sie können zusammengesetzt und durch eine elektronische Zentrale automatisch gesteuert werden. Auf diese Weise wird auch in Werken, die eine Vielzahl von Typen mit kleiner Stückzahl herzustellen haben, Automatisierung in umfassender Form durchführbar.

Wir haben damit bereits ein weiteres wesentliches Kennzeichen der kybernetischen Form der Automatisierung berührt. In einem technischen System von der Komplexität eines ganzen Betriebes sind nicht nur Regelungsvorgänge zu beherrschen, wie wir sie früher in der Gestalt der Festwert-, Programm- und Nachlaufregelung kennengelernt hatten. Einigermaßen komplizierte technologische Prozesse verlangen vielmehr Instanzen, die *logische* Entscheidungen treffen und Handlungen veranlassen, die nicht allein durch die drei genannten Arten der Regelung — die man als die klassischen Lösungen für Regelungsprobleme ansehen kann — ausgeführt werden können.

Gegenwärtig ist der Dispatcher des Betriebes, also ein Mensch, eine solche Instanz, der die einzelnen automatisierten Abschnitte, die dabei durchaus im wesentlichen nichtkybernetisch automatisiert sein können, einander anpaßt, optimale Einstellungen von Regelsystemen vornimmt und auf der Grundlage einer meist langjährigen Arbeitserfahrung eine ganze Reihe weiterer Entscheidungen trifft.

Wir wissen bereits aus unseren Darlegungen im Abschnitt über die Modellmethode, wie logische Verknüpfungen prinzipiell technisch imitiert werden können. Im Grunde genommen führt freilich auch jeder beliebige Festwertregler schon eine einfache logische Operation aus. Denn er wirkt nach der einen *oder* anderen Seite hin, je nach der Abweichung der zu regelnden Größe nach „unten“ oder „oben“. Die moderne Technik und die Kybernetik ermöglichen es aber, Schaltsysteme zu konstruieren, die weit kompliziertere logische Ope-

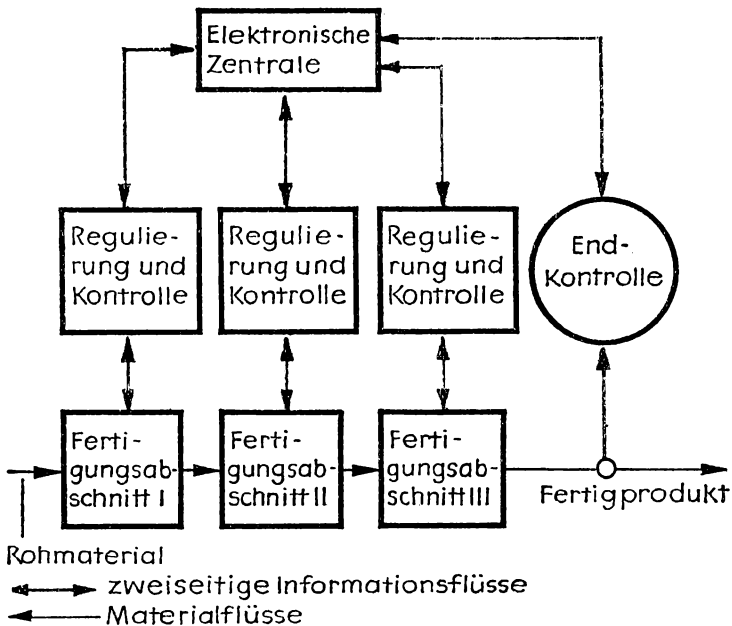


Abb. 27

Prinzip einer kybernetischen Komplexautomatisierung



rationen ausführen und logische Verknüpfungen der vielfältigsten Art realisieren. Sie sind in der Lage, Entscheidungen zu treffen, die denen eines erfahrenen menschlichen Dispatchers nicht nur ebenbürtig sind, sondern diese sogar hinsichtlich Genauigkeit, Schnelligkeit und Zuverlässigkeit übertreffen können. Damit ist die reale Möglichkeit einer sogenannten *Komplexautomatisierung* gegeben (Abb. 27). Diese Entwicklungsstufe des Automatisierungsprozesses, die im wesentlichen erst in der nächsten Zukunft beginnen wird, ist das Hauptanwendungsgebiet der Kybernetik im Bereich der modernen Technik.

Der Mensch im weißen Berufsmantel, der in einer zentralen Schaltwarte am Schreibtisch im Mittelpunkt eines Arbeitsraumes sitzt, dessen Wände Hunderte von Anzeigegeräten, Schalthebeln, Druckknöpfen und farbigen Lämpchen tragen, der in blendender Helligkeit erstrahlt und in dem nichts zu hören ist als das Summen der Geräte und das Ticken einer großen Normaluhr, ist nicht das Idealbild kybernetischer Automatisierung! Zwar sind wir mit Recht auf derartige Einrichtungen stolz, denn sie stellen gegenwärtig die höchste Form in der Entwicklung nicht- bzw. teilkybernetischer Automatisierung dar (Tafel 2). Aber sie bilden dennoch nur eine Vorstufe für die kybernetische komplexe Automatisierung. Mit ihrer Herausbildung und Entwicklung werden die jeweiligen Schaltzentralen allmählich mit immer weniger Anzeigegeräten und Schal-



Abb. 28  
einfaches Werkzeug

tern ausgestattet sein, um schließlich in der bisherigen Form gänzlich zu verschwinden. In manchen Bereichen der Volkswirtschaft wird das ganze Inventar der Schaltwarte dann vielleicht lediglich noch in einer Lampe bestehen, die grün leuchtet, wenn das betreffende Werk in Betrieb ist, und die ein rotes Signal gibt, wenn irgend etwas nicht in Ordnung ist und die Störung von den selbstregenerierenden Aggregaten, die entsprechend dem jeweils erreichten Entwicklungsstand von Wissenschaft und Technik im kybernetischen System des Werkes eingebaut wurden, nicht beseitigt werden kann. Dies alles ist aber erst möglich, wenn an die Stelle des menschlichen Dispatchers die kybernetische Steuerzentrale von genügend hoher Komplexität tritt.

Wenn wir von dieser Warte aus die geschichtliche Entwicklung der Technik überblicken, können wir fünf „Gerätschaften“ hervorheben, die jeweils entsprechende Entwicklungsstufen der Technik kennzeichnen. Zuerst baute und gebrauchte der Mensch *Werkzeuge* (Abb. 28). Am Anfang waren es ein roher oder entsprechend bearbeiteter Stein oder ein Stück Holz, mit denen irgendwelche Gegenstände bearbeitet werden konnten. Im Verlaufe eines sehr langen Entwicklungsprozesses nahmen die Werkzeuge immer kompliziertere Formen an. Aus einer bestimmten Stufe erhielten sie die Gestalt von *Mechanismen* (Abb. 29), die den Übergang zu einer neuen wesent-

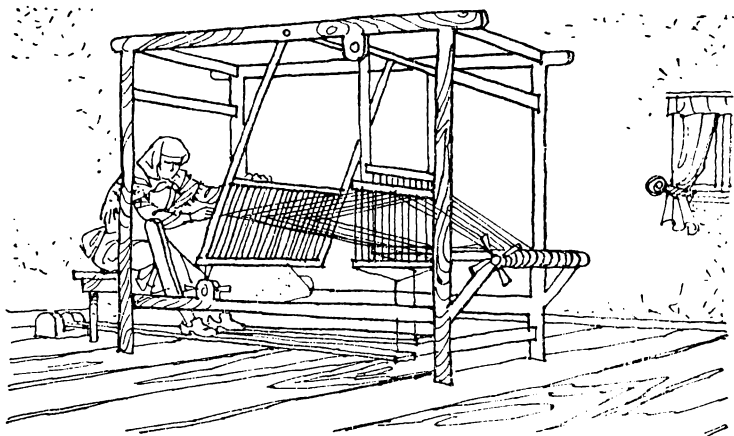


Abb. 29 mechanischer Handwebstuhl

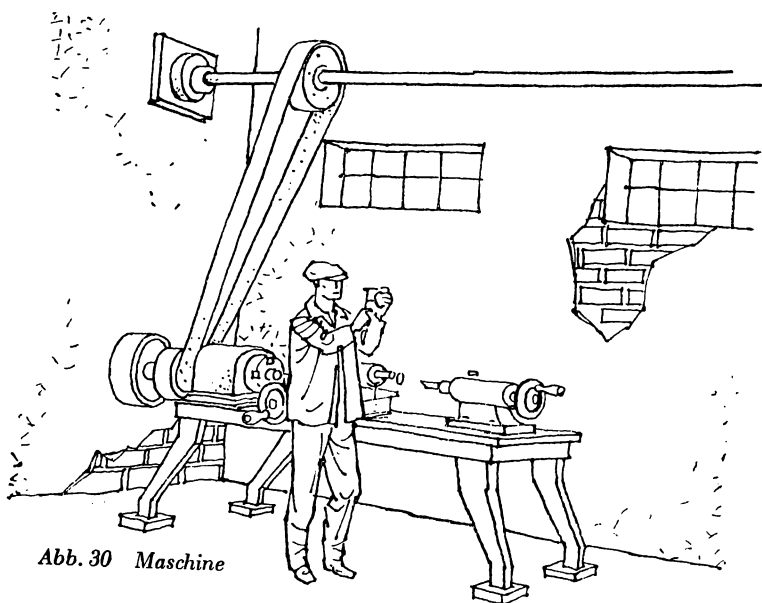


Abb. 30 Maschine

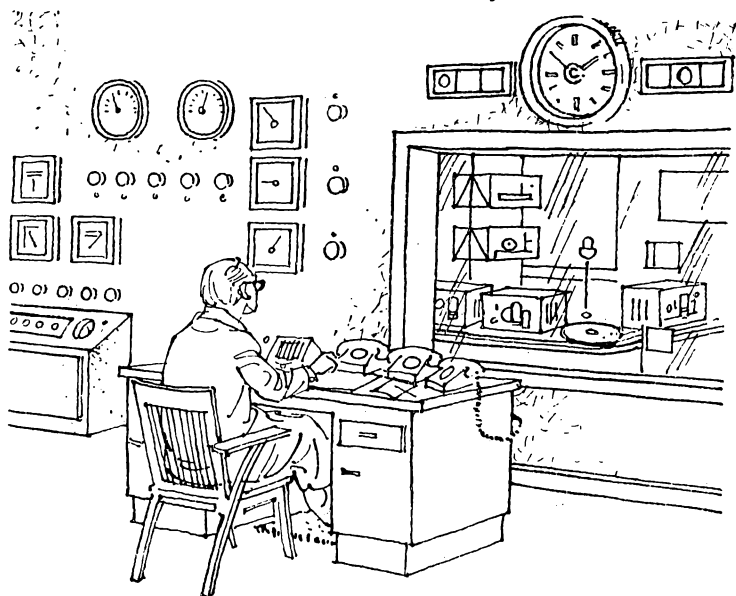


Abb. 31 automatisches System

lichen Gerätschaft bildeten, nämlich zu den *Maschinen* (Abb. 30). Die Entwicklung der Maschinenteknik brachte, im Grunde genommen, alle wesentlichen Neuerungen der gegenwärtigen Technik hervor. Den Gipfelpunkt und Übergang zu einer neuen Phase stellt die Konstruktion *automatischer Systeme* dar (Abb. 31). Entsprechend unseren bisherigen Darlegungen beginnt diese Epoche mit dem Bau vorkybernetischer automatischer Systeme. Sie sind wiederum das Bindeglied zu einer noch höheren Stufe, in deren Mittelpunkt der *kybernetische Automat* (Abb. 32) steht.

Ebensowenig wie die Entwicklung der Maschinen einfache Werkzeuge überflüssig gemacht hat, so wenig werden kybernetische Automaten (manche sagen dafür auch „Kyberneten“) Maschinen und Werkzeuge völlig entbehrlich machen. Aber der kybernetische Automat, ein vielseitig anpassungsfähiges und zuverlässig arbeitendes technisches System, das in mancher Hinsicht an die Verhaltensweisen und -möglichkeiten lebendiger organischer Systeme erinnert, steht im Zentrum der Technik des aufkommenden Zeitalters.

Mancher Leser wird sich vielleicht wundern, weshalb wir bisher in unserem Buche noch nicht von der modernen maschinellen Rechen-technik, vom Einsatz großer elektronischer Rechenmaschinen usw. gesprochen haben, obwohl die Vorstellung ziemlich verbreitet ist, daß die Kybernetik so etwas wie die „Theorie der großen elektronischen Rechenmaschinen“ sei. Nun, unsere Ausführungen dürften deutlich gemacht haben, daß die Kybernetik — ihre Denkweisen, Methoden und theoretischen Feststellungen — einen sehr allgemeinen Charakter besitzt, keinesfalls jedoch auf elektronische Systeme beschränkt werden kann. Die Ansicht von der Identität der Kybernetik mit der Theorie elektronischer Rechenmaschinen erklärt sich einfach daraus, daß bei der Geburt der Kybernetik in den 40er Jahren unseres Jahrhunderts enge Beziehungen zwischen ersten kybernetischen Systemen (z. B. bei automatischen Fliegerabwehrsystemen) und modernen Großrechenmaschinen bestanden. Dabei muß man sich aber im klaren sein, daß die damaligen und im wesentlichen auch die heutigen Rechenmaschinen keine kybernetischen Systeme sind. Allerdings werden im Bereich der maschinellen Rechentechnik künftig in zunehmendem Maße kybernetische Prinzipien eine Rolle spielen. Wir erwähnen die maschinelle Rechentechnik und elektronische Rechenmaschinen in diesem Zusammenhange, weil elektro-

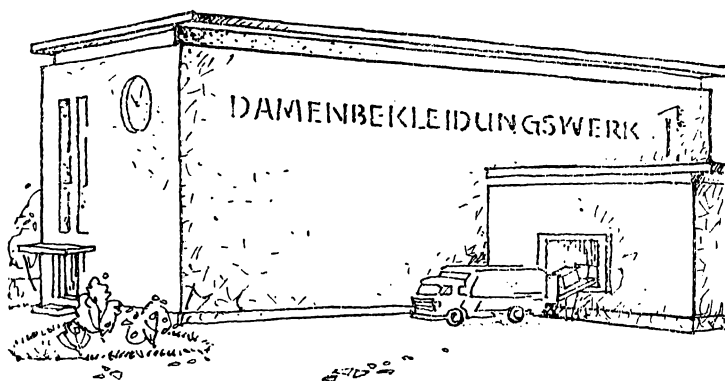
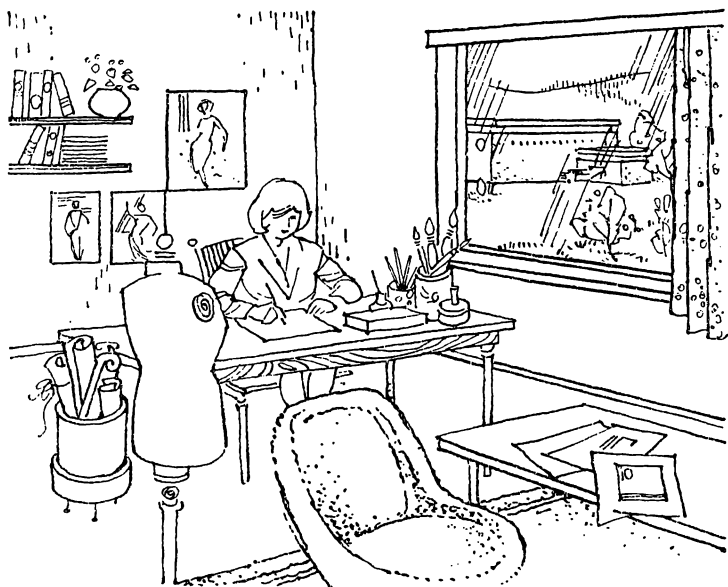


Abb. 32. kybernetischer Automat

nische Systeme dieser Art nicht nur als Rechenmaschinen verwendet werden, mit denen man phantastisch schnell und sicher schwierigste Rechenaufgaben lösen kann, sondern auch ebenso gute Dienste als Steuerzentralen leisten, als „automatische Dispatcher“ kybernetisch-komplex automatisierter Einrichtungen. Insofern stellen „Elektro-nengehirne“ das Kernstück der höheren Formen der kybernetischen Komplexautomatisierung dar (Tafel 6).

Aus unseren Darlegungen wurde deutlich, daß die kybernetische Form der Automatisierung die höhere ist, diejenige, der die weitere Zukunft gehört. Die nichtkybernetische Form dagegen ist hauptsächlich der großen Massenproduktion vorbehalten und eignet sich besonders für relativ einfache Werkstücke oder für einfache kontinuierliche Prozesse, wie sie zum Beispiel in der chemischen Industrie auftreten. Sie stößt aber rasch auf technische Grenzen ihrer Anwendbarkeit und wird vor allem auch schnell unwirtschaftlich. Freilich gilt auch hier, was wir in vielen anderen Bereichen unserer gesellschaftlichen Entwicklung zu beachten haben: Wir können nicht alles auf einmal erreichen! Beide Formen der Automatisierung haben ihr berechtigtes Anwendungsgebiet, und beide Formen müssen daher ausgenutzt werden. Dabei ist es klar, daß die zweite Form nur schrittweise realisiert werden kann, weil sie einen großen Einsatz an materiellen Mitteln und zusätzliche Forschungen und Entwicklungen verlangt. Gegenwärtig geht es vor allem darum, für die umfassende Verwirklichung der kybernetischen Form der Automatisierung eine Reihe von grundlegenden Voraussetzungen auf verschiedenen Gebieten zu schaffen. Zwar wird die Kybernetik als eine der entscheidendsten theoretischen Grundlagen der Automatisierungstechnik bei der Konstruktion immer komplizierterer und hochleistungsfähiger Rechenmaschinen, vollautomatisierter Industriebetriebe, bei der durchgreifenden Rationalisierung der Verwaltung und Planung usw. entscheidend mithelfen, aber unsere unmittelbare Tagesaufgabe ist nicht der Aufbau vollautomatisierter Riesenbetriebe und die umfassende komplexe Automatisierung der gesamten Volkswirtschaft. Heute müssen erst einmal die Fachkräfte herangebildet werden, die jene Riesenbetriebe von morgen entwickeln und bauen werden. Zu diesem Zweck ist es notwendig, die Kybernetik und die Theorie der Automatisierung in unser gesamtes Lehrsystem einzubauen.

Des weiteren muß die Kybernetik zu einem Bestandteil zahlreicher Wissenschaften werden, weil sie ihnen völlig neue Möglichkeiten gibt, sie enger als bisher mit der Praxis verbindet und hilft, die vielfältigen Probleme zu lösen, die mit der Automatisierung der einzelnen Gebiete verbunden sind.

Die wichtigste Schule für die Heranbildung kybernetisch denkender Facharbeiter, Techniker usw. ist neben der ständigen Qualifizierung im eigenen Beruf das Bemühen um zahlreiche regelungstechnische, systemtechnische und informationstechnische Teillösungen für Kleinautomatisierung. Die von zahlreichen Werkträgern angeregte und durchgeführte Kleinautomatisierung spart Arbeit und Material, hilft beim Aufbau einer intelligenzintensiven Produktion und legt den Grundstock für die großen Aufgaben der umfassenden Komplexautomatisierung.

### *Planen und Leiten*

Die Automatisierung ist nicht allein eine Sache der Technik. Zum Beispiel kann eine automatische Taktstraße höchst produktiv arbeiten, aber unter Umständen im ganzen wenig Nutzen bringen. Wenn sie etwa in Gestalt einer starren Aufeinanderfolge einzelner Maschinenblöcke gebaut ist (in Abb. 33a ist dieser Sachverhalt für drei

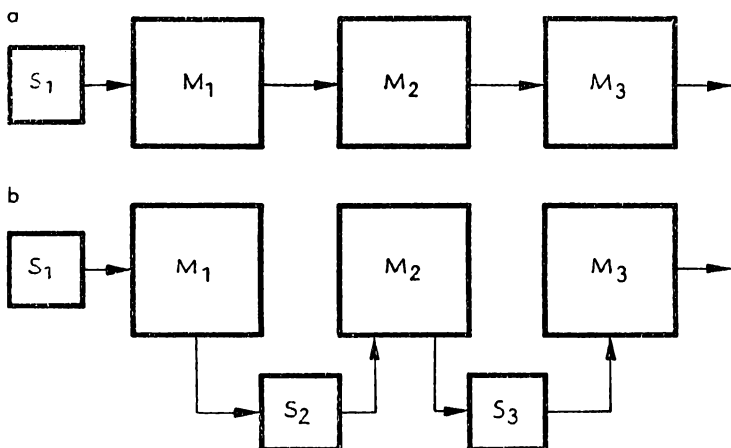


Abb. 33 Taktstraße ohne und mit Zwischenlager

Maschineneinheiten  $M_1$ ,  $M_2$  und  $M_3$  schematisch dargestellt;  $S_1$  bezeichnet das Rohmateriallager), wird beim Ausfall eines der Maschinenblöcke die ganze Straße stillstehen. Häufige Stillstandszeiten können die an sich mögliche höhere Produktivität der Taktstraße gegenüber dem Zustand vor der Automatisierung sogar wieder aufheben. Es ist daher notwendig, zwischen den einzelnen Blöcken entsprechende Reserven vorzusehen, also nicht ein Werkstück von einem Maschinenblock unmittelbar zum anderen, sondern jeweils in ein Zwischenlager oder — kybernetisch gesprochen — in einen kleinen „Speicher“ (Abb. 33b) gelangen zu lassen. Freilich ist die Anlage derartiger Speicher oder Zwischenlager nicht problemlos. Sie dürfen zum Beispiel nicht zu klein sein, können aus verschiedenen Gründen aber auch nicht beliebig vergrößert werden. Daß dies schon wegen des großen Raumes, den sehr umfangreiche Zwischenlager beanspruchen, nicht möglich ist, wird der Laie ohne weiteres einsehen. Es läßt sich aber zeigen, daß zwischen der Größe der Speicher und der Produktivität der einzelnen Maschinensysteme einerseits und der Produktivität der ganzen Taktstraße andererseits Zusammenhänge bestehen, die ebenfalls die Größe der Zwischenspeicher begrenzen, wenn die Produktivität der Straße nicht unter ein eben noch tragbares Maß sinken soll.

Ähnliche Schwierigkeiten können beim Übergang von einer Taktstraße zu einer anderen auftreten. Auch hierbei wird es zweckmäßig sein, Reserven vorzusehen, so daß beim Ausfall der ersten Straße nicht sogleich auch die zweite Fertigungsstraße stehenbleiben muß, weil sie keine teilweise bearbeiteten Werkstücke mehr zur Verfügung hat.

Die geschilderten Sachverhalte zeigen, daß bei der Automatisierung neben der technischen Seite des automatisierten Prozesses auch *ökonomische Fragen* auftreten, die in unserem Beispiel den Charakter betriebswirtschaftlicher Probleme haben.

Außerdem ist es selbstverständlich notwendig, Disproportionen zwischen verschiedenen Betrieben auszuschließen. Diese Forderung ist nicht neu, aber die Genauigkeit, mit der die Produktion voneinander abhängiger Betriebe aufeinander abgestimmt sein muß, gewinnt im Rahmen der automatisierten Produktion zunehmend größere Bedeutung. Der Produktionsumfang des einzelnen Betriebes wird zudem ständig in starkem Maße ansteigen.



Eine entsprechend gesicherte Kooperation muß auch zwischen den einzelnen Zweigen der Volkswirtschaft bestehen und — auf über-nationaler Ebene — zwischen einzelnen Ländern, die wirtschaftlich enger verbunden sind. Zu den Problemen auf Betriebsebene bei Fragen der Automatisierung kommen also in wachsendem Umfang auch komplizierte volkswirtschaftliche Probleme und Probleme der wirtschaftlichen Zusammenarbeit der sozialistischen Länder.

Es ist klar, daß die Verbesserung und fortschreitende Präzision in der Leitung und Planung der Wirtschaft in gewissem Sinne noch eine größere Bedeutung hat als die zunehmende Mechanisierung und Automatisierung der Produktion. Denn eine automatisierte Anlage, die beispielsweise im Rahmen des Wirtschaftszweiges oder auch im volkswirtschaftlichen Rahmen nicht entsprechend ökonomisch eingebaut ist, wird entweder nicht genügend Produkte abgeben können, weil sie von anderen Betrieben zu wenig Rohstoffe oder Halbfabrikate bekommt, oder aber ihre Produkte werden nicht zweckentsprechend eingesetzt werden können. Automatisierung der Produktion muß daher Hand in Hand mit ständiger Verbesserung der Planungs- und Leitungstätigkeit erfolgen.

Die sozialistischen Länder sind schon seit längerer Zeit darum bemüht, unter Anwendung exakter mathematischer Methoden Probleme, die in dieses Gebiet fallen, einer Lösung näherzubringen. Ein sehr wichtiger Begriff ist in diesem Zusammenhang der der *Optimierung*. Etwas vereinfacht ausgedrückt, versteht man darunter die ökonomische Aufgabe, mit einem möglichst geringen Aufwand an Mitteln einen möglichst großen Nutzen zu erzielen. Auch auf diesem Gebiet wird die Anwendung kybernetischer Methoden erhebliche Fortschritte bringen.

Worauf gründet sich diese Erwartung? Wir hatten bereits verschiedentlich darauf aufmerksam gemacht, daß die Gesellschaft und insbesondere die Volkswirtschaft kybernetische Systeme sind, die über die uns bereits bekannten, allen kybernetischen Systemen eigenen Besonderheiten verfügen. Sie bestehen zum Beispiel aus Elementen oder Teilsystemen. Je nach Problemlage kann darunter eine Betriebsabteilung, ein Betrieb oder auch eine ganze VVB zu verstehen sein. Die Teilsysteme stehen dem Gesamtsystem gegenüber, das wiederum je nach besonderen Umständen ein Betrieb sein kann, eine VVB oder auch die gesamte Volkswirtschaft. Zwischen den einzelnen

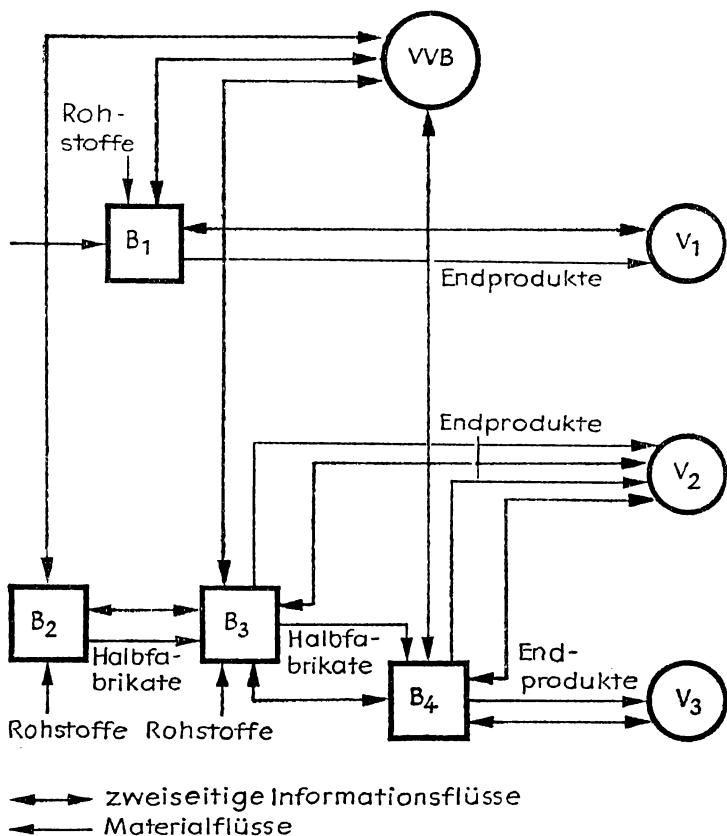


Abb. 34 Taktstraße ohne und mit Zwischenlager

$B_1, B_2, B_3, B_4$  Betriebe

$V_1, V_2, V_3$  Verbraucher

„ökonomischen Teilsystemen“ bestehen ebenso wie bei kybernetischen Systemen in anderen Bereichen die verschiedensten Verknüpfungen. Wir unterscheiden dabei zwei wesentliche Formen von Austauschprozessen, nämlich Materialflüsse und Informationsflüsse (Abb. 34). Materialflüsse können Transporte von Bodenschätzen und Rohmaterialien sein, etwa von den Gewinnungsstätten zu den Betrieben; es kann sich dabei um die Fertigungsflüsse innerhalb

einer automatischen Taktstraße oder um den Abtransport von Produkten in andere Produktionsstätten oder zu den Endverbrauchern handeln. Informationsflüsse in gesellschaftlichen bzw. in ökonomischen Systemen treten ebenfalls in verschiedener Gestalt auf. So spielen innerhalb einer automatischen Anlage vielfältige Signal- und Informationsprozesse eine wichtige Rolle; denn soweit es sich um kybernetische selbstregulierende Systeme handelt, bilden Informationsflüsse und Informationsverarbeitungsprozesse eine wesentliche Voraussetzung für ihr Funktionieren.

Außer den Informationsflüssen, die unmittelbar mit der Produktion zusammenhängen, gibt es auch auf der betriebs- und volkswirtschaftlichen Ebene Informationsströme und Prozesse der Informationsverarbeitung. Hierzu gehören alle Leitungsdirektiven der Betriebs- an die Abteilungsleiter, aber auch der übergeordneten staatlichen Wirtschaftsorgane an die Betriebe oder die VVB, außerdem die gesamte Abrechnung, sei es die Lohn- und Gehaltsabrechnung, die Kontrolle über die Materialbestände und die vielfältigen Aufgaben der Verwaltungstätigkeit in den Betrieben und in den überbetrieblichen Einrichtungen sowie schließlich die Nachrichtenverbindungen zwischen den Betrieben durch Telefon, Fernschreiber und Briefpost.

Auch in den ökonomischen Systemen gibt es selbstverständlich Regelungsvorgänge. Zum Beispiel werden die Produktionsflüsse durch die Leitungsgremien der Betriebe der VVB und der staatlichen Wirtschaftsorgane auf der Grundlage eines komplizierten Rückkopplungsmechanismus reguliert. Ebenso wie in anderen Bereichen der Wirklichkeit kann man auch in der Volkswirtschaft die Elemente des allgemeinen Strukturschemas von Regelkreisen in den verschiedensten ökonomischen Zusammenhängen nachweisen.

Alle diese Merkmale kybernetischer Systeme sind in der Ökonomik tatsächlich gegeben. Es handelt sich also — wir sagen dies, um Mißverständnisse zu vermeiden — bei der Anwendung kybernetischer Methoden im Bereich der Ökonomie keinesfalls in erster Linie darum, solche Systeme zu konstruieren, zu „bauen“, so wie das im Bereich der Technik erforderlich ist. Es kommt vielmehr darauf an, die in der Gesellschaft objektiv vorhandenen kybernetischen Systeme zu studieren, ihre Gesetzmäßigkeiten im einzelnen kennenzulernen, um sie zu verbessern, um neue Strukturen zu schaffen.

Die menschliche Gesellschaft und ihre Ökonomik sind von jeher kybernetische selbstregulierende Systeme, unabhängig davon, ob die Menschen das bisher wußten oder nicht. Allerdings sind diese Systeme ebenso wie in bezug auf das Eigentum an den Produktionsmitteln, die politischen Verhältnisse usw. auch in kybernetischer Hinsicht nicht zu allen Zeiten und unter allen Bedingungen von derselben Beschaffenheit. Die Stabilität des sozialistischen kybernetischen Systems ist, wie die Erfahrung seiner bisherigen Geschichte lehrt, größer als die Stabilität des kapitalistischen Systems. Während vom letzten in diesem Jahrhundert ein Teilsystem nach dem anderen instabil geworden ist und einen antiimperialistischen oder nichtkapitalistischen Weg beschritten hat, ist das sozialistische Weltsystem entstanden und entwickelt sich stürmisch. Trägt das kapitalistische System einen tiefen inneren Widerspruch in sich, der immer wieder zu Krisensituationen, zur Zuspitzung der wirtschaftlichen Lage in diesem oder jenem Lande führt, so vollzieht sich in den Ländern des Sozialismus ein ununterbrochener Aufschwung des wirtschaftlichen und überhaupt des gesamten gesellschaftlichen Lebens.

Es ist notwendig, die Stabilität des sozialistischen gesamtgesellschaftlichen und insbesondere des volkswirtschaftlichen Systems weiter zu erhöhen und zu vervollkommen. Diese Aufgabe wird in unserer Zeit besonders dringlich, da beide Systeme fortwährend komplexer werden. Dafür sorgt allein schon die Tatsache, daß wir nicht einzelne Betriebe oder einen einzelnen Industriezweig stabil zu halten haben, sondern ein volkswirtschaftliches System mit den kompliziertesten Verflechtungen zwischen den einzelnen Betrieben, Industriezweigen, zwischen Industrie und Landwirtschaft usw. Außer mit den ökonomischen Problemen im engeren Sinne sind mit den Aufgaben der ökonomischen Stabilisierung aber auch Fragen des wissenschaftlichen Vorlaufs auf allen volkswirtschaftlich wichtigen Gebieten verbunden, die Probleme des wissenschaftlichen Nachwuchses, der Volksbildung usw. einschließen.

Insofern übersteigt die Komplexität des ökonomischen Systems unserer Gesellschaft die Komplexität aller uns heute bekannten technischen Systeme, auch der kompliziertesten in Gestalt von elektronischen Rechenmaschinen oder Weltraumraketen. Darüber hinaus müssen wir noch in Rechnung stellen, daß unser System nicht nur durch seine Entwicklung vom kapitalistischen Zustand zur sozia-

listischen Produktionsweise höhere Komplexität erreicht hat, sondern daß auch die Produktion innerhalb dieses ökonomischen Systems sich zunehmend erhöht, sowohl nach der Anzahl verschiedener Produkte als auch nach der Menge jedes einzelnen Produktes. Wenn wir uns auch zu Beginn des Überganges von der kapitalistischen zur sozialistischen Gesellschaftsordnung noch vielfach auf spontanes Funktionieren verlassen mußten, so können wir uns heute und erst recht in der weiteren Zukunft nicht mehr darauf verlassen. Es ist eine unumstößliche Notwendigkeit, immer tiefer die ökonomischen Mechanismen zu durchschauen, vor allem aber die Bedingungen der Stabilität unserer ökonomischen Systeme — der Teilsysteme ebenso wie des Gesamtsystems — kennenzulernen, die Ursachen teilweiser und zeitweiliger Instabilität zu erforschen.

Wir bemerken am Rande, daß sich hieraus eine intensive ökonomische Grundlagenforschung als eine außerordentlich wichtige wissenschaftliche Aufgabenstellung ableitet, die auch kybernetische Methoden in hohem Maße ausnutzen muß. Auf diesem Wege werden wir zu immer höheren Formen in der Beherrschung der volkswirtschaftlichen Prozesse gelangen.

So wird es auch möglich werden, die Planung der Volkswirtschaft fortwährend zu vervollkommen. Die Kybernetik bietet dabei die Möglichkeit, in enger Verbindung mit mathematischen Methoden und Modellen eine völlig neue Qualität der Planungstätigkeit zu erreichen. Ein Wirtschaftsplan, der mit den bis jetzt angewandten Methoden aufgestellt wird, vermag niemals eine hinreichende Vollkommenheit zu erreichen, weil ein dynamisches System von der Komplexität der gesamten Volkswirtschaft nicht in einem praktisch tatsächlich auflösbaren mathematischen Gleichungssystem erfaßt werden kann, so wie dies für dynamische Systeme auf den meisten Gebieten der Physik und in der Technik möglich ist. Die kybernetische Modellierung ist im Prinzip in der Lage, mit dieser Schwierigkeit fertig zu werden. Voraussetzung ist allerdings, ein Modell ökonomischer Prozesse zu konstruieren und mit technisch-physikalischen Mitteln zu bauen, das den realen ökonomischen Vorgängen annähernd genau entspricht.

Dieser Umstand bringt viele Probleme mit sich, die sicher nur auf dem Wege einer schrittweisen Annäherung volkswirtschaftlicher Modelle an die Wirklichkeit gelöst werden können. Entscheidend ist

aber, daß alle diese Probleme heute als prinzipiell lösbar angesehen werden können. Hat man nun ein solches hinreichend vollkommen der ökonomischen Wirklichkeit entsprechendes kybernetisches Modell zur Verfügung, so kann man auch mit einem wegen unvollständiger Einsicht in die ökonomischen Gesetzmäßigkeiten relativ unvollkommenen Plan durchaus etwas anfangen. Statt nämlich den Plan in der gesellschaftlichen Wirklichkeit sofort gleichsam erproben zu müssen und ihn entsprechend den erzielten Erfolgen oder auch erlittenen Mißerfolgen ständig zu verbessern bzw. zu korrigieren, kann man seine Direktiven und Kennziffern zunächst dem kybernetischen Modell „eingeben“. Man kann sie in vielen aufeinanderfolgenden „Modellexperimenten“ so lange abändern, bis befriedigende Resultate zustande kommen, das heißt: bis eine optimale proportionale Entwicklung aller im Modell erfaßten Wirtschaftseinheiten (im Idealfalle umfassen diese die gesamte Volkswirtschaft) gesichert ist. Jetzt erst wird der Wirtschaftsplan mit seinen präzisierten Direktiven und Kennziffern als gültig angesehen und in der Wirtschaftspraxis durchgeführt.

Ein kybernetisches Modell der angedeuteten Art kann beispielsweise aus verschiedenen elektronischen Schaltelementen bestehen, wobei etwa die Materialverbrauchsmengen eines ökonomischen Systems durch entsprechende Spannungsverluste an Widerständen oder in verzweigteren elektronischen Schaltungen, volkswirtschaftliche Gewinne dagegen durch Verstärkerkreise modelliert werden usw. Solche Modelle können auch sogenannte „Zufallsgeneratoren“ enthalten, die zufällige Änderungen bestimmter wirtschaftlicher Bedingungen imitieren und damit das berücksichtigen können, was bei den heutigen Methoden der Planung am allerwenigsten möglich ist, nämlich die rein zufälligen Größen, die in einem volkswirtschaftlichen System eine Rolle spielen, z. B. plötzliche Witterungsveränderungen mit all ihrem negativen oder auch positiven Einfluß auf Industrie und Landwirtschaft.

Erprobt man auf diese Weise verschiedene Planvarianten zunächst im kybernetischen Modellversuch, so kann und wird man in der Zukunft zu einer außerordentlich exakt fundierten optimalen Planung gelangen.

Wir wiesen schon darauf hin, daß die Voraussetzungen dafür in erster Linie durch die ökonomische Grundlagenforschung geschaffen

werden müssen. Denn um so empfindliche Instrumente wie mathematische Methoden und kybernetische Modelle einsetzen zu können, muß das Gebiet, auf das diese angewandt bzw. bezogen werden sollen, sehr genau bekannt und tiefgründig erforscht sein. Und in dieser Beziehung bleibt noch manches zu leisten.

In der weiteren Perspektive können für die Planung der gesamten Volkswirtschaft in großem Umfange elektronische Rechenmaschinen, die gewissermaßen in sich Modelle der Volkswirtschaft enthalten, herangezogen werden. Auf diese Weise wird — was manchen Leser vielleicht zunächst in Erstaunen versetzt — auch die Planungstätigkeit in den Prozeß der Automatisierung einbezogen.

Wir haben es im gesamten volkswirtschaftlichen System mit einer Stufenfolge, einer „Hierarchie“ von Steuerungs- und Regelungsprozessen auf verschiedenen Ebenen zu tun. Auf der „untersten“ Ebene erfolgen die Steuerungsprozesse, die den Arbeitsgegenstand selbst betreffen. Das sind die Regelungs- und Steuerungsprozesse in den automatischen Fertigungsanlagen. Diese sind ökonomisch „zusammengeschaltet“ und unterliegen Steuerungsprozessen der höheren Ebene. Sie sind ebenfalls vielgestaltig und weisen eine hierarchische Ordnung auf — ähnlich, wie das bei technischen Systemen der Fall ist: vom Betrieb als unterste Ebene über den Industriezweig und die Volkswirtschaft bis hin zur sozialistischen Weltwirtschaft.

Was in der Terminologie der Kybernetik Regelung, Informationsübertragung und -verarbeitung heißt, wird in der Sprache der Ökonomie in dem Wort „Leitung“ zusammengefaßt. Moderne Technik und Kybernetik erschließen der Leitung der Volkswirtschaft vollkommenere Methoden für die Sammlung von entsprechenden Daten über die Ergebnisse der Produktion, für die Weiterführung dieser Daten an die Leitungszentren, für die Verarbeitung der Daten in den Zentren und für die Rückführung entsprechender Lenkungsinformationen an die unteren Leitungsorgane und an die Produktionsstätten. Ähnlich wie für den Bereich der Planung kann auf diese Weise auch eine Automatisierung im Bereich der für die Leitung der Wirtschaft erforderlichen Informationsflüsse erfolgen. Gleichzeitig wird eine kontinuierliche, operative Lenkung der Produktionsflüsse verwirklicht. Auch hier sind verschiedene ökonomische Grundlagenuntersuchungen, z. B. über Art und Anzahl der zu benutzenden ökonomischen Meßdaten und bestimmte nachrichten-

technische Entwicklungen, Vorbedingung für die Verwirklichung. Die weitere Perspektive besteht in einer weitgehenden Automatisierung wichtiger Teilprozesse der volkswirtschaftlichen Leitungstätigkeit. Die Fähigkeiten des Menschen werden dann völlig auf die Eingabe und auf die Kontrolle einiger Hauptkennziffern der Volkswirtschaft konzentriert sein. Seine Entscheidungen bei der Lenkung der Wirtschaft werden von subjektiven Momenten in höchstem Maße frei sein. In dem hier beschriebenen Prozeß ist auch die allmähliche Abschaffung der Handarbeit und der mechanischen geistigen Arbeit in den Verwaltungen eingeschlossen. Die gesamte Lohn- und Gehaltsabrechnung, wie überhaupt alle Aufgaben der Buchhaltung, können von automatischen Systemen ausgeführt werden.

Die von der Kybernetik und der modernen Automatisierungstechnik für Produktion, Planung und Leitung der Volkswirtschaft eröffneten Möglichkeiten sind völlig real. Sie müssen in den nächsten Jahrzehnten verwirklicht werden, wenn nicht ernsthafte Hemmnisse in der Entwicklung der Produktivkräfte unserer Gesellschaft eintreten sollen. Die Realisierung wird freilich — ebenso wie die Automatisierung in der Industrie — nur über eine Reihe von Zwischenstufen erfolgen können, muß aber schon heute mit der Blickrichtung auf die weitere Perspektive unserer volkswirtschaftlichen Entwicklung in Angriff genommen werden.

In der Sowjetunion gibt es bereits detaillierte Überlegungen, um diese gewaltigen Aufgaben schrittweise zu lösen. Ausgehend von den Erfahrungen, die beim Einsatz elektronischer Rechenmaschinen für wissenschaftliche und technische Berechnungen gewonnen wurden und die ergaben, daß ein wirksamer Einsatz dieser Maschinen nur in hinreichend großen Rechenzentren möglich ist, die über die nötigen Fachkräfte und über entsprechende Kontroll- und Instandsetzungsapparaturen verfügen, gelangt der bekannte sowjetische Wissenschaftler *A. I. Kitow* zu interessanten Vorstellungen über die künftige Entwicklung und über die zu lösenden Aufgaben.

Wie *Kitow* bemerkt, hat sich während der letzten Jahre in der Entwicklung der elektronischen Rechentechnik die Tendenz gezeigt, komplexe Mehrzweckanlagen zu bauen, die durch Übertragungskanäle mit einer großen Anzahl von Auftraggebern unmittelbar verbunden sind. Derartige Anlagen können von den Auftraggebern Informationen erhalten und ihnen die Ergebnisse vollautomatisch



zustellen. Bei einer Ausstattung der Rechenzentren mit derartig komplexen Einrichtungen ändern sich grundlegend Struktur und Charakter der Tätigkeit dieser Anlagen. Sie verwandeln sich aus Institutionen, in denen die Übermittlung einzelner Aufträge von Hand erfolgt, in komplizierte automatische und sogar in selbstorganisierende Systeme der Informationsverarbeitung, die sowohl für die Ausführung komplizierter Berechnungen als auch für die Datenverarbeitung oder die Leitung ökonomischer Prozesse gut geeignet sind. Die Rechenanlagen derartiger Zentren verfügen über die Fähigkeit, gleichzeitig verschiedenartigste Aufgaben zu lösen, automatisch die optimale Reihenfolge zu wählen, Vorbereitung und automatische Programmierung der Aufgaben vorzunehmen, die Zeit für die Übermittlung der Lösungen günstig zu verteilen sowie auch automatisch die eigene Arbeit zu kontrollieren, um etwaige Störungen zu beseitigen.

Man hat ermittelt, daß der Einsatz solcher hochleistungsfähiger Systeme für die zentralisierte Informationsverarbeitung und Rechnungsführung bedeutend wirtschaftlicher ist als die Einrichtung und Nutzung vieler kleiner Maschinen in den verschiedensten Institutionen. Derartige datenverarbeitende Rechenzentren sind gewissermaßen automatisierte Büros, Verwaltungsinstitutionen, die mit den von ihnen bedienten Betrieben und Einrichtungen durch Übertragungskanäle verbunden sind. Als Beispiel kann das Zentrum für automatische Datenverarbeitung der Firma Sylvania in den USA angesehen werden, das mit zahlreichen Institutionen, Betrieben und Filialen, die in verschiedenen Staaten der USA gelegen sind, durch Übertragungskanäle mit einer Gesamtlänge von über 50 000 km in Verbindung steht.

Neben den Verbindungen der Informations- und Rechenzentren mit den einzelnen Einrichtungen und Betrieben muß allmählich auch eine entsprechende Verbindung zwischen den Zentren hergestellt werden. In der weiteren Zukunft wird das Netz der durch Übertragungskanäle miteinander verbundenen Zentren ein einheitliches automatisiertes Leitungssystem der Volkswirtschaft eines ganzen Landes bilden.

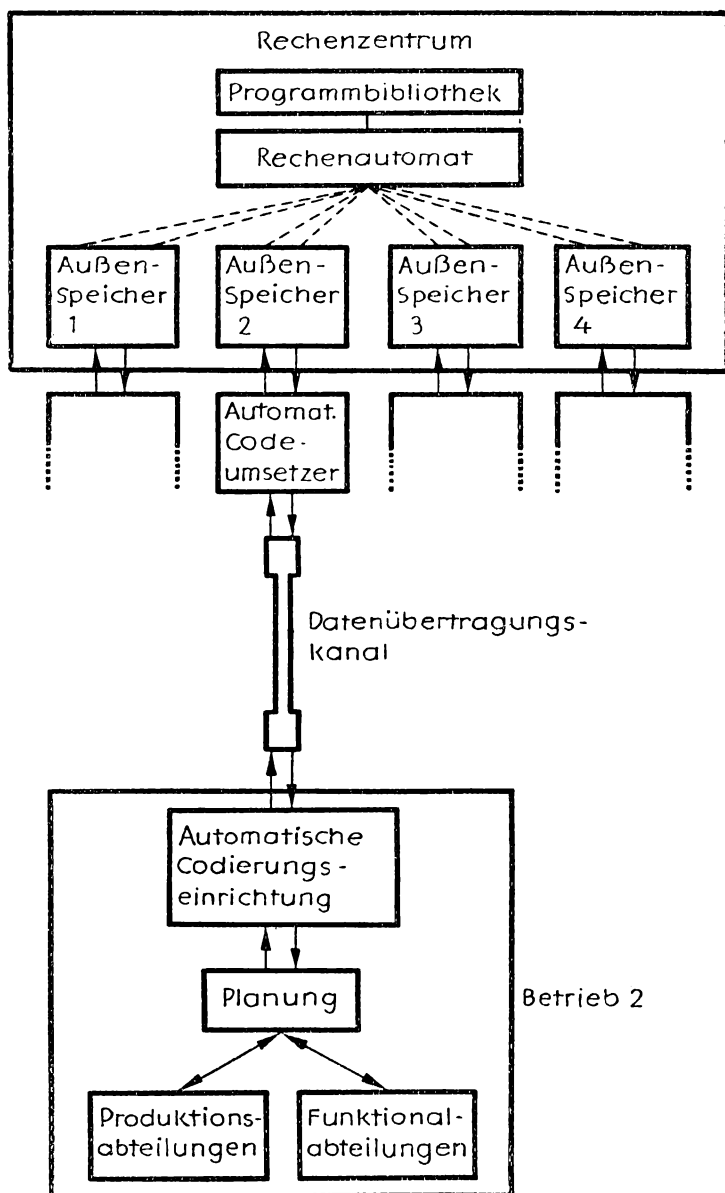
Um diese Aufgaben lösen zu können, ist es oft erforderlich, die Arbeitsorganisation der entsprechenden Institutionen und Einrichtungen und ebenso die Bearbeitungsweise der Unterlagen wesentlich zu ver-

ändern. Beispielsweise müssen die Belege und ebenso auch die Verfahren ihrer Bearbeitung einheitlich sein. Mit der allmählichen Vollautomatisierung der administrativen Verwaltungsarbeit wird an die Stelle eines heute recht umfangreichen Schriftverkehrs zwischen den Institutionen ein Nachrichtenaustausch durch Telefon, Telegraf und Fernsehen mit automatischer Aufzeichnung und Verarbeitung der eingehenden Nachrichten durch elektronische Rechenmaschinen und mit automatischer Speicherung in den Speichereinrichtungen dieser Maschinen treten.

In den sozialistischen Ländern sind alle Möglichkeiten für eine vollständige Ausnutzung der Ergebnisse von Wissenschaft und Technik gegeben. Eine dieser Möglichkeiten, die in der kapitalistischen Gesellschaft nicht verwirklicht werden kann, besteht in der Schaffung eines einheitlichen automatisierten Leitungssystems für das ganze Land. *Kitow* gelangt zu dem Schluß: „Gerade in unserer Zeit machen es die Ergebnisse von Wissenschaft und Technik erstmalig in der Geschichte möglich, vollständig die Voraussage *Lenins* zu verwirklichen, daß ‚Kommunismus = Sowjetmacht plus Elektrifizierung des ganzen Landes‘ ist. *Lenins* Formel deckt die Verbindung der großen politischen Vorzüge des sozialistischen Systems mit dem hohen Stand der Technik auf; praktisch wird sie in Gestalt eines einheitlichen automatisierten Leitungssystems der Volkswirtschaft verkörpert werden. Dieses System ermöglicht es, die wirtschaftlichen Hauptvorteile unserer Gesellschaftsordnung noch vollkommener zu realisieren: zentralisierte Leitung und Planmäßigkeit der Wirtschaft. Hierdurch wird die volle Harmonie zwischen der politischen und ökonomischen Grundlage des sowjetischen Staates und den technischen Leitungsmitteln der Ökonomik der Sowjetunion gewährleistet. Eine Analyse der Lage zeigt, daß es völlig real ist, gegenwärtig die Arbeit zur Schaffung eines automatisierten Leitungssystems der Volkswirtschaft zu entfalten, und daß die dafür erforderlichen materiellen Voraussetzungen vorhanden sind.“<sup>1</sup>

Ähnliche Überlegungen gibt es auch in der Deutschen Demokratischen Republik. Das in Abb. 35 wiedergegebene Schema für die

<sup>1</sup> *Kitow, I. A.: Die Kybernetik und die Leitung der Volkswirtschaft — Sowjetwissenschaft, Gesellschaftswiss. Beiträge 1962, II. 10, S. 1165*



*Abb. 35 (linke Seite) Anschluß mehrerer Betriebe an ein Rechenzentrum  
Ablauf des Planungsvorganges*

- 1. Die Planungsabteilung ermittelt als Ausgangsdaten das Jahresproduktionsprogramm, die Arbeitszeit- bzw. Materialaufwandsnormen und die Größe der Arbeitszeit- und Materialfonds*
- 2. Eingabe der Daten in automatische Codierungseinrichtung, Codierung*
- 3. Übertragung der codierten Daten zum Rechenzentrum, Speicherung*
- 4. Verarbeitung der Daten im Rechenautomaten*
- 5. Rückübertragung der Ergebnisse (codiert) zum Decodierungsgerät des Betriebes*
- 6. Übertragung der Ergebnisse an Planungsabteilung*
- 7. Auswertung der Ergebnisse mit Produktions- und Funktionsabteilungen*
- 8. Evtl. Wiederholung des Vorganges unter Berücksichtigung zusätzlicher Bedingungen*

*Wesentliche Vorteile des Systems*

- 1. Wirtschaftlichkeit durch maximale Nutzung der Kapazität einer Großrechenanlage*
- 2. Maximale Verkürzung der Planungsarbeiten durch automatische Datenübertragung und -verarbeitung; dadurch Möglichkeit von wiederholten Variantenrechnungen*
- 3. Weitgehende Einschränkung manueller Arbeiten durch automatische Codierungseinrichtungen*  
*(nach: ZIA-Material, Tafel 27 — Automatisierung von Planungsvorgängen)*

Automatisierung von Planungsvorgängen wurde vom Zentralinstitut für Datenverarbeitung entwickelt. Die in der DDR vorhandenen Rechenzentren bei verschiedenen Institutionen und Betrieben, verteilt über das Gebiet der DDR, können darüber hinaus gleichsam als Keimzellen für künftige Rechenzentren und Zentralen der Informationsverarbeitung der von Kitow gekennzeichneten Art angesehen werden. Sie müssen in der Folge freilich noch zweckentsprechend komplettiert und vor allem — nach Abschluß entsprechender umfangreicher Voruntersuchungen über die Art und Weise der Datenerfassung und -verarbeitung — später untereinander und mit den Betrieben, Verwaltungsinstitutionen und sonstigen volkswirtschaftlich bedeutungsvollen Einrichtungen verbunden werden. Die Auswertung der Beschlüsse des VII. Parteitages der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands kündigen eine neue Phase in der Anwen-

dung kybernetischer Erkenntnisse bei der Leitung gesellschaftlicher Prozesse an. „Der Zeitpunkt ist gekommen, um, ausgehend von den Beschlüssen des Parteitages und den vorliegenden fortschrittlichen Erfahrungen — gestützt auf die marxistisch-leninistische Theorie des Staates und des Rechts und mit Hilfe der kybernetischen Wissenschaft — *ein Modell des Gesamtsystems der staatlichen Leitung auszuarbeiten*. Das ist eine Notwendigkeit, die sich aus dem erreichten Niveau der gesellschaftlichen Entwicklung ergibt. Heute besitzen wir die theoretischen Voraussetzungen und die notwendigen praktischen Erfahrungen, um eine solche Aufgabe lösen zu können.“<sup>1</sup>

### *Mensch und Automat*

Wir haben im vorstehenden von der fortschreitenden Automatisierung auf den unterschiedlichsten Gebieten gesprochen. Der Leser weiß, daß der Prozeß der Automatisierung nicht allein Produktion und Verkehr umfaßt, sondern ebenso auch die Planungs- und Leitungstätigkeit auf den verschiedensten Ebenen. Automatisierung, wie immer sie auch im einzelnen beschaffen sein mag, bedeutet Ersatz menschlicher körperlicher oder auch bestimmter geistiger Tätigkeiten. Daher wirft der Automatisierungsprozeß eine Reihe von Fragen auf, die mit der Funktion des Menschen in der künftigen Maschinenwelt zusammenhängen. Wo bleibt der Mensch im Zeitalter der umfassenden Automatisierung?

Bisher sind wir solchen Fragen bewußt ausgewichen. Schon als wir von der Automatisierung der Planungs- und Leitungsprozesse sprachen, haben wir aber einen wichtigen Umstand erwähnt: Um Fragen dieser Art richtig beantworten zu können, muß man davon ausgehen, daß der Prozeß der Automatisierung und sein Einfluß auf die soziale Stellung des Menschen im Produktionsprozeß und überhaupt in der Gesellschaft je nach der Gesellschaftsordnung verschieden ist. Für die kapitalistische Gesellschaftsordnung bestehen in dieser Beziehung völlig andere Aussichten als für die sozialistische und die kommunistische Gesellschaft.

<sup>1</sup> Ulbricht, W.: Referat auf der 2. Tagung des ZK der SED, in: Neues Deutschland (B) vom 8. 7. 1967, S. 4.

Vertreter des kapitalistischen Systems kommen in dieser Beziehung im allgemeinen zu recht pessimistischen Prognosen, und die bisherigen Entwicklungstendenzen geben durchaus auch keinerlei Anlaß zu entgegengesetzten Schlußfolgerungen. Zum Beispiel steigt in den USA fortwährend die Zahl der Arbeitslosen, die nachweislich infolge der Automatisierung ihren Arbeitsplatz verloren haben. Gleichzeitig werden in zunehmendem Maße Facharbeiter, deren Tätigkeit durch Automaten ersetzt worden ist, in ungelernte Berufe verdrängt. Solche Erscheinungen registrieren selbst bürgerliche Ideologen und interpretieren sie entsprechend pessimistisch: Die moderne Technik wird als dem Menschen feindlich gesinnt dargestellt, der Mensch zum Opfer der technischen Entwicklung erklärt.

Wir wissen aus der Kenntnis der durch den historischen Materialismus und die marxistische politische Ökonomie aufgedeckten Gesetzmäßigkeiten, daß die Ursachen für diese Folgen der Automatisierung auf einer ganz anderen Ebene zu suchen sind. Der grundlegende Widerspruch des Kapitalismus zwischen dem gesellschaftlichen Charakter der Produktion und der privatkapitalistischen Aneignung wird durch die technische Revolution — in deren Mittelpunkt, wie wir sahen, die Automatisierung steht — nicht gemindert, sondern weiter zugespitzt. Dieser Prozeß spiegelt sich in den Köpfen bürgerlicher Ideologen als der „Untergang der Zivilisation“ wider. Das Privateigentum an den Produktionsmitteln, der Gegensatz von Kapital und Arbeit, verhindert, daß es ein gesamtgesellschaftliches, auf das Wohl des ganzen Volkes gerichtetes Interesse gibt. Statt dessen ist unter kapitalistischen Bedingungen die ganze Gesellschaft in Interessengegensätze zerrissen, unter denen der Gegensatz zwischen den objektiven Interessen der Arbeiterklasse und den Interessen der Monopole und des Staates am schärfsten ist. Nicht das Wohl und die Zukunft der Arbeiterklasse, des ganzen Volkes, der Nation stellen das Ziel der gesellschaftlichen Entwicklung im Kapitalismus dar, sondern das aus dem erwähnten Grundwiderspruch folgende Streben nach maximalem Profit. Die Folge davon ist, daß sich auch unter den modernen technischen Bedingungen im wesentlichen dieselben Erscheinungen und Auswirkungen zeigen wie im bisherigen Verlauf der kapitalistischen Entwicklung. Ein Unterschied kann allein darin gesehen werden, daß die moderne Automatisierungstechnik für die Arbeiterklasse noch schlimmere Auswirkungen erwarten läßt als die

bisherige Entwicklung der Technik unter kapitalistischen Bedingungen.

Wie sieht nun die Lösung dieser sozialen Probleme im Sozialismus und Kommunismus aus? Gibt es auch hier eine ansteigende Arbeitslosigkeit und ein Absteigen der Arbeiter in weniger qualifizierte Berufe? Die allein mit der Automatisierungstechnik verbundenen Umstände vermögen eine ähnliche Entwicklung nicht zu verhindern; denn die automatische Fabrik ist nun einmal die menschenarme Produktionsstätte. Wenn wir behaupten, daß wir im Sozialismus und Kommunismus völlig andere Auswirkungen der Automatisierungstechnik beobachten und für die weitere Perspektive voraussagen können, so berufen wir uns nicht auf die Technik, sondern auf den besonderen Charakter des sozialistischen Gesellschafts-systems: Es kennt kein Privateigentum an Produktionsmitteln, sondern alle wesentlichen Produktionsmittel, also auch die Automatisierungsmittel, sind Eigentum des ganzen Volkes. Die Folge davon ist unter anderem, daß es einen gesamtgesellschaftlichen Willen, eine bewußte Gestaltung unserer menschlichen Welt von morgen gibt und daß im Mittelpunkt aller Bemühungen nicht das Profitstreben einzelner, sondern der Mensch steht — sein Glück, sein Leben und seine Zukunft.

Versuchen wir, ein Bild davon zu entwerfen, welche Rolle der Mensch im Prozeß der Automatisierung unter sozialistischen und kommunistischen Bedingungen spielt. Da er die Automatisierungsmittel auf allen Gebieten schaffen muß und da die Automatisierung in einem fortschreitenden historischen Prozeß allumfassend sein soll, ist ein entsprechend großer Einsatz nicht nur von Mitteln, sondern auch von menschlicher Arbeit erforderlich, der sich noch fortwährend vergrößern muß. Die hierbei notwendigen Arten menschlicher Tätigkeit unterscheiden sich jedoch zum größten Teil wesentlich von den heute am meisten verbreiteten. Wir hatten schon gezeigt, daß für die Verwirklichung der durchgängigen Automatisierung grundlegend neue technische Errungenschaften erforderlich sind, die auf entsprechenden wissenschaftlich-technischen Untersuchungen beruhen. Darüber hinaus sind die verschiedensten natur- und gesellschaftswissenschaftlichen Grundlagenforschungen notwendig. Wissenschaft und Technik werden daher in einem Ausmaß anwachsen, wie wir es uns heute nur schwer vorstellen können.

Die Entwicklung der Automatisierungsmittel verlangt eine sehr große Zahl noch auszubildender hochqualifizierter Spezialisten in beinahe allen Bereichen moderner Technik und wissenschaftlicher Forschung. Unser Volksbildungswesen muß mit diesen Anforderungen übereinstimmen. Das einheitliche sozialistische Bildungssystem der Deutschen Demokratischen Republik und das in diesem Zusammenhang beschlossene Gesetz bilden die wichtigste Grundlage für eine solche zielgerichtete Entwicklung. Außer der Qualifizierung von Werktätigen in den schon seit langem bekannten Berufen werden ständig Fachleute in ganz neuen Berufen auf den verschiedensten Gebieten, die zum Teil unmittelbar mit der Automatisierungstechnik zusammenhängen, erforderlich. Schon heute kennen wir den Beruf des technischen Rechners, den des Programmierers von elektronischen Rechenmaschinen und ähnliche.

Wir hatten schon darauf hingewiesen, daß sich die Automatisierung in einem historischen Prozeß vollzieht. Auf allen Stufen dieses Automatisierungsprozesses gibt es einen bis dahin nichtautomatisierten Bereich menschlicher Tätigkeiten, der wiederum aus zwei Teilbereichen besteht. Der eine betrifft nichtautomatisierte Instandsetzungsarbeiten an Automaten oder Maschinen. Auch solche Arbeitstätigkeiten verlangen zunehmend eine höhere Qualifikation; in diesem Bereich sind ebenfalls viele neue Berufe zu erwarten. Der Reparateur einer hochkomplizierten automatischen Anlage muß wesentlich mehr wissen und können als heute ein Maschinenschlosser; er wird in wenigen Jahrzehnten für manche Gebiete höher qualifiziert sein müssen als heute ein Techniker oder Ingenieur. Reparaturbrigaden der weiteren Zukunft werden sich aus Hochschulabsolventen zusammensetzen.

Der zweite Teilbereich des nichtautomatisierten Bereiches, heute selbstverständlich noch der größere, ist jener, der bis zu einem bestimmten Zeitpunkt aus technisch-wissenschaftlichen oder ökonomischen Gründen noch nicht automatisiert werden konnte. Er wird sich aber, und zwar mit wachsender Geschwindigkeit, immer mehr verkleinern, sei es in der industriellen und landwirtschaftlichen Produktion, im Verkehrswesen, bei den Dienstleistungen oder auf den verschiedensten Ebenen der Verwaltungstätigkeit. Mehr und mehr Werktätige dieses Bereiches werden sich entsprechend qualifizieren müssen, um in der wissenschaftlichen Forschung, bei der Entwick-



lung neuer automatischer Anlagen oder deren Bedienung und Instandsetzung tätig sein zu können.

Es sei noch erwähnt, daß die technische Revolution und der damit eng verbundene Prozeß der Automatisierung zwar den grundlegenden Aspekt des sozialistischen und kommunistischen Umwälzungsprozesses der Gesellschaft darstellt, daß aber für die künftige Tätigkeit des Menschen die sozialistische Kulturrevolution von nicht geringerer Bedeutung ist. Das kommende Zeitalter ist nicht nur das der Wissenschaft und der automatischen Technik, sondern ebenso das Zeitalter einer neuen Blüte der Kultur und Kunst. Eine wesentlich größere Zahl von Menschen als heute wird sich aktiv-schöpferisch auf den Gebieten der Philosophie, der Literatur, der Musik und der Malerei und Plastik betätigen.

Diese Zukunftsaussichten, die nur bei einer umfassenden und weit-sichtigen Planung der Entwicklung der Volkswirtschaft und des gesamten gesellschaftlichen Lebens verwirklicht werden können, schließen einen ungeahnten Aufschwung der Arbeitsproduktivität, der Effektivität der menschlichen Arbeit ein. Allmählich werden wir uns jenem Ideal des Kommunismus nähern, von dem *Marx* und *Engels* bereits im vorigen Jahrhundert träumten: Jeder nach seinen Fähigkeiten, jedem nach seinen Bedürfnissen. Nur die umfassende Automatisierung vermag dieses Ziel herbeizuführen und schließlich das Grundprinzip des Sozialismus — jeder nach seinen Fähigkeiten, jedem nach seiner Leistung — abzulösen. Denn die fundamentale Voraussetzung für die Befriedigung der materiellen und geistigen Bedürfnisse des Menschen besteht darin, einen Überfluß an materiellen Produkten zu erzeugen.

Mit dieser Entwicklung ist ein weiteres Ideal des Sozialismus und Kommunismus eng verknüpft, die Befreiung des Menschen von aller schweren körperlichen und von eintöniger, routinemäßiger geistiger Arbeit. Schrittweise wird sich die menschliche Arbeit auf allen wesentlichen Gebieten in schöpferische Tätigkeit verwandeln. In immer höherem Maße wird die Arbeit nicht mehr nur ein bloßes Mittel zur Erlangung des Lebensunterhaltes sein, eine Qual und Last, wenn sie körperlich schwer oder geistig gleichförmig ist, sondern sie wird das erste Lebensbedürfnis des Menschen werden, das in sich selbst Befriedigung findet und Freude und Glück spendet. Solange Menschen noch Zubringer der Maschine oder gleichsam Teile der Maschinerie

sind und ihrem Arbeitsrhythmus unterworfen werden, indem sie den ganzen Tag ein und dasselbe Werkstück an eine bestimmte Stelle zu bringen, zwei Schrauben anzuziehen oder Ziffern in die Tastatur einer Tischrechenmaschine einzugeben haben, ist dies nicht möglich. Die sozialistische Revolution, die sich bei uns vollzieht, hat bereits eine wesentliche Änderung in der sozialen Stellung des Menschen im Produktionsprozeß verursacht. Der Werktätige weiß, daß das Produkt seiner Arbeit nicht von fremden, ihm feindlichen Mächten mißbraucht werden kann; die ökonomische Ausbeutung des Menschen durch den Menschen ist bei uns beseitigt. Er hat die Möglichkeit, in den verschiedensten demokratischen Einrichtungen seine Interessen zu vertreten, die mit den Interessen der ganzen Gesellschaft harmonisieren. Das ändert aber nichts an der Tatsache, daß die technische Seite seiner Stellung im Produktionsprozeß, die physischen und psychischen Auswirkungen der Arbeitstätigkeit auch unter den Bedingungen der Anfangsphasen des sozialistischen und kommunistischen Aufbaus im wesentlichen dieselben sind wie unter kapitalistischen Verhältnissen. Da sich der Sozialismus durch die Überwindung des Kapitalismus entwickelt, müssen wir die vom Kapitalismus geschaffenen Produktionsinstrumente übernehmen und können diese nur allmählich durch vollkommenere ersetzen, die in der Lage sind, den Menschen von der Maschinerie zu lösen. Es ist interessant zu wissen, daß *Karl Marx* bereits diesen Prozeß beschrieb:

„Es ist nicht mehr der Arbeiter, der den modifizierten Naturgegenstand als Mittelglied zwischen das Objekt und sich einschiebt; sondern den Naturprozeß, den er in einen industriellen verwandelt, schiebt er als Mittel zwischen sich und der unorganischen Natur, deren er sich bemeistert. Er tritt neben den Produktionsprozeß, statt sein Hauptagent zu sein.“<sup>1</sup>

Es ist aufschlußreich, in diesem Zusammenhang die Entwicklungsgeschichte des Verhältnisses von Mensch und Maschine zu betrachten, die auch wichtige Hinweise für die weitere Perspektive gibt und deren Verständnis erleichtert. Alle Werkzeuge und Maschinen, die der Mensch im Verlaufe seiner Geschichte entworfen und gebaut hat,

<sup>1</sup> *Marx, Karl: Grundrisse der Kritik der politischen Ökonomie.* Berlin: Dietz Verlag 1953, Seite 592 ff.

ebenso wie die Ausnutzung der Kräfte einer Reihe von Tieren, von Pferden, Kamelen usw., dienen der Vervielfachung seiner eigenen bescheidenen Kräfte. Dasselbe gilt in bezug auf die zu erwartende Entwicklung. Das Verhältnis von Mensch und Maschine ändert sich aber im Laufe der Geschichte Schritt für Schritt.

Die Maschine ist zwar nur das anorganische Produkt des Menschen, eine Form der Rückwirkung des Menschen auf die anorganische Natur, gleichzeitig ist sie damit aber auch ein Stück seiner umgestalteten Umwelt und insofern ein Bestandteil der menschlichen Welt. Der Mensch paßt sich seiner Umgebung an. Aber er paßt seine Umgebung zugleich auch bewußt seinen menschlichen Bedürfnissen an. Dieses Verhalten unterscheidet den Menschen wesentlich vom Tier, das seine Umwelt nur zufällig und unbewußt umgestaltet. Zwischen Mensch und Maschine besteht ein wechselseitiger Anpassungsprozeß, bei dem der Mensch grundsätzlich und im ganzen gesehen die primäre Rolle spielt; er spielt diese Rolle jedoch nicht in jeder Beziehung. Zwar schafft er die Maschine, um seine eigenen Unzulänglichkeiten im Kampf mit der Natur zu überwinden oder zum Teil auszugleichen, die relativen Unvollkommenheiten der von ihm geschaffenen Mittel muß er aber seinerseits wieder mit spezifisch menschlichen Mitteln kompensieren. Einmal geschaffen, unterwirft sich daher die Maschine, von der technischen Seite her gesehen, in gewisser Hinsicht auch den Menschen.

Wir wissen, daß dies besonders kraß in Erscheinung tritt, wenn sich die Technik im Rahmen kapitalistischer Gesellschaftssysteme entwickelt. Die industrielle Revolution im 19. Jahrhundert, besonders die Rationalisierung mit Hilfe des Fließbandsystems, führte dazu, daß der Mensch zum Anhängsel der Maschine wurde. Er zog den ganzen Tag über nur eine Mutter fest oder steckte einen Bolzen in ein Loch. Dabei wurde die Geschwindigkeit des Bandes im Profitinteresse des Unternehmers ständig noch erhöht. Zwar bedeutet eine derartig auf die Spitze getriebene Arbeitsteilung zugleich auch eine gewaltige Steigerung der Arbeitsproduktivität gegenüber der Einzelherstellung, aber sie geht in solcher Form auf Kosten des werktätigen Menschen, auf Kosten seiner Gesundheit und hat die Tendenz, ihn körperlich wie geistig zu verkrüppeln.

Uns interessiert in diesem Zusammenhang etwas anderes: Ein Fließband kann zum Beispiel eine bestimmte begrenzte Laufgeschwindig-

keit nicht überschreiten, da es den Menschen als Bestandteil des Gesamtmechanismus erfordert. Der Mensch aber vermag seine Tätigkeit nur mit einer gewissen maximalen Geschwindigkeit zu verrichten, die zudem auch nur über eine begrenzte Zeit aufrechterhalten werden kann. Verallgemeinern wir dies, so gelangen wir zu dem Schluß, daß eine solche Kopplung von Mensch und Maschine dem Leistungsvermögen der Maschine selbst eine Grenze setzt, die vor allem vom Menschen abhängt.

Maschinen dieser Art wurden etwa bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts gebaut. Sie vervielfachten zwar in zunehmendem Maße die Kraft und die Fähigkeit des Menschen, waren aber zugleich dem Leistungsvermögen des sie bedienenden Menschen angepaßt. An diesem Punkt müßte eine Stagnation in der Entwicklung der Maschine eintreten, wenn es nicht die neuen Möglichkeiten der modernen Automatisierung, insbesondere in ihrer kybernetischen Form, gäbe.

Welche Leistungsfähigkeitsgrenzen des Menschen können nun von der fortschreitenden Automatisierung überschritten werden? Im Vordergrund stehen nicht so sehr die rein physischen Schranken; denn die menschlichen Energien können durch Maschinen beinahe unbeschränkt verstärkt werden. Entscheidend ist vielmehr, daß der Mensch Steuerungsprozesse nicht beliebig beschleunigen kann. Der Arbeiter am Fließband vermag den Bolzen in das vorgeschriebene Loch eben nur mit einer bestimmten Höchstgeschwindigkeit hineinzustecken, ohne sich dabei fortwährend zu „verhaspeln“. Das Band kann daher nur mit einer bestimmten maximalen Geschwindigkeit laufen.

Die Ursachen für diese Beschränkung des Menschen liegen letztlich in einigen seiner physischen und psychischen Besonderheiten. Die Nervenimpulse im menschlichen Organismus weisen eine bestimmte begrenzte Laufgeschwindigkeit auf. Die frühere neurophysiologische und die moderne neurokybernetische Forschung haben vielfältiges wissenschaftliches Material hierüber zusammengetragen. Ein wichtiges Moment ist die sogenannte „Refraktärzeit“. Das ist die Zeit, während der die menschlichen Nervenzellen aus physiologischen Gründen, auf die wir hier nicht näher eingehen können, nicht erregbar sind, weshalb weder Einwirkungen der Außenwelt in kleineren Intervallen aufgenommen werden noch Aktionen in die Umgebung

erfolgen können. Die Refraktärzeit hat eine untere Grenze von etwa  $\frac{1}{100}$  Sekunde. Dieses Intervall ist durch intensives Training nur geringfügig zu verkürzen.

Zur Illustration können wir an folgenden Versuch denken. Ein

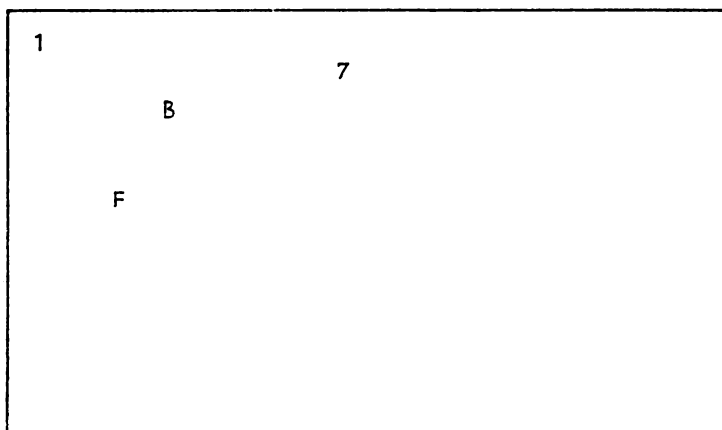
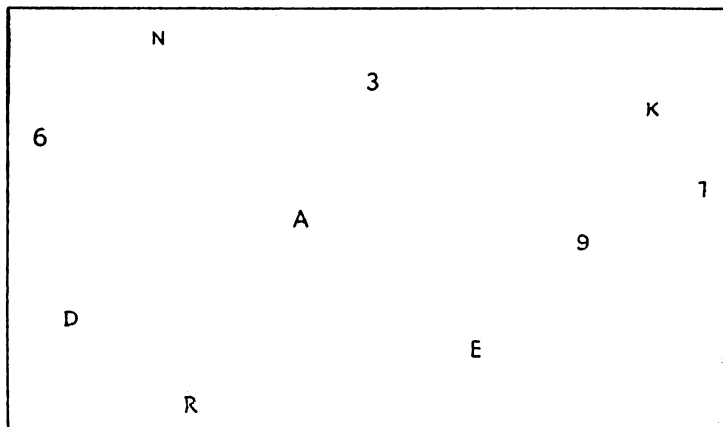


Abb. 36

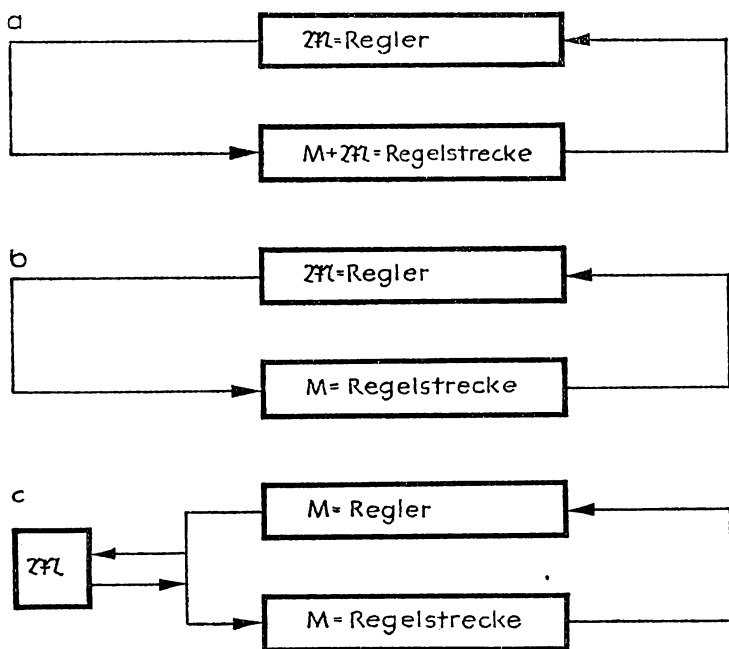
Testbild zur Kontrolle des Umfangs der Aufmerksamkeit mit 4 Objekten

Abb. 37

Testbild zur Kontrolle des Umfangs der Aufmerksamkeit mit 10 Objekten



Mensch erhält ein Lichtsignal und ist beauftrag, in demselben Moment, in dem er dieses Signal wahrnimmt, eine Drucktaste zu betätigen. Ist die Apparatur mit einem Zeitmeßwerk verbunden, kann man genau feststellen, welche „Reaktionsträgheit“ der betreffende Mensch besitzt. Von praktischer Bedeutung ist dieser Sachverhalt beim Autofahren. Man spricht da von der sogenannten „Schrecksekunde“: Unter einer bestimmten Schwelle ist der Mensch unfähig zu reagieren, kommt die Reaktion unvermeidlich zu spät. Außer der eng begrenzten Laufzeit der Nervenimpulse steht einer beliebigen Beschleunigung menschlicher Steuerungsprozesse die relativ geringe



$ZM$  = Mensch bzw. Teilsysteme des Menschen  
 $M$  = maschinelle Systeme

Abb. 38

Entwicklung der kybernetischen Beziehung zwischen Mensch und Maschine

Fähigkeit des Menschen entgegen, seine Aufmerksamkeit gleichzeitig auf mehrere Objekte, Vorgänge oder Tätigkeiten zu konzentrieren. Der Grund dafür liegt in Bau und Funktionsweise unseres Gehirns. So vermag der erwachsene Mensch vier bis höchstens sechs verschiedene unabhängige Objekte mit seiner Aufmerksamkeit gleichzeitig zu erfassen. Während man zum Beispiel Abb. 36 mit einem Blick aufnimmt, dürfte das bei Abb. 37 unmöglich sein. Auch der Umfang unserer Aufmerksamkeit ist also eng begrenzt.

Ebenso verhält es sich mit der Fähigkeit, die Aufmerksamkeit zu verteilen. Es ist dem Menschen unmöglich, zwei Dinge zu tun, wenn jedes genaue Überlegung und die Aufmerksamkeit für viele Einzelheiten der Ausführung verlangt. Beides jedoch — ein großer Umfang der Aufmerksamkeit und ihre Verteilung auf mehrere Tätigkeiten — sind häufig Forderungen moderner Steuerungs- und Regelungsprozesse. Mit der Begrenztheit der menschlichen Aufmerksamkeit hinsichtlich Umfang und Verteilung hängt auch die Grenze für die Bedienung mehrerer Maschinen und für die Zuverlässigkeit der Kontrolle großer Anzeigetafeln in zentralen Schalträumen zusammen. Hier kann auch der menschliche Dispatcher überfordert werden, der in zentralen Steuerungsanlagen heute noch eine wichtige Rolle spielt (Tafel 2). In einem bestimmten Entwicklungsstadium muß er durch einen kybernetischen Automaten ersetzt werden.

Daß der Mensch in zunehmendem Maße neben die Maschine, die technische Gerätschaft, tritt, ist eine unbedingte Notwendigkeit für die weitere Entwicklung der Technik und damit für die Steigerung der Arbeitsproduktivität als der entscheidenden Grundlage allen Wohlstands der Gesellschaft.

Auf dem Wege zur Automatisierung lassen sich die Stufen Hantieren — Mechanisieren — Automatisieren unterscheiden. Sie charakterisieren zugleich das allmähliche Zurückweichen des Menschen aus der unmittelbaren Produktionstätigkeit. Abb. 38 veranschaulicht, wie sich diese Entwicklung schematisch darstellen läßt. Beim Hantieren regelt ein Teilsystem des Menschen (das Gehirn) ein aus Maschinen und einem anderen Teilsystem des Menschen (z. B. den Muskeln der Arme und der Hände) bestehendes Gesamtsystem (Abb. 38a). Beim Mechanisieren ist der Mensch nur noch Regler des Prozesses (Abb. 38b). Auf der Stufe der Automatisierung schließlich tritt der Mensch als Konstrukteur und Überwacher des Regelsystems

auf (Abb. 38c). In einem noch höheren Entwicklungsstadium der Automatisierung gibt er nur noch die Produktionsziele an und legt in die automatischen Systeme die von ihm erkannten allgemeinen Evolutionsprinzipien hinein.

### *Können Maschinen denken?*

Der Leser kennt bereits einige Typen von Automaten, die Arbeiten verrichten, welche bisher allein dem Menschen vorbehalten schienen. Dies gilt nicht nur für körperliche, sondern auch für geistige Tätigkeiten, die Automaten in dem Sinne „verrichten“ bzw. ersetzen, daß sie auch Kontrollfunktionen übernehmen und logische „Entscheidungen treffen“ können, zu denen bisher nur der Mensch fähig schien. Je komplizierter Kontrollfunktionen sind, um so verwickelter sind beim Menschen die zu bewältigenden geistigen Prozesse. Wenn wir feststellen, daß Maschinen auch Kontrollfunktionen des Menschen übernehmen, so können wir mit einer gewissen Berechtigung sagen, sie *übernehmen* oder *ersetzen* bestimmte geistige Funktionen.

Bedenken wir, wie allgemein verbreitet diese Erscheinung in der modernen Technik ist, finden wir daran gar nichts Besonderes. Kein Mensch kommt auf die Idee, in solchen Fällen zu sagen, die Maschine „denkt“. Der Kybernetiker sagt zu diesen Gegebenheiten, daß unterschiedliche Systeme ähnliche oder analoge Verhaltensweisen aufweisen können. Die prinzipiellen Möglichkeiten hierfür hatten wir schon im Zusammenhang mit der Analyse eines „Schwarzen Kastens“ kennengelernt und bemerkt, daß ein und dieselbe Funktion durch sehr unterschiedliche Strukturen realisiert werden kann. Wir wollen also festhalten: Maschinen ersetzen zwar zahlreiche körperliche und geistige Tätigkeiten des Menschen, die uns vertrauten technischen Aggregate lassen aber zumindest keine Rückschlüsse darauf zu, daß sich in ihnen gleichartige körperliche oder geistige Funktionen vollziehen. Die in unserer Überschrift gestellte Frage, ob Maschinen denken können, erscheint, von dieser Warte aus gesehen, gänzlich absurd.

Freilich haben wir verhältnismäßig einfache Beispiele im Auge, wenn wir an die heutige Technik denken. In der Zukunft wird die



moderne Maschinerie in zunehmendem Umfange Kontrollfunktionen übernehmen, die bisher der Mensch ausgeübt hat. Außerdem hat die moderne Technik eine völlig neue Art von Maschinen hervorgebracht, die wir unter dem Begriff „Informationsmaschine“ zusammenfassen können. Es handelt sich um jene technischen Geräte, die ausschließlich zu dem Zweck entwickelt worden sind, zu „rechnen“, zu „übersetzen“ usw., das heißt, geistige Funktionen des Menschen zu ersetzen. Besonders erstaunliche Leistungen zeigen die elektronischen Rechenmaschinen. Sie bewältigen Aufgaben, die bisher Mathematiker bei weitem nicht so schnell und zuverlässig zu lösen vermochten. Viele Aufgaben sind von Menschen überhaupt nicht lösbar, weil die Lebenszeit nicht ausreicht, um die Rechnungen tatsächlich ausführen zu können, die eine Maschine mit ungeheurer Geschwindigkeit in wenigen Sekunden erledigt. Spekulationen über „denkende“ Maschinen oder Automaten sind gewöhnlich an derartige elektronische Rechenmaschinen und ihre Perspektiven geknüpft (Tafel 6).

Erkundigen wir uns in der Wissenschaft, zu welchen Leistungen solche Maschinen prinzipiell in der Lage sind, so erhalten wir im Ergebnis einer tiefgründigen philosophischen und logischen Analyse des Sachverhalts die Antwort, daß es für die Leistungen kybernetischer Maschinen im Vergleich zu den Leistungen, die das menschliche Gehirn bietet, keine prinzipiellen Schranken gibt.<sup>1</sup> Wohlgermerkt bezieht sich diese Aussage auf von Maschinen gelieferte *Resultate*, die wir bisher gewohnt waren, von Menschen zu erhalten. Im übrigen darf man in Anbetracht der großen Allgemeinheit der Aussage nicht allein den gegenwärtigen Stand im Auge haben, sondern muß auch die prinzipiellen Möglichkeiten weiterer Entwicklung berücksichtigen. Wenn zum Beispiel die heute bekannten elektronischen Rechenmaschinen ihre Programme von Programmierern, also von eigens dazu ausgebildeten Personen erhalten, werden sich künftige Maschinen ihr Programm selbst geben, ja es sogar entsprechend veränderten „Umweltbedingungen“ selbständig und zweckentsprechend ändern.

Dem Wesen nach liegt bei elektronischen Rechenmaschinen ein ganz

<sup>1</sup> vgl. hierzu Klaus, G.: Kybernetik in philosophischer Sicht. Berlin: Dietz Verlag 1965, S. 146 ff.

ähnlicher Sachverhalt vor wie bei einfachen Kontrollmechanismen, an die wir zunächst gedacht hatten. Auch in diesem Falle ist es unzulässig, aus gleichem oder analogem Verhalten auf Wesensgleichheit zu schließen. Zwar liefern diese Geräte Resultate, die mit Ergebnissen der Denkarbeit von Mathematikern übereinstimmen können, aber die Prozesse, die in den elektronischen Rechenmaschinen vorgehen, sind keine formallogischen oder irgendwelche sonstigen Denkvorgänge, sondern sich auf physikalischer Grundlage vollziehende Prozesse der Informationsverarbeitung. Daß die Rechenmaschinen dennoch Ergebnisse zu liefern vermögen, die Denkleistungen entsprechen, wissen wir bereits von den Darlegungen zum „Analogrechner“ im Abschnitt über die Modellmethode. Die formallogischen Beziehungen und Gesetze unseres Denkens sind Abstraktionen aus der realen Welt. Es muß daher möglich sein, diese Beziehungen durch irgendwelche realen Sachverhalte darzustellen, abzubilden. Um ein „Modell“ der logischen Operationen zu erlangen, ist nur notwendig, die jeweilige Zuordnung zwischen den formallogischen Beziehungen und den realen Beziehungen im gewählten Bereich der Wirklichkeit und umgekehrt anzugeben. Daß man dafür meist *den* Bereich der materiellen Welt auswählt, den die Elektronik und die elektronischen Schaltungen erfassen, hat seinen Grund darin, daß sich die Prozesse in diesem Bereich mit außerordentlicher Geschwindigkeit vollziehen. Sie ist auch die wesentlichste Ursache für die erstaunlichen Leistungen elektronischer Rechenmaschinen, die jene des menschlichen Gehirns in mancher Beziehung in den Schatten stellen. In Abb. 39 ist der vorliegende Sachverhalt schematisch dargestellt. Einmal haben wir es mit den „gewohnten“ Zusammenhängen zu tun: Mit den durch Abstraktion aus Beziehungen zwischen realen Sachverhalten gewonnenen logischen Beziehungen und Gesetzen werden im menschlichen Gehirn geistige Operationen vollzogen, die schließlich zu bestimmten Denkergebnissen führen (Abb. 39a). Die zweite Möglichkeit veranschaulicht Abb. 39b: Ausgangspunkt ist auch hier die Kenntnis der logischen Beziehungen und Gesetze. Anstelle der geistigen Operationen im Gehirn erfolgt aber eine „Übersetzung“ der logischen Sachverhalte in einen Teilbereich der Realität, in den der elektronischen Schaltungen. Dort vollziehen sich die entsprechenden, „normalerweise“ auftretenden physikalischen Prozesse, die zu bestimmten Resultaten führen. Eine

„Rückübersetzung“ in die „Sprache des Geistigen“ läßt uns wiederum zu Denkresultaten gelangen.

Wir schlußfolgern also, daß Maschinen nicht denken können (auch elektronische Rechenmaschinen nicht), vorausgesetzt, daß wir den Begriff „Denken“ so festlegen, wie dies in Psychologie und Erkenntnistheorie üblich ist. Allerdings spielen sich in Rechenmaschinen

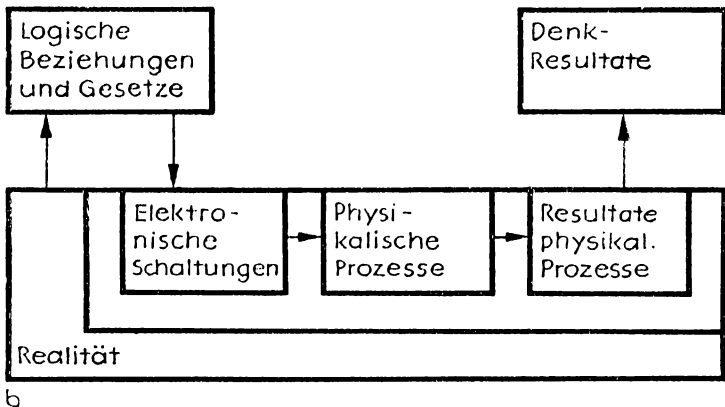
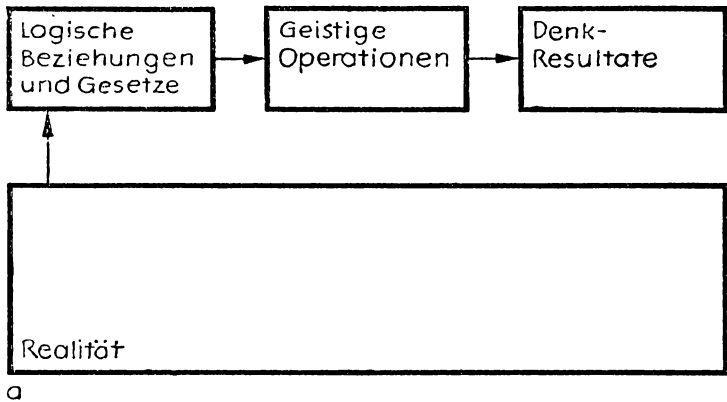


Abb. 39

Zwei mögliche Wege zur Gewinnung von Denkresultaten

Prozesse ab, die Denkvorgängen analog, die Modelle logischer Prozesse sind. Die Überlegenheit der Rechenmaschine gegenüber dem Menschen besteht darin, daß sich die physikalischen Prozesse in Maschinen in der Regel genauer und wesentlich schneller abwickeln als die geistigen des Menschen, für deren Geschwindigkeit es — wie wir bereits wissen — relativ enge Grenzen gibt. Außerdem ist die Maschine nicht von Ermüdungserscheinungen betroffen, die den Menschen behindern können. In diesen Faktoren liegt das ganze „Geheimnis“ der erstaunlichen Leistungsfähigkeit elektronischer Rechenmaschinen. Wenn daher von „Elektronengehirnen“, von „Denkmaschinen“, vom „Gedächtnis“ einer kybernetischen Einrichtung usw. die Rede ist, so ist eine solche Ausdrucksweise nur zulässig, wenn wir einen besonderen, für die Kybernetik spezifischen Abstraktionsprozeß durchführen. Kybernetische Maschinen haben nichts Unheimliches oder gar Erschreckendes an sich, sondern sind eine weitere Stufe des menschlichen Fortschritts in der Beherrschung der Natur und ihrer Gesetze.

Im Gegensatz zu diesen nüchternen Tatsachen und der wissenschaftlichen Einschätzung von Ergebnissen der Kybernetik durch den dialektischen Materialismus werden in den kapitalistischen Ländern die philosophischen Probleme — und um solche handelt es sich in diesem Zusammenhang —, die mit dem Bau elektronischer Rechenmaschinen aufgeworfen werden, häufig mystifiziert. Da gibt es bereits eine ganze Sparte innerhalb der populärwissenschaftlichen, philosophischen und sogar der schöngeistigen Literatur, die sich in phantastischen Schilderungen eines Schreckbildes der Zukunft ergeht, in der die Menschen von „kybernetischen Robotern“ beherrscht würden. Solche Auffassungen sind in ihrem Wesen eine Widerspiegelung des Zustandes der kapitalistischen Gesellschaft, ein Ausdruck ihres Untergangs. Alle verfallenden Gesellschaftsklassen in der Geschichte haben geglaubt, mit ihnen sei die menschliche Gesellschaft überhaupt am Ende ihrer Entwicklung angelangt. Der objektive Zweck der Phantastereien um denkende Rechenmaschinen und teuflische Roboter besteht darin, Angst und Schrecken unter den Werktätigen zu verbreiten und ihnen die Perspektivlosigkeit des menschlichen Daseins einzureden. Natürlich werfen die Resultate der Kybernetik zahlreiche neue gesellschaftliche Probleme auf. Aber der untergehenden kapitalistischen Gesellschaftsordnung bleibt es vor-

behalten, diese Ergebnisse zu mißbrauchen. In einer Welt des Sozialismus und Kommunismus, in der die Klassenspaltung der Gesellschaft aufgehoben ist und die wahre Freiheit des Menschen alle seine Schöpferkraft freisetzt, wird auch der Roboter dem allgemeinen Wohl dienen.

Wie wird die Entwicklung weitergehen? Entscheidend für die gesellschaftlichen Auswirkungen des neuen Maschinentyps ist die Tatsache, daß im Sozialismus die Maschinen für menschliche Zwecke gebaut werden. Damit ist bereits eine bestimmte Entwicklungsrichtung der Automaten festgelegt. Unser Ziel ist nicht die Unterwerfung anderer Menschen, sondern die Befreiung des Menschen von schwerer körperlicher Arbeit und von eintöniger, mechanischer körperlicher und geistiger Tätigkeit. Dadurch werden alle schöpferischen Kräfte des Menschen freigesetzt. Die Kybernetik, die Automatisierung im weiteren Sinne liefern die wissenschaftlich-technischen Grundlagen für die Verwirklichung dieser Ideale des Sozialismus und Kommunismus.

In dem Bestreben, den Fehlspekulationen und Schreckbildern westlicher Ideologen entgegenzutreten, werden manchmal recht enge Grenzen für die weitere Entwicklung kybernetischer Automaten gezogen. Man sagt mitunter, dies und jenes werden Maschinen niemals tun können. Demgegenüber haben wir bereits darauf hingewiesen, daß sich bezüglich der Leistungsfähigkeit künstlicher kybernetischer Systeme keine Grenzen nachweisen lassen. Solche Auffassungen können rasch von der praktischen Entwicklung überholt werden. Häufig liegen ihnen falsche Vorstellungen über das Wesen der modernen Maschinenwelt zugrunde. Man vertritt oft die Meinung, Maschinen und kybernetische Geräte gehörten im ganzen den niederen anorganischen oder physikalischen Bewegungsformen der Materie an. Es wird behauptet, sie könnten über gewisse enge Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit nicht hinausgelangen, weil sie aus Metall, Glas und anderen anorganischen Stoffen bestehen und weil in ihnen elektrische Ströme fließen. Wir wissen bereits, was es damit für eine Bewandnis hat. Nicht die verwendeten Stoffe und die Art der Energie sind entscheidend, sondern die Struktur und die Funktionsweise dieser Systeme. Gerade diese sind keineswegs im wesentlichen durch eine „natürliche“, außermenschliche Evolution entstanden, sondern sind das Produkt einer langen Entwicklung der höchsten Bewegungs-

form, die wir kennen, nämlich der des Menschen, der menschlichen Gesellschaft und des menschlichen Geistes. Die Struktur und Funktionsweise der modernen kybernetischen Maschinen gehört nicht lediglich der Stufe des Anorganischen an. Sie ist ein anorganisches Abbild der Sphäre des Geistigen.

Die natürlichen Organismen, angefangen von den niederen Lebensformen bis hinauf zum Menschen, sind das Produkt einer selbständigen Entwicklung vom Niederen zum Höheren. Das ist ein absolut gesicherter naturwissenschaftlicher Tatbestand. Des weiteren wissen wir, daß die Organismen Gebilde von einer staunenswerten Anpassungsfähigkeit sind und eine beträchtliche Anzahl verschiedener Verhaltensweisen zur Verfügung haben. Besonders hervorragende Eigenschaften besitzt der an der Spitze dieser Evolution stehende Mensch, vor allem dank der außerordentlichen Leistungsfähigkeit seines Gehirns. Abstrahieren wir im Sinne der Kybernetik von den unterschiedlichen substantiellen Gegebenheiten der Welt des Organischen, so können wir die lebenden Organismen hinsichtlich ihrer Struktur und Funktionsweise durchaus mit kybernetischen Maschinen vergleichen, beides sind kybernetische Systeme. Allerdings erscheinen die heutigen kybernetischen Einrichtungen selbst im Vergleich zu niederen Organismen als außerordentlich primitive Systeme. Wenn wir aber bedenken, daß wir uns bei der Konstruktion künstlicher kybernetischer Systeme noch am Anfang der Entwicklung befinden und keine absolute Grenze für ihre Leistungsfähigkeit anzugeben imstande sind, so dürfen wir noch auf große Überraschungen gefaßt sein. Denn wenn die Natur ein solch hervorragendes und vollkommenes kybernetisches System wie den Menschen zustande gebracht hat, was kann man dann erst von den Produkten dieses Menschen erwarten, der bewußt auf der Grundlage immer tieferer Einsichten in das Wesen der ihn umgebenden Systeme und in sein eigenes Wesen ständig vollkommener Systeme schafft? Allerdings würden wir dann bald nicht mehr von „Maschinen“ und vielleicht auch nicht mehr von „Automaten“ sprechen können, sondern uns vielmehr im Bereich der Organismen und deren Erzeugung durch mehr oder weniger unmittelbare Vermittlung des Menschen bewegen.

Wie gesagt, stehen wir erst am Anfang einer zu erwartenden gewaltigen Entwicklung. Die bestehenden und in Zukunft noch zahl-

reich auftretenden Schwierigkeiten und Probleme dürfen daher nicht unterschätzt werden. Um sie zu meistern, muß vor allem unsere Fähigkeit wachsen, sehr komplexe Systeme zu beherrschen. Außerdem ist der Bau genügend kleiner und zugleich dauerhaft funktionsfähiger Bauelemente notwendig. Es könnte sich in Zukunft auch herausstellen, daß auf einer bestimmten stofflichen Grundlage (z. B. unter Verwendung von Metalldrähten, Halbleitern usw.) gewisse Verhaltensweisen prinzipiell nicht mehr nachahmbar sind. Freilich zöge diese Tatsache noch keine absolute Grenze für die Konstruktion kybernetischer Geräte; denn der schöpferisch tätige Mensch würde dann zweifellos andere geeignete Stoffe, z. B. organische, auffinden und entwickeln.

Schließlich möchten wir noch einmal hervorheben, daß die Entwicklung auf dem Gebiet kybernetischer Maschinen eng mit dem weiteren Eindringen des Menschen in die Geheimnisse der Natur verbunden ist. Viele Rätsel über den Menschen und das menschliche Denken müssen noch aufgeklärt werden. Der von allen sozialen Fesseln befreite Mensch im Sozialismus und in der kommunistischen Zukunft sowie die mit dieser Gesellschaftsordnung untrennbar verknüpfte revolutionäre Entwicklung von Wissenschaft und Technik sind die Voraussetzungen für das unaufhaltsame Vordringen der menschlichen Erkenntnis. Die Möglichkeit, den Bau kybernetischer Maschinen zu beschränken, bedeutet zugleich die Möglichkeit der Erkenntnis der Welt zu bestreiten oder mindestens einzuengen. Noch sind bei weitem nicht alle Seiten des Denkens und des menschlichen Bewußtseins erforscht, aber der Bau immer vollkommenerer kybernetischer Systeme wird weiterhelfen. Manchmal sind auch wir geneigt — aus Sorge, die „Grundfrage der Philosophie“ zu verwischen —, zwischen Geist und Materie auch außerhalb der erkenntnistheoretischen Grundfrage eine absolute Grenze zu ziehen. Auf diese Weise verwandeln wir aber das menschliche Denken und das Bewußtsein in eine mystische Erscheinung, zu der es für den Verstand keinen Zutritt gibt. Zweifellos dürfte auch hier, recht verstanden, gelten, was *Friedrich Engels* seinerzeit gegen *Kant* und dessen unerkennbares „Ding an sich“ sagte:

„Die schlagendste Widerlegung dieser wie aller anderen philosophischen Schrullen ist die Praxis, nämlich das Experiment und die Industrie. Wenn wir die Richtigkeit unserer Auffassung eines Natur-

vorgangs beweisen können, indem wir ihn selbst machen, ihn aus seinen Bedingungen erzeugen, ihn obendrein unseren Zwecken dienstbar werden lassen, so ist es mit dem Kantschen unfäßbaren ‚Ding an sich‘ zu Ende.“<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Marx/Engels: Ausgewählte Schriften*, Bd. II. Berlin: Dietz Verlag 1958, S. 345



## *Literaturhinweise*

Wer weiter in die Kybernetik und ihre wichtigsten Anwendungen eindringen möchte, dem seien folgende Schriften empfohlen:

GRENIEWSKI, H. KEMPISTY, M.: Kybernetische Systemtheorie ohne Mathematik, Berlin: Dietz Verlag 1966

KLAUS, G.: Kybernetik in philosophischer Sicht, 4. Aufl. Berlin: Dietz Verlag 1965

KLAUS, G.: Kybernetik und Gesellschaft, Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1965

LIEBSCHER, H.: Kybernetik und Leitungstätigkeit, Berlin: Dietz Verlag 1966

POLETAJEW, I. A.: Kybernetik. Kurze Einführung in eine neue Wissenschaft. 2. Aufl. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1963

Wörterbuch der Kybernetik (Hrsg. von G. Klaus), Berlin: Dietz Verlag 1967

(Dieses Buch enthält ein umfangreiches Literaturverzeichnis.)

## *Sachwörterverzeichnis*

- Abstraktion 24, 27, 28, 30, 53  
Algorithmus 22, 27  
Anpassungsfähigkeit 43, 91  
Ausgang (output) 37, 38  
Automat 53, 54, 85, 86, 87, 125  
— kybernetischer 95, 130  
Automatisierung 75, 85, 86, 87,  
99, 100, 108, 114, 115, 116, 117  
— kybernetische 88, 92, 98  
— nichtkybernetische 88, 90, 98  
  
Black-Box-Methode 64, 65, 66, 84  
Blockschaltbild 15, 66  
  
Codierung 19  
  
Effektor 33  
Eingang (input) 37  
Element eines Systems 9, 10, 11,  
30, 31  
  
Festwertregler 46  
Führungsgröße 16, 18  
  
Höherentwicklung 61, 62  
  
Information 12, 19, 27, 102, 108  
— Speicherung der 20, 51, 110  
  
Komplexität 31, 45, 56, 94, 105  
  
Modellmethode 64, 70, 72, 73, 84,  
106, 107, 127  
  
Nachlaufregelung 50  
  
Optimierung 102  
  
Programm 15, 86  
Programmregelung 47  
  
Rechenmaschine 86, 126, 127  
— Analogie- 71, 73, 127  
— elektronische 74, 98, 107, 109,  
110, 126  
  
Regelgröße 15, 16, 18  
Regelgüte 40  
Regelkreis 15, 16, 33, 50  
Regelstrecke 15, 33  
Regelung 13, 16, 108  
Regelungssystem 19  
Regler 15, 16, 33  
Rezeptor 33  
Rückkopplung 15, 26, 50, 88  
  
Selbstreproduktion 61, 62  
Signal 12, 19, 102  
Sollwert 16  
Spieltheorie 21, 27  
Stabilität 30, 32, 36, 41, 42, 46,  
55, 105  
— Multi- 44  
— Ultra- 42, 45  
Stellgröße 15, 18  
Störung 15, 18, 32, 33, 34, 36, 38  
— der Information 32  
— der Wirkung 32, 33

System 10, 11, 12, 13, 16, 17, 26,  
30, 35  
— dynamisches 10, 24, 32, 35, 43,  
46  
--- kybernetisches 27, 28, 30, 33, 35,  
36, 51, 102, 130, 131, 132  
--- lernendes 52, 53  
--- selbstregulierendes 13, 27, 104  
Systembegriff, Relativität des 30,  
31

Teilsystem 10, 11, 12, 30, 44

Totzeit 38

Transferstraße 90

Verhaltensweise 12

Versuch-Irrtum-Methode 64, 81,  
84

Vollkommenheit 32, 46, 55, 106

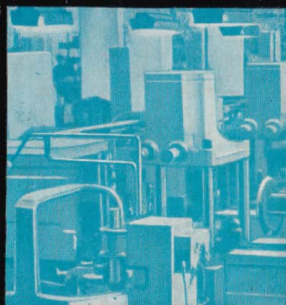
Weitschweifigkeit (Redundanz) 58

Zielstrebigkeit 46

Zuverlässigkeit 56

## *Inhalt*

<i>Vorwort</i>	5
<b>WAS IST KYBERNETIK?</b>	9
<i>Ein Kybernetiker betrachtet einen Kraftwagen</i>	9
<i>Keine Angst vor Mathematik!</i>	24
<i>„Kybernetische Systeme“</i>	26
<i>Störung nicht unerwünscht</i>	32
<i>Das „vollkommene“ System</i>	45
<b>WAS BRINGT UNS DIE KYBERNETIK?</b>	63
<b>Neue Methoden</b>	64
<i>Der „Schwarze Kasten“</i>	64
<i>Wissenschaftliche Spielereien?</i>	70
<i>Probieren und Studieren</i>	80
<b>Moderne Automatisierung</b>	85
<i>Maschinen und Automaten</i>	87
<i>Planen und Leiten</i>	99
<i>Mensch und Automat</i>	113
<i>Können Maschinen denken?</i>	124
<i>Literaturhinweise</i>	133
<i>Sachwörterverzeichnis</i>	134



# URANIA

Können Maschinen denken?  
Wird der Roboter den Menschen ersetzen?  
Diese und andere Fragen stellt die Kybernetik.  
„Was ist, was soll Kybernetik“  
ist eine ausführlich gestaltete,  
für jeden verständliche Einführung  
in diese Wissenschaft.