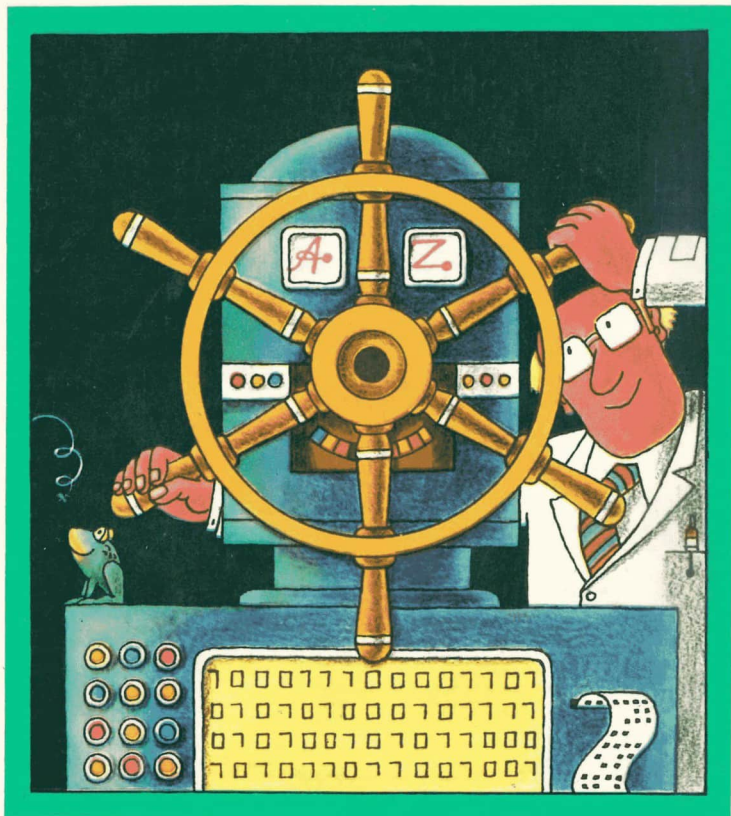
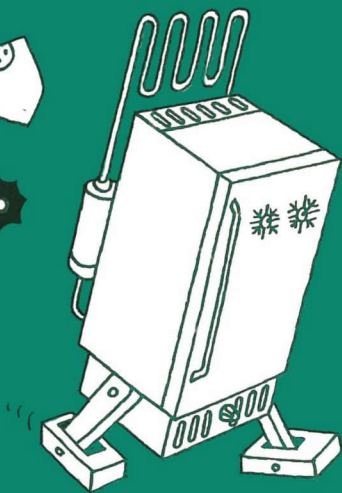
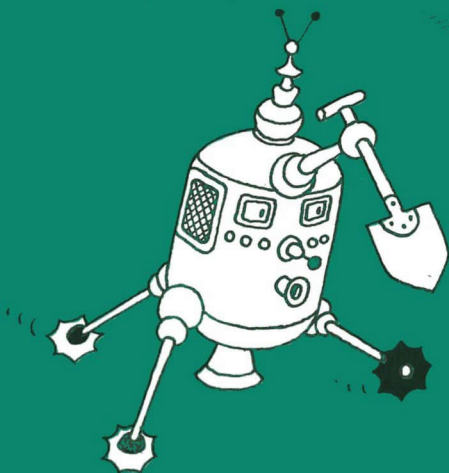
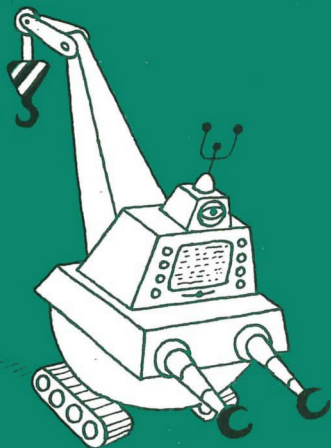
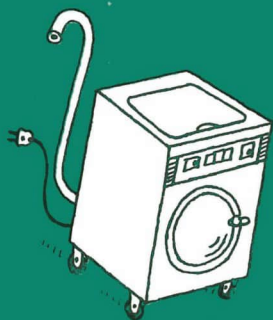
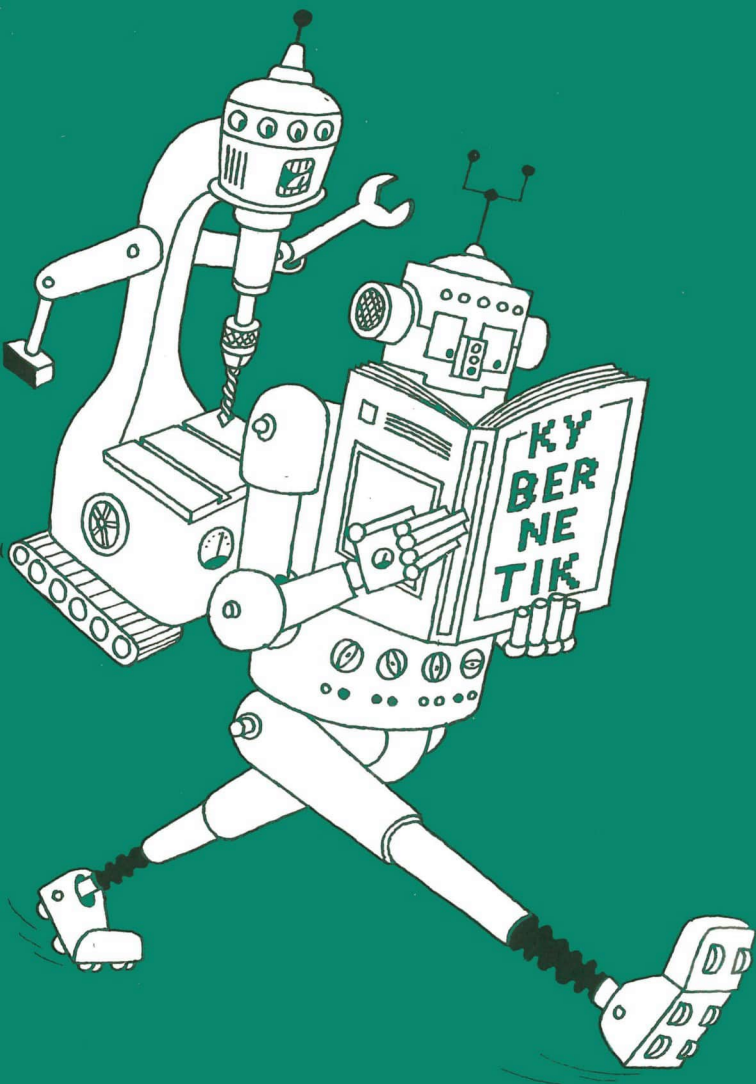


VIKTOR PEKELIS

Kleine Enzyklopädie von der großen Kybernetik







Viktor Pekelis

Kleine Enzyklopädie von der großen Kybernetik

Illustrationen von Boris Below

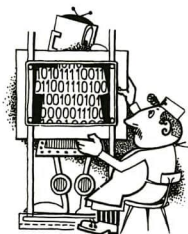


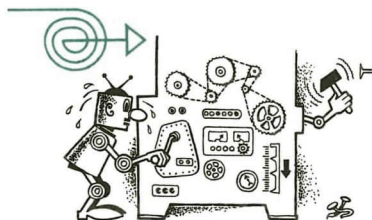
Der Kinderbuchverlag Berlin

Einband und Vorsatz von Harri Parschau
Beschriftungen der Illustrationen von Heinz Grothmann

Inhaltsverzeichnis

An meine Leserfreunde	7
Studiert die Kybernetik!	10
Automat	13
Automatik	22
Automatisierung	39
Bionik	46
Black-box	55
Dualsystem	63
Elektronischer Digitalrechner . . .	70
Ergonomie	78
Heuristik	91
Information	99
Jacquard-Prinzip	110
Kodegruppe	121
Kybernetik	126
Maschinensprache	133
Programmierung	140
Prozeßrechner	153
Rechentechnik	161
Rechenvorschrift (Algorithmus) . .	176
Roboter	182
Rückkopplung	190
Selbstanpassendes System	196
Semiotik	204
Speicherkapazität	212
Spieltheorie	225
Spracherkennung	236
Steuerungssysteme	246
Summator	260
Theorie der Großen Systeme . . .	265
Zahlenaufzeichnung in der Maschine	278
Zeichenerkennung	284
Zuverlässigkeit	293





An meine Leserfreunde

Es gibt viele Bücher über Kybernetik: fachwissenschaftliche, populärwissenschaftliche, wissenschaftlich-belletristische und reportagehafte, und es gibt sie in Form von Broschüren, Lehrbüchern und Nachschlagewerken.

Das darin angesammelte Wissen von dieser Wissenschaft liegt vor uns gleichsam wie ein weites Meer.

Einem nicht mit der Sache vertrauten jungen Leser wird es schwerfallen, sich in seinen Wellen auf große Fahrt zu begeben — er kann leicht untergehen.

Er braucht also einen Lotsen, der ihm hilft, alle Klippen zu meiden und alle Untiefen zu umfahren, der ihm sagen kann, welcher Hafen anzulaufen ist.

Es ist in der Tat so, wer unerfahren und mit einer Sache nicht vertraut ist, wer nicht weiß, wo er zu suchen und was er sich anzusehen hat, wird es schwer haben, sich darüber gründlich zu informieren. Doch der Wunsch, Neues zu entdecken, ja sogar gleich alles Wissenswerte zu überschauen, ist sehr groß!

Wir werden aber nicht alle möglichen Wege und Pfade der Erkenntnis durchlaufen! Wozu auch Bekanntes noch einmal entdecken, Gefundenes noch einmal suchen?

Kurz gesagt: Der Leser erwartet auf eine konkrete Frage eine kurze und klare Antwort, und das kann eben eine Enzyklopädie.

In der vorliegenden kleinen Enzyklopädie unternehmen wir den Versuch, von der großen Kybernetik zu berichten. Dazu mußten wir in einem Buch sozusagen drei Bücher vereinigen: eines zum Lesen, das andere zum Betrachten und das dritte zum Nachschlagen.

Der erste Teil enthält kleinere Episoden über Erstaunliches und Ungewöhnliches in der Kybernetik; der zweite viele ins einzelne gehende Zeichnungen von Boris Below, die dieser mit Ideenreichtum gestaltet hat. Sie sind nicht nur anschaulich, sondern sie helfen oftmals, das geschriebene Wort leichter verständlich zu machen. Man braucht nur hinzusehen, und schon breitet sich vor einem das ganze Wesen der Sache aus. Ich hoffe, daß ihr, meine lieben Leser, auch an den Zeichnungen am Ende jedes Abschnitts, deren Motive von sowjetischen und anderen ausländischen

Zeichnern stammen, euern Spaß haben werdet. Der dritte Teil schließlich ist die Enzyklopädie. Wenn ihr wollt, könnt ihr diese einzelnen Abschnitte in alphabetischer Reihenfolge lesen, ihr könnt aber auch mit einem beliebigen Stichwort beginnen. In jedem Falle lernt ihr einen Grundbegriff der Kybernetik kennen. Jeder der Begriffe ist für sich allein verständlich, alle zusammen aber bilden sie einen zusammenhängenden Bericht über diese neue Wissenschaft.

Aus dem reichhaltigen »Buchstaben«-Angebot des kybernetischen »Alphabets« sind hier nur die bedeutendsten und wichtigsten ausgewählt. Es bestand keine Möglichkeit, alle »Buchstaben« anzuführen. Allein das Verzeichnis der Begriffe und Gegenstände, die in der für die Fachleute herausgegebenen Enzyklopädie der Automatisierung und Elektronik enthalten sind, füllt mehr als 100 Seiten! Und die Enzyklopädie selbst besteht aus vier dicken Bänden von je 500 Seiten.

Da sich das deutsche Alphabet vom russischen unterscheidet, sahen sich Verlag, Übersetzer und Verfasser gezwungen, die Schlagwortfolge gegenüber dem russischen Original etwas abzuändern. Dennoch ist es im wesentlichen gelungen, die Begriffe so anzuordnen, daß ihr zügig hintereinander weg lesen könnt, ohne dabei über einige kybernetische Begriffe zu stolpern.

Ihr werdet fragen, benötigen denn wir Schulkinder eine ganze, wenn auch kleine, kybernetische Enzyklopädie? Müssen wir denn alle möglichen kybernetischen »Feinheiten« kennen, müssen uns etwa alle Einzelheiten, die in den vielen Stichwörtern des »kybernetischen Alphabets« auftreten, vertraut werden, oder genügt nicht vielleicht eine allgemeine Bekanntschaft mit der Kybernetik?

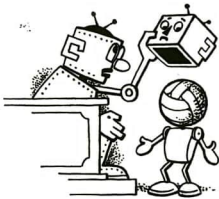
Ich sage es geradeheraus: Ja, es ist nötig. Denn in unserem Leben wird die Kybernetik künftig eine wachsende Bedeutung bekommen. Denken wir nur an eines ihrer wichtigsten technischen Ergebnisse: die Rechenautomaten. Dazu sagte zum Beispiel auf dem XVI. Komsomolkongreß der Sowjetunion der Fliegerkosmonaut, der zweimalige Held der Sowjetunion, Dr.-Ing. A. S. Jelisejew: »Die Zeit ist nicht mehr fern, in der nicht nur jedes Raumschiff, sondern auch jedes Flugzeug, jedes Auto und jede Werkbank mit leistungsfähigen Rechenmaschinen ausgerüstet sein wird. Die Rechenmaschine wird zu einem alltäglichen Hilfsmittel der Forscher, so, wie es noch bis vor kurzem der Rechenstab war.«

Das bedeutet, daß auch euch, den künftigen Werkträgern eurer Heimat,

die Begegnung mit der Welt der elektronischen Rechenmaschinen bevorsteht. Darauf müßt ihr euch schon heute vorbereiten. Und der Inhalt des Buches zeigt, daß es darüber hinaus viele weitere Anwendungsrichtungen der Kybernetik gibt: Medizin, Leitungstätigkeit, das Studium der psychischen Prozesse, des Lernens und vieles andere.

Verfasser und Verlag haben ihre Arbeit abgeschlossen. Das Buch aber beginnt sein Leben, wenn ihr es zur Hand nehmt. Damit wir alles wissen und erfahren, was Autor und Verlag zu seiner Verbesserung tun können, schreibt uns über eure Eindrücke, Hinweise und Wünsche an den Kinderbuchverlag, 108 Berlin, Behrenstraße 40/41. Das wird uns in unserer weiteren Arbeit an der »Kleinen Enzyklopädie der großen Kybernetik« helfen.

Viktor Pekelis



Studiert die Kybernetik!

Schon heute kann man sich Wissenschaft, Technik und Industrie nicht mehr ohne elektronische Rechenmaschinen, ohne Automaten, ohne jene neuen Methoden vorstellen, die die Wissenschaft von der Steuerung dem Menschen gibt.

Die Anzahl der Rechenmaschinen wächst von Tag zu Tag. Sie sind ein wahrhaft unersetzliches Werkzeug bei der geistigen Tätigkeit des Menschen. Mit ihrer Hilfe erkennen wir die Natur, steuern sie. In jeder neuen Maschine, der Helferin des Menschen, stecken der Gedanke des Wissenschaftlers, das Talent des Konstrukteurs und das Geschick des Arbeiters. Gestern noch galten »kluge« Maschinen als an Wunder grenzende Schöpfungen der Menschen, heute sind sie bereits zur Selbstverständlichkeit geworden. Wohin ihr auch kommen mögt, in ein Institut, in ein Werk oder in eine gesellschaftliche Institution, überall begegnet ihr Maschinen, die dem Menschen bei solchen Arbeiten helfen, die nicht körperliche, sondern geistige Anstrengungen erfordern. Maschinen steuern automatische Werke, lenken kosmische Apparate, regulieren den Straßenverkehr, führen mathematische Berechnungen durch, stellen Diagnosen, planen, lehren, registrieren und berechnen. Ja, wir haben eine nicht gerade kleine Arbeit auf die Schultern der elektronischen Helfer abgewälzt!

Euch jungen Menschen steht nicht nur die Beherrschung einer so komplizierten Technik bevor, sondern auch die Schaffung und der Bau neuer, noch vollkommenerer Maschinen, die Entwicklung der Wissenschaft, der diese gehorchen, das Vordringen in bisher unbekannte Tiefen kybernetischen Wissens. Ihr werdet viel Erstaunliches und Interessantes zu tun haben. Dafür muß man viel wissen und können. Um aber etwas zu wissen und etwas zu können, muß man viel und beharrlich lernen.

Ich möchte euch an die Worte W. I. Lenins erinnern:

»Lernen, lernen und nochmals lernen!«

Darin steckt ein gewaltiger und tiefer Sinn: Man muß nicht schlechthin lernen, sondern stets auf dem Stand des fortgeschrittensten Wissens sein, immer mit seiner Zeit im Gleichschritt gehen, man muß, wie die Matrosen sagen, vorausschauend sein und weit um sich herum sehen können.

Die Wissenschaft wird nur durch Wissende erobert. Wenn ihr Beherrscher »kluger« Maschinen oder Schöpfer elektronischer Roboter werden wollt, Entdecker neuer Wege in der Kybernetik, so erlernt zunächst die Grundlagen der kybernetischen Wissenschaft, eignet euch ein reiches Wissen an, das für euch die älteren Generationen, eure Väter und Großväter, bereitgestellt haben.

Ein halbes Jahrhundert, das ich der Wissenschaft gewidmet habe, gestattet mir, euch einige Worte mit auf den Weg zu geben.

Erstens möchte ich euch wünschen, studiert die Kybernetik. Seht, selbst in dieser kleinen Enzyklopädie der Kybernetik sind eine Menge Reichtümer konzentriert, die kluge Leute einst gefunden haben. Und wie viele dieser Reichtümer gibt es erst in der großen Wissenschaft, in ihren Tiefen!

Also, studiert diese Kybernetik.

Zweitens möchte ich euch wünschen, liebt die vollkommenen Schöpfungen des Menschen: die elektronischen Rechenmaschinen. Diese tadellosen Helfer der Menschen haben ihr letztes Wort noch nicht gesprochen. Vielleicht gelingt es einem von euch, diese Maschinen zu zwingen, ihre bisher ungeahnten Möglichkeiten preiszugeben.

Also studiert die Rechenautomaten, auch ihre Geschichte, beherrscht die Elektronik, träumt von der Zukunft der elektronischen Rechenmaschinen.

Drittens möchte ich euch sagen: Alles hat seine Höhen und Tiefen. Es ist natürlich verlockend, sofort auf der Höhe zu sein und von oben aus die unübersehbaren Horizonte zu betrachten. Vergeßt aber nicht: Alle neuen, verlockenden, effektvollen Dinge, wenn sie wirklich echt sind, kommen mit ihren Wurzeln aus der Tiefe. Deshalb muß man die Grundlagen unbedingt kennen. Es gibt in der Wissenschaft und auch in der Technik nichts Schlimmeres als Oberflächlichkeit.

Also, studiert die Grundlagen der Grundlagen. Vergeßt nicht, daß im Fundament jedes neuen Wissens und jeder neuen Technik Mathematik, Informationstheorie, Physik, Elektronik, Metallkunde und viele andere Wissenschaften stecken.

Als letztes möchte ich euch noch sagen: Bei jeder Sache sind Begeisterung, Zielstrebigkeit und die Fähigkeit, das Wesentliche zu erkennen, äußerst wichtig. Wie soll man das erreichen ohne Liebe zum Gegenstand, ohne Ergebenheit ihm gegenüber?

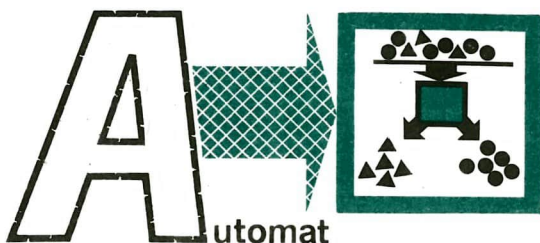
Nach langer Zeit werdet ihr euch vielleicht an einen »Buchstaben« des kybernetischen Alphabets der vorliegenden Enzyklopädie erinnern, die euch den Anstoß für den Weg in die große Wissenschaft oder in die fesselnde Welt der Technik gegeben hat.

Alles Gute auf eurem Weg, ihr zukünftigen Kybernetiker, Konstrukteure elektronischer Maschinen, Programmierer, Operateure und Monteure! Ich wünsche euch Erfolg!

A. Berg

Akademienmitglied

Held der sozialistischen Arbeit



utomat

Aggregat, das ein System von (elektronischen, elektrischen, pneumatischen, hydraulischen) Mechanismen und Vorrichtungen darstellt, in welchem die Prozesse zur Gewinnung, Umformung, Übertragung und Verarbeitung von Energie, Material oder Information vollständig mechanisiert sind, d. h. ohne unmittelbare Beteiligung des Menschen ausgeführt werden.

Das Zauberwort des Väterchen Samo

Es gibt ein Märchenbuch von Eugen Permyak mit dem Titel »Das Wunderkästchen«. In diesem »Kästchen« findet ihr auch das Märchen vom alten Väterchen Samo, einem altehrwürdigen Bergmann vom Ural und guten Zauberer, der ein Zauberwort kannte. Er brauchte es nur auszusprechen, und schon begann der Spaten von selbst zu graben, die Axt von selbst zu schlagen.

Welchem Werkzeug Väterchen Samo auch immer jenes Wort zurief, stets begann dieses Instrument selbst tätig zu werden. Drehbänke waren da, die von ganz allein das Metall bearbeiteten. Schmelzöfen begannen nach einem einzigen Befehl von selbst das Schmelzen, sich mit Möllern zu beschicken und Stahl abzustechen.

Als Väterchen Samo starb, nahm er sein Zauberwort nicht mit ins

Grab, sondern verstreute es wie die Pflanze den Samen in alle Winde. »Es wird eine Zeit kommen«, heißt es in dem Märchen, »in der dieser Samen Früchte hervorbringt, die sich überhaupt nicht beschreiben lassen. Jede Maschine, jede Werkbank, auf die ein Samenkorn fällt, wird ganz von selbst zu arbeiten beginnen.«

Wenn Väterchen Samo jetzt leben würde, könnte er sehen, daß sein Vermächtnis auf fruchtbaren Boden gefallen ist. Von solchen Maschinen, wie es sie heute gibt, hat er selbst in seinen kühnsten Phantasien nicht zu träumen gewagt.

In der Fräseerei, die wir uns ansehen wollen, kommt uns alles ungewöhnlich vor. Es ist hell, geräumig und sauber hier. Arbeiter sind an den Maschinen nicht zu sehen. Das gleichmäßige Brummen der Antriebsmotoren ertönt und kreischende Geräusche, die von den Maschinen herrühren.

Treten wir etwas näher an eine Fräsmaschine heran, erkennen wir, daß das Gekreisch durch den Fräser hervorgerufen wird, der den Werkstoff zerspant, sich hartnäckig in eine dicke Stahlplatte frißt. Allmählich zeichnen sich die Konturen eines Werkstückes ab, das von komplizierten Kurven umrissen ist.

Eine gewöhnliche Fräsmaschine wird von einem Arbeiter bedient. Würden wir ihn beobachten, könnten wir sehen, daß er bald ein Steuerungsradchen nachstellt, bald ganz leicht einen Hebel berührt, und die Fräsmaschine läuft auf einmal langsamer oder schneller. Alle diese Manipulationen, alle diese vom Menschen gesteuerten Aktionen an der Maschine sind nötig, um dem Werkstück gewünschte Formen und Maße zu geben.

An der selbsttätig arbeitenden Fräsmaschine in unserer Fräseerei drehen sich ebenfalls Teile, der Fräser verändert kaum merkbar seinen Gang. Aber wer lenkt diese Maschine? Wie findet sie sich überhaupt, ohne daß ein Mensch an ihr arbeitet, in einem solch komplizierten Bearbeitungsprozeß zurecht?

Um Antwort auf unsere Frage zu erhalten, müssen wir weit in die Vergangenheit zurückblicken:

Der Kaiser von Byzanz regierte in einer Zeit, die wir das Altertum nennen. Er saß stolz auf einem vergoldeten Thron im Schatten eines goldenen Baumes mit goldenen Zweigen und goldenen Blättern. Auf den Zweigen saßen goldene Vögel. Zwei Löwen aus purem Gold blickten von ihren Podesten links und rechts des Thrones still und stumm auf seine Untertanen hinab. Es war aber nicht nur die üppige goldene Herrlichkeit,

welche die Menschen so sehr beeindruckte. Näherte sich nämlich jemand dem Thron, so hoben die künstlichen Vögel zu singen an, und die Löwen begannen laut zu brüllen. Ehrfürchtig fielen da die Menschen vor dem Herrscher auf die Knie und senkten demütig die Stirn zu Boden. Doch wenn sie dann wieder aufblickten, war der Kaiser mitsamt seinem Thron emporgeschwebt. Nun schleuderten die göttlichen Augen des Kaisers von oben Blicke wie Blitze herab.

Alle diese geheimnisvollen Vorgänge führte ein ausgeklügelter Automat mit raffiniertem Mechanismus aus.

Der berühmte altgriechische Mathematiker Heron von Alexandrien überlieferte uns die Beschreibung eines »automatischen« Theaters. In diesem verlief die Vorstellung, deren Stoff aus der sogenannten »kleinen Ilias« entlehnt war, folgendermaßen: Eine Tür öffnet sich und gibt den Blick auf eine Bühne frei. Das erste Bild zeigt Danaer beim Schiffsbau. Sie sägen, zimmern, bohren und schlagen geräuschvoll Nägel ein. Im zweiten Bild lassen Achaier die Schiffe zu Wasser. Als die Tür sich zum dritten Mal öffnet, sieht der Zuschauer den Himmel und eine ruhige See, auf der die Schiffe in Kiellinie dahinsegeln, in ihrer Nähe tummeln sich Delphine. Dann wird die See stürmisch, und die Schiffe geraten durcheinander. Im vierten Bild stehen die Helden auf der Bühne, Naupilos neben Athene. Naupilos hält in seiner Hand eine brennende Fackel. Im fünften Bild wird eine Schiffskatastrophe gezeigt. Ajax schwimmt durch die Wellen, man hört es donnern, ein Blitz erschlägt Ajax, und er geht unter, auch Athene ist nicht mehr zu sehen.

Alle diese komplizierten Tätigkeiten werden von mechanischen Figuren ausgeführt. Nach jedem Bild schlossen sich automatisch die Türen, wurden die Bühnenbilder gewechselt, öffneten sich die Türen wieder von selbst, begannen die Figuren sich zu bewegen.

In späteren Zeiten haben geschickte Hände talentierter Mechaniker die verschiedenartigsten automatischen Spielzeuge geschaffen.

Auf den ersten Blick mag es scheinen, daß solche Erfindungen nur unnütze Spielereien zum Zeitvertreib von Müßiggängern sind. In Wirklichkeit standen aber die »Wunder« der Mechanik vergangener Zeiten am Anfang des Weges der Entwicklung der Automaten. Ihre Grundlage bestand in den Errungenschaften der Technik jener Zeit, in der man begann, die mechanische Energie des fließenden Wassers, die Kraft des Windes oder gespannter Federn zu nutzen.

Solche Federn zum Beispiel setzten Systeme aus Zahnrädern, Hebeln, Stangen, Nocken, Schrauben und anderen Teilen von Automaten in Bewegung, sie waren also gewissermaßen den Uhren ähnlich.

Uhren gehören zu den vollkommensten technischen Schöpfungen des Menschen, und gerade die Uhr, der erste für praktische Zwecke geschaffene Automat, hat den Menschen auf die Idee gebracht, Automaten in der Produktion anzuwenden. Nicht von ungefähr hat der Franzose Jacques Vaucanson, ein berühmter Erfinder mechanischer Spielzeuge, versucht, einen Webstuhl zu bauen, der dann als Vorbild für einen von dem Franzosen Jacquard geschaffenen verbesserten Webautomaten gedient hat.

Der Webstuhl von Vaucanson ersetzte fünfzig Weber. Es vergingen keine zwanzig Jahre, und der automatische Webstuhl tauchte in vielen Seidenwebereien Frankreichs und Englands auf.

Bald begannen Maschinen aber auch nicht mehr nur in der Textilindustrie zu arbeiten, sondern ebenfalls in der metallverarbeitenden Industrie, im Bergbau und in anderen Industriezweigen. Überall ging der Prozeß der Einführung von Maschinen stürmisch voran.

Besonders große Bedeutung hatte die Erfindung des automatischen Supports an Drehmaschinen. Der russische Mechaniker Andrei Nartow und nach ihm der Engländer Maudslay ließen den Drehmeißel sich automatisch entlang des auf der Drehmaschine zu bearbeitenden Werkstückes bewegen. Erstmals war die Hand des Menschen von der unmittelbaren Bearbeitung des Materials frei geworden.

Die Dampfkraft verdrängte die organische Antriebskraft der Pferde, Ochsen, Maultiere und Esel auf den zweiten Platz. Der Siegeszug der Dampfkraft hätte aber wohl kaum begonnen, wenn nicht die Erfordernisse der Zeit den talentierten russischen Mechaniker Iwan Polsunow dazu veranlaßt hätten, zu seiner »feuerspeienden Maschine« einen Schwimmer als Regler zu erfinden, mit dessen Hilfe »Wasser, Feuer und Dampf in ihr sich selbst in Bewegung hielten«. Die Dampfantriebsmaschinen wiederum hätten sicher nicht überall Einzug gehalten, wenn die Entwicklung der Technik nicht den englischen Erfinder James Watt auf die Idee einer Dampfmaschine mit zentrifugalem Geschwindigkeitsregler gebracht hätte.

Die Menschen hatten eine bis dahin ungeahnte Kraft gefunden und in ihren Dienst gestellt. Von ihr bewegt, drehten sich nicht nur alle möglichen

nur so zum Vergnügen geschaffenen »kuriosen« Figuren, sondern auch arbeitsfähige Maschinen.

Die Regelungseinrichtungen der ersten Maschinen drangen überall ein. Man begann sie für die verschiedensten Aggregate nutzbar zu machen. Und als erst die Elektrizität mit ihrer ungeheuren Leistungsfähigkeit und Geschwindigkeit von den Menschen genutzt werden konnte, geriet die gesamte Technik in den Bann der Automatisierung. Die Automatisierung wurde zu einer Grundtendenz der technischen Entwicklung.

Heute treffen wir überall Automaten an.

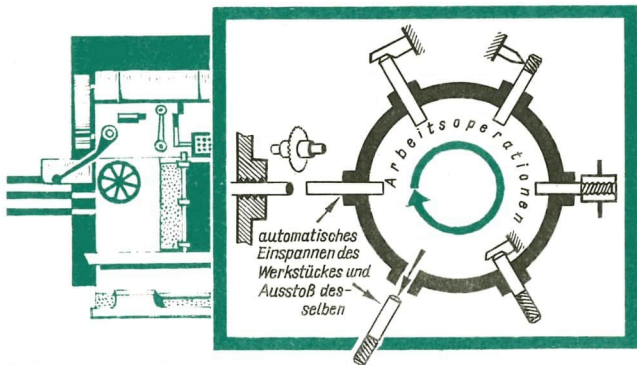
Um sich in der Vielzahl automatischer Maschinen zurechtzufinden, haben die Ingenieure diese klassifiziert. Man unterteilt die Automaten nach ihrer Bestimmung in technologische Automaten, Transportautomaten, Waffenautomaten, Rechenautomaten und andere.

Im Zusammenhang mit der Entwicklung der Kybernetik unterscheidet man neuerdings Automaten nicht nur nach ihrer Bestimmung, sondern auch nach dem sogenannten Informationsaspekt.

Was ist das für ein Merkmal?

Wie arbeitet ein Automat? Zum Beispiel eine automatische Drehmaschine zur Herstellung von Gewindebolzen.

Eine für das Auge unmerkliche Bewegung eines Hebels, und ein



Wirkungsweise eines Automaten

Messingstab, aus dem die Gewindebolzen gemacht werden, schiebt sich exakt in der nötigen Länge heraus. Das Stück wird abgeschnitten, und eine Drehung der Haltevorrichtung führt den Rohling an den Schneidstahl heran. Es bildet sich ein goldglänzender, eng gewundener Span. In wenigen Sekunden ist das Stabstück in seiner ganzen Länge bearbeitet. Die Schneidwerkzeuge heben sich ab, eine erneute Drehung, und schon haben sich an ihrer Stelle neue Werkzeuge in den Bearbeitungsprozeß eingeschaltet. Wieder bildet sich ein Drehspan, es erfolgt das Gewinde-schneiden. Gleichzeitig wird das Werkstück entgratet und der flache Kopf des Bolzens bearbeitet. Klirrend fällt das fertige Werkstück gegen die Metallwand des Sammelkastens und liegt dort mit vielen genau gleichen Erzeugnissen. Die Drehmaschine aber hat schon mit der Herstellung des nächsten Gewindebolzens begonnen.

Ungeachtet der Vielfältigkeit aller Arten von automatischen Prozessen, sind ihre Erscheinungsformen in vielerlei Hinsicht einheitlich und allgemein.

Ein allgemeines Merkmal ist ihre Selbständigkeit: Automatische Prozesse verlaufen wie von selbst.

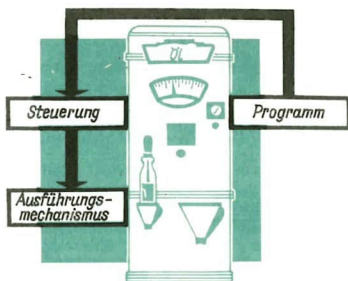
Aber was bestimmt denn in einem Automaten dessen sogenannte »Selbständigkeit«? Hier müssen wir nun über das wichtigste Merkmal eines modernen Automaten sprechen: über seinen Informationsaspekt.

Was ein Automat auch verrichtet, alle seine Arbeitszyklen werden durch ein Programm bestimmt. Man kann es beispielsweise einer Metallbearbeitungsmaschine mittels einer Einrichtung zum Kopieren eingeben: Eine Spezialvorrichtung »tastet« dann alle Oberflächenformen eines Musters ab und gibt sie an das Schneidwerkzeug zur Bearbeitung des Werkstückes weiter. Oder ein automatisches Filmvorführgerät erhält vom Filmstreifen beim Durchlauf desselben durch den Filmführungsmechanismus seine Befehle.

Ein Programm kann man auch durch Lochkarten oder durch Magnetbandaufzeichnungen oder auf eine beliebige andere Art eingeben, die es gestattet, Befehle zu lesen, aufzuschreiben und weiterzuleiten.

Ein äußerst einfaches »Programm« für die Arbeit eines Automaten haben viele von euch bereits in der Hand gehabt: In der Moskauer Metro wirft man in die elektronisch-optische Einlaßsperre eine Münze und gibt damit das Programm »durchlassen« ein. Münzen dienen auch als Träger von Programmen für Verkaufsautomaten, die z. B. Zeitungen ausgeben.

In solchen Automaten ist der Informationsweg, d. h., was in welcher Weise zu tun ist, klar. Im Bild ist er durch den schwarzen Pfeil angegeben. Es stellt ein offenes Steuerungssystem (ohne Rückkopplung) dar. Es gibt hier nur einen Weg, einen Informationsfluß.

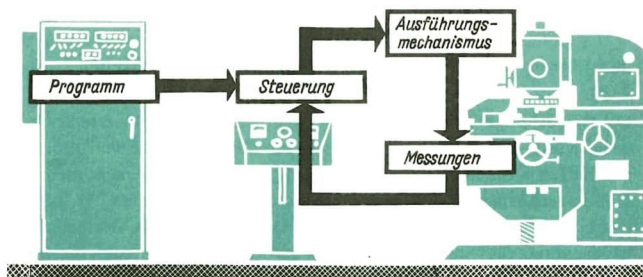


Automat mit offenem Steuerungssystem

Es gibt aber auch kompliziertere Automaten. Diese müssen während des Arbeitsprozesses zusätzlich Informationen sammeln; dazu gehören zum Beispiel das Messen von Temperaturen, Raumausdehnung, elektrischer Spannung u. ä. Sie arbeiten, wie es die Abbildung zeigt.

Hierbei handelt es sich bereits um ein geschlossenes Steuerungssystem, um einen Regelkreis. Es treten dabei jetzt zwei Informationsflüsse auf.

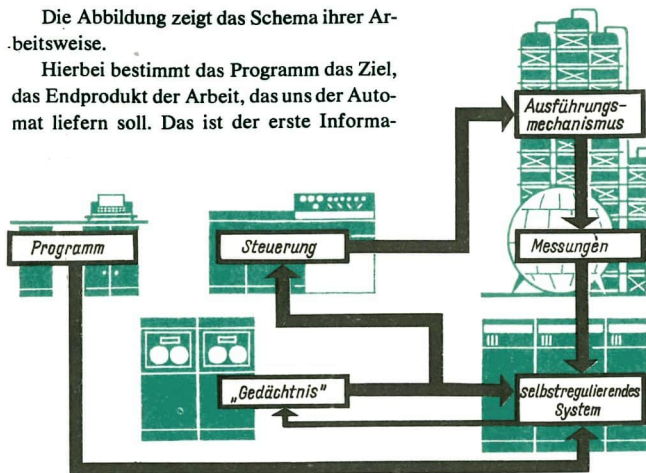
Im Zeitalter der Kybernetik sind auch Automaten höherer Stufe entstanden. Solche können das, was vor sich geht, registrieren, d. h. sich merken, und können die Erfahrungen ihrer eigenen Arbeit verallgemeinern, mehr noch, sogar ein jeweils bestmögliches Programm erarbeiten, das im Verlaufe des Arbeitsprozesses in Abhängigkeit von den auftretenden Bedingungen verändert wird.



Automat mit geschlossenem Steuerungssystem (Regelkreis)

Die Abbildung zeigt das Schema ihrer Arbeitsweise.

Hierbei bestimmt das Programm das Ziel, das Endprodukt der Arbeit, das uns der Automat liefern soll. Das ist der erste Informa-



Dieser Automat ist in der Lage, sich selbständig auf den nötigen Arbeitsrhythmus einzuregulieren.

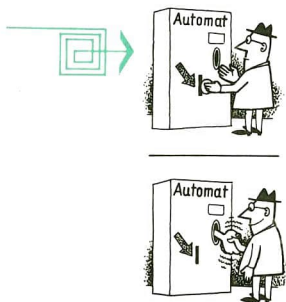
tionsfluß. Das operative Programm, das den Arbeitsablauf steuert, kommt aus dem operativen Speicher. Das ist der zweite Informationsfluß. Der dritte Fluß kommt, wie sich leicht erkennen läßt, aus dem Meßblock.

Es gibt auch Automaten mit einer viel größeren Anzahl von Informationsflüssen. Diese haben natürlich auch größere Möglichkeiten.

Die vielgestaltige Welt der Automaten wird ständig komplizierter. Schrittweise wurde eine gut aufgebaute wissenschaftliche Theorie der Automaten geschaffen – die alte klassische Regelungstheorie reichte nicht mehr aus. Um zuverlässige, gut arbeitende Automaten konstruieren zu können, ist es nötig, ungewöhnlich komplizierte Aufgaben zu lösen. Beispielsweise ist es nötig, die Stabilität des Systems zu bestimmen, um die unterschiedlichsten Abweichungen in der Arbeit automatischer Maschinen zu verkleinern. Man muß auch die Empfindlichkeit der Automaten studieren,

denn während des Arbeitsprozesses bleiben die Eigenschaften der Regelungssysteme nicht konstant, sie verändern sich.

Es gibt noch viele andere nicht weniger komplizierte Probleme, die die Theorie der Automaten zur erfolgreichen Entwicklung moderner Maschinen in naher Zukunft zu lösen hat.





Zweig der Wissenschaft und Technik, der sich mit der Theorie und der Konstruktion von Steuerungssystemen befaßt, die ohne Teilnahme des Menschen funktionieren.

Das Geheimnis der großen Macht

Wenn man jemand erklären will, was Automatik ist, so beginnt man gewöhnlich die Geschichte eines Menschen zu erzählen, der frühmorgens erwacht und – obwohl um ihn herum alles von Automaten verrichtet wird – nicht bemerkt, daß er in eine Welt der Automatik eintritt. Er ist von einer Uhr geweckt worden – es ist ein automatischer Wecker. Das Wasser wird durch eine automatische Pumpstation ins Badezimmer befördert. Ein Spezialautomat regelt die Temperatur des Wassers. Der automatische Kühlschrank hält die Lebensmittel für das Frühstück frisch. Das Brot hat ein automatisiertes Werk gebacken. Vom 11. Stockwerk fährt er mit einem automatischen Fahrstuhl nach unten. Auf dem Schulweg weist ihm eine automatische Ampel den Weg. Diese Aufzählung aller möglichen Automaten ließe sich noch weiter fortsetzen.

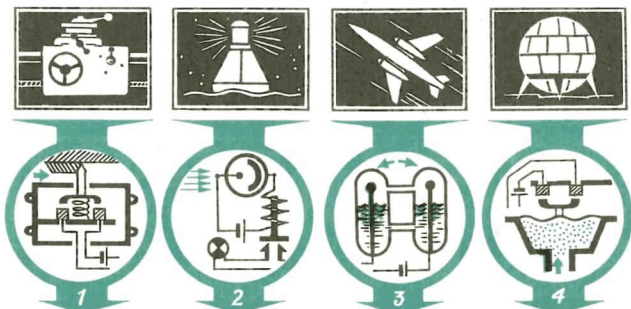
Jeder weiß, daß unsere moderne Technik, ja unser ganzes Leben, ohne Automatik nicht möglich ist. Ohne Automaten könnte sich keine Rakete in den Kosmos erheben, könnte kein Flugzeug fliegen, könnte kein U-Boot in die Tiefen des Ozeans tauchen, könnte kein Zug fahren. Die

riesigen Hüttenwerke, chemischen Kombinate, Kraftwerke und Schächte könnten nicht arbeiten.

Die Menschen haben die Automaten mit fast unbegrenzten Möglichkeiten ausgestattet. Und das erste war, daß sie ihnen »Sinnesorgane« gegeben haben, nämlich: *Empfindliche Elemente*. Diese Geräte werden in der Technik Geber genannt.

Geber registrieren an diesem oder jenem Objekt irgendwelche physikalischen oder chemischen Veränderungen und melden sie durch Signale einer Automatisierungseinrichtung.

Geber: Als »Endschalter« (1) tastet der Geber das Werkstück ab und bringt die Werkbank zum Stillstand, sobald das Werkstück fertig ist. Ein Geber-Fotoelement (2) schaltet das Licht in einer Flußboje ein, wenn es dunkelt. Ein Geber-Mikrofon veranlaßt auf das Sirensignal hin die Öffnung der Tore eines Feuerwehrdepots. Ein Indikator als Geber reagiert auf eine unzulässige (oberhalb der Norm liegende) Konzentration an gesundheitsschädigendem Gas im Schacht und gibt ein Alarmsignal. Ein Gebergerät mit »Geschmackssinn« bestimmt exakt den Konzentrationsgrad einer Lösung und gibt beispielsweise einen Befehl, nach dem Säure oder ein anderer chemischer Stoff hinzuzufügen bzw. wegzunehmen ist. Es gibt Geber, die auf die Lage eines Mechanismus bezüglich der Schwer-



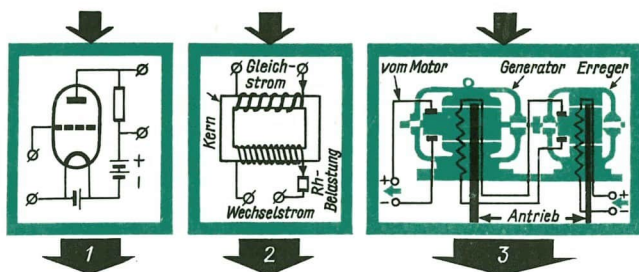
Geber: der erste (1) arbeitet »durch Betasten«, der zweite (2) ist der »Gesichtssinn« der Automaten, der dritte (3) ist das Gleichgewichtsorgan (»der Vestibularapparat«) der Automaten, der vierte (4) mißt den Druck

krafttrichtung reagieren (3). Sie garantieren das Gleichgewicht gewisser Einrichtungen sowohl im Ruhezustand wie auch in der Bewegung. Andere Geber bestimmen mit großer Genauigkeit die Temperatur oder den Druck (4), selbst wenn sie sehr hoch sind. Andere »sehen« unsichtbare infrarote und ultraviolette Strahlen, Röntgenstrahlen und kosmische Strahlen. Geber messen die Stärke eines elektromagnetischen Feldes, die Ionenkonzentration, kleinste Luftschwingungen, die Häufung von Staubteilchen, die Elektronenbewegung und vieles andere, was den menschlichen Sinnesorganen, also dem Sehvermögen, dem Gehör-, dem Tast-, dem Geruchs- und dem Geschmackssinn unzugänglich ist. Sie sind praktisch in der Lage, überall einzudringen und von einem beliebigen Ort, an welchem ein Mechanismus arbeitet, Signale zu senden, d. h., eine exakte Information darüber zu geben, wie die Maschine arbeitet, wie selbst der komplizierteste technologische Prozeß abläuft.

Im Laufe der weiteren Entwicklung wird der Anwendungsbereich der Geber sich erweitern, werden sie immer genauer und empfindlicher reagieren können.

In dieser Vielfalt der Anwendung, in ihrer Überlegenheit gegenüber den natürlichen Möglichkeiten des Menschen, liegt die große Bedeutung der Automation. Aber die Sache hat auch einen Haken. Sehr oft sind die Signale der Geber so schwach, daß die Einrichtungen nicht reagieren können.

In diesem Falle helfen *Verstärker*. Sie erhöhen die Stärke eines Signals um ein Vielfaches. Es gibt verschiedenartige Verstärkertypen: elektro-



Verstärker: 1 – elektronisch, 2 – magnetisch, 3 – elektromaschinell

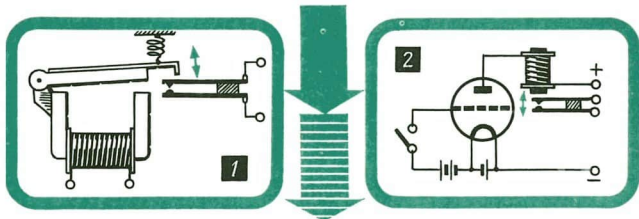
nische (1), magnetische (2), hydraulische, pneumatische, pneumoelektrische und sogar Verstärker in Form elektrischer Maschinen (Generator – 3). Sie wandeln ein schwaches Eingangssignal in ein stärkeres Ausgangssignal um. Alle Verstärkereinrichtungen können in der Regel um ein Vielfaches mehr Energie steuern als jene, die in ihnen zur Steuerung benutzt wird. Einige Verstärkertypen, besonders elektronische, verfügen über eine hohe Empfindlichkeit, andere, z. B. magnetische, besitzen eine hohe Zuverlässigkeit.

Es gibt auch Verstärkerkombinationen. So kann z. B. eine Elektronen- röhre mit einem Generatorverstärker zusammenwirken: Die erstere ver- stärkt ein von einem Geber empfangenes schwaches Signal und leitet es über ihren Ausgang in den Eingang, den Erreger, eines Generators. Auf einem solchen Wege kann ein Signalzweig zu einem Energieriesen werden, der in der Lage ist, jeden beliebigen Mechanismus einzuschalten und sogar einen Motor zum Rotieren zu bringen.

Die aus einem Geber und einem Verstärker bestehende Kette wird als »Steuerkreis« bezeichnet. Er kommandiert, steuert eine andere Kette von Einrichtungen, den gesteuerten Kreis. Vom Geber aus gelangt ein schwaches Signal in den Steuerkreis. Dieses wird im Verstärker umge- wandelt und tritt dann in den gesteuerten Kreis bereits verstärkt ein.

Oft ist es notwendig, ein kontinuierlich, gleichmäßig anwachsendes Signal in ein plötzliches, sprunghaftes umzuwandeln. Zu diesem Zweck hat man eine spezielle Vorrichtung, das Relais, auserdacht. Es bewirkt sprunghafte Zustandsveränderungen im gesteuerten Kreis, in der ge- steuerten Einrichtung.

Relais gibt es, wie auch die Verstärker, in verschiedenen Typen:



Relais: 1 – elektromagnetisches, 2 – elektronisch gesteuertes

mechanische, elektronische, elektromechanische, fotoelektrische u. a. Wenn man in einen Telefonautomaten Geldstücke einwirft, vermutet man kaum, daß das Telefonnetz mit Hilfe eines mechanischen Gravitationsrelais, d. h. eines Relais, in dem die Schwerkraft ausgenutzt wird, eingeschaltet wird.

Beim Relais ist die sogenannte Ansprechzeit wichtig. Das ist die Zeit, die ein Relais braucht, um im gesteuerten Kreis eine Veränderung herbeiführen zu können. Die mechanischen Relais sind die langsamsten. Ihre Ansprechzeit ist nicht sehr groß, sie beträgt den Bruchteil einer Sekunde. Die elektromechanischen sind schneller, hier beträgt diese Zeit bis zu $\frac{1}{300}$ s. Die elektronischen Relais dagegen reagieren in der sagenhaften Zeit von $\frac{1}{1\,000\,000}$ s.

Ein Relais wird durch einen schwachen Strom ausgelöst, es ist aber in der Lage, einen Stromkreis einzuschalten, in dem ein Strom von vielfach größerer Stärke fließt. Das weist auf die Verwandtschaft zwischen Relais und Verstärker hin, und es wird verständlich, warum man Verstärkerschaltungen auf Relaisbasis aufbauen kann. Man erreicht damit keine kontinuierliche, sondern eine sprunghafte Änderung der verschiedenen Größen.

Kontrolle, Sicherung, Regelung und Prozeßsteuerung, das sind vier grundlegende Funktionen in der Automatik.

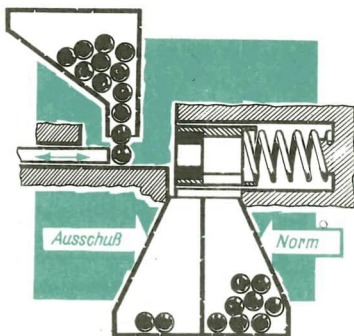
In der Automatik gibt es überall Kontrolle, denn in der Produktion ist allenthalben auf Maße und Qualität der Werkstücke, auf Temperatur, Druck, elektrische Spannung, Färbung des Werkstoffes oder Lösungskonzentration zu achten. Auch der Produktionsausstoß ist zu berücksichtigen, die fertigen Produkte sind zu sortieren und vom Ausschuß zu trennen, weitere Tausende anderer Kontrolloperationen kommen noch hinzu.

Für die *Kontrolle* gibt es mechanische Vorrichtungen, elektrische, elektrooptische und viele andere. Gegenwärtig sind die elektrischen und elektronischen Kontrolleinrichtungen am meisten gefragt. Sie arbeiten schnell, sind kompakt und sprechen schnell an.

In einer Kugellagerfabrik werden Millionen von Stahlkugeln hergestellt. Sie von Hand zu sortieren würde Jahre dauern. Ein Bunker mit zwei Öffnungen an der Oberseite und einem einfachen Verschuß sortiert mehrere tausend Kugeln pro Stunde. Die brauchbaren fallen durch die Öffnung »Norm«, die übrigen rollen durch eine Rinne zum »Ausschuß«.

Eine elektronische Kontrolleinrichtung, etwa zur Dickenmessung eines Werkstückes, arbeitet genau und spricht schnell an. Sie ist außerdem in der Lage, ein entsprechendes Signal zu geben, die brauchbaren Erzeugnisse sowie den Ausschuß zu zählen und letzteren vom Fließband zu entfernen.

Es gibt viele Kontrollmethoden und folglich auch viele Typen von Ausführungsorganen. Will man sich für eine von ihnen entscheiden, muß man die Schnelligkeit der Maschine, die Kontrollgenauigkeit, die Kompliziertheit der Schaltung, den Preis und verschiedene andere Faktoren berücksichtigen.



Einfachster Kontrollautomat

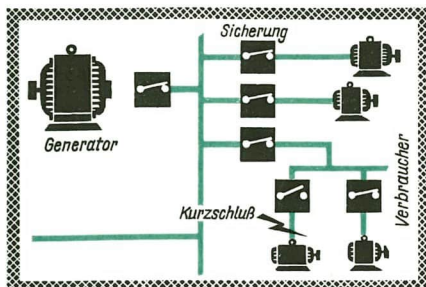
Was versteht man unter *automatischer Sicherung*? Das kann man sich leicht vorstellen, wenn man dabei an die einfachste Sicherung denkt, die Haushaltsicherung für den Elektrozähler. Entsteht an einem elektrischen Haushaltsgerät ein Kurzschluß, so schmilzt der Kupferdraht der Sicherung durch, und die Zufuhr an Elektroenergie ist damit automatisch unterbrochen worden, ein größerer Schaden kann nun nicht mehr entstehen.

Ähnliche nur wesentlich mächtigere Anlagen gibt es bei Hochspannungsleitungen. Wenn ein Leiterdraht zerreißt, so ist das eine ernsthafte Havarie. Es gibt einen Kurzschluß, und die Sicherungsautomatik tritt in Aktion. Mächtige automatische Schalter schalten den gestörten Leitungsteil ab, so daß weder die Transformatoren, die Generatoren noch angeschlossene Betriebe Schaden nehmen.

Eine ausgeklügelte Sicherungsanlage schützt Generatorwellen, Kompressoren und Pumpen vor überhöhter Drehzahl.

Ein Spezialautomat verhindert, daß Arbeiter, die eine schwere Schmiedepresse bedienen, verletzt werden.

Auch Drehmaschinen und Turbinen, Kessel und Elektromotoren,



Elektromechanische (links) und elektrische automatische Sicherung

Aggregate in Flugzeugen, Generatoren, Hochspannungsleitungen und Chemieanlagen müssen gesichert werden.

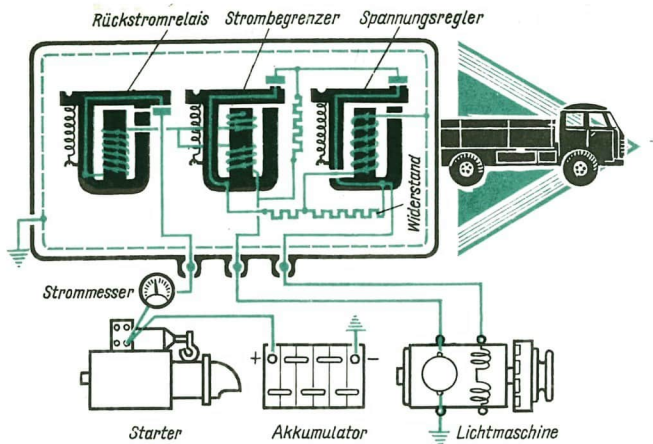
Die dritte Aufgabe der Automatik ist die *Regelung*.

In den meisten technologischen Prozessen und bei der Mehrzahl der Maschinen ist es sehr wichtig, die zu kontrollierende Größe auf dem Niveau eines gegebenen Wertes zu halten. Das kann die Temperatur, der Druck, der Feuchtigkeitsgehalt, die Geschwindigkeit, die chemische Zusammensetzung, Strom- und Spannungswerte oder eine beliebige andere Größe sein.

Ein klassisches Beispiel hierfür ist der Fliehkraftregler, der für eine konstante Drehzahl sorgt.

Ein etwas komplizierterer elektrischer Reglerautomat ist unter der Motorhaube eines Autos zu finden.

Neben dem Motor ist ein nicht allzu großes schwarzes Kästchen mit der Aufschrift »Relaisregler« angebracht. Dieser Automat reguliert ständig die von der Lichtmaschine erzeugte Energie, die dem Akkumulator zugeführt wird. Die Lichtmaschine wird durch den Motor angetrieben, dessen Drehzahl im Verlaufe der Fahrt starken Veränderungen unterworfen ist. Deshalb wäre es ohne Regler unmöglich, den notwendigen Ladestrom zu erhalten. Durch diesen Regler wird der Widerstand der Erregerwicklung der Lichtmaschine bald vergrößert und bald verkleinert. Klettert die Spannung am Generator allmählich über den Sollwert, dann arbeitet das elektromagnetische Relais, und im Erregerstromkreis wird ein zusätz-



Relaisregler eines LKW-Motors

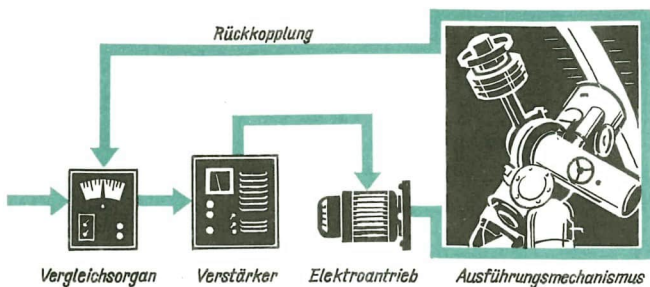
licher Widerstand eingeschaltet. Dadurch verringert sich die Stromstärke in diesem Kreis, das Magnetfeld des Generators (in der Lichtmaschine) wird schwächer, und die Stärke des Ladestroms sinkt.

Heute werden in der Automatik der verschiedenen Industriezweige hauptsächlich elektronische Regler verwendet. Durch diese wird eine beliebige Größe (Verschiebung, Druck, Temperatur) in eine dementsprechende elektrische Stromstärke umgewandelt. Der Strom wird verstärkt, dann im Meßblock mit dem Strom in der gegebenen Anlage verglichen, und das Ergebnis dieses Vergleiches, die Korrekturgröße, gelangt über den Verstärker zum Ausführungsorgan.

In einem Wärmekraftwerk gestattet ein solcher Mechanismus zur Temperaturreglung des überhitzten Dampfes im Hochdruckkessel die Regulierungszeit wesentlich zu verkürzen. Die Temperatur des überhitzten Dampfes wird mit großer Genauigkeit konstant gehalten.

Unter den automatischen Regelungssystemen gibt es einen interessanten Typ: die Folgesysteme.

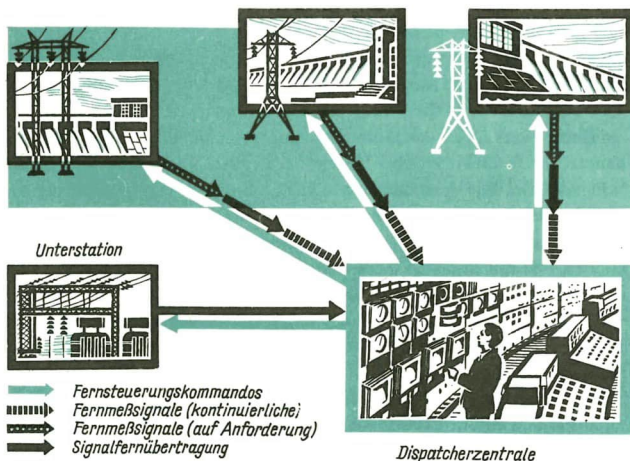
Folgesysteme werden zur automatischen Steuerung von Kopierdreh-



Ein Folgesystem führt ein Teleskop automatisch der Bewegung des Beobachtungsobjekts nach.

bänken, von Teleskopen zur Himmelsbeobachtung sowie bei der Modellierung von Prozessen in elektronischen Rechanlagen genutzt.

Die vierte generelle Funktion der Automatik ist die *Prozeßsteuerung*.



Dispatchersteuerung eines Energiesystems

Im Eisenhüttenkombinat Magnitogorsk gibt es eine riesige Walzstraße. Diese gewaltige Maschine hat einige Dutzend Antriebsmotoren. Der größte von ihnen hat eine Leistung von mehreren zehntausend Kilowatt und könnte die Beleuchtung einer Stadt mit 50 000 Einwohnern übernehmen. Und alle diese Motoren, die großen wie die kleinen, müssen aufeinander abgestimmt arbeiten — sie müssen zu ganz bestimmten Zeiten eingeschaltet werden, um eine einwandfreie Produktion z. B. von Schienen, Trägern und Metallbändern zu erhalten. Man hat errechnet, daß während eines Arbeitszyklus der Walzstraße etwa fünftausend Schaltoperationen durchzuführen sind. Diese werden selbstverständlich von einem speziellen automatischen Steuerungssystem verrichtet.

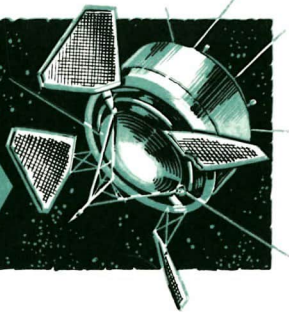
Die Vollendung der automatischen Technik aber ist zweifellos die Automatik, die wir in Raumschiffen und kosmischen Stationen finden. Auf diesem Gebiet haben Wissenschaft und Technik die hervorragendsten Entwicklungen vollbracht.

Eine Vielzahl »kluger« Automaten schafft im Raumschiff alle Lebens- und Arbeitsbedingungen für den Menschen unter den unwahrscheinlich komplizierten Bedingungen des Kosmos.

«PROTON»

17 Tonnen
Gewicht der Station

12,5 Tonnen
Gewicht der
wissenschaftlichen Apparaturen



Der Vergleich des Gesamtgewichts der Station mit dem Gewicht der wissenschaftlichen Apparatur zeigt die hohe Stufe der Anreicherung an Automatik in »Proton«.

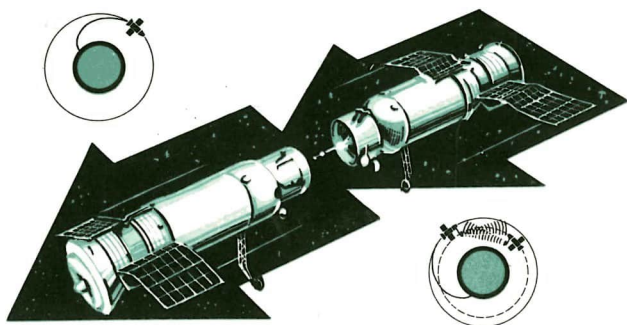
Diese hohe Stufe des koordinierten Zusammenwirkens in der Arbeit von Gebern, Verstärkern, Relais, Motoren und Ausführungsmechanismen läßt das Raumschiff, wie der Wissenschaftler und Kosmonaut Dr.-Ing. K. Feoktistow sagte, angenähert zu einem Ebenbild eines hochorganisierten Wesens werden, das für ein Leben und Wirken im Kosmos bestimmt ist.

Einen gewaltigen Umfang von Arbeiten führt solch ein Raumschiff aus, indem es Informationen über den umgebenden Raum, über seinen Stand, den Zustand und die Arbeiten der Besatzung empfängt und verarbeitet und Steuerungskommandos ausstrahlt.

Die Automatik eines Raumschiffes

- berücksichtigt Überlastung und Vibration,
- kontrolliert die Zuverlässigkeit der Konstruktion, die (doppelten) Apparaturen und den Energievorrat,
- überprüft die Einsatzfähigkeit aller Systeme und Aggregate,
- mißt die Temperatur, die Lichtenergie der Sonne, die Strahlung und den Meteoritenstrom,
- überwacht das hermetische Abdichten der Kabinen und den Wärmeschutz,
- steuert die Raketenstufen und die Hilfstriebwerke,
- organisiert die Verpflegung, die Versorgung mit Wasser und Sauerstoff,
- unterhält das Wärmeregime und die Gaszusammensetzung in der Kabine,
- korrigiert den Abflug von der Erde, den Flug auf der kosmischen Bahn und die Landung,
- reguliert den Verbrauch an Elektroenergie durch die Bordsysteme, und schließlich, und das ist der schwierigste und verantwortungsvollste Teil der Arbeit
- koordiniert und steuert sie den gesamten Komplex von automatischen Systemen, die ununterbrochen die verschiedensten Dinge anzeigen, aufzeichnen, vergleichen, bemerken, koordinieren oder richten, damit der Flug in den verschiedenen Phasen und unter den verschiedenen Umständen normal verläuft.

Und nun stellt euch vor, in welchem Maße sich die automatische Regelung kompliziert, wenn sie über große Entfernung ausgeführt werden muß, wie das z. B. bei Raketenflügen, bei künstlichen Erdtrabanten oder bei Raumschiffen der Fall ist. Steuerungsvorgänge dieser Art werden mit



Kopplung zweier Raumschiffe im Kosmos

Hilfe der *Telemechanik*, der Schwester der Automatik, durchgeführt. Das Prinzip der telemetrischen Steuerung läßt sich am besten an einer Vorrichtung erläutern, die jeder von uns häufig benutzt: Durch das Drehen der Wählerscheibe am Telefon schaltet ihr ein automatisches System ein und werdet durch dieses mit einem Gesprächspartner am anderen Ende des Telefonnetzes verbunden.

Welchen Stand die Automatik und Telemechanik heute hat, zeigt uns eine technische Meisterleistung sowjetischer Wissenschaftler: die automatische Kopplung zweier Raumschiffe im Kosmos.

Zwei kosmische Apparate näherten sich vorsichtig, als würden sie von Menschen gelenkt, und gingen eine feste Verbindung ein. Die Automaten hatten dabei einen ganzen Komplex schwieriger Operationen durchzuführen. Und dabei zogen sie ihre kosmische Bahn mit einer Geschwindigkeit von etwa 8 km/s. Wie das im einzelnen vor sich ging, konnte man auf den Bildschirmen der Fernsehapparate verfolgen, aber die Arbeit der höchst entwickelten kosmischen Kybernetik war leider nicht zu sehen.

Die Apparate, von denen einer der »aktive« und der andere der »passive« ist, sind mit »Sinnesorganen« ausgerüstet und können daher einander »sehen«, »hören« und »erkennen«. Die Antennen gestatten ihnen, in den Kosmos zu rufen: »Wo bist du? – Ich bin hier!« Danach bemerkt der »aktive« seinen Mitbruder und nähert sich ihm. Der »passive« sendet

mit seinen Antennen Antwortsignale. Von diesem Moment an sind sie wie durch ein unsichtbares Band miteinander verknüpft.

Ein automatisches Führungssystem mißt die Bewegungsparameter des Partners und gibt entsprechende Signale an das Orientierungssystem der automatischen Bewegungssteuerung des Apparates weiter. Nunmehr bewegen sich beide Raumschiffe miteinander koordiniert im selben Rhythmus.

Danach messen Automaten den Abstand zwischen beiden Raumkörpern, die Geschwindigkeit, mit der sich dieser Abstand ändert, den Winkel zwischen den Visierlinien und den Raumschiffachsen.

Eine spezielle Apparatur zur Orientierung und zur automatischen Bewegungssteuerung schaltet die Triebwerke bald ein, bald aus, bremst oder beschleunigt das Raumschiff. In den dazwischenliegenden Zeiträumen wendet sich der Apparat und stellt sich auf die notwendige Richtung ein. Während die Automaten die nötigen Bahnkorrekturen vornehmen, nähern sie sich schrittweise.

Wenn die Raumschiffe einen Abstand von 300 m haben, schalten sich Triebwerke mit geringem Schub ein. Sie ermöglichen eine Feinregulierung der Annäherung und das anschließende Festmachen.

Jetzt tritt die Operation in ihre Endphase. Hierbei spielt die Automatik zur unmittelbaren Steuerung der Kopplung die Hauptrolle.

Die Raumschiffe haben sich berührt. Die Stromkreise im Kopplungsteil werden miteinander verbunden. Die Geber senden das Signal: »Die Raumschiffe sind miteinander fest verbunden und setzen ihren Flug als einheitliches Ganzes fort.«

Das telemechanische System funkt auf die irdischen Bildschirme das Bild der vereinigten kosmischen Körper.

Nach einer bestimmten geplanten Zeit kommt von der Erde ein Kommando, und die Raumschiffe trennen sich wieder. Damit ist diese höchst schwierige Operation der Automatik im Kosmos beendet.

Die in den kosmischen Apparaten installierten Automaten haben dabei sehr wertvolle wissenschaftliche und technische Informationen gesammelt, deren überwiegender Teil durch ein telemechanisches System zur Erde übertragen wurde.

Die Informationsübertragung von Raumflugkörpern zur Erde ist sehr schwierig. Auch dieser Vorgang läuft mit Hilfe der Automatik ab.

So werden beispielsweise die von einem künstlichen Erdtrabanten

aufgenommenen wissenschaftlichen Daten in einem Bordspeicher gesammelt und »springen« dann periodisch zur Erde hinab, und zwar dann, wenn der betreffende Satellit an der Reihe ist, Kontakt mit der Erde aufzunehmen, wenn er in den betreffenden Funksichtbereich eingetreten ist.

Daher muß der Speicher eines Sputniks sehr groß sein: Die Geräte arbeiten ständig und übergeben wissenschaftliche Informationen, ohne auf den Zeitpunkt der Verbindung mit dem Planeten zu warten.

Diese Methode ist aber nicht zur Informationsübertragung von Mondsonden oder interplanetaren Stationen geeignet. Wenn wir auf diese Weise Informationen erhielten, so würden sie, nach den Worten eines Fachmanns, vom Mond her nicht in einem breiten Strom, sondern in einem kleinen Bach fließen und vom Mars her nur »tropfen«. Es werden aber sehr wertvolle wissenschaftliche Informationen übertragen, und es kommt darauf an, soviel wie möglich davon aufzufangen. Es wäre schade, wenn sie in der kosmischen »Sparbüchse« verbleiben würden.

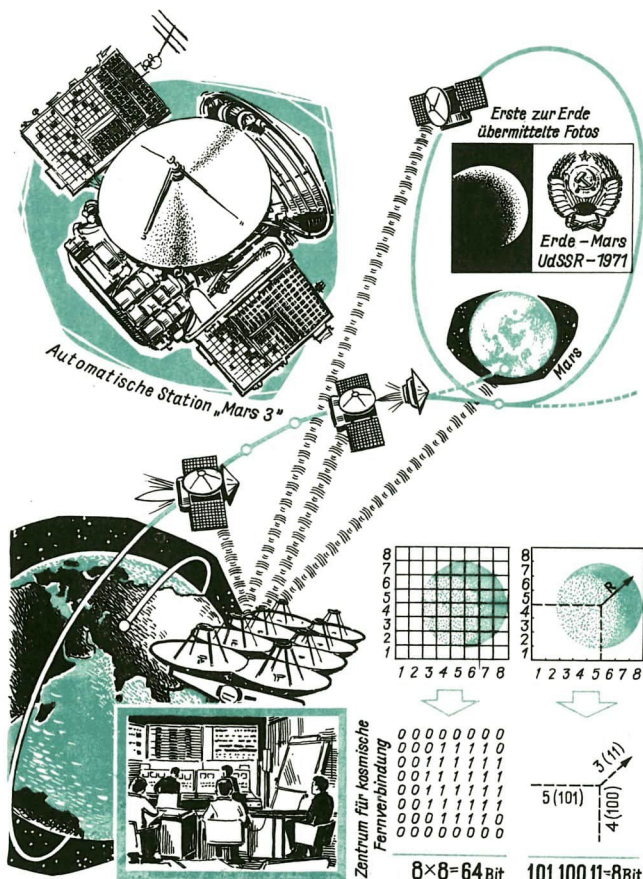
Nehmen wir z. B. die sowjetische automatische Station »Mars 3«. Sie ist mit einem speziellen Komplex wissenschaftlicher Apparaturen zur Erforschung der Atmosphäre und der Oberfläche des Nachbarplaneten sowie zur Erforschung des interplanetaren Raumes, des Sonnenwindes, der Magnetwellen usw., ausgerüstet. Die Station besitzt ein Infrarot-Radiometer, das die Temperaturverteilung auf dem Mars aufzeichnet, ein Gerät zum Studium der Oberflächengestalt des Planeten, ein Instrument zum Messen des Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre, eine Anlage zum Messen des Reflexionsvermögens der Oberfläche und der Atmosphäre, eine Einrichtung zur Bestimmung der Schichttemperatur in einer Tiefe von 30 bis 50 cm, eine Apparatur zur Bestimmung des Gehaltes von Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff in der Atmosphäre.

Außerdem sind noch zwei automatische Fototelekkameras installiert, mit deren Hilfe Teile der Marsoberfläche fotografiert werden können.

»Mars 3« ist ein autonomes kosmisches Laboratorium. Alle seine Geräte, Apparate und Anlagen liefern eine Fülle von Informationen wissenschaftlichen Charakters.

Und damit kommen wir zu unserem Problem: Wie kann man von einem Körper, der den Mars umläuft, auf der Erde wertvolle Informationen erhalten?

Erstens verwendet man in der Orbitalstation eine weitreichende Antenne. Sie hat die Möglichkeiten der kosmischen Funkkanäle wesentlich



Der Flug der sowjetischen automatischen Station »Mars 3« und die beiden Arten der Informationsübertragung zur Erde: die herkömmliche und die »komprimierte«

erhöht. In verhältnismäßig kurzen Zeitabständen werden über ein und dieselbe Funklinie technische und wissenschaftliche Informationen sowie Fototelebilder über die Ergebnisse der wissenschaftlichen Messungen, Angaben über die Arbeit der Bordapparatur, über die Temperatur in den einzelnen Arbeitsräumen und die Kontrolle der Flugparameter der Station übertragen. Alle diese Übertragungen gehen über eine Entfernung von mehreren hundert Millionen Kilometern zur Erde.

Zweitens installiert man in kosmischen Apparaten »vernünftige, wählerische« Automaten. Diese fragen den größten Teil der Geber, die die physikalischen Größen messen, ab. Sie tun dies aber nicht einfach der Reihe nach, sondern unter Berücksichtigung des »Verhaltens« der zu messenden Größe, d. h., die Automaten wenden sich nur dann um eine Auskunft an die Geber, wenn der betreffende Wert von Interesse ist. Sie machen es also genauso wie die Menschen, denn wenn wir wissen wollen, ob sich die Temperatur in unserem Zimmer verändert hat, so schauen wir nicht jede Sekunde auf das Thermometer, sondern erst nach einem gewissen Zeitabschnitt. So machen es auch diese Automaten. Sie berücksichtigen das »Verhalten« der zu messenden Größe.

Fachleute für kosmische Fernübertragungen bezeichnen das als »Umgehen des Sammelns und Registrierens von Daten ohne Informationsgehalt«. Und die Automaten können unterscheiden, welche der von den Geräten aufgenommenen Daten wesentlich und welche unwesentlich sind.

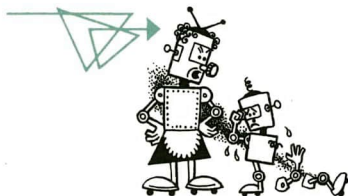
Mit Hilfe der Automatik wird also eine äußerst komplizierte Arbeit verrichtet: die Steuerung der Experimente.

Nun gibt es aber so viele wertvolle ausgewählte wissenschaftliche Informationen, daß sie in ihrer üblichen Form einfach nicht rechtzeitig auf die Erde gelangen können. Während der kurzen Funkverbindungen mit einem kosmischen Apparat sind aber Millionen von Meßwerten zu übertragen, zu registrieren und zur Verarbeitung aufzunehmen. Die Information ist »komprimiert« worden: Es wird nicht alles, sondern nur das Notwendige übertragen, aus dem sich auch die beim »Komprimieren« ausgelassenen Informationen wieder ableiten lassen.

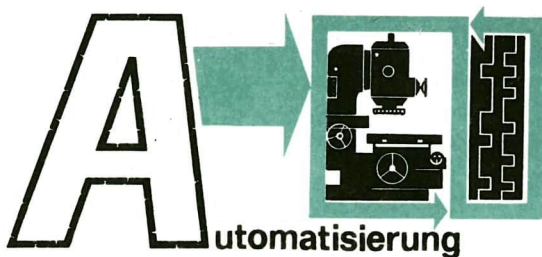
Machen wir uns das an einem Beispiel klar: Aus dem Kosmos soll eine Fotografie übertragen werden, die einen weißen Kreis auf einem schwarzen Hintergrund zeigt. Wird man dazu nun etwa das Ganze als Bild übertragen? Das würde bedeuten, das ganze Foto in kleine Teile zu zerlegen,

jeden Teil bezüglich seiner Schärfe zu beurteilen und als Telebild zeilenweise nacheinander zu übertragen. Tatsächlich aber übertragen die Apparaturen nur die Lage des Kreismittelpunktes, seinen Radius und den Schwärzegrad des Hintergrundes. Dieses Vorgehen ist viel ökonomischer, und das Ergebnis ist praktisch das gleiche.

Eine solche Anlage ist zum ersten Mal für die sowjetische interplanetare Station »Mars 3« konstruiert worden. Das »Komprimieren« der Daten erledigte das französische Gerät »Stereo«, das für die Erforschung der Sonnenstrahlung installiert war. Das Informationsvolumen verringerte sich in vielen Fällen auf ein Hundertstel und weniger. Dank dieser modernen, störfrei arbeitenden Automatik konnte die Zentralstelle für kosmische Fernverbindungen der UdSSR viele wissenschaftliche Informationen zusätzlich erhalten.



Hast du schon wieder die Geber verloren?



Etappe der maschinellen Produktion, die charakterisiert ist durch die Befreiung des Menschen von der unmittelbaren Ausführung der Steuerungsfunktionen im Produktionsprozeß und durch die Übertragung dieser Funktionen auf automatische Einrichtungen.

Die Grundlinie

Habt ihr schon einmal darüber nachgedacht, wieviel Dinge in unserem Land an einem Tag hergestellt werden?

Nehmen wir zum Zwecke der Anschauung einige recht unterschiedliche Beispiele.

Unsere Industrie stellt täglich über eine Million Zahnräder her.

Ein Bolzenautomat produziert in einer Minute hundert Bolzen.

Ein Flaschenautomat erzeugt über sechstausend Flaschen pro Stunde.

In einer großen Schokoladenfabrik werden jede Minute dreieinhalbtausend Pralinen angefertigt.

In einem Fleischkombinat können pro Stunde einhundertfünfundzwanzigtausend Fleischklopse hergestellt werden.

In einer automatisierten Fabrik werden pro Tag dreißigtausend Weißbrote gebacken. Allein für die Versorgung von Moskau sind etwa zehn solcher automatischen Bäckereien notwendig. Und dabei backen sie nicht nur Weißbrote!



Betrachte, wie sich der Mensch allmählich von der anstrengenden Arbeit an der Drehmaschine befreite: 1 – es gab kein Antriebsmittel, der Arbeiter selbst hielt die Drehbank in Bewegung, faßte den Drehstahl mit den Händen und steuerte den Arbeitsablauf; 2 – Anwendung eines Antriebes; 3 – Konstruktion des Supports; 4 – die Entwicklung der Kopierdrehbank befreite den Menschen von der Handbedienung; 5 – in automatisierten Werken ersetzt der elektronische Rechenautomat den Menschen auch noch in seiner Funktion der (unmittelbaren) Kontrolle

Täglich werden in den Konfektionsbetrieben mehrere Millionen Kleidungsstücke für die Bevölkerung unseres Landes genäht.

Diese Hunderttausende und Millionen von verschiedenen nötigen und nützlichen Dingen entstehen nicht durch Handarbeit. Sie werden durch Maschinen produziert, und zwar nicht durch einfache Maschinen, sondern durch Automaten.

Andere Automaten und verschiedenartige automatische Einrichtungen kontrollieren wiederum die Arbeit der Maschinen, realisieren die Steuerung der Produktion!

Die Einführung dieser ganzen riesigen Armee von Steuerungsmaschinen und -einrichtungen, von Kontroll- und Regelungsmitteln in die Produktion nennt man Automatisierung.

Früher war ein Arbeiter in folgender Weise tätig: Er brachte das Material zur Maschine, beobachtete, ob die Maschine gut funktionierte, d. h., ob sie den Werkstoff richtig bearbeitete, er regulierte, wenn dazu die Notwendigkeit bestand, den Gang der Maschine.

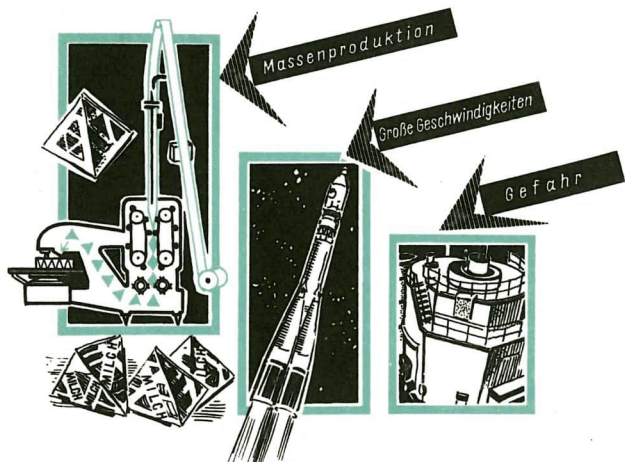
Bei der Automatisierung werden diese Prozesse durch Automaten ausgeführt. Mehr noch: Früher selbständige, isolierte Operationen bilden jetzt einen stetigen Produktionsfluß, durch welchen die Werkstücke ohne die geringste Berührung durch Menschenhand hindurchlaufen.

Wann nun ist es zweckmäßig, die Produktion zu automatisieren? Welche Gründe muß es dafür geben?

1. Auf alle Fälle ist es wesentlich leichter, zehn gleichartige Gegenstände herzustellen als zehn verschiedene: Es treten ein und dieselben Operationen, dieselben Abmessungen des Gegenstandes und dieselben technologischen Prozesse auf. Wenn nun aber nicht nur einige Dutzend, sondern Zehntausende, ja Millionen gleichartiger Gegenstände benötigt werden?

Die große Menge und Gleichartigkeit der Produkte, die ausgestoßen werden, das sind grundlegende Ursachen der Automatisierung der Produktion.

2. Sehr oft muß man nicht nur in wissenschaftlichen Laboratorien, sondern auch in Werkhallen und Fabrikabteilungen solche Prozesse messen und regulieren, die sich mit unseren Sinnesorganen überhaupt nicht registrieren lassen. Können wir etwa die Spannung eines elektrischen Feldes, die Strahlungsintensität oder das Vorhandensein unsichtbarer Strahlen wahrnehmen? Natürlich nicht. Wir müssen auf die Hilfe von



Drei wichtige Gründe für die Einführung der Automatisierung

Automaten zurückgreifen. Das heißt auch dort, wo die menschlichen Sinnesorgane diesen oder jenen benötigten Parameter, etwa eine konstante Größe, nicht genau bestimmen können oder wo die Reaktionsgeschwindigkeit des Menschen für den Arbeitsprozeß unzureichend ist, müssen unbedingt Automaten eingesetzt werden.

3. Es gibt Produktionszweige, in denen die Arbeit für den Menschen gefährlich ist. In vielen Chemiebetrieben, die Schwefelsäure, Farbstoff für die Textilindustrie, Düngemittel für die Landwirtschaft produzieren, sind in einer Reihe von Fällen die Zwischenoperationen gesundheitsschädigend für den Menschen, und einige Zwischenprodukte können giftig oder explosiv sein. Hier gerade arbeiten vornehmlich Automaten.

Die Kybernetik ist dazu berufen, in der Automatisierung von Produktionsprozessen eine bedeutende Rolle zu spielen. Die Kybernetik findet vor allem in Form von in der Industrie eingesetzten elektronischen Rechenmaschinen Eingang in die Automatisierung.

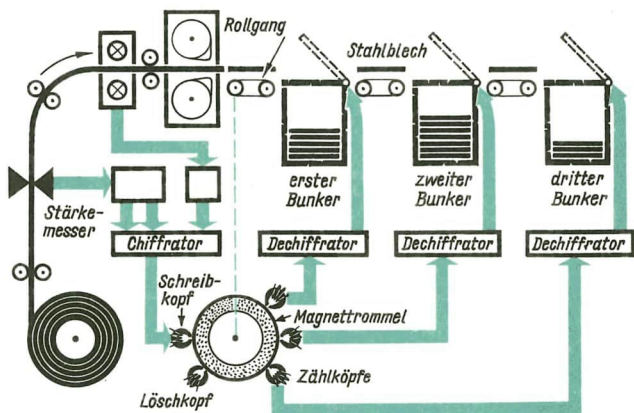
Wir wollen versuchen, die Arbeitsweise von zwei sehr verschieden-

artigen Einrichtungen zu verstehen, mit deren Hilfe Automatisierungsaufgaben aller möglichen technologischen Prozesse gelöst werden können.

Wie im Automatisierungsprozeß ein »künstliches Gedächtnis« genutzt wird.

Stellt euch vor, ein Metallband wird von einer Rolle abgewickelt und in Stücke geschnitten. Dabei sollen die entsprechenden Bleche in Abhängigkeit von ihrer Dicke sortiert werden, denn die Dicke des Metallbandes ist nicht gleichmäßig und muß daher ständig gemessen werden. Ihr meint, daß es hierbei keine Schwierigkeiten gibt? Es gibt schon eine Schwierigkeit. Sie besteht darin, daß zwischen dem Moment des Messens des Bandes und dem Eintritt des Bleches in den Bunker, in dem es gesammelt werden soll, Zeit vergeht. Es ist also nötig, daß sich die verschiedenen Eingänge zu den verschiedenen Bunkern in Abhängigkeit von der Blechstärke öffnen, und zwar müssen sie sich gerade in dem Augenblick öffnen, in dem das Blech den Abstand vom Meßplatz zum entsprechenden Bunker zurückgelegt hat.

Um diesen technologischen Prozeß zu automatisieren, wird der Roll-



Automat zum Messen der Dicke von Stahlblechen und zum Sortieren derselben in Bunker

gang, der das Blechband zieht, mit einer Magnettrommel verbunden. Auf ihr kann man wie auf einem gewöhnlichen Tonbandgerät magnetische Aufzeichnungen machen. Die Trommel besitzt einen Schreibkopf, einen Löschkopf und genausoviel Zählköpfe, wie es in der Vorrichtung Bunker gibt.

Die ständig gemessene Stärke des Bandes wandelt ein Geber in ein elektrisches Signal um. Dieses Signal wird in Abhängigkeit von der Bandstärke chiffriert und in die Magnettrommel »eingeschrieben« — in das »Gedächtnis der Maschine«. Die Rotation der Magnettrommel stimmt mit der Bewegung des Rollganges genau überein. Der Platz der Trommel mit der gespeicherten Information ist dann neben dem ersten Zählkopf, wenn das entsprechende gemessene Blechstück zum ersten Bunker gelangt. Er ist neben dem zweiten, wenn sich das entsprechende Blechstück am zweiten Bunker befindet, usw.

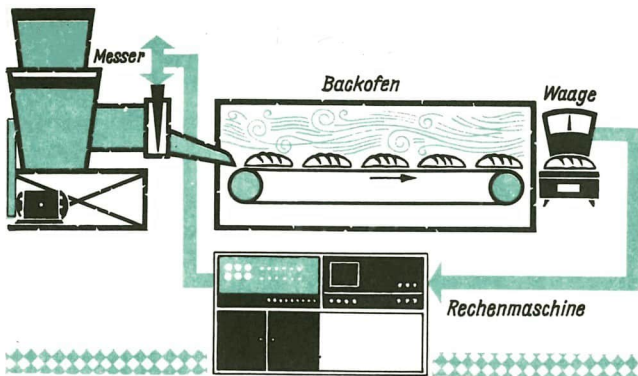
Mit jedem Zählkopf ist ein Dechiffратор verbunden. Er reagiert nur auf das Signal, mit welchem die Blechdicke für seinen Bunker chiffriert ist. Wenn daher die Blechdicke dem zweiten Bunker entspricht, so reagiert der zweite Dechiffратор auf die Chiffre, er läßt das Blech in den zweiten Bunker fallen.

Auf diese Weise werden die Bleche sortiert.

Das zweite Beispiel ist eine der Methoden zur Automatisierung des Teigabschneideprozesses beim Brotbacken. Das Gewicht jedes ausgebackenen Brotes muß genau stimmen. Nun ist aber der Teig ungleichmäßig fest, und daher können Teigstücke mit gleichem Volumen verschiedenes Gewicht haben. Ein Ausweg scheint einfach zu sein: Die ausgebackenen Brote müssen automatisch gewogen werden, und in Abhängigkeit vom Wiegeergebnis wird das Teigschneidemesser reguliert. Bei einem solchen Herangehen vergessen wir aber, daß das Brot erst viel später gewogen wird, als das Teigstück abgeschnitten wurde.

Daher muß man das Messer nicht in Abhängigkeit vom Wiegeergebnis jedes einzelnen Brotes regulieren, sondern anhand der Ergebnisse der Datenverarbeitung einer großen Anzahl von Brotwägungen. Es zeigt sich, daß man auch bei einer solchen nicht verzwickten Produktion auf solide Statistik zurückgreifen muß!

Das automatische System muß also mit einer spezialisierten Rechenmaschine ausgerüstet werden. Bei einem solchen Verfahren wird jedes Brot automatisch gewogen, und die Maschine berechnet ständig statisti-



Schema eines Automaten, der der Gewichtsbestimmung von Broten dient

sche Werte nach Daten dieser Messungen. Das Teigmesser aber wird nach den erhaltenen Werten reguliert.

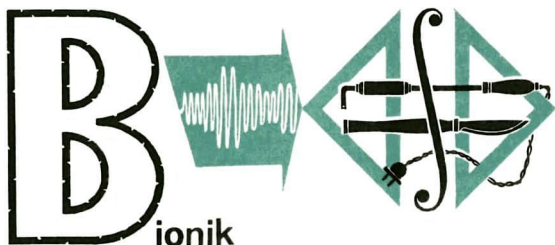
Damit haben wir Beispiele der Automatisierung einzelner Teilprozesse kennengelernt.

In der letzten Zeit verbreitet sich aber die komplexe und vollständige Automatisierung immer mehr.

Bei der komplexen Automatisierung bilden alle automatisierten Produktionsabschnitte ein einheitliches, zusammenhängendes System. Es führt die einzelnen Operationen genau in der geforderten Reihenfolge aus.

Ein System von automatischen Maschinen, Apparaten und Vorrichtungen gilt als vollständig automatisiert, wenn das Produkt ohne unmittelbare Teilnahme des Menschen am gesamten Produktionsprozeß zustande kommt.

Die Automatisierung des Produktionsprozesses erhöht die Arbeitsproduktivität. Deshalb führt man die Automatisierung überall dort ein, wo sie sich technologisch als notwendig erweist, ökonomisch effektiv ist, und wo sie die Arbeit des Menschen erleichtert.



Wissenschaft, die sich mit der Ausnutzung biologischer Prozesse und Methoden zur Lösung ingenieurtechnischer Aufgaben befaßt.

Die Bionik läßt sich auch definieren als Wissenschaft von den Methoden zur Schaffung solcher technischer Systeme, deren Charakteristik den charakteristischen Eigenschaften lebender Organismen nahekommt.

»Konstruktionsbüro der lebenden Natur«

Wußtet ihr schon, daß

- eine Klapperschlange einen Temperaturunterschied von einem tausendstel Grad wahrnehmen kann?
- gewisse Fischarten einen Duftstoff noch bemerken, der den hundertmilliardsten Teil eines Liters Wasser ausmacht?
- gewisse Mikrobenarten selbst auf kleinste Strahlungsänderungen reagieren?
- Tiefseefische in der Lage sind, Stromstärkeschwankungen von weniger als einem hundertmilliardstel Ampere wahrzunehmen?

- der Nilfisch Mormirus seinen Weg im Wasser mit Hilfe elektromagnetischer Schwingungen abtastet?

In der Tat, eine interessante Aufzählung. Sie läßt sich noch beliebig erweitern.

Daß der Mensch auf die Idee kam, das, was die Natur bereits geschaffen hat, nachzubauen, um ebenfalls solche bewundernswerten Eigenschaften zu erlangen, ist verständlich.

Das menschliche Geschlecht gibt es seit einigen Hunderttausenden von Jahren. Und was beobachteten bereits die ersten Menschen?

Na, doch sicher das Plätschern des Wassers, den Flug der Vögel, den Lauf der auf dem Erdboden lebenden Tiere, das Wehen des Windes. Vom Anfang ihrer schöpferischen Tätigkeit an sind die Menschen bei der Natur in die Lehre gegangen. Tiere und Pflanzen gaben ihnen genug »Hinweise«, was sie tun und wie sie es anstellen müssen, um die für sie lebensnotwendigen »technischen« Aufgaben zu lösen.

Und der moderne Mensch?

Er hat sich mit vielen komplizierten Maschinen umgeben, dennoch verneigt er sich noch immer vor der Natur. Warum? Weil der Mensch auch heute noch in den Schöpfungen der Natur viele Vorzüge gegenüber seinen eigenen Werken sieht. Im Vergleich zu allen der heutigen Wissenschaft bekannten Materialien, Konstruktionen und technologischen Verfahren verwendet die lebende Natur nämlich viel kompliziertere und auch bessere.

Mit Hilfe einer neuen Wissenschaft, der Bionik, will der Mensch nun tiefer in die Geheimnisse der Natur eindringen. Die Bezeichnung stammt von dem griechischen Wort »bion«, das soviel wie »Lebenszelle« bedeutet.

Die Bionik beschäftigt sich mit dem Studium biologischer Systeme und Prozesse mit dem Ziel, das erhaltene Wissen zur Lösung technischer Aufgaben anzuwenden.

Die zum Beginn dieses Abschnittes angeführten hochinteressanten Angaben sind eben gerade solche Ergebnisse bionischer Untersuchungen. Eine derart genaue Beobachtung ist für die Wissenschaft wie für die Technik sehr wichtig, sie ist nötig, um unbelebte Apparate mit Eigenschaften lebender Organismen bauen zu können.

Bekannt ist, daß eine Anlage um so weniger stabil und widerstandsfähig ist, je komplizierter sie ist. Um Beispiele sind wir nicht verlegen.

Jeder versteht, daß es einfacher ist, ein einstöckiges Haus zu bauen als etwa den Fernsehturm von Ostankino. Es unterliegt auch keinem Zweifel, daß ein einzelner Ziegelstein eines Gebäudes dauerhafter und fester ist als das ganze aus vielen Ziegeln erbaute riesige Gebäude.

Und wie ist es dagegen in der lebenden Natur? Ein Organismus als Ganzes ist stabiler und widerstandsfähiger als jeder seiner »Bausteine« für sich. Gerade deshalb ist alles Lebende in der Lage zu überleben. Wodurch sich das erklären läßt, wissen die Wissenschaftler noch nicht genau. Aber die Bionik greift diese in der Vergangenheit uneinnehmbare Festung, die Ganzheit lebender Systeme, immer häufiger und mit zunehmendem Erfolg an.

Ihr kommt es dabei nicht auf ein blindes Nachahmen, auf ein Entleeren aller Eigenschaften der biologischen Objekte, sondern vielmehr auf eine kritische und strenge Auswahl nur der für die Technik brauchbaren Eigenschaften an. Die Bionik nimmt den biologischen »Prototyp« zum Ausgangspunkt und entwickelt solche Modelle, die sich in der Praxis konkret anwenden lassen. Die Wissenschaftler betonen, daß nur die Modellierung jener Funktionen interessant und notwendig ist, die die Anpassungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit eines Systems bzw. Prozesses erhöhen.

Als das komplizierteste biologische System, das die verschiedenartigsten Funktionen der Steuerung und Informationsverarbeitung ausführt, wird seit langem das Nervensystem anerkannt. Im Laufe der Entwicklung der biologischen Wissenschaft wurde und wird das Nervensystem buchstäblich von »allen Seiten« her untersucht. Dabei hat man schließlich festgestellt, daß viele Besonderheiten des Nervensystems mit den strukturellen Besonderheiten der Nervenzellen, d. h. der Neuronen, zusammenhängen.

Warum sollte die Bionik nicht versuchen, ein technisches Steuersystem zu schaffen, das in seinem Arbeitsregime dem Nervensystem nahekommen würde? Was war dafür erforderlich? Zuerst mußte der Versuch unternommen werden, seinen Grundbaustein, das Neuron, zu modellieren. Solche Modelle halfen vieles zu erklären.

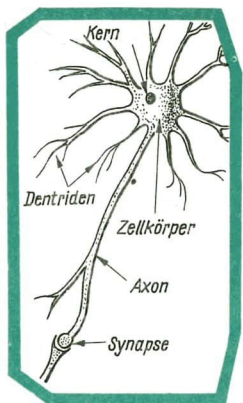
Schematische Darstellung eines Neurons und sein radioelektronisches Modell.

Ein Neuron nimmt im lebenden Organismus gewöhnlich zwei Zu-

stände ein: entweder den Ruhezustand (Hemmung) oder den Erregungszustand (Erregung). Fachleute vergleichen die Funktionen eines Neurons mit einem elektronischen Bauelement, das zwei Zustände einnehmen kann und nach dem »Ein-aus«-Prinzip arbeitet und das durch die Veränderung der Dauer und des Schwellenwertes der Erregung charakterisiert wird.

Aus Neuronen sind die Nerven aufgebaut, die für den Organismus nichts anderes sind als Leitungen – Nachrichtenverbindungen zwischen dem Organismus als ganzem und seinen einzelnen Organen und Abschnitten. Mit anderen Worten: Die Nervenleitungen verbinden den Organismus mit der Außenwelt.

Sowohl ein Neuron als auch sein elektronisches Modell sind Elemente mit Reizschwelle: Sie schalten sich dann ein und treten in Aktion, wenn sie von der Umwelt ein Signal erhalten, das die Reizschwelle überschreitet. Dabei findet sowohl eine zeitliche als auch eine räumliche Anhäufung bzw. Summierung der Signale statt. Die Anzahl der Signale, die ein Neuron empfangen kann, kann sehr unterschiedlich sein. Sie



Eine natürliche Nervenzelle (Neuron) ist einer künstlichen völlig unähnlich. Die kleine elektronische Einrichtung imitiert einige ihrer einfachsten Funktionen.

ändert sich von einigen Einzelsignalen bis zu einigen tausend Signalen.

Das Neuronenmodell hat den Forschern Aufschlüsse in vielerlei Hinsicht gegeben. Vor allem, daß ein Ingenieur die Anpassungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit des Neurons berücksichtigen muß, wenn er ein technisches Steuersystem konstruiert. Einen Vorteil hat das technische System gegenüber dem natürlichen: Ein Neuron braucht zum Sammeln neuer Kräfte unbedingt Erholungspausen. Ein technisches System braucht solche Pausen nicht.

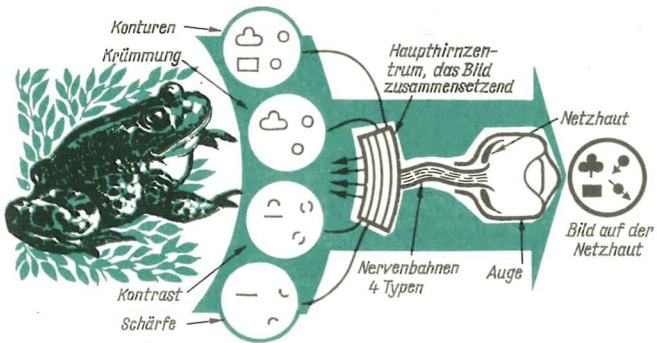
Welche praktischen Ergebnisse hat die Bionik gebracht? Womit hat sie der Technik geholfen?

Den Fachleuten auf diesem Gebiet ist z. B. das außergewöhnliche Orientierungsvermögen der Vögel bekannt. Brieftauben kehren immer wieder zu ihrem Heimatschlag zurück. Es ist erwiesen, daß der Goldregenpfeifer ohne Zwischenlandung den Atlantischen Ozean von Neuschottland bis Südamerika (etwa viertausend Kilometer) überqueren kann. Und die Goldregenpfeiferschwärme ziehen jahrein, jahraus immer dieselbe Flugroute.

Wie orientieren sie sich im Raum? Wie finden sie ihre unsichtbaren Wege am Himmel? Was für exakte und hochempfindliche »Navigationsgeräte« arbeiten in diesen Meistern der Navigation?

Bis heute sind die Wissenschaftler noch nicht in der Lage, den Bau und die Wirkungsweise dieses hochorganisierten Orientierungssystems zu erklären. Wir können aber gewiß sein, daß diese Frage nicht unbeantwortet bleiben wird. Die Garantie dafür liefern die ersten Ergebnisse von neuen interessanten Experimenten, die die Wissenschaftler mit Vögeln durchführten.

Die bemerkenswerte Fähigkeit der Fledermäuse, sich selbst in den dunkelsten Höhlenwinkeln zu orientieren oder in finsterster mondloser Nacht, ohne anzustoßen, durch die Baumkronen zu fliegen, hatten die Wissenschaftler seit langem bemerkt, aber das »Wie« war ihnen ein Geheimnis. Heute wissen sie, daß das auf den ersten Blick scheinbar ungeordnete, ziellose »Tauchen«, »Drehen« und andere plötzliche »Verrenkungen« und »Tricks« der Fledermäuse auf der Jagd nach Beute in Wirklichkeit auf einer außerordentlich genauen Orientierungsmethode beruhen, die als Echolokalisierung bezeichnet wird. Sie hilft den Tieren, die Entfernung von ihrem Opfer nicht nur ungefähr, sondern ganz exakt

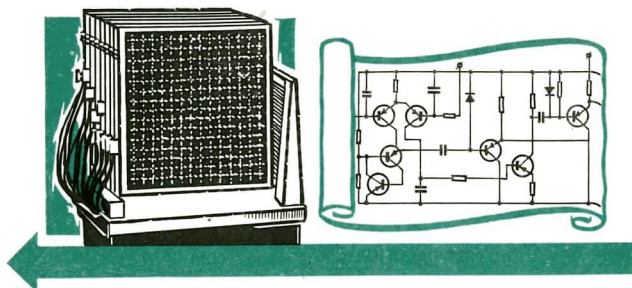


Das Froschauge nimmt ein Bild auf und »zerlegt« es in charakteristische Eigenschaften des Objektes: Konturen, Krümmungen, Schärfe, Kontrast

festzustellen. Die Fledermäuse sind während der Jagd ungewöhnlich »gesprächig«: Sie stoßen sehr hohe Töne aus, die im Ultraschallwellenbereich liegen und vom Menschen nicht gehört werden können. Diese Töne treffen auf einen Gegenstand, der sich auf ihrem Flugweg befindet, z. B. ein Insekt, und werden reflektiert. Die Fledermaus nimmt dieses Echo auf und reagiert entsprechend.

Diese Erkenntnis half z. B. den Wissenschaftlern, das Lokalisierungsprinzip der blinden Menschen zu erkunden. Heute weiß man, daß die Orientierung nach dem Schall der eigenen Stimme dem Blinden nicht nur seinen Weg ohne Stock weist, sondern daß er auch in der Lage ist, verschiedene Materialien wie Holz, Metall und Stoff »nach ihrem Klang« zu unterscheiden. Ausgenutzt wurde das »Fledermausprinzip« für die Entwicklung des Echolots, mit dem Schiffe prüfen können, wie tief der Meeresboden unter ihnen liegt oder wo sich Fischschwärme aufhalten.

Die Bioniker haben im Laufe vieler Jahre untersucht, welche Geschwindigkeiten Steppentiere, Vögel, Insekten und Fische entwickeln, und der Mensch hat mit Hilfe von technischen Mitteln z. B. auch die Leistungen der Delphine, die mit einer Geschwindigkeit von 70 km/h schwimmen können, oder der schnellfüßigsten Heuschrecken, die mit einer Geschwindigkeit zwischen 10 und 60 km/h zu springen vermögen,



Elektronisches Modell des Fischauges – eines der ersten bionischen Systeme

überboten. Aber das zu erfahren war auch nicht das Wichtigste. Interessant war aber festzustellen, wie es z. B. Vögeln, Fischen und Insekten möglich ist, selbst bei hohen Geschwindigkeiten so elegant in ihrem Element zu manövrieren, ihre Bewegung so anscheinend mühelos zu lenken.

Im Ergebnis umfangreicher Experimente mit Walen haben japanische Ingenieure und Biologen festgestellt, daß die äußere Form eines Wals vollkommen der Lebensweise im Wasser angepaßt ist und das Verhältnis zwischen Energieaufwand und Fortbewegungsgeschwindigkeit günstiger liegt als selbst bei Schiffen moderner Bauart. Daraufhin wurde ein Ozeanriesen gebaut, dessen Rumpf den Proportionen des Walkörpers nachgebaut war, und die Vorzüge der neuen Konstruktion zeigten sich: Bei einer um ein Viertel verminderten Motorleistung blieben Geschwindigkeit und Ladekapazität erhalten.

Ein bionisches Prinzip liegt auch dem sowjetischen Fahrzeug »Pinguin« zugrunde, das sich im Schnee gut fortbewegen kann. Wie bewegen sich Pinguine auf verharschtem Schnee? Sie rutschen auf dem Bauch und stoßen sich mit den Flossen wie mit Skistöcken ab.

Ähnlich, auf dem Schnee aufliegend und sich mit Stangen an Stelle von Rädern abstoßend, gleitet der »Pinguin« über die Schneefläche. Das Fahrzeug kann sich bei einem Gewicht von 1,3t mit einer Geschwindigkeit von 50km/h bewegen.

☛ Auf dem Gebiet der Bionik laufen viele Untersuchungen. Die Wissenschaftler suchen z.B. verstärkt nach biologischen Schutzmitteln vor schädigender Strahlung. Sie hoffen, lebende Filter zur Reinigung des Wassers und des Bodens von Radioaktivität entwickeln zu können.

Man ist auch auf den Gedanken der Biologisierung der Produktion gekommen: Die uns von der Natur geschenkten »Maschinen und Geräte« sollen nicht ungenutzt bleiben. Seit langem ist bekannt, daß die chemische Zusammensetzung von Pflanzen Rückschlüsse auf Bodenschätze gestattet. Der Honig wilder Bienen ist eine »süße Karte«, sie gibt den Geologen Hinweise auf Erzlagerstätten im Nektarsammelgebiet. In den Meeren und Ozeanen sammeln sich im Organismus der Lebewesen, z.B. der Algen, in Bakterien und Mikroben, bestimmte chemische Elemente an. Könnte man nicht diese Meeresbewohner dazu bringen, für den Menschen solche wertvollen Stoffe zu »fördern«?

Das Symbol der Bioniker ist Skalpell und LötKolben, gekreuzt von einem Integralzeichen. Diese Gemeinschaft der Biologen, Ingenieure und Mathematiker läßt uns hoffen, daß die Bionik als Wissenschaft in Gebiete vordringt, in die bisher noch niemand gelangt ist, und daß sie erkennen wird, was bisher noch niemand erkannt hat.

Möglicherweise wird die Entwicklung der Bionik schon in kürzester Zeit zu vielen Ergebnissen führen, die in der Welt der Technik recht ungewöhnlich sind. Die größten Überraschungen erwarten uns in der Ausarbeitung verschiedener Geräte und Methoden zur Gewinnung von Bodenschätzen und in der materiellen Produktion. In der Technik aber – und das erwartet man ganz sicher – werden solche Steuersysteme auftauchen, in die neue biologische Maschinen »eingebaut« werden.

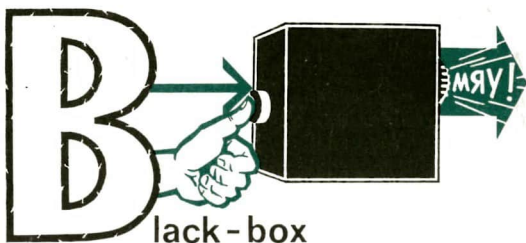
Die Wissenschaftler sagen auf lange Sicht den Beginn einer »biologischen Ära« voraus. Ihre Konturen versucht man schon heute auf Grund der ersten Erfolge der Bionik zu umreißen. Man vermutet, daß in nicht allzuferner Zukunft nach dem Beispiel der lebenden Natur mit dem Bau von Vogelflugapparaten, von schnellen Unterwasserpassagierschiffen, von geländegängigen Fahrzeugen für Reisen auf dem Mond, dem Mars, der Venus und auf anderen Planeten begonnen werden wird. Wir werden komfortable Siedlungen auf dem Grunde der Meere und Ozeane bauen, uns im Kosmos frei orientieren können wie die Vögel in der Luft, werden Wetter, Erdbeben und Vulkanausbrüche genau vorhersagen, vielfältige radioelektronische Geräte, ungeahnte Biomechanismen und künstliche

Neuronen entwickeln sowie Rechenautomaten auf der Grundlage von Eiweißen bauen ...

Es steht bevor die direkte Umwandlung elementarer Rohstoffe, einfacher Elemente in Material für Bekleidung und in Lebensmittel nach dem Beispiel der Fotosynthese, die unter dem Einfluß des Sonnenlichtes in jedem grünen Blatt abläuft ... An die Stelle riesiger Maschinen treten künstliche Muskeln ... Das Lenken von Flugzeugen, Werkbänken, Kraftwagen und Raketen wird durch eine einfache Willens- und Denkanstrengung möglich, ohne Lenkrad, ohne Steuerknüppel ...

Ausgesprochen wurde auch schon die Idee einer neuartigen Industrie – der bionischen –, die sich selbst reproduziert und bei Schäden und Abnutzung sich selbst restauriert und die sich dazu mit Energie und allen Materialien selbst versorgt.





Untersuchungsobjekt, dessen innere Struktur unbekannt ist oder nicht beachtet wird.

»Nichts wissen, nichts sehen, nichts sagen«

»Schwarzer Kasten« (Black-box) – in jeder beliebigen Enzyklopädie oder jedem Nachschlagwerk gleich unserem finden wir zu diesem Begriff die verbindliche Feststellung: »gehört zu den Grundbegriffen der Kybernetik«.

Auf das Problem der »Black-box« stößt der Mensch buchstäblich mit den ersten Schritten seines Lebens. Freilich kommt er in der praktischen Tätigkeit recht erfolgreich damit zurecht, ohne es irgendwie zu klassifizieren und ohne zu wissen, daß er es mit einer typischen »Black-box« zu tun hat.

Ein Kind, das gerade erst stehen und in seinem Laufgitter einige Schritte machen kann, möchte gleich in die weite Welt hinein. Aber das Gitter ist hinderlich! Vor dem Kleinkind entsteht hier nichts anderes als eine »Black-box«: Es weiß nichts vom Bau des Laufgitters und müht sich, es zu beseitigen. In der Sprache der Kybernetik ausgedrückt, beginnt das Kind mit Eingaben (Inputs) zu manipulieren und erhofft als Ausgabe (Output) ein geöffnetes Gitter.

Genau so eine »Black-box« ist ein Spielzeug zum Aufziehen. Die Kinder wissen nicht, wie das Spielzeug von innen aussieht; sie wissen nur eins: Wenn man es aufzieht, so bewegt es sich. Wir würden es so aus-

drücken: Als Eingabe haben wir die Energie zum Spannen der Feder und als Ausgabe eine bestimmte Bewegung.

Mitunter treten auch ganz gewöhnliche Rundfunk- und Fernsehgeräte als »Black-box« auf, wenn nämlich der sie bedienende Mensch nichts von ihrem inneren Aufbau versteht. Er weiß von Radioapparat und Fernsehgerät nur soviel: Wenn er einschaltet, also elektrische Energie eingibt (Eingabe), dann erhält er (als Ausgabe) einen Ton bzw. ein Bild.

Man kann sagen, daß jedes Ding, jeder Gegenstand, jede Erscheinung, kurz jedes Objekt, bevor es erkannt wird, als »Black-box« auftritt.

Meistens bleiben die »schwarzen Kästen« nicht lange »schwarz«; in dem Maße, in dem Erfahrung gesammelt wird, wird gewissermaßen das »Schwarz« immer heller und verschwindet schließlich.

Aber nicht immer ist das so einfach. Nehmen wir an, vor einem Ingenieur steht ein elektronisches Gerät. Er darf es nicht auseinandernehmen, muß aber entscheiden, ob es repariert oder ausrangiert werden soll. Eine solche Aufgabe steht auch vor dem Ingenieur des Telefondienstes, der eine defekte Apparatur in Ordnung bringen soll, die er ohne hinreichenden Grund nicht stilllegen darf. Ähnlich kann es einem Arzt ergehen, der in seiner Praxis nur den äußeren Erscheinungsmerkmalen einer Krankheit gegenübersteht, nicht aber den Zustand des Organismus seines Patienten kennt. Wie schon gesagt, solche Black-box-Aufgaben zu »erhellen« ist nicht einfach.

Die Fachleute, die die Theorie der »Black-boxes« untersuchen, sind der Meinung, daß die Anwendung dieser Theorie dabei helfen kann, die gewaltige Zahl und Vielfältigkeit der Planungsaufgaben in der Produktion zu bewältigen, denn selbst ein Produktionsbetrieb mit höchstens zehn Produktionsprozessen ermöglicht formal allein fast 10 000 000 Planvarianten.

Das »Black-box«-Problem tritt also in den verschiedensten Bereichen des Lebens und der Produktion auf. Der englische Wissenschaftler W. R. Ashby, von dem der Begriff »Black-box« geprägt wurde, behauptet zu Recht, daß es sich bei dieser Theorie generell um das Studium der Beziehungen zwischen Experimentator und Umwelt unter besonderer Berücksichtigung des Informationsflusses handelt.

Wir wissen nun schon: Eine »Black-box« ist ein System, über dessen inneren Bau wir nichts wissen. Auf welche Weise kann man dieses System untersuchen, es erforschen?

Als »Black-box« wird ein System nur von einer Seite erfaßt, nämlich nach den Beziehungen zwischen »Input« (Eingabe) und »Output« (Ausgabe). In diesem Zusammenhang geht es nur darum, das Verhalten des Systems zu verstehen, und nur das Verhalten. Weder seine Struktur noch sein Material werden hierbei beachtet.

An das System werden also gewissermaßen »Fragen« gestellt, das System gibt darauf eine »Antwort« oder auch nicht, und aus seinem Verhalten zieht der Untersuchende Schlußfolgerungen, die ihn zum Ziel, zur Erkenntnis der »Black-box« führen können.

Die Erforschung eines »schwarzen Kastens«.

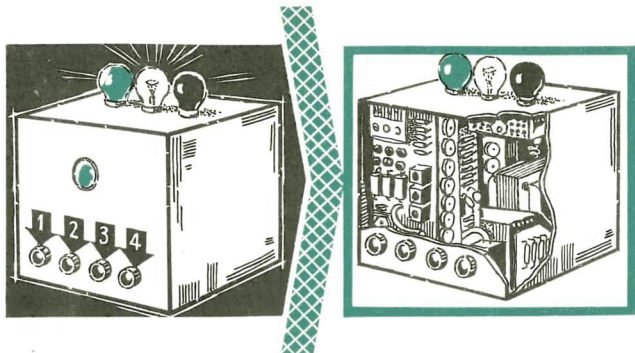
W. R. Ashby sagt dazu folgendes:

Der Mensch kann nicht zweimal in ein und demselben Fluß baden (weil sich dieser ununterbrochen verändert, in Bewegung ist), ebenso kann er nicht zweimal dasselbe Experiment durchführen. Er kann lediglich ein anderes Experiment unternehmen, das sich von dem ersten, wenn auch nur geringfügig, unterscheidet.

Das trifft auch auf die Untersuchung der »Black-box« zu. Die Hauptdaten (also die »Fragen« an das System) werden immer in Form einer Tabelle gegeben sein, in die die zum Zeitpunkt der Beobachtung gegebenen Zustände verschiedener Teile der »Black-box« (ihre Ein- und Ausgänge) eingetragen werden.

So könnte man beispielsweise von der Untersuchung eines solchen unbekannten »Kastens« folgendes Protokoll anfertigen:

Zeit	Zustand
11.18 Uhr	Ich habe nichts gemacht, der Kasten erzeugt einen gleichmäßigen Brummtön der Frequenz 240 Hz.
11.19 Uhr	Ich betätige den mit »K« bezeichneten Schalter, die Tonfrequenz steigt auf 480 Hz und bleibt dann konstant.
11.20 Uhr	Ich drücke aus Versehen auf den mit »!« bezeichneten Knopf, die Temperatur des Kastens steigt auf 20 °C.



»Black-box« – durch mehrmaliges Drücken der Knöpfe bringt man die Lampen in verschiedenen Kombinationen zum Brennen und kann Gesetzmäßigkeiten in den Beziehungen Eingabe – Ausgabe aufstellen, ohne zu wissen, was im Innern der »Black-box« vor sich geht.

Im Prinzip wird jedes System durch schrittweises Anlegen eines meist langen Protokolls über die Eingangs- und Ausgangszustände untersucht. Dadurch weiß der Experimentator schließlich, was am Ausgang des Systems geschieht, wenn er gewisse Eingaben manipuliert. Der Kreis Eingabe – Ausgabe wird ständig erweitert, und so lernt der Experimentator das Verhalten des »Unbekannten« kennen. In dem Maße, in dem er sein Verhalten erkennt, versucht er auch, die inneren Zusammenhänge des »Kastens« herauszufinden.

Ashby bemerkt dazu, daß der Experimentator einem Ingenieur ähnelt, der in der Kommandokabine eines Schiffes vor vielen Hebeln und Kommandogeräten sitzt, mit deren Hilfe er die Maschinen bedient und dabei die Resultate an einer Reihe von Meßinstrumenten beobachtet.

Wir haben nun auf den vorhergehenden Seiten erfahren, was eine »Black-box« ist. Warum aber »Black-box« ein Begriff der Kybernetik ist, wie wir eingangs feststellten, das wissen wir noch nicht.

In der Regel hat man es in der Kybernetik mit Systemen verschiedener Natur zu tun, die einer detaillierten Beschreibung unzugänglich sind, den sogenannten »Großen Systemen«. Die Wissenschaftler müssen sehr oft Forschungen unter Umständen in Angriff nehmen, wo nicht eine der

bekannten Untersuchungsmethoden angewandt werden kann, außer der der »Black-box«. Und die »Großen Systeme« sind einer der wichtigsten Abschnitte dieser neuen Wissenschaft Kybernetik.

Wenden wir uns Beispielen zu.

Das Nervensystem des Menschen erinnert an eine riesige elektrische Schaltung. Doch ist der Unterschied gewaltig – die quantitativen Unterschiede sind unglaublich groß. Zu einem radiotechnischen Gerät gehören einige hundert Schalter vieler verschiedener Arten. Elektronische Maschinen besitzen bis zu 100 000 Schaltelemente. Die Anzahl der Neuronen im menschlichen Gehirn beträgt aber etwa 12 bis 14 Milliarden.

Stellen wir uns einen Biologen vor, der sich das Ziel gestellt hat, alle Umschaltungen bei einem Denkprozeß zu überwachen. Wir nehmen weiter an, daß der Biologe das Schema der Schaltverbindungen im Nervensystem ebensoschnell übersehen kann, wie der Funktechniker die Schaltstruktur seines radiotechnischen Gerätes aufnimmt. Die Praxis lehrt, daß ein guter Fachmann zur Analyse einer Schaltung mit 200 Umschaltungen 5 Stunden braucht. Wenn nun der Biologe die Schaltung im Nervensystem des Menschen mit derselben Geschwindigkeit analysiert, so braucht er dafür etwa – 40 000 Jahre! Solche Großen Systeme kann man also nicht detailliert studieren.

Ein anderes Beispiel. In einem Chemiebetrieb werden die gesundheitsschädigenden Produktionsabschnitte automatisiert. Alles ist nun soweit in Ordnung: Der Operator drückt die entsprechenden Knöpfchen, die Automaten funktionieren fehlerlos, alle Prozesse verlaufen normal. Nur einen Haken hat die Sache: Der Operator ist ein Mensch, für ihn ist der Aufenthalt in dieser Halle schädlich! Auch er muß ersetzt, seine Arbeit einem Automaten übertragen werden.

In der Sprechweise der Kybernetik wird diese Aufgabe formuliert als Notwendigkeit, ein System durch ein anderes, ähnlich funktionierendes zu ersetzen.

Hier greift nun die »Black-box« in das Geschehen ein. Wir wollen, daß irgendein bis jetzt noch nicht konstruiertes System alles das tun soll, was der Mensch als Operator in der Produktion tut. Wir sehen daher ganz davon ab, wie der Mensch seine Tätigkeiten im einzelnen verrichtet, und interessieren uns nur für das, was er an Informationen aufnimmt (Input) und was seine Tätigkeit bewirkt (Output). Die Tätigkeit des menschlichen Operators betrachten wir als Verhalten einer »Black-box« und konstruieren

danach ein Modell. Dabei werden sowohl die »Black-box« als auch ihre »Reproduktion in der Elektronik« durch ein und dieselben mathematischen Formeln beschrieben.

Mitunter sind Große Systeme derart kompliziert, daß man, obwohl man über die Zustände ihrer einzelnen Elemente vollständig Bescheid weiß, diese Informationen sehr schwer aufeinander abstimmen und miteinander in Einklang bringen kann, um über das Verhalten des Gesamtsystems urteilen zu können, denn es gibt sehr viele solcher Elemente. Der Mensch als Forscher ist einfach nicht in der Lage, solche Systeme in den Griff zu bekommen: Entweder er ertrinkt in der Menge von Informationen, oder er kann sie nicht aufnehmen.

Was kann man hieraus schließen? Mehrere Dinge! Von einer Schlußfolgerung berichtet der Kybernetiker Ashby sehr anschaulich. Wenn ein Ingenieur beim Brückenbau jedes Atom des Baumaterials genau betrachten müßte, so sähe er sich einer schon wegen ihres Ausmaßes unlösbaren Aufgabe gegenüber. Daher ignoriert der Bauingenieur die Tatsache, daß Träger und Blöcke in Wirklichkeit aus Atomen zusammengesetzt sind. Er betrachtet Träger und Blöcke als unteilbare Einheiten, da deren Natur solch eine Vereinfachung gestattet. So wird die Aufgabe für den Ingenieur praktisch lösbar.

Aber ist eine Vereinfachung immer möglich?

Wenn ein Psychiater ein erkranktes Gehirn erforschen will, so hat er es mit einem sehr großen System zu tun. Und dieses System verlangt ein wohlüberlegtes Heranziehen von Vereinfachungen, und nicht jede Vereinfachung ist zulässig, denn sie kann das wirkliche Krankheitsbild entstellen. Wenn ein Ökonom in einem Betrieb seine komplizierten Berechnungen anstellt, so gehen die Preise für Rohmaterialien, die Gesamtmenge der Arbeitskraft, der Erzeugerpreis, der Arbeitsaufwand und die Nachfrage in einem Meer von »Kleinigkeiten«, die der Ökonom zu berücksichtigen hat, unter. An Vereinfachungen muß er mit äußerster Vorsicht herangehen und sie in den Berechnungen wie auf einer Apothekerwaage abwägen! Es gibt unzählig viele solcher Beispiele.

Bei der Untersuchung sehr großer Systeme ist die »Black-box-Methode« unersetzbar.

Sie ist eine Art Schlüssel, mit der man die unvorstellbare Mannigfaltigkeit sehr großer Systeme erschließen kann. Sie gestattet es, sich Große Systeme als eine Art »Black-box« darzustellen.

Man konstruiert ein vereinfachtes Modell und beginnt mit der Untersuchung: Das Verhalten von System und Modell wird ständig miteinander verglichen und analysiert.

Nehmen wir einmal an, das Modell verhält sich nicht so wie das System. Dann kann der Experimentator mit Recht behaupten, daß die dem Modell zugrunde gelegten Prinzipien von denjenigen, nach denen das Originalsystem aufgebaut ist, verschieden sind. Das heißt also, daß man eine andere Hypothese über die Struktur des Systems und neue Experimente machen muß.

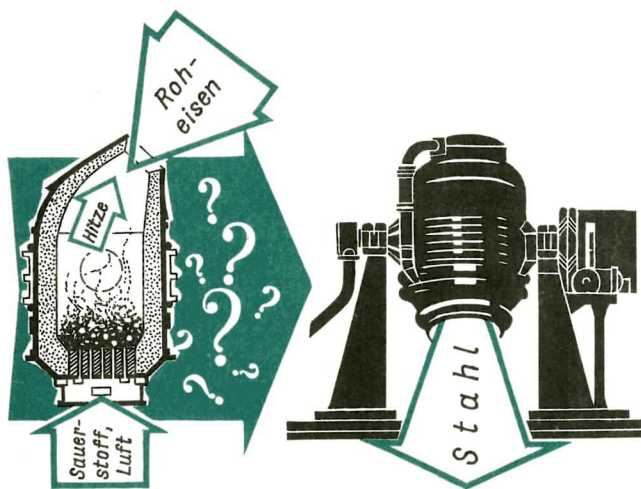
Schließlich hat man nach langen Untersuchungen Erfolg! Die Prinzipien, nach denen das Modell konstruiert wurde, entsprechen der Vorstellung über die Strukturprinzipien des Systems. Das heißt, daß die vom Experimentator gemachte Hypothese bestätigt ist.

Wir wollen uns einmal ansehen, wie theoretische Überlegungen dieser Art in ihrer Anfangsetappe in den Arbeiten des Zentrallabors für Automatisierung bei der Schaffung eines zuverlässigen automatischen Stahlschmelzofens in die Tat umgesetzt wurden.

Die Stahlgewinnung geschieht im wesentlichen auf zwei Wegen: nach dem Siemens-Martin-Verfahren oder nach dem Bessemer-Verfahren mit Konvertern. Das Siemens-Martin-Verfahren hat sich allgemein durchgesetzt, während die Konverter vom Stahlgießer wahre Meisterschaft, ja Schöpfertum fordern: Der Stahlgießer muß alles nach Gefühl machen. Ganz anders ist es beim Siemens-Martin-Verfahren, wo ihm genaue Laboranalysen helfen.

Die mit dem Konverter arbeitenden Stahlgießer kann man mit Jägern vergleichen, die auf ein schwer anvisierbares Ziel schießen. Dabei treffen es selbst die erfahrensten gar nicht so oft – die besten haben 40 Prozent an »Treffern«.

Es lag nahe, daß Kybernetiker sich des Konverterverfahrens annahmen, denn was anderes ist der Konverter als eine »Black-box«? Eingabe ist all das, was vor dem Blasen in den Konverter gegeben werden muß, Ausgabe ist der Stahl mit den Eigenschaften, die man braucht. Was innerhalb der »Black-box« (sprich Konverter) geschieht, wird erst mal vernachlässigt. Zunächst wird ein Gleichungssystem für das Wärmegleichgewicht, den benötigten Kohlenstoff, den Sauerstoff und für ihre Mengen vor und nach dem Blasen aufgestellt: Es ergibt sich, wie man bei Vorgabe der bestmöglichen, der optimalen Ausgabe (also des benötigten Stahls),



Ein Konverter ist vom Standpunkt der Kybernetik aus betrachtet eine »Black-box«.

die nötigen Eingaben wählen muß. Jetzt erfolgt der »Schuß nach dem Ziel« nicht mehr nach Erfahrungswerten, sondern nach mathematisch fundierten Angaben. Dabei hat sich die »Treffsicherheit« fast um das Doppelte erhöht.

Zu welchem Schluß können wir nun kommen? Die wissenschaftlichen Entdeckungen bringen eine immer größer werdende Vielfalt von Erscheinungen, deren Grenzen sich ständig ausweiten, und immer wichtigere Einzelheiten an den Tag. Gleichzeitig werden als Ergebnis wissenschaftlicher Entdeckungen weitreichende Klassen von Erscheinungen auf immer weniger Klassen von Prinzipien zurückgeführt, die ihrerseits immer allgemeinere Bedeutung erlangen. Ein markantes Beispiel dafür ist der »Schwarze Kasten«.



Positionssystem des Rechnens mit der Grundzahl 2.

Alles aus 0 und 1

Der Mensch begann das Zählen mit Hilfe der Finger zu lernen. Die zehn Finger waren das erste Recheninstrument, bei dem jedem der umgebogenen Finger genau ein Gegenstand zugeordnet war.

Das Rechnen mit zehn Ziffern (es erhielt später den Namen Dezimalsystem) erwies sich als derart mühelos, daß es sich bis auf den heutigen Tag erhalten hat.

Wir kennen dieses Zehnersystem alle von der ersten Klasse an. Wir kennen seine Grundlage, die Reihe der Ziffern von 0 bis 9, die Kategorie der Einer. Wir wissen, daß sich die Stellenwerte benachbarter Stellen jeweils um das Zehnfache unterscheiden. Uns erscheint dieses System als das einfachste und bequemste.

Dieser Meinung war auch der französische Mathematiker Blaise Pascal, der Erfinder der ersten Rechenmaschine. Seine mechanische Zahnradmaschine arbeitete dezimal mit je 10 Zähnen auf jedem Rad. Von dieser Zeit an konnte man nicht nur manuell mit den 10 Fingern, sondern auch mechanisch mit den 10 Zähnen eines Rades dezimal rechnen.

Das Dezimalsystem wurde auch in den elektromechanischen Rechenmaschinen genutzt. Sie enthielten einen Schrittwähler mit 10 Positionen.

Selbst die ersten elektronischen Rechenautomaten verwendeten eben diese zehn Finger in Form von zehn Triggern. So arbeitete z. B. die ameri-

kanische Rechenmaschine ENIAC nach dem Dezimalsystem. Sie beanspruchte aber eine derart teure Ausrüstung, daß die Konstrukteure nach Möglichkeiten zu suchen begannen, die Anzahl der Trigger zu verringern.

Im Ergebnis ihrer Suche kamen die Ingenieure und Mathematiker auf die dualen Elemente der Rechentechnik, d. h. jene, die im Prinzip immer einen von zwei möglichen, sprunghaft unterschiedenen Zuständen (Positionen) einnehmen.

Denkt zum Beispiel an eine Elektronenröhre. Sie kann sich nur in zwei Zuständen befinden: Entweder sie leitet den elektrischen Strom (»offen«), oder sie leitet ihn nicht (»geschlossen«). Und ein Trigger hat ebenfalls zwei stabile Zustände. Nach dem gleichen Prinzip arbeiten auch die Speicherelemente.

Warum soll man da nicht das Dualsystem der Zahlen verwenden? In ihm gibt es nur zwei Ziffern: 0 und 1*. Gerade das ist für die Arbeitsweise einer elektronischen Maschine sehr zweckmäßig.

Und so begannen die neuen Maschinen mit Hilfe von 0 und 1 zu rechnen.

Glaubt nicht, daß das Dualsystem erst mit den elektronischen Maschinen geboren wurde. Nein, es ist viel älter. Für das Rechnen mit der Grundzahl 2 haben sich die Menschen seit langer Zeit interessiert, besonders stark von Ende des 16. bis Anfang des 19. Jahrhunderts.

Der berühmte Mathematiker und Philosoph Gottfried Wilhelm Leibniz hielt das Dualsystem für einfach, bequem und schön. Er sagte, daß »das Rechnen mit Dualzahlen und eine volle Anerkennung seiner langen Zifferngruppen für die Wissenschaft grundlegend sind und zu neuen Entdeckungen führen. ... Bei der Zurückführung der Zahlen auf die einfachsten Grundlagen, wie 0 und 1 es sind, zieht überall eine wunderbare Ordnung ein.«

Auf eine Bitte des Gelehrten hin wurde zu Ehren des »dyadischen Systems«, wie man damals das Dualsystem nannte, eine Medaille geprägt. Sie zeigt eine Zahlentabelle und die einfachsten Operationen mit den Dualzahlen. Um den Medaillenrand windet sich ein Band mit der Aufschrift: »Um alles aus dem Nichts hervorzuheben, genügt die Eins.«

* Anmerkung der Redaktion: Für die Dual-Eins wird zum Unterschied von der Dezimal-Eins auch das Zeichen L verwendet. In der Übersetzung wurde die vom Autor gewählte Schreibweise beibehalten.

Danach aber wurde es bald still um das Dualsystem. Im Laufe von fast 200 Jahren ist keine einzige Arbeit darüber erschienen. Erst im Jahre 1931 kam man wieder darauf zurück, als einige praktische Anwendungsmöglichkeiten des Dualsystems demonstriert wurden.

Das Dualsystem ist, wie auch das Dezimalsystem, strengen Gesetzen unterworfen. Während im Dezimalsystem 10 als Grundzahl genommen wird, ist es im Dualsystem die 2. Im Dezimalsystem steht an jeder Stelle eine von zehn verschiedenen Ziffern, im Dualsystem dagegen nur eine von zweien. Im Dezimalsystem ist jede Stelle zehnmal größer als die vorhergehende, im Dualsystem nur zweimal.

Seht einmal, wie kurios die uns vertrauten Zahlen in dualer Schreibweise aussehen:

»Schon in den unteren Klassen erwies er sich als äußerst aufgeweckter Junge. Für Aufgaben, die seine Altersgenossen in einer halben Stunde lösten, benötigte er etwa »101« bis »110« (d. h. 5 bis 6) Minuten. Begabt mit einem außergewöhnlichen Geist und unerschöpflicher Energie, konnte dieser Glückspilz ein Jahr vorfristig nach insgesamt »11« (d. h. 3) Jahren die Hochschule beenden, und im Alter von »10100« (d. h. 20) Jahren war er bereits Leiter eines wissenschaftlichen Forschungsinstitutes.«

Wie die Zahlen im Dualsystem dargestellt werden.

Weil für die Darstellung im Dualsystem nur zwei Ziffern als Zeichen für eine Stelle vorhanden sind, sind viel mehr Stellen zur Darstellung einer gegebenen Zahl nötig. Nehmen wir z. B. die Zahl 8 aus der Tabelle auf Seite 68. In der dualen Schreibweise brauchen wir für sie vier Stellen: 1000.

Jetzt nehmen wir einmal eine andere Zahlendarstellung des Dualsystems: die Zahl 1111. Die am weitesten rechts stehende Ziffer bedeutet hier auch die Eins. Die nächste, um einen Schritt höhere Stelle ist nur zweimal größer als die erste und bedeutet deshalb die Zwei. Die dritte Stelle ist abermals zweimal größer als die vorhergehende und stellt die Vier dar, die vierte Ziffer bedeutet dementsprechend die Acht. Insgesamt ist durch die duale Schreibweise 1111 die (dezimale) Zahl $8 + 4 + 2 + 1 = 15$ dargestellt.

Probieren wir nun einmal, irgendeine Dezimalzahl, z. B. 1017, im Dualsystem aufzuschreiben. Dazu ist es wie bei jeder Zahlendarstellung

durch Zifferngruppen nötig, sie in eine Summe zu zerlegen, die den einzelnen Stellenwerten entspricht. Sehen wir zunächst, wie das im Dezimalsystem vor sich geht. Die Zerlegung von 1017 als Darstellung in Zehnerpotenzen, d. h. den Stellenwerten dieses Zahlensystems, geschieht auf folgende Weise: 1017, das sind 7 »Einer« + 1 »Zehner« + 0 »Hunderter« + 1 »Tausender«, oder exakter und in der Reihenfolge der Stellenanordnung mit den Einern von rechts beginnend formuliert,
 $1017 = 7 \cdot 10^0 + 1 \cdot 10^1 + 0 \cdot 10^2 + 1 \cdot 10^3$, denn es gilt: $10^0 = 1$, $10^1 = 10$, $10^2 = 100$ usw.

Eine Zerlegung in Stellen nach dem Dualsystem ist natürlich nun entsprechend anders vorzunehmen. Probieren wir das zunächst mit der Sieben.

Weil im Dualsystem jede folgende Stelle das Zweifache (und nicht das Zehnfache) der vorangehenden ausmacht, ist die Sieben in einer Summe darzustellen, in der als Summand immer das Doppelte der vorhergehenden Zahl auftritt:

$$7 = 1 + 2 + 4$$

In diesem Falle geht das gerade auf. Die 7 enthält einen »Vierer«, einen »Zweier« und einen »Einer«:

$$1 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 4$$

oder in anderer Schreibweise:

$$7 = 1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2$$

Zweierpotenzen sind die Stellenwerte im Dualsystem. Ihre Beträge sind $2^0 = 1$, $2^1 = 2$, $2^2 = 4$ usw., und sie müssen für die Zerlegung benutzt werden; denn weil es nur die zwei Ziffern 0 und 1 für jede dieser Stellen gibt (und nicht zehn, wie beim Dezimalsystem), kann es auf jeder Stelle nur entweder den Wert 0 (d. h. $0 \cdot 2^n$) oder den Grundwert der Stelle $1 \cdot 2^n$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) geben. In unserem Beispiel heißt das:

$$7 = 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 \text{ entspricht der Zahl 111 im Dualsystem.}$$

Als nächsten Schritt nehmen wir die 10 als Demonstrationsbeispiel. In der erläuterten Weise zerlegt, besteht die Summe aus einem »Achter« und einem »Zweier«:

$$10 = 8 + 2 = 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0$$

Weil 4 und 1 als Summanden nicht auftreten, bekommt deren Stelle also die 0 als Ziffer, und die ganze Zahl wird geschrieben als: 1010.

Das gleiche Zerlegungsprinzip ist nun auf unser Beispiel 1017, wie auf jede Dezimalzahl anzuwenden, so daß wir für die gesamte Zahl erhalten:

$$1017 = 512 + 256 + 128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 1 \\ = 1 \cdot 2^9 + 1 \cdot 2^8 + 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$$

und in Stellenwerten und Ziffern des Dualsystems ergibt das also:
1111111001.

Wie rechnet man nun mit solchen »riesigen« Zahlen?

Die Regeln ähneln den im Dezimalsystem verwendeten, doch haben sie ihre Besonderheiten.

Die Additionsregel lautet im Dualsystem folgendermaßen: »Da uns nur zwei Ziffern zur Verfügung stehen, läßt sich die Übertragungsregel so formulieren: Steht an einer Stelle eine 1 (größtmögliche Ziffer) und wird noch eine 1 dazu addiert, so erscheint an dieser Stelle eine Null, und in die nächsthöhere Stelle rückt eine Eins als Übertrag. Werden mehrere Einsen zu einer gegebenen Stelle addiert, so nimmt diese abwechselnd die Werte 0 und 1 an, und zwar erscheint 1, wenn vorher 0 stand, und 0, wenn vorher 1 stand. Bei jedem Erscheinen von Null geht eine Eins an die nächsthöhere Stelle weiter.«

Unter Verwendung dieser Regel wollen wir $1 + 1$ berechnen. Wir schreiben

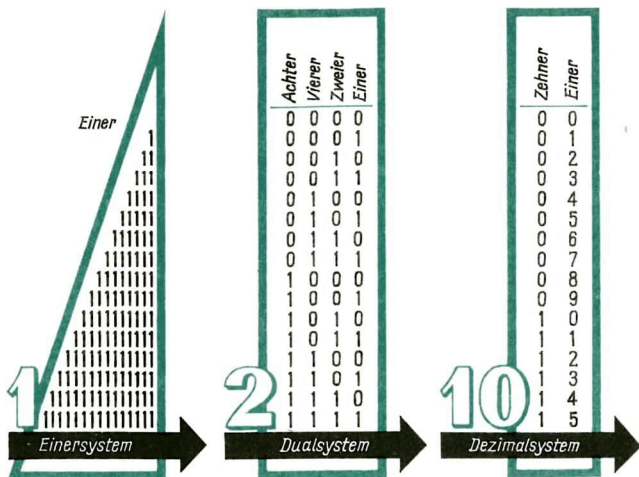
$$\begin{array}{r} 0001 \\ + 0001 \\ \hline 0010 \end{array}$$

Als nächste Aufgabe addieren wir $8 + 3$. In dualer Schreibweise erhalten wir

$$\begin{array}{r} 1000 \\ + 0011 \\ \hline 1011 \end{array}$$

Die arithmetischen Grundoperationen im Dualsystem, d. h. das duale Einspluseins und das duale Einmaleins, enthalten die folgenden Tabellen:

Addition	Multiplikation
$0 + 0 = 0$	$0 \cdot 0 = 0$
$0 + 1 = 1$	$0 \cdot 1 = 0$
$1 + 0 = 1$	$1 \cdot 0 = 0$
$1 + 1 = 10$	$1 \cdot 1 = 1$



Vergleich der Schreibweise von Zahlen im Einer-, Dual- und Dezimalsystem

Die Mathematiker behaupten, daß die Rechenoperationen im Dualsystem einfacher sind als im Dezimalsystem. Selbst das Wurzelziehen ist im Dualsystem einfacher. Wenn ihr etwas Übung im dualen Rechnen habt, dann werdet ihr ihnen sicher zustimmen. Man muß nur wissen, daß die Subtraktion hier durch die Addition ersetzt wird. Und das geschieht folgendermaßen: Um eine gegebene Zahl (Subtrahend) von einer anderen (Minuend) zu subtrahieren, wird zum Minuenden eine spezielle Zahl addiert, und zwar das Komplement (die Ergänzung) des Subtrahenden: Das ist diejenige Zahl, die den Subtrahenden zur nächsthöheren Zweierpotenz ergänzt, d. h. die Differenz zu ihr ausmacht; anschließend wird die am weitesten links stehende Eins gestrichen.

Wenn wir z. B. $10011 - 101$ (d. h. $19 - 5$) dual berechnen wollen, so vergleichen wir zunächst die Stellenzahl und fügen zum Subtrahenden noch zwei Nullen hinzu (vorsetzen), dann erhalten wir ihn als 00101.

Die Ergänzung von 00101 des Subtrahenden zur nächsthöheren

Zweierpotenz, d.h. zu 100000, ist 11011, (denn $00101 + 11011$ ergibt 100000). Die Addition dieser Zahl zum Minuenden ergibt

$$\begin{array}{r} 10011 \\ 11011 \\ \hline 101110 \end{array}$$

Streichen wir schließlich die am weitesten links stehende Eins, so erhalten wir 01110. In der Tat ist $19 - 5 = 14$.

Die Multiplikation von Dualzahlen erfolgt ähnlich wie im Dezimalsystem durch wiederholtes, jeweils um eine Stelle nach links versetztes Aufschreiben des Multiplikanden, entsprechend dem Wert 0 oder 1 der einzelnen Stellen des Multiplikators, die nacheinander von links nach rechts als Faktor auftreten, und durch anschließende Addition.

Als Beispiel berechnen wir

$$11011 \cdot 1101$$

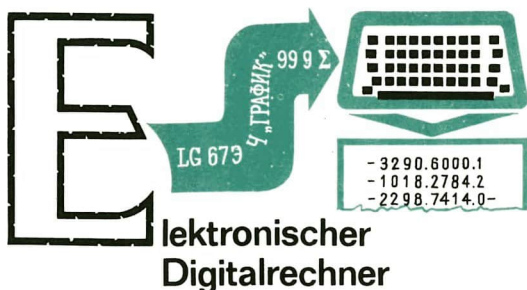
und erhalten

$$\begin{array}{r} 11011 \cdot 1101 \\ \hline 11011 \\ 11011 \\ 00000 \\ 11011 \\ \hline 10101111 \end{array}$$

(Das Teilprodukt $0 \cdot 11011 = 00000$ in der dritten Zeile kann auch einfach weggelassen werden, so daß das Teilprodukt in der nächsten Zeile gleich um zwei Stellen verschoben aufgeschrieben wird.)

Die Division wird ebenfalls auf eine Folge von Subtraktionen zurückgeführt, die ihrerseits durch Addition ersetzt werden. Wie wir sehen, werden somit die verschiedenen mathematischen Operationen allesamt auf eine einfache arithmetische Grundform, die Addition, reduziert.

Damit kennen wir die Grundzüge des Dualsystems, das uns nur deswegen so ungewohnt vorkommt, weil wir aus traditionellen Gründen immer und überall mit dem Dezimalsystem operieren. Das Dualsystem wird allerdings praktisch nur von Rechenmaschinen benutzt, und nur sie sind in ihm Virtuosen. Die Maschine rechnet mit den Ketten aus Nullen und Einsen mit ungeheurer Geschwindigkeit.



Rechenmaschine mit Programmsteuerung, deren wichtigste Baueinheiten elektronische Geräte sind. Sie ist in der Lage, pro Zeiteinheit eine bestimmte Anzahl von Operationen mit Größen auszuführen, die in Form von Ziffern gegeben sind.

Blitzschnelle Rechnungen

Die meisten Leser werden kaum ahnen, mit welcher Menge von Zahlen die Menschen auf der Erde heutzutage zu tun haben. Es ist sicher keine allzugroße Übertreibung, wenn wir feststellen, daß monatlich etwa soviel arithmetische Operationen durchgeführt werden, wie es Wassertropfen im Meer oder Sterne in unserem Milchstraßensystem gibt.

Noch vor hundert Jahren hatte nur eine verhältnismäßig kleine Gruppe von Menschen Berechnungen auszuführen. Heute sind dagegen sowohl Wissenschaftler als auch Konstrukteure und Ingenieure damit in großem Umfang beschäftigt, ganz zu schweigen von Rechnungsführern, Buchhaltern, Kassierern und Normern, deren ganzes Berufsleben darin besteht, Zahlen zu bewältigen. Deshalb werden fast alle Berechnungen auf den verschiedenartigsten Rechenmaschinen ausgeführt. Ohne Maschinen, also nur mit Bleistift und Papier, könnte heute selbst die halbe Menschheit

nicht den Rechenaufwand bewältigen, der anfallen würde, wenn die andere Hälfte der Menschheit in der materiellen Produktion tätig wäre.

Ohne Rechenmaschinen wäre ein normales Leben unserer heutigen Gesellschaft undenkbar, die Entwicklung von Wissenschaft und Technik wäre unmöglich. Aber auch mit Hilfe gewöhnlicher, nichtelektronischer Rechenmaschinen könnten die Menschen die Lösung der außergewöhnlich komplizierten Aufgaben, die das Leben heute stellt, schon nicht mehr bewältigen.

Und so haben schließlich die elektronischen Rechenautomaten, die vor mehr als einem Vierteljahrhundert in vielen Ländern auftauchten, zur Entwicklung der modernen Wissenschaft und Technik entscheidend beigetragen. Dank der Orientierung auf die Errungenschaften der Physik, der Radioelektronik und der Technologie elektronischer und magnetischer Bauelemente wurden elektronische Maschinen zu den bedeutendsten und zuverlässigsten Recheninstrumenten, die jemals vom Menschen geschaffen worden sind. Ein schneller Rechenautomat kann viele Millionen Operationen pro Sekunde ausführen.

Blitzschnelle Rechnungen — ja, elektronische Rechenautomaten bearbeiten wirklich blitzartig eine ganze Zahlenserie. Ein Rechenautomat führt in einer Sekunde mehr Operationen aus, als ein geübter Rechner mit einer Handrechenmaschine in acht Arbeitsstunden schaffen kann. Und in einigen Stunden erledigt diese Maschine so viele Rechnungen, wie sie selbst ein guter Mathematiker in seinem ganzen Leben nicht zu bewältigen vermag.

Unwahrscheinlich schnelles Rechnen, das ist nur eine von vielen bemerkenswerten Eigenschaften dieser wunderbaren Maschine, die radizieren (Wurzel ziehen) und integrieren kann und einfachste algebraische Aufgaben und komplizierteste Differentialgleichungen löst. Das alles liegt heute in den Möglichkeiten eines solchen elektronischen Automaten. Diese Maschinen dringen auch erfolgreich in Gebiete ein, die noch bis vor kurzem als ausschließliches Privileg des Menschen galten: Maschinen steuern Werkbänke, ganze Produktionshallen und Werke. Die maschinelle Steuerung des Produktionsprozesses erhöht die Arbeitsproduktivität wesentlich und macht dem Menschen die Arbeit leichter.

Und wie steht es mit der Steuerung der Betriebsökonomie? Hier hat ein Rechenautomat als »Ökonom« bei der Erarbeitung und bei der Analyse verschiedener ökonomischer Kennziffern vom Menschen viele

Funktionen übernommen. Auch hier liegt der Vorteil auf der Hand: Der operative Charakter der Regulierung verbessert sich, die Zahl der im Bereich der Leitung beschäftigten Menschen wird kleiner.

Damit ist aber das Gebiet der Anwendung von elektronischen Rechenautomaten nicht begrenzt. Es gibt Konstruktions- und Übersetzungsautomaten, Informationsautomaten, lehrende Automaten, Meteorologieautomaten usw.

Wie funktionieren diese elektronischen Meister ihres Fachs?

Eine elektronische Rechenmaschine zu erfinden ist womöglich leichter, als ihre Konstruktion zu popularisieren, sagte ein Schriftsteller, der die Arbeitsweise eines solchen Automaten beschreiben sollte, und damit hat er nicht so ganz unrecht. Deshalb werdet ihr, meine lieben Leser, auch in den anderen Kapiteln dieses Buches über den Aufbau und die Arbeitsweise einer elektronischen Rechenmaschine noch vieles zu lesen haben. Hier jedoch lernt ihr die grundlegenden Prinzipien ihrer Konstruktion und Funktionsweise kennen.

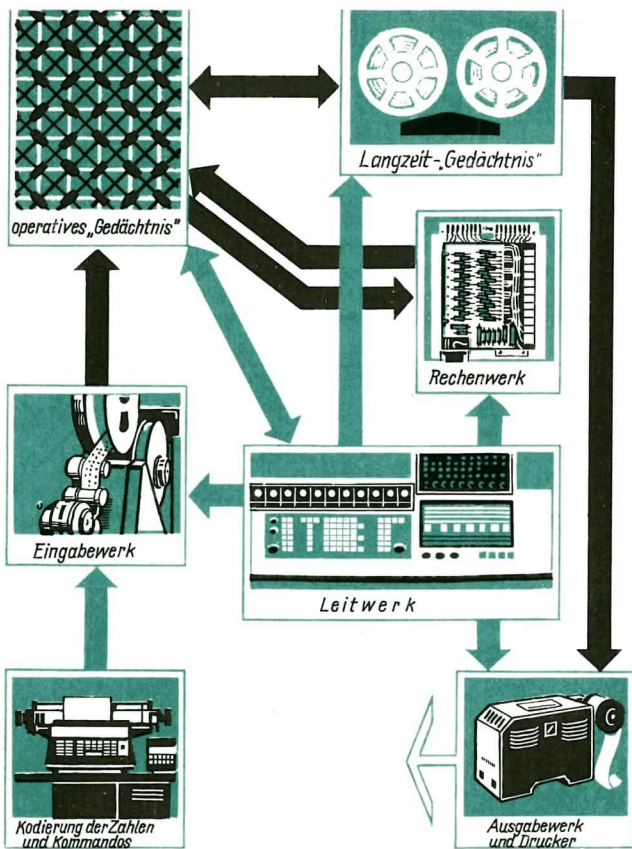
Der Weg einer Zahl durch die Maschine beginnt in der Kodierungseinrichtung. In ihr erhalten Zahlen und Kommandos eine andere, nämlich solche Gestalt, die für die Maschinenoperationen geeignet ist. Sie gelangen von dort aus in das Eingabewerk und anschließend in den operativen Speicher.

Verschiedene der Zahlen bleiben hier fixiert; bis zu einem bestimmten Zeitpunkt treten sie nicht in Aktion. Für andere ist der operative Speicher nur eine Art Verteilerpunkt.

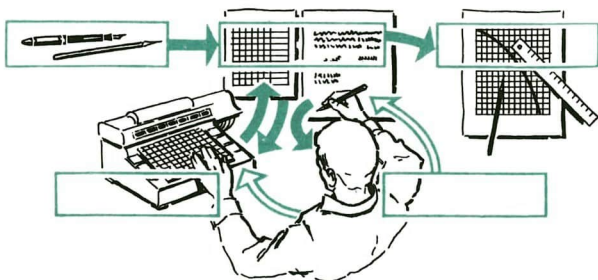
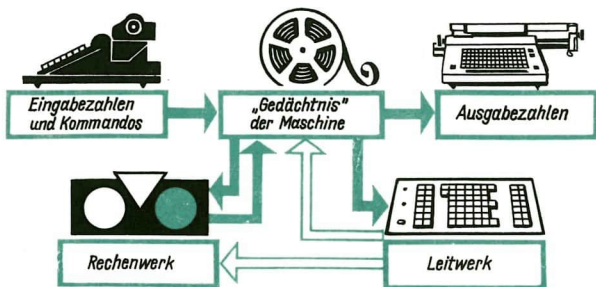
Ein Teil der Zahlen gelangt über ihn in den Langzeitspeicher, das ist eine Art »Notizbuch« des Automaten. Hier werden Hunderttausende und Millionen von Zahlen gespeichert. Und diese Aufzeichnungen bleiben stehen.

Ein anderer Teil der Zahlen ist zur kurzzeitigen Verarbeitung nötig: Diese gelangen sofort in das Rechenwerk, welches aus Baueinheiten für die Addition, Multiplikation, Division und Subtraktion besteht. Und eben diese führen nun alle arithmetischen Operationen durch Zurückführung auf die Addition aus.

Neben dem Dauer- oder Langzeitspeicher gibt es, wie schon erwähnt, in einem elektronischen Rechenautomaten auch ein operatives »Gedächtnis«. Es ist nötig, um sich solche Daten zu »merken«, die im



Blockschaltbild eines schnellen elektronischen Rechenautomaten. Schwarze Pfeile: Weg der Zahlen. Farbige Pfeile: Weg der Kommandos



Äußerlich sind die Prinzipien des Rechenprozesses beim Menschen und in der Maschine ähnlich. Die blauumrandeten Pfeile zeigen die Bewegungsrichtung der Steuerungssignale, die farbigen Pfeile den Datenfluß.

Verläufe der Arbeit sehr oft benötigt werden. Die Kapazität des operativen Speichers ist nicht groß, aber dafür erfolgt die Ausgabe der Zahl schnell, d. h., die Zugriffszeit ist gering.

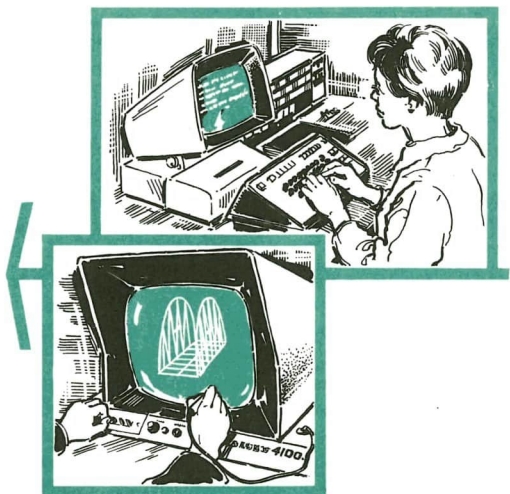
Das Endresultat der Berechnungen, das »Fertigprodukt« des Automaten, gelangt in das Ausgabewerk und wird auf Papierstreifen oder auf speziellen Listen ausgedruckt.

Bei den neuesten elektronischen Rechenautomaten werden für die wechselseitige Kommunikation zwischen Mensch und Maschine noch

modernere Mittel angewandt: keine elektromechanischen, die mit Lochstreifen oder -karten arbeiten, sondern Zeilendrucker, ähnlich den Schreibmaschinen.

Weiterhin kommen für die Eingabe und Ausgabe der elektronischen Rechenmaschinen auch elektronische (und nicht mehr elektromagnetische) Ausrüstungen zum Einsatz. Darunter gibt es einmal den elektronischen Schreibstift (»Lichtschreiber«) und zum anderen die alphanumerische und funktionelle Tastatur.

Diese elektronischen Ein- und Ausgabegeräte arbeiten tausendmal schneller als die Drucker. Mit ihrer Hilfe ist es möglich, die nötigen Veränderungen leicht und schnell einzugeben, insbesondere Daten zu korrigieren und Fehler zu berichtigen. Die neuen Geräte haben neben der Schnelligkeit noch weitere Vorzüge: Geräuschlosigkeit, Zuverlässigkeit,



Elektronische Geräte der Eingabe und Ausgabe von Informationen
— bequeme und zweckmäßige Mittel für den Dialog zwischen Mensch
und Maschine (z. B. unten: ein »Lichtschreiber«)

Universalität, sofortiger, unmittelbarer und vollständiger Zugang zu den Informationen, die sich in dem Automaten befinden. Es ist möglich, im echten, realen Zeitmaßstab zu arbeiten: Die Maschine muß nicht auf den Menschen warten und der Mensch nicht auf die Maschine. Die Anwendung des elektronischen Schreibstiftes erlaubt es dem Operator, die Maschineninformation in graphischer Form einzugeben, als Zeichnungen, Graphiken, Schemata, und außerdem den Rechenautomaten unmittelbar zu steuern. Dazu genügt es, daß sich auf dem Bildschirm einfach ein Wort oder irgendeine andere Darstellung abzeichnet.

Das Leitwerk der elektronischen Rechenmaschine lenkt diese gesamte Arbeit, es ist das führende Element dieses komplizierten elektronischen Apparates. Wenn wir für die einzelnen Teile des Automaten nach einem Vergleich suchen, so läßt sich das Leitwerk mit einem Dirigenten vergleichen: Das Leitwerk dirigiert die einzelnen Teile des Automaten wie ein Dirigent sein Orchester. Es bestimmt, welcher Teil wann eingesetzt wird, was er wie zu tun hat. Und wie der Dirigent, so braucht auch das Leitwerk seine »Partitur«, einen Befehlsplan für die Erarbeitung der Berechnungen. Eine solche Partitur für den Automaten ist das Rechenprogramm.

Wenn ihr den Pfeilen in der Zeichnung auf Seite 73 nachgeht, so könnt ihr den Weg der Zahlen und Kommandos in einem elektronischen Rechenautomaten in groben Zügen verfolgen. Die schwarzen Pfeile sind die Zahlenwege, die blauen die Kommandowege.

Stellen wir uns vor, daß wir aus großer Höhe auf Tausende von Eisenbahnzügen schauen, die auf stählernen Wegen in verschiedene Richtungen rasen, so ist das Bild etwa ähnlich. Die auf den ersten Blick ungeordnet erscheinende Bewegung der Züge verläuft nach einem einheitlichen Fahrplan, und jeder Zug hat ein vorgegebenes Ziel.

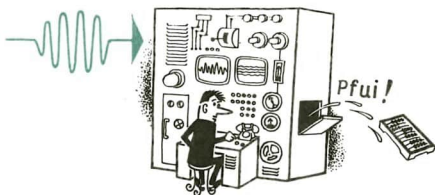
Ein Rechenautomat arbeitet in einzelnen Takten. Das Leitwerk hat von allen Baueinheiten des Automaten die größte Bedeutung, denn es gewährleistet die automatische Tätigkeit der Rechenaggregate.

Betrachtet noch einmal die Zeichnung: Die blauen Kommandopfeile laufen sowohl vom als auch zum Leitwerk. Ein Arbeitstakt des Automaten besteht im folgenden: Vom operativen Speicher wird ein Kommando zum Leitwerk geleitet. Hier wird es fixiert, und im nächsten Takt führt das Leitwerk dieses Kommando bereits aus. Ein spezieller Zähler zählt die ausgeführten Kommandos weiter. Dieser Prozeß wiederholt sich

laufend: Kommandowahl–Ausführung, neue Kommandowahl–Ausführung. Aus einer Vielzahl solcher Wiederholungen (1 – Kommandowahl aus dem Programm, 2 – Kommandoausführung), die zu einem automatischen Zyklus gehören, besteht nun die Abarbeitung eines vorgeschriebenen Programms durch den Automaten.

Alle wesentlichen Verbindungslinien im Automaten führen über den operativen Speicher. In diesen wird das aus einzelnen Kommandos bestehende Programm mittels Lochstreifen oder Lochkarten eingegeben.

Selbstverständlich verlaufen in einem schnellen elektronischen Rechenautomaten alle Prozesse viel komplizierter, als wir es hier dargestellt haben. Ihr habt aber eine gewisse Vorstellung über die Grundlagen und das Arbeitsprinzip eines solchen Automaten bekommen.





Wissenschaftliche Disziplin zum Studium der Arbeitsprozesse mit dem Ziel der Schaffung optimaler Bedingungen für die Arbeitstätigkeit.

Mensch und Arbeit

Zum Anfang zunächst einige Worte über die »ältere Schwester« der Ergonomie: die Ingenieurpsychologie, die Wissenschaft, die die psychologischen Besonderheiten der menschlichen Arbeitstätigkeit untersucht.

Während des zweiten Weltkrieges wurde in den Kämpfen eine äußerst vielfältige Technik eingesetzt: schnell bewegliche und hochempfindliche Maschinen wie Flugzeuge, Panzer und U-Boote.

Häufig stießen die Konstrukteure dieser oder jener Maschine auf scheinbar unerklärliche Erscheinungen: Die Kriegstechnik brachte nicht den gewünschten Effekt. Spezielle Untersuchungen, Experimente und Erprobungen ergaben: Die neue Technik entsprach nicht den funktionellen Möglichkeiten der Menschen, die sie bedienen sollten.

Und das war eigentlich der Ausgangspunkt dieser neuen Wissenschaft – der Ingenieurpsychologie.

Die Menschen haben sich so an das »maschinelle« Zeitalter gewöhnt, daß sie die »Maschinisierung« ihrer Umgebung gar nicht mehr wahrnehmen: diese ganze Armee von Automaten, Geräten, Aggregaten, Apparaten und Mechanismen. Ja, sie haben sich so daran gewöhnt, daß

sie auch kaum bemerkten, wie sich in letzter Zeit der Charakter der Arbeit gewandelt hat.

Die Entwicklung der Technik hat die Arbeit entscheidend beeinflußt. Es ist noch gar nicht so lange her, da machte der Mensch in der Produktion alles selbst. Heute lenkt er den Arbeitsprozeß mit Hilfe von Maschinen, die er beherrscht. Indem sich der Mensch von physischer Arbeit befreit, wird er immer mehr und mehr zu einem Kommandeur, der seine mechanischen Untergebenen befehligt.

Aber in den Wechselbeziehungen zwischen Mensch und Maschine gibt es eine Besonderheit. Es hat sich gezeigt, daß auch die Maschine gegenüber dem Menschen nicht »teilnahmslos« ist, daß auch sie ihre Forderungen an ihn stellt: Moderne Maschinen, insbesondere Automaten, zwingen den Menschen zu Aufmerksamkeit, gutem Gedächtnis, Einfallsreichtum und Reaktionsschnelligkeit.

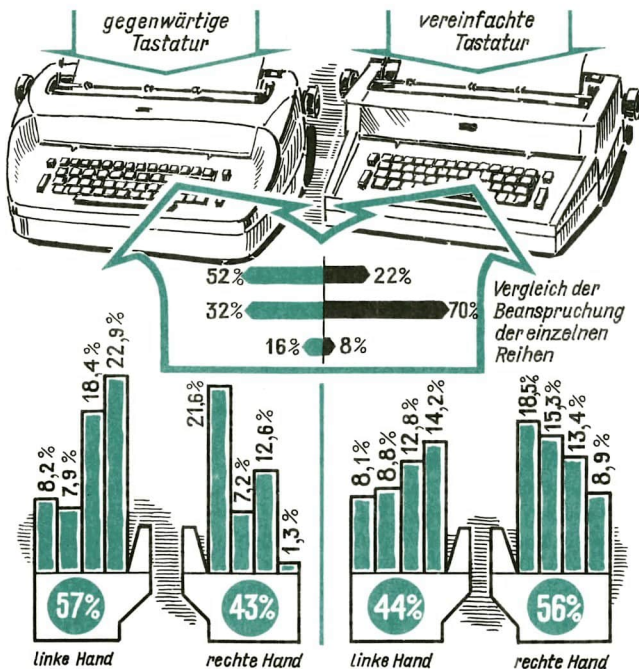
Diese »Forderungen« der Maschine sind so schwerwiegend, daß man an ihre »Befriedigung« nur streng wissenschaftlich herangehen kann. Hierbei nun hilft die Ingenieurpsychologie.

Mensch und Technik sind im Arbeitsprozeß mit tausend Fäden verbunden, sie sind zwei Glieder einer Kette. Deshalb braucht man Kenntnisse sowohl über das Glied »Technik« als auch über das Glied »Mensch«.

Als technische Disziplin untersucht die Ingenieurpsychologie Maschinen, Anlagen, Geräte und Mechanismen. Diese Untersuchungen sind jedoch speziell auf die Anforderungen gerichtet, die die mechanischen Hilfsmittel an ihren Schöpfer und Nutzer, den Menschen, stellen.

Als psychologische Disziplin studiert die Ingenieurpsychologie das Denken, seine Besonderheiten und die Fähigkeiten des Menschen. Das geschieht ebenfalls unter einem bestimmten Aspekt: Entsprechen die individuellen Eigenschaften eines bestimmten Menschen seinem Beruf? In ihrer nicht sehr langen Geschichte hatte die Ingenieurpsychologie einen Weg zurückzulegen, auf dem es Niederlagen und Siege gab. Zunächst legte sie die leichtere oder besser die ausgesprochen »technische« Etappe zurück. Die Wissenschaftler bearbeiteten technische Aufgaben, die mit der Formgebung der Geräte, dem Aufbau der Arbeitsplätze, der farblichen Gestaltung der Büroräume zusammenhängen.

Und dabei ergab sich, daß solche »Kleinigkeiten« wie die Lage der Schalter, der Kipphebel, die bequeme Form der Griffe und Kurbeln, ihre Farbe, ein angenehmer Wandanstrich, rationelle Aufstellung von Möbeln



Die Verteilung der Beanspruchung der Finger bei zwei Systemen der Anordnung der Tastatur: Die Schreibmaschine, die unter Berücksichtigung der Kraft und der Ausbildung beider Hände und jedes Fingers konstruiert wurde, gewährleistet eine gleichmäßigere Verteilung der Beanspruchung. Darunter wird im Diagramm durch die Länge der Pfeile ein Vergleich der Beanspruchung der Reihen der Tastatur angegeben.

in Büroräumen und Maschinen in den Werkhallen sich deutlich auf die Steigerung der Arbeitsproduktivität auswirkten.

Der ersten Etappe folgte eine zweite – wenn auch diese Unterscheidung sehr relativ ist. Dem Charakter ihrer Untersuchungen nach gehört diese mehr zur experimentellen Psychologie. Jetzt hatten die Wissen-

schaftler Aufgaben ganz anderer Art zu lösen: Sie beschäftigten sich mit den höheren psychischen Funktionen des Menschen, mit dem Gedächtnis, der Aufmerksamkeit, dem Denken und der Aufnahmefähigkeit.

Um eine Technik zu schaffen, die dem Kontakt, der Zusammenarbeit und der »Freundschaft« mit dem Menschen angepaßt ist, die mit seinen Fähigkeiten und Möglichkeiten vergleichbar ist, wurden Experimente verschiedener Art durchgeführt.

Zum Beispiel lösten die Ingenieurpsychologen im Ergebnis der Erforschung der optischen Wahrnehmung, ihrer Gesetzmäßigkeiten und Besonderheiten, das Problem, wie man das Informationsangebot durch Bildschirme, auf Schalttafeln und Anzeigetafeln für den Menschen am besten kodieren kann. In diesen Experimenten hat sich die verbreitete Annahme, daß der Mensch mehr sieht, als er reproduzieren kann, bestätigt.

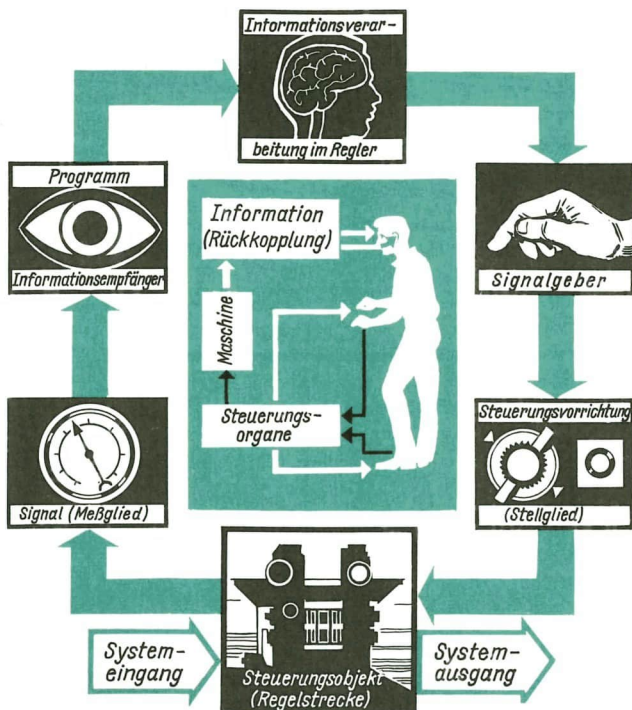
Aber was ist denn hieran so ungewöhnlich und überraschend? Lohnte sich denn, etwas zu beweisen, was auch ohne Beweis klar war?

Es lohnte sich, weil aus einer Annahme jetzt eine wissenschaftlich geprüfte und begründete Tatsache wurde. Mit der Tatsache, daß wir mehr sehen, als wir verarbeiten können, haben wir im praktischen Leben auf Schritt und Tritt zu tun, zum Beispiel wenn wir im Telefonbuch eine Rufnummer lesen und dann danach wählen. Damit haben die Ingenieure zu tun, wenn sie komplizierte optische Indikatoren (Anzeiger) entwickeln, die den Fähigkeiten des Menschen entsprechen.

Die Lösung solcher Probleme ist ein wichtiger Bestandteil der Konstruktion von Steuerungseinrichtungen komplizierter Aggregate oder Produktionsprozesse, wobei der Mensch als Steuerungs-Operator des Gesamtsystems »Mensch und Maschine« auftritt.

System »Mensch und Maschine«. Achtet einmal darauf, wie genau in diesem System die Funktionen aller Baugruppen voneinander abgegrenzt sind. Dem Menschen ist dabei die Rolle eines spezifischen »Untersystems« zugedacht. Seine Tätigkeit ist genau festgelegt: Er empfängt aufklärende Informationen von der Maschine, verarbeitet sie (zusammen mit denen seines Programms) zu einer Befehlsinformation und gibt diese der Maschine ein.

Auch die Maschine hat ihre nicht weniger genau umrissenen Funktionen. Nachdem sie vom Menschen einen Befehl erhalten hat, führt sie technologische Operationen aus.



Informationsfluß in einem System »Mensch und Maschine« als Regelkreis

Freilich kann die Funktionsverteilung zwischen Mensch und Maschine variieren und sehr verschieden sein. Das hängt ganz vom Verwendungszweck des Systems ab.

Im System der mechanisierten Produktion hat der Mensch alle Steuer- und Regelungsfunktionen auszuführen.

Bei dem höheren Typ der Produktion, der automatisierten, ist der größte Teil dieser Funktionen den Maschinen anvertraut. Der Mensch

plant lediglich die Operationen im Ganzen. Er trifft Entscheidungen, kontrolliert den allgemeinen Arbeitsablauf des Systems und greift bei Abweichungen vom Programm in die Steuerung ein.

Wie kann man erreichen, daß im System »Mensch und Maschine« die »maschinellen« und »menschlichen« Komponenten bestmöglich, d. h. optimal zusammenwirken?

Wie kann man erreichen, daß im System »Mensch und Maschine« die Maschine mit größtmöglichem Einsatz und der Mensch mit geringstmöglichem Aufwand wirken?

An die Lösung dieser Aufgabe kann man von zwei entgegengesetzten Positionen herangehen.

Erstens durch eine bestmögliche Anpassung der Technik an den Menschen. Zweitens, auch den Menschen möglichst vorteilhaft auf die Technik einstellen.

Die Ingenieurpsychologie hat jene Kettenglieder des Systems unter die Lupe genommen, durch die der Mensch unmittelbar mit der Maschine verbunden ist, in denen Information übertragen wird. Das heißt also, daß der Mensch selbst auf seine Weise ein solches Kettenglied ist: Mit seinen Sinnesorganen nimmt er Information auf, diese Information formt er um und gibt sie in die Maschine ein; er steuert sie, indem er die Befehle in einen für die Maschine geeigneten und verständlichen Kode der Operationen übersetzt.

Die Ingenieurpsychologie hat damit begonnen, die »Kapazität« des Menschen als »Informationskanal« sehr genau zu untersuchen.

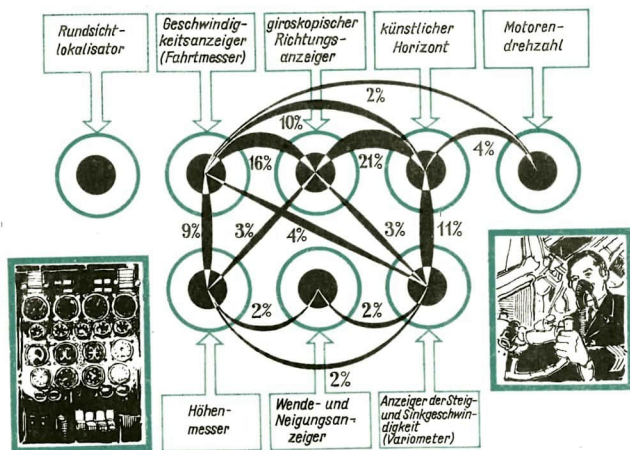
Dabei hat sich herausgestellt, daß die »Kapazität« der Informationskanäle des Menschen begrenzt ist. Es gibt eine Schwelle, die der Mensch nicht überschreiten kann. Er kann auf einen Laut nicht schneller als nach 120 bis 182 ms (Millisekunden) reagieren, auf Temperaturschwankungen nicht schneller als nach 150 bis 240 ms, auf Schmerz nach 400 bis 1000 ms und auf einen optischen Reiz nach 150 bis 225 ms. Das sind objektive Daten.

Als sich aber die Wissenschaftler an die Untersuchung der »subjektiven« Seite verschiedener Berufe machten, da zeigte sich, daß der menschliche Organismus noch über gewaltige Reserven verfügt, daß er, wenn man so sagen kann, bestrebt ist, höher zu springen, als er selbst groß ist.

Erfahrene Schleifer können einen Lichtspalt von $0,6 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$ ausmachen, ein Laie bemerkt erst das Fünfzehnfache davon. Textilfachleute können bis zu 100 Tönungen von Schwarz unterscheiden, Stahlgießer ein äußerst breites Spektrum von mehreren hundert Rottönungen. Kunstmaler können Unterschiede in den Proportionen zweier Gegenstände wahrnehmen, die geringer als 0,6% ihrer Größe sind.

Die Frage ist nur, gelingt ein solcher »Sprung« stets, kann man immer die Schwelle überschreiten? Nein, das geht nicht immer. Die Erhöhung der Anforderungen an den menschlichen Organismus erschöpft auch seine Reserven.

Beispielsweise im Flugwesen sind (nach einer amerikanischen Statistik) 80 Prozent der Havarien auf solches Versagen der Piloten und Fluglotsen zurückzuführen, das als Folge von Fehlern auftritt, die in der Nichtübereinstimmung der Anforderungen des Teilsystems »Technik« an den Faktor »Mensch« begründet sind.



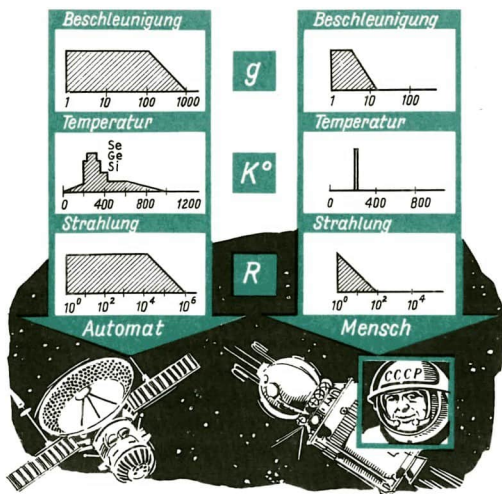
Hier ist die Häufigkeit der »Umschaltung« zwischen einzelnen Ablesungen einer Garnitur von Anzeigegeräten durch den Piloten dargestellt, die dieser beim Aufstieg durchzuführen hat. Es wird deutlich, daß sich die Geräte, die die wichtigsten und häufigsten Signale anzeigen, möglichst dicht nebeneinander befinden sollen.

■ Sowjetische Psychologen haben eine der wichtigsten und interessantesten Gesetzmäßigkeiten gefunden: Die Zeit zur Lösung einer Steuerungsaufgabe wird nicht durch die Quantität an Informationen bestimmt, die von den Geräten ausgehen, sondern durch die Anzahl der Schritte, die zu ihrer »Suche« nötig sind – durch die Anzahl der optischen Fixierungen der Zeigerstellungen. Folglich müssen bei der Konstruktion von Maschinen die Signalgeber, die Meßgeräte, so gruppiert werden, daß sie den Gesetzen des menschlichen Sehvorganges entsprechen. Bei gleichem Informationsumfang hat dann das Auge des Operators weniger Haltpunkte, und es sind weniger Suchschritte nötig. Die Fachleute sind daher der Meinung, daß eine rationelle Anordnung der Informationssignale auf dem Steuerpult nicht weniger bedeutend ist als die Komposition eines Gemäldes; denn hier wie dort erleichtert eine gute Komposition die bessere Aufnahme des Ganzen.

Die Ingenieurpsychologie hat noch ein weiteres sehr wichtiges Tätigkeitsfeld, nämlich das Erkennen und Entwickeln der beruflichen Fähigkeiten des Menschen und ihre Steigerung bis auf das Niveau der ständig wachsenden Anforderungen der Technik. Bei Untersuchungen mit diesem Ziel werden dem Menschen mehrere Aufgaben mit wachsendem Schwierigkeitsgrad vorgelegt. Danach bestimmen die Wissenschaftler mit Spezialgeräten das, was sie den Zuwachskoeffizienten, die »Fähigkeit zur Entwicklung seiner Fähigkeiten« nennen. Mit dieser Methode kann man feststellen, ob der betreffende Mensch in einem Spezialgebiet tätig sein kann, in einem Gebiet, das z. B. schnelle und sichere Reaktionen, Einfallsreichtum, Kaltblütigkeit und Orientierungsfähigkeit in ungewohnten Situationen erfordert.

Es gibt Menschen verschiedener Natur. Der eine schöpft seine Fähigkeiten voll aus, wenn es gilt, ungewöhnliche Probleme zu lösen, wenn es auf Schnelligkeit ankommt, wenn Gefahr droht. Andere kapitulieren in solchen Situationen: Sie bringen nichts fertig, wenn sie wissen, daß z. B. die Zeit knapp ist, starker Lärm sie stört oder irgend etwas ihre Aufmerksamkeit ablenkt. In solchen Situationen sind sie hilflos, schnell erschöpft und vergessen die einfachsten Operationen. Gibt man ihnen dagegen eine Beobachtung oder eine Arbeit, bei der über lange Strecken keine neue Information auftritt, eine stetige, gleichbleibende Tätigkeit, so sind sie unersetzbar.

Diese neue, interessante Richtung in der Ingenieurpsychologie ge-



Grenzen der Beschleunigung, Temperatur und Strahlung, welchen Automat und Mensch im Kosmos ausgesetzt werden können

stattet die Erarbeitung von Methoden, mit denen berufliche Fähigkeiten schneller und zielstrebig entwickelt werden können, denn ein großer Meister erreicht seine Fertigkeiten nicht am Ende seiner Laufbahn, sondern in der Blüte seiner Jahre, wenn Kraft und Gesundheit am besten sind.

So weiß man zum Beispiel, daß das technische Gehör so gut wie gar nicht angeboren ist und nur durch jahrelange Praxis erworben werden kann. Langjährige Kraftfahrer haben oftmals ein berufsbezogenes Gehör— sie nehmen sogar eine dreiprozentige Abweichung der Motordrehzahl von der Norm wahr.

Mitarbeiter des Laboratoriums für Ingenieurpsychologie der Akademie der Pädagogischen Wissenschaften der UdSSR haben die Besonderheiten des technischen Gehörs gewissenhaft untersucht und Methoden zur Beschleunigung der Ausbildung des Gehörs für die akustische Kontrolle der Arbeit von Motoren ausgearbeitet.

Im Telefonwerk Perm untersuchen Psychologen und Physiologen die Arbeiter, bevor diese in die einzelnen Fachgebiete und Funktionen eingewiesen werden. Man stellt die ihnen angeborenen Fähigkeiten und die Fähigkeit der Entwicklung dieser Fähigkeiten fest. Damit ist man in der Lage, die Menschen beruflich richtig einzusetzen, ihnen eine Arbeit zu vermitteln, die ihnen am besten liegt. So wird unnötiger Zeit- und Kraftaufwand zur Ausbildung in solchen Berufen, zu denen der betreffende nicht geeignet ist, vermieden.

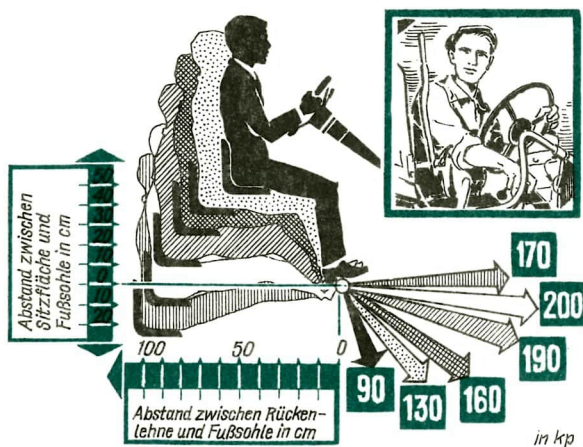
Vor der Ingenieurpsychologie stehen heute sehr wichtige Probleme. Einerseits beobachten wir den stürmischen Prozeß der Entlastung des Menschen, die Erleichterung seiner Kommandofunktionen an der Maschine. Andererseits bilden sich dank der Entwicklung der Bionik neue, engere Verbindungen zwischen Mensch und Maschine heraus. Auf der Tagesordnung steht heute die biotische Steuerung, d.h. die Steuerung von Maschinen mit Hilfe der menschlichen Rede. Man arbeitet bereits an der Konstruktion biotechnischer Systeme, die in der Lage sind, verschiedene vom menschlichen Organismus ausgehende Signale wahrzunehmen.

Ein neues Problem ist aufgetreten. Es hängt zusammen mit der breiten Anwendung elektronischer Rechenautomaten in verschiedenen menschlichen Tätigkeitsbereichen. Die Psyche des Menschen ist neuen Belastungen ausgesetzt, die durch die blitzschnelle Arbeit der elektronischen Rechenautomaten bedingt ist und durch den »geheimnisvollen« Charakter von deren Tätigkeit in solchen Bereichen, die früher nur dem Menschen zugänglich waren.

Wie bereits am Anfang dieses Kapitels bemerkt, gibt es in der Ingenieurpsychologie zwei Wege, die wir nun konkretisieren wollen. Der eine ist der »mechanozentrische«, oder einfach der von der Maschine ausgehende, wir nannten ihn »technische« Etappe, der andere ist der »anthropozentrische«, d.h. der vom Menschen ausgehende.

Zu Beginn ihrer Entwicklung hat die Ingenieurpsychologie der mechanozentrischen Richtung mehr Aufmerksamkeit geschenkt. Heute studiert man sowohl den Einfluß der Umwelt auf den Menschen als auch die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen komplizierten Systemen bis hin zu den klimatischen Bedingungen und biologischen Rhythmen der Natur.

Die Ingenieurpsychologie hat also ihr Untersuchungsfeld erweitert



Die Kraft, mit der ein Kraftfahrer auf die Bremse tritt, hängt von seiner Körperlage und folglich von der Konstruktion des Sitzes, von dessen Höhe, Neigung und Form ab.

und untersucht nun auch die Möglichkeiten des Menschen unter psychologischen, physiologischen und sozialpsychologischen Gesichtspunkten. Sie untersucht Optimierungsprobleme in der Wechselwirkung zwischen Mensch, Maschine und Arbeitsbedingungen im Produktionsprozeß.

Diese neue Wissenschaft heißt Ergonomie (nach dem griechischen Wörtern *ergos* – Arbeit und *nomos* – Gesetz). Sie läßt sich durch drei Begriffe charakterisieren: Mensch – Maschine – Umwelt.

Der Anwendungsbereich der Ergonomie ist also größer als der der Ingenieurpsychologie. Daher sind bei der Ausarbeitung der Ergonomieprobleme sowohl Psychologen als auch Fachärzte für Hygiene, Ingenieure für Gestaltung technischer Anlagen, Architekten und weitere Ingenieure, ja sogar Soziologen beteiligt.

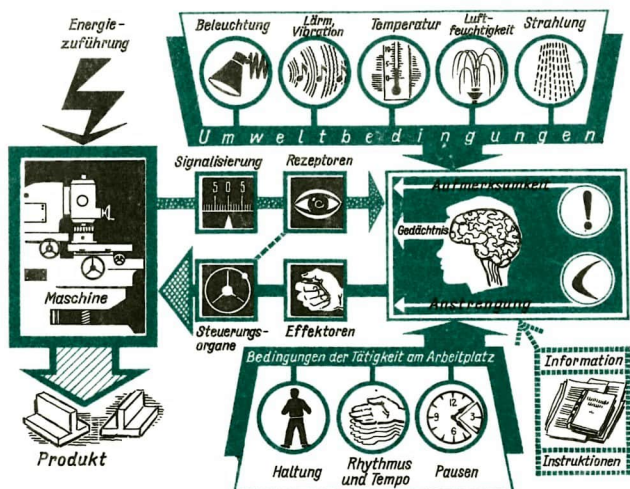
Die von der Ergonomie erzielten Ergebnisse helfen bei der Steigerung der Arbeitsproduktivität und bei der Verbesserung der Qualität, des Charakters der Arbeit. Sie sichern die notwendigen Bedingungen für

den arbeitenden Menschen, erhalten seine Kräfte, seine Gesundheit und seine Arbeitsfähigkeit. So wurden z.B. Mittel für einen effektiven Lärmschutz entwickelt, Mittel gegen Überreizung der Augen, gegen Hitze, große Feuchtigkeit sowie gegen Kälte und giftige Gase.

Die Ergonomie entwickelt, ausgehend von psychologischen, physiologischen, hygienischen und ästhetischen Anforderungen, Prinzipien für den bestmöglichen Aufbau von Steuerpulten.

Sie bestimmt die Bedingungen für die Projektierung solcher Arbeitsplätze, die die Arbeit des Menschen erleichtern und ihm helfen, seine beruflichen Fertigkeiten zu entwickeln.

Sie untersucht die »Durchlaßfähigkeit« der Analysatoren des Menschen«, d. h. des Sehens, Hörens und Fühlens, und in Abhängigkeit davon legt sie dann spezielle Parameter für die Steuerungsorgane fest, bestimmt die Reihenfolge der Arbeitsabläufe usw.



Das kybernetische System »Mensch-Maschine« und das System »Mensch-Arbeitsprozeß«

Zu all dem müssen noch das Studium der Ermüdbarkeit und der Ausdauer, die Analyse des menschlichen Verhaltens bei der Steuerung eines Objektes unter schwierigen Bedingungen, die Untersuchung emotionaler Faktoren der Arbeit und Experimente zur nervlichen und chemischen Regulierung des arbeitenden Organismus kommen.

Vor einigen Jahren haben sich die Fachleute für Ergonomie für die Arbeit des Operators an automatisierten Steuerungssystemen von Werkhallen und Kraftwerken interessiert. Es scheint doch so, als wäre die Arbeit des Operators unkompliziert: Die Automaten arbeiten zuverlässig nach einem vorgegebenen Regime, und die ganze Aufgabe besteht darin, ihr Funktionieren anhand von Meßgeräten zu überwachen. Der Operator muß aber in jedem Augenblick bereit sein, Sofortmaßnahmen zu ergreifen, falls ihm eine Störung des Regimes angezeigt wird. Dieser Zustand der ständigen Bereitschaft führt zur Erschöpfung des Operators und zur Überanstrengung seines Nervensystems.

Bei der Projektierung der Schaltpulte für die Rösterei des Chemiekombinates in Woskresensk hat man die Empfehlungen der Ergonomen berücksichtigt. Die Schaltzentrale wurde in zwei Bereiche eingeteilt, in eine Arbeits- und in eine Erholungszone. Solange das System normal arbeitet, befindet sich der Schaltungstechniker in der Zone für Entspannung. Wenn sich nun auf einem Schaltpult die Ausschläge der Meßgeräte ändern, so wird dieses Pult plötzlich hell beleuchtet. Gleichzeitig verringert sich die Beleuchtung in der Entspannungszone, und ein Lautsprecher schaltet sich ein. Sobald der Operateur dieses Warnsignal vernommen hat, eilt er in die Arbeitszone. Auf diese Weise konnten Schnelligkeit und Genauigkeit in der Arbeit des Operators wesentlich verbessert werden.

In einem anderen Betrieb hatte man durch fotografische Aufzeichnung festgestellt, daß die Schleifer an ihren Maschinen gezwungen waren, sich pro Schicht zweitausendmal zu bücken. Das lag daran, daß die Konstrukteure der Schleifmaschinen die Steuerungsorgane ziemlich tief angebracht hatten. Auf Anraten der Ergonomen wurde die Konstruktion der Schleifmaschinen verändert. Daraufhin ermüdeten die Arbeiter wesentlich weniger.



Wissenschaft von den Gesetzmäßigkeiten schöpferischer Tätigkeit.

Warum ist es so und nicht anders?

Die Bezeichnung Heuristik geht auf den bekannten Ausspruch des Archimedes: »Heureka!« – was etwa heißt: »Ich hab's gefunden« – zurück, als er nämlich in der Badewanne sitzend entdeckt haben soll, wie er den Goldgehalt der Krone des Königs überprüfen konnte.

Die Heuristik untersucht die schöpferische Tätigkeit. Wenn man von einem schöpferischen Menschen spricht, so denkt man dabei an jemand, der etwas Eigenes, von anderen Schöpfungen Verschiedenes schafft: Er komponiert eine Sinfonie, schreibt ein Poem, malt ein Bild, entwickelt wissenschaftliche Versuche oder macht eine Erfindung.

Diese Auffassung von Schöpfertum ist zwar allgemein üblich, aber doch sehr eng gefaßt. Denn auch der Arzt, der eine Behandlungsmethode für einen Kranken verschreibt, löst eine schöpferische Aufgabe. Der Untersuchungsrichter, der ein Verbrechen aufzudecken hat, handelt als schöpferische Persönlichkeit. Wenn ein Dreher darüber nachdenkt, wie er ein Schneidzeug verändern und verbessern kann, hat er sich damit eine schöpferische Aufgabe gestellt.

Unter schöpferischer Tätigkeit ist also eine besondere Art des Denkens zu verstehen, die den Menschen zwingt, auf neue Weise zu verfahren, früher unbekannte Gesetzmäßigkeiten der Umwelt aufzudecken. Neues zu erkennen, um es anwenden und realisieren zu können.

Die Heuristik ist bemüht, in die Geheimnisse des Schöpfertums einzudringen, die »technologischen Besonderheiten« des schöpferischen Prozesses zu erkennen und seine Gesetzmäßigkeiten zu begreifen – die Gesetzmäßigkeiten der heuristischen Tätigkeit.

Früher glaubte man, der Mensch sei schöpferisch durch Eingebung, durch Inspiration. Aber mit dem Erkennen der Gesetze des Denkens begannen die Menschen, die Grundlagen der schöpferischen Tätigkeit aufzudecken, begannen sie, die ersten Wege zu einer Erklärung dieser interessanten und schwierigen Erscheinung zu ebnen.

Anfangs waren die Wissenschaftler der Meinung, daß die Fähigkeit zum schöpferischen Handeln durch das Auftreten von Assoziationen beim Menschen, also durch unabsichtliche gedankliche Verknüpfungen von Vorstellungen, erklärt werden kann.

Aber Assoziationen können das Hervorbringen neuer, früher unbekannter Lösungen nicht erklären.

Man forschte nach vollständigeren und genaueren Erklärungen. So kam man darauf, daß dem schöpferischen Denkprozeß eine Methode des systematischen Probierens entspricht. Ihr Wesen besteht darin, daß man nach einer Serie von Versuchen unter Überwindung der Fehler zu einer Lösung gelangt.

Anfang dieses Jahrhunderts trat eine andere Richtung der Erklärung auf, die der »Gestaltpsychologie«. Nach dieser ist das Verhalten, die schöpferische Tätigkeit des Menschen dadurch bestimmt, in welchem logischen Zusammenhang der Elemente er eine Aufgabe, die er zu lösen hat, sieht.

Es gab auch Bestrebungen, die Natur des Schöpfertums in anderer Richtung zu erklären. Aber nicht nur jede Methode und Richtung für sich, auch alle miteinander ergaben kein klares Bild dieser wunderbaren Eigenschaft des Menschen.

Mit dem Aufkommen der Kybernetik wurde auch von kybernetischen Positionen aus an das Verständnis des Schöpferischen herangegangen.

Die Kybernetiker interessierten sich hauptsächlich dafür, was Denken ist, worin sich gerade die Spezifik der schöpferischen Arbeitsweise des Gehirns offenbart und wie das Gehirn neue Lösungen findet.

Die elektronischen Rechenautomaten gestatteten es, das Studium der heuristischen Tätigkeit mit Hilfe von Modellen zu beginnen. Unter ihnen nehmen die Modelle des Schachspiels einen besonderen Platz ein. Sie

sind für die Kybernetiker ein echter »Prüfstein« für die Modellierung des Denkens.

Das Schachspiel konfrontiert den Menschen mit einer Vielzahl sowohl von Regeln, Bedingungen als auch Möglichkeiten: Beim Spiel auf den 64 Feldern eines Schachbrettes gibt es insgesamt $2 \cdot 10^{16}$ verschiedene Kombinationen der Figuren, eine gigantische, schwer vorstellbare Zahl.

Die Kybernetiker betrachten das Schachspiel als Labyrinth, in dem jede Position einen Labyrinthplatz darstellt. Aber warum muß man aus dem Schachspiel ein Labyrinth machen?

In dem Buch »Drei Mann in einem Boot« von J. K. Jerome gerät ein gewisser Harry in das Labyrinth von Hampton Court. Harry überredet einen Verwandten: »Wir wollen nur einmal kurz hierhergehen, damit du sagen kannst, du bist einmal in einem Labyrinth gewesen. Wir spazieren etwa zehn Minuten darin auf und ab und werden uns dann zum Frühstück begeben.«

Aber o weh! Harry verlief sich nicht nur selbst, sondern verwirrte auch noch andere Leute, die er von dem hoffnungslosen Umherirren im Labyrinth erlösen wollte. Seiner Taktik folgend, lief Harry stets an der rechten Wandseite entlang. Die Zeit verging, und die von ihm angeführte Gesellschaft suchte den ganzen Vormittag vergeblich nach einem Ausgang aus dem Labyrinth. Selbst als sie ihre Taktik geändert hatten – sie wandten sich jetzt in beliebige Richtungen – führten alle Wege sie stets ins Zentrum. Das begann sich mit Regelmäßigkeit zu wiederholen, so daß einige einfach dort stehenblieben und warteten, bis die übrigen wieder heranspaziert kamen.

Der arme Harry wußte nicht, daß sein Herumirren von Labyrinthplatz zu Labyrinthplatz die Anwendung der schöpferischen Methode des systematischen Probierens war. Hat man alle möglichen Wege »Eingang – Ausgang« durchlaufen, so ist die Aufgabe gelöst. Aber alles hängt von der Zeit ab, die dem in ein Labyrinth Geratenen zur Verfügung steht. Natürlich werden mehr als jene zehn Minuten vergehen, die Harry dafür vorgesehen hatte.

Wiederholen wir noch einmal: Wenn alle Varianten »Eingang – Ausgang« durchprobiert sind, so ist die Aufgabe gelöst.

Nun versucht einmal, ein Labyrinth mit $2 \cdot 10^{16}$ Plätzen durchzuprobieren! Das ist nicht möglich. Daher sind »ausgewählte« Möglichkeiten des Schachspiels gerade für die Kybernetiker anziehend.

Der Mensch probiert ja auch nicht alle Varianten durch, um ein Ziel zu erreichen, sondern er wendet irgendwelche anderen Verfahren an, um den Lösungsweg abzukürzen.

Die Kybernetiker wollen ebenfalls das einfache Durchprobieren aller Varianten überwinden und sich den schöpferischen Methoden nähern, nach denen der Mensch eine Aufgabe löst. Das wollen sie mit Hilfe der heuristischen Programmierung erreichen. Diese Bezeichnung spiegelt schon das Wesen dieser Methode wider: Die Grundlage der Maschinenprogramme bildete das Studium des Prozesses der Aufgabenlösung – der heuristischen Tätigkeit – beim Menschen.

Die Autoren der Methode erklären, daß die Aufgabe, die sie sich gestellt haben, »durch den Wunsch bedingt ist, das Wesen schwieriger Transformationen zu begreifen, die eine effektive Lösung des Problems gewährleisten ... Wir wollten beispielsweise begreifen, wie ein Mathematiker den Beweis eines Satzes findet, obwohl er zunächst nicht weiß, wie die gestellte Aufgabe zu lösen ist und ob er sie überhaupt lösen kann.«

Die Hauptsache in einem heuristischen Programm ist die Strategie des Lösungssuchens. Während das Programm abgearbeitet wird, »urteilt« die Maschine gleichsam anhand der Ergebnisse der Zwischenproben über ihre Tätigkeit und sammelt zusätzlich für sie nötige Informationen.

Heuristische Programme sehen keine aussichtslosen Suchvarianten vor, sie suchen die Lösung nur in solchen Richtungen, in denen sie möglich ist.

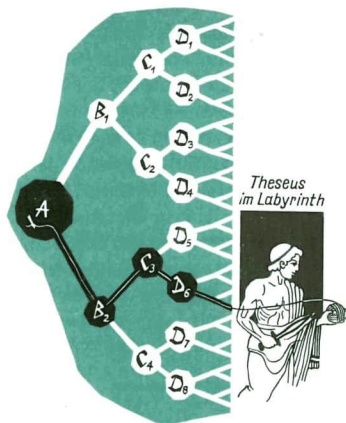
Plan eines Labyrinths.

Anhand der Abbildung eines Labyrinths auf Seite 95 wollen wir uns mit einem heuristischen Programm vertraut machen, das »universeller Problemlöser« genannt wird.

Würden wir die Aufgabe, aus einem Labyrinth herauszukommen, nach einem Programm des Durchprobierens lösen, so würde die Maschine alle Varianten untersuchen, auch die offenbar unsinnigen, die nur ein Umherirren von Platz zu Platz bedeuteten. Dagegen enthält ein heuristisches Programm auch Zufallselemente, d. h. das zufällige Betreten eines »günstigen« Platzes.

Um das Durchprobieren der verschiedenen Wege im Labyrinth abzukürzen, gibt es in dem Programm »universeller Problemlöser« einen Endplatz (als Ziel) einer Labyrinthaufgabe und den Abstand von diesem Endplatz.

Die Maschine beginnt mit der Abarbeitung des Programms und probiert die Varianten von dem Anfangsplatz A aus durch. Dieses Durchprobieren wird so lange fortgesetzt, bis das Programm zu einem Platz gelangt, der dem Endplatz näher ist. In unserem Plan ist B_2 ein solcher Platz. Danach geht das Probieren weiter bis zum nächsten Sprung, dann befinden wir uns noch näher an dem Endplatz, unser Programm ist jetzt in C_3 angelangt. Wieder geht das Probieren weiter bis zum nächsten Sprung. Das geschieht so lange, bis das Programm bei einem Probierschritt zum Endplatz D_6 gelangt. Der letzte Schritt führte zur Lösung der Aufgabe.



Plan eines Labyrinths und seiner Plätze

Habt ihr bemerkt, daß der »universelle Problemlöser« eine Aufgabe in mehrere leichtere Aufgaben zerlegt? Darin besteht seine Besonderheit.

Aber bei aller Unterschiedlichkeit heuristischer Programme von gewöhnlichen Durchprobierprogrammen spielt das Probieren auch im »universellen Problemlöser« weiterhin eine große Rolle. Die Maschine wird nur deshalb mit solchen und ähnlichen Aufgaben fertig, weil sie sehr schnell arbeitet, einige hunderttausendmal schneller als der Mensch. Dennoch kommt der so sehr viel langsamer arbeitende Mensch mit »schachähnlichen« Aufgaben gut zurecht.

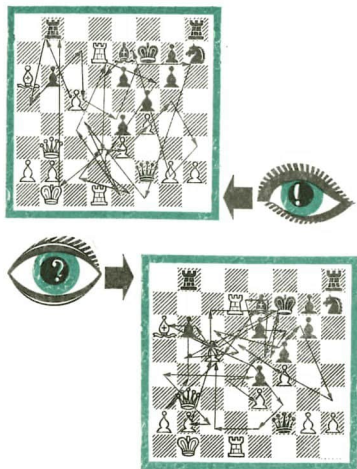
Diese Schlußfolgerung ließ einige Fachleute daran zweifeln, daß sich Schöpferum und heuristische Tätigkeit des Menschen auf heuristische Programmierung, welche die Zahl der möglichen Varianten einschränkt, zurückführen lassen. Es war wahrscheinlicher, anzunehmen, daß der Mensch beim Lösen von Aufgaben seine Strategie auf Grund eines ganz anderen Prozesses auswählte. Noch immer war also eine richtige Erklärung für den schöpferischen Denkprozeß des Menschen nicht gefunden.

Wenden wir uns erneut dem Schachspiel zu. Eine hier erreichte Stellung kann man als Anfangsplatz des Schachlabyrinths und die Mattstellung als Endplatz ansehen. Aber – in einem Schachspiel existieren ja viele Anfangs- und Endplätze. Von jedem Anfangsplatz führen so viele Wege zu jedem Endplatz, daß wir es wieder mit sehr vielen durchzuprobierenden Varianten zu tun haben.

Im Institut für Psychologie der Akademie der Pädagogischen Wissenschaften der UdSSR wurden interessante Schachexperimente durchgeführt. Sie erlauben die Annahme, daß die heuristische Tätigkeit des Menschen auf der Konstruktion eines Situationsmodells beruht. Wenn der Mensch z. B. eine schwierige Stellung im Schachspiel betrachtet, so wählt er von allen möglichen Figuren nur die beiden aus, zwischen denen er eine Verbindung herstellen will. Damit läßt er sofort viele Züge weg und ver-

kürzt damit das »Herumirren im Labyrinth«. Auf diese Weise entwickelt der Mensch über die Modellierung einzelner Aufgabenteile eine Verhaltensstrategie und gelangt zu einer neuen Situation – einem neuen einheitlichen Ganzen. Mit anderen Worten, es liegt alles daran, wie der Mensch das Gesamtproblem und seine Einzelteile sieht.

Damit der Automat wenigstens in angenäherter, ähnlicher Art und Weise wie der Mensch tätig werden kann, muß man ihm solche Regeln vorgeben, die den Regeln, nach denen der Mensch vorgeht, entsprechen. Die Regeln, die der Mensch



Oben ist die laufende Veränderung des Blickpunktes eines Schachspielers, der sich die gegebene Stellung einprägen will, zu sehen. Unten ist die Augenbewegung eines Schachspielers nachgezeichnet, der eine Aufgabe löst.

anwendet, sein Werkzeug sozusagen, ist — der gesunde Menschenverstand.

Auch in der Heuristik hat man eine Hypothese vom »gesunden Menschenverstand« aufgestellt. Diese Hypothese besteht gleichsam aus zwei Teilen: einem »sichtbaren« und einem »unsichtbaren«.

Der sichtbare, das ist die ganze Regel in ihrer gewöhnlichen Auffassung, mit der wir arbeiten und die auch Ausnahmen hat. Der unsichtbare Teil — das ist die Regel ohne Ausnahmen, sie wird Zweifachregel genannt und ist ein eigentümlicher Mechanismus des »gesunden Menschenverstandes« des Automaten.

Wie die Erfinder einer dieser Zweifachregeln erklären, wird durch die Einführung einer solchen Regel in das Automatenprogramm gewissermaßen zum Verhalten der Maschine diese oder jene der einfachsten menschlichen Qualitäten, ein bestimmter Charakterzug, hinzugefügt. So z. B. die »Zielstrebigkeit« (das Ziel auf dem kürzesten Weg erreichen) oder »haushälterisches Verhalten« (je weniger Truppen man hat, um so teurer ist jeder Soldat).

Die Zweifachregeln sagen dem Automaten »was nicht nötig ist«, sie unterbrechen die unnützen, schädlichen Aktionswege.

Freilich hat die heuristische Programmierung den Mechanismus der schöpferischen Tätigkeit des Menschen noch nicht vollständig aufgedeckt. Aber ein großer Schritt in dieser Richtung ist bereits getan: Die neuen Programmierungsprinzipien verhalfen der Idee zum Durchbruch, die Mechanismen der Gehirntätigkeit auf der Ebene der Informationsprozesse zu untersuchen. Dann wird es möglich sein, die Informationsverarbeitung mit den physiologischen Prozessen im Gehirn in Verbindung zu bringen. Diese Methode läßt sich mit der chemischen Analyse vergleichen, bei der komplizierte chemische Verbindungen in einfache Elemente zerlegt werden.

Heuristische Programmierung und Heuristik sind im ganzen gesehen von großer Bedeutung für die Entwicklung elektronischer Automaten.

Vor der heuristischen Programmierung konnten elektronische Rechenautomaten nur solche Aufgaben lösen, die streng mathematisch beschrieben, die in enge Rahmen gepreßt waren. Jetzt ergibt sich dagegen die Möglichkeit, auch solche Aufgaben zu lösen, die diese streng mathematische Beschreibung nicht aufweisen.

Moderne Rechenautomaten besitzen, vom Standpunkt der Heuristik

aus betrachtet, viele Unzulänglichkeiten: Sie sind geradlinig und nicht findig, nicht wendig, nicht klug und haben noch viele weitere solcher »und«.

Nun tasten die heuristischen Programme gerade den Weg ab, wie man die Automaten verständig und klug machen kann, damit sie sich in ungewohnten Situationen zurechtfinden.

Das war auch das eigentliche Ziel, das in den Jahren 1966–1967 mit dem »elektronischen« Schachwettkampf zwischen einem sowjetischen und einem amerikanischen Automaten verfolgt wurde.

In allen Partien wendeten die amerikanischen Mathematiker nur ein heuristisches Programm an. Die sowjetischen Wissenschaftler setzten zwei Programme ein: ein etwas vereinfachtes heuristisches Programm und ein ihrer Meinung nach stärkeres. Das zweite sowjetische Programm siegte.

Dieser Vergleichskampf trug von Anfang an keinen sportlichen Charakter, er war ein Vergleich wissenschaftlicher Ideen. Am Schachspiel probierte man die Prinzipien der heuristischen Programmierung aus, die äußerst wichtig sind für die Erweiterung der Anwendungsmöglichkeiten von Rechenmaschinen in allen Sphären.

Die heuristische Programmierung gestattet es, von der Automatisierung einzelner Teile der geistigen Arbeit zu ihrer komplexen Automatisierung überzugehen.

Fachleute sind der Ansicht, daß die Anwendung heuristischer Programme in der Medizin, im Transport, in der Eroberung des Kosmos, in Physiologie und Neurophysiologie, in der Steuerung der Produktion und in vielen anderen wichtigen Gebieten von Wissenschaft und Technik einen gewaltigen Effekt ergeben kann.



Das Schachspiel



Nachricht über die uns umgebende Welt und die in ihr ablaufenden Prozesse, die durch lebende Organismen, steuernde Maschinen oder andere informationsverarbeitende Systeme aufgenommen wird.

Weder Stoff noch Energie ...

Wenn ihr am Morgen erwacht, erhaltet ihr sofort eine Menge von Informationen: Ihr seht, hört, unterhaltet euch und bekommt dabei immer Information. Informationen übermitteln auch Bücher, Zeitschriften, Zeitungen, Reklame, Kino, Theater, Radio, Fernsehen.

Man kann mit gutem Grund sagen, daß Information ein System von Nachrichten über die uns umgebende Welt ist. Der gesamte Erkenntnisprozeß besteht aus Aufnahme, Verarbeitung, Registrierung und Weiterleitung von Nachrichten über diese Realität. Und in dem Maße, wie sich der Erkenntnisprozeß entwickelt, werden diese Nachrichten immer vollständiger.

»Information« ist ein lateinisches Wort. Im Laufe der Zeit hat es eine Evolution durchgemacht, bald seinen Umfang erweitert, bald ihn auf ein Minimum eingeschränkt. Seine ursprüngliche Bedeutung – »Darstellung«, »Begriff«, »Kontur« – hat sich später gewandelt in »Nachricht«, »Übergabe einer Mitteilung«. In den letzten Jahren haben die Wissen-

schaftler entschieden, daß die gewöhnliche (allgemein genutzte) Bedeutung des Wortes »Information« zu vieldeutig ist; und sie gaben ihm folgende Bedeutung: »Maß für die Bestimmtheit einer Mitteilung.« Die Information gehört zu den hauptsächlichen Gegenständen, die die Kybernetik erforscht. Es wurde eine ganze Wissenschaft geschaffen, die Informationstheorie, die sich mit den Problemen der Sammlung, Übertragung, Speicherung, Verarbeitung und Berechnung von Informationen beschäftigt.

Wie man aber auch den Begriff »Information« variiert, das wichtigste daran ist, daß Information das Nichtwissen über irgend etwas und damit Unbestimmtheit beseitigt.

Die Informationstheorie wurde durch die Anforderungen der Praxis ins Leben gerufen: Mit Beginn der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde die Bevölkerung der Erde überschwemmt mit Informationsströmen, die durch die Telefon- und Fernschreibleitungen sowie durch die Radio-kanäle zirkulierten. Und dann kamen auch noch die Steuerungsautomaten und elektronischen Rechenmaschinen als »Verarbeiter« von Informationen dazu!

Dabei zeigte sich der spezifische Charakter der Information. Es genügt nämlich nicht, daß Konstrukteure und Ingenieure bei der Projektierung und dem Einsatz der Nachrichtenmittel, Nachrichtennetze und -kanäle nur die stofflichen und energetischen Aufgaben lösen. Unter diesem Aspekt gesehen, kann ein solches System höchst vollkommen und wirtschaftlich sein, aber es ist ebenfalls wichtig, bei der Schaffung von Übertragungssystemen darauf zu achten, welche Quantität an Information durch ein solches Übertragungssystem fließen soll.

Es sollte euch nicht wundern, daß man die Information auch quantitativ messen und berechnen kann. Ja, bei solchen Berechnungen geht man in durchaus üblicher Weise vor: Es wird vom Sinn einer Information abstrahiert, so wie man bei den euch bekannten Rechenoperationen vom Konkreten absieht (wenn wir zum Beispiel konkret zwei Äpfel und drei Äpfel zusammenzählen sollen, so gehen wir zur Addition der abstrakten Ziffern 2 und 3 über).

Die Wissenschaftler erklärten, daß sie die »menschliche Wertung der Information völlig ignorieren«. Sie schreiben zum Beispiel einer Folge von 100 Buchstaben (auf Grund deren Anordnung und Wahrscheinlichkeit des Auftretens jedes einzelnen) einen bestimmten Informationsgehalt

zu, ohne sich dafür zu interessieren, ob diese Buchstabenfolge ein sinnvolles Wort ergibt und ob dessen Sinn seinerseits praktisch anwendbar ist. Das ist ein quantitatives, statistisches Herangehen. Dieser Zweig der Informationstheorie ist am weitesten entwickelt.

Die Wissenschaftler sagen: »Nach unserer Definition enthält eine Folge von 100 Buchstaben – sei es ein Satz aus der Zeitung, aus einem Schauspiel von Shakespeare oder aus einem Lehrsatz von Einstein – immer genau ein und dieselbe Informationsmenge.« (Denken wir an die Arithmetik: Dort ist auch $100 + 20 = 120$ unabhängig davon, ob es sich um Äpfel, Gebäude, Menschen, Wörter, Dampfer, Sterne usw. handelt.)

»Unsere Definition der Informationsmenge« – behaupten die Wissenschaftler mit Nachdruck – »ist im höchsten Grade nützlich und praktisch. Sie entspricht genau der Aufgabe eines Nachrichteningenieurs, der alle in einem aufgegebenen Telegramm enthaltene Information weiterzuleiten hat, und zwar unabhängig vom Wert dieser Information für den Empfänger.«

Ein Informationskanal hat keine »Seele«. Und das nicht nur deshalb, weil es sich um einen »toten Gegenstand«, ein »unbelebtes System« handelt, sondern weil es ihm gleichgültig ist, was er überträgt: Freude oder Leid, Nachricht über Geburt oder Tod. Für ein Übertragungssystem ist nur eines wichtig – die nötige Informationsmenge zu übertragen.

Wie läßt sich nun in einer konkreten Nachricht die Informationsmenge berechnen?

Das Abschätzen der Informationsmenge gründet sich auf die Gesetze der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Und das ist begreiflich, denn jede Nachricht hat nur dann einen Wert und enthält Information, wenn wir aus ihr von dem Ausgang eines Ereignisses erfahren, das zufälligen Charakter hat, mit Unbestimmtheit behaftet ist, wenn die Nachricht in einem gewissen Maß unerwartet ist. Denn eine Nachricht über bereits Bekanntes enthält für uns keinerlei Information.

Wenn euch jemand per Telefon anruft und sagt: »Heute ist Sonnabend und morgen Sonntag«, so überrascht euch nur die Unsinnigkeit dieser Nachricht, aber keineswegs die in ihr enthaltene Neuigkeit.

Anders steht es beispielsweise mit dem Ergebnis des Endkampfes um die Schachmeisterschaft einer Schule. Wer wird gewinnen: Iwanow oder Petrow? Oder endet die Partie unentschieden? Hier hat der Ausgang für den Beobachter Zufallscharakter.

Je mehr verschiedene zufällige Ausgänge ein uns interessierendes Ereignis hat, desto wertvoller wird die Nachricht über das tatsächliche Ergebnis sein, desto größer ist die Quantität der enthaltenen Information.

Die Information über ein Ereignis, das nur *zwei* gleichwahrscheinliche Ausgänge hat, enthält eine Informationseinheit, ein sogenanntes Bit. Ihr habt wahrscheinlich sofort erkannt, daß die Wahl der Informationseinheit nicht zufällig erfolgte. Diese Einheit hängt mit dem sehr weit verbreiteten Dualsystem bei Kodierung, Übertragung und Informationsverarbeitung zusammen.

Wir wollen versuchen, uns wenigstens in stark vereinfachter Form das allgemeine Prinzip der quantitativen Bewertung von Information vorzustellen, jenen Eckpfeiler der gesamten Informationstheorie.

Wir wissen bereits, daß die Informationsmenge von der Wahrscheinlichkeit dieses oder jenes Ausganges eines Ereignisses abhängt. Wenn ein Ereignis zwei, wie die Wissenschaftler sagen, gleichwahrscheinliche Ausgänge hat, so bedeutet das, daß jeder dieser Ausgänge die Wahrscheinlichkeit $\frac{1}{2}$ hat. Das ist die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten des Falles »Wappen« oder »Zahl« beim Werfen einer Münze. Hat ein Ereignis drei gleichwahrscheinliche Ausgänge, wie etwa in unserem Beispiel mit dem Schachspiel (Iwanow oder Petrow Sieger oder Unentschieden), so hat jeder die Wahrscheinlichkeit $\frac{1}{3}$. Merkt euch, die Summe der Wahrscheinlichkeiten aller möglichen Ausgänge ist immer gleich 1. Einer der möglichen Ausgänge tritt gewiß ein.

Ein Ereignis kann, wie ihr selbst versteht, auch ungleichwahrscheinliche Ausgänge haben. So ist bei einem Fußballspiel zwischen einer starken und einer schwachen Mannschaft die Wahrscheinlichkeit, daß die starke Mannschaft siegt, groß – etwa $\frac{4}{5}$. Die Wahrscheinlichkeit für ein Unentschieden ist weit geringer – etwa $\frac{3}{20}$. Und die Wahrscheinlichkeit für eine Niederlage ist ganz klein.

Daraus ergibt sich, daß die Informationsmenge ein Maß für die Verringerung der Unbestimmtheit einer Situation ist. Sie wird durch spezielle Formeln errechnet.

Über Nachrichtenkanäle werden verschiedene Informationsmengen übertragen, andererseits kann die durch einen Kanal fließende Informationsmenge die Kanalkapazität nicht übersteigen. Die Kanalkapazität ihrerseits wird definiert durch die Informationsmenge, die in einer Sekunde weitergeleitet werden kann.

Ihr werdet euch vielleicht daran erinnern, daß einer der Helden von Jules Verne, der Journalist Spillet, ein ganzes Kapitel aus der Bibel per Telefon übertrug, nur damit seine Konkurrenten die Telefonleitung nicht benutzen konnten. In diesem Fall war der Kanal vollständig ausgelastet, aber die Informationsmenge war gleich Null, denn der Teilnehmer empfing ihm bereits bekannte Mitteilungen. Der Kanal arbeitete also »leer«, er ließ eine genau bestimmte Impulsmenge durch, die mit nichts (an Information) belastet war.

Je mehr Information jeder einzelne Impuls aus einer bestimmten Zahl von Impulsen trägt, desto besser wird die Kanalkapazität ausgenutzt. Zu diesem Zweck ist es nötig, die Information rationell zu kodieren, eine ökonomische, knappe Sprache der Nachrichtenübertragung zu finden.

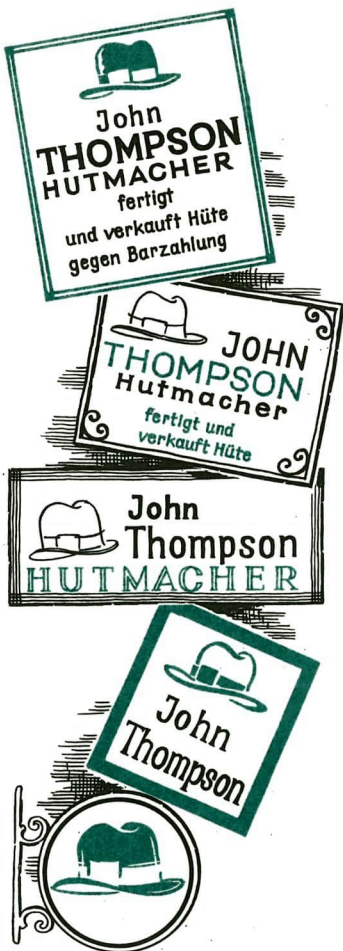
Dazu wird die Information gründlichst durchsiebt. Im Fernschreiber sind zum Beispiel häufig auftretende Buchstaben, Buchstabenkombinationen, ja selbst ganze Sätze, durch kürzere Folgen von Nullen und Einsen dargestellt, während seltener auftretende Zeichen durch längere Folgen dargestellt werden.

Nun kommt es aber in der Praxis recht häufig vor, daß ein nach aufmerksamstem »Durchsieben« entstandener Kode zwar bequem und wirtschaftlich ist, daß er aber wegen der leider immer in den Nachrichtenkanälen auftretenden Störungen (Tonverzerrung im Telefon, atmosphärische Störungen der Radiowellen, Verzerrung oder Verdunkelung der Fernsehübertragung, Übertragungsfehler im Fernschreiber) die Nachricht entstellen kann. Diese Störungen, oder, wie die Fachleute sagen, dieses Rauschen, zerstört die Information. Dadurch entstehen die unwahrscheinlichsten Dinge.

Magnetischer Sturm kann ein Telegramm derart entstellen, daß anstelle von »ich liebe dich« dort »ich lebe nicht« geschrieben steht.

Wenn die Nachricht »Iwanow hat die Partie gewonnen« mit 01 kodiert wird und durch Störungen daraus 00 – »Iwanow hat die Partie verloren« wird, so hat sich wegen eines Fehlers der gesamte Sinn der Nachricht verändert.

Zur Erhöhung der Zuverlässigkeit bei der Übertragung und Bearbeitung von Information müssen deshalb noch weitere Symbole, eine Art Schutz vor Entstellungen, eingeführt werden. Diese an sich überflüssigen Symbole sind innerhalb einer Nachricht keine wirklichen Informationsträger.



Redundanz von Informationen

Vom Standpunkt der Informationstheorie ist alles überflüssig (redundant lautet der Fachausdruck), was eine sprachliche Mitteilung farbig, geschmeidig, reich an Schattierungen, vielschichtig und mehrdeutig macht, ohne ihren Informationsgehalt zu erweitern.

Wie redundant ist von dieser Warte aus betrachtet der Brief von Onegin an Olga aus Puschkins »Eugen Onegin«! Wieviel informatorische Schnörkel für eine kurze und allen verständliche Nachricht: »Ich liebe Sie«! Und wie wenig redundant ist demgegenüber z. B. eine Brezel, die im vorrevolutionären Rußland gewöhnlich über dem Eingang zu einer Bäckerei hing: Die gesamte Information in einem Symbol.

In diesem Zusammenhang sei eine Anekdote erwähnt, die seinerzeit der berühmte amerikanische Wissenschaftler und Staatsmann Benjamin Franklin erzählte: Ein Hutmacher lud einst seine Freunde ein, um mit ihnen sein Aushängeschild zu besprechen. Man wollte auf das Aushängeschild einen Hut malen und dazu schreiben: »John Thompson, Hutmacher, fertigt und verkauft Hüte gegen Barzahlung«.

Einer der Freunde warf ein, daß die Worte »gegen Barzahlung« überflüssig sind – ein solcher Hinweis wird auf den Käufer beleidigend wirken.

Ein anderer fand auch das Wort »verkauft« überflüssig, da es selbstverständlich ist, daß ein Hutmacher Hüte verkauft und nicht verschenkt.

Einem dritten fiel auf, daß die Worte »Hutmacher« und »fertigt Hüte« eine überflüssige Tautologie darstellen, und so wurden die letzteren Worte gestrichen.

Der vierte schlug vor, das Wort »Hutmacher« fallenzulassen – der aufgemalte Hut drückt klar aus, wer John Thompson ist.

Schließlich versicherte der fünfte, daß es für den Käufer gleichgültig ist, ob der Hutmacher John Thompson oder anders heißt, und er schlug vor, ohne diesen Hinweis auszukommen. Auf diese Weise blieb am Ende nur ein Hut auf dem Aushängeschild übrig.

Wenn nun alle Menschen zur gegenseitigen Information nur sehr ökonomische Kode ohne Redundanz verwenden würden, so wären alle »Informationsformen« – Bücher, Vorträge, Artikel – äußerst kurz. Dafür würden sie aber an Esprit und Schönheit einbüßen.

Das System der Informationsübertragung.

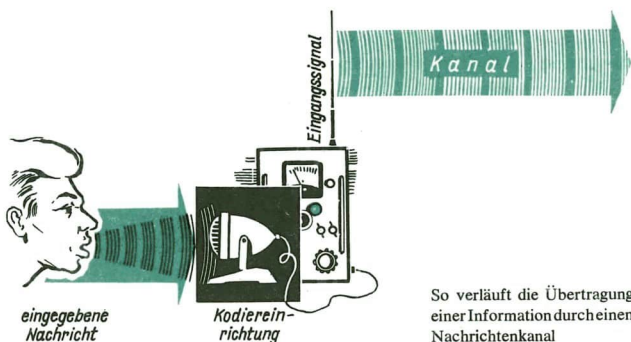
Jedes Ereignis, jede Erscheinung dient als Informationsquelle.

Jedes Ereignis, jede Erscheinung kann auf verschiedene Weise, durch verschiedene »Alphabete« ausgedrückt werden. Um die Information möglichst genau und ökonomisch mittels eines Nachrichtenkanals zu übertragen, muß sie entsprechend kodiert werden. Information kann ohne materiellen Träger, d. h. Signale, und damit ohne Energieübertragung nicht existieren. Eine kodierte Nachricht nimmt die Gestalt von Signalen an, das sind die stofflich-energetischen Informationsträger. Eben sie fließen durch den Kanal. Wenn die Signale an der Empfangsseite des Nachrichtenkanals ankommen, so müssen sie wieder eine allgemeinverständliche Form erhalten.

Zu diesem Zweck »durchlaufen« sie eine Dekodiereinrichtung, in der sie in eine Sprache transformiert werden, die für den Empfänger geeignet, verständlich ist.

Damit hat das Übertragungssystem seine Aufgabe erfüllt, das Ziel ist erreicht.

Wenn man von Nachrichtenkanälen oder Übertragungssystemen

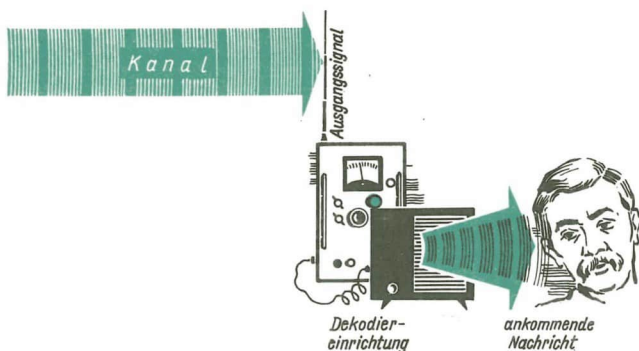


spricht, greift man als Beispiel meist auf den Telegrafen zurück. Der Begriff Nachrichtenkanal ist aber viel umfassender, er umfaßt eine Vielzahl beliebiger, sehr verschiedenartiger Systeme. Um uns das klarzumachen, genügt es, noch einige Beispiele anzuführen.

Bei einem Telefonat ist der Sprecher die Nachrichtenquelle. Die Kodiereinrichtung, die die Laute in elektrische Impulse verwandelt, ist das Mikrofon. Die Telefonleitung, durch welche die Information übertragen wird, ist der Nachrichtenkanal. Der Teil des Telefonhörers, den wir ans Ohr legen, dient als Dekodiereinrichtung. Hier werden die elektrischen Signale wieder in Laute rückverwandelt. Und schließlich gelangt die Information zur »Empfangeinrichtung«, dem menschlichen Ohr an diesem Ende der Leitung.

Ein Nachrichtenkanal ganz anderer Natur ist der lebende Nerv. Hier werden alle Nachrichten durch Nervenimpulse übertragen. Während sich aber in technischen Nachrichtenkanälen die Richtung der Informationsübertragung ändern kann, geht sie im Nervensystem immer in der gleichen Richtung vonstatten.

Ein weiteres Beispiel ist eine Rechenmaschine. Hier treten dieselben charakteristischen Merkmale auf. Die einzelnen Funktionseinheiten einer Rechenmaschine geben einander Information in Form von Signalen weiter. Eine Rechenmaschine ist ja eine automatische Anlage zur Informationsverarbeitung, so wie eine Drehmaschine eine Anlage zur Metall-



verarbeitung ist. Die Maschine selbst erzeugt keinerlei Information, sie kann nur das verarbeiten, was in sie eingegeben wird.

Wir wissen bereits, daß die quantitative Methode – eine Richtung der Informationstheorie – ihr am meisten verbreiteter und am weitesten ausgearbeiteter Bereich ist. Es gibt auch andere Methoden. Sie versuchen, im Gegensatz zur quantitativen Methode, den Sinn, den Wert und die Qualität einer Information zu erfassen.

Die Informationsmengen zweier Mitteilungen können gleich sein, während ihr Sinn verschieden ist. Zwei Wörter, zum Beispiel »Frieden« (Mir) und »Rom« (rim) enthalten dieselbe Informationsquantität und bestehen (im Russischen) aus den gleichen Buchstaben, aber beide Wörter haben einen verschiedenen Sinn.

Im Alltag beurteilen wir erhaltene Mitteilungen gewöhnlich unter dem Aspekt ihres Sinnes, ihrer Bedeutung: Neue Mitteilungen nehmen wir nicht als bestimmte Informationsmenge auf, sondern wir interessieren uns für den neuen Inhalt.

Ist eine Information in der Nachricht »Auf der Erde gibt es Pflanzenwuchs« enthalten? Nein, denn hier ist kein neuer Inhalt gegeben. Aber in dem Satz: »Auf dem Mars gibt es Pflanzenwuchs«, ist eine Information enthalten, denn sie ist Ausdruck der Wahrscheinlichkeit unseres Wissens, einer möglichen Erscheinung und behauptet nicht etwas jedem Bekanntes.



Die beiden Wörter »mir« (Frieden) und »rim« (Rom) enthalten dieselbe statistische Informationsmenge, sind aber ihrem Sinn nach verschieden.

Aber kann man denn den Sinn einer Information berechnen, ihn aus einer Nachricht bestimmen? Ja, das zu tun versucht die semantische Informationstheorie.

Und nun noch ein Beispiel und noch eine Richtung dieser Theorie, die pragmatische.

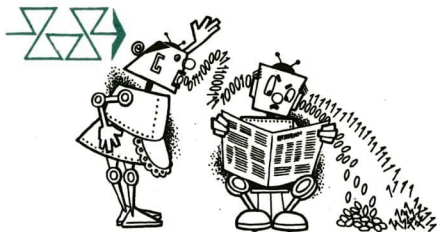
Passagiere fahren in einem Autobus. Der Fahrer ruft eine Haltestelle aus. Einige steigen aus, die anderen beachten die Worte des Fahrers, die ihnen die Information übermitteln, gar nicht. Warum? Weil – so antworten die Fachleute – die Information hier unterschiedlichen

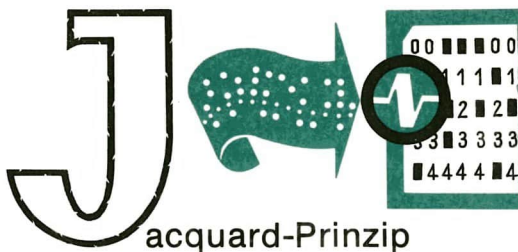
Wert für die Empfänger, also die Fahrgäste, hat. Es steigen diejenigen aus, für welche die Information einen Wert, eine spezielle Funktion hat. Den Wert (bzw. den Zweck und die praktische Funktion) einer Information kann man also definieren als Eigenschaft derselben, auf das Verhalten ihres Empfängers in bestimmter Weise verändernd einzuwirken.

Gegenwärtig werden in der Informationstheorie viele Systeme, Methoden, Verfahrensweisen ausgearbeitet. Die Wissenschaftler sind jedoch der Ansicht, daß zu den modernen Richtungen in der Informationstheorie in Zukunft noch weitere Methoden hinzukommen, neue Ideen entstehen werden. Als Beweis für die Richtigkeit ihrer Annahmen führen sie den »lebendigen« sich entwickelnden Charakter der Wissenschaft an, weisen sie darauf hin, daß die Informationstheorie überraschend schnell und dauerhaft in die unterschiedlichsten Gebiete des menschlichen Wissens eingedrungen ist. Sie ist bereits in Physik, Chemie, Biologie, Medizin, Philosophie, Linguistik, Pädagogik, Ökonomie und Logik, in technischen Wissenschaften und in der Ästhetik zu finden.

Nach den Aussagen der Fachleute selbst hat die Wissenschaft von der Information, die ursprünglich aus den Erfordernissen der Nachrichtentheorie und der Kybernetik entstand, deren Rahmen überschritten.

Und nun haben wir das Recht, von der Information als von einem neuen wissenschaftlichen Begriff zu sprechen, der den Forschern eine neue generelle Methode – die informationstheoretische – in die Hand gibt, mit deren Hilfe sie in vielen Wissenschaften über die belebte wie über die unbelebte Natur, über Gesellschaft und Erkenntnis weiter vordringen können. Das gestattet nicht nur die Betrachtung aller Probleme von einer neuen Seite, sondern hilft auch, bisher Unerkanntes zu erkennen.





Jacquard-Prinzip oder Lochungsprinzip ist Informationsaufzeichnung durch Stanzen von Löchern (Perforation) in gewisse Informationsträger: Lochkarten, Lochstreifen.

»Sprechende« Löcher

Neben vielen anderen Geräten hatte für die Entwicklung der Automatisierung der Rechentechnik besonders eine Einrichtung große Bedeutung, die scheinbar überhaupt nichts mit Rechenmaschinen zu tun hat.

In einer für Europa schrecklichen Zeit, als Napoleon ein Land nach dem anderen eroberte und er für seine vielen Soldaten Uniformen, also viel Stoff, brauchte, versuchte der Franzose Joseph-Marie Jacquard, Sohn eines Webers aus Lyon, die Arbeit der Webstühle zu automatisieren. Er arbeitete hartnäckig daran und erreichte sein Ziel – er konstruierte einen Webstuhl, mit dem man kompliziert gemusterte Stoffe herstellen konnte. Bald danach waren allein in Frankreich über 10 000 solcher Webstühle im Einsatz.

Jacquard fand ein Verfahren, mit dem man den vielfältigen Bewegungsablauf ganz unterschiedlicher Mechanismen steuernd beeinflussen konnte. Der Erfinder verwendete einen Satz Pappkarten, auf denen in bestimmter Weise Lochungen angeordnet waren.

Die Löcher stellten verschlüsselte Zeichen zur Festlegung der Aueinanderfolge der einzelnen Arbeitsschritte der Maschine dar. Wenn Ta-

ster auf ein Loch stießen, so senkten sie sich und veränderten dadurch, mit Hilfe entsprechender Mechanismen, die gegenseitige Lage der Fäden im Webstuhl.

Das Perforationssteuerungsprinzip – mit Hilfe von Löchern in Pappkarten oder Papierstreifen – bewährte sich glänzend und fand schnell eine weite Verbreitung in allen den Maschinen, bei denen es auf eine genaue Abstimmung komplizierter mechanischer Vorgänge ankam.

Man benutzte das neue Prinzip in Musikapparaten, in Telegrafen und in Setzmaschinen. Man baute ein mechanisches Piano (Pianola), in dem ein perforiertes Papierband die kleinen Hämmer steuerte, von denen die Saiten des Instruments angeschlagen wurden.

Wenn Webstühle, mechanische Apparate und Musikinstrumente mit Hilfe von Lochungen gesteuert werden können, warum sollen sich dann Lochkarten nicht auch für die Zahleneingabe und für die Steuerung von Rechenmaschinen verwenden lassen?

Einer der Pioniere beim Bau automatischer Rechenmaschinen unter Benutzung von Lochkarten war der Engländer Charles Babbage, Dekan und Inhaber des Lehrstuhls für Mathematik an der Universität Cambridge, den früher einmal auch Newton eingenommen hatte.

Im Jahre 1812 sah Babbage Logarithmentafeln durch. Er wußte, daß sie voller Fehler waren, und machte sich Gedanken darüber, wie man diese bei einer Neuauflage vermeiden konnte.

Er hatte erfahren, daß französische Wissenschaftler bei der Aufstellung anderer Tabellen eine neue Methode angewendet hatten. Sie zerlegten eine schwierige Aufgabe in eine Reihe einfacher Operationen, die sich schließlich auf Addition und Subtraktion zurückführen ließen. Diese Operationen wurden von Leuten ausgeführt, die von der Mathematik nicht mehr verstanden als die arithmetischen Grundoperationen.

Babbage entschloß sich nun, die Rechenmaschinen so zu verbessern, daß sie in der Lage waren, diese einfachen Operationen auszuführen.

Im Jahre 1822 konstruierte er ein kleines Arbeitsmodell. Die Royal Society nahm Babbages Idee begeistert auf. Schon ein Jahr später erhielt er Geld, konnte sich eine Werkstatt einrichten und Pläne entwerfen. Aber die Arbeit ging langsam voran. Da der Erfinder die Konstruktion ständig verbesserte, kamen immer neue Schwierigkeiten hinzu.

So vergingen mehr als 10 Jahre, und das Interesse an Babbages Plan



Verschiedene Vorrichtungen zur Programmsteuerung

erlosch. Die Arbeiten wurden zunächst unterbrochen und im Jahre 1842 endgültig eingestellt.

Aber Babbage gab nicht auf. Er arbeitete ein weiteres Projekt aus, noch kühner als das vorhergehende. Das war die »analytische Maschine«, der Prototyp für die modernen schnellen Rechenautomaten. Sie bestand im Projekt aus drei Teilen. Der erste – Babbage nannte ihn »Speicher« – registrierte und speicherte Zahlen mit Hilfe eines Satzes von Zählwerken. Der zweite Teil – die »Fabrik« – sollte die Rechenoperationen mit den aus dem »Speicher« genommenen Zahlen ausführen. Dem dritten Teil gab der Erfinder keinen Namen; man könnte ihn aber als »Kontor« bezeichnen, denn von ihm wurde die Reihenfolge der Operationen reguliert, die Auswahl der Zahlen getroffen und die Rechenergebnisse an den dafür vorgesehenen Ort weitergeleitet.

Nach Babbages Schätzungen konnte seine Maschine pro Minute 60 Additionen, eine Multiplikation zweier fünfzigstelliger Zahlen oder eine Division einer hundertstelligen Zahl durch eine fünfzigstellige Zahl ausführen. Er plante eine Speicherkapazität von tausend fünfzigstelligen Zahlen.

Der Rechenprozeß sollte mit Hilfe von Lochkarten gesteuert werden. Wenn ein Taster an ein Loch geriet, so setzte er einen Mechanismus in Bewegung, der Zahlen vom »Speicher« in die »Fabrik« übertrug und umgekehrt.

Einige Teile der Maschine wurden wahrscheinlich zu Lebzeiten

Babbages hergestellt. Nach seinem Tode baute sein Sohn einen Teil der »Fabrik«. Jetzt befindet sich die Maschine im Science Museum in London.

Babbage hatte eine klare Vorstellung von den Anwendungsmöglichkeiten seiner Maschine. Er dachte daran, mathematische und ozeanologische Tabellen zu berechnen, die Logarithmentafeln zu berichtigen, Ergebnisse astronomischer Beobachtungen zu überprüfen, die mittlere Lebenserwartung eines Menschen in England zu ermitteln und viele andere komplizierte Aufgaben zu lösen.

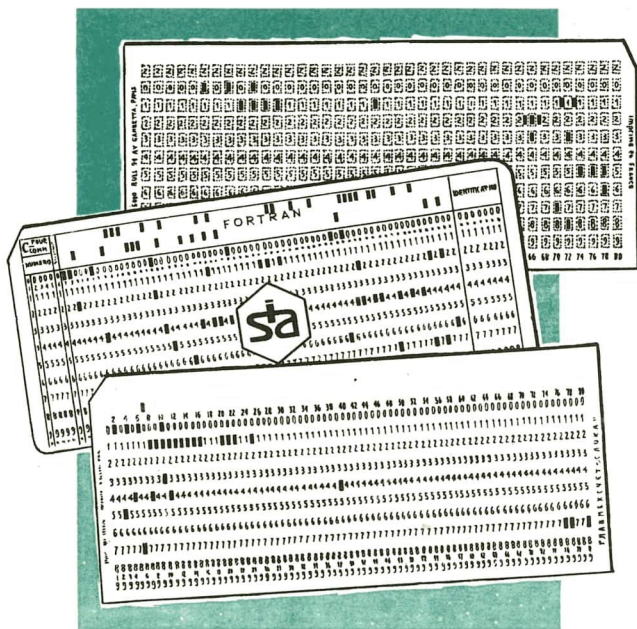
Persönlichkeiten seiner Zeit haben sich begeistert über die Erfindung Babbages geäußert. Der Schriftsteller Edgar Allan Poe schrieb: »Was sollen wir von einer Maschine aus Holz und Metall halten, die nicht nur astronomische und Navigationstabellen von beliebiger vorgegebener Länge berechnen kann, sondern dank ihrer Fähigkeit, ihre möglichen Fehler selbst zu korrigieren, auch in der Lage ist, die Genauigkeit ihrer Schritte mathematisch abzusichern? Was sollen wir von einer Maschine halten, die nicht nur alles das tut, sondern auch ihre schwierigen Ergebnisse nach deren Erhalt ohne die geringste Teilnahme des menschlichen Intellektes ausdrücken kann?«

Die Erfindung Babbages war dem Entwicklungsstand der Technik der damaligen Zeit voraus. Seine Idee ließ sich nicht realisieren. Dennoch sind die Verdienste des Gelehrten auf dem Gebiet der Rechentechnik sehr groß. Er erarbeitete die Prinzipien für die Organisation und den Bau großer automatischer Rechenmaschinen und wendete als erster Lochkarten zur Dateneingabe in eine Rechenmaschine an.

Im Jahre 1890 wurde in den USA eine Volkszählung durchgeführt. Damit die Ergebnisse der Volkszählung schnell und billig ausgewertet werden konnten, baute der Ingenieur Hollerith eine spezielle Summationsmaschine und bezeichnete sie als Tabelliermaschine (Tabulator).

Der Erfinder benutzte ebenfalls Lochkarten zur Zahleneingabe, jedoch auf einer neuen Grundlage. Er wandte die Fortschritte der Schwachstromtechnik an und schuf eine Maschine, die nach dem elektromechanischen Prinzip arbeitete. Ihre Zählwerke arbeiteten mechanisch, die Steuerung aber wurde durch elektrische Impulse erreicht.

In der Tabelliermaschine Holleriths wurden die Lochkarten durch kleine Bürsten mit dünnen elastischen Drähten abgetastet. Wenn die Bürsten auf die Löcher einer Lochkarte trafen, wurden elektrische Stromkreise geschlossen und so elektrische Impulse erzeugt. Diese wurden sowohl zur



Typen von Lochkarten

Eingabe der Zahlen als auch zur Steuerung der Operationen der Maschine benutzt.

Die erste Tabelliermaschine war sehr primitiv, aber die Aufgabe, mit Hilfe von Lochkarten und elektrischem Strom automatisch zu rechnen, war nicht nur im Prinzip, sondern auch praktisch gelöst. Damit wurde eine neue Seite in der Entwicklung der Rechentechnik aufgeschlagen.

Moderne Lochkartenrechenmaschinen. Ein kompletter Satz solcher Maschinen besteht aus zwei Gruppen: der zur Vorbereitung und vorläufigen Verarbeitung der Lochkarten und der zur eigentlichen Rechenar-

beit. Die wichtigere der beiden Maschinen, wenn man sie so nennen darf, ist die Tabelliermaschine. Sie kann nicht nur selbständig die Rechnung durchführen – addieren, multiplizieren, dividieren und diese Operationen automatisch kombinieren –, sondern auch gewisse logische Operationen ausführen. Und das alles macht die Maschine mit Hilfe von Lochkarten.

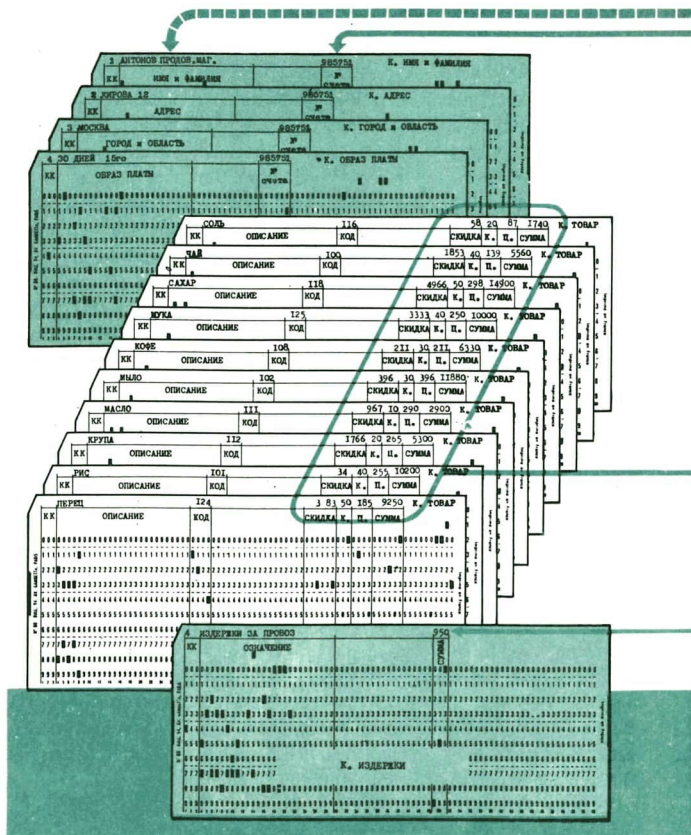
In einer Druckerei wird jede Karte mit einem Ziffernnetz in Form von 80 Spalten bedruckt. In jeder Spalte sind von oben nach unten die Ziffern von 0 bis 9 untergebracht. Das sind die Positionen, die Stellen, an denen Löcher eingestanzt werden können. Außerdem findet sich auf der Karte unten auch die Spaltennumerierung.

Um solch eine Pappkarte zum »Sprechen« zu bringen, müssen in die Positionen der Spalten Löcher eingestanzt werden. Das geschieht auf einer Spezialmaschine, dem Perforator. Die Pappkarten werden, wie man auch sagt, perforiert. Danach gelangen die Karten in eine andere Maschine – den Kontrollapparat, der jede Karte daraufhin überprüft, ob sie richtig gelocht ist.

Wir nehmen einmal an, daß die Löcher der Lochkarte in unserem Beispiel Angaben über die Arbeitsleistungen eines Drehers bedeuten. In einem Großbetrieb sammeln sich pro Monat Zehntausende von solchen Karten an. Wenn für die Arbeiter der Lohn zu berechnen ist, wenn Angaben über die Planerfüllung oder über die Produktionskosten zu machen sind, dann tritt eine elektrische Sortiermaschine in Aktion. Sie sortiert pro Stunde etwa 25 000 Karten und mehr nach bestimmten Kennzeichen in einzelne Stöße ein. Danach gelangen sie in die Tabelliermaschine.

Zuerst wird die Lochschrift gelesen. Das führt ein Spezialblock aus 80 Bürsten – entsprechend der Spaltenzahl auf der Lochkarte – aus. Die Bürsten sind durch Leitungen mit den Zähl- und Schreibwerken verbunden. Eine Lochkarte geht zehnerschrittweise vorwärts. Zuerst tasten die Bürsten alle neunten, dann alle achten Positionen ab usw.

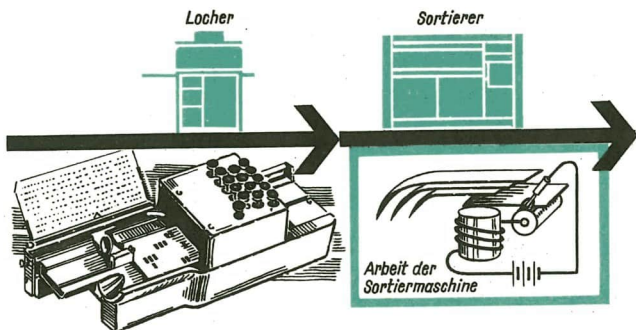
Nehmen wir an, in einer Karte ist die achte Position der dreizehnten Spalte gelocht. Die entsprechende Bürste schließt einen elektrischen Stromkreis, der Elektromagnet des Ziffernrades beginnt zu arbeiten, und das Ziffernrad beginnt sich zu drehen. Währenddessen verschiebt sich die Karte um eine Position, in die siebente. Das Rad hat sich inzwischen um eine Ziffer gedreht und zeigt eine 1. Dann verschiebt sich die Karte wieder um eine Position, in die sechste, und das Rad zeigt eine 2.



Wenn diese Bürste nun die Nullposition erreicht, so hört die Drehung des Ziffernrades auf: Es dreht sich achtmal, nämlich auf allen acht nach dem Loch durchlaufenen Positionen, und zeigt die Ziffer 8.



Auf diese Weise ist eine 8 von der Lochkarte in die entsprechende Stellung des Zählwerkes übertragen worden, die der dreizehnten Spalte entspricht. Ebenso geht auch die Summierung vor sich. Und wer steuert



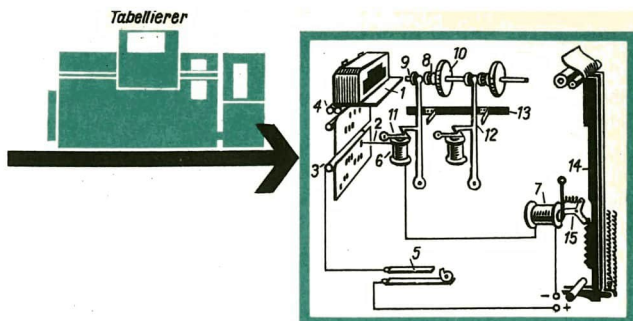
Lochkartenmaschinensatz. Der Locher stantzt Löcher in die Lochkarte und überprüft die Richtigkeit ihrer Lochungen. Der Sortierer verteilt die Lochkarten nach ihren Merkmalen.

diese große und komplizierte Maschine? Es sind eben Lochkarten und Bürsten.

Damit ein elektrischer Impuls seinen komplizierten Weg in der Maschine durchlaufen kann, sind die Anschlüsse aller mit Bürsten, Zählwerken und Schreibwerken verbundenen Leitungen mit einer zentralen Schalttafel verbunden, einem Verteilerpult für die elektrischen Impulse. Von hier aus werden sie durch Schalter in der ganzen Maschine verteilt.

Das Steuerungssystem moderner Tabelliermaschinen ist außerordentlich fein und vielseitig. Eine gute Tabelliermaschine kann bis zu 60 000 und mehr Lochkarten pro Stunde verarbeiten. Sowjetische Ingenieure haben eine der besten Lochkartenrechenmaschinen – die Tabelliermaschine »T-5« geschaffen. In ihr sind acht elfstellige Zählwerke eingebaut. Das bedeutet, daß man gleichzeitig acht Spalten mehrstelliger Zahlen addieren und auf diese Weise 70 000 Additionen pro Stunde ausführen kann! In dieser Zeit würden selbst 100 Rechner nur 25 000 Additionen schaffen.

Lochkartenrechenmaschinen werden nach ihrem Arbeitsprinzip eingeteilt in mechanische, elektromechanische und elektronische Maschinen. Mit den elektronischen haben wir uns bereits bekannt gemacht.



Die Tabelliermaschine ist der wichtigste Bestandteil des Satzes — sie führt die Berechnungen durch: 1 — Magazin; 2 — Kontaktbürsten; 3 — Kontaktwalze; 4 — Führungswalzen; 5 — Kontakt; 6 — Elektromagnet des Zählwerkes; 7 — Elektromagnet des Schreibwerkes; 8 — auslösbare Kupplung; 9 — Führungssache des Zählwerkes; 10 — Zählrad; 11 — Ankersperre; 12 — Hebel der auslösbaren Kupplung; 13 — Rückholschiene für Hebel; 14 — Zahnstange mit Zahlenskala; 15 — dreiarmer Hebel

In den mechanischen »lesen« spezielle Fühlerstifte die Löcher. Solche Maschinen kommen nur auf 100 Operationen pro Minute.

Die Ersetzung mechanischer und elektromechanischer Anlagen durch elektronische erhöhte die Schnelligkeit der Lochkartenmaschinen.

Aber sowohl die Lochkarte als auch das Organisationsprinzip selbst setzen der Produktivität eines solchen Systems von Lochkartenrechenmaschinen enge Grenzen. Es ist zwar bemerkenswert, daß die Rechengeschwindigkeit einer Tabelliermaschine etwa fünfzehnmal größer ist als die einer Tastenrechenmaschine, aber die Produktivität des gesamten Satzes ist eben nur drei- bis viermal größer. Das liegt an dem immerhin noch großen Anteil der Handarbeit: Die Karte locht und kontrolliert ein Mensch, sie werden von Menschen von Maschine zu Maschine getragen.

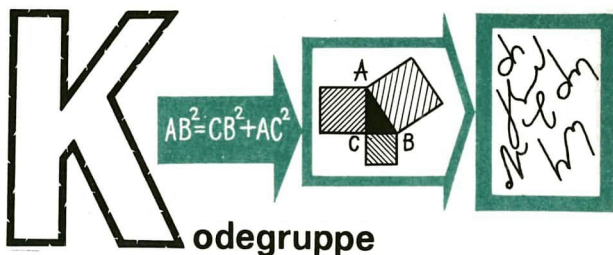
Und obwohl jeder Stapel auf einmal eingegebener Karten hier unvergleichlich größer ist als bei der Arbeit mit Tastenrechenmaschinen, wirkt sich die Langsamkeit, mit der die Lochkarten in den Maschinenmechanismen abgearbeitet werden, stark auf die gesamte Rechenproduktivität aus. Die Masse der Lochkarten ist nämlich das, was Babbage als Zahlen-»speicher« mit seinen Zählwerken schaffen wollte, die ihrer-

seits mit demselben Tempo wie die »Fabrik«, d. h. das Rechenwerk, arbeiten. Er hatte begriffen, daß der Mensch nur dann vom fortwährenden Eingreifen in den Rechenprozeß befreit wird, wenn sich die Arbeitsgeschwindigkeiten aller funktionellen Teile des Rechners entsprechen.

In der Entwicklung der Technik waren hundert Jahre notwendig, ehe es in Gestalt der modernen Lochkartentechnik zur Schaffung noch vollkommenerer Maschinen und danach schließlich zur elektronischen Technik kam.



Die nächste Lochung!



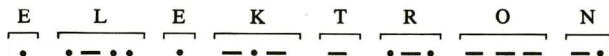
Ein Satz von Symbolen zur Darstellung der Teile einer Nachricht, die in einem Verbindungskanal übertragen wird.

Zeilen nur aus Punkten und Strichen...

Wir kennen alle das Kinderspiel »heiß – kalt«. Dabei ist ein Gegenstand zu suchen; entfernt sich der Suchende von ihm, so ruft man ihm zu »kalt«, nähert er sich ihm, so ruft man »heiß«. Alle »Kommandos« werden also durch eines dieser zwei Worte als Symbole übertragen. Infolge der Aufnahme dieser vereinbarten Zeichen löst der Spieler mitunter recht schwierige Suchaufgaben.

Sollte es da nicht möglich sein, mit zwei Symbolen auch einen Text zu verschlüsseln?

Hier seht ihr eine Reihe vereinbarter Zeichen: Nur Punkte und Striche. Was bedeuten Sie?



Wenn ihr das Morsealphabet kennt, so könnt ihr das Wort »Elektron« lesen. Das heißt also: Kombinationen einer unterschiedlichen Zahl von nur zwei Symbolen gestatten es, das gesamte lateinische Alphabet zu verschlüsseln, es zu kodieren.

Wenn ihr euch das Morsealphabet anschaut, wird euch auffallen, daß

einige der lateinischen Buchstaben durch nur ein oder zwei Zeichen dargestellt werden: e durch Punkt; t durch Strich; a durch Punkt, Strich; i durch zwei Punkte usw. Andere dagegen aus vier oder gar fünf: v durch drei Punkte, Strich; ö durch drei Striche, Punkt; ch durch vier Striche; x durch Strich, zwei Punkte, Strich.

Die Bestimmung einer Kodegruppe. Untersuchen wir einmal, aus wieviel Zeichen ein solches »Wort« bestehen muß, damit es möglich wird, alle Buchstaben mit ein und derselben Anzahl von Nullen und Einsen aufzuzeichnen.

Zunächst versuchen wir es mit nur zwei Zeichen pro Wort und erhalten:

$$a = 00 \quad b = 01 \quad c = 10 \quad d = 11$$

Damit sind alle Möglichkeiten ausgeschöpft, mehr ist nicht zu machen, denn bei 2 Zeichen gibt es 4 Möglichkeiten der Kombination ($2^2 = 4$).

Probieren wir es jetzt mit drei Zeichen:

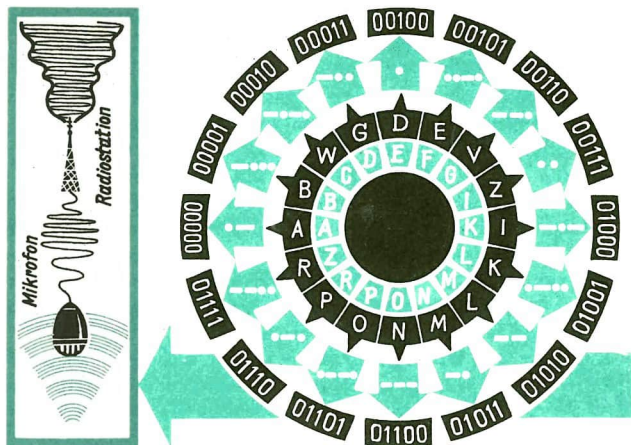
$$\begin{array}{ll} a & 000 \\ b & 001 \\ c & 010 \\ d & 011 \end{array} \quad \begin{array}{ll} e & 100 \\ f & 101 \\ g & 110 \\ h & 111 \end{array}$$

Und die neue Grenze: $2^3 = 8$, also 8 Möglichkeiten der Kombination. Nehmen wir abermals ein Zeichen hinzu, so erhalten wir $2^4 = 16$ Möglichkeiten, diese reichen nur für die Hälfte unseres Alphabetes.

Mit fünf Zeichen ergibt sich: $2^5 = 32$ — mit 32 Kombinationen wird es uns endlich möglich, jedem Buchstaben unseres Alphabets eine bestimmte Kombination zuzuordnen.

Hier seht ihr ein Beispiel für diesen Kode, dessen Worte also einheitlich aus 5 Zeichen bestehen:

$$\begin{array}{llll} a = 00000 & i = 01000 & q = 10000 & y = 11000 \\ b = 00001 & j = 01001 & r = 10001 & z = 11001 \\ c = 00010 & k = 01010 & s = 10010 & ä = 11010 \\ d = 00011 & l = 01011 & t = 10011 & ö = 11011 \\ e = 00100 & m = 01100 & u = 10100 & ü = 11100 \\ f = 00101 & n = 01101 & v = 10101 & á = 11101 \\ g = 00110 & o = 01110 & w = 10110 & é = 11110 \\ h = 00111 & p = 01111 & x = 10111 & ñ = 11111 \end{array}$$



Ein und derselbe Buchstabe kann mittels verschiedener Symbole kodiert (verschlüsselt) werden.

Jetzt wollen wir ausrechnen, aus wieviel Zeichen eine Kodegruppe besteht, wenn alle Ziffern von 0 bis 9 durch gleichviel Nullen bzw. Einsen dargestellt werden soll. Wie wir gleich erkennen, können wir mit 3 Zeichen nicht die zehn Ziffern darstellen, denn $2^3 = 8$. 4 Zeichen ergeben 16 Kombinationen ($2^4 = 16$) von denen wir allerdings mit 10 auskommen.

Und so werden die Ziffern in ihrer kodierten Form aussehen:

0	0000	5	0101
1	0001	6	0110
2	0010	7	0111
3	0011	8	1000
4	0100	9	1001

Glaubt aber nicht, daß diese hier angegebenen Codes von Ziffern und Buchstaben die einzig möglichen sind. Es sind sehr viele denkbar, Milliarden.

Unter Verwendung unseres Codes wollen wir das Wort »Kybernetik« und die Zahl »13« verschlüsseln.

Mit Nullen und Einsen hat das Wort »Kybernetik« die Gestalt:
01010 11000 00001 00100 10001 01101 00100 10011 01000 01010.

Die Zahl »13« erscheint als 0001 0011.

Damit eine Nachricht in einen Automaten gelangt und dieser mit ihr die nötigen Operationen ausführen kann, muß sie eine sehr wichtige spezielle Einrichtung durchlaufen: das Kodiergerät. Dieses stellt eine Art Eingangstor dar, durch das die Nachricht laufen muß, um in den Automaten zu gelangen. Im Kodiergerät werden Zahlen in Kodegruppen umgewandelt und so in eine für den Automaten geeignete Form gekleidet.

Der »Antipode« zu diesem Kodiergerät ist das Dekodiergerät, das man auch als Dechiffратор bezeichnet. Es hat die Aufgabe, aus einem Kode wieder eine »einfache Zahl« zu machen.

Kodierung und Dekodierung zählen zu den wichtigsten logischen Operationen eines »Elektronengehirns«, denn mit ihrer Hilfe werden im Automaten Zahlen in Kodegruppen umgewandelt. Und im Inneren der Maschine läuft die Arbeit mittels des Kodes ab.

Es ist interessant, daß wir es im Leben überall mit Kodierungen zu tun haben. Und das nicht nur, wenn wir einen gewöhnlichen Text durch Symbole ersetzen oder die Zeichen eines Alphabets in ein anderes übersetzen, sondern auch, wenn eine Sendung von der Ausgangsquelle zum Empfänger gelangt. Bei einer Rundfunkübertragung treffen Schallwellen auf ein Mikrophon, werden dort in elektrische und schließlich in elektromagnetische Schwingungen umgewandelt. Die Kodierung besteht in diesem Fall im Ersetzen einer physikalischen Größe durch eine andere.

Ein Kode kann aus Tintenzeichen auf dem Papier bestehen, aus Lochungen in einem Papierstreifen oder auch aus Ausstanzungen in Karton. Als »Buchstaben« eines Kodes können aber auch verschiedene Zahnradstellungen, elektrische Impulse oder Lichtsignale dienen.

Auf dem Prinzip der Umkodierung beruht die Arbeitsweise des Fernschreibers, eines Apparates, der einen gewöhnlichen Text in die den einzelnen Buchstaben entsprechenden Kombinationen elektrischer Signale umwandelt und dann diese Signalkombination wieder in Buchstaben zurückverwandelt.

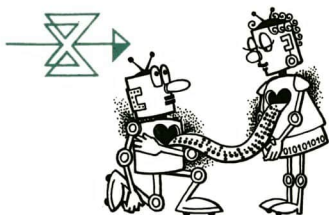
Wenn ihr durch Drehen der Wählerscheibe eines Telefonapparates

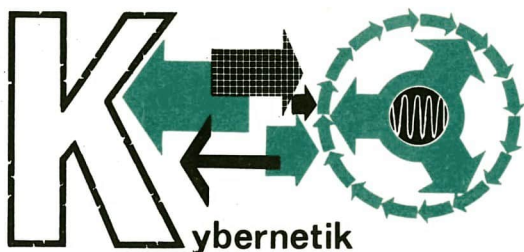
eine bestimmte Nummer wählt, so werdet ihr wahrscheinlich nicht vermuten, daß ihr eine Umkodierung vom Zehnerkode in eine Reihe elektrischer Impulse vornehmt, die wir zur Erhöhung der Anschaulichkeit wieder durch Nullen (kein Impuls) und Einsen (Impuls) darstellen können.

Das sieht etwa folgendermaßen aus:

Der Telefonnummer 2 20 65 99 entspricht die Impulsreihe

2	2	0	6	5	9	9
000000011		000000000		000011111		111111111
	000000011		000111111		111111111	





Wissenschaft von den allgemeinen Prinzipien der Steuerung, den Steuerungsmitteln und von ihrer Ausnutzung in der Technik bzw. ihrer Wirkungsweise im lebenden Organismus und in der menschlichen Gesellschaft.

Gemeinsames im Verschiedenen

Vor mehr als hundert Jahren beendete der französische Physiker und Mathematiker André Marie Ampère sein umfangreiches Werk »Essai sur la philosophie des sciences«. Darin versucht der berühmte Gelehrte, das gesamte menschliche Wissen in ein übersichtliches System zu bringen. Jede der damals bekannten Wissenschaften erhielt in diesem System ihren Platz. In der Rubrik mit der Nummer 83 brachte er eine von ihm als notwendig angenommene neue Wissenschaft unter, welche die Verfahren zur Steuerung der Gesellschaft untersuchen sollte.

Der Gelehrte nahm die Bezeichnung dafür (cybernétique) aus dem Griechischen, wo das Wort »kybernetes« soviel wie »Steuermann« bedeutet. Im alten Griechenland bezeichnete man die Steuermannskunst als Kybernetik.

Übrigens brachte Ampère in seiner Klassifizierung der Wissenschaften die Kybernetik im Abschnitt »Politik« unter. Diese Wissen-

schaft erster Ordnung unterteilte er in Wissenschaften zweiter und dritter Ordnung. Zu den Wissenschaften zweiter Ordnung zählte Ampère die Lehre vom Zusammenleben, während er die Kybernetik als Wissenschaft von der Steuerung in die dritte Ordnung einstuft.

Jede Wissenschaft stand unter einem Motto in Form eines lateinischen Verses. Die Kybernetik versah Ampère mit den äußerst symbolisch klingenden Worten »...et secura cives ut pace fruantur« (»...und garantiert den Bürgern die Möglichkeit, den Frieden zu genießen«).

Nach Ampère hat lange Zeit kein Wissenschaftler den Begriff »Kybernetik« verwendet. Er war praktisch vergessen. Doch tauchte vor einigen Jahrzehnten dieses griechische Wort erneut in der Liste der wissenschaftlichen Disziplinen auf.

Im Jahre 1948 veröffentlichte der amerikanische Mathematiker Norbert Wiener ein Buch mit dem Titel »Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine« (»Kybernetik oder Steuerung und Informationsübertragung im Lebewesen und in der Maschine«). Es rief bei den Wissenschaftlern großes Interesse hervor, obwohl die Gesetzmäßigkeiten, die Wiener zur Grundlage der Kybernetik machte, lange vor Erscheinen dieses Buches bekannt und untersucht worden waren.

Die Eckpfeiler der Kybernetik sind die Informationstheorie, die Algorithmentheorie und die Automatentheorie, letztere untersucht die Konstruktionsprinzipien für Informationsverarbeitungssysteme. Ihr mathematischer Apparat ist sehr breit, dazu gehören Wahrscheinlichkeitsrechnung, Funktionentheorie, mathematische Logik und viele andere Gebiete der modernen Mathematik.

In der Entwicklung der Kybernetik haben auch die biologischen Wissenschaften eine große Rolle gespielt, die die Steuerungsprozesse in der lebenden Natur untersuchen. Entscheidend bei der Entstehung der neuen Wissenschaft war jedoch das stürmische Wachstum der elektronischen Automatik und insbesondere die Entstehung von schnellen Elektronenrechnern. Sie eröffneten ungeahnte Möglichkeiten der Informationsverarbeitung und der Modellierung von Steuerungssystemen.

So wie man in der Musik bestrebt ist, alle menschlichen Gefühle und Gemütszustände »in Noten zu bringen«, so ist man in der Kybernetik bestrebt, alle in der Natur und in unserem Bewußtsein ablaufenden Ereignisse »in Zahlen zu bringen«.

Im Laufe von Jahrhunderten wurde durch die Arbeiten von Mathematikern, Physikern, Medizinern und Ingenieuren aus verschiedenen Ländern das Fundament der Kybernetik gelegt, wurden die prinzipiellen Grundlagen dieser Wissenschaft formuliert. Von hervorragender Bedeutung dafür waren die Arbeiten der amerikanischen Wissenschaftler Shannon, Neumann und die Ideen des weltbekannten sowjetischen Physiologen Pawlow. Die Geschichte vermerkt auch die Verdienste so hervorragender Ingenieure und Mathematiker wie Wischnegradski, Ljapunow und Kolmogorow. Es wäre daher richtiger, zu sagen, daß die Kybernetik im Jahre 1948 nicht »geboren«, sondern »getauft« wurde. Gerade zu dieser Zeit hatte nämlich die Frage nach der Erhöhung der Qualität der Steuerung in unserer durch die Technik so kompliziert gewordenen Welt sich mit besonderer Schärfe gestellt. Und in dieser Situation eröffnete die Kybernetik einen Weg zur Anwendung exakter wissenschaftlicher Analysen für die Lösung der Steuerungsprobleme mit Hilfe moderner technischer Mittel.

Heute ist das Wort »Kybernetik« aus den technischen, naturwissenschaftlichen und populärwissenschaftlichen Zeitschriften nicht mehr wegzudenken. Über Kybernetik werden Bücher geschrieben, Vorträge gehalten, wissenschaftliche Seminare und internationale Konferenzen veranstaltet. Daran nehmen Mathematiker, Physiker, Biologen, Physiologen und Psychologen, Ökonomen und Philosophen sowie Ingenieure verschiedener Fachrichtungen teil. Sie alle vereint das gemeinsame Ziel: die Steuerungsprozesse in den verschiedensten Gebieten der menschlichen Tätigkeit maximal zu automatisieren und die Arbeitsproduktivität zu erhöhen. Zu diesem Zweck müssen die Steuerungsobjekte tief und allseitig untersucht werden, müssen die Gesetzmäßigkeiten gefunden werden, nach denen die Steuerungsprozesse verlaufen, müssen die Organisationsprinzipien und die Strukturen der Steuerungssysteme bestimmt werden. Damit wird der lebende Organismus selbst unweigerlich zum Objekt intensivster Betrachtungen und detailliertester Untersuchungen, darunter vor allem der Mensch selbst als steuerndes System höchster Entwicklungsstufe; Ingenieure und Wissenschaftler sind bestrebt, gewisse Funktionen dieses Systems in Automaten nachzubilden.

Die Kybernetik untersucht gemeinsame Eigenschaften, die verschiedenartigen Steuerungssystemen eigen sind. Diese Eigenschaften sind unabhängig von der speziellen Natur ihrer materiell-stofflichen Grund-

lage. Sie können sowohl in der lebenden Natur, d. h. in der organischen Welt, als auch in Kollektiven von Menschen auftreten sowie in technischen Produkten realisiert sein. Diese Allgemeinheit kommt in vielem zum Ausdruck, vor allem aber in der Struktur komplizierter dynamischer Steuerungssysteme. Das Steuerungsobjekt (das kann eine Maschine oder eine automatische Maschinenkette, ein Betrieb oder eine militärische Einheit, eine Eiweiß synthetisierende lebende Zelle oder ein Muskel, der Prozeß der Übersetzung eines Textes oder die künstlerische Tätigkeit der Umwandlung einer Gesamtheit von Symbolen, z. B. Notenzeichen, in ein Kunstwerk sein) und die Steuerungsanlage (Gehirn und Nervenbahnen des lebenden Organismus oder ein Steuerungsautomat) tauschen wechselseitig bestimmte Informationen aus, die der Steuerung dienen.

Überall ist die Realisierung eines Steuerungsprozesses verbunden mit der Übertragung, Sammlung, Speicherung und Verarbeitung von Informationen, die das gesteuerte Objekt, den Prozeßverlauf, die äußeren Bedingungen, das Arbeitsprogramm usw. charakterisieren.

Es ist verständlich, daß in verschiedenen Systemen auch die Informationsträger ihrer Natur nach verschieden sein können: akustische, optische, mechanische, elektrische und chemische Signale, Dokumente und Mikrofilme. Dennoch unterliegen die Übertragungsprozesse dieser Systeme unabhängig von der Art des physischen Informationsträgers allgemeinen quantitativen Gesetzmäßigkeiten.

Eine charakteristische strukturelle und funktionelle Besonderheit aller dieser qualitativ so unterschiedlichen Systeme ist das Vorhandensein von Rückkopplungen in ihnen. Das sind vom Objekt auf das Steuerzentrum zurücklaufende Informationskanäle, die Informationen über die Zweckmäßigkeit, über den Effekt der betreffenden Steuerungsbefehle bzw. -operationen übertragen.

Nicht zuletzt schließlich enthalten auch die Steuerungsanlagen selbst – lebende wie künstliche – solche Teilaggregate, die ähnliche Funktionen ausführen: Informationsaufnahme, Auswahl derselben, Speicherung usw.

Das Spektrum der Wirksamkeit der Kybernetik.

Die Kybernetik läßt sich unterteilen in theoretische Kybernetik (mathematische und logische Grundlagen sowie philosophische Fragen), technische Kybernetik (Konstruktion und Einsatz technischer Mittel, die

in Steuerungsanlagen und Rechenmaschinen Anwendung finden) und angewandte Kybernetik (Anwendung der theoretischen und technischen Kybernetik zur Lösung konkreter Steuerungsaufgaben in Industrie, Energetik, Transport, Postwesen usw.).

Die frappierende Analogie zwischen den Steuerungsprozessen in Systemen verschiedener Natur diente auch als Grundlage für die Schaffung der Kybernetik, die Steuerungssysteme und Steuerungsprozesse mit mathematischen Methoden untersucht.

Diese Definition der Kybernetik erinnert uns an den Gegenstand ihrer Untersuchungen — in erster Linie sind das quantitative Gesetzmäßigkeiten und quantitative Beziehungen in den Steuerungsprozessen.

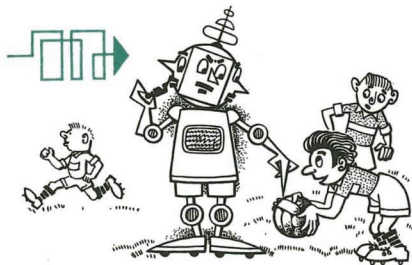
Die Kybernetik identifiziert die Prozesse, die im lebenden Organismus oder in der Gesellschaft ablaufen, nicht mit den Prozessen in automatischen technischen Systemen. Sie interessiert sich nicht für spezielle biophysikalische oder biochemische Prozesse, die nur der lebenden Natur eigen sind. Sie beschränkt ihre Fragestellung darauf, wie im lebenden Organismus, in der Maschine und in der Gesellschaft die mit dem Steuerungsprozeß zusammenhängende Informationsverarbeitung realisiert wird.

Die Kybernetik sucht Wege zur Annäherung der technischen Steuerungssysteme an die höchstentwickelten Stufen: Sie untersucht das Denken des Menschen, um Algorithmen zu schaffen, welche die Tätigkeit dieses lebenden Steuerungssystems mehr oder weniger genau beschreiben. Sie untersucht die Prinzipien für den Bau von Automaten und erforscht Möglichkeiten, um mit ihrer Hilfe den Prozeß der geistigen Tätigkeit des Menschen zu mechanisieren. Somit wird die Tätigkeit der Ingenieure, die komplizierte Automaten schaffen, durch die Kybernetik wesentlich bereichert, indem diese ihnen die Erfahrungen in der Natur, die im Verlauf von Millionen von Jahren das komplizierteste Steuerungssystem hervorbrachte, was es auf der Welt gibt, den menschlichen Organismus, erschließt.

Die Kybernetik hilft gleichzeitig den Physiologen und Psychologen beim Studium dieses Organismus, beim Aufspüren quantitativer Gesetzmäßigkeiten, nach denen ein lebendes Steuerungssystem funktioniert.

Die Kybernetik hilft den Ökonomen und Soziologen beim Aufdecken der verschiedensten Gesetzmäßigkeiten.

Die theoretische und die praktische Bedeutung der Kybernetik ist vielgestaltig. Von Tag zu Tag wächst die Zahl der Wissenschaftler, die ihre schöpferischen Kräfte der Entwicklung dieser zukunftssträchtigen Wissenschaft widmen.





aschinensprache

Spezielle Verfahren zur Aufzeichnung von Informationen mit dem Ziel, diese an einen elektronischen Rechenautomaten weiterzugeben.

Schokoladenkonfekt und »ALGOL«

Alle wissen, daß die Sprache das Hauptmittel der menschlichen Verständigung ist, daß die Sprache das lebendigste und festeste Band ist, welches die vergangenen, die heute lebenden und die zukünftigen Generationen von Menschen zu einem Ganzen vereint, daß schließlich die Sprache eine spezifische Besonderheit einzig und allein des Menschen darstellt. Und plötzlich tauchen Maschinensprachen auf.

Ja, es gibt Maschinensprachen. Sie existieren nicht nur, sondern sie entwickeln und vervollständigen sich, überwinden dabei alle möglichen Schwierigkeiten und Hindernisse.

Wir wollen uns mit ihnen bekannt machen und erfahren, was sie eigentlich darstellen und wozu sie gebraucht werden.

Wir wissen nun schon, daß schnelle elektronische Rechenautomaten, mögen sie was auch immer für Aufgaben lösen, nur dem einen Ziel, der Informationsverarbeitung, dienen. Diese Information wird in die Automaten eingegeben. Der Automat kann nur dann Informationen verarbeiten, wenn sowohl die Aufgabenstellung – was der Automat tun soll – als auch die Lösungsmethode – wie es der Automat tun soll – genau vorgegeben sind.

Unsere Umgangssprache zeichnet sich durch große Geschmeidigkeit, Mehrdeutigkeit der Wörter, durch Gestaltungsreichtum und auch durch eine gewisse Subjektivität aus. Eine solche Sprache nutzt dem elektronischen Apparat nichts; mit wohlgesetzten Worten kann er nichts anfangen, sie sind ungenau und nicht klar. Er verlangt Eindeutigkeit, Konkretheit und Genauigkeit. Daher muß man eine Aufgabe zunächst aus der menschlichen Sprache in eine Maschinensprache übersetzen: Mit Hilfe eines »Alphabets« (Dualcode — 0 und 1) wird eine Kommandoliste aufgestellt, die der Automat abarbeiten muß. Diese Liste heißt Programm. Es teilt alle Arbeitstakte des Automaten ein und gibt eine Beschreibung aller Rechengänge.

So etwa sieht eine Aufzeichnung in Maschinenschrift aus:

0001 · 0000001010

Der Uneingeweihte weiß nur, daß es sich hier um eine kodierte Aufzeichnung handelt. Aber um welche? Die Maschine liest sie so:

»Addiere die Zahl aus Zelle zehn des operativen Speichers zu der im Summator stehenden Zahl.«

Man könnte fast von einer Überlegenheit der Symbole 0 und 1 über die menschlichen Sprachen sprechen: Diese nur vierzehn Zeichen stellen einen ganzen Satz bestehend aus fünfzehn Wörtern dar.

Gerade deswegen ist die Maschinensprache zum Informationsaustausch zwischen Mensch und Automat sowie zwischen Automat und Automat gut geeignet. Die Maschinensprache wird auch zum Informationsaustausch zwischen den Menschen mit Hilfe von Automaten eingesetzt. Sie hilft den Automaten, sich mit anderen Systemen und mit Systemen innerhalb der Automaten selbst zu »unterhalten«.

Neben diesen Vorteilen weist aber die Maschinensprache auch Unzulänglichkeiten auf. Der größte, sehr wesentliche Nachteil besteht darin, daß jede Automatenklasse in ihrem eigenen, nur ihr verständlichen »Dialekt« spricht. Seit dem Erscheinen schneller Rechenautomaten sind annähernd 5000 künstliche Sprachen entstanden! Dazu gehören, um nur einige zu nennen: COBOL, FORTRAN, JOVIAL, ALPHA, APS.

Wieviel Schwierigkeiten ruft doch dieses »babylonische Kunstsprachengewirr« hervor! Um eine für einen Automaten formulierte Aufgabe in einen Automaten anderer Konstruktion eingeben zu können, muß sie erst umprogrammiert werden. Viel Zeit geht verloren!

Zum Beispiel wird in einem Rechenzentrum, das nur mit einer be-

grenzten technischen Ausrüstung arbeitet, mit jeder Erweiterung des Automatenparks auch die bisher übliche Maschinensprache »zerstört«.

Daher konnte eine Programmierung nur in der Sprache eines konkreten Automaten – beim gegenwärtigen Stand von Wissenschaft und Technik, wo es gilt, riesige Mengen, ja ganze Lawinen von Rechnungen zu bewältigen – die Wissenschaftler nicht mehr befriedigen. Sie überlegten, wie man zur Schaffung *einer* Sprache für die automatische Programmierung, einer echten Maschinensprache, die jede Maschine versteht, übergehen kann.

Diese Aufgabe ist schwieriger und viel komplizierter als ein einfaches Aufzählen einer Auswahl von Befehlen in einem Programm.

Die Sprache der automatischen Programmierung hilft dem Programmierer, der Maschine zu sagen, was sie zu tun hat.

Fachleute vergleichen die künstliche Sprache mit der Form unserer Sprache, die in Handbüchern angewendet wird, in denen gesagt wird, »was zu tun ist«. Sie ist beispielsweise der Sprache in einem Kochbuch sehr ähnlich. Um verschiedene grammatische Formen, die einer künstlichen Sprache eigen sind, zu beschreiben, verwendet man gewöhnlich – wegen der großen Anschaulichkeit und der Zugänglichkeit der Darstellung – die Analogie mit irgendeinem Rezept aus einem Kochbuch.

Nehmen wir das auf Seite 136 dargestellte Rezept zur Herstellung von Schokoladenkonfekt.

Es hat, wie jedes Rezept, zwei Teile. Im ersten Teil wird beschrieben, welche Zutaten zur Herstellung des Konfekts benötigt werden. Im zweiten Teil sind der Reihe nach alle Prozeduren aufgezählt, die zur Erfüllung der Aufgabe notwendig sind.

So enthalten auch die automatischen Programmiersprachen zwei Typen grammatischer Formen. Sie heißen Beschreibungen und Prozeduren. Die Beschreibungen enthalten eine Liste der Bestandteile des Programms. Die Operatoren beschreiben die Operationen, die mit den Bestandteilen durchzuführen sind.

Allgemein bestehen Operatoren und Datenbeschreibungen in einer Maschinensprache aus Ausdrücken, die aus Zahlen, abgekürzten Maßeinheiten sowie aus Satzteilen und Wortgruppen gebildet werden können. Die den Wörtern entsprechenden Ausdrücke bestehen aus Symbolkombinationen.

Beschreibung

Zutaten zum Konfekt

2



Tassen Zucker

1



Tasse Milch

$\frac{1}{2}$



Teelöffel Salz

50g



ungesüßte
Schokolade

2

Eßlöffel
Maissirup



2

Eßlöffel Butter



$\frac{1}{2}$

Teelöffel
Vanillezucker



Prozeduren

Herstellungsfolge

Man verrühre die Zutaten in einem auf kleiner Flamme stehendem Topf und rühre so lange, bis sich der Zucker aufgelöst hat.



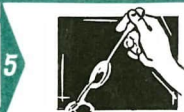
Von Zeit zu Zeit umrühren, auf kleinem Feuer kochen lassen, bis in kaltes Wasser gegebener Tropfen zu einer weichen Kugel wird.

Topf vom Feuer nehmen und Butter zugeben



Topf (ohne umzurühren) stehen lassen, bis man ihn mit der Hand berühren kann.

Vanillezucker zugeben, mit Löffel umrühren, damit Masse Glanz nicht verliert und Teilchen beim Gleiten vom Löffel ihre Form behalten.



Masse in eine mit Butter eingefettete Form gießen

Erkalten lassen und in Quadrate zerschneiden



Rezept zur Herstellung von Schokoladenkonfekt

Diese Wechselbeziehung von Strukturen, die wir auf der Abbildung von oben nach unten betrachtet haben, ist charakteristisch sowohl für die Kochbuchsprache als auch für die automatisierte Sprache. Aber ein Unterschied besteht im Charakter der Tätigkeiten, die von den Operatoren der Prozeduren vorgeschrieben werden, und dieser Tätigkeitscharakter hängt vom Anwendungsgebiet der Sprache ab.

So beziehen sich beispielsweise die Operationen »verrühren«, »erkalten lassen«, »in Stücke schneiden« und »umrühren« auf einen Prozeß der Speisenzubereitung. Für Rechenprozesse sind andere Operationen typisch: »Quadratwurzel ziehen«, »mit 24 potenzieren«, »bezeichnen«, »die nächste Rechnung wiederholen, bis...«.

Nun haben wir uns in groben Zügen mit dem Charakter und den Besonderheiten einer automatisierten Maschinsprache vertraut gemacht. Interessant ist ihre Entstehungsgeschichte.

Die automatisierte Maschinsprache wurde eingeführt, um dem Programmierer die Arbeit zu erleichtern, der bis dahin die »Anleitung zum Handeln« für die Maschine von Hand zusammenstellen mußte. Das Wesen der automatischen Programmierung besteht gerade darin, daß die Maschine ihr Programm selbst aufstellt und dabei den Aufwand an Handarbeit auf ein Minimum reduziert.

Eine einheitliche Sprache, in der alle Maschinen der Welt »sprechen« sollten, entstand nicht sofort. Die Vorbereitungsarbeiten zogen sich lange hin. 1958 berief man eine internationale Konferenz nach Zürich ein, auf der die Grundlagen einer automatisierten Maschinsprache geschaffen wurden. 1960 bildeten die mit der Rechentechnik verbundenen internationalen Organisationen eine Arbeitsgruppe, die die entdeckten Fehler beseitigte, offensichtliche Zweideutigkeiten entfernte und größere Klarheit in die neue Sprache brachte, kurz gesagt — sie vervollkommnete die jetzt unter der Bezeichnung »ALGOL — 60« (das bedeutet »algorithmische Sprache«) bekannte Sprache.

In dieser internationalen kybernetischen Sprache gibt es nur 500 Wörter. Sie sind für die Steuerung der Maschine notwendige spezielle Befehle. Ihre ganze Mannigfaltigkeit ist zwischen die Wörter »begin« (Anfang) und »end« (Ende) eingeschlossen.

Diese Sprache ist geeignet für eine Übersetzung in die Maschinsprache durch den Automaten selbst. Aber leider ist sie kompliziert.



Der »babylonische Turm« der Maschinensprachen

Außer von Automaten wird sie nur von Programmierern verstanden. Diese vermitteln als »geweihte Priester« jetzt zwischen dem Automaten und den Aufgabenstellungen.

Tatsächlich werden heutzutage immer neue Sprachen ausgearbeitet, mit deren Hilfe die Kommunikation zwischen Mensch und Automat maximal erleichtert werden kann. Zum Beispiel ist der Automat »Mir« mit der Sprache »Analytik« ausgerüstet, die jeder Mathematiker versteht. Auf dem Bildschirm des Automaten werden Formeln von der gleichen

Art sichtbar, wie sie auf einer gewöhnlichen Wandtafel im Hörsaal stehen können.

Eine Sprache vom Typ »ALGOL-60« bezeichnet man als universelle Sprache, da sie für ganz verschiedenartige Automaten bestimmt ist. Aber... es zeigt sich, daß selbst eine universelle Sprache nicht wirklich universal ist. Sie ist durch ihre Orientierung auf ihr »Tätigkeitsfeld«, ihren Aufgabenkreis beschränkt.

»ALGOL-60« ist bestimmt für wissenschaftlich-technische Berechnungen, für die Lösung mathematischer Aufgaben. In ihr wird kaum auf Form oder Charakter der Daten geachtet.

Es gibt aber Aufgaben, in denen gerade Form und Charakter der Daten die Hauptrolle spielen. Das sind Aufgaben der Informationsverarbeitung. Sie haben ihre Besonderheiten: Wie sind große Datenmengen zu verarbeiten, wie sind sie bei sich wiederholenden Operationen zu systematisieren usw.?

Für solche Aufgaben ist die universelle Sprache »COBOL« geeignet, sie ist auf die Lösung ökonomischer Aufgaben orientiert. »COBOL« ist auf dem üblichen lateinischen Alphabet aufgebaut und beschreibt fast alles in Worten, die einen konkreten Sinn in einer gewöhnlichen, natürlichen Sprache haben. Daher erinnert ein Text in »COBOL« äußerlich an den Text einer natürlichen Sprache.

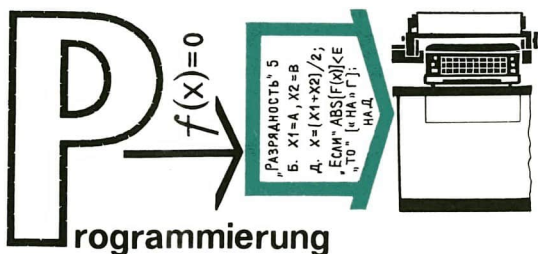
Einen langen Weg gingen die Maschinensprachen vom »Dialekt« bis zu einigen allgemeinen, universellen Sprachen.

Doch dieser Weg hat erst angefangen. Die Fachleute wollen »ein Maximum an Bequemlichkeiten« durch die automatische Programmierung erreichen. In erster Linie ist die algorithmische Sprache von ihrer strengen Orientierung frei zu machen, von ihrer Bestimmung für einen ganz bestimmten Tätigkeitsbereich, für eine bestimmte Klasse von Problemen.

Schon beginnt man wirklich universelle algorithmische Sprachen zu schaffen, welche uns erlauben werden, alle in der Praxis auftretenden Aufgaben ohne Schwierigkeiten zu beschreiben.



011100110000101000011110111001010111 ...?
Ersatzteile sind ausverkauft!



Aufstellung eines Programms zur Lösung mathematischer oder logisch-informationeller Aufgaben im Digitalrechner; Gebiet der angewandten Mathematik, das sich mit der Ausarbeitung von Methoden zur Aufstellung von Programmen beschäftigt.

Wegweiser durch die »Maschinenstadt«

Wir stellen uns folgende Situation vor:

Ein Bauingenieur wendet sich an ein Rechenzentrum mit dem Auftrag, nachzurechnen, ob das Projekt für eine Eisenbahnbrücke einwandfrei ist. Diese Aufgabe wird in der üblichen Form vorgelegt: Formeln, Gleichungen, Berechnungen, und dies soll nun in die Maschine eingegeben werden. Da aber das »Elektronenhirn« weder mit geschriebenen Formeln noch mit Gleichungen etwas anfangen kann, muß der Programmierer die Aufgabe der Maschine ins »Bewußtsein« bringen.

Das »Wie« kennt der Programmierer. Er ist das Bindeglied zwischen Maschine und der von ihr zu lösenden Aufgabe — er muß sich die Aufgabe »maschinengemäß« vorstellen können, eine beliebige schwierige Aufgabe in eine Folge einfacher Befehle auflösen, mit denen die Maschine zurechtkommt.

Je schwieriger die Aufgabe ist, desto länger ist die Befehlsliste.

Diese Liste, diese Gesamtheit aller Befehle, ist das Programm für die Arbeit der Maschine.

Das Aufstellen von Programmen ist eine spezifische Leistung: Alle Operationen, die für die Durchführung einer bestimmten folgerichtigen Informationsbearbeitung nötig sind, muß der Programmierer den Möglichkeiten der Maschine entsprechend kodieren (und diese Möglichkeiten muß er sehr gut kennen) und dann der Maschine eingeben. Nun beginnt die Maschine mit ihrer Arbeit nach dem Programm, dem vorgegebenen Lösungsweg.

Zwischen je zwei beliebigen Elementen der Maschine liegen irgendwelche Verbindungen, Nachrichtenkanäle. Zu jedem Kanal gehört ein bestimmter »Weichensteller«, der einmal eine Information durch den bestimmten Kanal leitet, ein andermal die »Weiche anders stellt« und den Weg versperrt.

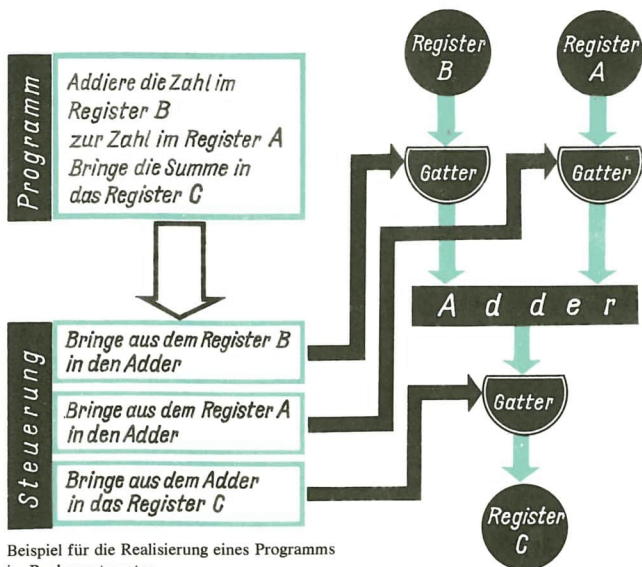
Die Bauteile, die in einer Rechenmaschine die Rolle des elektronischen Weichenstellers spielen, bezeichnet man als Ventile oder Gatter. Das gesamte Programm ist gerade so aufgestellt, daß die einzelnen Befehle eine entsprechende Gattergruppe öffnen und die übrigen geschlossen halten.

In dem Stichwort »Elektronischer Digitalrechner« wurde der Zusammenhang zwischen Maschinenprogramm und Steuerwerk bereits dargestellt. Im Steuerwerk fließen alle inneren Verbindungswege zusammen, hier werden alle Steuerbefehle eines solchen komplizierten Rechenautomaten »verarbeitet«. Ihr erinnert euch auch an den Vergleich von Steuerwerk und Dirigent sowie von Programm und Partitur. Wir wollen uns nun einmal ansehen, wie unser »Dirigent« die »Partitur« liest.

Das Steuerwerk arbeitet in enger Verbindung mit dem Programm.

Der Operateur schaltet den Automaten ein und gibt das Programm, die Befehle laut Liste ein, die nacheinander ausgeführt werden müssen, um die Aufgabe zu lösen. Im digitalen Rechenautomaten wird das Programm Schritt für Schritt abgearbeitet. Dieser Vorgang kann mit dem Stricken verglichen werden: Jeder Teil des werdenden Stückes besteht aus gleichartigen Maschen in unterschiedlicher Anordnung. Hier besteht eine recht genaue Analogie, denn auch in den gängigen Anleitungen zum Stricken sind detaillierte Anweisungen und Berechnungen enthalten. So wie das Programm für einen elektronischen Rechenautomaten sind auch diese Strickanleitungen nur Eingeweihten verständlich.

In das Steuerwerk gelangt das nächstfolgende Kommando. Hier



»öffnet« es sofort die nötige Gattergruppe und bringt den Automaten zur Ausführung dieses Befehls. Dieser Befehl sei z. B.: Addiere die Zahl im Register B zur Zahl im Register A und leite die Summe ins Register C.

Der Automat muß eine Gattergruppe öffnen, welche die Zahlen in den Adder (die Summiereinrichtung) transportiert, und durch die Nachrichtenkanäle »eilt« folgende Befehlsserie: »Bringe aus dem Register B in den Adder«, »Bringe aus dem Register A in den Adder«, »Bringe aus dem Adder in das Register C«.

Für die Subtraktion werden andere Gatter benötigt usw. Habt ihr bemerkt, daß jeder Befehl aus zwei Teilen besteht? Er gibt an, was zu tun ist und wo es zu tun ist. Die Fachleute bezeichnen sie auch entsprechend: Operation und Adreßteil oder einfach Adresse.

Selbstverständlich sehen die Kommandos im Automaten ganz anders

aus als auf der Zeichnung. Sie haben die für den Automaten gewohnte Form – sie sind durch Ziffern und Zeichen kodiert.

Wir wollen versuchen, für den Automaten ein Programm zur Bestimmung des größten gemeinsamen Teilers zweier Zahlen a und b mit Hilfe des Euklidischen Algorithmus aufzustellen (siehe dazu unter Stichwort »Rechenvorschrift«). Dieser besteht also in folgendem: Der größte gemeinsame Teiler zweier positiver ganzer Zahlen a und b wird gefunden, indem man die Differenz beider ausrechnet, anschließend von dieser und der kleineren der beiden zur Subtraktion benutzten Zahlen erneut eine Differenz bildet und so fortfährt, bis die auftretende Differenz gleich Null ist. Die zuletzt erhaltene von Null verschiedene Differenz ist der gesuchte größte gemeinsame Teiler. Bei jeder der Subtraktionen ist immer die kleinere Zahl als Subtrahend zu nehmen.

Für das Programm brauchen wir eine Liste von Operationen. Sie seien uns gegeben. Wir stellen sie in einer Tabelle zusammen und kodieren jede Operation dual. Außerdem geben wir jeweils eine Kurzbezeichnung in Buchstaben an. Das brauchen wir zur Erleichterung der Arbeit bei der Aufstellung eines Programms.

Hier ist die kleine Tabelle der Operationen, mit deren Hilfe wir ein Programm aufstellen können.

Operation	Kurzform im Dualcode	
Addiere die Zahl in Zelle Nr... zur Zahl im Adder	Ad	0001
Subtrahiere die Zahl in Zelle Nr... von der Zahl im Adder	Sb	0010
Bringe die Zahl aus Zelle Nr... in den Adder, nachdem dieser auf Null gestellt wurde	BA	0011
Bringe die Zahl aus dem Adder in Zelle Nr...	BZ	0100

Operation	Kurzform im Dualkode	
Gehe zum Befehl in Zelle Nr... über	Sp	0101
Wenn der Inhalt des Adders gleich Null ist, gehe zum Befehl in Zelle Nr... über	UZ	0110
Wenn die Zahl im Adder negativ ist, gehe zum Befehl in Zelle Nr... über	NZ	0111
Halte die Maschine an	St	1000

Um diese Operationstabelle benutzen zu können, muß man die folgenden wichtigen Bedingungen beachten:

Erstens: Wenn eine Zahl aus einer Registerzelle in den Adder gebracht wird, so bleibt sie auch im Register erhalten.

Zweitens: Wenn eine Zahl aus dem Adder in eine Zelle übertragen wird, so wird die vorher dort befindliche Zahl »gelöscht«, und an ihre Stelle tritt die neue.

Im Adder bleibt die übertragene Zahl unverändert erhalten.

Drittens: Die Operationen UZ und NZ sind sogenannte bedingte Befehle: Wenn die angegebene Bedingung nicht vorliegt, werden sie nicht ausgeführt, und es wird direkt zum nächstfolgenden Befehl übergegangen.

Außerdem müssen wir bei Ungleichheit der Zahlen a und b unbedingt feststellen, welche von ihnen die größere und welche die kleinere ist.

Der Mensch kann das sehr einfach tun, er braucht sich die Zahlen nur anzuschauen. Die Maschine dagegen kann nur nach Dualzahlen vergleichen. Zur Feststellung der größeren von zwei Zahlen ist für die Maschine die Subtraktion am einfachsten. Das Vorzeichen der Differenz gibt an, welche der beiden Zahlen die größere und welche die kleinere ist.

Wir kommen nun zum Aufstellen des Programms. Die Zellen 1 bis 13 des operativen Speichers belegen wir mit Befehlen. In Zelle 20 geben wir die Zahl a, in Zelle 21 die Zahl b ein. Die Adressen der Registerzellen schreiben wir im Dezimalsystem auf.

Adresse		Zellenbelegung in Kurzbezeichnung	im Dualkode
	01	BA – 20	00110000010100
	02	Sb – 21	00100000010101
	03	UZ – 13	01100000001101
	04	BA – 20	00110000010100
	05	Sb – 21	00100000010101
	06	NZ – 09	01110000001001
Zellen mit	07	BZ – 20	01000000010100
Befehlen	08	Sp – 01	01010000000001
	09	BA – 21	00110000010101
	10	Sb – 20	00100000010100
	11	BZ – 21	01000000010101
	12	Sp – 01	01010000000001
	13	St	10000000000000
	14	...	
	15	...	
	16	...	
	17	...	
	18	...	
	19	...	
Zellen mit	20	Zahl a	
Zahlen	21	Zahl b	

Verfolgen wir anhand dieser Tabelle die Arbeit der Maschine. Sie wird in Gang gesetzt, und im Steuerwerk kommt der Befehl aus der Registerzelle 01 an. Im nächsten Takt wird der Befehl ausgeführt. Die Zahl a aus Zelle 20 gelangt in den vorher auf Null gestellten Adder und bleibt dann dort. Danach gelangt der Befehl aus Zelle 02 in das Steuerwerk, und die Zahl b aus Zelle 21 wird von der Zahl a subtrahiert. Damit wird, wie wir bald sehen werden, der zweite Hinweis im Euklidischen Algorithmus realisiert, nämlich der Vergleich beider Zahlen der Größe nach. Jetzt tritt der bedingte Befehl aus Zelle 03 in Tätigkeit: Das Steuerwerk prüft das Ergebnis der vorangegangenen Operation. Ist die Differenz gleich Null, so sind die beiden Zahlen gleich, und jede ist gleich dem größten

gemeinsamen Teiler, d. h. die Aufgabe ist gelöst. Dementsprechend wird zum Befehl an Zelle 13 übergegangen, die Maschine druckt die Zahl aus.

Ist aber die Differenz ungleich Null, d. h., sind die beiden Zahlen nicht gleich, so wendet sich das Steuerwerk, weil die Bedingung des Befehls von Zelle 03 nicht gegeben ist, an den folgenden Befehl, d. h. den der Zelle 04. Danach wird der Befehl aus Zelle 05 ausgeführt. Gemäß dem in dieser Zelle stehenden Befehl kommt die Zahl a aus Zelle 20 erneut in den Adder, der vorher gelöscht wurde. Davon wird die Zahl b aus Zelle 21 subtrahiert.

Im Adder erscheint die Differenz. Danach kommt der bedingte Befehl aus Zelle 06 an die Reihe. Wenn die Differenz negativ ist, so bedeutet das, daß die zweite Zahl (die in Zelle 21) größer ist als die erste. Entsprechend dem Euklidischen Algorithmus müssen deshalb beide zunächst in ihrer Reihenfolge vertauscht werden.

Das ist der Inhalt des Befehls von Zelle 09; denn dementsprechend wird jetzt die Zahl b aus Zelle 21 in den Adder gebracht und die in Zelle 20 stehende Zahl a davon abgezogen. Die Differenz ist jetzt positiv. Nach Befehl aus Zelle 11 gelangt diese Differenz in Zelle 21, wodurch die dort gespeicherte größere der beiden Zahlen (b) gelöscht wird. In Zelle 20 ist der Subtrahend a geblieben, von dem – laut Algorithmus – im nächsten Zyklus diese jetzt in Zelle 21 stehende Differenz abzuziehen ist, falls letztere die kleinere Zahl ist. Um das zu realisieren, wird einfach durch den nächsten Befehl an Zelle 12 wieder zum Befehl aus Zelle 01 übergegangen. Dadurch gelangt die Zahl a aus Zelle 20 in den Adder. Hiervon wird der nun in Zelle 21 gespeicherte Rest subtrahiert usw. Ist die Differenz negativ, folgen die gleichen Schritte wie beim ersten Zyklus über die Befehle aus den Zellen 09–12.

Wenn die gemäß den Befehlen aus den Zellen 04 und 05 gebildete Differenz jedoch positiv wird, d. h. die Zahl aus Zelle 20 die größere von beiden ist, so folgt auf den Befehl aus Zelle 06 sofort der Befehl aus Zelle 07. Die positive Differenz wird dadurch in Zelle 20 überschrieben, und nach Befehl aus Zelle 08 beginnt die Maschine wieder mit dem Befehl aus Zelle 01. Wie im vorigen Fall beginnt auch hier ein neuer Zyklus. In ihm treten in Übereinstimmung mit dem Euklidischen Algorithmus der Subtrahend und die Differenz auf.

Dieser Zyklus wird so lange durchlaufen, bis der größte gemeinsame Teiler gefunden ist, d. h. bis die Zahlen in den Zellen 20 und 21 gleich sind.

Das gesamte Programm besteht also aus 13 Befehlen. Damit kann der größte gemeinsame Teiler zweier beliebiger Zahlen ermittelt werden. Die Zahl der Befehle bleibt dabei immer dieselbe. Lediglich die Gesamtzahl der zu durchlaufenden Zyklen ist unterschiedlich – sie hängt von den Werten der Zahlen a und b ab.

Man rechnet leicht nach, daß für $a = 21$ und $b = 14$ der größte gemeinsame Teiler 7 schon nach dem dritten Zyklus gefunden wird. Bei mehrstelligen Zahlen können zehn oder sogar Hunderte von Zyklen notwendig sein.

Die Aufstellung von Programmen zur Lösung komplizierterer Aufgaben setzt viel Erfahrung und große Anstrengungen voraus.

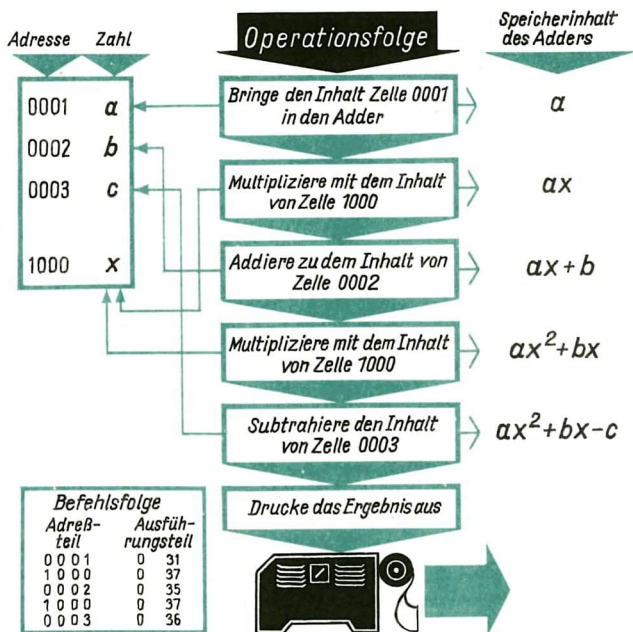
Wir müssen noch einmal ausdrücklich betonen, daß alle elektronischen Rechenautomaten, selbst die schnellen mit einer Million Operationen pro Sekunde, ohne Programm bestenfalls – wie Akademiestandmitglied G. Martschuk, ein berühmter Fachmann in der Anwendung elektronischer Rechenautomaten, sagte – zur »Dekoration« von Büro- und Forschungsräumen dienen. Das Programm organisiert alle Berechnungen oder, wie man auch sagt, die Informationsverarbeitung von der Eingabe bis zur Ausgabe. Eben gerade das Programm garantiert die Ausführung aller einer Maschine aufgegebenen Operationen.

Die Programmierer stellen ganze Serien von Standardprogrammen zur Lösung häufig auftretender Aufgaben her. Je größer die Programmbibliothek eines elektronischen Rechenautomaten ist, desto einsatzfähiger und »findiger«, desto vorteilhafter und wertvoller ist er.

Man ist heute bemüht, Maschinen mit einer vollständigen Sammlung von Standardprogrammen zu produzieren. So sind beispielsweise in der amerikanischen Firma IBM (International Business Machines) etwa 1500 Menschen ständig mit dem Aufstellen von Programmen für die Maschinen dieser Produktion beschäftigt. Die Programmbibliothek allein für den Automaten »1900« enthält mehr als 3,5 Millionen Befehle.

Die Herstellung von Programmen ist heute zu einer Art Industrie der »mathematischen Versorgung« von Rechenautomaten geworden. Diese »Industrie« ist aufwendiger als die Maschinenproduktion selbst. So kostete die Ausrüstung des Automaten »IBM-360« mit allen Programmierunterlagen etwa eine Milliarde Dollar.

Was bedeutet das eigentlich – mathematische Versorgung eines Rechenautomaten? Das ist ein Komplex von in Spezialbibliotheken zusammenge-



Programmierbeispiel. Die Befehlsfolge ist links unten angegeben. Es bedeuten: 31 – Bringe die Zahl... in den Adder; 37 – Multipliziere mit...; 35 – Addiere zu...; 36 – Subtrahiere von...

faßten Programmen verschiedener Funktion. Sie machen einen Automaten arbeitsfähig, für die Lösung praktischer Probleme brauchbar.

Zur mathematischen Versorgung gehören alle Materialien, die in Form von Dokumenten, von speziell zubereiteten Informationsträgern als notwendiger und grundlegender funktioneller Bestandteil in den Rechenprozeß eingehen. Das sind z. B. Rechenprogramme, Programme zur Übertragung der Befehle von einer Maschinensprache in eine andere (Compiler) und alle anderen von Mathematikern, Programmierern, Logikern und Informationstheoretikern ausgearbeiteten informationellen

Hilfsmittel, die zusammengefaßt meistens treffend als »software« (»weiche Ware«) bezeichnet werden. Ihr Inhalt, ihre Sprache und die spezifische Darstellungsform hängen immer von der Struktur und der Arbeitsweise des konkreten Typs von Automaten ab, zu dem sie gehören.

Gerade das Niveau der software entscheidet über Erfolg oder Mißerfolg der Arbeit des Automaten, es ist das Niveau seiner »Intelligenz«.

In der ersten Generation der Automaten gab es etwa 20 000 Programme, in der dritten bereits 10 Millionen. Es entstand die Notwendigkeit, spezielle Automaten bereitzustellen als Rechenhilfsmittel für die Ausarbeitung der software selbst.

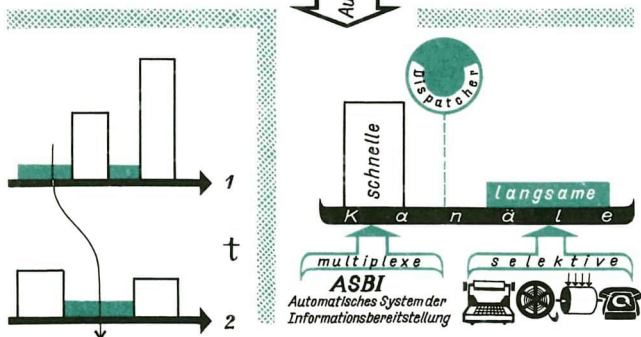
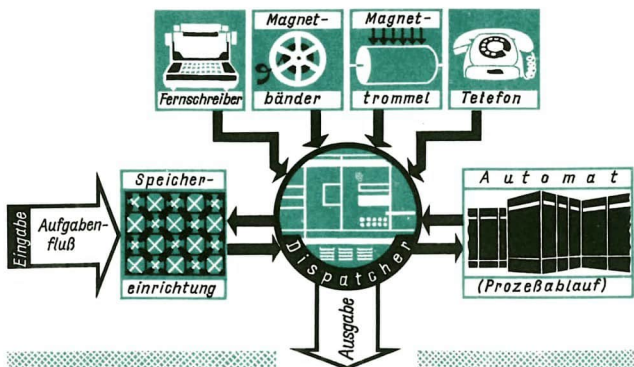
In unseren Tagen ist ein neuer Beruf entstanden: Ingenieur für Systeme der mathematischen Versorgung, der software. Nun wird klar, warum der Ausbildung von Programmierern soviel Aufmerksamkeit geschenkt wird. Ohne sie ist die Ausnutzung elektronischer Rechenautomaten, die ja heute überall eingesetzt sind, praktisch unmöglich.

Um diese mathematisch-informationelle »Ausrüstung« eines modernen Automaten zu schaffen, ist die Arbeit von 2000 Mathematikern im Verlauf von zwei Jahren erforderlich. Man ging deshalb dazu über, die Automatenprogramme von den Automaten selbst aufstellen zu lassen, um damit die rechnerische »Handarbeit« des Menschen auf ein Minimum zu reduzieren. Dabei nutzte man den Umstand, daß die elektronischen Automaten »kluge« Automaten sind. Man gab in ihre Speicher Anfangsprogramme ein, in denen die Methoden der Programmierung nach bestimmten Standards genutzt werden. Anfangsprogramme sind immer in Automaten vorhanden, sozusagen als angeborene »Reflexe«.

Die automatische Programmierung hilft dem Programmierer bei der Aufgabenerteilung für den Automaten. Sie befreit den Menschen von der Notwendigkeit, die Aufgaben selbst in aufeinanderfolgende Operationen zu zerlegen, und sie eröffnet auch dem Nichtfachmann den Zugang zum Automaten.

Die automatische Programmierung für die Lösung großer Aufgaben fertigt die Programme besser als der Mensch, und das in einer Geschwindigkeit, die für ihn unerreichbar ist. Außerdem deckt der Automat logische Fehler auf, die vom Menschen beim Aufzeichnen der Bedingungen einer Aufgabe gemacht werden können.

Nach welchem Prinzip entwickelte sich die Programmierung bisher, und wie wird das in Zukunft weitergehen?



Multiprogrammierung. Am Eingang des Systems werden die Aufgaben vorgegeben. Durch den Automatendispatcher wird zu jedem Zeitpunkt aus ihnen ein »Paket« gebildet, d. h. eine Gesamtheit von Teilaufgaben, die gleichzeitig, parallel, gelöst werden. Das vermindert die Gesamtzeit der Arbeit des Automaten-systems. Das Grundprinzip besteht darin, die Stillstandszeit der langsamen Funktionselemente zu beseitigen (Magnetbänder, Ausgabepulte bzw. Nutzeranschlüsse). Nach der Eingabe neuer Aufgaben oder Abschluß der Lösungen wird das Paket vom Dispatcher neu zusammengestellt.

Unten wird die Rolle des Dispatchers bei der Aufnahme von Daten über schnelle und langsame Kanäle gezeigt. Auf den Diagrammen 1 und 2 wird durch den Pfeil gezeigt, daß der Dispatcher ein unerwünschtes Zusammentreffen verschiedener Teilprozesse zum Zeitpunkt t nicht zuläßt.

In der ersten Etappe – in der ersten Generation, wie man üblicherweise heute die Stufen der Höherentwicklung zu immer neuen Typen der Rechenautomaten und ihren Programmen bezeichnet – war die Software eng an die Programmierung in der jeweiligen speziellen Maschinensprache gebunden: Alles wurde in eine Zahlenform gebracht, die für die jeweilige Maschine »begreiflich« war. Die Programmierung war im Grunde eine Kunst, mit der sich qualifizierte Mathematiker befaßten.

Charakteristisch für die zweite Generation der Programmierung sind die sogenannten algorithmischen Sprachen. Ihre Anwendung war schon mehr durch die Spezifik der Aufgabe bestimmt, die durch die Maschine zu lösen ist, aber nicht durch die Besonderheiten des Automaten-typs. Es traten ja damals viele Maschinen der verschiedensten Marken auf. Jede von ihnen »sprach« ihre eigene Sprache, arbeitete nach ihrem eigenen Programm, wie wir im Stichwort »Maschinensprache« nachlesen können. Die Notwendigkeit, eine Armee von Programmierern in jeder dieser neu auftretenden Sprachen auszubilden, erschwerte die Arbeit.

Demgegenüber waren die algorithmischen Sprachen jetzt maschinen-unabhängig. Sie waren unter maximaler Berücksichtigung der Vorstellungsweise des Menschen über die Realisierungsformen einer Aufgabe geschaffen worden. Sich diese Sprachen anzueignen war wesentlich leichter als im Falle der Maschinensprachen.

Vor allem tauchten so in den Programmen Fehler seltener auf, wurde die Anlage der Programme vereinfacht, und der Aufwand an Maschinenzeit zur Lösung der Aufgaben verminderte sich.

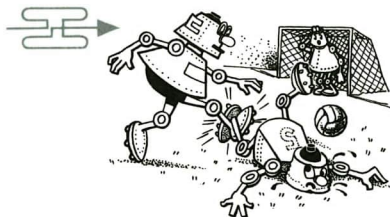
Aber mit der Erhöhung der Produktivität der elektronischen Rechenautomaten wuchs auch die Notwendigkeit zur Mechanisierung der Bedienungsarbeiten. Es wurde nötig, die »Maschine von der Hand abzulösen«, es so einzurichten, daß sie aufhört, vom Operator abzuhängen, von seiner Geschicklichkeit und Fähigkeit.

Man beschloß, die Stillstandszeit in den Arbeitszyklen des Automaten weiter wesentlich zu vermindern. Die Konstrukteure brachten den einzelnen Einrichtungen bzw. Funktionsgruppen des Automaten die Fähigkeit bei, gleichzeitig und unabhängig voneinander nach verschiedenen Programmen oder nach verschiedenen Abschnitten ein und desselben Programms zu arbeiten – mit anderen Worten, gleichzeitig an der Lösung mehrerer Aufgaben zu arbeiten. Auf diese Weise wird der Automat viel umfassender ausgelastet; seine Teileinrichtungen arbeiten

selbständig, unabhängig vom Abschluß der Operationen des »Nachbarbereiches«. Das ist die Methode der Multiprogrammierung. Sie wird vom korrespondierenden Mitglied der Akademie der UdSSR S. Lawrow folgendermaßen beschrieben:

»Die wichtigsten Einrichtungen des Automaten erhielten die Möglichkeit, parallel zu arbeiten. Dadurch wurde es jetzt auch notwendig, zwecks vergrößerter Auslastung aller seiner Teile, durch den Automaten gleichzeitig verschiedene Programme durchlaufen zu lassen. Solange zum Beispiel für die erste Aufgabe die gerade fällige Portion Daten vom Magnetband abgelesen wird, ist es gleichzeitig möglich, für eine zweite Aufgabe die Resultate der Ableitungen zum Druck vorzubereiten, und solange dann deren Druckvorgang läuft, ist zur genau gleichen Zeit das Rechenwerk wieder frei von der Erarbeitung dieser für den Druck bestimmten Zeilen, es kann also für die Berechnung einer dritten Aufgabe ausgelastet werden. In dem Moment, wo das Magnetband abgelesen bzw. dieser Druckvorgang abgeschlossen sind, wird das Rechenwerk wieder umgeschaltet – zur Fortsetzung der Berechnung der ersten Aufgabe oder zur Vorbereitung neuer Datenreihen von Ergebnissen der zweiten Aufgabe für den Druck usw.«.

Gerade diese dritte Generation, die Periode der Multiprogrammierung, eröffnet die Möglichkeit, die Arbeitsweise nach dem Regime der Zeitteilung durchzuführen.



Diesen Holzer haben sie wieder mal schlecht programmiert!



Rechenmaschine zur automatischen Steuerung komplizierter Objekte.

Wo der Mensch nicht zurechtkommt

Damit wir uns die ganze Bedeutung von Prozeßrechnern für die moderne Produktion besser vorstellen können, holen wir zu Beginn unserer Unterhaltung etwas weiter aus, machen wir eine kleine historische Exkursion und sehen uns an, welche Rolle Maschinen in der Produktion gespielt haben.

Selbst primitive Maschinen imitierten gewisse Fähigkeiten des Menschen. Die ersten Maschinen halfen zum Beispiel, die Kraft des Menschen zu vergrößern. Mit Hilfe von Hebeln und Rollen konnte man mühelos Gegenstände transportieren, bewegen und heben.

Nach den Maschinen, die die Kraft umformten und vergrößerten, entstanden solche, die die Bewegung mechanisierten.

Nehmen wir eine andere unserer Fähigkeiten, die Genauigkeit der Operationen. Man erfand den Schraubstock zum Festklemmen von Gegenständen — dadurch konnte die Bearbeitungsgenauigkeit der Werkstücke erhöht werden. Das war, kann man sagen, bereits der Übergang von der Kraft- und Bewegungsumformung zur Steuerung.

Danach entstand das Problem, wie man von der Steuerung einer Tätigkeit zur Steuerung der Folgerichtigkeit von Operationen übergehen kann. Der Mensch selbst macht das einfach: Er verfügt über eine spezielle

»Steuerungsanlage«, das Gehirn. Mit der Schaffung elektronischer Rechenmaschinen ergab sich die Möglichkeit, künstliche Systeme für schwierige Steuerungsoperationen zu schaffen. Der elektronische Rechenautomat übernahm die Rolle einer Steuerungseinrichtung.

Aber Steuerung und Steuerung ist ein Unterschied. Es gibt nämlich eine ganze Hierarchie, eine Rangordnung der Steuerung, ganz verschiedene Ebenen derselben.

Unter modernen Bedingungen ist es mit Hilfe der Technik nicht schwer zu erreichen, daß eine Werkbank richtig arbeitet. Es ist aber nötig, daß sie nicht nur richtig, sondern auch effektiv arbeitet, also die bestmögliche Leistung erzielt. Das ist schon ein viel höheres Niveau der Steuerung, bei dem eine kompliziertere Funktion kopiert wird, nämlich die Fähigkeit des Menschen, rationell zu arbeiten.

Steigen wir nun in der Steuerungshierarchie noch eine Stufe höher. Betrachten wir zum Beispiel ein großes Werk mit vielen Werkzeugmaschinen. Hier ist eine Steuerung höherer Ordnung nötig, wenn eine effektive Leistung erzielt werden soll. Die Menschen können heute die Arbeit eines großen Werkes planen und dabei zu dem gewünschten Ergebnis kommen. Wegen des großen Umfanges der dazu benötigten Daten sind sie aber nicht in der Lage, den besten Plan für den komplexen Einsatz aller Werkzeugmaschinen unter Berücksichtigung der Rohstoffvorräte, der Aufträge und anderer Bedingungen mit konventionellen Mitteln zu finden.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts produzierten die alten Putilow-Werke vollständig aus Metall gefertigte Maschinen. Es waren keine anderen Zulieferungen nötig als Kohle, Koks und Stahl. Heute hat dieses Werk Hunderte von Zulieferbetrieben, da die Erzeugnisse sehr viel komplizierter geworden sind. Es gibt viele Maschinen, in die elektronische Anlagen und Baugruppen eingebaut werden. Die neue Produktion benötigt Zehntausende von Einzelteilen aus anderen Werken. Das alles zu synchronisieren, zu vereinigen und in einem Gesamtkomplex aufeinander abzustimmen – die Arbeit der Werkbänke, der Menschen, den Eingang des Rohmaterials, den Ausstoß der Fertigproduktion, und zwar so, daß es nirgends zu Stockungen oder Verzögerungen kommt, daß das Werk wie ein geschmierter Mechanismus arbeitet, ist nur mit Hilfe komplizierter, steuernder Maschinen, d.h. also Rechenautomaten zur Prozeßsteuerung möglich.

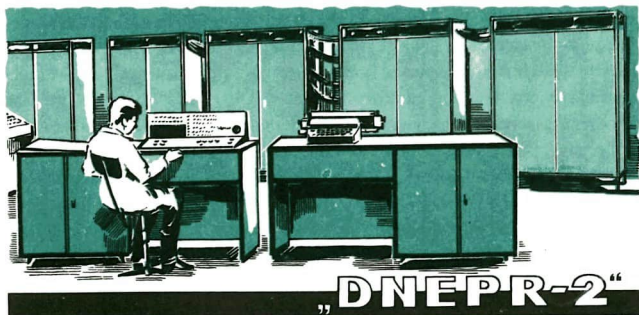
Ihr seht, dieser kleine historische Ausflug hat uns geholfen: Von den einfachen kraftumformenden Maschinen, die die Muskelkraft des Menschen unterstützten, gelangten wir zu höheren Stufen, zu komplizierten »Maschinen«, die die Fähigkeit des Menschen zur Steuerung vergrößern, zu automatischen Systemen, die das Nervensystem des Menschen, das menschliche Gehirn, unterstützen.

Wissenschaftler haben errechnet, daß in der modernen Produktion die physische Kraft des Arbeitenden, die im Mittel 75 W ausmacht, auf durchschnittlich 750 kW mit Hilfe der Maschinen gesteigert wird. Eine analoge Steigerung der intellektuellen Fähigkeiten ergäbe den sehr bedeutenden Koeffizienten von 1 Million – und als solche Zauber-Verstärker haben sich die Prozeßrechner erwiesen.

Was für Besonderheiten haben sie?

Sie stellen eine vollkommen neue Klasse von Helfern der Menschen dar. Sie sind weder Maschinenwerkzeug noch Maschinenantrieb. Steuerungsmaschinen verarbeiten Informationen im Steuerungsprozeß. Und das hängt natürlich immer mit Berechnungen zusammen.

Der Zweck der Steuerungsautomaten besteht darin, einen effektiven Arbeitsablauf, größtmögliche Produktivität, hohe Qualität der Produkte und einen minimalen Aufwand an Arbeit, Rohstoffen und Energie zu gewährleisten.



Der Prozeßrechner ist das zentrale Glied der informationellen Leitungssysteme von Produktionsbetrieben.

Die sowjetische Steuerungsanlage »Dnepr« kann sowohl für automatische Berechnungen in der Buchhaltung, in der Eisengießerei, für ökonomische Aufgaben oder im Lotsendienst eingesetzt werden. Das hängt nur von dem der Anlage eingegebenen Programm ab.

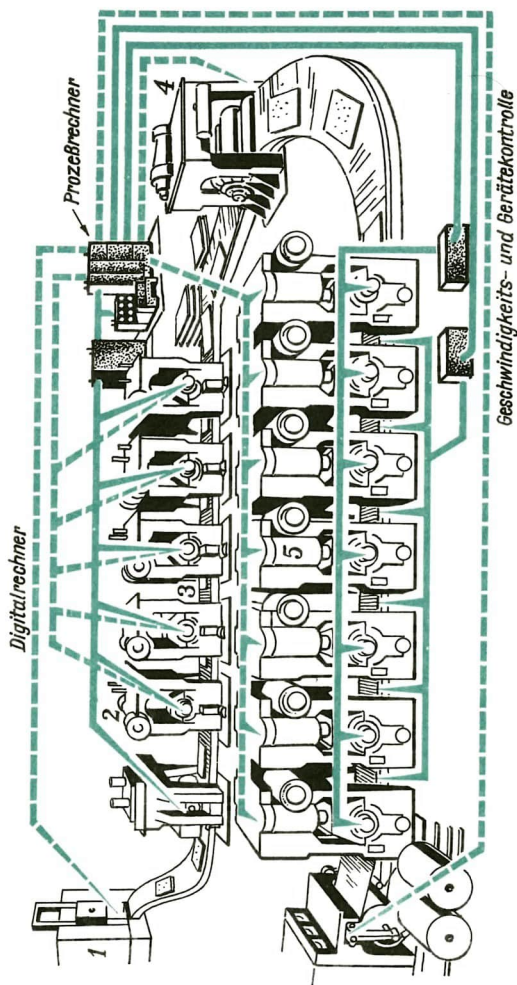
Das gesamte System besteht aus zwei Teilen, nämlich aus der Zentralanlage – einem elektronischen Rechenautomaten – und dem Steuerungskomplex. Während der Arbeit »befragt« die Maschine anhand des eingegebenen Programms mehrere hundert Geber, die an den Steuerungsobjekten angebracht sind. Dann verarbeitet sie die erhaltene Information und gibt die Steuerbefehle an die Objekte aus.

Ein Prozeßrechner kommandiert eine riesige Walzstraße.

Eine unerträgliche Hitze ausstrahlende, glühende, 20 Tonnen schwere, über einen halben Meter dicke Stahlbrammen müssen, wenn sie den Tiefofen verlassen haben, über zwölfrollige Walzgerüste geleitet werden, um hier allmählich zu dünnen Stahlblechen verarbeitet zu werden. Es erfordert Riesenkräfte – einen dicken Stahlblock in ein dünnes Blech auszuwalzen – und zugleich Juweliersgenauigkeit. Die Blechstärke darf nur um einige Hundertstel Millimeter schwanken. Während des Walzprozesses wird das Stahlstück immer dünner und länger, und wenn es das letzte Gerüst durchläuft, hat es eine Geschwindigkeit von 15 m/s, das sind fast 60 km/h! Und bei dieser Geschwindigkeit müssen die entlang der Walzstraße liegenden Kontroll- und Meßinstrumente der Steueranlage die Blechdicke und die Stahlspannungen auf den verschiedenen Etappen durchgeben. Die Regler bestimmen die Ofentemperatur und halten sie konstant, Spezialgeber fixieren Veränderungen im Metall. Der kybernetische Kommandeur sortiert alle Daten, vergleicht sie mit dem im Speicher vorgegebenen Modell des Prozesses und entscheidet momentan, wie Geschwindigkeit und Druck einzelner Walzen nachzuregulieren sind, damit das Blech die Walzstraße in der gewünschten Dicke verläßt.

Als normale Abweichung der Blechstärke vom Sollwert gelten 0,13 mm. Durch den Einsatz einer Steueranlage kann man diese Abweichung bis auf 0,076 mm, das ist fast die Hälfte, herunterdrücken!

Natürlich haben die Fachleute für Automatisierung der Produktion nicht sofort derart vollkommene Maschinen zur Steuerung technologischer Prozesse schaffen können. Als die ersten Maschinen in den Produktions-



Ein Prozeßrechner kommandiert eine Walzstraße. Die Stahlblöcke gehen durch den Ofen (1), durchlaufen mit hoher Geschwindigkeit eine Reihe von Bearbeitungsmaschinen, so die zum Beschneiden (2), eine Stauchwalze (3), den Hobel und die Schleifbank (4) und schließlich beim Durchgang durch spezielle Walzen (5) verwandeln sie sich in dünne Bleche. Die gestrichelten Linien geben die Wege an, auf denen Daten zum Prozeßrechner gelangen. Die ausgezogenen Linien sind die Befehlswege zu den Kontrollzentren und von dort zu den einzelnen Geräten.

prozeß einbezogen wurden, gab ein Mensch von Meßgeräten abgelesene Daten in die Maschine ein. Auf Grund dieser Information konnte die elektronische Rechenmaschine einen Hinweis zum Nachstellen der Steuerungsgeräte geben, was ebenfalls manuell zu machen war. Aber durch den Operator, das Zwischenglied »Mensch«, verzögerte sich einerseits der Steuerungsprozeß, außerdem war er in diesem System auch kein sehr zuverlässiges Glied. Auf der nächsten Entwicklungsstufe der Maschine waren die Meßgeräte schon unmittelbar mit der Rechenmaschine verbunden. Jetzt konnte sie selbst die für die Berechnungen nötigen Angaben weiterleiten. Doch auch hierbei mußte der Mensch noch die Reglergeräte nach den Angaben der Maschine einstellen.

Erst in der dritten Etappe der Vervollkommnung der Steuerungsprozesse wurde die vollständige Automatisierung erreicht. Zu diesem Zweck verband man die Kontroll- und Meßgeräte sowie die Steuerungsorgane unmittelbar mit der Rechenanlage. Und was geschah dann?

In einem Fachartikel lesen wir darüber: »Eine Maschine, die mit einem aus Hunderten von Kontroll- und Meßgeräten bestehenden Nachrichtenübertragungssystem verbunden ist, kann schnell und folgerichtig Nachrichten über Normabweichungen im technologischen Prozeß sammeln und sofort die Lage analysieren. Sie kann mit phantastischer Geschwindigkeit feststellen, was sich, sagen wir im Walzwerk oder in einer Chemieranlage, abspielt, wobei zur genauen Bestimmung des Prozeßablaufes Tausende von Rechnungen erforderlich sind. Nach Analyse der Lage entscheidet die Maschine schnell, wie die Ventile, Verstärker, Walzen und anderen Mechanismen nachzuregulieren sind. Danach trifft die Maschine ihre Maßnahmen. Durch die Nachrichtenwege gibt sie den Steuerorganen bestimmter Mechanismen des Aggregats ihre Befehle zur Änderung einzelner Einstellungen. Diese Operation kann die Maschine ohne jegliche Einmischung des Menschen vielhundertmal am Tag wiederholen, und das Woche für Woche. Außerdem druckt sie dann die Ergebnisse der verrichteten Arbeit in gedrängter Form aus.«

Am erfolgreichsten begann man mit dem Einsatz von Prozeßrechnern in vier Hauptproduktionszweigen: Elektroenergetik, Metallurgie, Erdölverarbeitung und chemische Industrie. Woran liegt das? Alle diese Produktionszweige gehören zu der sogenannten Fließproduktion mit einer großen Anzahl von zu regelnden Größen (Parametern).

Bei der Automatisierung der Erzeugung von Elektroenergie müssen die Angaben Tausender Kontrollgeräte einkalkuliert werden. Allein vom Anfahren der Turbinen eines Wärmekraftwerkes bis zum Lauf auf vollen Touren muß das Steuerungssystem bis zu tausend aufeinanderfolgende Kontrolloperationen ausführen: die Kühlung, den Wasserstand in den Kesseln, die Beschickung der Öfen usw. verfolgen.

Das erweist sich aber erst als Beginn der schwierigen Arbeit. Kaum ist das Aggregat angelassen, so muß die Steuerungsmaschine nach den Angaben von 1560 Meßgeräten ständig Temperatur, Druck, Dampf- fluß und Drehgeschwindigkeit der Turbinen kontrollieren. Darin besteht ihre übliche Arbeit. Wenn aber eine Havarie eintritt – in Kraftwerken kann auch das passieren –, dann tritt für sie eine zusätzliche Belastung ein. Fällt die Gaszufuhr für die Öfen aus, so führt die Steuerungsmaschine 5000 Operationen aus und schaltet auf den Reservekraftstoff Erdöl um. Wenn ein Turbinenlager defekt wird, so schaltet der Automaten-Kommandeur in wenigen Minuten den gesamten Energiegiganten aus.

Es muß noch hinzugefügt werden, daß die Maschine gleichzeitig technisch-ökonomische Kennziffern berechnet, Angaben für den Arbeitsbericht zusammenträgt und den Wirkungsgrad des Kraftwerkes berechnet.

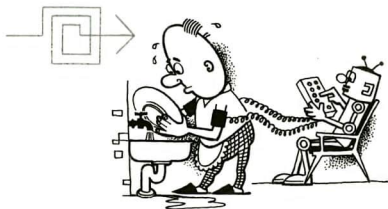
Ein weiterer wichtiger Zusatz zur vollständigen Charakterisierung eines Prozeßrechners ist dieser: Er arbeitet fehlerlos.

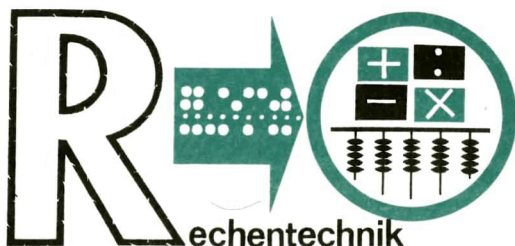
Jetzt ist der Augenblick gekommen, uns wieder an die Steuerungshierarchie, an die Existenz von niederen und höheren Ebenen zu erinnern. Einer der Initiatoren der Entwicklung von Steuerungsautomaten in der Sowjetunion, Akademiemitglied W. M. Gluschkow, formuliert die Funktionen dieser Ebenen folgendermaßen:

»Als unterste Ebene wählt man verhältnismäßig einfache, höchst zuverlässige Maschinen, deren Hauptaufgabe die Arbeit mit dem zu steuernden Objekt im tatsächlichen Zeitmaßstab ist. Jede Maschine der untersten Ebene kann bis zu mehreren Hundert von automatischen Reglern ersetzen. Die Maschinen der höheren Ebene sind schon viel komplizierter aufgebaut. Eine solche Maschine kann bis zu einigen Dutzend Automaten der unteren Ebene bedienen und beschäftigt sich im wesentlichen mit der Berechnung der Optimierung dieser Teilprozesse, mit Planung und Organisation des Systems als Ganzem.«

Jetzt ist uns klar, daß der stufenweise, hierarchische Aufbau der

Steuerungssysteme gleichsam von selbst auf den natürlichen Übergang zu Steuerungssystemen ganzer Betriebe, ganzer Kombinate, ja ganzer Produktionszweige hinweist. Damit entfällt in weitem Maße die Notwendigkeit, die Automaten ununterbrochen durch den Menschen zu beobachten. Alle Kontroll- und Steuerfunktionen sind unmittelbar in einer zentralen Anlage untergebracht. Der Mensch als Kommandeur der Produktion operiert wie ein Stratege, da er von der Lösung kleinerer operativer Aufgaben, von dem alltäglichen Produktionseinerlei, befreit ist.





Gesamtheit der Mittel zur Erleichterung und Beschleunigung von Rechenprozessen (Berechnungen) durch teilweise oder vollständige Automatisierung derselben, und zugleich auch der Zweig der Technik, der sich mit der Entwicklung, Fertigung und dem Betrieb dieser Mittel beschäftigt.

Von Pflaumenkernen zu schnellen Rechenautomaten

Ein Fremder, der sich vor 400 Jahren, zur Zeit Iwans des Schrecklichen, in Rußland aufhielt, bemerkte, daß jeder Kanzleischreiber einen kleinen Beutel mit Pflaumen- und Kirschkernen bei sich trug und damit auch arbeitete. Der Fremde schrieb: »In Rußland rechnet man mit Hilfe von Pflaumenkernen.«

Die Geschichte der Rechenhilfsmittel ist sehr lang und umfaßt mehrere Jahrtausende. Das älteste »Rechengerät«, das von Natur aus den Menschen zur Verfügung stand, waren ihre eigenen Hände — »die zehn Finger, an denen die Menschen zählen, also die erste arithmetische Operation vollziehen gelernt haben...«, wie Friedrich Engels schrieb. Es ist kein Zufall, wenn in der altslawischen Numerierung die ersten zehn Ziffern als »Finger« bezeichnet wurden.

Durch das Rechnen mit Hilfe von Kernen entstand im alten Rußland eine originelle Rechenmethode, die den Boden zur Entstehung von »Rechentafern« vorbereitete, dem Urbild der in der Sowjetunion heute noch verbreiteten Rechenbretter.

In der Ermitage werden verschiedene dieser alten Rechenbretter aufbewahrt. Zwei flache Holzkästen sind miteinander durch Scharniere verbunden und lassen sich wie ein Buch öffnen. Werden beide Hälften zusammengelegt, so entsteht ein elegantes Schmuckkästchen, das sich durch ein silbernes Häkchen verschließen läßt. Das Kästchen ist ganz aus Platten und Riegeln von Elfenbein zusammengesetzt, die durch silberne Nägel zusammengehalten werden. Es ist außen und innen mit Ornamenten verziert, als Kugeln des Rechenbrettes dienen rote und schwarze, weiß geäderte Glasperlen.

Diese kostbare Schatulle hat sicher einem reichen Manne gehört. Hieraus folgt aber keineswegs, daß die Rechentafer nur von Reichen genutzt wurde. In der Ermitage ist auch ein Rechenbrett zu sehen, das aus einem groben Kasten aus Fichtenholzbrettchen besteht, die durch Nägel zusammengehalten werden. Ein solcher »Rechenkasten« war für viele erschwinglich.

Wie verbreitet die Arbeit mit dem Rechenbrett war, zeigt z. B. eine spezielle Anleitung, die in Rußland für Rechner herausgegeben wurde. 1682 erschien in Moskau ein Buch mit dem Titel »Praktisches Rechnen für jedermann, für Kaufmann und Händler, wie er leicht herausfinden kann die Anzahl jeglicher Dinge«. Das Buch enthielt eine Multiplikationstabelle der ganzen Zahlen von 1 bis 100.

Mit der Entwicklung der Produktivkräfte wuchs auch die Bedeutung des Rechnens. Es mußte immer mehr und mehr gerechnet werden. Der Rechengang wurde speziellen Rechenmechanismen übergeben. Der Mensch entwickelte diese Mechanismen weiter, so daß sie immer schneller zu rechnen vermochten, und er verstand es, seinen unmittelbaren Anteil an der Rechenarbeit auf ein Minimum zu reduzieren. Er versah die Rechenaggregate mit Motoren, »zwang« die Maschinen, Zahlen zu »lesen«, sich zu »merken« und Zwischenergebnisse »aufzuzeichnen«.

Im Zeitalter der Automaten wurde auch die Rechenmaschine zu einem Automaten. Ihr wurde »beigebracht«, den Rechenprozeß zu steuern und zu kontrollieren.

Die Arbeitsgeschwindigkeit der Rechenautomaten wuchs ins Unermeßliche, und ihr Anwendungsbereich hat sich wesentlich erweitert.

Wege der Mechanisierung von Rechenprozessen.

Von der Tischrechenmaschine führte die Entwicklung zum schnellen elektronischen Rechenautomaten, vom einfachsten Planimeter zum komplizierten elektronischen Analogrechner, vom kleinen Rechenbüro zum leistungsfähigen Rechenzentrum.

All das steht dem Menschen zur Verfügung und gestattet ihm, arithmetische Operationen mit riesigen Zahlen in kürzester Zeit exakt und zuverlässig auszuführen, schwierige Aufgaben der höheren Mathematik zu lösen und schnellverlaufende Prozesse zu untersuchen.

Die ältesten und einfachsten Rechenhilfsmittel führten zur Schaffung des Arithmometers. Die weitere Entwicklung brachte alle möglichen Tischrechenmaschinen mit Tastatur hervor. Sie sind in Buchhaltungen, in Rechenstationen und Rechenbüros zu finden.

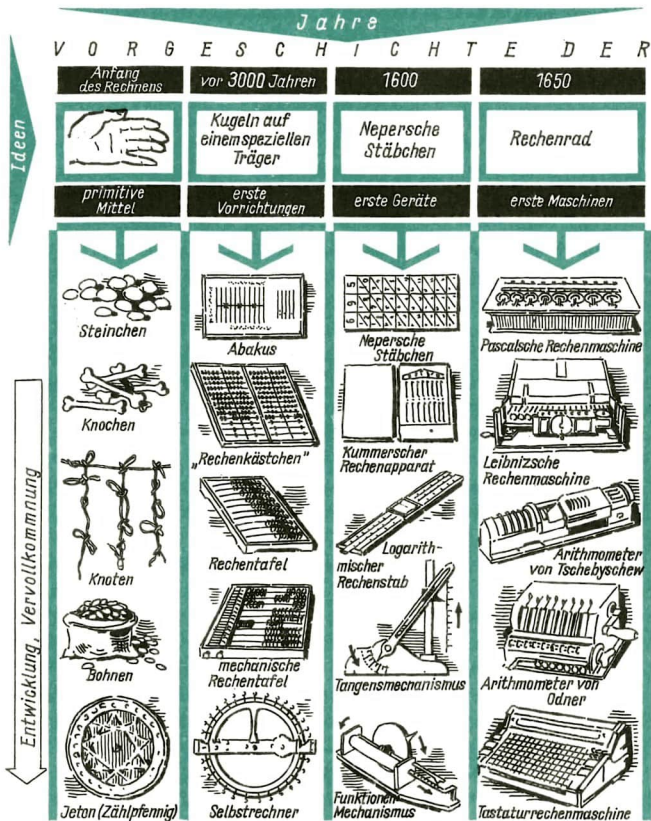
Die Rechenmaschinen im Kleinformat werden heute in zwei Hauptgruppen eingeteilt: Tastaturmaschinen zur Durchführung der vier Grundrechenarten und zu programmierende Maschinen, die, so wie auch die großen elektronischen Automaten, ganze Komplexe von Operationen beherrschen.

Ein anderer Zweig der Rechentechnik sind die Lochkartenanlagen. Sie arbeiten mit Lochkarten, die den Arbeitsprozeß der Maschine steuern. Eine vollständige Anlage von solchen Maschinen bildet eine fließbandartige Rechenlinie, in deren Verlauf die Lochkarten alle Bearbeitungsstationen durchlaufen.

Lochkartenanlagen werden auch als Tabuliermaschinen bezeichnet. Sie haben eine relativ hohe Produktivität von Zehntausenden Karten pro Stunde.

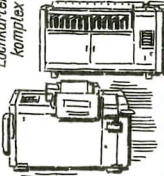
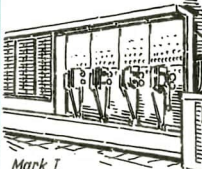
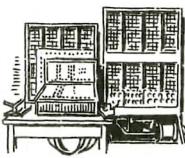
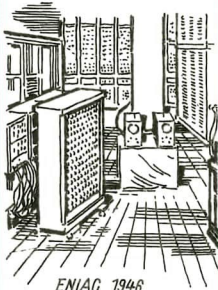
Lochkartenanlagen gehören zur Grundausrüstung jeder maschinellen Rechenstation, jedes Büros, jeder Fabrik. Sie arbeiten in Werken, in staatlichen Einrichtungen, in Instituten und landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften.

Unsere Konstrukteure sind ständig bemüht, die Lochkartentechnik weiter zu entwickeln. Die Anlagenkomplexe werden ergänzt und vervollkommnet. Es gibt heute Sortiermaschinen, Tabelliermaschinen und Vervielfältigungsmaschinen auf der Grundlage elektronischer Bau-



Die Vorgeschichte der Rechentechnik. Von links nach rechts fortlaufend wird die Entwicklung der Ideen gezeigt, vom Rechnen mit Hilfe der Finger der Hand bis zum Beginn der Konstruktion von elektronischen Rechenmaschinen.

Jahre R E C H E N T E C H N I K

1800	1850	1945
Lochkarten	Differenzierung der Funktionen in der Maschine	Trigger als elektronisches Bauelement
erste Prinzipien der Steuerung	Prinzip des Rechenautomaten	Beginn der Konstruktion moderner elektrischer R. A.
 Hollerithmaschine  Tabulator  Lochkartenkomplex  Lochkartenkomplex	 Analytische Maschine von Babbage  Mark I  Maschine von Zuse	 ENIAC 1946  Rechenautomat zu Beginn der 50er Jahre

Von oben nach unten kann man an den Zeichnungen verfolgen, wie die verschiedenen Mittel zum Rechnen vervollkommen wurden.

Ideen

Entwicklung

Jahre

G E S C H I C H T E D E R M O D E R N E N

1950

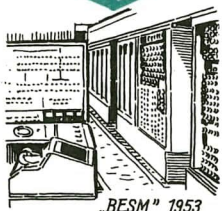
1960

Radoröhren

Halbleiter

Erste Generation

Zweite Generation



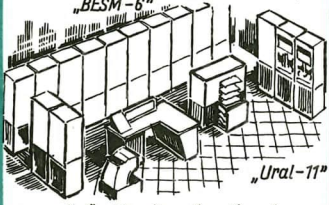
„BESM“ 1953



„Ural-2“



„BESM-6“

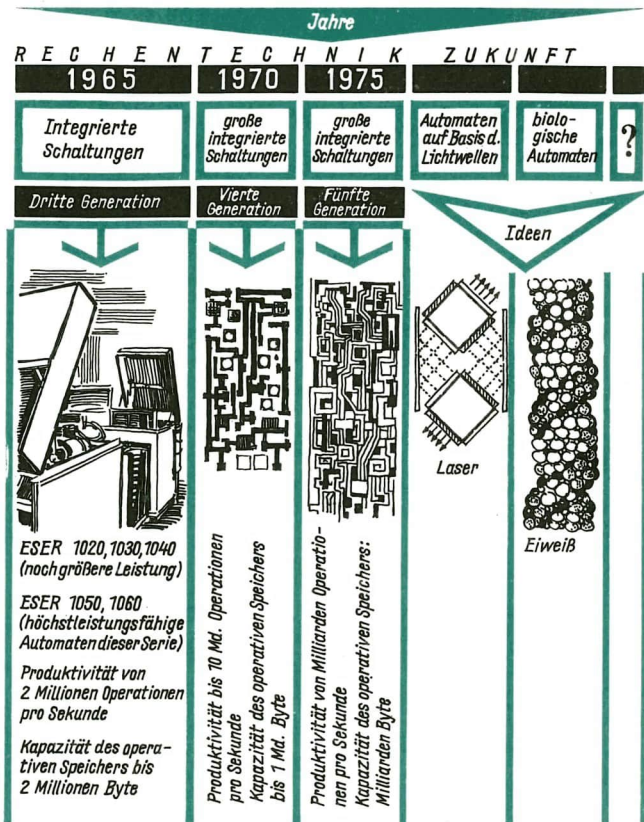


„Ural-11“



„Minsk-22“

Die Geschichte der modernen Rechentechnik. Von links nach rechts wird die Entwicklung der Ideen von der ersten Generation der ERA bis zur Konzeption neuer Generationen, der Rechenautomaten der Zukunft, gezeigt.



Von oben nach unten werden Maschinen der jeweiligen Generationen von ERA gezeigt oder jene Elemente, welche ihre Grundlage sein werden.



Tastatur-Tischrechenmaschinen

elemente. Alles das zielt auf eine Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten von solchen Rechenfließbändern und auf eine Erhöhung ihrer Produktivität ab.

In den Modellierungsanlagen bzw. -maschinen, d.h. den Analogrechnern, werden mathematische Größen nicht durch konkrete einzelne Zahlen, d.h. nicht durch sich in ihrem Betrag nur um feste Einheiten sprunghaft ändernde Daten ausgedrückt, sondern in einem bestimmten Maßstab durch stetige physikalische Größen dargestellt wie etwa Drehwinkel, elektrische Spannung oder Flüssigkeitspegel. Diese Analogrechner gestatten Rechenprozesse mit solchen Größen, die als sich kontinuierlich, stetig verändernde Werte in den Prozeß eingehen, so wie ein sich in der Stärke ändernder Wasserstrahl. Und die Antwort geben diese Maschinen nach dem gleichen Prinzip: Die Lösung erscheint nicht zu verschiedenen Zeitpunkten und in vereinzelt Zahlen, sondern stetig, kontinuierlich, z. B. als Kurve.

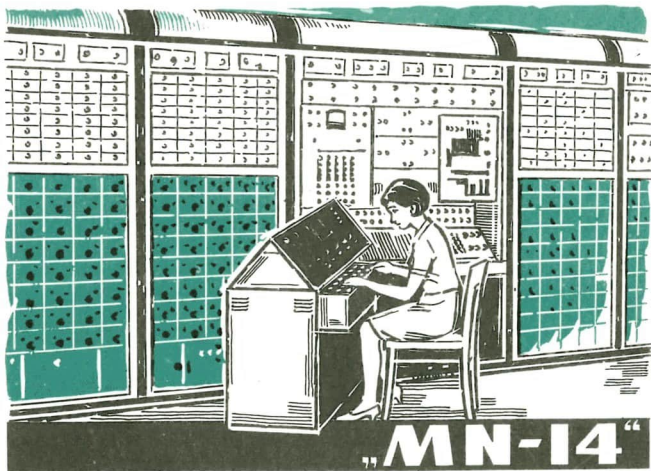
Anlagen dieser Art hat der eine oder andere von euch schon gesehen: logarithmische Rechenstäbe, mathematische Instrumente wie Planimeter, Tangensmechanismen, Pantographen u. a.

Auch hier hat die Elektronik revolutionierend gewirkt. Es sind bereits viele elektronische Modellieranlagen gebaut worden, d. h. Analogrechenmaschinen mit stetiger Arbeitsweise, die schnell und mit einer nur um wenige Prozent abweichenden Genauigkeit selbst schwierigste Gleichungssysteme lösen. Diese Maschinen sind leicht einsetzbar und zuverlässig.

Eine solche elektronische Modellieranlage ist der elektronische Integrator. Er ist der größte seiner Gruppe. Dieser Modellriese ermöglicht die Untersuchung, die Einschätzung von 70 bis 80 Berechnungsvarianten, die z. B. zur Anordnung eines Systems von 50 Förderbohrlöchern und 250 Druckbohrlöchern erforderlich ist, und er erledigt das Ganze in nur 2 bis 3 Tagen. Früher hat allein schon die Berechnung von 100 Bohrlochern die Rechenarbeit, die 200 Menschen in einem Monat leisten können, »verschlungen«.

Eine andere Maschine ist die »MN-14«. Die Ausgangsdaten werden in sie automatisch eingegeben, und die Ergebnisse werden durch eine elektrische Schreibmaschine aufgezeichnet. Nach Wunsch kann der gesamte Lösungsweg auf einem Anzeigemonitor, d. h. auf dem Lichtschirm einer speziellen Elektronenröhre, verfolgt werden. Zur Bedienung dieser Maschine sind ein Ingenieur und ein Techniker erforderlich.

Die sowjetische Industrie bringt viele Arten solcher Modellierungs-



Elektronischer Analogrechner mittlerer Kapazität

anlagen heraus. Sie alle lassen sich in drei Gruppen einteilen: »Analogmaschinen zur Integration«, »Modelle zur Lösung von Differentialgleichungen« und »Spezialisierte Modellieranlagen«.

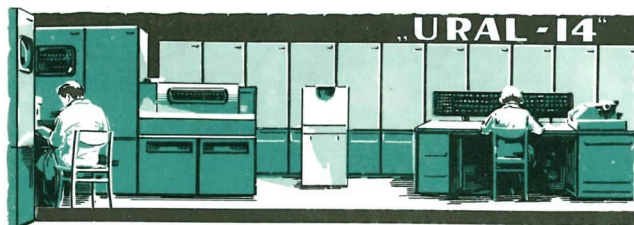
Selbst eine kleine Auswahl gibt einen Eindruck, wie groß ihre Zahl ist: »MPT-9«, »MN-8«, »MN-10«, »Integral-1«, »MN-14«, »EMSS-7«, »USM-1«.

Jedoch nehmen in dieser Welt der elektronischen Anlagen die schnellen elektronischen Ziffernrechenautomaten (elektronischen Digitalrechner) den ersten Platz ein. Die ersten Exemplare solcher Automaten tauchten in den vierziger Jahren unseres Jahrhunderts auf, aber bereits 1955 betrug die Steigerung der Produktion an elektronischen Rechenautomaten (im Vergleich zum Wachstum der verarbeitenden Industrie) in der BRD 546 Prozent, in Italien 505 Prozent und in England 303 Prozent.

In der ganzen Welt gab es 1960 etwa fünftausend, Ende 1967 bereits vierzigtausend Rechenautomaten. Man rechnet damit, daß bis Ende 1975 ihre Zahl in den USA, dem größten kapitalistischen Land, bis auf zweihunderttausend und bis 1980 auf dreihundertfünfunddreißigtausend anwächst.

In anderen industrialisierten Ländern sieht es ähnlich aus. In Frankreich gab es 1959 insgesamt zwanzig elektronische Rechenautomaten, jedoch 1969 bereits fünftausend.

Sehr schnell steigt die Produktion von mathematischen Maschinen auch in der Sowjetunion an. Ja, in den nächsten acht bis zehn Jahren wird die Sowjetunion in der Welt einen der ersten Plätze in der Produktion elektronischer Rechenautomaten einnehmen.



Eine Maschine der zahlenmäßig großen Familie der »Ural«

Die Rechenautomaten werden in Serien entwickelt und produziert. Nehmen wir die Serie »Ural«: »Ural-1«, »Ural-2«, »Ural-3«, ..., »Ural-10« und schließlich »Ural-16«. Obwohl sie alle zur gleichen Familie gehören, sind ihre Anwendungsmöglichkeiten verschieden. Insgesamt sind sie in der Lage, einen sehr großen Bereich mathematischer und logischer Aufgaben zu lösen.

Geschaffen wurde die neue Serie universeller Ziffernrechenautomaten vom Typ »MINSK« mit der Serie »MINSK-1«, »MINSK-2«, ..., »MINSK-22«, ..., »MINSK-32«. Sie sind in erster Linie für die Lösung von wissenschaftlichen und ingenieurtechnischen Aufgaben, aber auch zur Planung und Steuerung der Produktion vorgesehen. Der Automat »MINSK-22« arbeitet auf Halbleiterbasis. Er ist vorrangig zur Informationsverarbeitung bei ökonomischen Planungsberechnungen bestimmt. Er ist in der Lage, Löhne zu berechnen, alles zu erfassen, was in den Lagern vorrätig ist, Abrechnungen in der Buchhaltung auszu-

führen, statistische Materialien zu verarbeiten, die Dokumentation für Fertigprodukte zusammenzustellen und vieles andere, was in der Bedienungsanleitung des Automaten als »sonstige ökonomische Aufgaben« bezeichnet ist. Darüber hinaus kann der Automat auch Systeme algebraischer Gleichungen lösen, »und andere mathematische Operationen, die bei der Lösung wissenschaftlicher und komplizierter ingenieurtechnischer Probleme auftreten«, ausführen. Mit einem Wort: Das ist eine



Das stürmische Wachstum der Produktion von mathematischen Maschinen in der Sowjetunion

universelle mathematische Kombi, ein Meister in allen Fächern, die fähig und bereit ist, jede beliebige Aufgabe auszuführen.

Der Automat »MINSK-32« ist noch vollkommener als sein Bruder »MINSK-22«. Er rechnet fünf- bis sechsmal so schnell, der Umfang des Datenmassivs, mit dem er arbeitet, ist achtmal größer. Der Automat kann mit 136 Außeneinrichtungen arbeiten. Er wird durch eine Bedienungsperson mit Hilfe einer Schreibmaschine gesteuert.

Der Universalautomat »Naire« ist für wissenschaftliche Forschungsinstitutionen sowie Projektierungs- und Konstruktionsbüros bestimmt, in denen die Lösungen von ingenieurtechnischen, wissenschaftlichen, ökonomischen und statistischen Aufgaben gefragt sind. Diese nach dem Prinzip der Mikroprogrammierung rechnende Maschine entspricht in ihrem Aufbau dem System der automatischen Programmierung.

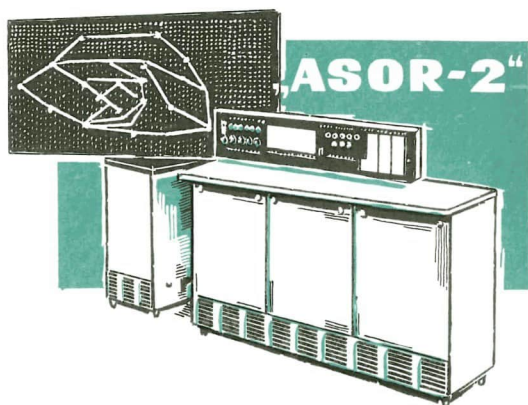
Auf keinen Fall dürfen wir auch an einem anderen der kleinen Automaten vorbeigehen: dem »Promin«. Äußerlich ist er ein kleiner Tisch, in dessen Platte das Kommandopult untergebracht ist, und die gesamte Anlage befindet sich darunter. Mit dieser Maschine lassen sich ingenieurtechnische Aufgaben von mittlerem Schwierigkeitsgrad lösen und Berechnungen ausführen, die nicht allzu groß sind.

Ein interessanter Automat ist »MIR«, der ungeachtet seiner geringen Ausmaße viele Gleichungssysteme und Aufgaben zur linearen Optimierung lösen, Netzwerke durchrechnen und eine ganze Reihe komplizierter mathematischer Operationen ausführen kann, wie etwa die analytische Transformation von Formeln und die Lösung von Buchstabengleichungen.

Der geistige Vater der Rechenautomaten vom Typ »MIR«, Held der sozialistischen Arbeit Akademiestandmitglied W. M. Gluschkow, charakterisierte seine Schöpfung folgendermaßen: Der Automat kann 12 000 Symbole speichern, das sind 6 bis 7 Seiten Text. Er kennt »von Geburt an« die wichtigsten Formeln, die wir in der Schule lernen, und kennt sogar einiges aus dem Hochschulstoff. Der Automat erhielt den Beinamen »elektronischer Ingenieur«. Er ist ein unentbehrliches Hilfsmittel für alle Fachleute, die sich in ihren Untersuchungen der Mathematik bedienen.

In die Rechenautomaten von Typ »MIR« werden die Aufgaben mit Hilfe der in der Mathematik üblichen Wörter, Zahlen, Formeln und Bezeichnungen eingegeben. Es ist keine Übersetzung in eine spezielle Maschinensprache erforderlich — das ist sehr bequem.

Eine besondere Variante dieser Automatenreihe verarbeitet Infor-



Ein Hybrid-Rechner: In ihm ist das Prinzip der Ziffernrechenmaschine und der Modellierungsmaschine (Analogrechenmaschine) vereint.

mationen, die mit Hilfe des Lichtschreibers auf einem speziellen Bildschirm in graphischer Form eingegeben werden.

Die »Generale« der sowjetischen Rechentechnik sind jedoch die Automaten vom Typ »BESM«. Sie gehören zu den mathematischen Großanlagen. Bei ihnen handelt es sich um zuverlässige, schnelle, universelle, die schwierigsten mathematischen Aufgaben lösende Automaten großer Kapazität.

Der Erstling in dieser Familie war »BESM-1«. Er wurde von einem Kollektiv von Wissenschaftlern und Ingenieuren unter Leitung des Helden der sozialistischen Arbeit, Akademiemitglied S. A. Lebedew, geschaffen. Dieser Automat war damals der beste in Europa. Er konnte 8000 und nach weiterer Vervollkommnung sogar 10 000 Operationen pro Sekunde ausführen. Der Automat hatte einen guten Speicher mit großer Kapazität und geringen Zugriffszeiten.

Heute ist dieser Automat nur noch historisch bemerkenswert, und er wurde inzwischen demontiert. An seine Stelle trat ein neues Geschlecht: »BESM-2« und »BESM-3«. Diese Automaten führen eben-



Ein Ziffernrechenautomat von großer Leistungsfähigkeit

falls Tausende von Operationen pro Sekunde aus und haben darüber hinaus einen ungeheuer großen Speicher: bis zu 4 Millionen Wörter!

Ein weiteres Modell war der Automat »BESM-4«. Er erhielt auf der internationalen Ausstellung der Mechanisierungsmittel für ingenieurtechnische und leitungsorganisatorische Arbeiten 1966 in Moskau ein Diplom.

Die Entwicklung blieb aber nicht dabei stehen, es kam der »BESM-6«, ein Riesenautomat, aber nicht wegen seines Ausmaßes, sondern wegen seiner Leistung. Obwohl viel kleiner als sein Urgroßvater »BESM-1«, leistet er eine Million Operationen pro Sekunde! Eine solche Anlage ist zur Bewältigung weitreichender, schwieriger Aufgaben in Wissenschaft, Technik und Volkswirtschaft vorgesehen, die einen sehr großen Rechenaufwand erfordern.

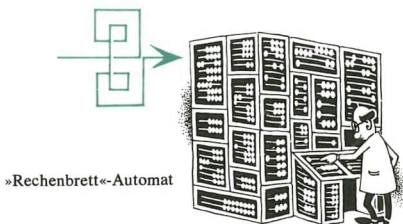
Bei der Konstruktion des Automaten wurde das Allerneueste aus dem Erkenntnissschatz der Rechentechnik verwendet. Im Automaten »BESM-6« wurde das Prinzip der parallel-gleichzeitigen Operationsausübung angewendet, d. h., der Automat kann gleichzeitig mehrere

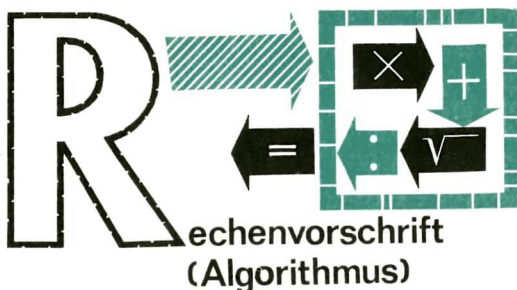
Aufgaben lösen. Die Anfangsdaten können auf Lochkarten, Lochbändern, Magnettrommeln oder Magnetbändern, ja sogar über das Telefonnetz eingegeben werden. Die überschnellen Zugriffszeiten zum Speicher tragen wesentlich zur Erhöhung der Produktivität des Automaten bei. An ihm können mehrere Bedienungskräfte an mehreren Kommandopulten gleichzeitig arbeiten. Seine Konstrukteure wurden 1969 mit dem Staatspreis ausgezeichnet.

Die allerneuesten Automaten verarbeiten nicht nur Ziffern, sondern operieren auch mit Buchstaben, Sätzen und Texten. Die Informationen können ihnen per Telefon oder Telegraf aus großen Entfernungen eingegeben werden. Sie nehmen in ihr »Gedächtnis« die verschiedenen Nachrichten unmittelbar mittels gedruckter oder handgeschriebener Texte auf. Es ist möglich, die Daten auch als Zeichnungen mit dem Lichtschreiber in den Pult-Bildschirm einzutragen.

Für diese neuen Automaten sind solche wichtigen Parameter wie hohe Arbeitsgeschwindigkeit und große Kapazität des »Gedächtnisses« schon nicht mehr ausreichend. Bei ihnen tritt jetzt die Effektivität der Arbeitsweise, die Produktivität der Gesamtanlage an die erste Stelle.

In der UdSSR und den Ländern der sozialistischen Staatengemeinschaft wurde im Rahmen des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe (RGW) ein gemeinsames Vorgehen bei der Entwicklung eines Einheitssystems der Elektronischen Rechentechnik (ESER) vereinbart. Sieben Modelle der modernen Rechenautomaten der dritten Generation wurden konstruiert. Alle Typen sind untereinander vereinbar in Arbeitsweise und Konstruktion, können nach einheitlichen Programmen arbeiten und verwenden ein einheitliches System von Ein- und Ausgabegeräten.





Vorschrift, die den Inhalt und die Reihenfolge von Operationen festlegt, welche Ausgangsdaten in ein gesuchtes Resultat umwandeln.

Regeln für alle

Am 12. Februar 1535 herrschte in der italienischen Stadt Bologna ein lebhaftes Treiben. Aus allen Teilen Italiens, ja selbst aus anderen Ländern Europas kamen Mathematiker, geschickte Rechenkünstler und Liebhaber interessanter Wettstreite hierher. An diesem Tag begann ein mathematisches Turnier.

Die Bekanntmachung über die Teilnahmebedingungen lautete: »Der Mathematiker Fiore ruft einen jeden auf, der sich mit ihm in der Kunst, Gleichungen dritten Grades zu lösen, messen will. Es soll derjenige gewinnen, der die meisten der ihm von seinem Gegner gestellten Aufgaben löst.«

Nicolo Tartaglia, ein wenig bekannter Lehrer der Mathematik, nahm diese Herausforderung an.

Er löste alle dreißig Aufgaben, die ihm Fiore gestellt hatte, und wurde Turniersieger, denn Fiore scheiterte an allen Aufgaben Tartaglias.

Wie war es möglich, daß Nicolo Tartaglia einen so glänzenden Sieg erringen konnte und keinen Zweifel an seiner Überlegenheit gegenüber seinem Gegner ließ?

Die Antwort hierauf liefern die dem Turnier vorangegangenen Ereignisse.

Etwa zehn Jahre zuvor war Scipione del Ferro, Professor der Mathematik an der Universität in Bologna, gestorben. Kurz vor seinem Tod war es ihm gelungen, eine allgemeine Lösungsmethode dieser sehr schwierigen Aufgabe zu finden. Den Erfolg seiner vieljährigen Bemühungen teilte er nur seinem Schwiegersohn und Amtsnachfolger dal Nave mit. Auf unbekannte Weise erfuhr Fiore von dieser Methode. Als er sich mit der Lösungsmethode vertraut gemacht hatte, die zu finden es bislang weder den Griechen noch den Arabern, noch den Gelehrten des mittelalterlichen Europas gelungen war, lud Fiore zu diesem Wettbewerb der Mathematiker ein.

Fiore war überzeugt, daß ihm der Besitz der Lösungsformel den Sieg garantiere. Aber er sollte sich irren.

Der geniale, sehr begabte Tartaglia glaubte, als er die Einladung annahm, fest daran, Fiore leicht besiegen zu können. Doch ganze zehn Tage vor Eröffnung des Turniers erfuhr er, daß Fiore die Methode des verstorbenen Scipione del Ferro kenne. Durch eine gewaltige Geistesanstrengung erarbeitete sich nun Tartaglia in den wenigen ihm verbleibenden Tagen eine noch vollkommenere Methode, und sie brachte ihm den glänzenden Turniersieg ein.

Der Algorithmus, die Lösungsmethode von Tartaglia, der später von dem italienischen Mathematiker Cardano vervollkommenet wurde, hat bis heute als allgemeine Lösungsmethode für kubische Gleichungen seine Gültigkeit behalten.

Was ist ein Algorithmus? Was ist das für ein universelles Instrument zur Lösung von Aufgaben?

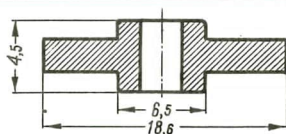
Viele werden schon einmal gelehrige Hunde bewundert haben, wenn diese im Zirkus ihre »Rechenkunst« zeigten. Sie »addieren« einstellige Zahlen. Der Hund bellt (auf ein für das Publikum unmerkliches Signal seines Herrn hin) dreimal, wenn man ihn vor die Ziffer 3 stellt, fünfmal, wenn er die Ziffer 5 sieht. Wenn nun zwischen beiden Ziffern das Zeichen + steht, so bellt der Hund achtmal.

Die fortgesetzte Addition der Eins wird im gegebenen Fall rein mechanisch, ohne Verständnis des Vorganges ausgeführt.

Diese Art Addition ist die einfachste. Die Ausführungsregel läßt sich

*Operations-technologische Karte
zur Fertigung des Werkstückes Nr. 138*

Lfd. Nr.	Operationsbezeichnung	Werkbank	Werkzeug	Vorrichtung	Meß-instrument	Schnitt-länge
1	Stirnseite	Revolver-drehmaschine	Schneidwerk-zeug Nr. 77159	Zange Support $\phi 18$	Mikrometer	19



Für die Fertigung eines Werkstückes notwendige technologische Karte

sehr einfach einprägen: Auf einem Rechenbrett schieben wir so viele Kugeln zur Seite, wie die erste Ziffer angibt, und fügen so viele Kugeln hinzu, wie die zweite Ziffer angibt. Danach zählen wir die Summe ab.

Unter Verwendung dieser Regel ist ein Schüler der ersten Klasse in der Lage, mit seiner Schultrechentafel einstellige Zahlen zu addieren. In der Mathematik spricht man anstelle von »Rechenregel« von »Algorithmus«. Wenn wir eine zu lösende Aufgabe mit einem Schloß vergleichen, so ist der Algorithmus ihrer Lösung der Schlüssel zur Öffnung dieses Schlosses.

Algorithmen werden zur Lösung der verschiedenartigsten Aufgaben herangezogen. Die Mathematik kann ohne ihre Technologie, d. h. ohne Verfahren zur Lösung mathematischer Aufgaben, nicht auskommen.

Das Wort »Algorithmus«, d. h. »Regel«, hat heute einen sehr weiten Sinn. Es ist die genaue Angabe über den folgerichtigen Lösungsweg einer ganzen Klasse schwieriger Aufgaben mit Hilfe einer Reihe einfacher Operationen. Mit anderen Worten: Ein Algorithmus ist eine Anleitung zum Handeln beim Lösen von Aufgaben. Er läßt sich auch in die Form kurzer Befehle einkleiden, die exakt auszuführen sind.

Ein Beispiel einer solchen Anleitung zum Handeln ist der Euklidische Algorithmus. Er dient zur Bestimmung des größten gemeinsamen

1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	b	k	a^2	$27,5 a^2$	$174,2 b$	$(5+6)$	$\sqrt{k}$	$M = (\frac{7}{8})$
1,37	0,81	15,6	1,87	51,614	141,102	192,716	3,950	48,789
1,39	0,94	12,7	1,93	53,132	163,748	216,880	3,564	60,853

$$M = \frac{27,5 a^2 + 174,2 b}{\sqrt{k}}$$

Technologische Karte, notwendig für Rechenvorgang

Teilern zweier Zahlen a und b . Diese Anleitung enthält fünf Anweisungen bzw. Operationen:

Erstens: Betrachte beide Zahlen: a und b . Gehe zur nächsten Operation über.

Zweitens: Vergleiche beide Zahlen nach der Größe ($a = b$ oder $a < b$ oder $a > b$). Gehe zur nächsten Operation über.

Drittens: Wenn die beiden Zahlen gleich sind, so ist der Rechenvorgang zu beenden, da jede das gesuchte Ergebnis liefert. Wenn die Zahlen ungleich sind, so geh zur nächsten Operation über.

Viertens: Wenn die erste Zahl kleiner ist als die zweite, so vertausche ihre Plätze. Gehe zur nächsten Operation über.

Fünftens: Ziehe die zweite Zahl von der ersten ab. Betrachte den Subtrahenden und den Rest. Gehe zur zweiten Operation über.

Nach Durchführung aller fünf Operationen muß man also wieder zur zweiten zurückkehren, von dieser zur dritten usw., bis schließlich die zu betrachtenden Zahlen gleich sind. Erst dann ist die Berechnung beendet.

Für die Buchstaben a und b könnt ihr Zahlen einsetzen, etwa 21 und 14. Versucht einmal, ihren größten gemeinsamen Teiler mit Hilfe des Euklidischen Algorithmus zu bestimmen.

Unser Suchen nach Algorithmen erinnert an eine Anekdote, die wahrscheinlich von Mathematikern erdacht wurde.

Ein Mathematiker wurde einst danach gefragt, ob er eine Suppe kochen könne. Er antwortete folgendermaßen:

»Zuerst muß ich die Aufgabe formulieren. Gegeben sind ein Topf,

ein Gasherd, ein Liter Wasser und ein Beutel kochfertiger Suppe. Es besteht die Aufgabe, die Suppe zu kochen. Sie läßt sich lösen mit Hilfe einer gewissen Konstruktion z : Das Wasser wird in den Topf gegossen, der Topf auf den Herd gestellt und das Gas angezündet. Wenn das Wasser zu sieden beginnt, wird der Beutelinhalt zugegeben. Nach 10 Minuten wird das Gas abgedreht.«

»Wenn aber der Topf schon auf der Gasflamme steht?«

»Dann ist die Aufgabe zwar schwieriger, aber die Lage ist nicht hoffnungslos. Im gegebenen Fall ist eine Konstruktion z_1 anzuwenden: Löschen der Gasflamme, Wegnehmen des Topfes vom Herd, Umfüllen des Wassers in ein anderes Gefäß. Damit ist die neue Aufgabe auf die alte zurückgeführt, die ich bereits lösen kann. Damit ist auch die neue Aufgabe lösbar: Ich bin in der Lage, eine Suppe zu kochen, wenn der Topf schon auf der Gasflamme steht.«

Ihr werdet einwenden, ob es sich denn lohnt, ein so aufwendiges Verfahren zu entwickeln, nur um den größten gemeinsamen Teiler dieser einfachen Zahlen zu finden. In diesem Falle habt ihr sogar recht. Es gibt aber auch kompliziertere Fälle, und für diese ist es wichtig, einen Algorithmus zu kennen und ihn anwenden zu können.

Jeder Algorithmus muß als Anleitung zum Handeln bestimmte Forderungen erfüllen: Es ist notwendig, daß er nicht nur zur Lösung irgendeiner einzelnen Aufgabe, sondern für alle Aufgaben eines gegebenen Typs anwendbar ist. Er könnte nicht als Anleitung zum Handeln dienen, wenn er nur für ein Zahlenpaar, etwa für 21 und 14, anwendbar wäre.

Um einen Algorithmus zu finden und auszuarbeiten, muß man umfassende Kenntnisse besitzen und viel schöpferische Kraft investieren. Aber ist einmal ein Algorithmus gefunden, so ist der Lösungsweg, jeder einzelne Rechenschritt vorgeschrieben. Zur Lösung der Aufgabe braucht man nur die Anweisungen exakt zu befolgen, es ist ein rein mechanisches Vorgehen.

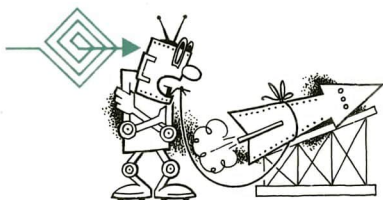
Und eben dabei kommt uns der Gedanke: Sollte es nicht möglich sein, eine solche mechanische Tätigkeit einer Maschine zu übertragen? Jawohl, das geht. Als Beweis dafür dienen die elektronischen Rechenmaschinen. Wissenschaftler und Ingenieure sind heute in der Lage, die Lösung einer beliebigen Aufgabe zu automatisieren, falls nur ein Lösungsalgorithmus für sie existiert.

Wie ein roter Faden zieht sich das Ringen um Algorithmen durch die

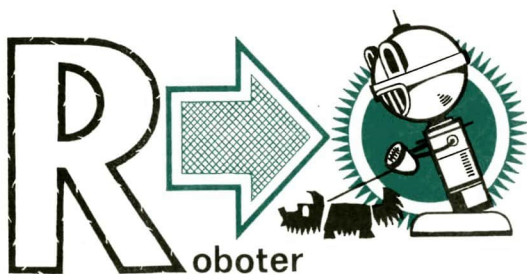
gesamte Geschichte der Mathematik. Jeder neue Algorithmus ist ein Weg zu neuen Lösungen von Aufgaben und Problemen. Und je einfacher und kürzer ein Algorithmus ist, um so näher sind wir der Lösung noch ungeklärter Probleme der Mathematik, die sich hinter komplizierten Formeln und Gleichungen verstecken.

Gegenwärtig wird besonderer Wert auf die Schaffung solcher Algorithmen gelegt, die speziell für die maschinelle Lösung von Aufgaben geeignet sind. Algorithmen spielen in der Rechentechnik eine große Rolle, man kann sogar sagen, die wichtigste.

Die Fachleute sagen, daß in unserer heutigen Zeit, in der sich die maschinelle Mathematik schnell entwickelt und die elektronischen Rechenautomaten bereits gewohnte Instrumente geworden sind, die Notwendigkeit, Algorithmen zu finden, immer häufiger auftritt. Wenn ein Algorithmus gefunden ist, so kann man ein Programm aufstellen, nach dem der Automat eine beliebige Aufgabe aus der betrachteten Serie lösen kann. Da ein Rechenautomat sehr schnell rechnet und in Zukunft noch schneller rechnen wird, ist das Auffinden eines Lösungsalgorithmus für einen bestimmten Aufgabenkreis von sehr großem Wert. Es ist vorteilhafter eine allgemeine Lösungsmethode für eine große Zahl gleichartiger Aufgaben zu finden und den Lösungsprozeß selbst einer Maschine anzuvertrauen, als für jede einzelne Aufgabe ein spezielles Verfahren zu suchen und sie dann mit Hilfe eines Rechenautomaten oder von Hand zu lösen.



Wurzel ziehen



Ein Automat, der als Modell dem Menschen äußerlich ähnlich ist und der unermüdlich bestimmte nützliche Arbeiten verrichtet.

»Erik«, »Tinker«, »Sibirjak« und andere

Heute braucht man wohl niemandem mehr zu erklären, was ein Roboter ist. Wir haben uns schon an diese ungelenken, schwerfälligen metallischen Abbilder des Menschen gewöhnt, an ihre Röhrenaugen, Antennenohren und ihre monotone Stimme. Roboter setzen uns heute nicht mehr in Erstaunen, wir behandeln sie wie gute alte Bekannte.

Die Roboter haben eine lange und interessante Geschichte.

Schon im Altertum wurde durch Ptolemäus von Philodelfheia, so sagt es die Legende, der erste »mechanische Mensch« erbaut. Sein um viele Jahrhunderte jüngerer Kollege ging unter dem Namen »eiserner Mensch« in die Geschichte ein. Er wurde vor mehr als 700 Jahren von Albertus Magnus erbaut. Seitdem lebt er auch auf den Seiten vieler Dutzender Bücher.

Die mechanischen Menschen eroberten sich verschiedenartige, zum größten Teil recht feinfühligte Fertigkeiten. Es gab besonders viele Flötenspieler, Trommler, Tänzer und Schreiber. Seltener Roboterberufe waren Maler, Bäcker und Friseur. Sie alle waren unabhängig von ihrer »professionellen Zugehörigkeit« mit größter Meisterschaft hergestellt.

Von der Kunst ihrer Schöpfer spricht folgender Fall. Der berühmte französische Mechaniker Jacques Vaucanson wollte einen Webautomaten bauen. Das erfuhren die Weber von Lyon. Ihnen gefiel die Idee des Erfinders nicht, und sie beschlossen, ihn zu verprügeln. Daraufhin baute der bekannte Mechaniker den Webern zum Hohn einen Esel, der an einem Webstuhl arbeitete.

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts erlosch das Interesse an mechanischen Nachahmungen des Menschen. Aus den geräuschvollen Paradesälen der Schlösser und Königspaläste siedelten die »mechanischen Menschen« in die stillen Säle der Museen über. Hier konnten diese »leblosen Menschen«, die einst der Aristokratie zum Zeitvertreib gedient hatten, ausruhen.

Uns interessieren die künstlichen Puppen nicht wegen ihres ungewöhnlichen Schicksals, sondern in erster Linie deshalb, weil sie am Anfang des Weges stehen, den die Entwicklung der Automaten gegangen ist.

Neue Zeiten brachten neue Ideen mit sich. Im Zeitalter der Elektrizität begann man »elektrische Menschen« zu bauen. Sie hoben sich vorteilhaft von ihren mechanischen »Verwandten« nicht nur durch ihre Wirkungsweise ab, sondern auch dadurch, daß sie viel mehr menschenähnliche Funktionen ausführen konnten. Die früheren mechanischen künstlichen Menschen konnten nämlich immer nur eins: zeichnen oder Zither spielen oder schreiben o. ä.

Sehen wir uns dagegen den »elektrischen Menschen« an. Sein Erbauer, ein amerikanischer Ingenieur, gab ihm den ehrenvollen Namen »Mister Telewoks«. Er war sehr grobschlächtig aus Würfeln zusammengesetzt, Augen und Nase waren aufgemalt. Äußerlich stand er seinen Vorgängern in vielem nach, dafür konnte er aber mehr tun als diese.

»Telewoks« bewachte pausenlos die Wasserbehälter in einem amerikanischen Wolkenkratzer. Er achtete auf den Wasserstand und schaltete die Pumpen ein.

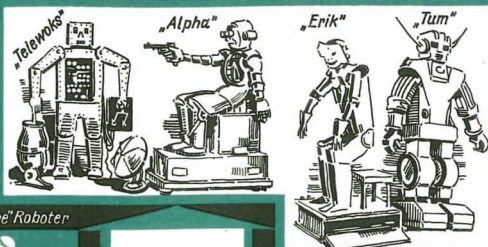
»Telewoks« war mit einem Apparat zur Erzeugung von Lauten ausgerüstet und konnte einige Sätze sprechen. Der Roboter antwortete auf telefonische Anfragen über den Wasserstand und die Tätigkeit der Pumpen.

Heute verrichten in vielen automatisierten Produktionsstätten automatisierte Dispatcher ähnliche Arbeiten wie damals »Telewoks«.

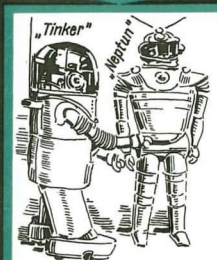
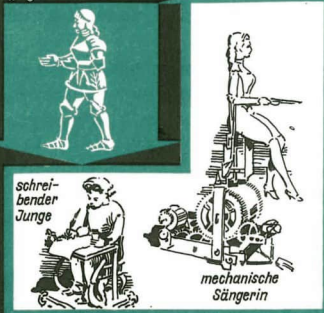
Neben ernsthafter »beruflicher« Tätigkeit konnte »Telewoks« auch

ROBOTER

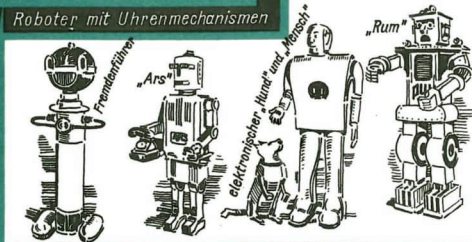
Elektrische Roboter



„mythische“ Roboter



Roboter mit Uhrenmechanismen



Elektronische Roboter

Die Roboter haben eine lange und interessante Geschichte. Und was für Roboter wird es künftig geben?

Hausarbeit verrichten. Er brachte einen Staubsauger und einen Ventilator in Gang, schaltete Lampen im Zimmer ein, öffnete die Fenster und schloß die Türen.

»Mein Roboter ist, wenn man von seiner Hülle absieht«, sagte der Erfinder, »eine automatische Telefonzentrale, die statt Fernsprechteilnehmer einige Elektromotoren miteinander verbinden kann.«

Diese Elektromotoren setzten die Mechanismen für alle vorgesehenen Tätigkeiten von »Telewoks« in Gang. Mit anderen Worten — dieser Roboter war ein typischer Vertreter der »elektrischen Menschen«.

Eng verwandt mit »Telewoks« waren auch andere seiner Zeitgenossen. Dazu gehören der »Engländer« »Erik«, die Roboter »Alpha«, »Willi« und viele, viele andere.

Heute sind Roboter elektronische Geschöpfe. Einer von ihnen, ein elektronischer »Bewohner« von Kaliningrad, erklärt auch entsprechend: »Ein Herz habe ich nicht. Ich komme mit Transistoren und komplizierten elektronischen Baugruppen aus.«

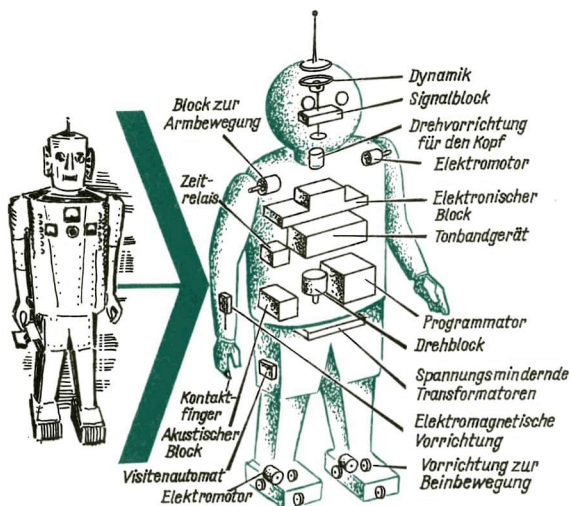
Der Roboter »Sibirjak«.

Dieser Roboter kann als Führer durch Ausstellungen sowie als Verkäufer von Losen und Büchern eingesetzt werden, er kann Waren anpreisen und den Fußboden bohren.

Der Roboter besteht aus 19 Blöcken. Die wichtigsten sind der Steuerblock für den Kopf und die rechte Hand, der Block zur Beinbewegung und zur Körperdrehung. Sehr wichtig für den »Sibirjak« sind die Programmieranlage und das Zeitrelais.

Die Omsker Erfinder beschreiben ihren Roboter folgendermaßen:

»Der Roboter wird vom Netz gespeist. Durch ein auf akustische Signale reagierendes Relais wird ein Strom mit einer Spannung von 27 V zum Programmator gerichtet. Dort wird er in Programmimpulse umgewandelt. Auf diese Weise werden zwei verschiedene Programme als Impulse in den Steuerblock für die Beine eingegeben. Beim ersten erfolgt die Vorwärtsbewegung, während für Wendungen und für die Rückwärtsbewegung das zweite Programm dient. Wie erfolgt beispielsweise eine Wendung? Vom Programmator gelangt ein Befehl zum Steuerblock. Die Stromversorgung des entsprechenden Elektromotors wird eingeschaltet. Nach der Richtungsänderung wird ein neuer Befehl zum Halteblock gesandt, der den Elektromotor wieder ausschaltet. Dann wird ein Magnetofon



Der Roboter »Sibirjak« wurde in der städtischen Lehranstalt für technische Berufsausbildung in Omsk entwickelt.

mit aufgezeichnete Rede eingeschaltet, und im Ergebnis der ganzen Aktion hat sich der Roboter in eine bestimmte Richtung gewandt und erklärt z. B. den Ausstellungsbesuchern dieses oder jenes Exponat.

Etwas komplizierter ist die Bewegung der rechten Hand: Gleichzeitig mit dem Elektromotor schaltet sich eine Anlage ein, die beispielsweise Lose verteilt, die sich in der Tasche des Roboters befinden. Der Roboter hält ein Los fest, indem er es zwischen seine Kontaktfinger klemmt. Sobald ein Besucher das Los wegnimmt, berühren sich die Kontakte zwischen den Fingern, und es wird der Befehl »zurück zu Null« ausgelöst. Zum Elektromotor der Hände fließt Strom, und der Roboter geht in seine Ausgangsstellung zurück.«

Diese »elektronischen Menschen« können vieles von dem verrichten, was Menschen tun können.

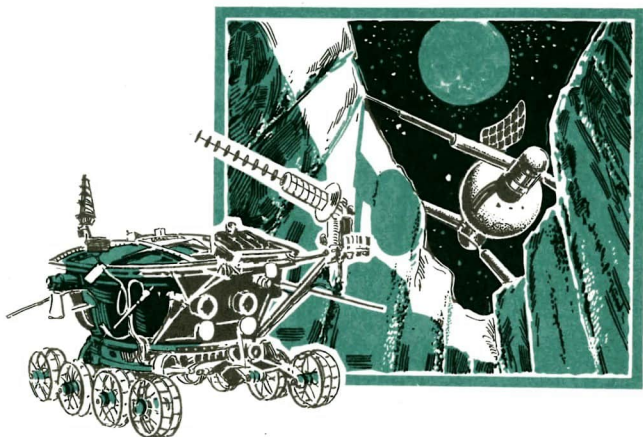
Sehr breit ist das Spektrum ihrer Berufe, die ein und derselbe Roboter ausüben kann. Einige Roboter besitzen Besonderheiten, die nur ihnen als

Robotern eigen sind: Sie können mit Sinnesorganen ausgestattet sein, die der Mensch nicht besitzt. So kann der Roboter »GPTU« nicht nur sehen, hören, Wärme empfinden, Hindernisse bemerken und sie geschickt umgehen, sondern auch auf Radioaktivität reagieren. Einige Meter vor der Gefahrenzone zeigt er die Gefahr durch verschiedene Signale an.

Der sowjetische Universalroboter, der auf der Weltausstellung in Osaka große Wertschätzung erfuhr, kann gehen, Hände und Kopf bewegen, nach einer Musik tanzen, durch Radioempfang siebenundzwanzig verschiedene Kommandos ausführen, sehen, die Sprache »verstehen«, mit Hilfe eines elektronischen Rechenautomaten Aufgaben lösen, Musik »empfinden« und sie auf seinem Bildschirm sogar durch ein farbiges Feuerwerk begleiten und vieles andere mehr.

Sehr interessant sind sogenannte »intelligente« Roboter.

Solch ein Roboter-Automat kann technische Zeichnungen lesen, die Form von Gegenständen unterscheiden und ihre Lage bestimmen, Gegen-

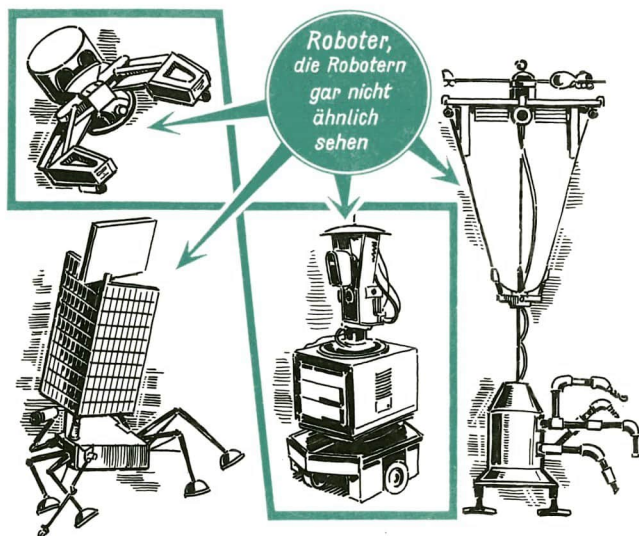


Lunochod – der erste kosmische Roboter. In Zukunft wird er sicher anders aussehen, vielleicht wie ein schreitender Riese, der mit Leichtigkeit gewaltige Risse und Krater überwinden kann.

stände abtasten und nach einem vorgegebenen Programm Einzelstücke montieren.

Dieser Roboter hat »Augen« in Form von zwei Fernsehkameras: Die eine liest technische Zeichnungen, und die andere sucht die nötigen Einzelstücke aus. Er hat »Hände« – nämlich Manipulatoren. Durch einen drehbaren »Unterarm« und ein »Handgelenk« mit zwei »Fingern« besitzt der Manipulator viele Bewegungsmöglichkeiten. Er hat auch ein »Gehirn«, nämlich einen elektronischen Rechenautomaten mittlerer Größe.

Der Roboter beginnt seine Tätigkeit mit dem Lesen technischer Zeichnungen. In dieser Zeit erarbeitet das Gehirn einen Montageplan. Danach betrachtet die Fernsehkamera, das zweite »Auge«, die Einzel-



Das Nachdenken über menschenähnliche Maschinen führt zu dem Ergebnis, daß Roboter, die funktionell für verschiedene Operationen geeignet sind, wahrscheinlich mehr niederen Lebewesen wie Spinnen, Raupen und Schnecken ähneln werden.

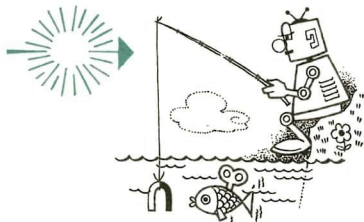
stücke und vergleicht ihre geometrische Gestalt mit der beim Lesen der Zeichnung »gesehenen«. So werden die benötigten Einzelteile herausgesucht. Nach der Kontrolle geht vom »Gehirn« des Roboters ein Signal zur »Hand«, und diese greift die Einzelteile vorsichtig nacheinander auf und montiert sie entsprechend der Zeichnung.

Heute gibt es in der Welt nur einige hundert solcher Roboter, ihr Einsatz beginnt gerade erst. Aber bereits in nächster Zukunft wird es Tausende und Zehntausende von ihnen geben. Das Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR I. I. Artobolewski ist davon überzeugt, daß »in absehbarer Zukunft alle manuellen Operationen in den Produktionsbetrieben von Robotern ausgeführt werden, die mit Tast-, Seh- und Hörorganen ausgestattet sind, von Robotern, die dabei als selbstlernende Systeme funktionieren, die die Eigenschaft der Adaption an die Produktionsaufgaben besitzen und die komplizierte logische Aufgaben selbständig lösen werden«.

Heute testen »elektronische Menschen« Kraftwagen und Flugzeuge, arbeiten in Werkabteilungen mit gesundheitsschädigenden Tätigkeiten, tauchen in die Tiefen des Ozeans und fliegen in Raketen zur Kosmosforschung, so wie »Lunochod«, der erste kosmische Roboter.

Mit Hilfe von Robotern modelliert man heute Funktionen und Verhaltensweisen lebender Organismen, um bestmögliche Konstruktionen und Automaten zu schaffen. Man modelliert auch biologische Prozesse, um die Richtigkeit unserer Vorstellungen von ihnen zu überprüfen.

Schon heute stehen vor den Robotern große, ernst zu nehmende Aufgaben, aber wieviel erst werden sie in Zukunft zu lösen haben!





Rückkopplung

Informationelle Rückwirkung der Ausgangsgrößen eines gesteuerten Systems auf den Eingang der Steuerungseinrichtung dieses Systems.

Vom Ende zum Anfang

Humphrey Potter war ein tatkräftiger Junge, und deshalb langweilte ihn auch jene Tätigkeit, die er in einer englischen Grube beim Abpumpen des Wassers auszuführen hatte: die Ventile am Kessel einer Dampfmaschine abwechselnd zu öffnen und zu schließen.

Warum er das tun mußte? Weil vor zweieinhalb Jahrhunderten, als Humphrey Potter lebte, eine Dampfmaschine etwas anders funktionierte als eine heutige: Der aus dem Kessel strömende Dampf schob den Kolben im Zylinder nach oben. Nun hatte Humphrey den Dampfhaahn (das Ventil) zu schließen. Gleichzeitig mußte er einen anderen Hahn (das andere Ventil) öffnen, damit kaltes Wasser in den Zylinder floß. Der Dampf kondensierte, es entstand ein Unterdruck, der Luftdruck schob den Kolben wieder nach unten, und dabei wurde die Kolbenbewegung auf eine Pumpe übertragen. Danach hatte Humphrey immer wieder die entsprechenden Hähne nacheinander zu öffnen und zu schließen. Das den ganzen Tag über.

Diese Arbeit ist ja nun wirklich auf die Dauer äußerst uninteressant, und der findige Junge beschloß, sich davon frei zu machen. Er verband die

Hähne und die Kolbenstange durch Schnüre. Bewegte sich der Kolben nun nach oben bzw. nach unten, spannten sich die Schnüre und öffneten bzw. schlossen die Hähne im richtigen Moment und in der erforderlichen Reihenfolge.

In der Technik verwendet man die grundlegenden, speziellen Begriffe »Eingang« und »Ausgang« auch für eine Maschine. Bei der Dampfmaschine ist die Dampfzufuhr der Eingang und die Kolbenbewegung der Ausgang. Dasselbe gilt für den Teil, der die Steuerung der Maschine mittels der Ventile versorgt. Jetzt wird die am Anfang dieses Stichwortes gegebene Definition verständlich: Wenn der Ausgang eines Systems seinen Eingang beeinflusst, so sprechen wir in diesem allgemeinen Fall von Rückwirkung, wenn insbesondere in einem System mit Steuerung der Ausgang des gesteuerten Prozesses auf den Eingang der Steuereinrichtung informationell (und zugleich evtl. auch energetisch) zurückwirkt, dann liegt eine Rückkopplung vor. Durch sie schließt sich der Kreislauf des Steuerungsprozesses zu einer Regelung. Die Rückkopplung hat die Funktion, den Steuerungsprozeß zu stabilisieren, die Einhaltung der Sollwerte (Ziele) fortlaufend kontrollieren zu können.

Dieser Legende nach entdeckte der englische Junge Humphrey Potter so die Rückkopplung bei der Steuerung der Dampfmaschine und kam damit ihrer automatischen Regelung auf die Spur.

Die Rückkopplung ist die entscheidende, prinzipielle Grundlage



Verallgemeinerte Struktur eines Systems mit Rückkopplung

unserer modernen Automatisierungstechnik. Es ist schwer, auch nur ein technisches Gebiet zu nennen, in dem das Prinzip der Rückkopplung nicht angewendet wird. Temperaturregler halten eine bestimmte Temperatur, Druckregler einen gegebenen Druck und Geschwindigkeitsregler eine geforderte Wellendrehzahl konstant. Spannungsregler halten die Spannung in einem Stromkreis konstant.

Immer und überall sind die Regler mit Rückkopplung äußerst »aufmerksam« und »genau«. Alle Operationen, die solch ein Regler auszuführen hat, erledigt er mit einer großen Exaktheit.

Es lassen sich viele Beispiele für die verschiedenartigsten automatischen Regelungssysteme angeben. Sie sind in Konstruktion, Arbeitsweise und Verwendungszweck recht unterschiedlich, doch die Wechselwirkung zwischen Steuerungsanlage (Regler) und gesteuertem Objekt (Regelstrecke) ist überall qualitativ gleich, insbesondere in bezug auf das Vorhandensein einer Rückkopplung.

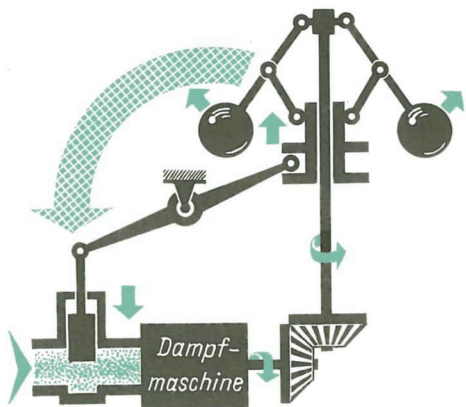
Die Struktur des Fliehkraftreglers von James Watt.

Der Mechanismus des Fliehkraftreglers ist seit mehr als zweihundert Jahren ein Beispiel für Eleganz und Einfachheit der Rückkopplung. James Watt baute die erste Dampfmaschine mit einem Fliehkraftregler, der über die Welle der Maschine angetrieben wurde. Je nach der Drehzahl der Welle gehen die Kugeln des Reglers unter Wirkung der Fliehkraft bald mehr, bald weniger auseinander. Sie sind mit einer beweglichen Muffe gekoppelt und bewegen über ein System von Hebeln einen Schieber.

Der Regler wird auf eine bestimmte Drehzahl der Welle eingestellt. Wenn sich die Geschwindigkeit der Welle aus irgendeinem Grunde erhöht, so gehen die Kugeln auseinander, heben die Muffe nach oben, und der Schieber bewegt sich nach unten. In die Maschine tritt weniger Dampf ein, und die Drehzahl der Welle sinkt auf ihren Sollwert.

Wenn sich dagegen die Welle langsamer als nötig zu drehen beginnt, so hebt der Regler den Schieber an, und es strömt mehr Dampf in die Maschine. Damit steigt auch die Drehzahl der Welle wieder bis zum Sollwert.

Am Beispiel der Wattschen Maschine ist als an einem besonders wichtigen Typ *das* Steuerungsschema mit Rückkopplung demonstriert worden: die Regelung. Hier, in diesem automatischen Regelungssystem, ist die Dampfmaschine das zu steuernde Objekt (die Regelstrecke). Der

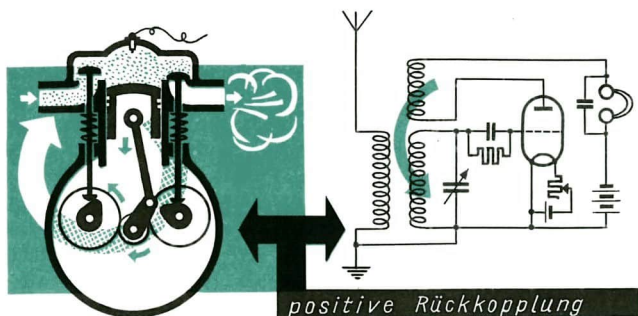


Der Fliehkraftregler von James Watt ist ein Beispiel für Eleganz und Einfachheit eines Systems mit Rückkopplung.

Regler gibt über ein System von Hebeln und über den Schieber ein Steuersignal an das zu regelnde Objekt – das ist direkte Kopplung. Der Ausgang des Reglers wirkt auf den Eingang des Objektes ein. Durch eine vertikale Welle – in diesem Falle scheinbar zunächst nur eine rein mechanisch-energetische Rückkopplung – erhält der Regler (d. h. die Fliehkrafteinrichtung) von der Maschine zugleich ein Signal über das Ergebnis seiner Regelungswirkung. Damit »benachrichtigt« der Ausgang des Regelungsobjektes den Regler an dessen Eingang über den aktuell vorliegenden Effekt »seiner Einwirkung«. So erhalten wir einen geschlossenen Kreis, eine Art »Ring« von Informationsverbindungen.

Eine Rückkopplung, die zur Verstärkung des Ausgangssignals des Reglers bei unveränderlichen sonstigen Eingangssignalen des Reglers führt, heißt positiv.

Rückkopplungen, die eine Verkleinerung des Steuerungssignals am Ausgang des Reglers hervorrufen, heißen negativ. Gerade diese werden vorrangig in automatischen Reglern angewendet – sowohl



Rückkopplungen: im Ottomotor – mechanische Anlage; im Radioempfänger – elektrische Anlage; Wasserstands- und Temperaturregler – Anlagen mit negativer Rückkopplung

bei Temperaturreglern als auch in Drehzahlreglern, Druckreglern u.ä.

Nehmen wir einmal an, in einem Elektroofen ist die Temperatur höher gestiegen als zum Metallschmelzen notwendig ist. Der automatische Regler wirkt dann »negativ« – er verkleinert die Zufuhr von Elektroenergie. Wenn dagegen die Temperatur im Ofen zu stark gesunken ist, so wirkt der Regler abermals »negativ«, d. h. in umgekehrter Richtung: Er verstärkt sofort die Zufuhr von Elektroenergie zwecks Erwärmung.

Wir könnten noch viele weitere Beispiele anführen, sie würden zu dem über Rückkopplung Gesagten nichts weiter hinzufügen können. Wir haben es immer mit einem Regler zu tun, der auf eine bestimmte Drehzahl oder auf ein bestimmtes Regime eingestellt ist. Bei Abweichung von

diesem gibt er ein Regelungssignal ab, und die Rückkopplung leitet dem Regler dann Signale über das Ergebnis der Regelungseinwirkung zu, auf die er entsprechend reagiert.

Mit dem Auftreten der Kybernetik ist das Anwendungsgebiet des Begriffes »Rückkopplung« unvergleichlich gewachsen und hat selbst solche »nichttechnischen« Wissenschaften wie Biologie und Ökonomie erfaßt.

Das wohl komplizierteste System mit Rückkopplung ist der lebende Organismus. In ihm sind viele Regler und Regelungsobjekte anzutreffen. Und er besitzt viele wechselseitig zusammenhängende positive und negative Rückkopplungen. Dabei muß der Organismus mit den schwierigsten Aufgaben fertig werden: Verteilung der Muskelbelastung, um die gegebene Körperhaltung zu wahren; Reaktion auf kleinste Blutdruckschwankungen; Reaktion auf Hitze und Kälte; Einhaltung der Normwerte von Säuren, Alkalien und vielen anderen Stoffen; Kontrolle der ununterbrochenen Herz-, Nieren-, Leber- und Lungentätigkeit.

Je biologisch komplizierter ein Organismus ist, desto komplizierter und vielfältiger sind auch seine »automatischen Regler«. Man kann sagen, daß die Rückkopplung an den physiologischen Erscheinungen nicht nur einfach beteiligt ist, sondern daß sie zur Erhaltung des Lebens unbedingt notwendig ist. Ohne Rückkopplung wäre Leben überhaupt unmöglich!

Ja, Rückkopplungen wirken in den unterschiedlichsten Gebieten. Das gestattete den Kybernetikern, von der Universalität und der Allgemeinheit des Begriffes »Rückkopplung« zu sprechen.





System, bei dem sich die Wirkungsweise automatisch in Richtung auf Verbesserung der Steuerungstätigkeit ändert.

Auf dem Weg zum »klugen« Automaten

Stellt euch ein automatisches Gesamtsystem vor, das sofort auf beliebige Veränderungen der Arbeitsbedingungen oder der Umwelt reagiert: Ein plötzlicher Anstieg der Temperatur – unverzügliche Reaktion erfolgt; unerwartet fällt der Druck – sofort reagieren die Impulsgeber und stellen den alten Druck wieder her, oder unvorhergesehene Störungen in der Flüssigkeitszusammensetzung – augenblicklich werden sie vom System »ausgeglichen«.

Solch einen Automaten gibt es gar nicht? Doch, es gibt ihn, nämlich den lebenden Organismus. Insbesondere stellt der Mensch ein solches im höchsten Maße vorteilhaftes, überlegenes, optimales System dar, »bei dem sich die Wirkungsweise automatisch in Richtung auf Verbesserung der Steuerungstätigkeit ändert«.

Selbstanpassung ist eine unschätzbare Eigenschaft des lebenden Organismus, die dieser in einer Jahrmillionen währenden Entwicklung erworben hat – das ist das Ideal, das die Schöpfer moderner Automaten anstreben.

Die Entstehung der Kybernetik erlaubt uns heute die wahrhaft kühne

Fragestellung: Kann man die Anpassung technischer automatischer Systeme an die auf sie einwirkenden sich verändernden Faktoren nicht als Analogon, als Modell der Anpassung der lebenden Organismen an die Umwelt auffassen? Deshalb wurde es für die Wissenschaftler notwendig, die anscheinend so einfache Frage zu beantworten: Was ist gute und was ist schlechte Organisation?

Auf den ersten Blick, meinten sie, sieht es so aus, als gäbe es hier nichts zu untersuchen: Die Organisation ist gut, wenn sie auf alles richtig reagiert, sie ist schlecht, wenn sie auf alles falsch reagiert. Die Organisation ist also gut, wenn diese unabhängig davon, ob es sich um eine Katze, einen Piloten oder ein automatisiertes Werk handelt, zuverlässig funktioniert, im Hinblick auf die jeweiligen Notwendigkeiten gut arbeitet.

Moment mal, sagte sich, an diesem Punkt angelangt, der bekannte englische Wissenschaftler W.R. Ashby, z.B. ist Neugier oder sagen wir Wißbegier eine gute Sache, doch viele Antilopen wurden abgeschossen, weil sie stehenblieben, um den Hut des Jägers zu bäugeln.

Demnach gibt es keine einzige Eigenschaft oder Fähigkeit des Gehirns, die zu allen Zeiten und bedingungslos als wünschenswert gelten kann bzw. die in einer anderen Situation umgekehrt als unerwünscht anzusehen ist?

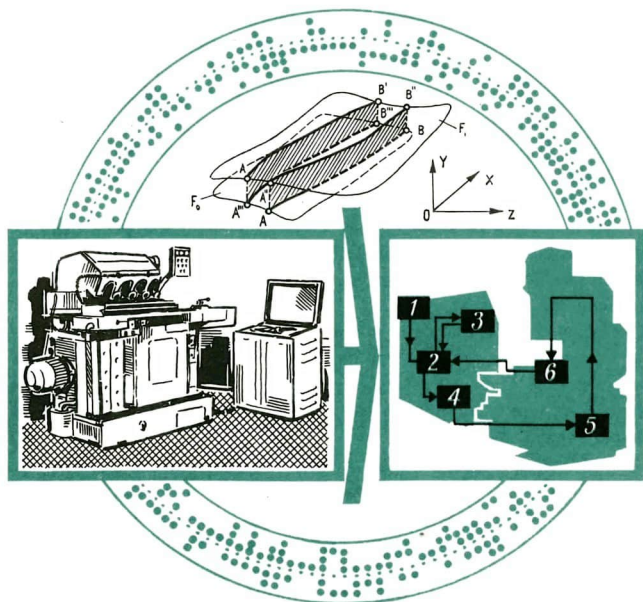
Genau so ist es, und dafür gibt es Beispiele:

Ist es gut oder schlecht, daß das Gehirn ein Gedächtnis hat? Das ist gut, wenn die Umwelt so eingerichtet ist, daß die Zukunft die Vergangenheit ständig wiederholt. Würden die Ereignisse der Zukunft jedoch immer wieder neuartig sein, so wäre das Gedächtnis unzweckmäßig. Diese Situation tritt z. B. ein, wenn eine in den Abwässerkanälen lebende Ratte auf einen (vergifteten) Köder stößt. Die Ratte ist sehr vorsichtig, und sie nimmt von der unbekannten Nahrung nur eine ganz kleine Portion. Wenn jedoch das schmackhafte Stück drei Tage hintereinander an derselben Stelle auftaucht, so lernt die Ratte. Am vierten Tag nimmt sie mutig den Köder und stirbt. Eine gedächtnislose Ratte (nach gewöhnlichem Maßstab ist das eine schlechte Organisation) würde auch am vierten Tag genau so vorsichtig sein wie am ersten. Aber sie würde überleben. Unter diesen Umständen erweist sich also ein Gedächtnis als unvorteilhaft.

Also kann man mit »gut« und »schlecht« nicht urteilen? Jede Organisation kann gleichzeitig schlecht und gut sein?

Das Geheimnis der selbstanpassenden Systeme besteht eben gerade darin, daß sie selbständig vom »Schlechten« zum »Guten« übergehen können.

Es ist bekannt, daß sich kleine Kinder immer für Feuer interessieren, was ja nicht ungefährlich ist. Wir haben es hier offensichtlich mit einer »schlechten« Organisation zu tun. Durch Ansammlung von Erfahrungen



Sich selbst einrichtende Fräsmaschine und das prinzipielle Schema (rechts) ihres Steuerungssystems: 1 – Programmblock; 2 – Selbsteinrichtblock; 3 – Speicherblock; 4 – Steuereinheit; 5 – Ausführungsmechanismus; 6 – Meßsystem

Die Suche nach den notwendigen Arbeitsschritten, von denen der Prozeß der selbständigen Einrichtung abhängt, orientiert sich an den Resultaten der vorangegangenen Aktivitäten. Die Fräsmaschine erarbeitet sich so ein vervollkommnetes Programm, das die aufgetretenen Abweichungen bei der Bearbeitung der Werkstücke berücksichtigt.

entsteht eine neue, »gute« Organisation, wenn das Kind jetzt das Feuer meidet: Das Gehirn als System hat sich selbst angepaßt.

Ist eine solche Selbstanpassung auch in einem technischen System möglich? Stellt euch vor, wie wundervoll das wäre! Ein Automat würde nicht nur unter normalen Umständen, sondern auch bei Störungen richtig reagieren, sich auch an solche Situationen im Ablauf der Arbeit anpassen und damit ähnlich wie ein Mensch reagieren. Unter den selbstanpassenden technischen Systemen gibt es eine spezifische Einteilung nach dem »Verhalten«. Die einfachsten unter ihnen sind die selbsteinrichtenden Systeme. Sie suchen in Abhängigkeit von den äußeren Einflüssen ein optimales Arbeitsregime. Diese Systeme finden in der Technik immer mehr Anwendung.

Man kann beispielsweise programmgesteuerte, sich selbst einrichtende Werkbänke bauen. Dabei muß die Steuereinrichtung die Abweichungen der zu produzierenden Werkstücke von der Norm verfolgen und automatisch auf die Änderung des Programms, nach dem die Maschine arbeitet, hinwirken.

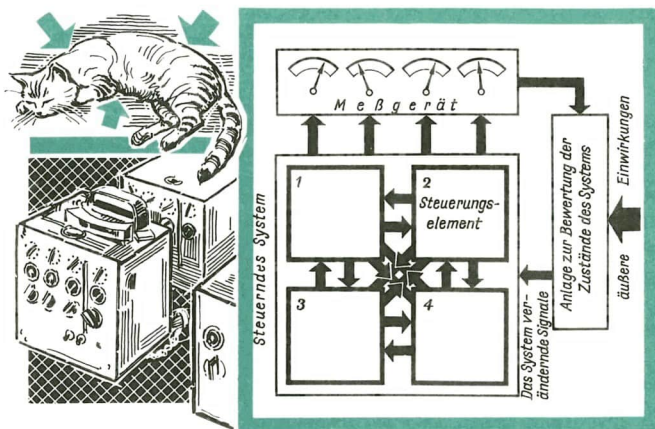
Dabei wird ein anfangs unvollkommenes Programm im Laufe der Arbeit der Maschine verbessert, und der Ausschuß wird auf ein Minimum reduziert. Diese »Abstimmungseinrichtung« zur Verbesserung des Arbeitsregimes bezeichnen die Wissenschaftler als »Selbstvervollkommnung des Algorithmus durch die Werkbank«.

Wenn aber das System einmal seinen Arbeitsalgorithmus selbst verbessern kann, so kann es auch seinen Verhaltensalgorithmus verbessern, ihn »beweglich«, »suchend«, anpassungsfähig an die Umwelt machen. Solch ein System, das seinen Wirkungscharakter in Abhängigkeit von unvorhergesehenen Umständen ändern kann, wird als selbstorganisierendes System bezeichnet. Es steht bereits eine Stufe höher als ein sich selbsteinrichtendes System.

Das klassische Beispiel eines selbstorganisierenden Systems – der Homöostat von W. R. Ashby.

Das Wirkungsprinzip dieses Apparates wird folgendermaßen beschrieben: Der Homöostat besteht aus vier Teilsystemen, deren jeweiliges Hauptteil ein drehbarer Elektromagnet (Solenoid) ist, der durch Drehung seines Kerns einen mit diesem gekoppelten Schieber, der zugleich als Anzeiger dient, in einem Flüssigkeitswiderstand bewegt. Jeder

dieser Elektromagneten wird aber nicht nur über diesen an ihn gekoppelten Widerstand gespeist, sondern zugleich über die der drei anderen. Die Lage der Kerne der vier Elektromagneten ist also miteinander gekoppelt, denn der Strom in jedem Solenoid hängt von der Stellung aller vier Schieber ab, und die Stellung jedes Schiebers (bzw. Zeigers) hängt seinerseits vom Strom des betreffenden Solenoids ab. Die durch ein beliebiges, spontanes Eingreifen als »Störung« verursachte Drehung eines Kerns über einen bestimmten Punkt (die »Stabilitätsgrenze«) hinaus löst in einer dafür vorgesehenen zusätzlichen Einrichtung eine spontane, zufällige Umschaltung der Verbindungen zwischen den Widerständen und Spulen der Elektromagneten aus. Das Umschalten des Stromes bewirkt so die Bewegung aller Kerne und damit die der Schieber aller Widerstände. Dabei können zwei Fälle auftreten: Entweder sind nach einem solchen Umstellungsprozeß des Systems der Kopplungen alle Kerne wieder in stabiler Zwischenstellung und die Bewegung kommt zur Ruhe, oder das System hat keinen stabilen Zustand erreicht, und wenigstens ein Kern ist wieder bis zum Anschlag ausgelenkt worden. Dann kommt es zu weiteren zufälligen Umschaltungen des Systems, und die



Der Homöostat von Ashby

»Suche« nach einem Gleichgewichtszustand beginnt von neuem. Schließlich gelangt das System nach einer Serie von zufälligen Umschaltungen im Schaltnetz des Homöostaten in eine der möglichen Gleichgewichtslagen und zeigt diese dann an.

In dem System sind etwa 400 000 Umschaltmöglichkeiten vorgesehen. Verschiedene Operationen mit dem Homöostaten wie Umstellung der Anschlüsse oder Verändern von Schaltverbindungen beeinträchtigen die Fähigkeit des Systems, eine Gleichgewichtslage zu finden, nicht.

Das »Verhalten« des Homöostaten läßt sich mit dem Verhalten einer Katze vergleichen. Wenn sie angestoßen wird, so legt sie sich möglichst bequem wieder hin und schläft von neuem ein. So auch der Homöostat, wenn er »angestoßen« – aus dem Gleichgewicht gebracht – wird, so richtet er sich möglichst bequem wieder ein, probiert verschiedene Schaltstellungen und »schläft« wieder ein, d. h., er findet wieder einen Gleichgewichtszustand.

Norbert Wiener schätzte die Versuche mit dem Homöostaten hoch ein: »Ich bin der Meinung, daß Ashbys glänzende Idee von einem zielgerichteten, willkürlich wählenden Mechanismus, der sein Ziel durch einen Suchprozeß zu erreichen vermag, nicht nur eine hervorragende philosophische Errungenschaft der Gegenwart ist, sondern sogar zu äußerst nützlichen technischen Schlußfolgerungen bei der Lösung von Automatisierungsaufgaben führt. Wir können so nicht nur einer Maschine eine Zielorientierung vorgeben, sondern in der überwältigenden Mehrheit der Fälle wird eine solche Maschine, die so konstruiert wurde, daß sie jede Art von Situationen vermeidet, in denen sie Havarien erleiden könnte, selbst nach Zielen suchen, die sie verwirklichen kann.«

Ein anderes Beispiel für ein selbstorganisierendes System ist die Modellierung des Prozesses des Überlebens durch Auslese auf einem elektronischen Rechenautomaten.

Wir denken uns einen Rechenautomaten, in dessen Speicher die Ziffern von 0 bis 9 willkürlich eingegeben werden. Der Automat multipliziert alle Ziffern paarweise und setzt jeweils die Einer des Produktes an die Stelle des ersten Faktors. Wir wissen, daß das Produkt zweier gerader Zahlen eine gerade Zahl ist. Das Produkt zweier ungerader Zahlen ist ungerade, während das Produkt aus einer geraden und einer ungeraden Zahl wieder gerade ist. Hieraus folgt, daß nach hinreichend vielen

Multiplikationen immer mehr gerade Zahlen im Speicher auftreten – die geraden Zahlen haben eine größere Chance zum »Überleben«. Sie werden Schritt für Schritt die ungeraden Zahlen im Speicher der Maschine ersetzen. Die Maschine hat sich selbst auf den »Überlebensprozeß umorganisiert«.

Zu der Klasse der »klugen«, selbstanpassenden Automaten gehört auch der Typ des sogenannten selbstlernenden Automaten. Damit ein Automat diese Bezeichnung verdient, muß er erst einmal die Fähigkeit des Suchens besitzen. Will man einem Automaten diese Fähigkeit beibringen, so muß man ihn zunächst mit einem »Gedächtnis« als Speicher zur Informationssammlung während des Suchprozesses ausstatten. Danach muß ein System der »anspornenden Belohnung« für günstige Handlungen und ein »Strafsystem« für ungünstige Handlungen erarbeitet werden. Diese Selbstunterrichtungsmethode nennt man die Methode »Versuch und Irrtum«, und sie wird in verschiedenen Lernprogrammen angewendet.

Sehen wir uns ein Beispiel der Arbeit eines Programms für selbstlernende Maschinen an.

Die Maschine besteht aus zwei Teilen: Ein Teil übernimmt die Rolle eines »Käufers«, der andere Teil stellt mehrere »Läden« mit verschiedenen Sortimenten an Waren dar. Der »Käufer« soll nun lernen, eine gewünschte Ware schnell zu finden.

Zu Beginn irrte der »Käufer« durch alle »Läden« und bemühte sich, den geforderten Artikel zu finden. In einem der Läden war er erfolgreich – er »stieß« auf diese Ware. Er »merkte« sich diesen »Laden«, denn er wurde dafür »gelobt«.

Dann kam eine andere Ware dran. Wieder mußten alle Läden abgesehen werden. Neues Suchen, neues Finden, das zu belobigen war. Natürlich erfolgte erneut eine entsprechende »Eintragung« in das »Gedächtnis«. Das wurde verschiedene Male wiederholt. Nach Ablauf dieses Lernprozesses hatte der »Käufer« sich selbst beigebracht, wie er fehlerlos in diesem oder jenem Laden nach der in dem betreffenden Fall gewünschten Ware zu suchen hat: Sein Gedächtnis leitete ihn.

Man kann nicht anders, als derart handelnde Automaten »klug« zu nennen – so handeln ja auch lernende Menschen. Nicht von ungefähr haben die Wissenschaftler solche Automaten als gehirnähnliche bezeichnet.

Man muß allerdings im Auge haben, daß die Forschungen in dieser Richtung eigentlich gerade erst begonnen haben. Bisher gibt es keine allgemeine Theorie der sich selbst anpassenden Systeme. Das ist und bleibt ein interessantes und wichtiges Forschungsgebiet.





Wissenschaft, die die Eigenschaften von Zeichen und Zeichensystemen studiert.

Achtung! Zeichen...

Umgangssprache,
chemische Symbolik,
Verkehrszeichen,
„Sprache“ der Delphine oder der Bienen,
mathematische Formeln,
Morsealphabet,
künstliche Maschinensprachen.

Was haben diese aus ganz verschiedenen Bereichen des Lebens genommenen Begriffe gemeinsam? Gemeinsam ist, daß wir es mit Beispielen für Zeichensysteme zu tun haben, daß ihr Bestand aus Zeichen besteht.

Was ist ein Zeichen, was kann als Zeichen auftreten? Jeder Mensch hat, als er zum ersten Mal »Mama« sagte, ein Zeichen gegeben. Viele Zeichen werden während eines Spieles benutzt. Alle kennen das Klingelzeichen in der Schule. Es ist das Zeichen für den Anfang der Stunde oder der Pause. Und welche große Rolle haben Zeichen in der illegalen Arbeit gespielt! Eine auf bestimmte Weise geraffte Gardine oder eine auf das Fensterbrett gestellte Blume warnten vor der Gefahr.

In der Erzählung »Das Purpursegel« von Alexander Grin wird dem

kleinen Mädchen Asol ein gutes Märchen erzählt: Wenn es einmal groß sein wird, kommt ein schöner Prinz zu ihm, um es auf einem Schiff mit Purpursegeln in das Land des Glücks zu führen. Asol glaubte diesem Märchen. Sie schaute auf das weite Meer und wartete auf das Purpursegel – sie wartete auf ein Zeichen, mit dem ihr glückliches Leben beginnen sollte.

Als Zeichensystem dient auch die »Sprache« der Tiere. Sicher habt ihr schon einmal beobachten können, wie verschieden Hühner gackern können. Wenn eine Henne ihre Kücken ruft, gluckt sie leise vor sich hin, wenn sie vor einem Feinde warnen will, stimmt sie ein alarmierendes Gegacker an. Die Wissenschaftler haben in der »Hühnersprache« etwa zehn Kommandozeichen feststellen können.

Die Insekten geben verschiedene, mitunter komplizierte Informationen durch spezifische Zeichen weiter. Die Ameisen »sagen« sich beispielsweise etwas mit Hilfe der »Geruchssprache«. Die Bienen müssen »tanzen«, wenn sie etwas mitteilen wollen: In diesem Tanz erzählen sie den anderen Stockbewohnern, wo es Nektar gibt, wie man den Weg vom Bienenstock aus findet und vieles andere mehr.

Gegenwärtig studieren die Wissenschaftler die »Sprache« der Delphine besonders aufmerksam.

Alle diese Sprachen unterscheiden sich von der Sprache des Menschen nicht nur durch ihre Ausdrucksarmut und durch den kleinen Zeichenschatz, sondern auch darin, daß sich ein Zeichen der Tiere stets direkt auf die Wirklichkeit bezieht, es hat stets eine konkrete Bedeutung und wirkt immer nur im gegebenen Augenblick.

Auch verschiedene »Gestensprachen« sind Zeichen. Ein abgebrochener Ast eines Baumes oder der Rauch eines Lagerfeuers können als Zeichen gelten, wenn man sich vorher geeinigt hat, was sie bedeuten sollen: Alarm, Landung des Flugzeuges oder Treffpunkt. Ein Zeichen ist ein vereinbartes Signal, das etwas Bestimmtes bedeutet. Der Begriff des Zeichens ist sehr umfassend, doch ist ein Zeichen selbst stets materieller Natur: ein Gegenstand, ein Ereignis, eine Erscheinung, eine Tätigkeit. Es tritt in einer dieser Formen immer im Verkehr zwischen Menschen usw. auf – konkret und vereinbart. Ein Zeichen dient so zur Aufnahme, Übertragung oder Umwandlung von Informationen, von verschiedenartigen Nachrichten.



Drei Bedeutungen des Zeichens »P«

Das Zeichensystem. Zeichen existieren in Systemen. So bedeutet zum Beispiel ein und dasselbe Zeichen »P« im lateinischen Alphabet den Buchstaben »Pe«, im russischen Alphabet den Buchstaben »Er«, und als Verkehrszeichen zeigt es einen Parkplatz an.

Der Umgang zwischen den Menschen wird mit Hilfe von Zeichensystemen abgewickelt.

Die Wissenschaftler teilen die

Zeichensysteme in zwei Kategorien ein, in natürliche und künstliche.

Zu den natürlichen Zeichensystemen gehören die »Sprachen« der Tiere, die »Geruchssprachen«, die »Gestensprachen« usw. Das vollkommenste natürliche System von Lautzeichen ist die Sprache des Menschen. Sie ist flexibel, anpassungsfähig und hoch entwickelt. Die Sprache der Menschen entstand durch den Umgang untereinander und ermöglicht diesen Umgang auch. Mit Hilfe unserer Sprache können wir Gedanken formulieren, Wünsche ausdrücken und Gefühlsregungen weitergeben. Lenin bezeichnete die Sprache als wichtigstes Mittel des Umganges der Menschen untereinander.

Je weiter der gesellschaftliche Fortschritt der Menschheit voranschreitet, um so mehr Zeichensysteme entstehen. Ihre Anzahl nimmt im wesentlichen zu durch die Zahl der künstlichen Zeichensysteme. Als Beispiele dafür seien hier mathematische und physikalische Formeln, die chemische Symbolik und die bereits oben erwähnten Verkehrszeichen genannt.

Künstliche Zeichensysteme spielen meist eine Hilfsrolle: Sie drücken etwas aus, was man auch in einer natürlichen Sprache sagen kann, nur gedrängter, kürzer und ökonomischer. Sie geben sofort ein fertiges Ergebnis an, einen Weg, auf dem man dieses Ergebnis erreichen kann. Selbst ein in Worten ausgedrücktes einfaches mathematisches Forschungsergebnis würde mehrere Seiten Text ergeben, wenn es jemandem in den Sinn kommen sollte, eine der üblichen Formeln durch in Worte zusammengefaßte Buchstaben des gewöhnlichen Alphabets darzustellen.



Klassifizierung der Zeichen

Versucht einmal, die hier in Worten gegebenen Zahlen »eine Million siebenhundertdreizehntausendfünfhunderteins« und »zwölf Millionen eintausenddreihundertneunundneunzig« zu addieren. Das ist wahrhaft keine leichte Aufgabe! Wie einfach ist dagegen die Addition von Ziffern!

$$\begin{array}{r} 1\,713\,501 \\ + 12\,001\,399 \\ \hline 13\,714\,900 \end{array}$$

Es gibt auch »autonome« künstliche Systeme. Zu diesen Zeichensystemen, die in letzter Zeit eine immer größere Verbreitung finden, gehören vor allem die für maschinelle Übersetzungen und logische Kalküle gebrauchten Zwischensprachen.

Man kann die Zeichen auch anders einteilen, nämlich in sprachliche und nichtsprachliche. Es ist sehr leicht, ein bestimmtes Zeichen danach einzuordnen. Alle natürlichen und künstlichen Sprachen sind sprachliche Zeichen, aber verschiedene Schaltbilder, Zeichnungen, Skizzen, Aushängeschilder, Landkarten, Illustrationen, Diagramme, Tänze, Pantomimen, Musik und Bildhauerei – man kann diese Liste noch weiter fortsetzen – sind nichtsprachliche Zeichensysteme.

Die Semiotik ist eine spezielle Wissenschaft, die sich mit dem Studium von Zeichen und Zeichensystemen beschäftigt. Ihr Name kommt von dem griechischen Wort »semeion«, das soviel wie »Zeichen« bedeutet.

Da Zeichen mit der Herausbildung des menschlichen Denkens entstanden, begann man sie auch schon sehr früh zu untersuchen. Bereits Aristoteles und andere griechische Philosophen des Altertums dachten über die Rolle der Zeichen im Erkenntnisprozeß nach.

In dem Maße, in dem die Erfahrung der Menschheit zunahm, drang man immer tiefer in die Geheimnisse der Natur der Zeichen ein, und eine Anzahl von allgemeinen Gesetzmäßigkeiten der verschiedenen Zeichensysteme wurde immer klarer. Die Ideen der Semiotik äußerten sich zunächst vor allem in der mathematischen Logik mit ihren Symbolen und klaren Bezeichnungen. Hier waren die Zeichen »nackter« als in anderen Wissenschaften. Arbeiten in dieser Richtung sind mit den Namen des großen deutschen Gelehrten Leibniz und des englischen Philosophen Locke verbunden. Danach interessierte sich für die semiotischen Ideen auch die Linguistik, die vergleichende Sprachwissenschaft. In den Arbeiten des französischen Gelehrten de Saussure ist davon die Rede, daß die Erfordernisse des Kontaktes der Menschen untereinander zu der Herausbildung von Systemen vereinbarter Zeichen geführt haben. Als Beispiele nennt Saussure Riten, Etikette und Kriegssignale. Auf den wichtigsten, den zentralen Platz unter allen anderen Systemen stellte der Gelehrte die Sprache.

Die Grundprinzipien der Semiotik wurden von dem amerikanischen Wissenschaftler Peirce formuliert und von den Wissenschaftlern anderer

Länder und vieler wissenschaftlicher Schulen in den dreißiger Jahren unseres Jahrhunderts ergänzt und weiterentwickelt. Unter diesen erhielten die polnische und die sowjetische Schule die größte Anerkennung.

Die Gesetzmäßigkeiten der Semiotik werden, ebenso wie ihre Herausbildung als Wissenschaft selbst, nach drei Richtungen eingeteilt: Erstens – die objektiven Gesetze der Struktur von Zeichensystemen (der Relationen zwischen den Zeichen) gehören zur Syntax. Zweitens – die Gesetze, die sich auf das Subjekt beziehen (Relationen zwischen Zeichen und Mensch) untersucht die Pragmatik. Drittens – die Gesetze der Bedeutung (Beziehung zwischen Zeichen und erkannten Objekten) sind Gegenstand der Semantik.

Hat es nicht den Anschein, als wollte die Semiotik Unumfaßbares umfassen? Der Kreis ihrer Fragen ist allerdings sehr groß. Jedoch betrachtet die Semiotik die unterschiedlichen Forschungsobjekte und verschiedenen Untersuchungsgegenstände eigentlich äußerst zielgerichtet, nur von einer Seite her – nämlich was sie als Zeichen sind, die dazu dienen, einen bestimmten Inhalt auszudrücken.

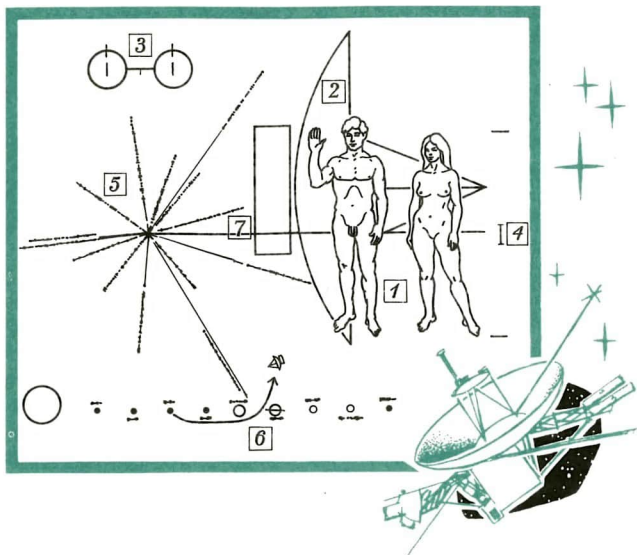
Daher hat die Semiotik einen ungewöhnlich großen Wirkungsbereich.

Indem sie Stufe für Stufe auf der »Leiter« der Aufklärung neuer allgemeiner Gesetzmäßigkeiten vorankommt, ergreift die Semiotik bereits durchaus »überirdische« Gegenstände. Sie gab den Fachleuten ein kunstvolles Instrument in die Hand, mit dessen Hilfe eine Sprache zur Verständigung zwischen interplanetaren Zivilisationen geschaffen werden kann.

So ist eine Spezialsprache zur Kommunikation mit unseren »vernunftbegabten Nachbarn« im All entwickelt worden. Ihr Erfinder, der holländische Wissenschaftler Hans Freudenthal, nannte diese Sprache »Lincos« – *lingua cosmica*, kosmische Sprache.

Lincos beruht auf der Einheitlichkeit der Gesetze, insbesondere der mathematischen Gesetze, im Kosmos. Auf diese die reale Welt widerspiegelnden Gesetze baut Freudenthal das vielschichtige und verzweigte Gebäude von Lincos auf. Das ist eine hierarchische Sprache mit einem komplizierten System von Wechselbeziehungen, von »Schwierigkeitsstufen«.

Natürlich muß man für kosmische Verbindungen die entsprechenden Mittel wählen: Funksignale und Lichtimpulse. Durch sie werden auch zunächst die mathematischen Grundbegriffe, nämlich Ziffern und



Der erste Brief, der von den Erdenbürgern in den Kosmos zu unbekannten Wesen, zu vernunftbegabten Brüdern geschickt worden ist. Die Rolle des Postboten erfüllt die kosmische Station »Pionier 10«, die Ende Februar 1972 gestartet wurde. Die Umgebung des nächstliegenden Sternes erreicht sie erst in 80 Millionen Jahren.

Was teilen die Erdenbewohner in ihrem ersten Brief an fremde Welten mit? Erstens das Aussehen zweier typischer Menschen – eines Mannes und einer Frau (1). Darunter ist im gleichen Maßstab die »Pionier 10« dargestellt (2). Sie ist ebenfalls unten zu sehen, wo das Sonnensystem gezeigt wird mit dem Weg der kosmischen Station (6) und dem Größenvergleich der Planeten mit der Sonne. Gegeben ist eine Darstellung der Symbole des Wasserstoffatoms (3), dieses im Weltall am meisten verbreiteten Stoffes. Die Linie (4) ist ein Maßstab, der der Radiostrahlung mit der Wellenlänge von 21 cm entspricht. Der gleiche Maßstab gilt für die Figur der Frau (168 cm) und die darunterliegende Zeichnung der kosmischen Station. Der Stern (5), das sind die Koordinaten des Sonnensystems in Relation zu den uns bekannten 14 Pulsaren, wobei auf jedem Strahl im Dualcode die genaue Frequenz angegeben ist, mit der der Pulsar (rhythmisch strahlender Radiostern) »arbeitet«. Die Länge jedes der Strahlen entspricht dem Abstand von Pulsar–Sonne in Lichtjahren, und die Linie (7), das ist der Abstand der Sonne zum Zentrum unserer Galaxis.

Gleichheitszeichen, die Bausteine des Dualsystems, kodiert. Darauf folgt eine schwierigere Stufe, die Darstellung der Rechenregeln. Dann kommt die Algebra... bis hin zur höheren Mathematik. Schließlich geht Freudenthal mit Hilfe der abstrakten Mathematik zur Einschätzung des menschlichen Verhaltens über. Er berichtet, wie wir Erdenbürger leben, und erzählt von unserem Geburtshaus, der Erde.

Man kann der Semiotik nachsagen, eine nur rein theoretische Wissenschaft zu sein, und selbst die Schaffung von Lincos wird niemand vom Gegenteil überzeugen. Ja, die Semiotik ist eine theoretische Wissenschaft, aber sie bringt auch praktischen Nutzen. Erinnert euch nur an die künstlichen Zeichensysteme – die Zwischensprachen für kybernetische Automaten.

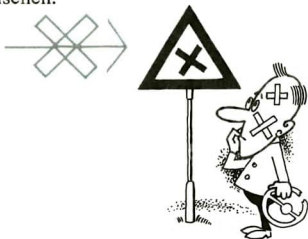
Weiter beschäftigt sich die Semiotik zum Beispiel gemeinsam mit der Psychologie und der Physiologie mit dem Studium der Sprachzentren (des Gehirns). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind zweifellos von praktischem Nutzen. Durch die Arbeiten mehrerer sowjetischer Wissenschaftler konnte eine Spezialsprache für Gehörlose geschaffen werden.

Ein anderes Beispiel stammt aus der Pädagogik. Die Pädagogen sind an Zeichensystemen sehr interessiert: Das ist nichts Besonderes, denn Lernen geht meistens auf die Aneignung von Zeichen zurück, und es ist wichtig, welche Zeichensysteme am anschaulichsten und am leichtesten zu begreifen sind.

Ein semiotisches Herangehen zeichnet sich auch bei ökonomischen Problemen ab. Die ökonomische Semiotik befaßt sich mit der Beschreibung von Informationsverbindungen in der Ökonomie.

Die Semiotik wird heute auch schon in der Ethnographie angewandt – zum Studium der Mythologien und Religionen und überhaupt für die Untersuchung des Verhaltens der Menschen.

Man darf nicht vergessen, daß die Möglichkeiten der Semiotik erst vor kurzem sichtbar wurden. Man kann daher in Zukunft von dieser Wissenschaft neue Entdeckungen und neue Erfolge erhoffen.





Die Menge der Informationen (Zahlen und Befehle), die gleichzeitig in einem Speicher aufbewahrt werden kann.

»Die Spur auf der Wachtafel«

Der griechische Philosoph Sokrates verglich das Einprägen einer Idee mit dem Vorgang des Eindrückens eines Siegels in eine weiche Wachtafel. Wie tief ist eine solche Spur? Was ist Stärke und Fassungsvermögen des Gedächtnisses, wieviel kann es in sich aufnehmen? Ja und überhaupt, was ist Gedächtnis?

Über das Gedächtnis erzählt man sich die sonderbarsten Begebenheiten. In einer seiner Vorlesungen brachte Professor W. W. Solodownikow folgendes Beispiel: Im Zustand der Hypnose konnten sechs Maurer die Frage beantworten, welche Form der Riß im sechzehnten Ziegelstein der fünften Reihe der Ostwand eines bestimmten Hauses in einer bestimmten Straße hat. Das geschah, wohlgemerkt, ein halbes Jahr nach dem Bau des Hauses.

Der russische Gelehrte Akademiemitglied S. A. Tschalygin konnte eine Telefonnummer, die er nur einmal gewählt hatte, noch nach fünf Jahren fehlerlos nennen.

Man erzählt sich, daß der Kassierer des polnischen Fußballklubs »Gurnik«, ein gewisser Leopold Held, alle Ergebnisse und alle Einzelheiten der Spiele seines Klubs im Kopf hat. Als Held während einer Fern-

schübertragung vom Reporter gefragt wurde: »Wie endete das vor vier Jahren ausgetragene Spiel ›Gurnik‹ gegen ›Odra‹ aus Opole?«, antwortete er: »Wir gewannen 4:0, die Begegnung fand am 18. August statt, wir hatten 27000 Zuschauer, und insgesamt 235000 Zloty wurden eingenommen. Drei Tore schoß Paul, ein Tor Zoltan...«

Aber diese frappierenden Beispiele von menschlichen Gedächtnisleistungen liegen noch längst nicht an der Grenze der Möglichkeiten. Bekannt ist der Reporter einer Moskauer Zeitung, Schereschewski, der Gedächtnisleistungen vollbrachte, die ans Unwahrscheinliche grenzten. Er konnte sich Reihen und Tabellen von hundert und mehr Ziffern, umfangreiche Wortkombinationen eines ihm unbekannten Textes in einer unbekannten Sprache und selbst äußerst lange Ketten, zusammengesetzt aus einer unregelmäßigen Folge der beiden Wörter »rot« und »blau«, merken. Das Gedächtnis dieses Menschen hatte auch bezüglich der Dauerhaftigkeit erstaunliche Fähigkeiten. Er konnte noch nach zwanzig Jahren eine nur gelegentlich wahrgenommene Zahlentabelle fehlerlos wiedergeben.

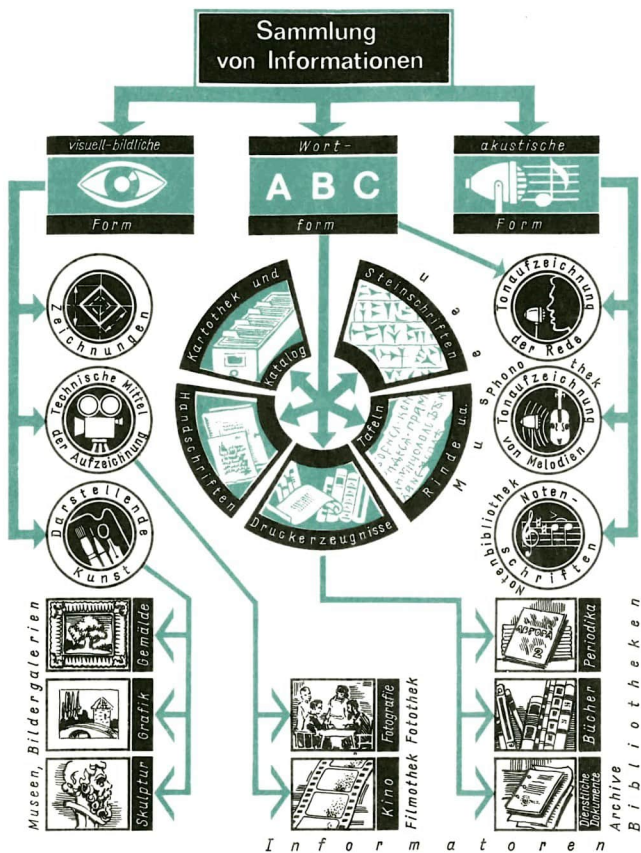
Wie funktioniert dieser Informationsspeicher »Gedächtnis«?

Wenn wir das Gedächtnis definieren als Eigenschaft des Gehirns, in der Vergangenheit gesammelte Information zu speichern und auf Anforderung wiederzugeben, so mag bei uns, die wir das Zeitalter der Elektrizität erleben, unwillkürlich die Vorstellung entstehen: Gedächtnis ist ein Komplex von Impulsen, die ähnlich wie der elektrische Strom durch Leitungsnetze laufen. Aber leider ist es uns bis heute nicht gelungen, »Gedächtnisströme« nachzuweisen.

Den Wissenschaftlern läßt verständlicherweise die Frage keine Ruhe, wie unser Gehirn eine solche phantastische Informationsmenge fassen kann, die der Mensch im Laufe seines Lebens erhält.

Unser Gehirn besitzt bis zu vierzehn Milliarden Neuronen. Man kann sich schwer vorstellen, daß jedes Neuron nur eine Informationseinheit aufnehmen kann. Noch schwerer fällt die Vorstellung, daß dieser winzigste Teil des Gehirns zur Informationsaufzeichnung zehn oder hundert verschiedene Zustände annehmen kann.

Man ist der Ansicht, daß die Information auf molekularer Ebene der Struktur eingepreßt wird, daß dort Gedächtnismoleküle existieren, die sehr kompliziert gebaut sind und unheimlich langen Strickleitern mit zwei verschiedenen Sprossentypen ähneln, die selbst wieder Moleküle



Alle diese verschiedenartigen Mittel und Methoden der Sammlung von Informationen sind spezielle Formen der Erweiterungen des Gedächtnisses des Menschen.

sind. Die Sprossenmoleküle, die wechselnd aufeinanderfolgen, ähnlich wie die Folge von Punkten und Strichen im Morsealphabet, bilden so ein eigentümliches Alphabet auf atomarer-molekularer Basis.

Läßt sich in diesem Alphabet viel ausdrücken? Rechnen wir einmal nach. Jedes Molekül (z. B. Gen) hat 10000 Sprossen, von denen es zwei verschiedene Typen gibt. Folglich ist die Anzahl der Elementarzeichen (Sprossen) in einer Zelle, wenn wir berücksichtigen, daß die Chromosomen einer menschlichen Zelle aus etwa 100000 Genen bestehen, gleich $100\,000 \cdot 10\,000 = 1$ Milliarde. Diese Menge, in Buchstaben umgesetzt, würde 200 000 Seiten von »Meyers Neuem Lexikon« füllen, aber dann müßte das Lexikon 277 Bände umfassen. Bei einem idealen Kode würde also ein »Text«, in nur zwei verschiedene Zeichen unserer Chromosomen umgesetzt, vielen hunderttausend, ja sogar vielen Millionen Seiten entsprechen!

Und wenn es die Natur verstanden hat, noch andere Zeichen in die Moleküle zu »schreiben«? Dann wäre die Informationskapazität schon unvorstellbar groß.

Versuche haben gezeigt, daß der Mensch sich nicht alles und nicht alles lange merken kann. Häufig behält er eine Information nur »bis zum nächsten Tag«. Man kann daher vermuten, daß der Mensch mehrere Arten von Gedächtnis besitzt. Man vermutet, daß eine im Gehirn ankommende Information in ihm einen Kreis elektrischer Verbindungen zwischen den Neuronen hervorbringt und in diesem Netz zirkuliert. Das ist das Kurzzeitgedächtnis.

Die Ströme in diesen Neuronenketten wirken auf die Moleküle in den Nervenzellen ein, in denen Eiweiß synthetisiert wird. Wirkt nun ein solches Signal dabei wiederholt ein, so reagiert das Eiweiß darauf und nimmt so die Information im Langzeitgedächtnis auf. Bleibt das Wiederholungssignal aus, so zerfällt die Neuronenkette – das Kurzzeitgedächtnis schaltet sich aus. Man vermutet außerdem noch ein davon verschiedenes drittes, ein operatives Gedächtnis. Beobachtet z. B. einmal eine Maschinenschreiberin: Wenn sie einen Text abschreibt, so behält sie diesen stückweise für sehr kurze Zeit im Gedächtnis, nämlich so lange, bis sie ihn geschrieben hat.

Die Erfahrung zeigt, daß die Speicherung der meisten Ereignisse, die auf einen Menschen einwirken, nur kurzzeitig erhalten bleibt. Ein phänomenales Gedächtnis haben leider nur sehr wenige. In der Praxis sieht es so

aus, daß die Menschen zu Hilfsmitteln greifen, wenn sie sich etwas merken wollen, sich gewissermaßen künstliche Gedächtnisse schaffen, um das natürliche Gedächtnis zu unterstützen. Das älteste Verfahren sind Zeichnungen und Aufzeichnungen in Symbolen. Das beginnt mit bildlichen Darstellungen auf Stein. Später mit Hieroglyphen auf Stein, Ton und Papyrus und schließlich mit Buchstaben eines Alphabets.

Mit der Erfindung des Buchdrucks hat sich die Möglichkeit für die Menschen, Erfahrungen und Ereignisse aufzubewahren, gewaltig vergrößert, das ganze Wissen der Menschheit, den gesamten intellektuellen Reichtum kann man in Büchern speichern.

Dann kam die Fotografie auf und danach der Film, wodurch es möglich wurde, Ereignisse in ihrem Ablauf festzuhalten. Schließlich gehören auch die Tonaufzeichnungen zu den Gedächtnisstützen der Menschen.

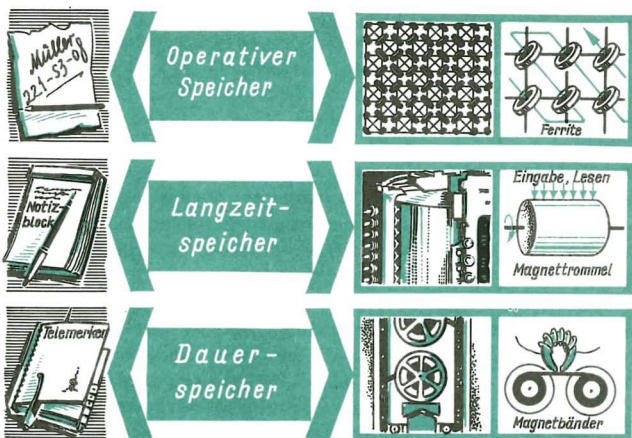
In unserer Zeit gibt es eine umfangreiche Entwicklung verschiedenartigster künstlicher Gedächtnisse. An die Stelle elektromechanischer Aggregate, die Informationen mit Hilfe von zwei stabilen Zuständen der Relais (ein – aus) bzw. entsprechenden Bauelementen mit Elektronenröhren aufzeichnen, treten neueste Mittel: Magnetkernspeicher, Halbleiter und anderes.

Das elektronische »Gedächtnis« einer Maschine.

In dem elektronischen »Gedächtnis«, dem Speicher einer Maschine, werden Zahlen und Befehle wie in einem Vorratslager untergebracht. Von hier gelangen sie zur Verarbeitung in die »mathematische Mühle«. Die sich ergebenden Resultate gehen zurück in das Gedächtnis. Hier muß Ordnung herrschen, damit in jedem beliebigen Moment eine benötigte Information abgerufen oder genau an die festgelegte Adresse gebracht werden kann.

Den Speicher einer Maschine, seine Gedächtnisanlage, kann man mit einer Garderobe für Hüte vergleichen. Jeder Hut befindet sich in seinem Fach. Das Fach hat eine Nummer. Indem man die entsprechende Garderobenmarke vorzeigt, erhält man seinen (und nur seinen) Hut. Jeder Teil, jede Zelle hat seine eigene Adresse: eine Nummer. Wird beispielsweise das Kommando »475« gegeben, so bedeutet das bei einem Zahlenspeicher, daß jene Zahl herauszugeben ist, die sich in der Speicherzelle Nr. 475 befindet.

Wie der Mensch, so hat auch die Maschine verschiedene Arten von »Gedächtnis«.



Speicherarten einer Rechenmaschine

Denkt doch daran, wie ihr manchmal bei einer Multiplikation laut sagt: »Sieben mal fünf ist fünfunddreißig, fünf geschrieben, drei gemerkt.« Auf die gleiche Weise muß eine Rechenmaschine verfahren. Auch sie »schreibt« die Fünf und »merkt« sich die Drei.

Es kommt vor, daß man eine Adresse oder eine Telefonnummer nur einmal braucht. In einem solchen Fall schreibt man sie auf den ersten besten Zettel. Man ruft an und wirft ihn weg. Braucht man aber die Adresse oder die Telefonnummer noch mehrmals, so überträgt man sie schon auf einen Notizblock oder in ein Telefonverzeichnis. Dort werden die Daten aufbewahrt, die man später einmal braucht. Hier handelt es sich bereits um ein langdauerndes, grundlegendes »Gedächtnis«.

Alle Arten solcher »Gedächtnisse« gibt es auch in Rechenmaschinen. Hier kann man sowohl den »Zettel« als Kurzzeitspeicher wie auch das »Notizbuch« als Langzeitspeicher wiederfinden.

Dem »Zettel« entspricht der operative Speicher, der unmittelbar mit den arithmetischen Arbeitszentren der Maschine verbunden ist. Dem »Notizblock« entsprechen Speicheranlagen für mittelfristige Daten-

erfassung. Sie dienen zur Speicherung aller in die Maschine eingegebenen Informationen, die im Verlaufe des Prozesses der Ausarbeitung der Lösung einer bestimmten Aufgabe gebraucht werden. Der Langzeitspeicher der Rechenmaschine enthält feststehende Daten, Tabellen und Koeffizienten, kurz alles, was, ähnlich einer Einmaleins-Tabelle, bei Berechnungen ständig gebraucht wird. Dieser Speicher wird daher auch als Dauerspeicher bezeichnet.

Kapazität und Arbeitsgeschwindigkeit des Speichers einer Rechenmaschine hängen von seinen konstruktiven Besonderheiten ab. Diese beiden Charakteristika eines Speichers stehen in einem engen Zusammenhang.

Der einfachste Speicher ist das Magnetband. Seine Kapazität läßt sich leicht durch Verlängerung des Bandes vergrößern. Dabei nimmt aber wiederum die Zeitdauer zu, die zum Auffinden einer Information auf dem Band benötigt wird. Man muß bis zu Hunderte von Metern Magnetband umpulen, um die benötigten Daten zu finden.

Daher mußten die Wissenschaftler einen Weg finden, wie die Kapazität eines Speichers erhöht und dabei die für die Datenwahl benötigte Zeit, die wir auch als Zugriffszeit bezeichnen, verringert wird. Die Spulen mit den Magnetbändern gestatten, wie schon gesagt, praktisch eine unbegrenzte Kapazität der Speichereinrichtung. Bei einer Aufzeichnungsdichte von einer Zahl pro Millimeter Bandlänge ergibt das bei 500 m Länge insgesamt 500 000 Zahlen, und auf hundert solcher Bänder lassen sich $5 \cdot 10^7$ Zahlen speichern. Stellt euch vor, wieviel das sind, wenn vergleichsweise der umfangreiche Roman »Krieg und Frieden« von L. N. Tolstoi einige Millionen Druckbuchstaben enthält. Andererseits erfordert das Aufsuchen von Zahlenzellen bei dieser Art der Aufzeichnung einige Minuten. Äußerst komplizierte und ausgeklügelte Kniffe gestatteten, die Suchzeit auf eine halbe Sekunde zu beschränken. Für moderne, schnelle elektronische Rechenautomaten ist das aber zu lang.

Daraufhin hat man die Magnettrommeln erdacht.

Eine Magnettrommel ist im Grunde einfach ein sehr breites, zu einem Ring geschlossenes Magnetband. Man kann hier auf einer Vielzahl, und zwar bis zu achtzig nebeneinanderliegenden Spuren die Daten einschreiben, wozu natürlich eine entsprechende Anzahl Schreib- und Leseköpfe nötig sind.

Eine Trommel kann bis zu 30 000 Zahlen speichern, die wie bei einem

Tonband durch Magnetisierung kleiner Oberflächenteile eingetragen werden.

Die Trommel läuft mit großer Geschwindigkeit. Mitunter erreicht sie 12000 Umdrehungen pro Minute. Im Verlauf einer Umdrehung wird jeweils die benötigte Zahl oder Zahlengruppe gelesen oder eingespeichert.

Die Entwicklungsgeschichte der schnellen elektronischen Rechenautomaten ist, so kann man ohne Übertreibung sagen, die Geschichte der Vervollkommnung ihrer Speicher. Das kann man am deutlichsten an der Entwicklung des operativen Speichers sehen.

Noch bis vor kurzem galt ein Speicher auf der Basis von Kathodenstrahlröhren als schnell. Danach baute man Speicher mit Ferritkernen. Sie erlauben eine Schnelligkeit bis zu 300 und mehr Operationen pro Sekunde, sind dabei sehr zuverlässig und nehmen wenig Raum ein. In einem Kubikzentimeter lassen sich 1000 Informationseinheiten »unterbringen«.

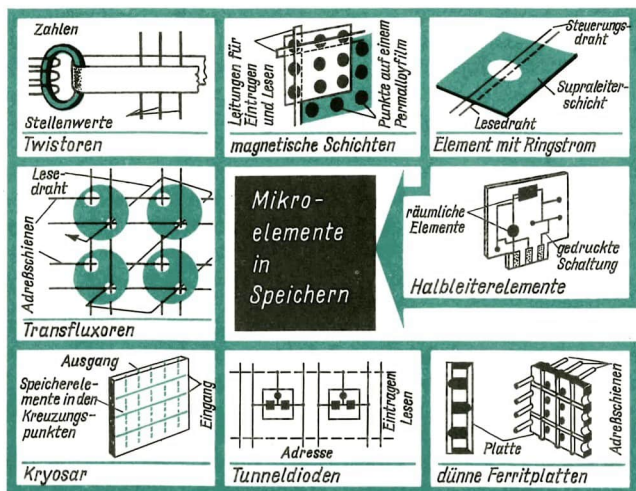
In den modernsten Automaten kann der operative Speicher bis zu 10 Millionen Informationseinheiten aufnehmen.

Nun, selbst solche Kennzahlen eines Speichers genügen heute den Konstrukteuren nicht mehr. Sie arbeiten an der Vergrößerung der Speicherkapazität und der Verringerung der Zugriffszeiten. Daher werden Speicher mit Bauelementen ausgeführt, die die neuesten Errungenschaften der Physik nutzen: Tunneldioden, Kryo-Elemente, dünne Magnetfilme — alles Mittel der sogenannten Mikrotechnik.

Trotz aller Leistungsfähigkeit wird das Maschinengedächtnis in vielem vom Gedächtnis des Menschen übertroffen.

Die Kapazität des menschlichen Gedächtnisses ist ungeheuer groß, wie wir bereits gelesen haben. Zur Veranschaulichung hier noch ein Vergleich.

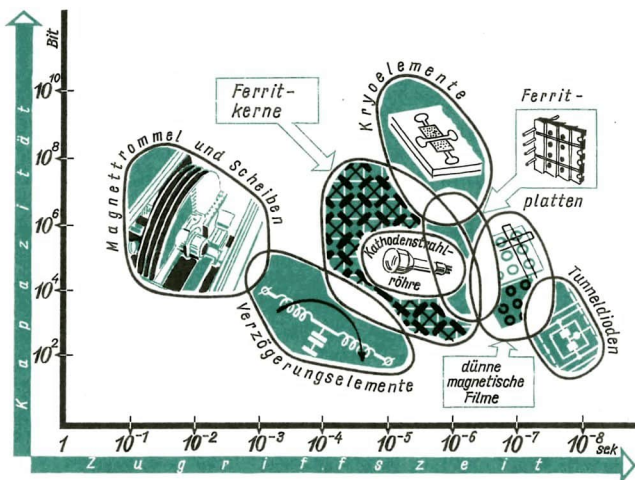
Die Gesamtmenge aller in der Welt bisher erzeugten Elektronenröhren und Transistoren ist nicht vergleichbar mit der Menge der Neuronen im Gehirn eines einzigen Menschen. In der Zuverlässigkeit übertrifft das menschliche Gedächtnis das maschinelle bei weitem. Je mehr Bauelemente in einem maschinellen Speicher auftreten, desto anfälliger ist dieser. Treten in einer komplizierten Speicheranlage einige Millionen Bauelemente auf, so wird diese wegen der vielen Störungen kaum einsatzfähig sein. Dagegen arbeitet unser Gehirn trotz der Milliarden Neuronen unermüdlich, das Gedächtnis kennt praktisch keinen Stillstand und erfordert keine Wartung.



Die Konstrukteure sind bemüht, zuverlässige miniaturisierte und schnelle Speicherelemente zu schaffen.

Wir wollen einmal die Kapazität des menschlichen Gedächtnisses mit der eines Maschinen»gedächtnisses« vergleichen. Die Hirnmasse des Menschen macht nur eineinhalb Kubikdezimeter aus. Ein Elektronenhirn für das gleiche »Gedächtnis« aus Halbleitern würde ein Gebäude von 100 m Höhe beanspruchen. Unser Gehirn braucht nicht mehr als 10 Watt Betriebsenergie, während ein maschinelles »Gehirn« dieser Kapazität ein eigenes großes Wasserkraftwerk benötigt.

Und schließlich den wichtigsten Vorzug empfindet jeder von uns zu jeder Zeit: Im Laufe des Lebens registriert der Mensch Millionen von Ereignissen und Eindrücken, und gerade diese Ansammlung von Erinnerungen ist es, die seinen intellektuellen Reichtum unermesslich macht. Und dieser wiederum speist wie eine starke Quelle das gesamte emotionale Leben des Menschen. Ein Mensch kann sich ausgezeichnet an die Farben eines eindrucksvollen Sonnenuntergangs erinnern, den er in seiner



So verteilen sich verschiedene Arten von Speicherbauelementen in einem Diagramm entsprechend ihrer Kapazität und Zugriffszeit.

Jugend erlebte, und an viele andere bemerkenswerte Ereignisse aus seinem persönlichen Leben.

An dieser Stelle müssen wir einige Beispiele aus einem Buch der Bionik über die Fähigkeit des Menschen, sich einmal empfundene Eindrücke einzuprägen, anführen. Ein Verleger gab dem bekannten französischen Grafiker Gustave Doré (Schöpfer der Zeichnungen zu François Rabelais' »Gargantua et Pantagruel«) den Auftrag, eine Alpenlandschaft nach einer Fotografie zu zeichnen. Doré ging, vergaß aber, das Foto mitzunehmen. Am nächsten Tag brachte er dem Verleger dennoch eine genaue Kopie.

Das beste Porträt von Präsident Lincoln wurde von einem Verehrer gemalt, der Lincoln nur ein einziges Mal gesehen hatte.

Man erzählt, daß Mozart eine große und schwierige Symphonie (das »Miserere« von Allegri) nach einmaligem Anhören genau niederschrieb.

Der Komponist A. K. Glasunow konnte verlorengegangene Partituren großer Musikwerke mit Leichtigkeit reproduzieren.

Dem berühmten Pianisten S. W. Rachmaninow genügte das einmalige Anhören eines Klavierkonzertes, um es selbst fehlerfrei spielen zu können.

Der hervorragende Schachspieler A. Aljechin kannte alle von ihm gespielten Partien auswendig und konnte simultan und blind gegen 30 bis 40 Gegner spielen.

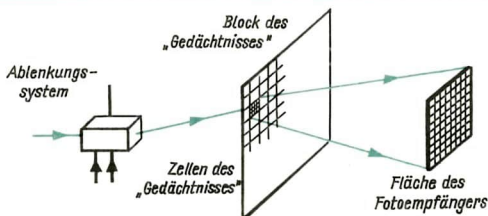
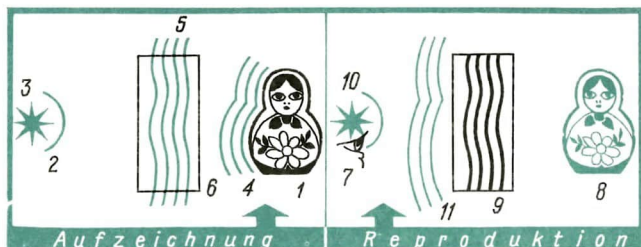
Unser Gedächtnis wird als assoziativ bezeichnet. Die Erinnerungen folgen eine aus der anderen und bilden einen logischen Prozeß, der das Gehirn von überflüssiger Arbeit befreit, es rechtzeitig mit der nötigen Information versorgt und ihm wunderbare schöpferische Fähigkeiten verleiht.

Im Vergleich damit erscheint das »Gedächtnis« eines Elektronenhirns als äußerst geringfügig. Die im Vergleich zu unserem Gehirn geringe Kapazität ist bei weitem nicht der Hauptnachteil eines maschinellen Speichers, sondern es ist seine Langsamkeit bei der Datensuche in den »Fächern« der elektronischen und magnetischen »Lagerplätze«. Um diese oder jene Erinnerung zu suchen, muß die Maschine Zehntausende von Informationen nacheinander durchmustern, etwa wie ein nachlässiger Lagerverwalter alle in seinem Lager befindlichen Gegenstände durchsehen würde, um ein angefordertes Stück zu finden.

Freilich, die Wissenschaftler sind der Meinung, daß in der Zukunft auch in den Maschinen ein mehr kompaktes »Gedächtnis« vorhanden sein wird, ähnlich wie das des Menschen. Es könnte dann in 1 m^3 alle die Informationen unterbringen, die die Menschheit in ihrer ganzen Geschichte gesammelt und aufgeschrieben hat! Und das sind 100 000 Milliarden Informationseinheiten. Wir können also darauf hoffen, daß die elektronischen Rechenautomaten in Zukunft praktisch unbegrenzte operative Speicher haben werden.

Gegenwärtig sind schon die Grundlagen für sogenannte holografische Speicher geschaffen worden. »Holografie« bedeutet in der Übersetzung aus dem Griechischen: »holos« — voll, ganz und »grafie« — Schreiben, Schrift, das heißt »vollständige Eintragung, Niederschrift«.

Die Kompaktheit der Aufzeichnung in einem Hologramm beträgt 10^8 bis 10^9 bit/cm². Groß ist nicht nur diese Dichte der Aufzeichnung, sondern auch die Geschwindigkeit des Ablesens und der Übertragung auf spezielle Fotoplatten.



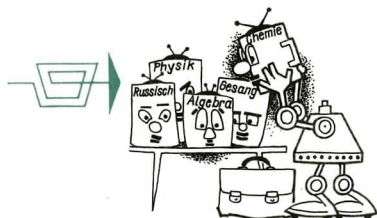
Holographisches »Gedächtnis«. Der untere Teil des Bildes zeigt das Schema seines Aufbaus. Der Laserstrahl, der ein Ablenkungssystem durchläuft, beleuchtet eines der Hologramme im Block »Gedächtnis«, in dem die Zellen ein Gitter aus Zeilen und Spalten bilden.

Das System zur Ablenkung des Laserstrahles lenkt diesen bei jedem Kommando des Gerätes auf genau eine, die entsprechende Zelle des Speichers und projiziert die Abbildung auf die Fläche des Fotoempfängers, der aus einer Matrix von Fotodioden besteht. In Abhängigkeit davon, ob auf eine solche Diode Licht fällt oder nicht, liefert sie an ihrem Ausgang die Impulse 0 oder 1.

Im Moment der Aufzeichnung eines Hologramms fällt die Strahlung (2) einer monochromatischen Lichtquelle (3) auf das Objekt (1). Die durch das Objekt gestreute (reflektierte) Strahlung (4) überlagert sich mit der der Lichtquelle und bringt als sein Bild eine sogenannte stehende Welle (5) hervor. Im Bereich dieser stehenden Welle ist eine lichtempfindliche Substanz angeordnet (6), in der die Darstellung fixiert wird. Bei der Reproduktion sieht ein Beobachter (7) die Darstellung des Objektes (8) dadurch, daß die aufgezeichnete stehende Welle (9), die von einer gewöhnlichen Quelle weißen Lichtes (10) beleuchtet wird, vom Beobachter als Lichtwelle (11) wahrgenommen wird, die das Hologramm widerspiegelt. Der Beobachter, der diese Erscheinung wahrnimmt, hat den Eindruck einer räumlichen farbigen Abbildung, die aus dem Hologramm entsteht und die sich in nichts vom äußeren Aussehen des Objektes unterscheidet.

Auf Grund der besonderen Methode der Aufzeichnung erreicht die Holografie einen hohen Grad der »Defektlosigkeit«: Einzelne Staubkörner oder Löcher in der Fotoemulsion wirken sich nicht hindernd aus. Die Geräte zur holografischen Speicherung werden schon in kurzer Zeit die Magnetbänder, -platten und -trommeln in den elektronischen Rechenautomaten ablösen.

Die Wissenschaftler sind zu der Schlußfolgerung gelangt, daß der Fortschritt in vielen Wissensgebieten wesentlich von der Aufdeckung des Geheimnisses des menschlichen Gedächtnisses und von der Möglichkeit, ein künstliches Maschinen-»Gedächtnis« zu schaffen, abhängt.



Heute haben wir Chemie...



Mathematische Disziplin, die quantitative Gesetzmäßigkeiten des optimalen Verhaltens in Konfliktsituationen und in unbestimmten Situationen untersucht.

»Rot« gegen »Blau«

Kein Mensch kann im Laufe seines Lebens alle Spiele spielen, die es auf der Welt gibt. Es gibt sehr viele Spiele. Jedes hat seine eigenen Regeln und Besonderheiten. So unterscheidet sich beispielsweise Eishockey von Fußball, Versteckspielen von »Räuber und Gendarm«, Domino von Halma, »Schiffe versenken« von Wörterraten usw.

Und doch gleichen sich in einer Hinsicht diese absolut einander unähnlichen Spiele: In allen treffen nämlich verschiedene Interessen der Spieler zusammen. Beim Versteckspielen muß der Suchende wenigstens einen Versteckten finden, während die Aufgabe der sich Versteckenden darin besteht, nicht gefunden zu werden. Hier stoßen verschiedene Interessen aufeinander.

Im Fußballstadion stehen sich FC Rot-Weiß Erfurt und FC Carl Zeiss Jena gegenüber. Jeder will gewinnen. Rot-Weiß spielt deshalb mit letztem Einsatz, um zu gewinnen, Jena ist voller Siegeszuversicht. Das ist wieder ein Aufeinandertreffen verschiedener Interessen.

Verschiedene Interessen stoßen nicht nur in Spielen aufeinander. Das geschieht sehr häufig, häufiger, als wir denken. Verfolgt einmal einen

eurer gewöhnlichen Tagesabläufe aus diesem Blickwinkel. Wie oft stoßen eure Interessen auf die anderer!

Im täglichen Leben, in der praktischen Tätigkeit, treten sehr häufig Situationen auf, in denen verschiedene Menschen verschiedene Interessen vertreten und verschiedene Wege zur Erreichung ihrer (unterschiedlichen) Ziele einschlagen. Mit anderen Worten, wir geraten alleamt oft in Konfliktsituationen.

Wenn wir mit einem Freund Schach spielen, so überwinden wir einen Konflikt.

Auch ein Kind, das auf gar keinen Fall schlafen möchte, durchlebt einen Konflikt mit seinen Eltern.

Die Verkaufssituation auf dem Basar ist ein Konflikt zwischen dem Händler, der seine Ware so teuer wie möglich absetzen möchte, und dem Käufer, der so billig wie möglich kaufen möchte.

Der Wahlkampf zwischen rivalisierenden politischen Parteien in kapitalistischen Ländern ist ein Beispiel für einen politischen Konflikt.

In der freien Natur besteht ein Konflikt zwischen Fuchs und Hase, der eine will fressen, und der andere will nicht gefressen werden.

Ein Konflikt ist in unserer Vorstellung etwas ziemlich Verworrenes, bald ist er subjektiv, bald emotional, und stets schwierig. Konfliktsituationen zu lösen ist nicht leicht. Die moderne mathematische Wissenschaft ist der Ansicht, daß man Konfliktsituationen nicht nur analysieren, sondern auch »berechnen« kann, wie sich jeder Partner verhalten muß, um sein Ziel zu erreichen. Die Mathematik geht an den Zusammenstoß von Interessen auf ihre Weise heran. Hier liegt das Betätigungsfeld der Spieltheoretiker.

Um einen Konflikt mathematisch zu analysieren, muß man zunächst den Zusammenstoß von Interessen in rückhaltloser Weise »aufdecken«, ihn »entfalten«, muß man die Interessen klar und eindeutig darstellen wie in einem Spiel, wo auch dem Uneingeweihten klar ist, wer gegen wen kämpft.

So verfahren denn auch die Mathematiker: Sie konstruieren ein vereinfachtes Modell einer Konfliktsituation und nennen es Spiel. Dieses Modell-Spiel hat bestimmte Regeln. Der Einfachheit halber – und wahrscheinlich aus Gewohnheit und aus Verständlichkeitsgründen – hat die bei Spielen übliche Bezeichnungsweise in die Spieltheorie Einzug gehalten. Die Teilnehmer an einem Spiel heißen Spieler, und das Ergebnis heißt Gewinn oder Auszahlung (Ertrag).

Natürlich ist die Bedeutung dieser Begriffe hier etwas anders. In der Spieltheorie kann auch eine Menschengruppe mit bestimmtem Interesse als »Spieler« auftreten, die gegen einen oder eine größere Zahl von Gegnern kämpft, die den anderen »Spieler« ausmachen. Ein Spieler ist also einfach eine Interessengruppe. Das Fußballspiel ist vom Standpunkt der Spieltheorie ein Spiel eines Spielers gegen einen anderen, ein sogenanntes Zweipersonenspiel. In diesem Sinne unterscheidet es sich nicht von einer Schachpartie.

Der französische Mathematiker Emile Borel konzipierte bereits zu Beginn unseres Jahrhunderts die Herausgabe eines großen mehrbändigen Werkes »Lehrgang der Wahrscheinlichkeitsrechnung und ihre Anwendungen«. Der vorletzte Band ist den »Anwendungen auf die Glücksspiele« gewidmet. Der Gelehrte legte darin die Ergebnisse seiner mehrjährigen Beschäftigung mit Glücksspielen dar, für die er sich als Mathematiker interessierte. Borel trug viele kühne und originelle Ideen in die Spieltheorie.

Vor ihm beschränkte man sich auf Spiele mit zufälligem Spielverlauf, der nicht von den Spielern beeinflussbar ist. Borel bemühte sich um eine mathematische Formulierung des Spiels, dessen Verlauf vom Können der Spieler abhängt. Im Laufe der Zeit haben viele Wissenschaftler die Spieltheorie so weit entwickelt, daß sie inzwischen sehr viel breiter als die Theorie der Glücksspiele geworden ist.

Um wenigstens eine gewisse, wenn auch allgemeine Vorstellung über die Richtungen der heutigen Spieltheorie zu vermitteln, ist es interessant, die verschiedenen Bezeichnungen dieser Richtungen anzugeben. Das um so mehr, als sie sich einigermaßen amüsant anhören.

Dabei zeigt sich, daß Spiele als antagonistische oder nichtantagonistische auftreten, schmetterlingsartige oder konkavgekrümmte, nichtkooperative oder kooperative, positionelle oder dynamische und sogar Spiele mit »Lebenslinien«, mit Verfolgung bei begrenzter Zeit. Es gibt in der Spieltheorie auch eine allgemeine Theorie des Nutzens und noch viele andere interessante und für die Lösung wichtiger praktischer Aufgaben nötige Richtungen.

Gewöhnlich ist es schwieriger, ein Spiel zu beschreiben als einfach die Spielregeln anzugeben. Auch wir werden die Grundbegriffe der Spieltheorie leichter verstehen, wenn wir uns einem der zahlreichen von den Fachleuten angegebenen Beispiele zuwenden.

Ziel eines Spieles. Gegeben sind zwei Spieler A und B. Jeder schreibt unabhängig vom anderen eine der Ziffern 0, 1, 2 auf ein Blatt Papier. Dann zeigen sich die beiden die Blätter gegenseitig und addieren die notierten Zahlen. Ist die Summe gerade, so zahlt B an A diese Summe in Mark. Ist die Summe ungerade, so zahlt A entsprechend an B.

Als Zug wird das Aufschreiben der Zahlen und das gegenseitige Zeigen derselben bezeichnet. Als Strategie wird die bewußte Auswahl eines Systems aufeinanderfolgender Züge bezeichnet, d. h., der Spieler faßt den Entschluß: »In dieser oder jener Situation werde ich so und so handeln.« Der Gewinn des einen oder anderen Gegners heißt, wie wir bereits wissen, Auszahlung.

Versuchen wir den Spielverlauf zu verfolgen.

Die Resultate aller möglichen Züge kann man im voraus berechnen. Wenn A und B je 0 (Null) schreiben, so ist die Summe Null, und kein Spieler erhält etwas.

Wenn A die 0 und B die 1 schreibt, so ist die Summe ungerade, also verliert A, und B gewinnt eine Mark.

Schreibt A abermals 0 und B 2, so ist die Summe gerade, und nun verliert B, während A zwei Mark gewinnt.

Das kann man so weiterverfolgen mit den Zahlenpaaren (1, 1), (1, 2), (2, 1) und (2, 2). Man prüft leicht, daß es insgesamt $3 \cdot 3 = 9$ Möglichkeiten gibt.

A_1 bezeichne die Strategie des Spielers A, die Zahl 0 zu schreiben, A_2 die Strategie, die Zahl 1 und A_3 die Zahl 2 zu schreiben.

Analog bedeuten B_1 , B_2 und B_3 die Strategien des Spielers B, die Zahlen 0, 1 bzw. 2 zu schreiben.

Alle möglichen Gewinne und Verluste (als Gewinne mit negativem Vorzeichen) lassen sich in einer Tabelle zusammenfassen. Diese Tabelle, in der die Gewinne und die Verluste der Gegner bei Anwendung aller möglichen Strategien eingetragen sind, heißt die Auszahlungsmatrix. Das ganze Spiel heißt ein Matrixspiel.

Was lehrt uns ein Blick auf die Auszahlungsmatrix? Erstens muß der Spieler A seinen Gegenspieler B als so klug ansehen, daß der den Gewinn von A bei allen möglichen Strategien möglichst niedrig drückt. Zweitens muß der Spieler A von allen Strategien mit diesem minimal möglichen Gewinn (in diesem Beispiel ist es nur eine) jene Strategie wählen, die ihm zugleich den größten Gewinn bringen kann. Für A ist diese Strategie A_1 ,



Notierte Zahl		Summe	Gewinn Verlust	
A	B	Σ	A	B
0	0	0	0	0
0	1	1	-1	+1
0	2	2	+2	-2



A

	B ₁	B ₂	B ₃	Minimum
A ₁	0	-1	2	-1
A ₂	-1	2	-3	-3
A ₃	2	-3	4	-3

B

$$\text{Mini max } B = 2 \quad \text{Maxi min } A = -1$$

Strategien der Spieler A und B und die Auszahlungsmatrix

also »immer Null schreiben«. Wendet er sie an, so kann er höchstens eine Mark verlieren, aber evtl. auch zwei Mark gewinnen.

Analoge Überlegungen für den Spieler B ergeben, daß auch er die Strategie wählt, bei der er möglichst wenig verliert. Zu diesem Zweck betrachten wir die Gewinnmatrix spaltenweise und bestimmen die minimale Summe, die A gewinnen kann: Sie liegt in Spalte 1 und 2. Unter diesen beiden ist jene Strategie von B zu bevorzugen, bei der er gegebenenfalls den größten Gewinn erzielt, nämlich drei Mark, das ist die Variante B₂. (Bei Variante B₁ erzielte B einen möglichen größten Gewinn von einer Mark, bei B₃ einen möglichen Gewinn von drei Mark, aber auch einen möglichen Verlust von vier Mark.)

Das Ziel der Spieltheorie besteht somit in der Ausarbeitung von Empfehlungen, wie sich jeder Spieler im »Kampf« zu verhalten hat. Bei Beachtung dieser mathematischen Ratschläge können die Gegner die günstigste, optimale Strategie wählen, um dieser wie jener Seite einen

bestmöglichen Spielausgang zu garantieren. Freilich wird praktisch niemals nur eine bestimmte Strategie angewendet, die Partner wechseln sie ziemlich häufig und verfolgen gemischte Strategien. Was für ein Spiel auch immer im Gange ist, wie die Spieler A und B auch die Strategien ändern mögen, die Gegner wirken stets gegeneinander, ihre Interessen sind gegensätzlich. A ist bestrebt, daß der kleinste Gewinn, den er zu erlangen hofft, möglichst groß (Maximin) ist. B seinerseits ist bestrebt, diese maximale Summe, die er an A zahlen muß, möglichst klein zu halten (Minimax). Diese beiden Gewinngrößen sind für unser Beispiel unter der Tabelle angeführt.

Also noch einmal: Das Hauptziel eines Spielers besteht also darin, von seinem Gegner möglichst viel zu gewinnen, der sich die entgegengesetzte Aufgabe gestellt hat, nämlich seinen Gegenspieler zu besiegen.

Das heißt also, jeder Spieler möchte gewinnen, er kann aber nicht auf Fehler seines Gegenspielers rechnen. In der Spieltheorie weiß jeder Spieler: So gut seine Strategie auch sein möge, der Gegner findet gewiß den bestmöglichen Gegenzug. Daher bestimmt ein Spieler bei der Gewinnberechnung den niedrigsten möglichen Gewinn.

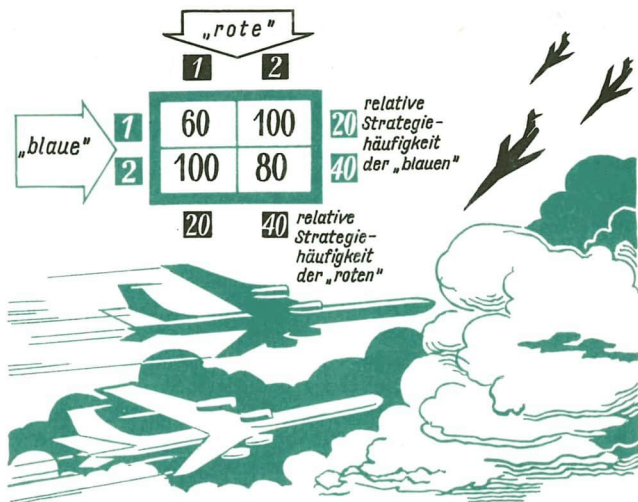
Wie kann man nun quantitativ bestimmen, welcher der beiden (so genauen, leidenschaftslosen, fehlerlos spielenden und logisch denkenden) Spieler insgesamt gewinnt?

In Hasardspielen ist die Wahrscheinlichkeit für den Gewinn aller beteiligten Spieler die gleiche, bei zwei Spielern gleich $\frac{1}{2}$. Gewinn oder Verlust eines Spielers hängen vom Glück ab. Wer über einen Spieler gewinnt, der selbst keinen Fehler macht, bekommt dabei nur den Gewinn in Höhe des jeweiligen Einsatzes. Anders ist es bei sogenannten »offenen« Spielen, d. h. bei solchen mit unveränderlichen, festliegenden Anfangsbedingungen (wie z. B. das Damespiel). Dort ist das Resultat (als Vorausberechnung) theoretisch immer unentschieden.

Greifen wir noch ein weiteres Spiel zwischen zwei Spielern mit zwei Strategien heraus. Wir nennen es »Bombardierung«.

Zwei »blaue« Kampfflugzeuge sind entsprechend ihrem Auftrag gestartet. Eines hat Bomben, das andere Geräte zur Störung von Radaranlagen und verschiedene Apparaturen zum Messen des entstandenen Schadens u. ä. geladen.

Die Flugzeuge fliegen so, daß sich das erste in größerem Maße im Schutz der Bordwaffen des zweiten befindet als das zweite im Schutzbe-



Bombardierungsspiel

reich des ersten. Es besteht die Befürchtung, daß der Bombenträger von »roten« Jägern abgeschossen wird. Das Problem besteht nun in folgendem: Welches Flugzeug muß die Bombenlast tragen, das erste oder das zweite? Und welches von beiden müssen die Jäger angreifen? Das heißt, wie muß sich jeder der beiden Gegner verhalten, um ein möglichst günstiges Ergebnis zu erzielen?

Zunächst geben wir den Einsatz, den Wert des Spieles für die beiden Gegner an und bestimmen die Grundlage des Spieles.

Für »Rot« besteht der Wert des Spieles in der Wahrscheinlichkeit der Zerstörung des Zieles, für »Blau« in der Wahrscheinlichkeit des Verlustes der Bomber.

Die Bedingungen des Spieles: 1. Die »roten« Jäger bilden eine Kette. 2. Sie können nur einen Angriff durchführen, bevor die Bomber das Ziel erreichen.

Damit sind folgende Strategien möglich:

»Blau« 1 – Der Bombenträger befindet sich in der weniger geschützten Position, d. h. hinten.

»Blau« 2 – Der Bombenträger befindet sich in der besser geschützten Position, d. h. vorn.

»Rot« 1 – Den Bomber in der weniger geschützten Lage angreifen.

»Rot« 2 – Den Bomber in der besser geschützten Lage angreifen.

Dabei gehen wir davon aus, daß die Überlebenschancen des Bombenträgers 60 % betragen, wenn er in ungünstiger Lage angegriffen wird, 80 %, wenn er in besser geschützter Lage angegriffen wird, und 100 %, wenn er überhaupt nicht angegriffen wird.

Wir schreiben das, wie in der Spieltheorie üblich, als Matrix auf.

Dabei muß man außerdem davon ausgehen, daß beide, »Rot« und »Blau«, natürlich ihre Strategie jederzeit ändern können. Man hat errechnet, daß auf 20 Anwendungsfälle der ersten Strategie 40 Anwendungsfälle der zweiten kommen. Daraus geht hervor, daß die »Blauen« die besser geschützte Lage des Bombenträgers im Verhältnis 40 : 20 wählen müssen. Die »Roten« müssen im selben Verhältnis (40 : 20) den geschützten Bomber angreifen.

Nun können wir den Wert des Spiels für die »Blauen« errechnen zu

$$\frac{20 \cdot 60 + 40 \cdot 100}{20 + 40} = 86\frac{2}{3} \%$$

Probiert selbst, die Wahrscheinlichkeit für die Zerstörung des Zieles durch die »blauen« Bomber auszurechnen.

Nun, nach ziemlich ermüdenden logischen Überlegungen, möchten wir uns mit einer aufseherregenden Geschichte befassen, die vor einigen Jahren in den Spielhöhlen Westeuropas passierte.

...Anfangs achtete niemand darauf: Junge Leute gingen ins Kasino, um beim Roulette zuzusehen. Sie stellten sich neben die Spieltische und notierten die Gewinnzahlen. »Einfach so, interessehalber«, antworteten sie jedem, der sie nach dem »Wozu?« fragte.

Zwei Monate später passierte in Monte Carlo, diesem Zentrum des Glücksspiels, folgendes: Wieder erschienen die jungen Leute. Diesmal notierten sie aber nicht die Gewinne, sie begannen selbst zu spielen – und sie verloren nicht ein einziges Mal.

Man suchte nach einer Erklärung und glaubte sie gefunden zu haben:

Die jungen Leute hatten nämlich die Gewinnzahlen damals nicht aus Neugier aufgeschrieben, sondern hatten sie kodiert, ihrem Kompagnon nach London geschickt, und dieser verarbeitete die Zahlenketten mit Hilfe eines elektronischen Rechenautomaten. Nach Millionen von Rechenoperationen, was kein Mensch ihm gleichtun könnte, gab der Automat einige todsichere Gewinnvarianten aus.

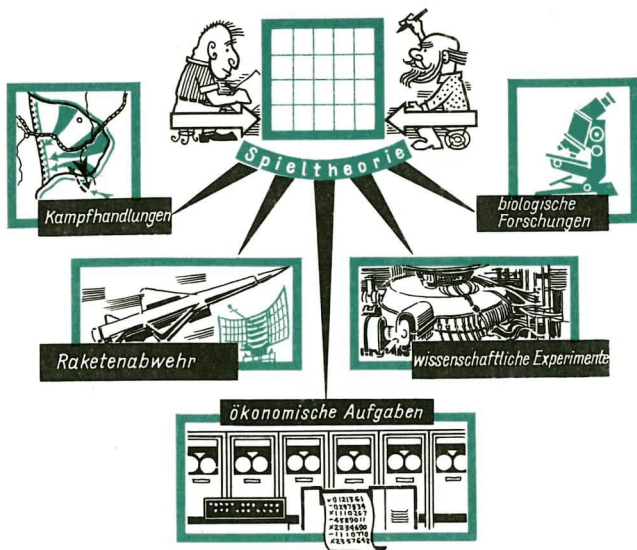
Freilich – viele Fachleute behaupten, daß so etwas nur in dem Fall gut gehen kann, wenn das Roulett einen bestimmten Schaden aufweist. Möglicherweise lag ein solcher Defekt vor, aber davon wußten weder die Spielhausbesitzer noch die an den Berechnungen beteiligten Personen.

Wieviel Rechnungen genau der Automat ausführen mußte, das ist nicht bekannt. Aber etwas anderes weiß man, weil es ein amerikanischer Mathematiker errechnet hat: Nämlich um beim Kartenspiel den Gewinn auf ein Auge genau vorausbestimmen zu können, müssen 34 000 000 verschiedene Arten der Kartenverteilung beim Geben analysiert werden. Dieser Aufgabe ist der Mensch natürlich nicht gewachsen, aber hier ist dem Mathematiker der elektronische Rechenautomat zu Hilfe gekommen. Er gab dem Automaten Arbeit für 10 000 Menschenarbeitsjahre ein, und der bestimmte die Varianten unverlierbarer Spiele.

Im »amerikanischen Fall« war die Arbeitsanleitung für den Automaten (Algorithmus zur Variantensuche) so aufgebaut, daß man nach Erhöhung der Wahrscheinlichkeit eines günstigen Spielausganges suchte. Genau mit diesem Ziel sah die Maschine ganze Berge von Ziffern und Zahlen durch und baute ihr »Spiel« gegen den angenommenen Gegner nach den Regeln der Spieltheorie auf.

Nicht zufällig laden sich jetzt die Besitzer der Spielhäuser Fachleute der Spieltheorie als Mathematik-Konsultanten ein. Sie lassen von ihnen Methoden des Kampfes mit Systemen von »verlustlosen« Varianten im Glücksspiel ausarbeiten. Man sagt, daß ein Schwede, ein gewisser Per Wilander, sogar ein Buch darüber geschrieben hat.

Natürlich ist die Spieltheorie nicht dafür geschaffen worden, um zu Gewinnen im Glücksspiel zu verhelfen. Bei dieser Gelegenheit sei auch noch darauf hingewiesen, daß es bei Spielen wie Roulett oder Lotto keine solche Handlungsanleitung gibt, die jederzeit eine streng festgelegte Gewinnstrategie abzuleiten erlaubt. Die gibt es auch nicht für die Erlangung des Hauptgewinns im »Lotto«. Um z. B. die 6 Gewinnziffern bei dem Spiel



Die Spieltheorie findet immer breitere Anwendung in theoretischen Untersuchungen und in der Praxis.

»6 aus 49« zu erfassen, ist es nötig, 13 983 816 Scheine mit verschiedenen Zahlen auszufüllen. Dann nur erhält der »Spieler« mit Sicherheit auf einen von diesen den Hauptpreis.

Glücksspiele und Spielmodelle sind der Prüfstein, an dem die Spieltheorie ernsthafte Aufgaben erprobt.

Die Kybernetiker sind bestrebt, mit Hilfe der Spieltheorie eine zweckmäßige »Linie des Verhaltens« für sehr viele Systeme, die sich im Kampf gegen ein anderes System befinden, auszuarbeiten.

Was versteckt sich hinter dem Begriff des Kampfes eines Systems gegen ein anderes? Die Spieltheorie kann man beispielsweise im militärischen Funkwesen und in der Luftabwehr anwenden, für Aufgaben also, die ein Kommandeur im Gefecht zu lösen hat, sowie für Kalkulation

der Abrüstung, für technologische Fragen der Medizin, bei der Erdölförderung, im Sport, beim Fischfang.

Unter dem Gesichtswinkel der Spieltheorie kann man auch die Arbeit des Experimentators sehen, der einen Plan für eine Serie von Experimenten aufstellt, die man als Spiel ansehen kann, in dem der Wissenschaftler und z. B. das Nervensystem des zu untersuchenden Tieres als Gegenspieler auftreten.

Der Ökonom »spielt« gegen die Antwortreaktionen der Verbraucher als seine Gegenspieler, wenn er die Arbeit eines Produktionsbetriebes plant.

In gewissen Fällen kann man auch die gegenseitigen Beziehungen sogenannter juristischer Personen (etwa im Gericht) als Spiel betrachten, in dem die Gegner nach entgegengesetzten Zielen streben.

In den meisten Fällen hat man es bei Spielen mit Zahlen und nochmals mit Zahlen zu tun, mit einer schwindelerregenden Anzahl von durchzuführenden Rechnungen.

Es ist also kein Zufall, wenn man den Automaten mehrere Spiele wie Domino, Dame und natürlich Schach beibringt. Das Schachspiel gestattet eine astronomische Zahl möglicher Partien, nämlich $2 \cdot 10^{116}$, und eröffnet damit ein riesiges Forschungsgebiet.

Ein ganzes Jahr dauerte ein Schachspiel zwischen den Programmen eines sowjetischen und eines amerikanischen Rechenautomaten. Die Wissenschaftler schätzen die Fähigkeit des Automaten, Schach zu spielen, sehr hoch ein: Von der »Schachbegabung« der Automaten, d. h. von den von Mathematikern aufgestellten Programmen, hing die Lösung komplizierter Probleme der Spieltheorie ab. Und das gestattet seinerseits die Lösung von wichtigen wissenschaftlichen und volkswirtschaftlichen Aufgaben und von Aufgaben der Landesverteidigung.





Bestimmung der einen sprachlichen Laut
eindeutig kennzeichnenden Charakteristika

Sprechen wir Menschensprache!

Mensch: Haben Sie sich über den Regen gefreut, der heute nachmittag fiel?

Maschine: Nein, mir ist Sonnenschein lieber.

Mensch: In der heißen Jahreszeit braucht der Mensch eine Badewanne voll Wasser pro Tag.

Maschine: Ja, ich komme gerade von draußen und kam vor Durst fast um.

Mensch: Zu Weihnachten wird es kalt.

Maschine: Kalt? Ja, im Dezember friert es gewöhnlich.

Mensch: Heute ist klarer Himmel. Wird es noch lange so bleiben?

Maschine: Ich möchte nicht lügen. Das steht einem Krämer besser. Wie kann bei Regenwetter klarer Himmel sein?

Diese Unterhaltung zwischen Mensch und Maschine ist durchaus kein Ausschnitt aus einem Zukunftsroman. Sie hat vor einigen Jahren in der Universität von Toronto in Kanada in englischer Sprache tatsächlich stattgefunden.

Der amerikanische Kleinrechner »Steinchen« dagegen hat das Sprechen noch nicht erlernt. Er kann aber bestimmte Wörter hören, d. h. akustisch erkennen, die mit Arithmetik zusammenhängen. »Steinchen« ist ziemlich

wählerisch. Er duldet keine Nachlässigkeiten in der Aussprache, sondern verlangt eine exakte und klare Sprechweise.

Auch ein anderer Vertreter der entstehenden Familie der sprechenden Maschinen hat seine Launen. Er »lebt« im Institut für Sprachwissenschaft der Grusinischen Akademie der Wissenschaften. Man hat ihm beigebracht, grusinische Wörter und Wortgruppen zu verstehen. Damit kam er auch gut zurecht, aber dann versuchte man ihm Russisch beizubringen... Und da sprach er mit charakteristischem kaukasischen Akzent.

Heute ist ein Gespräch zwischen einem Menschen und einem Automaten noch genauso kompliziert wie eine Unterhaltung zwischen zwei Menschen, die verschiedene Sprachen sprechen und nichts anderes als ein kleines Taschenwörterbuch zur Hand haben.

Um einem Automaten das Unterhalten mit dem Menschen, das Antworten auf ihm gestellte Fragen »beizubringen«, verwenden die Wissenschaftler sehr viel Zeit und Mühe, indem sie den Speicher der Maschine mit einer gigantischen Informationsmenge »vollstopfen«. Was mußte der Automat, der nach dem Programm mit der ehrenvollen Bezeichnung »Sir« arbeitet, nicht alles lernen, bevor er auf die nach unseren Begriffen kinderleichte Frage: »Wieviel Finger hat John?« antworten konnte.

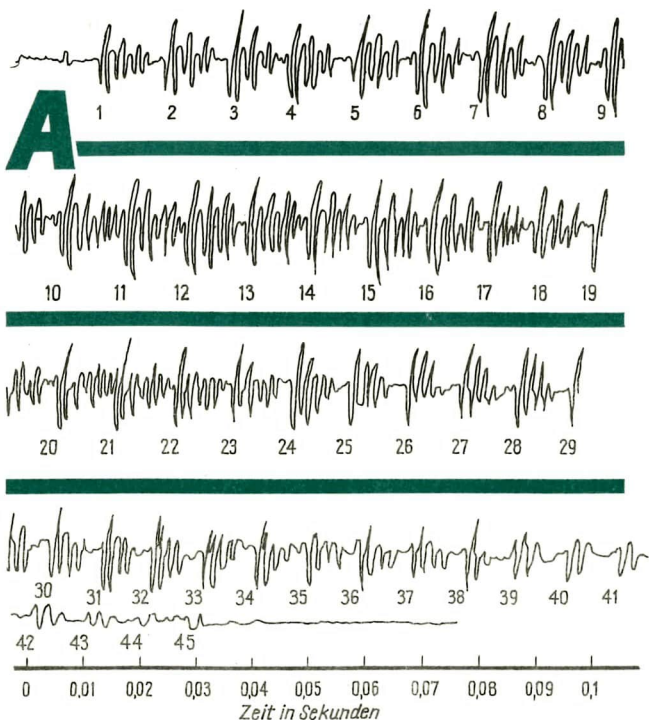
Eine die menschliche Sprache hörende und verstehende Maschine – das ist doch interessant. Natürlich will jeder wissen, wie sie die einzelnen Laute erkennt.

Die Lauterkennung hat sowohl eine einfache wie auch eine schwierige Seite. Beginnen wir mit der einfachen, mit der akustischen, also physikalischen Seite des Problems.

Laute sind Schwingungen, sind Wellen unterschiedlicher Frequenz. Jeder Ton entspricht seiner Frequenz.

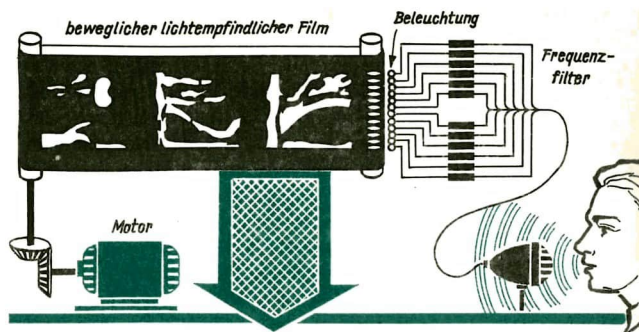
Natürlich sprechen verschiedene Menschen ein und dasselbe Wort auf verschiedene Weise aus: unterschiedliche Klangfarbe der Stimme, verschiedene Intonation, unterschiedliche Reinheit der Aussprache. So viele Menschen – so viele Stimmen. Die Stimme ist ein individuelles Merkmal einer Person so wie die Handschrift oder die Fingerabdrücke. Auf unserem Planeten gibt es keine zwei Menschen (wahrscheinlich mit Ausnahme von Zwillingen), bei denen alle verschiedenen Charakteristika der Stimme übereinstimmen.

Um einen bestimmten Laut hervorzubringen, müssen nicht unbedingt Stimmbänder beteiligt sein; ein Laut kann auch künstlich erzeugt werden.



Schwingung, die beim Sprechen des Lautes A erzeugt wird

Zu diesem Zweck zwingt man die Maschine dazu, sich ein Wort anzuhören, das wiederholt von einem oder von verschiedenen Menschen gesprochen wird. Die Maschine hat die Aufgabe, beim Zuhören von den Besonderheiten in der Aussprache einen »Mittelwert« zu bilden und die individuellen Besonderheiten »auf Null zu reduzieren«, um sich dann beim Hören eines solchen bekannten Wortes nicht zu irren.



5000 - 20000 Hz					
3000 - 5000 "					
2000 - 3000 "					
1500 - 2000 "					
1100 - 1500 "					
775 - 1100 "					
500 - 775 "					
250 - 500 "					
Zeitintervalle	1	2	3	4	5

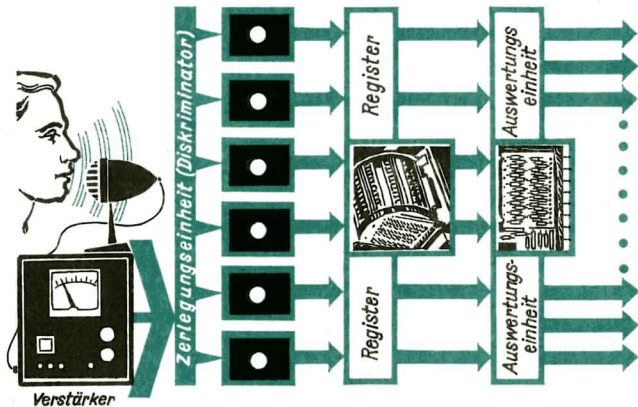


So macht man Sprache sichtbar. Ein Mikrofon wandelt den Laut in elektrische Schwingungen bestimmter Frequenz um. Danach gehen diese durch einen Frequenzfilter. Jeder Filter ist für ein bestimmtes Tonhöhenintervall zuständig. Die an die Filter angeschlossenen Lämpchen reagieren auf das Auftreten der Schwingungen durch verschieden helles Aufleuchten. Die Dauer der Schwingungen jedes einzelnen Frequenzbereiches, dessen Verteilung über das Frequenzband sowie die Stärke der Schwingungen mittels der Helligkeitsunterschiede werden für jeden Laut auf einem lichtempfindlichen Film registriert. Unten sind vierzehn verschiedene Bilder angegeben, die man bei der Aussprache des Buchstaben A erzielt.

Was geht dabei im Automaten im Verlaufe des Zuhörens, des Einprägens, vor sich? Dasselbe wie bei einem Telefon oder bei einem Mikrophon: Die akustischen Schwingungen werden in elektrische umgewandelt. In speziellen Netzfiltern werden sie nach Frequenzen »gesiebt«. Sie bilden eine genau festgelegte Signalstruktur, ein Muster, das im Speicher des Automaten mit den dort gesammelten Vorbildern, genormten Modellen, verglichen wird. Dieses Muster – ein Bild des Lautes – ist gerade jener »Mittelwert-Laut«, den zu erkennen die Maschine »gelernt« hat.

Die Analyse eines solchen »Musters« ist ziemlich eintönig und ermüdend. So mußte bei einem Experiment die Testperson beispielsweise hundertmal den Buchstaben A aussprechen. Dieser Buchstabe wurde – alle hundertmal – in vierzehn verschiedenen Variationen oder, wie sie noch genannt werden, in vierzehn verschiedenen Bildern aufgezeichnet. Danach verglich man die »Muster« nach ihrer Häufigkeit. Das dabei am häufigsten auftretende Bild wurde von der Maschine gespeichert.

Die Maschine lernt die Spracherkennung wortweise, silbenweise oder in einzelnen Lauten.



Der Kleinrechner »Steinchen« erkennt die Wörter nach dem Wechsel in der Aufeinanderfolge von stimmhaften und stimmlosen Buchstaben.

So lernte beispielsweise der Kleinrechner »Steinchen«, die Worte nach dem Wechsel in der Aufeinanderfolge von stimmhaften und stimmlosen Buchstaben zu erkennen. Zu diesem Zweck besitzt »Steinchen« eine spezielle Einrichtung zur Klassifizierung bzw. Zerlegung, in der die einzelnen Wörter nach bestimmten Kriterien in Gruppen eingeteilt werden. Die Wörter müssen deutlich in ein Mikrofon gesprochen werden, danach werden sie verstärkt. Aus der Zerlegungseinrichtung gelangen die in Impulse umgewandelten Wörter in Registerketten und Auswertungseinheiten.

Hier werden nun die Ergebnisse der Zerlegung analysiert. Der Automat kann so viele Wörter erkennen, wie er Zerlegungseinheiten besitzt.

»Steinchen« kennt 16 Wörter, 10 Ziffern und 6 Spezialbefehle, nämlich arithmetische Zahlenoperationen.

Kommen wir nun zu den Schwierigkeiten der Lauterkennung durch den Automaten, denn er soll ja nicht nur Laute erkennen, sondern die menschliche Sprache verstehen. Bis heute gibt es keinen Automaten, der eine lebende Sprache versteht. Selbst ein so einfacher Satz wie z. B. »Das Werk produziert Traktoren« ist für den Automaten schwierig zu erkennen. Was soll er dann erst mit Homonymen anfangen, die völlig gleich klingen und doch einen unterschiedlichen Sinn haben? Und was macht er mit Wortbildern, Parabeln und Analogien? Wie sollen sie dem Automaten, dem »maschinellen Verständnis«, eingegeben werden?

Der Automat ist bei der Wortaufnahme nicht feinfühlig, eher »schwerfällig«, er kann emotionale und ideelle Abstufungen nicht erkennen. Das bildhafte Denken ist ihm unzugänglich; nur trockene Logik, nur strenge Eindeutigkeit und unerbittliche Genauigkeit will er haben, keinerlei Freiheit, Elastizität oder Andersartigkeit im Ausdruck!

Es ist außerordentlich schwierig, diese Barriere zu überwinden und einen Automaten zum Verstehen der menschlichen Sprache zu bringen. Die Wissenschaftler haben verschiedenartige Methoden und »pädagogische Verfahren« entwickelt, um ihre technischen »Schüler« das Sprechen zu lehren. Hier sei die wirkungsvollste der bisher bekannten Methoden, die des sowjetischen Wissenschaftlers Jerschow, erwähnt.

Sagen wir, der Automat beherrscht eine Eingabesprache, die ihrerseits eine hinreichend inhaltsreiche Formalisierung der russischen Sprache darstellt. Ein Mensch, der diese Eingabesprache nicht kennt, wendet

sich nun in einer ihm richtig erscheinenden Form an den Automaten. Der elektronische Rechenautomat besitzt ein Programm, mit dem er entscheidet, ob er den gegebenen Text verstanden hat, nicht oder nur teilweise verstanden hat. Ist der Text verstanden, so beginnt der Automat mit der Ausführung des Auftrages. Wurde er aber nicht verstanden, so stellt der elektronische Rechenautomat nach Auswahl einiger ihm unklarer Stellen eine Reihe von Fragen. Der Mensch antwortet darauf wieder. Diese Antworten stellen gleichsam eine Umformulierung, ein Erläutern der dem Automaten unklaren Textstellen mit anderen Worten dar. Der Automat prüft diese Umformulierungen wieder, und wenn ihm nun immer noch irgend etwas unklar ist, so stellt er erneut Zusatzfragen. So entsteht ein Dialog zwischen Mensch und Maschine. Im Ergebnis dieses Dialogs wird der Mensch mit der Formulierung seines Auftrages den Anforderungen der Maschine immer genauer entsprechen, bis er dem Automaten vollständig verständlich ist.

Solch ein Gespräch kann man etwa vergleichen mit dem Dialog zwischen einem Lehrer und einem denkfaulen Schüler. Der Schüler will und will nicht begreifen, was der Lehrer von ihm fordert, und stellt ihm so lange Fragen, bis ihm alles sozusagen »vorgekaut« worden ist. Im Falle des Automaten ist es aber viel komplizierter. Den Dialog des Menschen mit einem elektronischen Rechenautomaten kann man als Anpassung des Menschen an die Möglichkeiten des Automaten, als eine Art »Gewöhnung« des einen an den anderen charakterisieren.

In den Wechselbeziehungen zwischen Mensch und Maschine muß man erreichen, daß die Maschine mit jedem neuen Auftrag immer »verständnisvoller« wird, daß sie beim Erhalten analoger Aufträge nicht immer ein und dieselben Fragen stellt.

Anders gesagt, man muß erreichen, daß der Automat sich die »Protokolle« aller seiner Gespräche mit dem Menschen einprägt und im weiteren verwendet. Das ist nichts anderes als die Maschine die menschliche Sprache lehren.

Bis jetzt aber... Bis jetzt reden wir mit der Maschine so, wie sie es braucht, nicht wie wir lieber möchten. Die stürmische Entwicklung der Rechentechnik und die breite Anwendung elektronischer Steuergeräte hat das Problem der engen Verbindung zwischen Mensch und Maschine auf die Tagesordnung gesetzt. Es muß erreicht werden, daß auf den Befehl des Menschen die Ausführung durch die Maschine sofort erfolgt.

Neue Systeme wurden entwickelt, die ihre Informationen durch Telefon aufnehmen und nach ihrer Bearbeitung wieder per Telefon weiterleiten. Ein solcher Automat z. B. erkennt bis zu 250 Wörter. Man hofft diesen Bestand in der nächsten Zeit auf 1000 Wörter ausweiten zu können. Aber mit der Kombination von etwa 54 Wörtern kann man schon 1300 Befehle bilden, die ausreichen, um ein kompliziertes Aggregat oder sogar eine Maschine zu steuern.

Im Institut für Probleme der Informationsübertragung der Akademie der Wissenschaften der UdSSR und deren Rechenzentrum wurde ein Gerät entwickelt, mit dessen Hilfe man erstmals versuchte, mittels der Sprache die Daten in den Automaten einzugeben, die für die Berechnung der Charakteristik einer Gasleitung bestimmt waren.

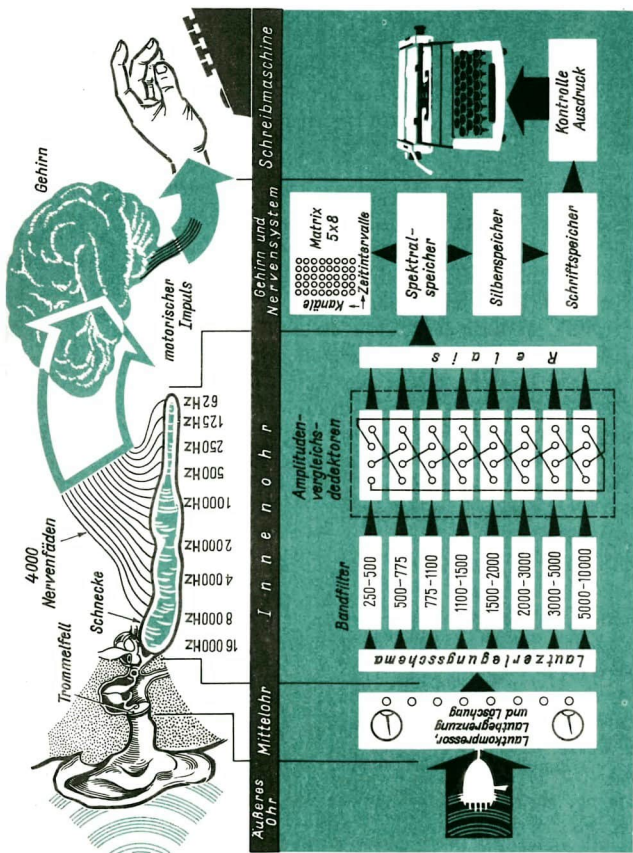
Man trägt sich dort auch mit der Absicht, die gemeinsame Arbeit von elektronischen Rechenautomaten und Mensch im »Redekontakt« zu organisieren. Dann kann der Mensch die Arbeit des Automaten lenken, indem er ihm neue Ideen im Verlaufe seines Arbeitsprozesses eingibt, die Maschine dagegen vermag, wenn nötig, sich über bei ihr auftretende Schwierigkeiten zu »beklagen« und dem Menschen den Charakter der Hindernisse zu erklären, auf die sie bei der Lösung einer Aufgabe stößt.

Die Vorteile des engen Kontaktes zwischen Mensch und Maschine liegen auf der Hand.

Stellt euch einmal vor, wieviel einfacher die Arbeit der Fachleute für maschinelle Übersetzungen werden würde. Man brauchte keine Kodierer mehr, die den Text in Zahlen umformen. Man brauchte nur noch langsam und deutlich in ein Mikrofon zu sprechen, und die Maschine würde alles verstehen.

Wenn z. B. einem Informationsautomaten die Frage gestellt würde, wo, wann, durch wen, für wen und für welche Erfindung ein Patent zugesprochen wurde, so könnte er sofort eine genaue und vollständige Antwort geben.

Sprechende und die menschliche Sprache verstehende Automaten würden überall gebraucht. »Elektronische Arithmometer« würden ihre arithmetischen Operationen zugleich laut und vernehmlich mit menschlicher Stimme ansagen. Steuerungssysteme würden, nachdem sie sprachlich aufgenommene Informationen verarbeiteten, die nötigen Befehle erteilen. Solche Automaten könnten in wissenschaftlichen Forschungszentren, in der Industrie, im Transport und im Bauwesen eingesetzt werden.



Bionisches System des Menschen oder der Maschine, das nach Diktat schreibt. Zwecks Vergleichbarkeit werden natürlich einige Vereinfachungen vorgenommen. Die Maschine, für die der Mensch den Prototyp darstellt, erkennt mehr als fünfzig einsilbige Wörter. Die Laute kommen nach ihrer Verstärkung in Filter, in denen sie nach Frequenzen zerlegt werden, dann in den Block für vergleichende Analyse. Hier erfolgt eine Umkodierung der Laute, sie werden jetzt mittels Ziffern aufgeschrieben. Dann wird die Zifferndarstellung der Laute mit den im Speicher aufgezeichneten Codes der bereits bekannten Silben verglichen. Bei Übereinstimmung der Aufzeichnungen erfolgt der Druck.

Und wie nötig sie dort überall gebraucht werden! Schon jetzt müssen nicht nur Programmierer und Rechentechniker, sondern auch Menschen, die nicht über eine entsprechende Qualifikation verfügen, mit Automaten Dialoge führen: Ökonomen, die die Rechentechnik in der Produktion einsetzen, Dispatcher, die automatische Systeme steuern, und in nicht allzu ferner Zukunft auch Vertreter vieler anderer spezieller Berufe.

Heute können Rechenautomaten »mit dem Ohr« erst einige hundert Wörter aufnehmen. Darin gleichen sie einem Kleinkind, das gerade einige Wörter aussprechen kann, das sich seinen Wortschatz mühsam erarbeitet, um später einmal »wie alle« sprechen zu können.



Sie hat sich wahrscheinlich verhört?!
Ich hatte doch Würstchen bestellt ...



Steuerungssysteme — automatisierte Leitungssysteme (ASU) — gewährleisten und sichern die Leitung eines Betriebes, eines Wirtschaftszweiges oder der gesamten Volkswirtschaft auf der Grundlage automatisch übertragener, verarbeiteter und analysierter Informationen.

Das Ganze hat viele Gesichter

Heute produziert die Sowjetunion in einem Jahr mehr Industriegüter, Elektroenergie, Erdöl und Erz als vor einigen Jahrzehnten die ganze Welt.

Hinter solch einem gewaltigen Anwachsen des Produktionsumfanges verbirgt sich ein hohes Wachstumstempo der Produktivkräfte, eine stetige Erweiterung der Verbindungen zwischen der komplizierten vielschichtigen Volkswirtschaft des Landes.

Aber je umfangreicher, komplizierter und vielschichtiger die wirtschaftlichen Beziehungen werden, um so schwieriger ist es, sie zu überblicken, und desto wichtiger wird es, sie richtig zu lenken und zu leiten, sie sozusagen »in den Griff« zu bekommen.

Wie nun lassen sich solche umfangreichen Prozesse mit ihren unzähligen Informationen steuern?

Die Informationsflüsse, das sind Pläne, Berichte, Werksdokumentationen und finanzielle Angaben, müssen in kürzester Zeit bearbeitet werden.

Im Jahre 1962 waren in der Sowjetunion allein mit dem Berichtswesen etwa 3 Millionen Menschen beschäftigt. Im Verwaltungsapparat waren etwa 10 Millionen Menschen tätig; das sind 10 Millionen Ökonomen, Planer, Normer, Rechnungsführer, Projektanten, Buchhalter, Betriebsleiter und Abteilungsleiter.

Es war unmöglich, den Verwaltungsapparat noch weiter auszubauen, dann nämlich hätte es nicht mehr lange gedauert, und die eine Hälfte der Bevölkerung hätte die andere Hälfte »verwaltet«, die Anzahl der im Produktionsprozeß stehenden Menschen wäre stark verringert worden. Nicht quantitatives Wachstum, sondern ein qualitativer Sprung war hier vonnöten.

Sehen wir uns einmal näher an, was Verwaltungstätigkeit im wesentlichen ist: Herausarbeitung, Übertragung, Speicherung und Überarbeitung von Informationen, mit anderen Worten, es handelt sich dabei um Beobachtung der Produktionsprozesse, um Qualitätskontrolle der Endprodukte, um das Erarbeiten von Betriebsdokumentationen, um Vielfältigung und Versand von Materialien, um die Verbindung verschiedener Produktionsabteilungen, um das Registrieren und Sortieren von Dokumenten und schließlich um Rechenarbeit. Und alle diese Tätigkeiten haben etwas mit Berechnungen zu tun. Täglich sind bis zu mehreren 100 Milliarden Rechenoperationen und vielleicht noch mehr auszuführen. Diese Arbeiten zu automatisieren ist in unserer Zeit, da die Automatisierung auf der Tagesordnung steht, keine unüberwindliche Schwierigkeit.

Zweifelloos läßt sich ein Betrieb nicht nur mit solchen Rechenhilfsmitteln wie Arithmometern, nicht nur mit solchen Informationsspeichern wie Geschäftsbüchern und nicht nur mit solchen Übertragungsmitteln wie Telefonen leiten, wenn in ihm eine Jahresproduktion von 600 Millionen Rubeln (wie zum Beispiel bei »Karagandakohle«) realisiert wird, wenn in ihm jährlich 150 Millionen Werkzeuge (wie zum Beispiel im Moskauer Werk »Fräser«) produziert werden, wenn es seine Produktion an 18000 Abnehmer (wie zum Beispiel das Kasaner Werk »Wärmekontrolle«) verschickt.

Worin bestehen nun die modernen Steuerungsprinzipien?

In der heutigen Zeit besteht der Reichtum eines Landes nicht nur in seinen Rohstoffen, Energie- und Arbeitsreserven sowie in seinem Produktionsvolumen zur Erschließung dieser Reserven. Es ist ein neuer

ökonomischer Faktor hinzugekommen — die Information. Eine richtig verarbeitete Information kann in ihrer Wirkung mit den ökonomisch-materiellen Faktoren gleichgesetzt werden.

Eine Information richtig verarbeiten, das bedeutet sie sammeln, alle Angaben miteinander vergleichen, sie analysieren und effektivitätssteigernde Empfehlungen erarbeiten. Das kann man nur mit kybernetischen Methoden und unter Verwendung von elektronischen Rechenautomaten.

Doch auch früher, als es noch keine elektronischen Maschinen gab, hat man sich bereits mit der Automatisierung der technischen Seite der Produktion beschäftigt und hat deren Steuerung automatisiert. Es gab ja sogar vollständig automatisierte Werke: Eine 1949 in der Sowjetunion erbaute Fabrik produzierte pro Tag 3500 Kolben. In ihr waren alle Produktionsoperationen automatisiert. Nur neun Arbeiter bedienten die gesamte Fabrik.

Akademienmitglied W.M. Gluschkow, der bekannte Fachmann für Steuerungssysteme, ist der Meinung, daß die Begriffe automatisches System (der Steuerung) und automatisiertes System (der Leitung) streng voneinander zu trennen sind: Das erste umfaßt die technologische, das zweite die organisatorisch-verwaltungsmäßige Steuerung (die wir besser als Leitung bezeichnen).

Bei der Automatisierung dieser oder jener technologischer Operationen dient das Objekt selbst als »Speicher« der Steuereinrichtung. In Übereinstimmung mit der eintreffenden Information muß dieser Regler lediglich die von den Gebern empfangenen Daten umformen und an ein ausführendes Organ weitergeben.

Für die verschiedenen Arten von Systemen der Verwaltung und Organisation ist ein ähnliches Verfahren schon undurchführbar. Jetzt müssen unbedingt informationelle Modelle des Objektes im »Speicher« der Maschine geschaffen werden.

Die Maschinen mechanisieren jetzt nicht nur die Produktion, sie steuern nicht nur die Materialbearbeitung, den Transport und die technische Kontrolle, sondern sie lenken und leiten auf administrativem Wege unter Beachtung der eingegangenen Bestellungen auch die materiellen Reserven, verteilen Werkzeuge und Maschinen und registrieren das Fertigprodukt.

Ein solches automatisiertes Leitungssystem ist ein komplizierter Organismus. Bei der Projektierung eines automatisierten Leitungssystems

müssen gleichzeitig besondere Teilsysteme zu seiner »Versorgung« erarbeitet werden: Informationssysteme, mathematische und technische Systeme – also ein Komplex von Bedingungen, Voraussetzungen, Methoden und Anlagen, ohne die das gesamte System uneffektiv und arbeitsunfähig ist.

Die Information ist der »Rohstoff« für jedes automatisierte Leitungssystem. Ohne entsprechende Informationen ist es tot.

Information aber ist ein uferloser Ozean. In den verschiedenen Steuerungsebenen – von einem Werk bis zu den höchsten Staatsorganen – fallen pro Jahr mehr als 4 Milliarden Papiere an: von Berichtslisten der Betriebe bis zu staatlichen Planungsdokumenten. Und das ohne Berücksichtigung so »kleiner« Papiere, die in den Betriebsabteilungen ausgefüllt werden, wie etwa Arbeitsanweisungen: Allein in den Betrieben des Maschinenbaues werden jeden Monat bis zu 50 Milliarden dieser Papiere ausgeschrieben!

Häufig unterscheiden sich solche Dokumente trotz gleicher äußerer Gestalt voneinander: Sie sind verschieden ausgefüllt, verschieden angelegt, in ihnen werden verschiedene Begriffe benutzt.

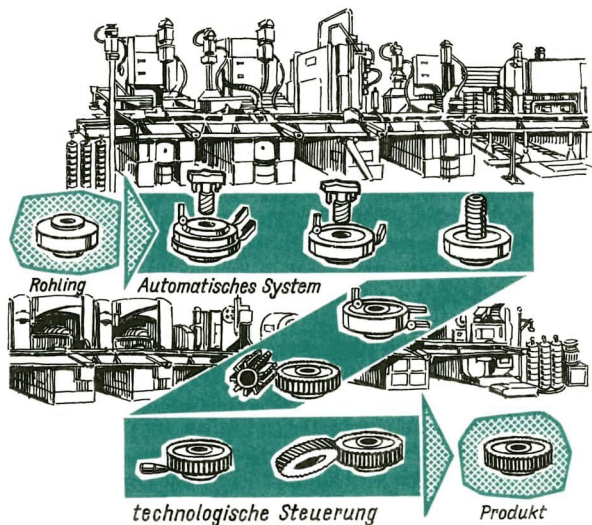
In Leitungssystemen muß aber die Dokumentation gleichartig erfolgen. Diese Gleichartigkeit umfaßt alle Ebenen. Sonst kommt es im Innern eines Systems und zwischen verschiedenen Systemen zu einem unübersichtlichen Durcheinander. Folglich muß alles, was sich an das Informationsnetz eines automatisierten Leitungssystems wendet, verschlüsselt und auf eine einheitliche »maschineneigene« Form gebracht sein.

Zu diesem Zweck gibt es einen speziellen Klassifikator, nämlich die in bestimmter Weise kodierte Übersicht über die Produktion. Dieser Klassifikator ist sehr groß, er umfaßt mehr als 150 Bände, in denen alles Wissen gesammelt ist: von der Brezel bis zum Traktor, vom Taschentuch bis zur Dachrinne.

Scheinbar ist nichts einfacher als das Prinzip eines Klassifikators – wir nehmen ein beliebiges Produkt, geben ihm eine Nummer und sind fertig.

Aber so einfach ist es nicht. Von jedem Produkt, ob Bolzen oder Schraube, braucht man nicht nur eine Nummer, sondern auch eine umfassende Information. Und das nicht nur von einer einfachen Schraube oder von einem einfachen Bolzen, sondern auch von komplizierten Dingen.

A u t o m a t i s i e r t e s S y s t e m

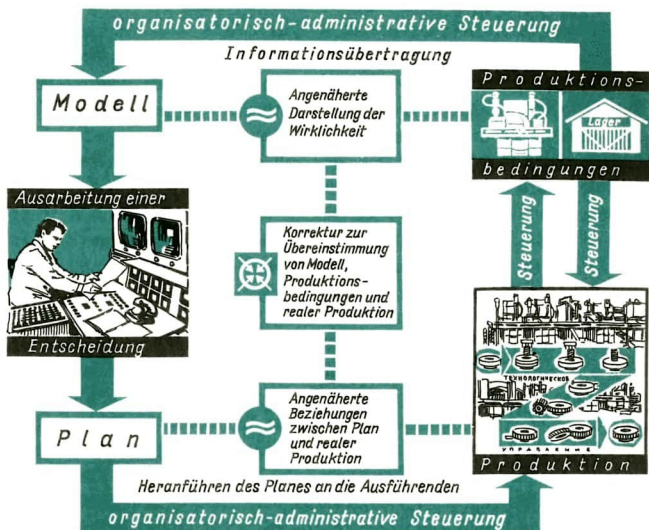


Ein automatisches System realisiert die technologische Steuerung.

Nehmen wir als Beispiel »911117«. Das ist ein Kode aus dem All-unionsklassifikator für industrielle und landwirtschaftliche Produktion. 91 ist die Klassenzahl, sie weist auf ein Produkt der polygraphischen Industrie hin. Hierzu gehören sowohl Bücher als auch geographische Karten, Noten, Zeitungen, und Zeitschriften — kurz alles, was die Druckerei verläßt. Die nächste Eins bezeichnet die Teilklasse »Zeitungen«. »911« heißt also: »polygraphisches Erzeugnis, Zeitungen«. Die dritte Eins bedeutet »zentrale«, die vierte Eins »allgemeinpolitische«, und die Sieben bedeutet, daß die Zeitung siebenmal in der Woche erscheint. In der Sowjetunion gibt es nur eine solche Zeitung, die »Prawda«.

Der sechsstellige Kode »911117« liefert eine ziemlich genaue Charakte-

Automatisches System



Ein automatisiertes System ist ein System der organisatorisch-administrativen Steuerung.

ristik oder besser »Parameter« der Zeitung »Prawda«. Es zeigt sich aber, daß für ein automatisiertes Leitungssystem (ASU) auch ein sechsstelliger Kode noch zuwenig ist. Man fügt weitere vier Ziffern an, die zusätzlich noch die Merkmale des Produktes bestimmen. Mit einem zehnstelligen Kode kann ein elektronischer Rechenautomat bequem umgehen – der Kode besitzt einen hohen Informationsgehalt.

Alle Angaben über die gesamte Endproduktion und die gesamte Informationsdokumentation werden in 20 Allunionsklassifikatoren gesammelt, in einem gewaltigen, einheitlichen staatlichen System für Klassifikation und Kodierung. In ihm steckt der vollständige Inhalt der in der Volkswirtschaft benutzten Informationen. Hier finden sich auch

die Systeme zur Bezeichnung der Maßeinheiten und die territoriale Einteilung in Verwaltungsbezirke, eine Liste der Berufe und Funktionen sowie ein Verzeichnis der Naturreichtümer.

Die im ASU eintreffende Information wird dort verarbeitet. Diese Verarbeitung wird in einem komplizierten »technologischen Prozeß« – der Steuerung nach einer speziellen mathematischen Theorie vorgenommen. Nach Angaben über den gegenwärtigen Zustand und nach den Parametern, d. h. den Werten, die einen Prozeß abgrenzen, gestattet die Steuerungstheorie Aussagen über den Prozeßverlauf und über mögliche Abweichungen desselben über das Toleranzmaß hinaus.

Um eine solch schwierige Aufgabe lösen zu können, gibt man in den elektronischen Rechenautomaten eines solchen Steuerungssystems ein Programm ein, das alle nur denkbaren Situationen berücksichtigt und für jede dieser Situationen einen Befehl für eine bestimmte Handlung enthält.

Im Programm werden die Steuerungsziele formuliert. Sie müssen eine »Momentaufnahme« des zu steuernden Objektes sowie eine mögliche Entwicklungsdynamik der Ereignisse vorsehen.

Steuerungsfragen sind stets kompliziert. Ihre Kompliziertheit besteht vor allem in der großen Variabilität, in der Schwierigkeit der Analyse schnellverlaufender Ereignisse.

Aber auch hier kommt die mathematische Steuerungstheorie zu Hilfe. Vielfältige mathematische Modelle spiegeln die Beweglichkeit der zu untersuchenden Prozesse wider.

Wir haben bereits von der Notwendigkeit gesprochen, in einem ASU ein Modell des Objektes im »Speicher« der Maschine zu schaffen. Das geschieht folgendermaßen.

In den Systemen werden zwei Prozesse voneinander abgegrenzt: das Sammeln von Steuerungsdaten und das Lösen von Steuerungsaufgaben selbst. Diese Abgrenzung erfolgt über sogenannte Informationsmassive. Nehmen wir einmal an, daß in den Massiven eines Ministeriums Angaben über die Hilfsquellen der Werke, Konstruktionsbüros und anderer Unterabteilungen des Ministeriums gespeichert sind. Diese Daten werden in dem Moment erneuert, in dem die entsprechende Information über eine Neuerung eintritt: Sagen wir, es wird eine neue Registrierkarte einer Anlage für irgendein Werk ausgestellt. Diese Information wird sofort an das entsprechende automatisierte Leitungssystem weitergeleitet, obwohl sie

vielleicht erst in vierzehn Tagen oder in einem Jahr verwendet wird. In die Maschine ist aber auf der Grundlage der neuen Daten bereits ein eigenes Modell der zukünftigen Situation eingelagert.

Es ist interessant, daß sich Modellsituationen, die auf elektronischen Rechenautomaten ausgearbeitet worden sind, vervielfältigen lassen. Die Tätigkeitsanalyse der Betriebe und Wirtschaftszweige und die gefundenen optimalen Lösungen der Steuerungsaufgaben in Form vervielfältigter Maschinenprogramme lassen sich in verschiedenen Zweigen der Volkswirtschaft verwenden.

Es erwächst sogar die Perspektive, von »Bibliotheken« mit mathematischen Programmen aus die Wirtschaft zu steuern. Das wäre eine spezifische Standardisierung der »Befehlsgewalt« für die Tätigkeit gleichartiger Betriebe und gleichartiger Wirtschaftszweige.

Es sind bereits Typen automatisierter Leitungssysteme für ihrem Charakter nach unterschiedliche Produktionen entwickelt worden: für die Massenproduktion sowie für Spezialanfertigungen.

Wenn nun ein Steuerungssystem so geschickt, so allumfassend und sogar mit einer gewissen Voraussicht eingesetzt werden kann, was bleibt dann dem Menschen zu tun übrig? Welche Rolle spielt er in den automatisierten Systemen? Vielleicht ist für ihn nur noch Platz als stiller Beobachter? Ein ASU macht ja alles?

Während man früher die Frage so stellte: Mensch oder Maschine, ist heute das trennende Bindewort »oder« durch das verbindende »und« ersetzt worden.

Der Mensch ist ein außerordentlich wichtiges Glied in einem Steuerungssystem.

Es wäre sinnlos, in einem Steuerungssystem einen Menschen damit zu beauftragen, alle möglichen Daten zu überwachen, zu sammeln und auszuwerten. Ja, in den meisten Fällen ist er dazu auch gar nicht in der Lage. Seine Aufgabe ist eine andere.

Die Schaffung eines ASU und seine Zielorientierung obliegt ausschließlich dem Menschen. Die Kriterien, nach denen mögliche Handlungen auszuwählen sind, drücken ebenfalls den Willen des Menschen aus. Der Mensch bewertet auch die Arbeit eines ASU.

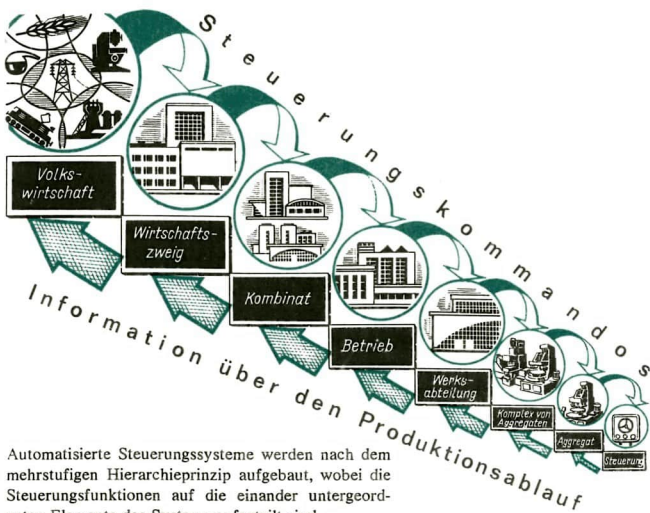
Selbst wenn eine von der Maschine vorbereitete Lösung angenommen wurde, behält zweifellos der Mensch die führende Rolle — nur er kann einer getroffenen Entscheidung Gesetzeskraft verleihen.

Der Mensch hat also zwei äußerst wichtige Funktionen: zu Arbeitsbeginn die Aufgabenstellung, die Zielorientierung für ein ASU und am Ende die Umsetzung der vom ASU angebotenen Lösung in die Wirklichkeit.

Grundlage der Steuerung mit Hilfe eines ASU ist ein hierarchischer Aufbau. Davon war bereits in dem Stichwort Prozeßrechner die Rede. Wir fügen noch hinzu, daß die Anzahl der Hierarchieebenen unterschiedlich sein kann und von der Kompliziertheit des Systems abhängt.

Der klassische Aufbau ist: Betrieb – Kombinat – Wirtschaftszweig – Volkswirtschaft. Detaillierter lassen sich in dieser Form darstellen: Steuerungseinrichtung – Aggregat – Komplex von Aggregaten – Werkabteilung – Betrieb – Kombinat – Wirtschaftszweig – Volkswirtschaft.

In verschiedenen Kapiteln dieses Buches haben wir uns bereits mit der Steuerung, angefangen von der Steuerungseinrichtung bis hin zu



Automatisierte Steuerungssysteme werden nach dem mehrstufigen Hierarchieprinzip aufgebaut, wobei die Steuerungsfunktionen auf die einander untergeordneten Elemente des Systems aufgeteilt sind.

einer Werksabteilung, vertraut gemacht. Wir sehen uns nun an, wie die automatisierte Steuerung in den oberen Stufen einer Hierarchie, in komplizierten Kettengliedern, funktioniert.

Nehmen wir das Steuerungssystem des Fernsehwerkes in Lwow, das den Namen »Lwow« trägt. Es handelt sich hier um ein typisches Steuerungssystem für einen Betrieb mit Massenproduktion. Es wurde unter unmittelbarer Beteiligung von Fachleuten des Institutes für Kybernetik der Ukrainischen Akademie der Wissenschaften geschaffen. »Lwow« kann auch in das Steuerungssystem des entsprechenden Wirtschaftszweiges und in das Allunionssystem eingeschaltet werden.

Die Inbetriebnahme des Systems »Lwow« gestattet es, auf Grund der effektiveren Materialausnutzung, der verbesserten Technologie und der Vervollkommenung der organisatorisch-technischen Leitung, die Jahresproduktion des Werkes um fast 20 Prozent zu steigern.

Das ist bisher nicht dagewesen: Ohne Vergrößerung der Produktionskapazität ist die Produktion von Fernsehgeräten um fast 20000 Stück gestiegen.

Im Steuerungssystem »Lwow« spielt der elektronische Rechenautomat »Minsk« die Hauptrolle. In ihm laufen vom technologischen Produktionsschema und von den an den Fließbändern und in der Abteilung für Warenprüfung vorhandenen Zählwerken die Informationen über den Produktionsablauf zusammen. Bei der Steuerung hilft noch ein Komplex von Einrichtungen des Dispatcherdienstes: Fernsehanlagen, Telefone, Signalanlagen und alle möglichen Tabellen. Schnelldrucker erledigen die Dokumentation. Die gesamte Dokumentation des Werkes ist so angelegt, daß sie bequem in die Maschine eingegeben werden kann. Daher verfügt das System zu jedem Zeitpunkt über ein vollständiges Bild vom Produktionsablauf des Werkes.

In der sowjetischen Wirtschaft sind viele Steuerungssysteme eingesetzt. Außer dem bisher genannten arbeitet ein ASU in der Maschinenfabrik »Roter Oktober«, in der Uhrenfabrik und im Traktorenwerk in Minsk, im Automobilwerk »WAS«, im Moskauer Werk »Fräser«, im Funkwerk in Barnaul und in vielen anderen Betrieben.

So kommt beispielsweise das ASU »Komplex« gut mit der Steuerung gigantischer Wärmekraftwerke zurecht. Das System »Kaskade« ist bei der Steuerung von Ammoniakwerken unersetzbar. Das System »Taiga«, das

aus 16 elektronischen Rechenautomaten vom Typ »Angara« und 2 Rechenautomaten vom Typ »Baikal« besteht, steuert einen Giganten der Zelluloseindustrie, das Bratsker Zellulosekombinat.

Allein im neunten Fünfjahrplan werden in fast 3000 Betrieben automatisierte Systeme eingeführt, davon 1583 in der Industrie, 471 im Bauwesen, 129 in der Landwirtschaft, 128 in der Geologie und der geologischen Erkundung und 126 im Transport- und im Fernmeldewesen.

Auf diesen ASU bauen die Leitungssysteme der Wirtschaftszweige auf, die in fast allen Ministerien und Leiteinrichtungen der Unionsrepubliken geschaffen werden.

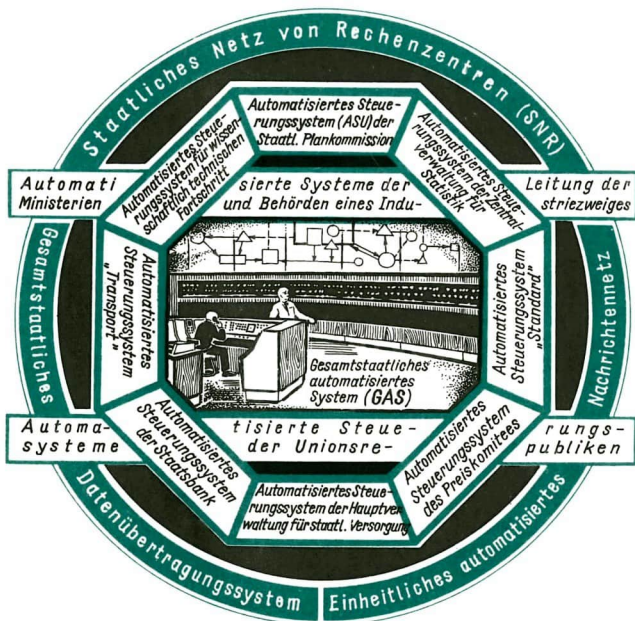
Die dem Ministerium für Gerätebau, Automatisierungsmittel und Steuerungssysteme unterstellten Betriebe sind bereits mit dem ASU des Ministeriums verbunden. Dieser »ASU-KOMPLEX«, wie er genannt wird, »leitet« alle Arbeitsphasen, angefangen von der perspektivischen Planung, der Verteilung der Produktivkräfte bis zu Fragen des wissenschaftlich-technischen Fortschrittes – von der Erarbeitung neuer Modelle bis zu ihrer Überführung in die Massenproduktion.

In diesem Jahr konnte die Erdölindustrie dank eines ASU zu einer Dreiphasenstruktur in der Leitung übergehen: Ministerium – Kombinat – Betrieb. Es konnten 600 Unterabteilungen mit Leitungscharakter aufgehoben werden, das sind 34 Prozent ihrer Gesamtzahl.

Das automatisierte Steuerungssystem für Steinkohle umfaßt neben dem sowjetischen Ministerium für Bergbau und dem Ministerium für Kohleindustrie der Ukraine insgesamt 22 ASU von Kohlekombinaten. Das ganze System erfaßt 550 Kohlegruben und Tagebaue, in denen drei Viertel der gesamten Kohleproduktion gefördert werden.

In der Sphäre der materiell-technischen Versorgung sind bisher etwa 20 automatisierte Leitungssysteme im Einsatz. Sie sind in den Unionshauptverwaltungen für Versorgung mit Gebrauchsgütern, in den Hauptverwaltungen für Versorgung der Unionsrepubliken und in den territorialen Verwaltungen eingeführt worden. Nach der optimierten Planung der Bindungen zwischen Verbraucher und Zusteller, durchgerechnet auf elektronischen Rechenautomaten, wurden im Jahre 1970 mehr als 300 Millionen Tonnen der verschiedenartigsten Erzeugnisse und Produkte zugestellt. Dadurch konnten mehrere hundert Millionen Rubel eingespart und der Transport rationalisiert werden, täglich wurden etwa 8000 Waggons eingespart.

Die ASU der Betriebe und Wirtschaftszweige bilden die Grundlage für die Schaffung eines gesamtstaatlichen automatisierten Systems zur Informationssammlung und Verarbeitung zum Zwecke der Abrechnung, Planung und Lenkung der Volkswirtschaft. Solch ein System wird die Leitung durch die Verwaltungsorgane im Rahmen der ganzen Sowjetunion, der Unionsrepubliken und der Territorien garantieren. Das wird eine Art Allunionsbank für Daten, in der alle wichtigen Organe der Landesverwaltung gleichzeitig Informationsbringer und Informationsabheber sind.



So kann man sich die Struktur des Gesamtstaatlichen Automatisierten Systems (GAS) der Informationserfassung und -verarbeitung für die Rechnungsführung, Planung und Leitung der Volkswirtschaft vorstellen. Der äußere Ring stellt die technische Basis, das Innere die funktionalen Glieder des Systems dar.

Ich wage nicht, mir vorzustellen, wie ein solch grandioses Werk aussehen wird – ein wahrhaft kybernetisches Gehirn des Landes.

Es ist eine große Sache, auf diese Weise Produktion und Verwaltung so miteinander zu koppeln, daß alle an der Produktion Beteiligten – vom Minister bis zum Arbeiter – wie an einem Faden zusammenhängen. Und diese Koppelung muß von schöpferischer Art sein: Jeder Werktätige an seinem Arbeitsplatz muß zu jedem Zeitpunkt eine genaue Vorstellung darüber besitzen, was er zur Lösung der Gesamtaufgabe beizutragen hat.

Ist das überhaupt realisierbar? Zweifellos. Das gesamtstaatliche automatisierte System wird sich auf eine große Zahl funktioneller Zwischenglieder stützen:

- auf das automatisierte Leitungssystem für Planungsvorhaben bei der Staatlichen Plankommission der UdSSR und bei den Staatlichen Plankommissionen der Unionsrepubliken;

- auf die automatisierten Leitungssysteme der Ministerien und Leit-einrichtungen für bestimmte Wirtschaftszweige;

- auf die automatisierten Leitungssysteme der Hauptverwaltung für staatliche Versorgung, der Staatsbank der UdSSR und der Ministerien für Landwirtschaft und Verkehr, d. h. all diejenigen, deren Arbeit territorial orientiert ist:

 - auf die automatisierten Leitungssysteme der Unionsrepubliken;

 - auf die automatisierten Leitungssysteme der Zentralverwaltung für Statistik, des Staatlichen Normenkomitees und des Preiskomitees;

 - auf das automatisierte Leitungssystem für wissenschaftlich-technischen Fortschritt.

Das ganze großartige Gebäude eines sozialistischen gesamtstaatlichen automatisierten Leitungssystems wird auf der Basis der modernsten Technik entwickelt.

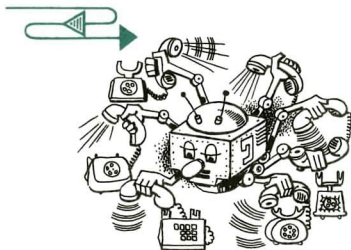
Seine Grundlage bildet ein staatliches Netz von Rechenzentren. Weiter gehört ein gesamtstaatliches Datenübertragungssystem dazu. Es bildet einen Hauptbestandteil des einheitlichen automatisierten Nachrichtennetzes.

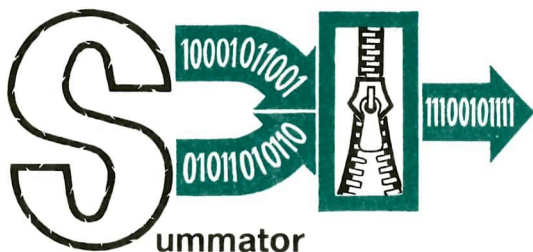
Dann wird es möglich sein, genaue komplexe Modelle der gesamten Wirtschaft aufzustellen und die Lösung der wichtigsten Leitungsaufgaben auf ein entsprechendes – das optimale – Niveau zu heben.

Dann wird es möglich sein, durch das Schwingen eines unsichtbaren kybernetischen Stabes – des gesamtstaatlichen automatisierten Systems –

das äußerst komplizierte Orchester der Landesproduktion zu dirigieren.

Die Aufgabe ist gewaltig. Ihrem Maßstab und ihrer Kompliziertheit nach übertrifft sie solche zielgerichteten Tätigkeiten des Sowjetvolkes wie die Lösung des Atomproblems. Das einzige, womit sich die Pläne der Partei über die Realisierung eines alles umfassenden automatisierten Steuerungssystems vergleichen lassen, ist der Leninsche Plan zur Elektrifizierung Rußlands (GOELRO). Ähnlich wie in unseren Tagen einzelne Elektrifizierungszentren untereinander zu einem einheitlichen energetischen System verbunden werden, so steht dem Sowjetvolk die Schaffung eines einheitlichen automatisierten Leitungsnetzes bevor.





Anlage zur Darstellung der Summe mehrerer Größen in einer arithmetischen Rechenmaschine.

Der elektronische »Reißverschluß«

Die elektronischen Rechenautomaten, die so erstaunlich schnell rechnen, gehen selbst bei kompliziertesten Berechnungen außerordentlich »primitiv« vor: Jede Aufgabe wird in viele einfache Additionen zerlegt, und eben das erfolgt blitzartig.

Die Addition von Zahlen ist die Grundoperation der Maschine, und deshalb ist auch der Hauptbestandteil der arithmetischen Anlage der Summator (Adder).

Sehen wir uns die Arbeitsweise eines Typs dieser Anlage an.

Wie ein Reißverschluß aussieht, ist bekannt. Er besteht aus zwei mit Metallzähnen besetzten Stoffbändern. Um den Reißverschluß zu schließen, müssen die Zähne ineinandergehakt werden. Dafür sorgt der bewegliche Schieber. Einen solchen »Schieber« stellt in der Rechenmaschine der Adder dar.

Ähnlich wie die beiden »Zahnreihen« des Reißverschlusses in den Schieber, so gelangen in der Maschine von einer Seite her über zwei Eingänge die Zahlenreihen der Summanden in den Adder, auf der anderen Seite verlassen sie ihn (fest verbunden) als Summe.

Diese Zahlenreihen sind kodiert, sind Dualzahlen, also Einsen und

Nullen. Sie geben elektronische Impulse in den Adder. Dabei wird eine Eins als Impuls, eine Null als Nichtimpuls übertragen.

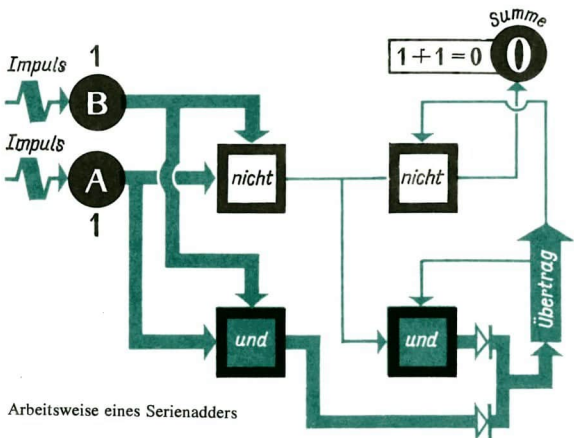
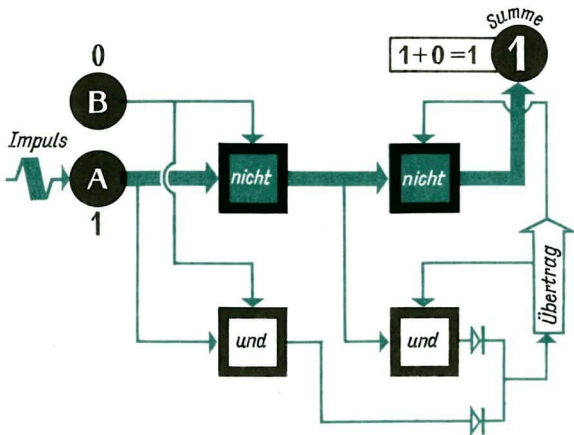
Auf diese Weise arbeitet ein Halbadder, er verrichtet nämlich nur die halbe Additionsarbeit; denn er addiert die über zwei Eingänge in ihn einfließenden Summanden nur jeweils Stelle mit Stelle und liefert dann deren Summe und den Übertrag für die nächste Stelle. Ein vollständiger Adder hat gewöhnlich drei Eingänge für drei Eingabefolgen, nämlich für den ersten Summanden, für den zweiten Summanden und für den Übertrag, der aus der Summierung der vorangehenden Stelle hervorging.

Im Adder wird also stellenwertweise addiert, einschließlich der Berücksichtigung des Übertrags: Zu zweien der drei Eingänge gelangen die Ziffern einer Stelle der Dualzahlen, und am Ausgang des Adders erscheinen zwei Größen: die Summe der jeweiligen Stelle und der Übertrag für die Summierung der nächsten Stelle.

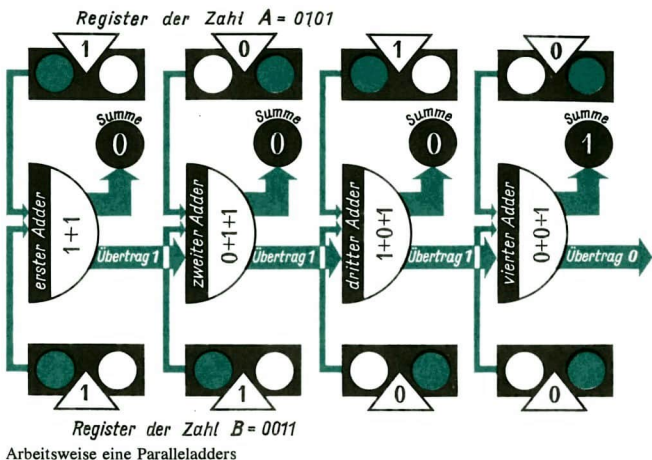
Typen von Summatoren. Sie lassen sich in zwei Gruppen einteilen: in Serienadder und Paralleladder. Der Serienadder summiert stellenwertweise eine Stelle nach der anderen, der Paralleladder alle Stellen gleichzeitig. Es müssen also hier soviel Adder wie Stellen der Dualzahlen vorhanden sein, und für die Addition wird nur ein Takt benötigt. Anders beim Serienbetrieb: Es wird eine Zahl Stelle für Stelle summiert. Dafür braucht man je Stelle einen Takt, aber insgesamt nur zwei Halbadder.

Auf dem Arbeitsschema des Serienadders sieht man, wie ein Impuls am Eingang des ersten Halbadders eintrifft. Wir wissen, daß er der Einheit 1 entspricht, und zwar hier als Wert der niedrigsten Stelle des ersten einzugebenden Summanden. Der zweite Summand hat in der niedrigsten Stelle eine Null, deshalb tritt in diesem gleichen Takt am entsprechenden zweiten Eingang kein Impuls auf.

Im Stichwort Dualsystem haben wir bereits die Additionsregeln erklärt. Die elektronischen Elemente eines Summators sind in der entsprechenden Weise geschaltet worden. Das heißt, wir stellen fest, daß am Ausgang ein Impuls erscheint (Summe 1), wenn am Eingang 0 und 1 vorliegen, daß aber kein Impuls das System verläßt, wenn am Eingang 0 und 0, oder 1 und 1 zusammenfallen, d. h., die Summe für diese Stelle ist jedesmal gleich 0, aber im Falle $1 + 1$ wird zusätzlich der Übertrag 1 für die Summierung der *nächsten* Stelle angegeben. Und von solchen Operationen führt der Adder viele Millionen in der Sekunde durch.



Arbeitsweise eines Serienadders



Es gibt aber noch schneller arbeitende Adder, nämlich die Paralleladder. Diese addieren die Zahlen nicht nacheinander stellenweise, sondern hier werden alle Stellen gleichzeitig addiert. Hier müssen die den Stellenwerten entsprechenden Impulse nicht »Schlange stehen«, um in den Adder zu gelangen. Im Paralleladder befinden sich die Summanden in Registern, und dort werden sie in einstelligen Addern addiert. Jeder von ihnen besitzt drei Eingänge, zwei zur Zahleneingabe und einen für den Übertrag von der vorangegangenen Stelle. Wir addieren zum Beispiel

$$\begin{array}{r}
 0101 \\
 + 0011 \\
 \hline
 1000
 \end{array}$$

In den ersten einstelligen Adder gelangen nur zwei Einheiten: Sie ergeben Null und den Übertrag Eins in die nächste Stelle. In den zweiten Adder gehen nun eine Null und zwei Einsen ein. Sie ergeben (nacheinander summiert) ebenfalls Null als Summe und Eins als Übertrag in den dritten Adder. Hier haben wir nun Eins, Null und Eins. Das liefert abermals Null

als Summe und Eins als Übertrag in den vierten Adder. Dieser enthält nun Null. Null und Eins. Nach deren Addition erhalten wir Eins und keinen Übertrag in die nächste Stelle.

Auf diese Weise haben wir die Summe 1000, also die dual geschriebene Zahl »acht« erhalten.

Selbst bei einem Vergleich mit den 1 000 000 Operationen pro Sekunde des Serienadders setzt uns die Geschwindigkeit des Paralleladders in Erstaunen: Beispielsweise werden zwei zwölfstellige Zahlen im Bruchteil einer Mikrosekunde addiert!

Sowohl Serienadder als auch Paralleladder werden ihrem »Verhalten« nach noch weiter unterteilt. Es gibt u. a. auch Kombinationsadder, bei denen beim Löschen eines Summanden sofort die ganze Summe verschwindet, und speichernde Adder, in denen die Summe auch nach Verlöschen der Signale noch erhalten bleibt.

Die hier von uns betrachteten Adderschaltungen, ihr Aufbau und ihre Wirkungsweise sind des besseren Verständnisses halber sehr vereinfacht dargestellt worden. Adder in arithmetischen Anlagen von elektronischen Rechenautomaten sind in ihrem Aufbau sehr viel komplizierter. Verzichtet man aber auf Details und Besonderheiten, mit anderen Worten »entkleidet« man den prinzipiellen Aufbau und die Arbeitsfolge eines Adders bis auf das Wesentliche, so erhält man genau das, was wir in unseren Beispielen betrachtet haben.

Von der Konstruktion des Adders und davon, welches Wirkungsprinzip in ihm angewendet wird, hängen viele wichtige Charakteristika der Maschine wie Kapazität, Ausmaße und Rechengeschwindigkeit ab.

So verlangt zum Beispiel der viel schnellere Paralleladder eine kompliziertere Konstruktion des elektronischen Rechenautomaten. Daher wendet man Paralleladder immer dort an, wo es auf größtmögliche Rechengeschwindigkeit, ungeachtet der Kosten für die gesamte Anlage ankommt.

Der Serienadder ist viel einfacher, aber auch viel »träger«. Bei der Verwendung von Serienaddern kommt man mit einem Minimum an zusätzlicher Apparatur aus. Serienadder verwendet man gewöhnlich in spezialisierten elektronischen Rechenautomaten. Hier kommt es nicht auf große Geschwindigkeiten, sondern mehr auf Ausmaß und Kosten des Automaten an.

heorie der Großen Systeme

Ein Großes System ist ein Gesamtkomplex von vielen zusammenhängenden und miteinander gekoppelten Elementen. Es gestattet bei der Steuerung durch den Menschen die Ausübung komplizierter Funktionen, indem es eine spezifische Einheit mit seiner Umgebung bildet.

Die Vereinfachung des Komplizierten oder Wie man das Unumfaßbare umfassen kann

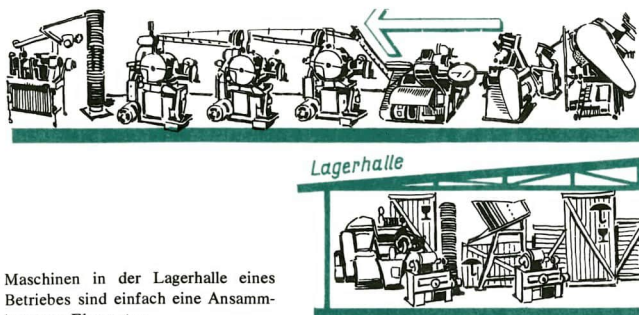
Jeder kann ohne Mühe viele verschiedene Systeme nennen: Steuerungssysteme, Zahlensysteme, Übertragungssysteme, Bildungssysteme, das Sonnensystem usw. Das Wort System ist also für uns kein Fremdwort.

Wenn nun aber das bekannte Wort »System« in Zusammenhang mit dem ebenfalls bekannten Wort »groß« gebraucht wird, so haben wir es mit etwas qualitativ Neuem zu tun: »Großes System« ist ein Grundbegriff der Kybernetik.

Wir haben gerade einige verschiedene Systeme aufgezählt. Welches von ihnen ist groß? Vielleicht das Sonnensystem?

»Aber, aber«, antworten die Kybernetiker, »wie soll das denn ein Großes System sein? Kann man es etwa mit, sagen wir, einem Betrieb vergleichen?«

In dieser Antwort ist der Unterschied zwischen einem einfachen



Maschinen in der Lagerhalle eines Betriebes sind einfach eine Ansammlung von Elementen.

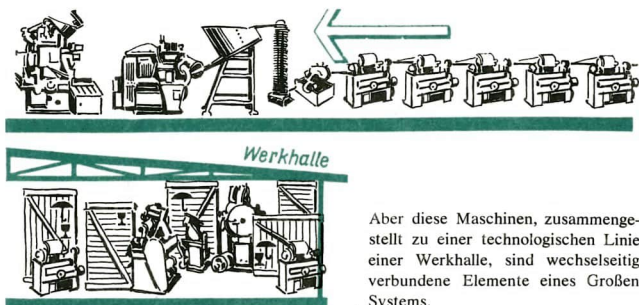
System und einem Großen System schon erkennbar. Ein Großes System ist nicht wegen seiner gewaltigen, riesigen, überdimensionalen Ausdehnung groß, sondern wegen seiner Kompliziertheit, Vielseitigkeit.

Ein Betrieb ist also ein typisches Großes System. Betrachten wir aber auch den bekannten Begriff »Betrieb« unter einem neuen, ungewöhnlichen Blickwinkel.

In einem modernen Betrieb gibt es viele Werkbänke und andere »Einrichtungseinheiten«. Sie sind alle durch technologische Linien untereinander verbunden. Davon kann es mehrere geben. Die technologischen Linien ihrerseits stehen auch untereinander wieder im Zusammenhang: Sie »treffen« sich, etwa in der Montagehalle. Mit anderen Worten, ein Betrieb ist ein System von vielen untereinander zusammenhängenden Elementen, die sich ständig verkomplizieren und sich auf einer »hierarchischen Stufenleiter« anordnen.

Ist das Kennzeichen eines Großen Systems eine große Zahl sich verkomplizierender Elemente? Ja, zweifellos. Aber das ist nicht das Wichtigste dabei.

Man kann sich noch eine größere »Vereinigung« von Elementen als in einem Werk denken, etwa 1000 Drehmaschinen unter einem Dach. Und wenn es noch so viele wären, ein Großes System bilden sie nicht. »Ansammlungen« dieser Art sind durch die Summenbildung zu erfassen. Gibt man zu einer Kopeke noch eine Kopeke hinzu, dann noch eine und so fort n -mal eine Kopeke hinzu, so erhält man $n + 1$ Kopeken. Hier in



Aber diese Maschinen, zusammengesetzt zu einer technologischen Linie einer Werkhalle, sind wechselseitig verbundene Elemente eines Großen Systems.

dieser Vereinigungsmenge bleibt jedes Element, also jede Kopeke, was sie war, und steht nur für sich selbst. Nimmt man von $n + 1$ Kopeken eine Kopeke weg, so bleiben genau n Kopeken übrig. Dabei werden keinerlei Beziehungen zwischen den Kopeken zerstört, nur ihre Anzahl hat sich geändert.

Was aber, wenn in einer technologischen Linie eine Werkbank ausfällt? Hier ist es mit den Regeln der Subtraktion allein nicht getan. Man kann nicht sagen: Es wären n Werkbänke, und übriggeblieben sind $n - 1$ Werkbänke. In einem Werk kann der Ausfall einer wichtigen Werkbank die ganze technologische Linie stoppen, danach die Montage und schließlich das ganze Werk. Wegen des Defektes eines einzigen Elementes sind die üblichen, eingerichteten, notwendigen und stabilen Beziehungen im gesamten System gestört, das ganze System »hinkt«. Das ganze wirkt sich als unerwarteter, unangenehmer Zwischenfall aus.

Die vielfältigen Beziehungen zwischen den zahlreichen Elementen eines Systems, zwischen seinen Teilen und der Umwelt charakterisieren die Besonderheit eines Großen Systems. Die ungewöhnliche Kompliziertheit der Beziehungen, ihre Wechselwirkung untereinander, der Einfluß eines Teiles des Systems auf einen anderen ist allen Großen Systemen eigen, welches Gebiet der realen Welt sie auch immer verkörpern – ein technisches, biologisches oder soziales. Das wichtigste Merkmal dabei ist der Umstand, daß sich dabei Hierarchien von Teilsystemen bilden.

Große Systeme bilden auch die Ökonomie im ganzen und die Leitung

eines Betriebes, auch der lebende Organismus; es können auch Steuerungssysteme von Reaktoren und Systeme für den Start und die Landung von Raumschiffen sein. Dabei haben wir es bei einem Großen System (und das müssen wir wiederholen, weil es wichtig ist) stets mit einer Menge von Elementen und einer noch größeren Anzahl von Beziehungen zwischen ihnen und mit ständigen Veränderungen zu tun. Nicht umsonst werden solche Systeme auch als komplizierte und dynamische Systeme bezeichnet.

Die vielfältigen Beziehungen innerhalb Großer Systeme sind so ungeheuer, die Wechselwirkungen zwischen den Elementen so unübersichtlich und der Einfluß zufälliger Faktoren so unkontrollierbar, daß für die Mehrheit dieser Systeme bisher keine strengen und genauen Gesetzmäßigkeiten gefunden werden konnten.

Soll das etwa heißen, daß sich ein Großes System nicht theoretisch und praktisch untersuchen läßt?

Es läßt sich untersuchen, sagen die Fachleute, es erfordert nur eine etwas ungewöhnliche Untersuchungsmethode. Das eben ist die »Theorie der Großen Systeme«.

Die Forschungsmethode, die die Wissenschaftler üblicherweise seit vielen Jahrzehnten anwenden, stützt sich auf die Zerlegung komplizierter Probleme in einfache. So bemühen sich beispielsweise Physiker, den Charakter komplizierter elektrischer Prozesse als Summe einfacherer darzustellen. Die Chemiker benutzen dieselbe Regel: Sie analysieren und bestimmen die Elemente, aus denen sich komplizierte Verbindungen zusammensetzen. Unter Verwendung dieser Methode weiß die Physiologie über eine einzelne Nervenzelle des Gehirns unvergleichbar mehr als über die Nerventätigkeit des Gehirns im ganzen.

Die Theorie der Großen Systeme muß sich »zurechtfinden« in dem Gewirr der Beziehungen und Teile eines Systems und dabei nicht eine Minute lang aus den Augen verlieren, daß all diese Vielfalt ein einheitliches Ganzes ist.

Nach Aussagen der Fachleute für Große Systeme erwies sich diese Methode wegen ihrer Gegensätzlichkeit zum Althergebrachten nicht gerade als einfach: Es war schwierig, über ein System wirklich als System zu denken und nicht nur über irgendeinen kleineren Aspekt des Problems.

Aber die Entwicklung der Technik, die Anforderungen der Praxis und die immer komplizierter werdenden Steuerungsmethoden haben die

Wissenschaftler gezwungen, sich auch an das Unübliche zu gewöhnen und Lösungswege für solche Aufgaben zu finden, die mit Großen Systemen zu tun haben. Hierbei wurde die Methode der Modellierung zur wirkungsvollsten; die treuesten und zuverlässigsten Helfer wurden die elektronischen Rechenautomaten.

Das Systemdenken in der Kybernetik läßt sich folgendermaßen kurz formulieren.

Zur Untersuchung eines Großen Systems — eines für Experimente, für die Analyse der sehr komplizierten inneren Struktur schwer zugänglichen Objektes — wird ein ideales Modell geschaffen. Dieses Modell zerfällt in genau beschriebene »Elemente« und baut sich aus diesen nach einem genau beschriebenen »Schema« auf. Um sowohl die Elemente als auch das Schema zu beschreiben, werden nach Möglichkeit alle Kenntnisse über das Untersuchungsobjekt, das als »Urbild« des Modells gilt, herangezogen: Erkenntnisse über die Naturgesetze, welche zur Untersuchung notwendig sind, Hypothesen und Vermutungen, auf die man im Falle nicht ausreichender realer Daten zurückgreifen muß. Das wichtigste dabei ist die modellierende Erfassung der hierarchischen Struktur dieses komplexen Ganzen, der unter- und übergeordneten Strukturnetze, durch die die Elemente zu Teilaggregaten, diese zu Teilsystemen, diese zu Komplexen von Teilsystemen usw. — d. h. zu einer ganzen Stufenleiter von Strukturebenen zusammengesetzt werden. Die Beschreibung eines Modells erfolgt in der Sprache der Mathematik entweder als Gleichungssystem oder als Programm für einen elektronischen Rechenautomaten.

Danach wird das Modell zum Funktionieren gebracht, um sein Auftreten in der »Umwelt« zu klären. Die Ergebnisse können dabei sowohl mit den aus den Versuchen und Beobachtungen erzielten Daten übereinstimmen als auch nicht, was häufiger geschieht.

Nach der Überprüfung der »Funktionstüchtigkeit« gehen die Forscher zur nächsten Arbeitsetappe über. Entweder nehmen sie das Modell oder korrigieren es oder verwerfen gar die benutzten Hypothesen und entwickeln neue. Auf diese Weise gelingt es, ziemlich genaue Angaben über ein Großes System zu bekommen.

Es ist schwierig und bis heute noch unmöglich, ein Großes System wegen der riesigen Zahl von Elementen und Beziehungen und wegen der wesentlichen Rolle der auf das System wirkenden zufälligen Faktoren mit herkömmlichen mathematischen Methoden zu beschreiben. Daher

werden die neuesten »Instrumente« der Analysis ins Spiel gebracht, wenn man es mit einem Großen System zu tun hat. Mitunter wird auch die statistische Modellierung, die sich auf die Imitation zufälliger Ereignisse durch Zufallszahlen stützt, herangezogen. Dann treten Algorithmen und Programme für elektronische Rechenautomaten auf.

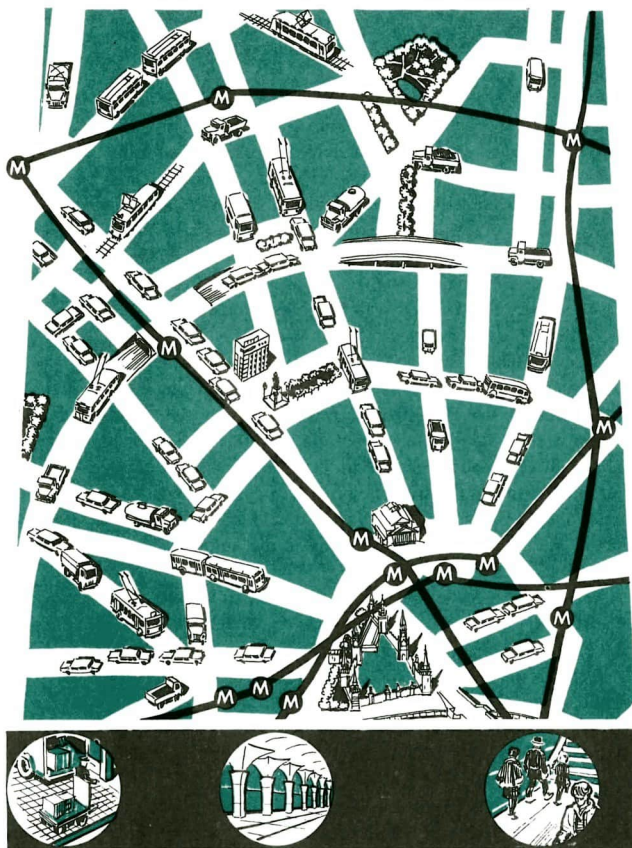
Systemwissenschaftler bezeugen, daß sich »die ganze moderne Theorie und Praxis der Steuerung Großer Systeme auf der Basis einer umfassenden Verwendung elektronischer Rechenautomaten aufbaut. Sie erfordert eine neue Mathematik, in der anstelle von Formeln Programme für elektronische Rechenautomaten vorkommen.«

Stellt euch einmal eine moderne Großstadt vor, zum Beispiel Moskau mit seinen Alleen, Straßen, Gassen, Straßenunterführungen, Verkehrsadern, mit seinem Personen- und Güterverkehr, mit der nach Millionen zählenden Menge von Fahrgästen und den Tausenden von Fußgängern. Nach Kenntnis dessen, was man »Großes System« nennt, ordnen wir die Aufgabe der Regulierung von Transport und Verkehr in dieser Stadt in diese Klasse von Aufgaben ein.

Wie ist diese Aufgabe zu lösen? Nehmen wir an durch Modellierung. Wir können einen realen Stadtplan hernehmen, die Zahl der Personenkraftwagen, Autobusse, Trolleybusse und Straßenbahnen sowie die Linien der U-Bahn in Erfahrung bringen und unter Beachtung der Straßenverkehrsregeln die Pappmodelle auf den eingezeichneten Straßen bewegen. Aber ist diese Aufgabe überhaupt ausführbar? Kommen wir nicht durcheinander mit den vielen sich nach einem streng bestimmten Rhythmus bewegenden Modellen? Selbst wenn wir nicht durcheinanderkommen, so kann ein solches Spiel wegen der Kompliziertheit des zu modellierenden Systems sich zeitlich sehr lange ausdehnen.

Wir können aber versuchen, die gegenständliche Modellierung durch die mathematische Modellierung zu ersetzen. Alles, also Straßen und Fahrzeugstrom und Anzahl der Fahrgäste, ist in die Sprache der Rechenautomaten zu übersetzen und in kodierter Form auf einem elektronischen Rechenautomaten »durchzurechnen«.

Der Automat wird, wenn er es mit ihm vertrauten Mitteln zu tun hat, mit dieser Aufgabe leicht fertig. Das korrespondierende Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR N. P. Buslenko berichtet darüber, daß ein Experiment dieser Art auf einem elektronischen Rechenautomaten schnell und billig durchgeführt werden kann und daß beim



Selbst ein kleiner Ausschnitt aus dem Stadtplan von Moskau mit den ober- und unterirdischen Verkehrsadern vermittelt eine Vorstellung von der Kompliziertheit eines Großen Systems wie des Verkehrswesens einer Hauptstadt.

Lösungsprozeß beliebige Änderungen zur Verbesserung des Ergebnisses vorgenommen werden können. Zur Erläuterung führt er ein Beispiel aus seiner Praxis an:

Die Arbeit einer großen Walzstraße war zu untersuchen. Nach Angaben des Wissenschaftlers war die Anlage gewaltig: vier automatische Linien, von denen jede aus 105 Maschinen bestand. Die Produkte bewegten sich mit großer Geschwindigkeit über Transportbänder, alle 0,7 Sekunden kam ein neues Werkstück vom Fließband. Diese Walzstraße war in Gang gesetzt worden, aber sie kam nicht auf die von den Projektanten vorgesehene Geschwindigkeit. Jeder Versuch, die Geschwindigkeit auf die projektierte Größe zu erhöhen, war mit dem Auftreten von Havarien an verschiedenen Stellen der Walzstraße verbunden. Jedesmal mußte der ganze Betrieb danach längere Zeit stillstehen.

Man entschloß sich, das ganze System auf einem elektronischen Rechenautomaten zu modellieren. Und dabei kam man auf eine ganz einfache Ursache der Havarien. Es zeigte sich, daß die Außenspeicher, die an den Stellen standen, an denen die Produkte von einer Maschine zur anderen übergingen – sie heißen Taschen –, eine zu geringe Kapazität hatten. War der Arbeitsplatz von einem Produkt besetzt, so stieß ein Spezialmechanismus das folgende in die Tasche, wo es so lange warten mußte, bis es zur Weiterbearbeitung in die automatische Linie zurückgerufen wurde.

War aber ein Außenspeicher ausgelastet, so konnte das Produkt nicht weichen. Es trat den vorangegangenen sozusagen »auf die Fersen«, und es kam zu einem Defekt.

Das war ein einfacher, offensichtlicher Projektierungsfehler der Walzstraße, aber wegen der Kompliziertheit des Systems, wegen seiner Dynamik und der hohen Betriebsgeschwindigkeit war es praktisch unmöglich, die Havarieursache durch Beobachtung während des Arbeitsprozesses der Walzstraße festzustellen.

Dagegen zeigte die Modellierung auf einem elektronischen Rechenautomaten durch schnelles Durchrechnen aller Baugruppen, Verbindungen und »Kreuzungen« genau den wunden Punkt des Systems. Nicht genug damit, der Automat bestimmte auch die Größe für die zu erfolgende Kapazitätserweiterung der Taschen. Als die Ingenieure diese Empfehlungen berücksichtigt hatten, konnte die Walzstraße mit voller Leistung gefahren werden.

Das Start- und Landesystem eines Raumflugkörpers rechnen die Fachleute zu den typischen Beispielen für ein Großes System. Das Hauptziel dieses Systems besteht darin, eine Nutzlast in einer bestimmten Zeit auf eine bestimmte Umlaufbahn um die Erde zu bringen und nach der Rückkehr dieser Nutzlast in die Atmosphäre die weiche Landung in einem bestimmten Gebiet zu garantieren.

Da über den Vorgang des Abhebens von Raumschiffen und künstlichen Erdsatelliten nur erst wenige, eng begrenzte Erfahrungen vorliegen, betrachtet man dieses Problem als ein System, das sich in einem frühen, sich schnell entwickelnden und verändernden Stadium seines Lebenszyklus befindet, und kann das Problem so faßbar und erkennbar machen. Bevor ein Flugkörper real in den Kosmos geschossen wird, wird daher erst einmal anhand von Berechnungen, Imitationen und Erprobungen einzelner Teile des Systems »in den Kosmos geschossen«.

Die Abbildung auf Seite 274 macht mit einigen Schritten bei der Lösung dieses Problems bekannt.

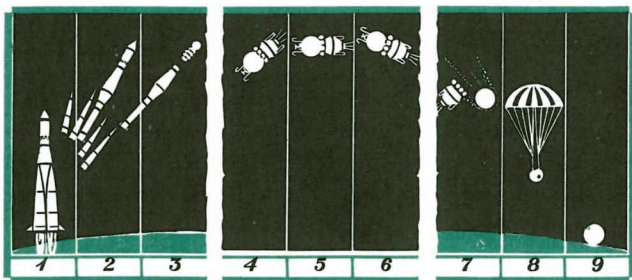
Beim Flug eines künstlichen Himmelskörpers hat jede Arbeitsphase ihre eigenen Besonderheiten und Schwierigkeiten.

Die Startphase erfordert die Bereitstellung der für den weiteren freien Flug mit vorgegebener Geschwindigkeit nötigen Beschleunigung, die auch für die richtige Flugrichtung und die für eine Steuerung günstige Fluglage von Bedeutung ist.

Die Wahl der Beschleunigung ist das Wichtigste. Sie wird durch viele Komponenten bestimmt, unter anderem durch das Gewicht der Nutzlast und die Ausmaße des Flugkörpers. Gerade von ihnen hängt es ab, wieviel Beschleunigungsstufen für den Flugkörper notwendig sind. Zu diesem Zweck müssen umfangreiche Berechnungen, komplizierte Profilberechnungen und eine vergleichende Analyse der Vor- und Nachteile verschiedener Varianten durchgeführt werden.

In der Phase des freien kosmischen Fluges werden verhältnismäßig geringe Anforderungen an das Steuerungssystem gestellt. Sie werden jedoch »kompensiert« durch die ungewöhnlich hohen Anforderungen an die Orientierung der Flugbahn im Raum und durch einen minimalen Energieaufwand für die Arbeit der Orientierungssysteme.

Immer und immer wieder werden verschiedene Varianten der Flugbahn erprobt, immer und immer wieder werden sie auf Rechenautomaten durchgerechnet und tragen zu notwendigen Korrekturen des Systems bei.



Start- und Landesystem für einen Raumflugkörper. 1, 2, 3 Startphasen; 4 freier Flug; 5 Korrekturmanöver; 6 auf der Flugbahn; 7 Abbremsung; 8 Landung; 9 Bergung. Unten sind die einzelnen Etappen bei der Schaffung eines Start- und Landesystems angegeben.

Etappen bei der Schaffung des Systems

Analyse (Komponenten der Analyse)

Aerodynamik
Mechanik des Fluges
äußere Thermodynamik
innere Thermodynamik
Baukonstruktionen
technische Physik
Baumaterialien
Systemanalyse
Zuverlässigkeitsanalyse
Rechentechnik

Projektierung (Komponenten der Projektierung)

Aerodynamik
Mechanik des Fluges
äußere Thermodynamik
innere Thermodynamik
strukturelle Mechanik
technische Physik
Baumaterialien
Systemanalyse
Systemprojektierung
Wärmeschutz
Steuerung durch
äußere Einwirkung
Messung und Funkkontakt
Isolierung
Regulierung der Flughöhe
elektroenergetische Systeme
Suchen und Finden
Systeme auf der
Erdoberfläche
Kontrolle der Flugbahn
und Kommandos
Start, Raketenrüstung
Steuerung
Geber

Erprobung (Komponenten der Erprobung)

vollständiges Erprobungsprogramm
experimentelle Forschungen
allgemeiner Plan der
technischen Erprobungen
Spezifikation der
Erprobungen
Klassifizierung und Vorbereitung der Erprobungen
Abschlußbewertung
Wahl des Wetters für die Erprobungen
Spezialausrüstungen und Materialien
Erprobungsprogramm für
Untersysteme
Anforderungen an Untersuchungen des Systems

Schließlich kommt die Rückkehrphase zur Erde. Sie beginnt mit der Abbremsung und endet mit der Landung und der Bergung des Flugkörpers auf der Erde. Dieser kurze »Lebensabschnitt« eines Raumschiffes oder eines künstlichen Erdsatelliten ist durch schnelle Veränderung der äußeren Verhältnisse infolge des starken Bremsens charakterisiert. Es verändert sich alles sehr schnell: die aerodynamischen Prozesse, die Temperatur des Flugkörpers und die Umweltbedingungen. Daher sind die genaue Bestimmung der zeitlichen Parameter und der Orientierungsparameter das wichtigste in dieser Phase. Und das erfordert natürlich keine geringere Arbeit als in den vorangegangenen Phasen.

Aus der Gesamtaufgabe »Flug eines Raumschiffes« greifen wir zur Vereinfachung nur zwei Teilaufgaben heraus: Start und Landung. Schaut euch an, wie die »allgemeine Aufgabenliste« aussieht. Nicht wahr, es ist eine harte Nuß für Theoretiker und Konstrukteure, ein solches System zu schaffen.

Eine ganze Reihe »weniger großer« Systeme habt ihr schon kennengelernt, nämlich technische Systeme. In ihnen lassen sich fast alle Verbindungen und Elemente in die Sprache der elektronischen Rechenautomaten übersetzen.

Wir stehen aber auch anderen Systemen gegenüber — z. B. unserem Organismus. Wahrscheinlich wird sich niemand daranmachen, alle seine »Elemente« in der Reihenfolge der hierarchischen Kompliziertheit der lebenden Materie, Zellen, Gewebe, Organe, Körperteile zu beschreiben, ihre Wechselbeziehungen und wechselseitigen Verbindungen untereinander, den Einfluß des Organismus auf die Umwelt, die psychologischen und emotionalen Wirkungen usw. zu erfassen.

Dabei muß noch berücksichtigt werden, daß, wenn auch die Theorie der Großen Systeme allgemeine Charakteristika in den ihrer Natur nach verschiedenen Objekten findet, jedes von ihnen auch noch nur ihm selbst eigene Züge trägt. So ist einem unbelebten technischen System beispielsweise stets eine funktionelle Zweckmäßigkeit eigen: Seine Schöpfer wissen dabei genau, daß es das ausführen wird, wofür es bestimmt ist. Das heißt, daß alle Elemente einer nichtbelebten Konstruktion — ihre Einheiten — sich der Idee der Gesamtkonstruktion unterordnen.

Dagegen hat in einem lebenden System jede Struktureinheit, zum Beispiel eine Zelle, ihre äußerst »persönlichen« Aufgaben, nicht jede

Struktureinheit bedarf einer »speziellen Rechtfertigung« bezüglich ihrer Tätigkeit. Das ist eine, und zwar eine sehr wichtige Besonderheit.

Eine andere, ebenfalls sehr wichtige Besonderheit ist die Fähigkeit, aus Einheiten (Zellen) ganze Kollektive (Gewebe) aufzubauen. In einer solchen Gemeinschaft bleiben die individuellen Eigenschaften der Einheiten erhalten.

Eine unwahrscheinlich komplizierte hierarchische Struktur erschwert die Modellierung eines biologischen Systems – es besitzt zu viele Elemente zu viele Verbindungen, zu viele Variable – von allem zuviel. In großen biologischen Systemen kommen sehr viele dieser »zu viel« vor, die uns das Begreifen aller Erscheinungen und Schwierigkeiten erschweren.

Wie untersucht man nun Systeme dieser Art?

Zur Veranschaulichung, zur Erklärung der Methodik des Heran- gehens an derartig komplizierte Systeme, wenden wir uns einem physikalischen Problem zu.

Wie geht zum Beispiel ein Naturwissenschaftler vor, wenn er bei einem Pendel die Abhängigkeit der Schwingungsdauer von der Pendellänge untersucht? Er beschränkt sich nur auf das Wichtigste: den Ausschlags- winkel des Pendels zu verschiedenen Zeitpunkten. Dabei sieht er von solchen Dingen ab, die bei dieser Untersuchung zweitrangig, unbedeutend und unwesentlich sind: von der chemischen Zusammensetzung des Materials, der elektrischen Leitfähigkeit der Pendelstange, dem spezi- fischen Gewicht des Pendelkörpers, dem Alterungsgrad der Legierung, dem Grad seiner bakteriellen Verschmutzung usw.

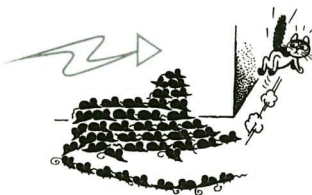
Die Systemmethode erlegt den Erforschern lebender Systeme auf, eine ganze Menge von für den konkreten Fall unwesentlichen Eigenschaften wegfallen zu lassen. Sie erfordert es, eine endliche Anzahl solcher Eigen- schaften zu bestimmen, von denen das Ergebnis abhängt.

Wenn wir uns nun noch einem weiteren Typ Großer Systeme, den öko- nomischen, zuwenden, so müssen wir mit den Fachleuten bekennen: Das Wachsen jedes ökonomischen Systems führt zu einem lawinenartigen Anwachsen der Information über die Arbeit seiner Elemente. Um es aber steuern zu können, muß der gesamte gigantische Informationsfluß berück- sichtigt werden. Die wirtschaftliche Leitung eines großen Industrieunter- nehmens, etwa einer modernen Maschinenfabrik, ist aufs engste nicht nur mit den Daten der Hunderttausende von Einzelteilen, des Materials und aller

Arten von technischer Ausrüstung zu verbinden, sondern auch mit Angaben über die in diesem Betrieb arbeitenden Menschen.

Es gibt so viele Daten und Informationen, daß es schwierig ist, mit den klassischen Methoden der wirtschaftlichen Leitung ihrer Herr zu werden. Daher sind die herkömmlichen ökonomischen Methoden mit automatisierten Steuerungssystemen gekoppelt worden. Nur mit elektronischen Rechenautomaten ausgerüstete automatisierte Systeme sind in der Lage, riesige Mengen von Daten zu sammeln, zu speichern und zielgerichtet, äußerst gewissenhaft und genau zu verarbeiten.

Obwohl die Theorie der Großen Systeme erst vor kurzem Einzug gehalten hat in die wissenschaftliche, technische und Produktionspraxis, hat sie bereits viel geleistet. Die Wirksamkeit des Systemdenkens wird vielfach dadurch bestimmt, daß es aus den Grundgesetzen der Dialektik folgt, aus der Verschmelzung der Entwicklungsidee mit der Idee von der Struktur der Materie und ihren unerschöpflichen Zusammenhängen. Die Theorie der Großen Systeme untersucht die »Struktur der Veränderungen« und die »Strukturveränderungen« im Ganzen. Immer häufiger wenden sich auch Biologen, Ökonomen, Mitarbeiter des Verwaltungsapparates, Soziologen und Ärzte an die Theorie der Großen Systeme.





Darstellung von Zahlen und Kommandos in der Maschine – im Speicherwerk oder im Rechenwerk – mit Hilfe von Zahlensystemen

»Ein – Aus...«

Ihr habt sicher alle schon einmal auf dem Dorfe einen jener unkomplizierten Verschlüsse von Hoftüren gesehen – ein Holzbalken, der um einen Eisenstift in der Mitte drehbar ist. Diese Vorrichtung öffnet oder schließt das Hoftor, ein Mittelding gibt es nicht.

Gibt es ein elektrisches Analogon zu diesem Drehriegel? Ja, einen einfachen Druckschalter einer Tischlampe zum Beispiel: Drückt man ihn, so ist das Licht eingeschaltet, drückt man ihn wieder, so ist das Licht ausgeschaltet. Der Schalter bleibt in ein und demselben Zustand, solange wir ihn nicht in den anderen versetzen. Ja, mehr noch, ist der Schalter in eine der beiden Lagen gebracht, so kann er in ihr beliebig lange verharren, sich also gleichsam die durch ihn hergestellte Lage merken.

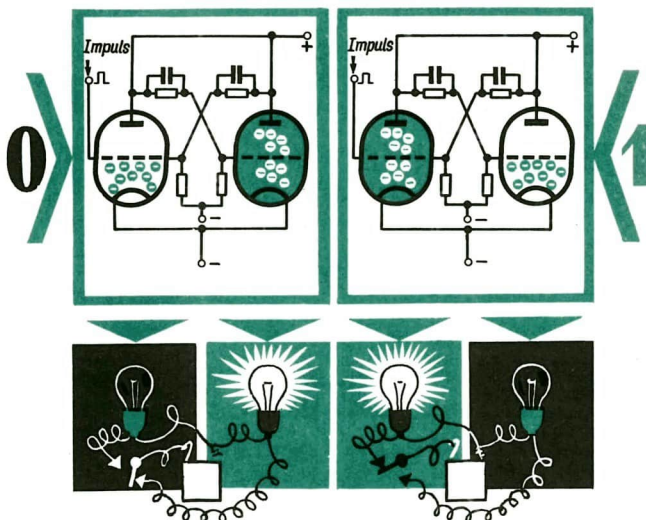
Die Symbole des Dualsystems, also 0 und 1, kann man mit Hilfe des elektrischen Stromes weiterleiten und aufzeichnen, zum Beispiel, indem man die Dauer des Stromflusses in einem Stromkreis variiert: kurz – Punkt, lang – Strich: wie im Morsealphabet. Möglich ist es auch, die Stromrichtung zu variieren: plus – minus. Man kann aber auch die Amplitude variieren: Signal – eins, kein Signal – null. Die letztere Methode wird

deshalb in Rechenmaschinen angewendet, weil sie sicher ist und das Fehlen bzw. das Vorhandensein eines Signals in den einzelnen Baugruppen des Automaten leicht unterschieden werden kann.

Ein Grundbaustein einer schnellen Rechenmaschine ist der sogenannte Trigger. Er arbeitet ebenfalls nach dem Prinzip ein – aus.

Einen Trigger kann man sich vereinfacht als zwei Elektronenröhren vorstellen, die in einem Kolben montiert sind. Sie sind elektrisch so miteinander verbunden, daß die erste Röhre eingeschaltet ist, wenn die zweite ausgeschaltet ist und umgekehrt. Einen dieser stabilen Zustände des Triggers wollen wir als 1 und den anderen als 0 ansehen.

Jeder neue elektrische Impuls, der auf die Gitter der Röhren trifft, löst abwechselnd den Elektronenstrom in einer der beiden Röhren aus bzw. sperrt ihn. In genauer Übereinstimmung mit dem Eintreffen dieser



Triggerschaltung. Wenn die rechte Röhre offen und die linke gesperrt ist, so ist im Trigger eine 0 fixiert. Ist aber umgekehrt die linke Röhre offen und die rechte gesperrt, so ist im Trigger eine 1 fixiert.

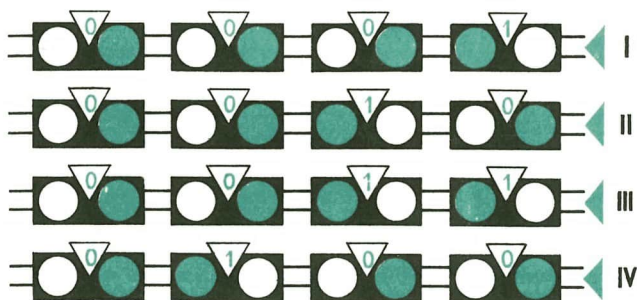
Impulse ändert der Trigger dementsprechend im gleichen Moment seinen Zustand, indem er bald 1, bald 0 zeigt. In jedem dieser beiden Zustände kann er so lange verbleiben, bis ein neuer Impuls ankommt. So, durch den Übergang von einem Zustand zum anderen oder, wie man auch sagt, durch »Kippen« kann ein Trigger Impulse anzeigen.

Eine mechanische Anlage benötigt für einen Arbeitsgang etwa 0,5 s, ein elektrischer Schalter etwa 0,035 s, während das »Kippen« eines Triggers, dank der Besonderheiten der Elektronenröhren, in der unwahrscheinlich kurzen Zeit von 0,000001 s vor sich geht. Hierin besteht auch eines der Geheimnisse der enormen Rechengeschwindigkeit einer elektronischen Maschine.

Wenn aber ein Trigger nur die Eins oder die Null darstellen kann, wie werden dann alle übrigen Zahlen in der Maschine aufgezeichnet? Damit die Trigger zum Rechnen geeignet sind, werden sie in Ketten, in Zählregistern zusammengefaßt.

Über Triggerketten. Wenn wir vier Trigger vereinigen, so hat jeder von ihnen zwei Eingänge und zwei Ausgänge. Vor Arbeitsbeginn ist auf allen Triggern der Zustand »Null« fixiert, das heißt, das Zählregister zeigt 0000.

Wenn auf den Eingang des ersten Triggers von rechts ein Signal – ein Impuls – gegeben wird, so »kippt« der Trigger und zeigt die 1 an, während auf den übrigen der Zustand 0 erhalten bleibt. Folglich zeigt das Zählregister 0001.

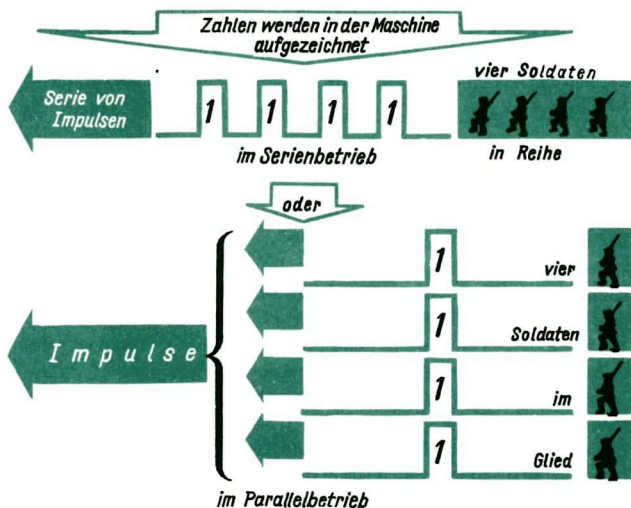


Trigger-Register

Wir geben nun einen zweiten Impuls auf den ersten Trigger von rechts. Dieser wird dadurch umgeschaltet, weist wieder die 0 aus und gibt einen Impuls als »Übertrag« an den nächsten Trigger weiter. Auf diesem wird die 1 fixiert. Das Register zeigt 0010.

Ein solches Triggersystem läßt sich mit einem Rechenbrett vergleichen, bei dem auf jedem Stab nur zwei Kugeln sitzen. Wenn alle Kugeln eines Stabes von rechts nach links geschoben sind, so muß auf dem nächstfolgenden Stab eine Kugel nach links verschoben werden, während die des ersten wieder in die Ausgangslage zurückkehren. Das, was auf einem Rechenbrett die Finger tun müssen, übernehmen in Triggern elektrische Impulse.

Es gibt zwei Verfahren, Zahlen als Zifferngruppen aufzuzeichnen (einzugeben) und zu verarbeiten: den Serien- und den Parallelbetrieb. Über das erstere habt ihr eben schon einiges erfahren. In ihm laufen also alle Impulse durch einen Kanal bzw. durch die Kette der Trigger



Aufzeichnung von Zahlen in der Maschine im Serien- und im Parallelbetrieb

nacheinander, in zeitlicher Aufeinanderfolge. Anschaulich kann man sich das in Form von Soldaten in Reihe vorstellen, die einzeln hintereinander marschieren.

Beim Serienbetrieb kontrollieren wir die Impulsübertragung mit nur einem Kanal, der die Impulse leitet. Man muß aber warten, bis einer nach dem andern durchlaufen ist, so etwa wie ihr an einer Kreuzung wartet, um den fließenden Verkehr durchzulassen. Beim Parallelbetrieb treffen alle Impulse gleichzeitig, aber durch eine entsprechende Anzahl verschiedener Kanäle ein. Diese parallele Bewegung läßt sich mit Soldaten im Glied vergleichen, die Schulter an Schulter gehen. Um bei diesem Verfahren die Impulskombination zu bestimmen, müssen alle Kanäle gleichzeitig beobachtet werden, d. h., man muß wissen, was in jedem einzelnen Leiter geschieht.

In der Maschine werden die Zahlen also in Ketten elektronischer Bausteine (wie zum Beispiel Trigger) aufgezeichnet, die man deshalb als Register bezeichnet. In der Regel wird in einem Register eine Zahl aufgezeichnet.

Betrachtet auf der Zeichnung, wie eine Zahl in einem Register aufgezeichnet wird. Ihr könnt die 4 Stellen der Zahl, den Dualwert der einzelnen Stellen und daneben ihre Veranschaulichung durch Impulse erkennen.

Auf den ersten Blick mag erscheinen, als benötigte man für das Rechnen mit großen Zahlen eine riesige Menge von Triggerzellen. Hier ist es angebracht, an eine indische Legende zu erinnern, wonach der König Sheram dem Weisen Sessa Ebn Daher versprach, ihm jeden gewünschten Lohn für seine großartige Erfindung — das Schachspiel — zu gewähren. Daraufhin legte Sessa vor dem König ein Schachbrett nieder und bat, man möge in jedes der 64 Felder Weizenkörner legen, und zwar in das erste Feld ein Korn, in das zweite Feld zwei Körner, in das dritte vier usw., das heißt in jedes doppelt soviel wie in das vorhergehende.

Der Wunsch des Weisen erschien zunächst sehr bescheiden. Aber Sessa hat seinen Lohn niemals erhalten.

Die Mathematiker des Königs hatten nämlich ausgerechnet, daß die Menge der Weizenkörner eine unvorstellbar große Zahl, nämlich 18 Trillionen, 446 744 Billionen, 073 709 Millionen 551 615 ausmacht.

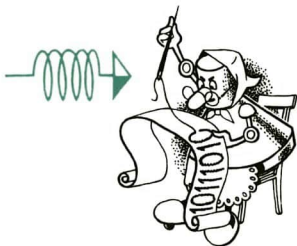
Diese Kornmenge würde zwei Speicher von der Länge Erde—Sonne

füllen. Es ist beeindruckend, daß der Erfinder des Schachspiels diese riesige Zahl mit Hilfe von nur 64 Kästchen ausdrücken konnte.

Auch in modernen Rechenmaschinen kann somit ein aus nur 64 Triggern bestehendes Register diese riesige »Schach«-Zahl, nämlich $2^{64}-1$ darstellen.

Trigger werden schon seit langem als Zählgeräte verwendet. Anfangs wurden sie hauptsächlich zum Zählen atomarer Teilchen benutzt. Danach wendete man Trigger auch in Rechenmaschinen an.

In der Sowjetunion wurde der erste Trigger im Jahre 1918 von dem berühmten Wissenschaftler und Radiotechniker M. A. Bontsch-Brujewitsch gebaut. Er hatte bereits 1916 mit der Untersuchung von Elektronenröhren begonnen und sich als erster für deren serienmäßige Produktion eingesetzt.





Zeichenerkennung

Theorie und Prinzipien des Aufbaus von Systemen, die Gegenstände, Erscheinungen und Situationen unterscheiden und zu Gestalten gruppieren können.

Was ist was?

Eine der wunderbarsten Fähigkeiten des Menschen ist die Fähigkeit, zu erkennen. Indem wir etwas sehen, erkennen wir zugleich, womit wir es zu tun haben: mit einem Schiff, einem Schmetterling, einer Tasse, einem Elefanten usw., und wir erkennen es auch dann, wenn es sich nicht um das »Original« selbst, sondern um eine verkleinerte oder vergrößerte Abbildung desselben handelt.

Nun sind die Erscheinungen, Dinge und Situationen und alles andere, was uns umgibt, verschiedenartig, und wir teilen alles, was wir wahrnehmen, zwangsläufig in Gruppen einander ähnlicher Gestalten usw. ein, wir klassifizieren es. In einer solchen Gruppe können dann immer noch ganz verschiedene, sich stark voneinander unterscheidende Dinge enthalten sein, aber in etwas Bestimmtem sind sie notwendigerweise gleich, einheitlich.

Nehmen wir zum Beispiel die Buchstaben des Alphabets. Auch wenn sie in einer noch so ausgeschriebenen Handschrift gegeben sind, erkennen wir den Buchstaben »a« stets als Buchstaben »a«, den Buchstaben »g« stets als Buchstaben »g« und den Buchstaben »s« stets als Buchstaben »s«.

Oder stellen wir so unterschiedliche Zeichnungen gegenüber wie beispielsweise das von einem Künstler geschaffene Porträt eines Menschen und eine entsprechende Kinderzeichnung. Bei allen Unterschieden sehen wir auch die Ähnlichkeit: Sowohl der Erwachsene als auch das Kind haben einen Menschen dargestellt.

Der Mensch besitzt die Fähigkeit zur Erkenntnis von jeher. Dennoch weiß die Wissenschaft bis heute noch nicht genau, *wie* der Mensch erkennt. *Wie* bildet sich bei ihm aus manchmal kaum wahrnehmbaren und dazu noch unvollständigen Merkmalen eines Gegenstandes der Begriff, sein Abbild, jenes Bild, das bei der Wahrnehmung der ihn umgebenden Welt, im Erkenntnisprozeß, die wichtigste Rolle spielt?

Wenn von den Geheimnissen des menschlichen Gehirns, der menschlichen Psyche die Rede ist, stoßen wir erneut auf ein leider gar nicht so seltenes Paradoxon: Ohne zu wissen, wie der Mensch solche Gestalten herausfindet, sie »aufbaut«, kennen die Wissenschaftler den »Wert« dieser Fähigkeit. Sie behaupten, daß die Wahrnehmung von Erscheinungen der Wirklichkeit durch Abbildung als Gestalten die Möglichkeit dafür schafft, das Gedächtnis ökonomischer auszunutzen. Denn das Bild ihrer Gestalt befreit uns von der Notwendigkeit, uns unzählige konkrete Gegenstände und Erscheinungen zu merken. Gerade die Bilder gestatten uns, früher gesammelte Erfahrungen zu verwenden.

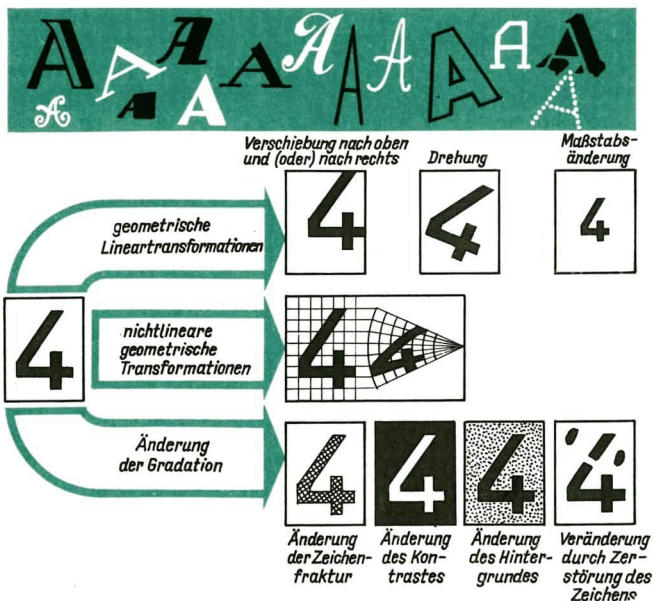
Die Wissenschaftler unterstreichen, daß wir (genau wie ein elektronischer Rechenautomat) ohne die Fähigkeit, Objekte nach Gestalten, Bildern zu gruppieren, vor jeder neuen Erscheinung wie der »Ochs vorm neuen Tor« stehen würden. Denn kein reales Ding und keine reale Erscheinung ist die genaue Wiederholung oder die genaue Reproduktion einer solchen, die wir schon vorher angetroffen haben.

Was also liegt unserer Fähigkeit des Erkennens zugrunde?

Nichts anderes als Unterrichtung – lernend, Erfahrungen anhäufend, klassifiziert der Mensch das Gesehene, erkennt er Bilder, Gestalten.

Sollte es einem elektronischen Rechenautomaten nicht möglich sein, den Prozeß der Bilderkennung nachzuahmen, zu modellieren?

Wissenschaftler antworten darauf: »Die prinzipielle Lösbarkeit der Aufgabe der Erkennung von Gestalten folgt aus der Tatsache, daß der Mensch und andere lebende Organismen diese Fähigkeit besitzen. In der lebenden Natur wird die Fähigkeit, komplizierte Situationen zu klassifizieren, durch fortgesetztes Lernen erreicht; daher ist es zweck-



Alle oben abgebildeten Figuren bezeichnen wir ungeachtet der großen Unterschiede in der Schreibweise als Buchstaben A. Jedes Schriftzeichen, gleich ob Buchstabe oder Zahl, kann beim Aufschreiben in mannigfacher Weise entsteht werden.

mäßig, bei der Schaffung klassifizierender Automaten das Lernprinzip zu verwenden. Sie zu schaffen erweist sich sogar in den Fällen als möglich, in denen dem Konstrukteur die dem Klassifizierungsprozeß zugrunde liegenden Merkmale vorher unbekannt sind, wenn er nur hinreichend viele Beispiele dafür vorgibt, welche Situationen zu einer bestimmten Klasse gehören.«

Die Wissenschaftler begannen nach Wegen zu suchen, wie sie diese interessante Idee in die Praxis umsetzen können.

Einen der ersten Automaten dieser Art schuf der amerikanische

Kybernetiker Arturo Rosenblueth, der für diesen Typ von Automaten die seitdem übliche Bezeichnung »Perceptron« schuf.

Perceptrons sind Leseautomaten. Freilich unterscheiden sie sich äußerlich kaum von ihren »ungebildeten« Brüdern: Bei beiden sehen wir nur einen schmalen Metallschrank, nur daß die »gelehrten« Augen haben: Das auf den Text gerichtete optische Auge eines Fotoelementes ermöglicht dem Automaten, zu »lesen«, die Buchstaben zu erkennen.

Das Perceptron.

An der Vorderseite des Perceptrons befindet sich eine künstliche Netzhaut aus 400 Fotoelementen. Diese nimmt das Bild wahr. Die bei der Wahrnehmung des Bildes in der Netzhaut gebildeten Signale werden verstärkt und zu den künstlichen Neuronen geleitet. Das sind elektronische Bauelemente, die die Nervenzellen modellieren. Sie werden Assoziations-System genannt – Gedächtniszellen. Von den Neuronen gehen die Signale, zugleich verstärkt, in eine Auswertungseinrichtung, die sich am Ausgang befindet. Und eine spezielle Einrichtung sorgt für »Bestrafung« von falschen Signalen. Soweit der prinzipielle Aufbau des Perceptrons von Rosenblueth.

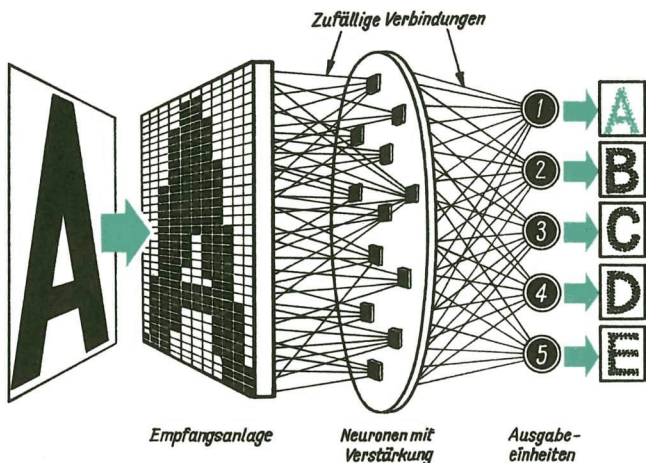
Vor dem Bildschirm werden nacheinander mehrere Buchstaben auf gestellt. Sie haben verschiedene Gestalt, aber der Automat erkennt sie und unterscheidet sicher »a« von »b«, »b« von »c«, d. h. jeden Buchstaben von jedem beliebigen anderen.

Anfangs machte das Perceptron häufig Fehler, dann wurde es jedesmal »bestraft«: Der Operator drückte auf den Knopf »Strafe«, und die Signale, die in die Zellen des Gedächtnisses eingingen und die falschen Antworten erzeugten, wurden gelöscht. Danach zeigte man dem Automaten noch einmal die betreffende Figur und bewertete die Antwort. Hatten sich dann alle Signale »zur Beratung« ins Hauptneuron »zurückgezogen«, so hatten die »Schuldigen« weniger Stimmen

So lernte der Automat aus seinen eigenen Fehlern die richtige Zeichenerkennung.

Die sowjetischen Wissenschaftler erarbeiteten ein anderes Prinzip der Zeichenerkennung. Die Grundlage hierfür ist die Hypothese der »kompakten Mengen«. Sehen wir uns diese Hypothese genauer an.

Ein Lehrer möchte einem Schüler beibringen, die Gestalt des Buchstabens »A« zu erkennen. Zu diesem Zweck erklärt er ihm, welche kon-

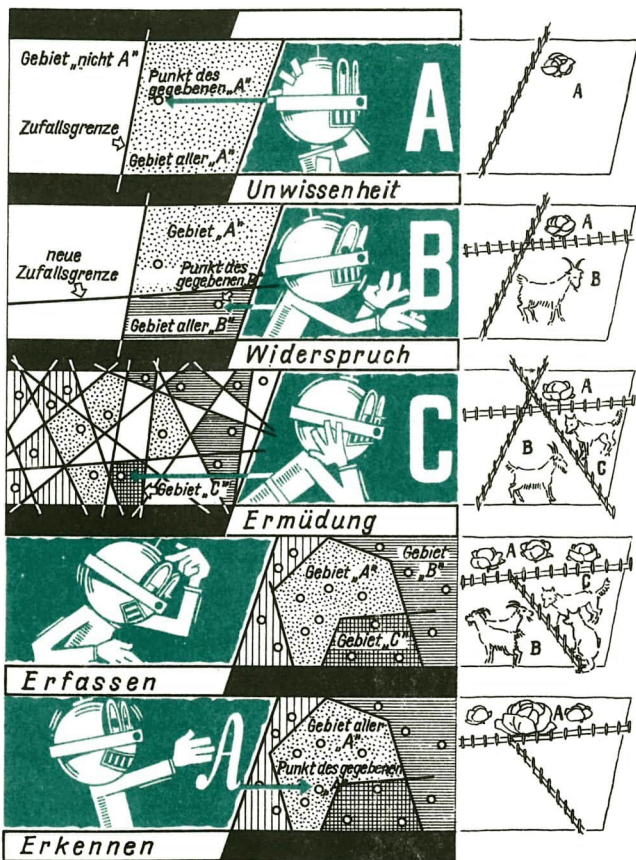


Arbeitsweise eines Perceptrons. Nach vielmaliger Wiederholung des Lernprozesses beim Buchstaben A und nach Aneignung desselben durch den Automaten wird das System auf den Buchstaben B gelenkt usw.

kreten Kennzeichen dieser Buchstabe hat: die beiden geneigten Balken mit dem Querstrich in der Mitte.

Der Lehrer kann aber auch anders verfahren. Er kann vor dem Schüler 20 verschieden geschriebene Buchstaben A ausbreiten und sagen, daß sie alle den Buchstaben A darstellen. Danach kann er 20 verschiedene B, 20 C usw. vorzeigen. Dann beginnt der Schüler, die einzelnen Buchstaben sicher voneinander zu unterscheiden. Er hat sich ein optisches Bild eines jeden Buchstaben gebildet, seine Gestalt herausgefunden und erkennt ihn, in welcher davon abgewandelten Form er auch aufgeschrieben sein mag.

Die Hypothese der »kompakten Mengen« geht von der Annahme aus, daß sich beim Zeigen des Buchstabens A (oder eines anderen Buchstabens) im Bewußtsein des Menschen ein Punkt abbildet, das »Bild« dieses Buchstabens. Dann zeigt man dem Menschen denselben Buchstaben in anderer Schrift. Erneut entsteht ein Bildpunkt in der Nähe des ersten. Der dritte.



Arbeitsweise eines erkennenden Automaten auf der Grundlage des Prinzips der »kompakten Mengen«. Der einem gegebenen Buchstaben entsprechende Punkt fällt in ein bestimmtes Gebiet. Indem sich der Automat erinnert, zu welchem Bild (Buchstaben) die Punkte dieses Gebietes gehören, bestimmt er, welcher Buchstabe es ist.

zehnte, hundertste anders geschriebene Buchstabe A bildet immer neue Bildpunkte im Bewußtsein. Alle zusammen ordnen sich kompakt, haufenförmig, an.

Nun bilden die Bildpunkte, die beim Zeigen verschieden geschriebener Buchstaben B entstehen, eine neue kompakte Menge. So geht es mit allen Buchstaben. Je zwei Mengen sind durch eine Art Zaun streng voneinander getrennt.

Aber ein Apparat, der nach diesem Prinzip arbeiten soll, trifft auf Schwierigkeiten.

Die elektronischen Automaten arbeiten, wie wir wissen, blitzschnell. Es macht ihnen auch keine Mühe, Hunderte und Tausende verschiedene Zeichen mit »genormten« Mustern zu vergleichen, die im Automaten gespeichert werden können.

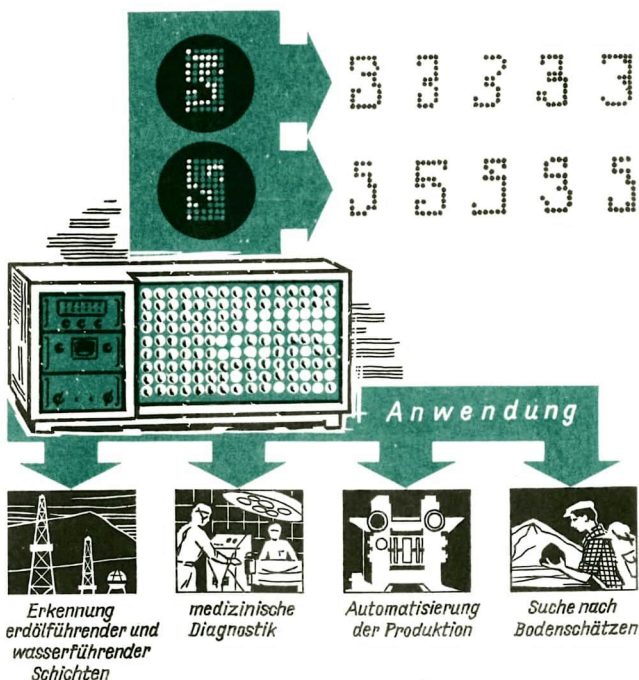
Aber — der Speicher eines Automaten hat stets eine begrenzte Kapazität. Und da es kein einziges Bild gibt, das in den kleinsten Feinheiten einem anderen ähnelt, müßte man dem Automaten jedesmal jedes Bild mit peinlicher Genauigkeit beschreiben? Das ist eine praktisch undurchführbare Aufgabe.

Da ist noch eine weitere Schwierigkeit: Die Arbeit des Automaten nach genormten Mustern ist ohne Eingreifen des Menschen nicht möglich. Der Mensch muß nämlich das genormte Muster beschreiben und eine ganze Reihe von Vergleichskriterien mit diesem Muster angeben. Die Wissenschaft hat aber die Aufgabe gestellt, daß die Maschine selbst die Zeichenerkennung erlernt. Und dies nicht etwa, um nur theoretisch interessante Probleme zu lösen, sondern vor allem, um solche lesenden Automaten in der Praxis einzusetzen.

Solche lesenden Automaten sind unbedingt nötig. Denkt einmal an die Geologie. Nach den Untersuchungsergebnissen einer geologischen Expedition soll festgestellt werden, ob eine bestimmte Erdschicht erdölführend ist. Der geologische Spezialist für Interpretation kennt sich mit Daten über Besonderheiten von Erdschichten aus, er bewertet deren elektrische, strahlungsmäßige und geometrische Charakteristiken. Einer erdölführenden Schicht entspricht aber buchstäblich ein ganzer Ozean solcher Charakteristika. Wasserführende Schichten, die der Geologe von den erdölführenden zu unterscheiden hat, haben ebenso viele Eigenschaften.

Die Schwierigkeit der Aufgabe nimmt noch zu, da es in der Geophysik keinerlei Regeln gibt, von denen ausgehend eine Erdschicht entweder als wasser- oder erdölführend unterschieden werden kann. Hier liegt eine große Fehlerquelle. Und es werden viele Fehler gemacht, von 5 bis 80 Prozent.

Sollte es also nicht möglich sein, ein klassifizierendes automatisches System zu schaffen, das anhand bestimmter Eigenschaften mit wesent-



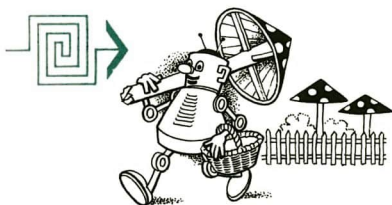
Die Methode, Automaten das Erkennen zu lehren, findet in Wissenschaft, Technik und in der Produktion eine umfassende Anwendung.

lich höherer Genauigkeit das Problem der Bestimmung der Schichten lösen würde?

Und wie sich dann der Charakter der Informationsautomaten ändern würde! Ein Automat könnte dann vom Blatt »lesen«. Es wäre nicht mehr nötig, ihm den Text aus der menschlichen Sprache in die Maschinensprache zu übersetzen. Es würde die Möglichkeit geben, mit ihm ohne Vermittler zu arbeiten.

Mit Hilfe erkennender Automaten wäre es möglich, die Eingabe, die Aufzeichnung von feststehenden Grundinformationen, die sich auf mehrere Milliarden Wörter belaufen (z. B. aus Nachschlagewerken), für elektronische Maschinen automatisieren zu können, ebenso wie die Briefsortierung auf der Post, die Bearbeitung von Bankunterlagen, das Setzen in den Druckereien u. ä. Auch das maschinelle Übersetzen würde wesentlich einfacher.

Die Perceptrons, die ihren Weg als Nachahmer menschlicher Fähigkeiten zum gestalthaften Erkennen der sie umgebenden Welt begannen, werden uns helfen, die Mechanismen zu entdecken, mit denen der Mensch selbst Bilder »konstruiert« sowie Erscheinungen, Ereignisse und Dinge klassifiziert. Die Schaffung erkennender Maschinen ist eine sehr schwierige Aufgabe. Die Vertreter verschiedener Fachrichtungen gehen verschiedene Wege zur Lösung des Problems der Zeichenerkennung.



Auf in die Pilze!



Wahrscheinlichkeit für das störungsfreie Funktionieren einer Anlage oder eines Bauelementes während einer vorgegebenen Nutzungsdauer.

Der Vertrauenskoeffizient

In Meyers Neuem Lexikon findet man das Wort »Zuverlässigkeit« erst im Ergänzungsband von 1969. Warum? Das liegt einfach daran, daß dieses Wort erst vor kurzem zu einem Begriff geworden ist, ohne den heute weder Wissenschaft noch Technik und Industrie auskommen können.

Das Problem der Zuverlässigkeit entstand aus lebensnotwendigen Erfordernissen der Praxis.

Während des zweiten Weltkrieges waren 60 Prozent der von den USA im Fernen Osten eingesetzten Flugzeuge wegen technischer Mängel nicht benutzbar, und 50 Prozent der Ersatzteile wurden bereits in den Lagern unbrauchbar. Eine Überprüfung hatte ergeben, daß die Radaranlagen in 84 Prozent, die hydroakustischen Anlagen in 48 Prozent und die Funkgeräte in 14 Prozent der Zeit ihres praktischen Einsatzes nicht arbeitsfähig waren.

Was ist also Zuverlässigkeit? Das erklärt uns der bekannte sowjetische Mathematiker B. W. Gnedenko:

Prüft man mehrere Elektronenröhren desselben Typs aus ein und

derselben Produktionsserie nach ihrer Nutzungsdauer, so stellt man fest, daß sie alle unterschiedliche Lebensdauer besitzen. Im voraus läßt sich nicht sagen, wie lange *eine* gegebene Elektronenröhre störungsfrei funktionieren wird. Man kann nur angeben, wie viele Röhren aus einer großen Anzahl gleichartiger eine festgelegte Nutzungsdauer erreichen. Mit anderen Worten, für eine Elektronenröhre wie auch für jedes andere Erzeugnis ist die Lebensdauer eine Zufallsgröße. Die Wissenschaftler müssen nun die Wahrscheinlichkeit für das störungsfreie Funktionieren während einer vorgegebenen Lebensdauer bestimmen. Diese Wahrscheinlichkeit bezeichnen sie als Zuverlässigkeit.

Denken wir einmal an eine interplanetare Raumstation. Wie kompliziert ist doch ihre Arbeit! Damit diese Arbeit auch erfolgreich abgeschlossen werden kann, müssen alle Geräte der Station während des gesamten Einsatzes störungsfrei funktionieren. Mit anderen Worten, alle Geräte der Raumstation müssen höchst zuverlässig, die Wahrscheinlichkeit des Ausfallens eines Instrumentes muß sehr gering sein.

Um die Wichtigkeit des Begriffes Zuverlässigkeit einschätzen zu können, wollen wir uns über die Kompliziertheit der modernen Welt der Maschinen und Geräte klar werden. Wir erkennen das an einigen Beispielen.

Eine gewöhnliche Elektronenröhre besteht aus 60 bis 90 Einzelteilen. Die Bordapparatur des bemannten Raumschiffes »Wostok« wog 2000 kg (bei einem Gesamtgewicht des Raumschiffes von 4625 kg) und bestand aus 300 Geräten, die insgesamt 240 Elektronenröhren, 6300 Halbleiterelemente, 760 elektromagnetische Relais und Schalter enthielten. Und diese ganze äußerst komplizierte Apparatur mußte über einen langen Zeitraum hinweg unter großer Belastung, unter Vibration und bei sich rasch ändernden Temperaturen und Drucken, arbeitsfähig bleiben.

Ein elektronischer Rechenautomat besteht aus mehreren zehntausend Röhren, Halbleiterdioden und -trioden, Widerständen, Kontakten und Lötstellen.

Das Steuersystem der amerikanischen interkontinentalen Atlasrakete besteht aus mehr als 300 000 Bauelementen.

Die Zuverlässigkeit solcher Komplexe wird bestimmt durch ihr schwächstes Element, durch dasjenige, welches zuerst ausfällt! Wie kann man aber wissen, welches der vielen Einzelteile das schwächste ist? Etwa

bei der Atlasrakete: Selbst wenn jedes ihrer Bauelemente im Mittel 10 000 Stunden störungslos funktioniert, so muß man doch schon alle zwei Minuten mit einem Defekt, also einen Arbeitsausfall, rechnen.

Ist es deshalb etwa so, daß ein System um so unzuverlässiger ist, je komplizierter es ist? Hierzu hat sich Akademiemitglied A. I. Berg treffend geäußert: Der Vorteil der Steinaxt gegenüber einem modernen Aggregat besteht darin, daß es an der Steinaxt nichts gibt, was funktionsuntüchtig werden könnte. Und er nennt noch ein weiteres Beispiel dafür, wie die Zuverlässigkeit im Ganzen wirkt:

Ein neuer Typ einer elektronischen Rechenmaschine wurde erprobt. Die Ergebnisse waren nicht sehr befriedigend, denn die Maschine entsprach nicht den Zuverlässigkeitsanforderungen. Man suchte nach den Ursachen. Dabei zeigte sich, daß gerade die massenhaft auftretenden Teile, die Schichtwiderstände, nicht zuverlässig genug waren.



Klassifikation von Erzeugnissen in der Zuverlässigkeitstheorie. Die Erzeugnisse der ersten Gruppe, wie Teile für Funkanlagen, Geräte, Widerstände, Maschinenteile und Wälzlager, lassen sich nicht reparieren. Die Erzeugnisse der unteren Gruppe, wie elektronische Rechen- und Steuerelemente, PKWs und Werkbänke, lassen sich reparieren. Die Erzeugnisse der mittleren, der dritten Gruppe, zu der beispielsweise Bordgeräte in Raketen oder Raumschiffen gehören, sind während des Fluges nicht reparabel, aber während der Vorbereitung zum Start lassen sie sich reparieren.

Zur Herstellung dieses einfachen Bauelements benötigt man neun verschiedene Materialien: Keramik, Messing, Emaille und andere. Jedes Bauelement unterliegt zwölf technologischen Operationen, und jede wirkt auf die Zuverlässigkeit.

In unserem Falle hatte die Rechenmaschine etwa 600 000 Schichtwiderstände. Wir können uns nun ausrechnen, wie viele Faktoren allein

von den Schichtwiderständen her auf die Zuverlässigkeit der Maschine wirken, nämlich

$$600\,000 \cdot 9 \cdot 12 = 64\,800\,000$$

Das ist eine unvorstellbar große Zahl. Aber in der Maschine sind noch mehrere zehntausend weitere Bauelemente enthalten...

Die Zuverlässigkeit komplizierter Systeme und Maschinen wird in jedem speziellen technischen Zweig entsprechend anders erklärt. In Meßgeräten ist sie durch die Anzeigegenauigkeit, in Wasserkraftwerken durch die Unanfälligkeit bei verschiedenen Arbeitsweisen definiert. Die Zuverlässigkeit einer elektronischen Rechenmaschine ist gegeben durch die Genauigkeit der Aufnahme, Verarbeitung und Ausgabe der fertigen Informationen.

Wenn ein elektronischer Rechner unzuverlässig arbeitet, so muß man auf Fehler und Entstellungen gefaßt sein. Alle vom Menschen hergestellten Erzeugnisse sind, wenn auch ganz gering, unzuverlässig. Daher steht vor der Wissenschaft und der Technik das Problem, wie sich die Zuverlässigkeit erhöhen läßt.

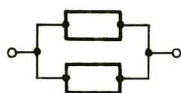
Wege zur Erhöhung der Zuverlässigkeit.

Vor allem kommt es auf die ständige Erhöhung der Zuverlässigkeit jedes einzelnen Bauelementes, jedes Details eines Aggregates bzw. eines Systems an. Je zuverlässiger jedes Glied, desto zuverlässiger die ganze Kette. Aber man braucht nicht immer unbedingt die Zuverlässigkeit des Einzelelementes mit allen Mitteln zu erhöhen, das ist mitunter ökonomisch nicht vertretbar.

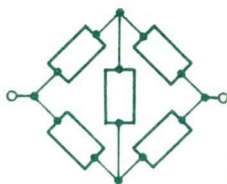
Das ist auf den ersten Blick anscheinend paradox: zuverlässig arbeitende Maschinen aus ungenügend zuverlässigen Bauelementen herstellen. Aber mit dieser »paradoxen« Lösung beschäftigen sich die Wissenschaftler. Wir wollen uns einmal ansehen, wie sie bei logischen Maschinen mit Relais angewendet wird.

Unsere Anlage möge aus drei Relais bestehen, deren Kontakte geschlossen oder unterbrochen sein können. Man sieht leicht, daß es bei verschiedener Kombination dabei insgesamt acht verschiedene Schaltungen dieser drei Relais gibt. Jede Stellung führt eine bestimmte Funktion aus, z.B. eine Steuerfunktion. Ist einer der Kontakte gestört, so löst die Störung einen anderen Zustand aus. Da aber jeder Zustand einen

„Wiederholungs“-
Methode



Parallelschaltung



kombinierte Schaltung

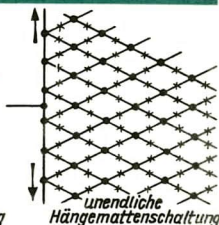
Methode der
„Hängemattenstrukturen“



„Steinverband“-Schaltung

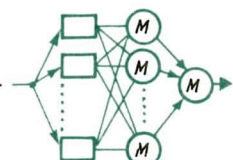
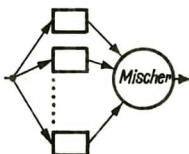


einfache Hängemattenschaltung



unendliche
Hängemattenschaltung

„Abstimmungs“-
Methode



Es gibt verschiedene Arten der Reservebildung. Bei der »Wiederholung« stellt man ein zusätzliches System her und schaltet es auf verschiedene Weisen zu. Wenn Störungen sowohl in der Grundstruktur als auch in der Reservestruktur auftreten können, so hilft die Methode der »Hängemattenstrukturen«. Bei der »Abstimmung« sind der Austausch ganzer gestörter Anlagen oder Baugruppen gegen gleichartige und die Zwischenschaltung von Spezialgeräten – »Mischern« – vorgesehen.

ganz bestimmten Steuerbefehl bedeutet, führt diese Störung zu einem falschen Befehl – die Anlage macht einen Fehler.

Gibt es hieraus einen Ausweg? Ja, es gibt einen. Die Anzahl der Relais muß vergrößert und aus allen möglichen Steuerstellungen müssen

die ausgewählt werden, die bei einer eventuellen Störung nicht ineinander übergehen.

Dieses Verfahren, die sogenannte Reserve-Methode, ähnelt dem Dublierungsverfahren in der lebenden Natur, die über viele ausgezeichnete zuverlässige Systeme verfügt. Im Prozeß der Evolution der Natur wurde das Prinzip der Dublierung zur Grundlage der Zuverlässigkeit. Sparsam war die Natur nicht beim Aufbau der Organisation lebender Organismen. Im Gegenteil, dort, wo es notwendig ist, strebt sie zum Überfluß, zur Vervielfältigung der Elemente. Der Mensch z. B. kann mit einer Niere oder einer Lunge auskommen, und er kann noch leben, wenn er ein Drittel des Blutes verloren hat. Und das Gehirn? Es ist als System unvergleichlich viel zuverlässiger als das einzelne Element — das Neuron: Der Organismus bleibt selbst dann funktionstüchtig, wenn Millionen von Neuronen absterben. Versucht einmal irgendeine technische Anlage zu finden, die noch richtig funktioniert, wenn auch nur ein einziges Bauelement ausfällt!

Die Reservebildung ist eine erfolgversprechende neue Richtung, hier wurden schon bedeutende Ergebnisse erzielt, und es sind noch weitere zu erwarten. Dennoch muß nach Meinung der Experten der Weg zum Erreichen einer hohen Zuverlässigkeit anders verlaufen.

Kann man wirklich nicht ein System, eine Maschine oder eine Anlage derart entwickeln, daß eine automatische Warnanlage die Gefahr des Ausfallens eines Details oder einer Baueinheit rechtzeitig anzeigt? Ist es wirklich nicht machbar, daß sich dann vielleicht ein Ersatzteil oder eine Reservebaueinheit automatisch in das arbeitende System einschaltet? Der lebende Organismus jedenfalls schaltet selbst Reservekanäle ein und verhindert so den Stillstand. In dieser Richtung sind Untersuchungen im Gange.

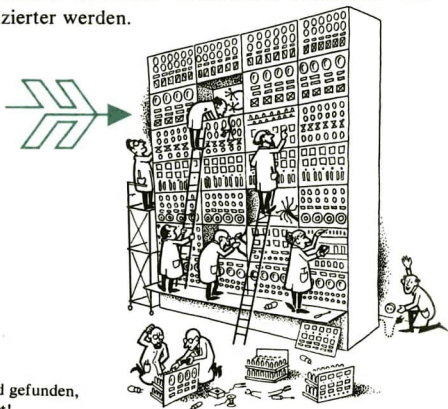
Es gibt heute bereits einige Maschinen, die den Ablauf der auszuführenden Operationen selbst kontrollieren und bei bestimmten Schäden Warnsignale auslösen. Andere Maschinen können ihre elektronischen Anlagen selbst überprüfen und finden dabei 99,9 Prozent der ausfallgefährdeten Röhren oder anderen Details.

Im Institut für Automatik und Telemechanik der Akademie der Wissenschaften der UdSSR hat eine Gruppe von Wissenschaftlern unter der Leitung von Akademiemitglied W. Trapesnikow einen Digitalrechner entwickelt, der sich im Störfall seine »Diagnose« selbst stellt. Wenn eine Baugruppe oder ein Detail ausgefallen ist, so ist auch gleich die Schadenstelle bekannt.

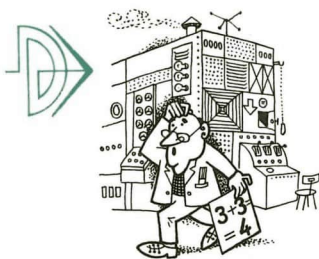
Die Anwendung dieser Richtung der Errungenschaften der modernen Technik erhöhte die Zuverlässigkeit der großen Rechenautomaten auf fast 98 Prozent. Das bedeutet, daß die Automaten (nach Abzug der Zeiten für Durchsicht und vorbeugende Reparaturen) in 85 Prozent der Zeit effektiv arbeiten. Es ist ein Fall bekannt, daß ein Rechenautomat, der 13000 mikroelektronische Bauelemente enthält, 33000 Stunden störungsfrei gearbeitet hat. Das ist ein hoher Grad von Zuverlässigkeit, jedoch noch lange nicht die Grenze.

Im Verlaufe des halbjährigen Fluges von der Erde zum Mars arbeiteten alle Aggregate der interplanetaren Stationen »Mars 2« und »Mars 3« verläßlich und wiesen einen hohen Grad von Zuverlässigkeit auf. Dabei muß man bedenken, daß sie unter den Bedingungen der Radioaktivität, erhöhter Schwerkraft, Vibration und rascher Temperaturübergänge zu arbeiten hatten.

Mit allen möglichen Mitteln sind die Wissenschaftler bemüht, den »Vertrauenskoeffizienten« der Maschine zu erhöhen. Der eigentliche Kampf um die Zuverlässigkeit beginnt jetzt gerade erst. Wir müssen aber immer daran denken, daß ein heute befriedigend gelöstes Zuverlässigkeitsproblem morgen von neuem entsteht und niemals verschwinden wird, solange die vom Menschen benutzten technischen Hilfsmittel vollkommener und komplizierter werden.



Hallo, ich habe anscheinend gefunden,
warum sie nicht funktioniert!



Die folgende Übersicht weist den Leser darauf hin, welche Stichwörter in engem Zusammenhang stehen. Es ist also zweckmäßig, zu den links in der Übersicht aufgeführten Stichwörtern auch die rechts angegebenen Abschnitte des Buches zu lesen. Man erfährt so weitere Zusammenhänge und gewinnt ein umfassenderes Bild von der jeweiligen Thematik.

Automat	Roboter, Automatik, Rückkopplung, Selbstanpassendes System, Prozeßrechner
Automatik	Roboter, Automat, Rückkopplung, Selbstanpassendes System, Prozeßrechner, Automatisierung
Automatisierung	Automat, Automatik, Prozeßrechner, Steuerungssystem (ASU), Rechentechnik, Ergonomie
Bionik	Information
Elektronischer Digitalrechner	Information, Dualsystem, Maschinensprache, Kodegruppe, Zahlenaufzeichnung in der Maschine, Jacquard-Prinzip, Summator, Speicherkapazität, Rechenvorschrift (Algorithmus), Programmierung, Rechentechnik, Prozeßrechner
Ergonomie	Automatisierung, Information
Heuristik	Rechenvorschrift (Algorithmus), Spieltheorie, Programmierung
Information	Kybernetik, Semiotik
Jacquard-Prinzip	Rechentechnik
Kodegruppe	Dualsystem, Programmierung, Information

Kybernetik	Information, Rückkopplung, Prozeßsteuerung, Steuerungssystem (ASU), Selbstanpassendes System, Theorie der Großen Systeme
Maschinensprache	Programmierung, Semiotik, Zahlenaufzeichnung in der Maschine, Ergonomie
Programmierung	Elektronischer Digitalrechner, Maschinensprache, Kodegruppe, Dualsystem, Rechenvorschrift (Algorithmus)
Prozeßrechner	Automatisierung, Steuerungssystem (ASU), Theorie der Großen Systeme
Rechentechnik	Elektronischer Digitalrechner, Maschinensprache, Programmierung, Speicherkapazität, Summator, Zahlenaufzeichnung in der Maschine
Rechenvorschrift/ Algorithmus	Programmierung, Heuristik
Roboter	Automat
Rückkopplung	Kybernetik, Selbstanpassendes System
Selbstanpassendes System	Kybernetik, Bionik, Rückkopplung
Semiotik	Information, Maschinensprache, Zeichenerkennung
Speicherkapazität	Elektronischer Digitalrechner, Information
Spieltheorie	Programmierung, Rechenvorschrift (Algorithmus), Selbstanpassendes System
Spracherkennung	Zeichenerkennung, Semiotik

Steuerungssystem (ASU)	Information, Prozeßrechner, Theorie der Großen Systeme
Summator	Zahlenaufzeichnung in der Maschine, Dualsystem
Theorie der Großen Systeme	Kybernetik, Bionik, Steuerungssystem (ASU), Black-box, Automatisierung, Zuverlässigkeit
Zahlenaufzeichnung in der Maschine	Dualsystem
Zeichenerkennung	Semiotik, Spracherkennung
Zuverlässigkeit	Automat, Rückkopplung, Selbstanpassendes System



Titel des Originals: Маленькая энциклопедия о большой кибернетике
Кибернетика от А до Я

Mit Einverständnis des Autors gekürzte Fassung

Aus dem Russischen übersetzt von Dr. Kurt Rosenbaum

Fachliche Bearbeitung Dr. Klaus-Dieter Wüstneck

Einband und Vorsatz von Harri Parschau



2. Auflage 1979

Der Kinderbuchverlag Berlin – DDR 1977

© Verlag »Detskaja Literatura« 1973

Lizenz-Nr. 304-270/357/79-(30)

Deutsche Beschriftung der Illustrationen: Heinz Grothmann

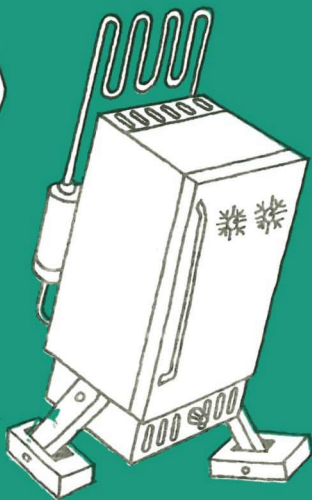
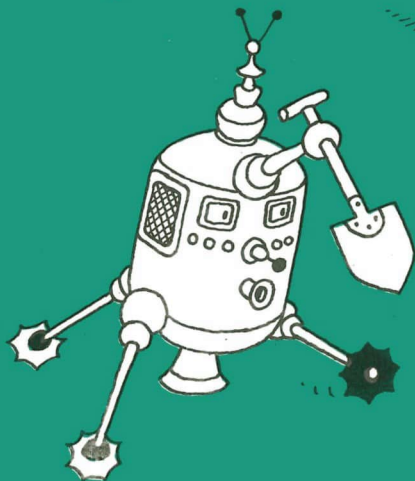
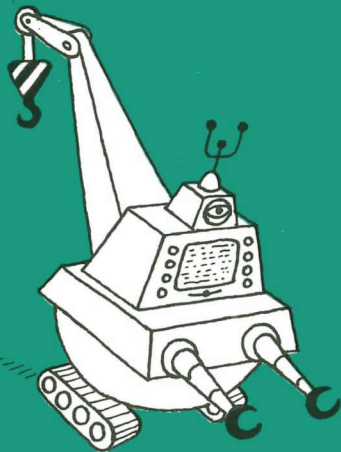
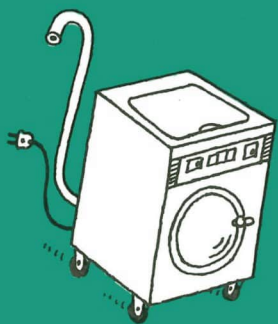
Lichtsatz: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb Leipzig – III/18/97

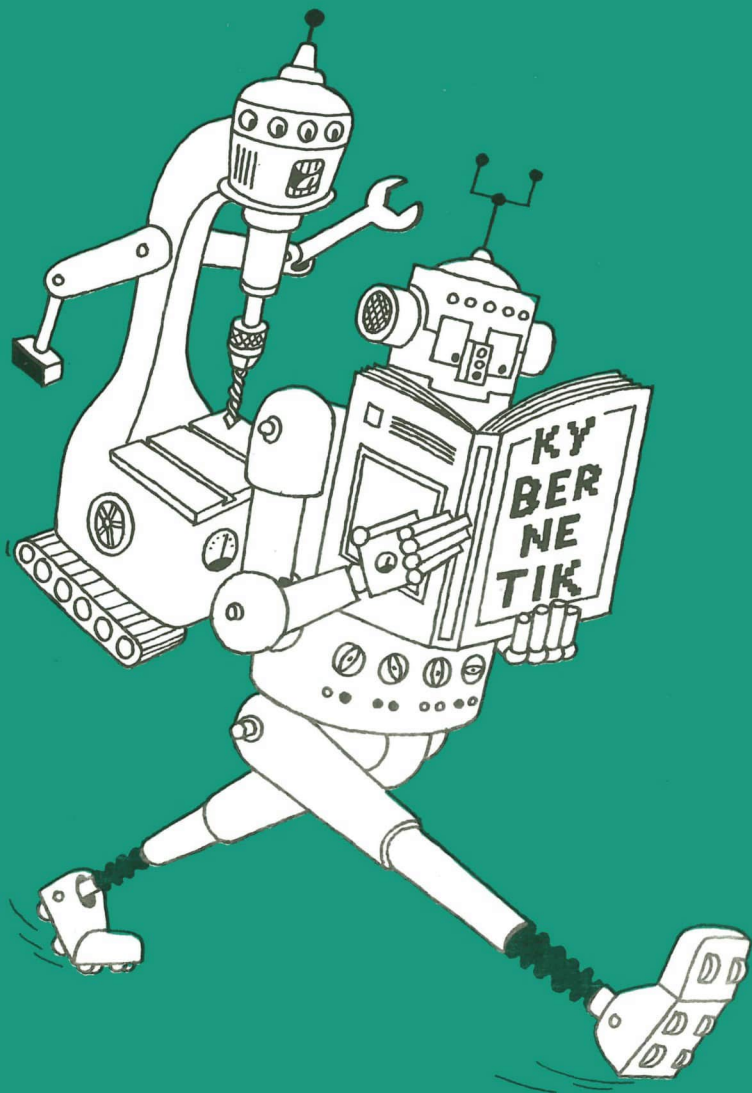
Druck und Binden: Offizin Andersen Nexö, Leipzig, Graphischer Großbetrieb
LSV 7845

Für Leser von 13 Jahren an

Bestell-Nr. 630 1079

DDR 9,80 M







Seit den vierziger Jahren dieses Jahrhunderts finden Ergebnisse und Methoden der Kybernetik z. B. in der Automatisierungstechnik, in der Volkswirtschaft und in der Medizin in zunehmendem Maße Anwendung. Welche Rolle wird die Kybernetik erst spielen, wenn die jungen Leser von heute in das Berufsleben eintreten!

Unser Buch gibt einen Überblick, wie diese junge Wissenschaft naturwissenschaftlich-technische und gesellschaftliche Prozesse durchdringt.



DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN