



nl·konkret·51

Hannes Gutzer

Hans-Dieter Pauer

Computer im Vormarsch?

Von Rechnern, Robotern
und Programmen





Über die Autoren

Stationen

Dr. Hannes Gutzer (r.), Jahrgang 1944, wurde nach dem Abitur Chemiefacharbeiter, später Diplomlehrer für Mathematik/Physik. Seit 1969 ist er im Zentralinstitut für Schweißtechnik der DDR tätig. Als Leiter der Informationsstelle beschäftigt er sich vorrangig mit Schöpfertum, der Programmierung von Mikrorechnern und der Informationsverarbeitung.

Publikationen

Er schrieb über 50 Fachartikel, ebenso Lehrbriefe und Broschüren zu seinen Fachgebieten. In unserem Verlag erschien von ihm „Mitdenken erwünscht“ und „Keine Zeit, keine Zeit“ (zusammen mit Hans-Dieter Pauer).

Stationen

Dr Hans-Dieter Pauer Jahrgang 1938, studierte nach dem Abitur Physik. Als wissenschaftlicher Oberassistent an der Chirurgischen Universitätsklinik der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg ist er Mitglied in zahlreichen Arbeitsgruppen wissenschaftlicher Gesellschaften der DDR.

Publikationen

Auf naturwissenschaftlichem und medizinischem Gebiet hat er auf nationalen und internationalen Kongressen zahlreiche Vorträge gehalten und in Fachzeitschriften darüber Beiträge veröffentlicht. In unserem Verlag erschien von ihm „Keine Zeit, keine Zeit“ (zusammen mit Hannes Gutzer).

nl • konkret 51

Ist unser künftiges Leben ohne Computer denkbar? Was alles kann ein Computer tun und was nicht? Ist er intelligenter als der Mensch? Solche und andere Fragen werden mit dem Fortschreiten von Wissenschaft und Technik von immer größerem Interesse. Vor allem junge Menschen beschäftigt das „Geheimnis“ um Computer und Roboter. Hannes Gutzer und Hans-Dieter Pauer lüften es. Sie betrachten in ihrem aufschlußreichen und in die Zukunft blickenden Buch die Anatomie des Computers, sie untersuchen die Vorteile, die die Weiterentwicklung der Mikroelektronik bringt, und geben Auskunft über den gegenwärtigen und künftigen Einsatz von Rechnern.

***Hannes Gutzer
Hans-Dieter Pauer***

Computer im Vormarsch?

Von Rechnern, Robotern und Programmen

Verlag Neues Leben Berlin

© Verlag Neues Leben, Berlin 1982
2., bearbeitete Auflage, 1985
Lizenz Nr. 303(305/259/85)
LSV 3059
Umschlag: Wolfgang Gebhardt
Typografie: Erika Wald
Fotos: Archiv der Autoren (16), Wolfgang Lucya (1)
Zeichnungen: Karl-Heinz Döring
Schrift: 9 p Univers
Lichtsatz: (140) Druckerei Neues Deutschland, Berlin
Druck und buchbinderische Weiterverarbeitung:
Druckerei Märkische Volksstimme Potsdam
Bestell-Nr. 643 355 7
00390

Inhalt

7 Startvorbereitung

1

8 Fiktiver Report über Bauroboter

2

13 Der radfahrende Roboter

3

13 Altes und Neues vom Fahrrad

21 Roboter „bauen“ Fahrräder

33 Biographisches über Roboter

37 Revolutionär Rechner

44 Spieler und Rechner

4

44 Rechner als Spielverderber

51 Spiel des Lebens

59 Spiel ohne Rechner

64 Die Geschichte vom Computer-Dschinni

5

70 Anatomie des Computers

6

70 Die Sektion eines Computers

85 Des Rechners weiche Ware

97 Der mühsame Weg von P nach P

112 Rechner und Roboter

7

112 Industrieroboter im Betrieb

126 Rechner im Einsatz

139 Rechner für den Hausgebrauch

Startvorbereitung

1

Wir beginnen ein Buch von vorn zu lesen, die Japaner hingegen beginnen aus unserer Sicht von hinten. Ein Rechenprogramm beginnt mit der Bezeichnung.

START



Gute Startvorbereitungen machen den Start sicherer. Zu unserer Startvorbereitung gehört der Hinweis, daß sich gegenwärtig kaum ein Gebiet aus Wissenschaft oder Technik so rasant entwickelt wie die Mikroelektronik, und dies von der Grundlagenforschung bis hin zur Anwendung in technischen Konsumgütern. Das Manuskript zu diesem Buch mußte einmal für beendet erklärt werden, das Symbol.

STOP



ist aber nicht angebracht, da auf diesem Gebiet täglich Neues geschieht. Der Leser wird Anwendungen im Buch finden, die bei seinem Erscheinen schon verbessert wurden, aber vielleicht auch solche, die sich nicht bewährt haben. Dafür bitten wir um Nachsicht. Um so schonungsloser sollten die kritischen Bemerkungen sein, die uns allen auf diesem Gebiet weiterhelfen. Mit folgendem Symbol leiten wir deshalb zur nächsten Seite über.

Seite
8



Fiktiver Report über Bauroboter

2

„Bist du bereit?“

Seit Tagen hatte ich mich um einen Diktatroboter bemüht, und jetzt hatte man mir einen Roboter aus der Konstruktionsabteilung geschickt. Natürlich konnte er auch schreiben, ein Diktat aufnehmen. Der Roboter hatte sich an die Schreibmaschine begeben, und ich wollte nun endlich beginnen. Ich konzentrierte mich bereits auf mein Diktat, als mich die plärrende Stimme des Roboters störte.

„In der Schreibmaschine befindet sich kein Papier.“

Ich hatte das Gefühl, daß die Stimme hochmütig, ablehnend klang.

„Nimm Papier aus dem Schreibrack!“

Der Roboter entkoppelte sich von der Schreibmaschine, legte Papier ein und stand endlich wieder an der Maschine.

„Bist du bereit?“

Wieder die plärrende Stimme:

„Bitte Papierformat, Schriftform und Art des Diktats angeben.“

Er konnte einen nerven, offensichtlich fühlte sich der Zeichenroboter aus der Konstruktionsabteilung als Schreibroboter unter seiner Würde eingesetzt.

„Ich diktiere einen Forschungsbericht über die Vorfälle mit den Baurobotern im Neubaugebiet.“

Heutiges Datum, Zentralinstitut für Robotertechnik, meine Codenummer ist ZW 5/63, deine Codenummer kannst du hoffentlich selbst einsetzen.

Überschrift: Forschungsbericht über Bauroboter des Typs BR 11/80 in Neustadt.“

Ich unterbrach und ging zur Schreibmaschine, an die sich der Roboter angekoppelt hatte. Ich konnte es nicht recht glauben und blickte skeptisch auf das Papier. Aber der Roboter hatte tatsächlich das geschrieben, was ich diktiert hatte. Er verstand mich also. Seine Mikrofone nahmen mein Diktat auf und wandelten die akustischen Schwingungen in elektrische Signale um. Damit

wurde die Schreibmaschine angesteuert. Ich war zufrieden und begann meinen Bericht:

Die Bauroboter sind aus den Baukränen hervorgegangen. Bei der Großblockbauweise werden die vorgefertigten Bauelemente, Raumzellen oder Bausegmente bis zur Baustelle transportiert und dort mit Hilfe von Kränen an die vorgesehene Stelle gebracht. Der Kran wurde von einem Kranführer gesteuert, der sich in einer Kabine auf dem Kran befand. Die Entfernung des Kranführers von dem Platz, an dem das Bauelement montiert werden mußte, war oft beträchtlich. Kranfahrer und Montagekollektiv verständigten sich über eine Funkwechselfrechanlage. Später wurden Fernsehkameras eingesetzt, die am Montageort direkt die Lage und die räumlichen Verhältnisse der Baustelle aufnahmen. So konnte der Kranfahrer unmittelbar sehen, durch welche Steuerungsmaßnahmen die Lage des Bauelements bis zur richtigen Einpassung verändert werden mußte. Der nächste Schritt in der Entwicklung war ein mit der Kamera gekoppeltes Lasermeßgerät, das Entfernungen mit einer Genauigkeit von unter 1 Millimeter messen konnte. Mit diesen Meßwerten war es möglich, die Bauelemente millimetergenau zu plazieren. In die Kranfahrerkabine wurde ein Rechner installiert, der ständig die Meßwerte (in drei senkrecht zueinander stehenden Richtungen, also Länge, Breite, Höhe) mit den eingegebenen Ortskoordinaten des zu montierenden Bauelements verglich. Damit wurden die notwendigen Steuerungsmaßnahmen ausgelöst und das Bauelement an die vorgesehene Stelle gebracht. In dieser Phase der Entwicklung traten die ersten Schwierigkeiten auf. Das selbsttätige Arbeiten des „Kranroboters“ mußte oft unterbrochen werden und der Kranfahrer auf Handsteuerung umschalten. Häufigste Ursache dafür war ein zu schnelles Vorgehen des Roboters, besonders dann, wenn das Bauelement gedreht werden mußte. Das schnelle Drehen der Bauelemente führte infolge ihrer großen Masse dazu, daß es beim Erreichen des Montageorts zur trägheitsbedingten Weiterbewegung und zu Störungen kam. Deshalb wurde langsames und behutsames Führen der Bauelemente bei Handsteuerung durch den Kranfahrer im Rechner gespeichert. Auf diese Weise erreichte der Roboter schrittweise seine optimale Funktion. Fachleute bescheinigten im Übergabeprotokoll, daß die Arbeitsweise des Roboters der eines Kranfahrers mit langjähriger Erfahrung gleichzusetzen ist. Um so weniger verständlich sind die Unglücksfälle auf den Baustellen, die mit Robotern ausgerüstet sind.

In den damaligen Protokollen über das Programmieren der Roboter fallen einige Gesichtspunkte auf, denen erst jetzt Bedeutung zugemessen wurde, nachdem die Unglücksfälle aufgetreten sind. Als die Bauroboter angelernt wurden, die Tätigkeit eines be-

währten Kranfahrers im Rechner zu speichern und sie nachzuahmen, traten unerwartete Unregelmäßigkeiten auf. Bei Handsteuerung durch den Kranfahrer wurden die schweren Bauelemente behutsamer und ruhiger bewegt. Der Roboter transportierte die Bauelemente schneller, und um Unfälle zu vermeiden, mußte auf manuellen Betrieb umgeschaltet werden. Dieses Außerkräftsetzen durch den Kranfahrer begann der Bauroboter zu verstehen, er zeigte gewissermaßen Einsicht und unterließ schnelles Führen der Bauelemente. Beim weiteren Anlernen fiel einigen Einrichtern auf, daß der Bauroboter die Bauelemente sehr nahe am bereits errichteten Bau vorbeiführte. Mehrere Kranfahrer meinten, daß sie ein Anstoßen des am Bauroboter hängenden Teiles befürchteten und deshalb mehrfach auf Handsteuerung umschalteten. Wie bei dem zu schnellen Transport lernten die Roboter bald, daß sie die Bauelemente in einem bestimmten Abstand vom Gebäude zu bewegen hatten. Sie vermieden das Umschalten auf Handsteuerung und konnten als einwandfrei arbeitende Bauroboter dem Baukombinat übergeben werden.

Nun zu den Abschnitten in den Übergabeprotokollen, die auszugsweise wiedergegeben werden sollen. Einige Kranfahrer erklärten ihre Lehrtätigkeit für beendet, weil sie Schicht für Schicht in der Krankabine saßen und nur das korrekte Arbeiten des Bauroboters beobachten konnten. Zum Eingreifen oder Umschalten auf Handsteuerung bestand kein Anlaß. Man beschloß daher, die Bauroboter selbständig arbeiten zu lassen. Um so größer war das Erstaunen der Kranfahrer, daß die Bauroboter nach kurzer Zeit die Bauelemente erneut in gefährlicher Nähe der bereits errichteten Gebäudeteile bewegten. Nachdem die Kranfahrer wieder ihren Platz in der Kabine eingenommen hatten, unterblieben derartige gefahrbringende Transporte. Da keine Umschaltung auf Handsteuerung notwendig wurde, glaubte man an einen Irrtum der Kranfahrer, an eine veränderte Einschätzung der Entfernungen, aus der Kabine und vom Fundament aus gesehen.

Aus der heutigen Sicht und nach den Unglücksfällen ist festzustellen, daß diesen Vorfällen leider nicht sorgfältig genug nachgegangen worden ist. Die Bauroboter lernten nicht nur, ihre Tätigkeit korrekt auszuführen, sondern sie hatten bereits gelernt, das Eingreifen des Menschen, das Umschalten auf Handsteuerung, das Außerbetriebsetzen, zu vermeiden.

Nachdem die Bauroboter dem Baukombinat übergeben worden waren, arbeiteten sie in ununterbrochenem Einsatz. Der erste Unglücksfall ereignete sich nachts. An einem zehngeschossigen Wohnhaus sollte das letzte Geschoß montiert werden. Eins der schwersten Bauelemente, eine Sanitärzelle, stieß beim Transport gegen das dritte Geschoß des nahezu fertiggestellten Wohnhauses, so daß es wie ein Kartenhaus zusammenfiel. Die Untersu-

chungen ergaben kein Versagen des Bauroboters, und man schrieb den Vorfall Materialfehlern zu. Leider fanden die Berechnungen eines jüngeren Mitarbeiters in den Protokollen keine Beachtung. Sie hatten ergeben, daß die Aufprallgeschwindigkeit des Bausegments und die Richtung des Aufschlags genau so groß waren, daß ein Auftreffen an gerade der Stelle des dritten Geschosses, und nur gerade bei diesen Werten, zum Einstürzen des Gebäudes und zu seiner vollständigen Zerstörung führen mußte. Übrigens wurde von einem ähnlichen Vorfall auf einer anderen Baustelle berichtet.

Der zweite Unglücksfall ereignete sich wenig später. Bei einem Kontrollgang auf der Baustelle wurde ein Inspektor von einem Bauelement, einer geschlossenen Seitenwand ohne Tür und Fenster, erschlagen.

In einem der vielen Zeitungsartikel wurde der Bauroboter als Mörder bezeichnet, obwohl keine Augenzeugen gefunden werden konnten. An dem Bauroboter ließen sich keinerlei Störungen feststellen, seine Arbeit konnte in keiner Weise beanstandet werden, der tödliche Unglücksfall wurde sogar als zufälliges Ereignis hingestellt.

Der dritte Vorfall betraf Bauroboter der nächsten Generation. Zunächst hatten die Bauroboter wie verlängerte Hände mit hoher Leistungsfähigkeit, wie gewaltige Manipulatoren die Bau- und Montagearbeiten übernommen. In der zweiten Generation wurde die selbständige Tätigkeit der Roboter wesentlich erweitert, indem man sie mit Schreitmechanismen versah. Die großen kranartigen Roboter, bestehend aus einer Kombination von Manipulator und Pedipulator, die sich selbständig auf den Baustellen bewegten, sahen aus wie riesenhafte Lebewesen aus einer anderen Welt. Diese Roboter lernten auch schnell, sich gegenseitig zu helfen und miteinander zu arbeiten. Um so überraschender war der dritte Vorfall. Auf einer Baustelle waren zwei Bauroboter gleichzeitig eingesetzt worden. Augenzeugen des Vorfalls berichteten, daß beide Roboter plötzlich ohne ersichtlichen Grund ihre Arbeit unterbrachen und sich aufeinander zubewegten. Der eine Roboter schmetterte seinem Kollegen ein schweres Bauelement, das er gerade am Kran transportierte, gegen den Pedipulator, und zwar so, daß er vollständig zerstört zusammenbrach. Der zusammengebrochene Roboter hatte gleichzeitig einen Metallträger, den sein Manipulator gerade bewegte, in die elektrische Zentrale seines Kollegen gestoßen und ihn dadurch außer Betrieb gesetzt. Die Augenzeugen meinten, daß ein Kampf zwischen den Robotern stattgefunden hätte. Personen kamen dabei nicht zu Schaden.

Aus den drei geschilderten Vorfällen mit Baurobotern sind wesentliche Schlüsse zu ziehen. Die Vorfälle lassen darauf schlie-

ßen, daß die Bauroboter bereits einen solchen Grad an Selbständigkeit erworben haben, der sie zu einer Bedrohung der Menschen werden lassen könnte. Gerade die Unerklärlichkeit der Vorfälle zeigt, daß eine Entwicklung der Roboter begonnen hat, die bedenklich ist. Hinweise, daß die Roboter sich immer mehr und bewußt der Kontrolle durch den Menschen entziehen, häufen sich. Wenn nicht schnellstens Gegenmaßnahmen ergriffen werden, ist zu befürchten, daß weitere Menschenleben ...

Während meines Diktats war ich im Zimmer auf und ab gegangen. Ich stand gerade am Fenster und sah hinaus. Der Zeichenroboter aus der Konstruktionsabteilung, der mein Diktat schrieb, bediente weiter die Schreibmaschine, obwohl ich eine Diktatpause gemacht hatte, um über den nächsten Satz nachzudenken. Ich drehte mich erstaunt um und glaubte meinen Augen nicht zu trauen. Der Roboter hatte sich von der Schreibmaschine abgekoppelt und verließ gerade das Zimmer.

Ich ging zur Schreibmaschine und las die letzten Sätze des Roboters:

Die Schilderung und die Schlußfolgerungen
entbehren jeglicher vernünftiger Grundlage,
Roboter tun so etwas nicht.
Solch einen Quatsch schreibe ich nicht.

Der radfahrende Roboter

3

Altes und Neues vom Fahrrad

Wenn man über Roboter sprechen möchte, sollte man nicht mit der Tür ins Haus fallen, zum Beispiel mit der Frage: Was ist ein Roboter? Damit setzt man einen tiefgründigen Denkprozeß um die umfassende Definition des Begriffs Roboter in Gang. Von einem interessanten Vortrag über Roboter in seminaristischer Form, an dem sich alle beteiligen sollten, kann dann nicht mehr die Rede sein. Beginnen wir besser mit der Frage: Kann ein Roboter radfahren? Immer wenn diese Frage auf Lehrgängen, gewissermaßen als Vorstufe einer Ideenkonferenz, aber auch innerhalb eines Vortrags vor Vier- bis Sechsjährigen in einem Kindergarten gestellt wurde, kam eine Fülle von Gedanken und Einfällen zustande, von denen einige geradezu phantastisch waren.

Man stelle sich doch nur einmal vor, ein Roboter auf einem Fahrrad fährt an einem Polizisten vorbei, der an einer belebten Kreuzung den Verkehr regelt. Manche fragten, ob der Roboter nicht samt Fahrrad umfallen würde. Kinder haben da weniger Schwierigkeiten. Sie meinten, man könnte ja dem Roboter helfen und wie bei Kinderfahrrädern ein Rad am Hinterrad, rechts und links jeweils, zusätzlich anbringen. Dabei tauchte dann die Frage auf, ob ein Roboter überhaupt das Fahren mit dem Fahrrad oder gar mit einem Einrad lernen müßte. Und wenn, müßte er nicht speziell zu diesem Zweck, zum Radfahren, gebaut werden? Kann ein Roboter aber überhaupt lernen? So ist man geschickt bei der Frage gelandet, was denn eigentlich ein Roboter sei.

Bevor wir das beantworten, noch einmal zurück zum radfahrenden Roboter, wie Kinder ihn sehen. Sie stellten sich vor, daß ein Radrennfahrer, den sie „Täve“-Roboter nannten, jede Etappe bei der Friedensfahrt gewänne, bei den Olympischen Spielen bestimmt Goldmedaillengewinner wäre. Und das ohne Training, denn ein Roboter ist nämlich eine Maschine, erklärte ein fünfjähriger Dreikäsehoch. Auf dem Tandem, zusammen mit einem Roboter, könnte man weite Strecken fahren, ausruhen, wenn man keine Lust mehr hat oder müde geworden ist.

Am Fahrrad, von dem jeder behauptet, er würde es gut kennen, gibt es viel Bewährtes, aber auch Überlebtes, ebensoviel Wünschenswertes und eine Fülle von neuen Konzeptionen und Konstruktionen. Wenn man nach dem Aussehen des ersten Fahrrads fragt, wird meist das Hochrad genannt. Ein Hochradfahrer muß wirklich Aufsehen erregt haben, wie die folgende Episode beweist:

„Oma erzählte die Geschichte mit dem ersten Fahrrad, die vor 1900 passiert sein muß.

Sie ging auf der Elmshorner Chaussee (sie benutzte noch den Ausdruck Chaussee statt Landstraße) bei Mangels' Berg. (Das war eine sehr genaue Ortsbestimmung, denn beim Gehöft von Mangels lief die Straße über eine mindestens fünf Meter hohe Erhebung.) ‚Auf einmal kam einer uns entgegen, der schwebte in der Luft, ungefähr so hoch.‘ (Oma zeigte Kopfhöhe.) ‚Dann sahen wir, daß er auf einer dünnen Eisenstange ritt. Ida Wagner, die mit mir war, schrie: >Da kommt der Teufel!<

Wir sprangen in den Straßengraben. Bis hierher ging das Wasser‘ (Oma zeigte Kniehöhe), ‚und dann liefen wir über Pruns seine Felder ins Dorf. Dort stand der alte Pruns und fragte: >Was wollt ihr verdammten Weiber in meinem Weizen?< Ida erzählte ihm, wir hätten den Teufel gesehen.

>Wegen euch zwei Weiber kommt der Teufel nicht nach Horst«, sagte der Bauer Pruns und ging mit uns auf die Dorfstraße.'

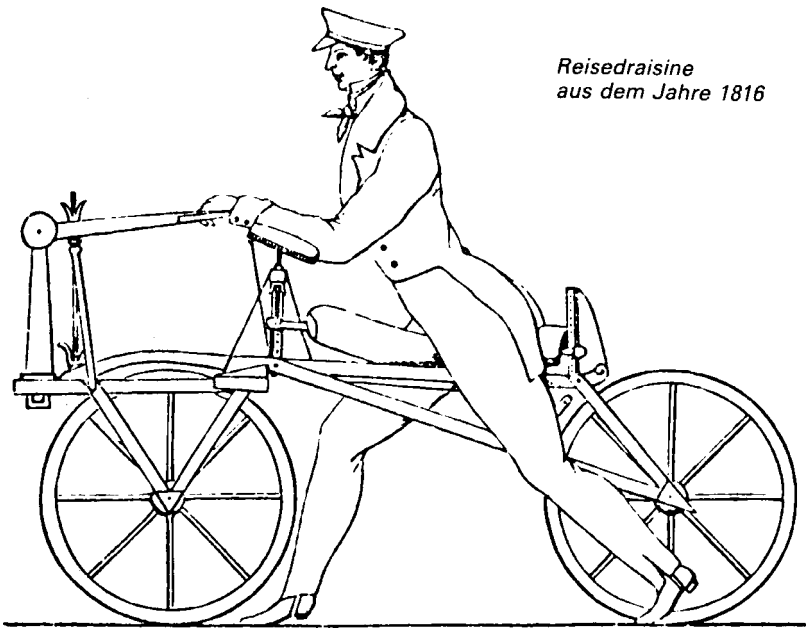
(Oma lächelte verschämt.) ‚Und da war es ein Mann aus Hamburg, auf einem Fahrrad.'

Oma beschrieb dann anschaulich die ersten Fahrräder, bei denen der Fahrer über einem riesiggroßen Vorderrad saß und die nur ein winziges Hinterrad zur Stützung der Maschinerie besaßen.**

Eine solche Maschinerie sieht tatsächlich mächtig gewaltig aus. Nach dem Deutsch-Französischen Krieg 1870/71 bis etwa 1890 erlebte das Hochrad seine Blütezeit. Das Vorderrad wurde immer größer gebaut, wodurch es eine höhere Übersetzung erhielt und schneller fahren konnte. Sein größter Durchmesser betrug 1,80 Meter. Gefürchtet waren bei den Hochrädern die Kopfstürze, weil wegen des labilen Gleichgewichts jeder Stein und jede Störung unweigerlich dazu führten, daß der Fahrer aus seiner Höhe über dem Hochrad regelrecht abgeladen wurde. Ein Roboter auf einem Hochrad hätte sicherlich auch erhebliche Schwierigkeiten. Als dann der Antrieb über Pedale und Kette auf das Hinterrad verlegt wurde, entstand unser heutiges Niederrad, so wie es bereits um 1817 als Veloziped (Schnellfuß) vom badi-schen Forstmeister Freiherr Drais von Sauerbronn erdacht und

* Gilde, W., Leben ohne Rückfahrkarte, Halle-Leipzig 1980, S. 53

*Reisedraisine
aus dem Jahre 1816*



gebaut worden war. Mit dem Niederrad wurden die gefürchteten Kopfstürze vermieden, von den Engländern wurde es deshalb auch Sicherheitsrad genannt. Aus der Draisine ist also über das Hochrad das allgemein bekannte und gern benutzte Fahrrad entstanden, und die Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen. Für das Fahrrad ist es geradezu charakteristisch, daß alle seine Teile mehrfach „erfunden“ wurden, ehe sie in der heutigen Form selbstverständlich wurden. In diesem Sinne ist sicherlich die Redewendung zu verstehen, man solle sich doch nicht bemühen, das Fahrrad noch einmal zu erfinden.

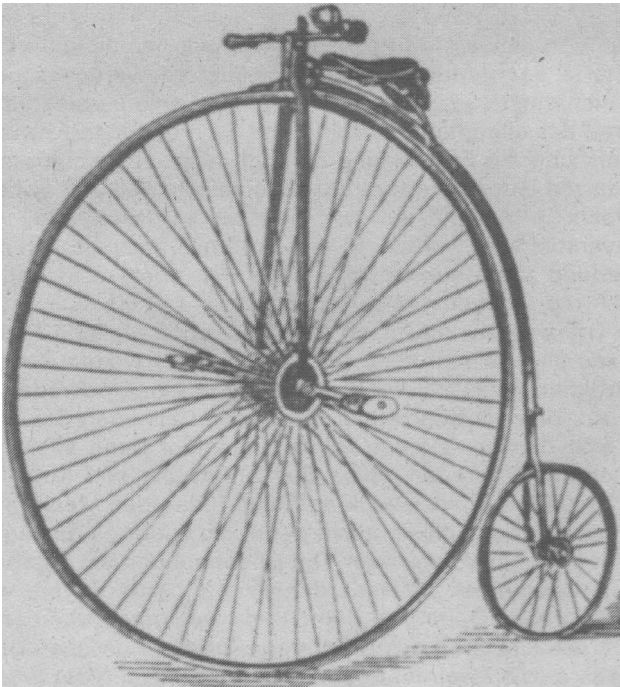
Die Draisine bestand noch aus Holz, ohne jegliche Federung, Bremsen und Beleuchtung. Die Lenkung war wegen der starren Konstruktion sehr schwierig. Auch die ersten Hochräder waren noch aus Holz, mit hölzernen Rädern und eisernen Reifen. Man kann sich denken, warum es die Engländer *bone shaker* (Knochenschüttler) nannten. Nach der Einführung von Kugellagern, der Sattelfederung, des leichteren und federnden Metallrahmens bestand die Hauptschwierigkeit darin, die enormen Erschütterungen irgendwie auszugleichen. Die Unebenheiten der Straßen, die den Benutzer eines Fahrrads damals wie heute stören, wurden von den großen Rädern des Hochrads weniger stark übertragen als von den kleineren des Niederrads. Deshalb beschäftigte man sich, seit es die Zweiräder gab, mit der Dämpfung der Erschütte-

rungen. Die Räder wurden aus Winkeleisen oder Halbrundstahl hergestellt, nach außen, zur Peripherie hin, offen. Diese Öffnung wurde mit geteertem Schiffstau ausgelegt, mit Leder oder mit Vollgummi.

Im Jahre 1888 machte dann der schottische Tierarzt Dunlop die entscheidende Erfindung mit dem druckluftgefüllten Gummireifen. Damit war die Entwicklung des Fahrrads abgeschlossen. Die Hauptanordnung und die wesentlichen Bestandteile des Fahrrads sind bis heute unverändert geblieben.

Gegenwärtig gibt es zum Beispiel in Amsterdam, einer Stadt mit 850.000 Einwohnern, etwa 500.000 Fahrräder, und es wird gesagt, in Amsterdam genießen die „fietser“ (fiets = Fahrrad) im Straßenverkehr Narrenfreiheit und haben (fast) immer recht. Ein anderes Beispiel für die Bedeutung des Fahrrads ist Indien, wo jährlich 2 Millionen Fahrräder produziert werden. Bevor aber über die Produktionsweise des Fahrrads gesprochen werden soll, noch etwas über einen kleinen Gegenstand, der im Lauf der Entwicklung vom Fahrrad verschwunden ist, die Aufsteighilfe. Das Be-

Hochrad aus dem Jahre 1886

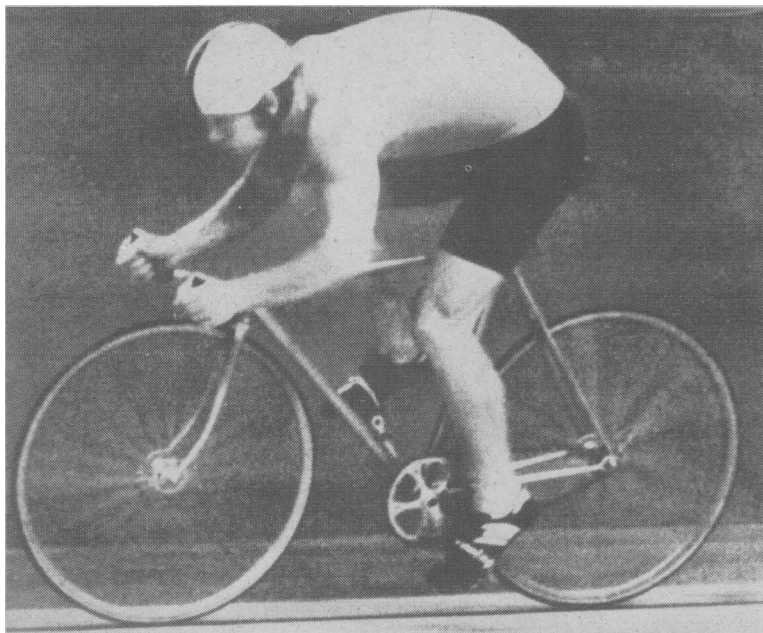




Fahrrad mit verspanntem Rahmen

steigen eines Hochrads war nämlich nicht so einfach; das Aufsitzen auf das Niederrad aber ist auf verschiedene Arten möglich, wie folgende Episode beweist:

„Stamer-Johann war ein dicker, jovialer Mann mit völlig kahlem Kopf. Als Amtsvorsteher trug er stets einen schwarzen Anzug und dazu einen schwarzen steifen Hut. Sein Dienstfahrzeug war ein altes Fahrrad mit einer großen Übersetzung ohne Freilauf, bei der man ganz langsam die Pedale treten konnte. Für uns Kinder war es immer ein besonderes Ereignis, wenn Herr Stamer-Johann sein Fahrrad bestieg. Er - und viele ältere Leute - stellten sich hinter das Fahrrad. Die Arme waren lang ausgestreckt, um die Lenkstange noch erreichen zu können. Dann trat man mit dem linken Fuß auf eine Raste, die als Verlängerung der Hinterachse angebracht war, und ‚rollerte‘ nun eifrig mit dem rechten Bein (das sich auf der rechten Seite des Hinterrades befand), bis das Fahrrad sich in Bewegung setzte. Sobald es genügend Schwung hatte, stellte sich der Radfahrer auf die Raste (es war ein wunderbarer Anblick), ließ sich in den Sattel fallen und suchte dann mit beiden Beinen nach den Pedalen (die sich ja ohne Freilauf mit-



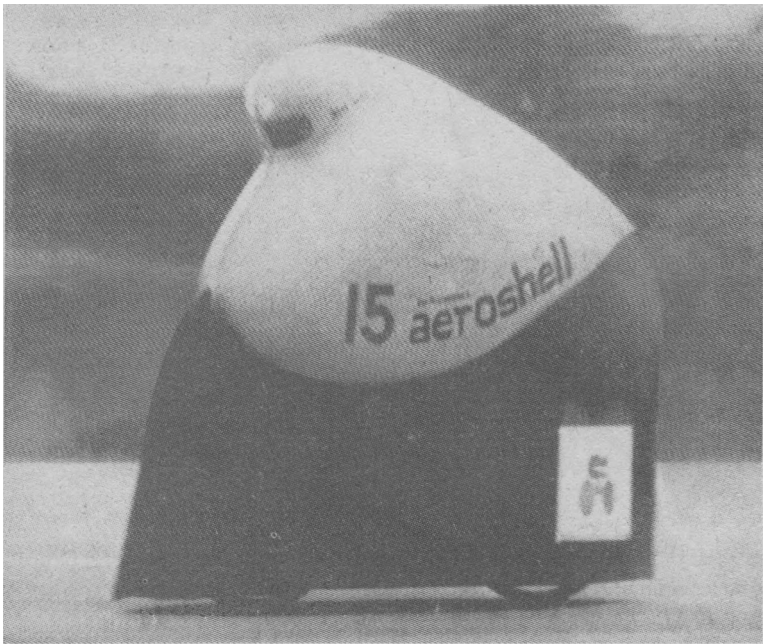
Lothar Thoms auf dem Olympiarad mit dem Geweihlenker (1980)

drehten). Wenn man bedenkt, daß Stamer-Johann etwa zweieinhalb Zentner wog, so kann ich heute über die Festigkeit der damaligen Räder nur staunen."*

Ich selbst bin dankbar, daß es die Fußraste am Fahrrad nicht mehr gibt, denn als Kind habe ich mir daran einmal die Hose zerrissen und bin deshalb von meiner Mutter ausgeschimpft worden.

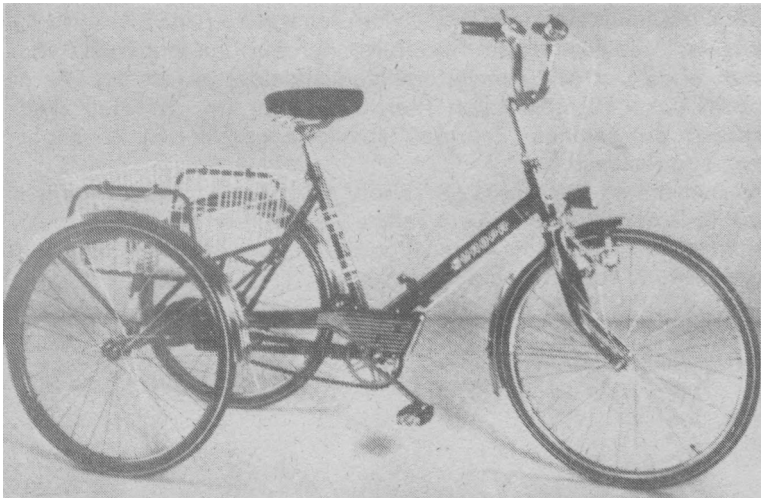
Neben der Entwicklung des Fahrrads für den täglichen Gebrauch läuft die ständige Weiterentwicklung des Sportrads. Die Bahnräder werden den Sportlern „maßgeschneidert“. Die Abmessungen und Winkelverhältnisse des Rahmens richten sich nach den Körpermaßen des Athleten, und man versucht, die Räder so leicht wie möglich zu bauen. Das Spezialrad, mit dem der erfolgreiche belgische Straßenfahrer Eddi Merckx in der Höhenluft von Mexiko-Stadt mehrere Bahnrekorde fuhr, wog nur 5750 Gramm. Noch leichter, nämlich 4830 Gramm, war das Rad des Dänen Hans Henrik Ørstedt, mit dem er, ebenfalls auf der 2300 Meter hoch gelegenen Olympiabahn von Mexiko-Stadt, unter anderem den Stundenweltrekord von 48,199 Kilometern auf-

* ebenda, S. 25



Das zur Verminderung des Luftwiderstandes vollverkleidete „Fahrrad“ läßt an einen (rad)fahrenden Roboter denken.

Ein englisches Dreirad, mit dem auch ältere Menschen gefahrlos fahren können



*Dreirad aus dem
Jahre 1880, an dem
rechts und links
die Beleuchtung
zu erkennen ist*



stellte (1. November 1979). Großes Interesse fand auch das Olympiarad von Lothar Thoms, der damit in Moskau zu den Olympischen Spielen die Goldmedaille im 1000-Meter-Zeitfahren in der kaum für möglich gehaltenen Zeit von 1:02,995 Minuten gewann. Auffällig an diesem Rad ist die neuartige Form des Lenkers. Die Reifen der Bahnräder werden übrigens mit Helium unter hohem Druck gefüllt.

Die Durchschnittsgeschwindigkeit, die Lothar Thoms bei seinem Olympiasieg erreichte, betrug $57,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Den Weltrekord unter Rennbedingungen hält Omar Pchakadze (UdSSR) mit $67,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, die er in einem Sprinterrennen auf den letzten 200 Metern erreichte. Mit dem stromlinienverkleideten Fahrrad „Aero-shell“ (s. S. 19) hält Ralph Therrio mit $79,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ den Weltrekord. Ein solches „Fahrrad“ ist allerdings für den Rennsport nicht zugelassen.

Über ein interessantes „Stahlroß“ wird aus Schweden berichtet. In Göteborg hat man ein Fahrrad entwickelt, das gänzlich aus Kunststoff besteht. Es kann nirgends rosten und soll sogar billiger sein als ein Fahrrad aus Metall.

Roboter „bauen“ Fahrräder

Das Material, aus dem die ersten Fahrräder gefertigt wurden, war Holz. Erst später wurde Metall benutzt, das dem Fahrrad den Namen Stahlroß gab. Der wichtigste Bestandteil des Fahrrads, gewissermaßen die Seele des Ganzen, ist der Rahmen. Er besteht aus acht geraden Stangen aus nahtlosen Stahlrohren, die durch Muffen miteinander verbunden sind. Die Rohrkonstruktion als Fahrradrahmen ist ein gutes Beispiel für die hohe Tragfähigkeit von Hartlötverbindungen, wie die Geschichte vom zweieinhalb Zentner schweren Stamer-Johann gezeigt hat und wie die hohen Belastungen unter sportlichen Bedingungen beweisen.

Beim Herrenrad müssen an der Steuerkopfmuffe vier Lötstellen, an der Tretlagermuffe fünf und an der Sattelmuffe zwei Lötstellen ausgeführt werden. Im VEB Mifa-Werk Sangerhausen wurden bis zum Jahre 1975 die Muffen nacheinander in gasbeheizten Muffelöfen gelötet. Dabei war eine Arbeitskraft an mehreren Muffeln tätig. Gleichzeitig wurden zehn Öfen, die der jeweiligen Form angepaßt waren, mit den zusammengesteckten Teilen (Muffen und Rohren) beschickt und der Lötprozeß beobachtet. Je nach Geschicklichkeit des Lötters konnten Toleranzen ausgeglichen und korrigiert werden. Nach dem Löten wurde der Rahmen auf seine geometrische Form hin überprüft und gegebenenfalls in einer Anschlagvorrichtung gerichtet. Diese Technologie des Rahmenlötens sollte wegen des geringen Mechanisierungsgrads und der hohen Hilfs-, Wege- und auch Grundzeiten von einer Technologie mit höherer Arbeitsproduktivität abgelöst werden.

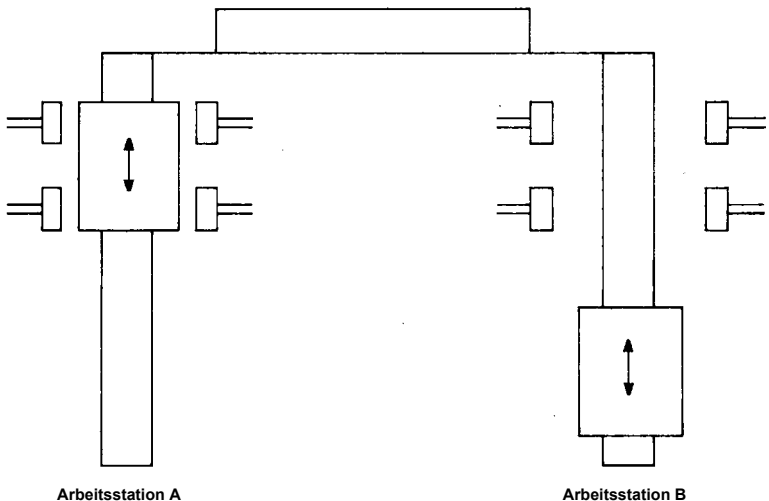
Der Lötvorgang setzt sich aus vier aufeinanderfolgenden Arbeitsgängen zusammen. Als erstes müssen die Teile, die miteinander verbunden werden sollen, zusammengebracht werden. Das Fixieren (1) ist beim Fahrradrahmen das Zusammenstecken der Rohre mit den Muffen. Anschließend muß im kalten Zustand an der vorgesehenen Lötstelle das Lot zusammen mit dem Flußmittel angebracht werden (2). Dann wird die Lötstelle erwärmt (3). Bei der Arbeitstemperatur fließt das Lot an alle Stellen der Lötverbindung, bei der höheren Löttemperatur wird dann die Lötverbindung hergestellt. Der vierte und letzte Arbeitsgang ist eine Nachbehandlung (4).

Bevor eine Mechanisierung oder wenigstens Teilmechanisierung in Angriff genommen wurde, wurden die vier Arbeitsgänge analysiert. Drei Forderungen des Betriebes mußten noch einge-

halten werden, eine Taktzeit von einer Minute, Beibehaltung der Rahmen- und Muffenform und kurzfristige Umstellung auf die verschiedenen Rahmenformen und großen des Fertigungsprogramms. Außerdem mußte aus wirtschaftlichen Gründen das Lot (LMs 60, Arbeitstemperatur 900 Grad Celsius) beibehalten werden. Im Zentralinstitut für Schweißtechnik der DDR in Halle wurde nun eine Lötmaschine entwickelt und gebaut, die alle diese Forderungen berücksichtigte.

Der erste Arbeitsgang (1), das Zusammensetzen des Rahmens (Muffen und Rohre) in der Vorfertigung, wurde nicht verändert, ebenso das Anbringen des Lotes (2) als Streulot-Flußmittel-Gemisch innerhalb der Rohrverbindungen an den Muffen. Für den Lötvorgang (3) muß die notwendige Wärmemenge über die Muffe und das darin fixierte Rohr auf das Lot übertragen werden. Das Lot erwärmt sich also als letzter der beteiligten Partner. Bei einer Lötzeit von 1 Minute stehen für die indirekte Erwärmung der Lötstelle 30 bis 45 Sekunden zur Verfügung. Deshalb wurde als neue Technologie anstelle des Lötens der Rahmen im Muffelofen das Flammenfeldlöten ausgewählt. Es kamen einstellbare, wassergekühlte Mehrflammen-Blockbrenner zum Einsatz.

Von großer Bedeutung ist die Auswahl des Typs der Maschine, die im Längs-, Rund- oder Pendeltakt arbeiten kann. Für die Lötmaschine wurde aus verschiedenen Gründen die Pendeltaktvariante ausgewählt, als Duomaschine ausgeführt, um die geforderte Taktzeit (1 Minute) zu erreichen. Unter einer Duomaschine versteht man zwei nebeneinander arbeitende gleichartige Maschinen.



Die in der Vorfertigung zusammengesetzten Rahmen werden mit Klammern in einer Spannvorrichtung entsprechend der Rahmengröße und -form auf einem Schlitten befestigt, zum Beispiel an der Arbeitsstation B. Dann wird das Streulot (Messinglot und Borax) an die Lötstelle gebracht. Wenn der Schlitten in die Lötstation eingefahren ist, schalten die Brenner der Arbeitsstation B von Sparflamme auf volle Leistung. Das ist aber nur möglich, wenn der Lötvorgang der Arbeitsstation A abgeschlossen ist. Nun schalten die Brenner der Lötstation A wieder auf Sparflamme, und erst dann kann der Lötvorgang an der Lötstation B beginnen. In dieser Zeit kann Arbeitsstation A neu beschickt werden. Während des Ausfahrens des Rahmens in die Ausgangsstellung mit einer Rückfahrzeit von 15 Sekunden kühlen die Lötstellen bis unterhalb der Erstarrungstemperatur des Lotes ab. Wenn der Lötvorgang in einer Station stattfindet, wird also der Rahmen in der anderen Station zum Löten vorbereitet. Ist die Vorbereitungszeit kleiner als die Lötzeit, kann der Rahmen bereits in die Lötstation eingefahren werden, denn erst nach Ablauf der Lötzeit erfolgt die Umschaltung der Brenner auf diese Station. Bei der gewählten Duo-Pendeltakt-Maschine fallen also Hilfszeiten (Vorbereitungszeiten) und Grundzeiten (Arbeitszeiten) fast vollständig zusammen, so daß 60 bis 80 Rahmen je Stunde gelötet werden können.

An dem Beispiel der Fahrradrahmen-Lötmaschine ZIS 787 läßt sich nun eine ganze Reihe von Begriffen erläutern, die uns vielleicht dazu führen, kompliziertere technische Systeme, wie es ein Roboter ist, zu verstehen.

Im Heft 11/1975 der Mitteilungen des Zentralinstituts für Schweißtechnik wird die Fahrradrahmen-Lötmaschine vorgestellt, und es werden die Gasversorgung und die Steuerung der Maschine kurz, aber für den Fachmann ausreichend beschrieben. Ein kleiner Auszug soll lediglich einen Eindruck von der Darstellungsweise vermitteln.

„Um ein sicheres Zünden zu gewährleisten, wird Sauerstoff nach einer Verzögerungszeit von ungefähr 0,5 s zu Propan zugeschaltet, ungefähr 0,5 s vor dem Propan abgeschaltet.

Die zwei Lötstationen der Maschine bilden steuerungstechnisch eine Einheit, wobei die Lötzeiten sowie das verzögerte Zu- und Abschalten der Gase getrennt eingestellt werden können. Zur Steuerung der einzelnen Operationen werden Zeitrelais ZB III, Luftschütz ID 16 und Relais des Systems Relog eingesetzt. An dem Bedienteil an der Frontseite der Stationen können sowohl der automatische Programmablauf als auch Handsteuerung gewählt werden. Mit der Handsteuerung ist jede Operation separat zu schalten.

Die Programmierung der Operationen übernehmen Wegpro-

grammspeicher LS 106 in Verbindung mit den Nocken der Brennerführung M 1250. Durch Verriegeln der Stationen untereinander wird ein gleichzeitiges Einschalten der Brenner von Station A und B und somit die Gefahr des Druckabfalls in der Gasversorgung vermieden. Strömungswächter überwachen die Fremdkühlung der Brenner und der Vorschubeinheit und schalten bei Störungen die gesamte Anlage ab."

Die Kurzbezeichnungen für die angeführten Bauelemente (ZB III, ID 16 oder LS 106) sollen uns nicht verwirren. Ebenso würde die detaillierte Beschreibung ihrer Funktionsweise hier zu weit führen. Wichtig ist vor allem, daß sie für das ordnungsgemäße Funktionieren der Maschine vorhanden sein müssen.

So gehört es zur Arbeitsweise der Maschine, daß die einzelnen Funktionsschritte selbsttätig ablaufen. Man kann es auch so ausdrücken, daß die einzelnen Operationen automatisch und in der richtigen Reihenfolge aufeinanderfolgen. Die Festlegung in der richtigen Reihenfolge wird als Steuerprogramm bezeichnet.

Die einfachste Operation ist durch ein mechanisches System gegeben, zum Beispiel einen Schalter. Wenn man den Kühlschrank aufmacht, brennt die Innenbeleuchtung, eine geschlossene Tür läßt die Glühlampe erlöschen. Man kann auch über den Türschalter eine Klingel betreiben, die durch ihr schrilles Läuten signalisiert, daß die Kinder (aber nicht nur diese) am Kühlschrank sind und naschen. Ähnliche Systeme wie der Türschalter, die einen Vorgang beginnen oder beenden, auslösen oder einstellen, gibt es an vielen Maschinen der metallverarbeitenden Industrie. Die Metallsäge würde sicherlich die Einspannvorrichtung und ihren Sockel mit durchsägen, wenn nicht durch einen Anschlag ihr Vortrieb beendet würde. An einer Drehbank verhindert eine Anschlagvorrichtung, daß der Drehstuhl nicht das Spannfutter auch noch mit abdreht und damit Beschädigungen auftreten.

Bei der Fahrradrahmen-Lötmaschine muß der vormontierte Rahmen in die Brennerzone bis zu einem Anschlag gefahren werden, bevor das Zünden und damit das Löten überhaupt erst beginnen kann. Derartige Anschlagsteuerungen werden oft als Arbeitsschutzvorrichtungen an Maschinen angebracht. Schneid- und Stanzmaschinen haben ein Schutzgitter, das bis zu einem Anschlag bewegt werden muß, bevor die Maschine überhaupt arbeiten kann.

Damit wird eine Entscheidung festgelegt: Entweder die Maschine kann bei geöffnetem Schutzgitter bedient werden, oder die Maschine kann arbeiten (schneiden oder stanzen) bei

geschlossenem Schutzgitter, so daß die Hände niemals Schaden nehmen können.

Bei der Haushalt-Wäschemangel HWT 3 ist ebenfalls eine Sicherheitseinrichtung angebracht, durch die der Mangelspalt verdeckt wird. Bereits beim geringsten Anheben des Griffes des Handbügels und damit des Handschutzes kommt es zum Abschalten des Motors. Gleiches gilt für das Anheben des Deckels bei den Trommelwaschmaschinen.

Bei der Fahrradrahmen-Lötmaschine sind noch weitere Entscheidungen notwendig. Erst wenn sich der Rahmen bis zum Anschlag in der Brennerzone befindet, kann der Lötvorgang beginnen. Zum Zünden der Brenner, etwa in der Station A, muß aber noch eine weitere Bedingung erfüllt sein. In der gegenüberliegenden Station B soll kein Lötvorgang stattfinden, sollen die Brenner auf Sparflamme geschaltet sein. Die Maschine mit ihren Funktionseinheiten muß also mindestens zwei Informationen bekommen und verarbeiten:

Befindet sich der vormontierte Rahmen in der richtigen Lage in der Brennerzone? Diese Frage wird beantwortet durch die Kontrolle an dem Anschlag. Ist die gegenüberliegende Station außer Betrieb? Nur wenn das der Fall ist, soll die Zündung erfolgen. Realisiert wird diese Forderung durch eine Verriegelung der Stationen untereinander.

Wenn nun der Lötvorgang beginnen kann, ist ein weiteres Funktionselement notwendig. Zuerst wird das Gas (Propan) durch Öffnen eines Ventils dem Brenner zugeführt, dann wird der Sauerstoff zugeschaltet, und zwar ungefähr 0,5 Sekunden später. Das Funktionselement muß also eine Zeitmessung durchführen können und in der Lage sein, nach Ablauf dieser Zeit einen Vorgang auszulösen, in diesem Fall das Ventil für die Sauerstoffzufuhr zu öffnen. Außerdem muß nach 30 bis 45 Sekunden zur Beendigung des Lötvorgangs zuerst der Sauerstoff abgeschaltet und dann nach wiederum etwa 0,5 Sekunden das Propan auf Sparflamme geschaltet werden.

Auf Einzelheiten der Realisierung der genannten Funktionselemente, ob mechanische, pneumatische oder elektronische Bauelemente, wird hier verzichtet.

Da Informationen aufgenommen, aufbereitet, verarbeitet und weitergeleitet werden, hat man alle diese Funktionselemente zusammen als den informationsverarbeitenden Teil einer Maschine bezeichnet.

Wir haben uns jetzt schon weit, vielleicht zu weit, vorgewagt. Denn wenn eine Maschine einen informationsverarbeitenden Teil

hat, müssen auch noch andere Teile dazugehören. Vorher aber ist noch zu klären, was eine Maschine ist. Wie es scheint, eine einfache Frage, doch nur auf den ersten Blick.

Als in Ägypten die Pyramiden gebaut wurden, mußten die schweren Steinblöcke transportiert werden. Dazu wurden Baumstämme unter die Blöcke gelegt, und dann konnten die Blöcke wie auf Rollen bewegt werden. Dieses Arbeitsmittel ist sicherlich noch keine Maschine, wird auch oft lediglich als Transportvorrichtung bezeichnet, also als Hilfsmittel zum Transportieren. Ähnlich verhält es sich mit einer Anschlagvorrichtung für das An- oder Abschalten eines Vorgangs, wie es bereits geschildert wurde. Die heutigen Verkehrsmittel, die sich auf und mit Hilfe von scheibenförmigen Rollen, den Rädern, bewegen, werden als Transportmaschinen bezeichnet. Zum Aufnehmen von Fotos wird ein Fotoapparat benutzt, nicht etwa eine Fotomaschine. Das Manuskript dieses Buches wurde auf einer Schreibmaschine geschrieben. Ein Rundfunkempfänger ist ebenso ein Radioapparat wie ein Radiogerät, für den Fernseher hat sich die Bezeichnung Fernsehgerät durchgesetzt. In der Werkstoffprüfung benutzt man hochwertige Meß- und Prüfgeräte. Die segensreiche Tätigkeit einer Masseuse kann man sich zu Hause leisten mit Hilfe eines Massagegeräts. Ein Besen ist noch keine Kehrmachine, eine Nadel noch keine Nähmaschine, ein Waschbrett noch keine Waschmaschine oder gar ein Waschautomat oder Waschroboter. Und wenn aus einem Besen ein Waschroboter wird, geht etwas nicht mit rechten Dingen zu und kann nicht gut enden.

„Der Zauberlehrling“ von Johann Wolfgang von Goethe ist ein klassisches Beispiel für einen falsch programmierten Roboter, der seine Aufgabe auch dann noch erfüllt, nachdem er in zwei Teile zerschlagen worden ist.

Und nun komm, du alter Besen!
Nimm die schlechten Lumpenhüllen;
bist schon lange Knecht gewesen;
nun erfülle meinen Willen!

Auf zwei Beinen stehe,
oben sei ein Kopf,
eile nun und gehe
mit dem Wassertopf!

So einfach stellt es sich der Zauberlehrling vor, aus dem Besen einen Roboter zu machen und ihn zu programmieren als Waschroboter. Aber das Programm ist nicht vollständig, ist nicht bis zum Ende durchdacht.

O du Ausgeburt der Hölle!
Soll das ganze Haus ersaufen?

Seh' ich über jede Schwelle
doch schon Wasserströme laufen.
Ein verruchter Besen,
der nicht hören will!
Stock, der du gewesen,
steh doch wieder still!

Und die große Not veranlaßt den Zauberlehrling zu dem Stoßseufzer:

Herr, die Not ist groß!
Die ich rief, die Geister,
werd' ich nun nicht los.

Der Meister kennt das vollständige Programm, und wenige Worte genügen:

In die Ecke,
Besen! Besen!
Seid's gewesen.
Denn als Geister
ruft euch nur zu seinem Zwecke
erst hervor der alte Meister.

Vielleicht sind die Hinweise Grund genug, das Goethegedicht noch einmal zu lesen. Der Umgang mit einer Maschine, erst recht mit einem Roboter, muß gelernt sein.

Ein anderes Beispiel ist „Der süße Brei“. In dem Märchen der Brüder Grimm schenkt eine alte Frau einem armen braven Mädchen ein Töpfchen, zu dem sollte es sagen: „Töpfchen, koche“, so kochte es guten süßen Hirsebrei, und wenn es sagte: „Töpfchen, steh“, so hörte es wieder auf zu kochen. Beim Abschnitt „Der mühsame Weg von P nach P“, in dem vom Programmablaufplan gesprochen wird, sollte sich jeder an den süßen Brei erinnern, um in einem solchen Ablaufplan nicht START und STOP zu vergessen. Die Vorteile des automatischen Kochtopfes werden nämlich zunichte, weil das Wort nicht mehr bekannt ist, um den Topf in seiner Tätigkeit zu stoppen. Ich erinnere mich an ein Erlebnis an einem Sonntagvormittag mit einem Waschvollautomaten. Eine Nachbarin kam völlig aufgeregt zu uns und berichtete, daß aus allen Öffnungen des Waschvollautomaten der Seifenschaum herausquoll, auch dann noch, als der Automat längst abgestellt, der Netzstecker herausgezogen und der Wasserzulauf abgedreht worden war. Der Anblick der Maschine war beeindruckend. Beim Säubern des Waschvollautomaten fanden sich im Flusensieb zwei Taschentücher, die offensichtlich das Waschprogramm durcheinandergebracht hatten. Zudem war auch zuviel Wasch-

mittel benutzt worden. Wie schon gesagt, der Umgang mit Maschinen und Automaten muß gelernt sein.

Nachdem wir Vorrichtungen, Mechanismen, Geräte, Apparate und Maschinen kennengelernt haben, müssen wir uns bemühen, diese Begriffe etwas genauer festzulegen. Es ist noch ein weiteres Beispiel anzuführen. In dem Buch „Das Kapital“ hat Karl Marx die Bezeichnung Maschinerie benutzt, um die Weiterentwicklung der Arbeitsmittel vom Werkzeug zur Maschine, zur Maschinerie zu beschreiben. In der kleinen Geschichte über die Begegnung mit dem ersten Fahrrad wird das Hochrad auch einmal als eine Maschinerie bezeichnet, und die Radrennfahrer nennen ihre Räder Rennmaschinen.

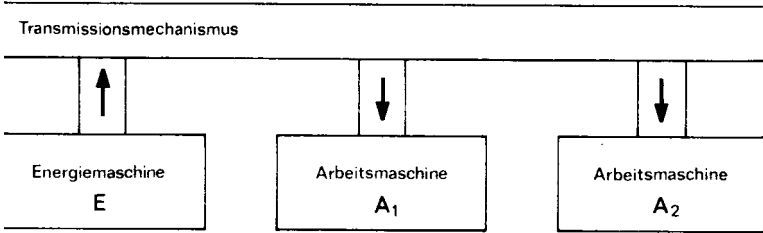
Um die Maschinerie zu erklären, geht Karl Marx schrittweise vor.

„Es ist also zunächst zu untersuchen, wodurch das Arbeitsmittel aus einem Werkzeug in eine Maschine verwandelt wird, oder wodurch sich die Maschine vom Handwerksinstrument unterscheidet.“* Einerseits wurde das Werkzeug als einfache Maschine und die Maschine als zusammengesetztes Werkzeug erklärt. Andererseits suchte man den Unterschied zwischen Werkzeug und Maschine darin, daß beim Werkzeug der Mensch die Bewegungskraft aufbringt, bei der Maschine eine von der menschlichen verschiedene Naturkraft wie Tier, Wasser, Wind, Dampf. Danach wäre ein mit Ochsen bespannter Pflug eine Maschine, der gleiche Pflug ist ein Werkzeug, wenn er vom Bauern selbst gezogen wird. Da die Anwendung von Tierkraft eine der ältesten Erfindungen der Menschen ist, ging in der Tat die Maschinenproduktion der Handwerksproduktion voraus. Die Art des Antriebs hält Karl Marx für sehr bedeutungsvoll und benutzt sie als Einteilungsprinzip. „Alle entwickelte Maschinerie besteht aus drei wesentlich verschiedenen Teilen, der Bewegungsmaschine, dem Transmissionsmechanismus, endlich der Werkzeugmaschine oder Arbeitsmaschine. Die Bewegungsmaschine wirkt als Triebkraft des ganzen Mechanismus. Sie erzeugt ihre eigne Bewegungskraft, wie die Dampfmaschine, kalorische Maschine, elektro-magnetische Maschine usw., oder sie empfängt den Anstoß von einer schon fertigen Naturkraft außer ihr, wie das Wasserrad vom Wassergefäß, der Windflügel vom Wind usw. Der Transmissionsmechanismus, zusammengesetzt aus Schwungrädern, Treibwellen, Zahnrädern, Kreisrädern, Schäften, Schnüren, Riemen, Zwischengeschirr und Vorgelege der verschiedensten Art, regelt die Bewegung, verwandelt, wo es nötig, ihre Form, z. B. aus einer perpendikulären in eine kreisförmige, verteilt und überträgt sie auf die Werkzeugmaschinerie. Beide Teile des Mechanismus sind nur

* Marx/Engels, Werke, Bd. 23, S. 391

vorhanden, um der Werkzeugmaschine die Bewegung mitzuteilen, wodurch sie den Arbeitsgegenstand anpackt und zweckmäßig verändert. Dieser Teil der Maschinerie, die Werkzeugmaschine, ist es, wovon die industrielle Revolution im 18. Jahrhundert ausgeht.“*

Wir wollen die Gedanken von Karl Marx aufgreifen und weiterführen. Die Maschinerie hat also drei Teile, die Bewegungsmaschine, den Transmissionsmechanismus und die Arbeitsmaschine. In der heutigen Zeit bezeichnet man die Bewegungsmaschine als Antriebsmaschine, auch Kraftmaschine oder allgemein als Energiemaschine. Sie hat die Aufgabe, die jeweils angebotene oder vorhandene Energie umzuwandeln in die Form, mit deren Hilfe die Arbeitsmaschine ihre Tätigkeit ausführen kann. In den meisten Fällen steht als Gebrauchsenegie die Elektroenergie zur Verfügung. Die Elektroenergie wird durch einen Elektromotor in mechanische Energie, in Bewegungsenergie, umgewandelt. Dadurch wird die Arbeitsmaschine angetrieben. Zu der Zeit, als Karl Marx seine ökonomischen Überlegungen anstellte und von der Maschinerie und den damaligen Maschinensystemen ausging, wurden mehrere Arbeitsmaschinen von einer Energiemaschine angetrieben. Zwischen der Energiemaschine und den Arbeitsmaschinen wurde dadurch der bereits beschriebene Transmissionsmechanismus notwendig. Die grafische Darstellung und die Abbildung auf Seite 30 zeigen die Zusammenhänge.

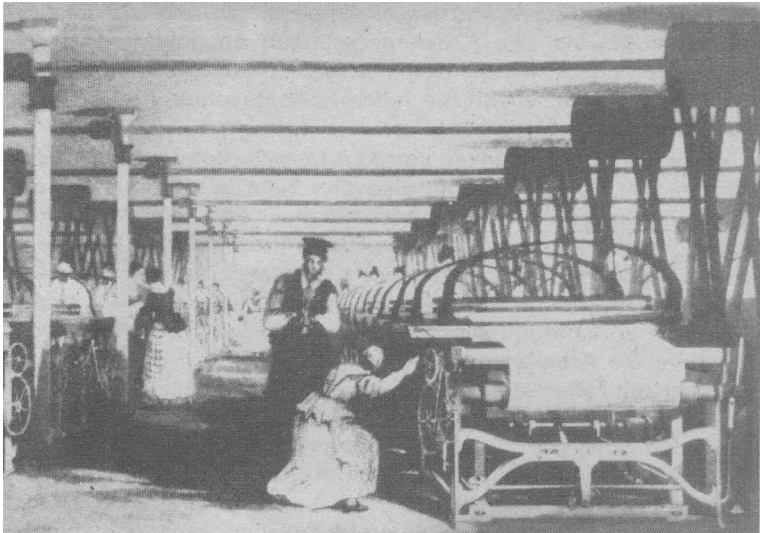


Dieser Transmissionsmechanismus ist heute nicht mehr vorhanden, weil jede Arbeitsmaschine ihr eigenes Energieteil hat, so daß beide Teile zusammenhängend dargestellt werden können.

Man kann also jede Maschine als aus zwei Teilen bestehend auffassen, dem Energieteil und dem Arbeitsteil.



* ebenda, S. 393

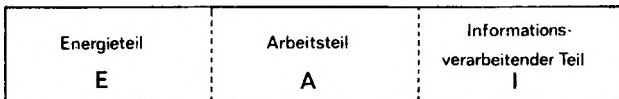


Fabrik mit mechanischen Webstühlen, Anfang 19. Jahrhundert

Diese Einteilung einer Maschine in ihre wesentlichsten Bestandteile geht also bereits auf Karl Marx zurück.

Nun können wir wieder an die Überlegungen anknüpfen, die wir im Zusammenhang mit dem teilweise selbständigen Arbeitsablauf der Fahrradrahmen-Lötmaschine anstellten. Auch der einfachste Anschlag oder Schalter als Beginn oder Beendigung eines Vorgangs im gesamten Arbeitsablauf bedeutet Umgang mit Informationen und führt zum informationsverarbeitenden Teil einer Maschine.

Im allgemeinen besteht also eine Maschine aus drei Funktionsteilen: dem Energieteil E, dem Arbeitsteil A und dem informationsverarbeitenden Teil I.

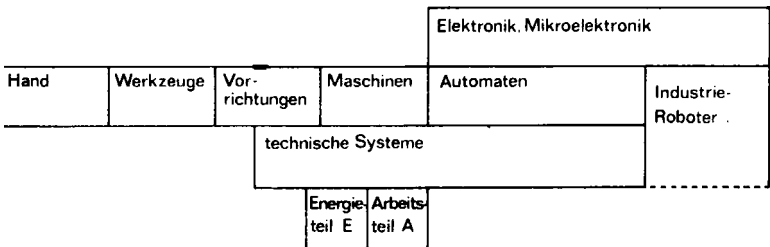


Selbstverständlich wurden solche einfachen Hilfen und Vorrichtungen, zum Beispiel ein Anschlag, auch zur Zeit von Karl Marx schon angewendet. Ihre ökonomischen Auswirkungen sind aber erst viel später, im Zeitalter der automatischen Maschinen, bedeutungsvoll geworden. Die Automatisierung ist zudem eng mit der Entwicklung der Elektronik bis zur Mikroelektronik verbun-

den. Der weite Weg begann damit, daß die Nahrungsbeschaffung, das Tragen der Beute, das gesamte Leben unserer Vorfahren mit harten körperlichen Strapazen verbunden war. Wen wundert es, daß findige Köpfe zu allen Zeiten bemüht waren, sich die schwere körperliche Arbeit zu erleichtern. Am Anfang der Entwicklung standen einfache Werkzeuge, zum Beispiel ein Stock zur Verbesserung der Schlag-, Stoß- und Hebelwirkung der Hand. Zum Jagen erwies es sich sicherlich als günstig, an den Stock einen spitzen scharfen Stein zu binden. So könnte ein Speer entstanden sein. Die Reichweite des Speeres ist durch die Armkraft begrenzt. Eine größere Reichweite und damit bessere Jagdergebnisse konnte man mit kleineren Speeren erzielen, die man von gespannten Stöcken wie Pfeile abschöß. Pfeil und Bogen stellen aber schon eine Vorrichtung dar. Zum Schärfen der Pfeilspitzen war wieder ein Werkzeug nötig, und natürlich mußte man sich schinden, körperliche Arbeit, Energie, war erforderlich. Die Muskelkraft, als chemische Energie in den Muskeln gespeichert, liefert die Energie zur Bearbeitung des Werkstücks mit Hilfe eines Werkzeugs. Im Lauf der Zeit ersetzten andere Energiequellen die Muskelkraft. Der Energielieferant und der Teil, in dem die Energie zur Arbeit, zur Bearbeitung eines Werkstücks genutzt wird, sind zu technischen Systemen geworden.

Diese technischen Systeme, bestehend aus Energieteil und Arbeitsteil, sind Maschinen. Sie dienen zunächst lediglich zur Erleichterung der körperlichen Arbeit und zur Verbesserung der körperlichen Fähigkeiten und Kräfte des Menschen. Für diesen Prozeß, der auch heute noch nicht abgeschlossen ist, wurde der Begriff der Mechanisierung eingeführt.

Von der Hand ausgehend, sind wir folgerichtig zu den technischen Systemen, den Maschinen, gekommen, wie die grafische Darstellung auf Seite 31 zeigt. Eine ähnliche Entwicklungslinie kann man zeigen, wenn man nicht von der körperlichen, sondern von der geistigen Tätigkeit ausgeht. Symbolisch steht hier am Anfang der Kopf. Das Nachdenken über die Zusammenhänge in



		Informationsverarbeitender Teil I	Denkzeuge
Kopf	Problemanalyse, Algorithmus, Programmablaufplan	Programm	
			Elektronik, Mikroelektronik

der Bewältigung von Arbeitsaufgaben und die Problemanalyse führten und führen zu Erkenntnissen über den Arbeitsablauf. In der heutigen Ausdrucksweise heißt dies, daß die Problemanalyse zur mathematischen Beschreibung, zum Algorithmus, zum Programmablaufplan und daraus schließlich zum Rechenprogramm führt. Mit der Informationsverarbeitung kommt zur Maschine der dritte Funktionsteil dazu (s. S. 32 oben). Beide Entwicklungslinien verlaufen nebeneinander und haben sich gegenseitig beeinflußt. In der Abbildung auf Seite 32 unten ist die parallele Entwicklung der ständigen Verbesserung körperlicher und geistiger Fähigkeiten des Menschen dargestellt. Wegen ihrer großen Bedeutung ist die Elektronik/Mikroelektronik als eine entscheidende Grundlage für die Automaten mit eingezeichnet worden. Aber wir möchten darauf hinweisen, daß es bereits früher, als man noch nicht einmal den elektrischen Strom kannte, Automaten gegeben hat. Es ist noch immer faszinierend, einen Automaten früherer Jahrhunderte in Funktion zu sehen, zum Beispiel ein briefschreibendes Mädchen, eine Tänzerin oder einen Klavierspieler. Vielleicht haben diese Automaten die noch heute existente Vorstellung geprägt, daß ein Roboter menschliche Gestalt hätte. Das klassische Beispiel für eine programmierte Maschine ist für mich bereits eine Uhr mit Schlagwerk. Wann und wie oft die Uhr zu schlagen hat, ist in einem Programm festgelegt, ohne Elektronik, lediglich durch mechanische Vorrichtungen und Anschläge zum Auslösen und Blockieren des Schlagwerkes. Es ist in diesem Zusammen-

					Elektronik, Mikroelektronik	
Hand	Werkzeuge	Vorrichtungen	Maschinen	Automaten	Industrie-Roboter	
			technische Systeme			
			Energie- teil E	Arbeits- teil A	Informations- verarbeitender Teil I	Denkzeuge
Kopf	Problemanalyse, Algorithmus, Programmablaufplan			Programm		
					Elektronik, Mikroelektronik	

hang sehr interessant, daß die ordnungsgemäße Funktion des Schlagwerkes von den meisten Menschen als selbstverständlich hingenommen wird. Die Funktion eines Rechners, sein Programm, das ihn in die Lage versetzt, Rechenoperationen durchführen zu können, führt immer wieder zu Fragen über sein Programm und seinen Aufbau. Manche Menschen betrachten den Rechner als etwas Unfaßbares, geradezu Unheimliches und schreiben ihm oft magische Kräfte zu. Vielleicht hängt das damit zusammen, daß die Automaten als mechanische Systeme und Apparate gegenständlich und anfaßbar sind. Die Rechenmaschine aber wird als Black box, als undurchschaubarer schwarzer Kasten, empfunden, der außerdem noch geistige Tätigkeiten übernimmt. Geistige Tätigkeit wird aber als Kopfarbeit eingestuft, als höherwertige Tätigkeit. Und den meisten Menschen ist es unangenehm, daß eine Maschine, ein technisches System, eine Tätigkeit übernimmt, die dem Menschen vorbehalten ist und auch bei höheren Säugetieren sonst nicht anzutreffen ist. Nicht nur der Umgang mit solchen Maschinen, sondern auch das Leben und Zusammenarbeiten mit ihnen will gelernt sein, und psychologische Barrieren müssen abgebaut werden.

Die Entwicklung zur Verbesserung der geistigen und körperlichen Fähigkeiten des Menschen hat nun in der letzten Stufe zu den Robotern und Denkzeugen geführt. Der Ausdruck Denkzeug ist analog zum Werkzeug, eigentlich Handwerkszeug, entstanden.

Biographisches über Roboter

Ungeachtet des wissenschaftlich-technischen Fortschritts und der damit verbundenen Automatisierung der Produktion werden noch sehr viele Produktionsvorgänge von Hand ausgeführt, zum Beispiel die Verpackung, die Stapelung, der Transport von Werkstücken, ihre Ausrichtung im Raum. Oft müssen diese Arbeiten in einer Arbeitsumwelt erledigt werden, die gesundheitsschädigend oder sogar lebensgefährlich ist, wie in chemischen Betrieben, in lärm- und strahlenbelasteten Räumen. Der Produktionsprozeß wird aber in absehbarer Zeit nicht ohne die Teilnahme und die Gegenwart des Menschen ablaufen. Die Befreiung des Menschen von den beschriebenen Tätigkeiten und ihre Übertragung

auf Maschinen sind sehr wichtige wissenschaftlich-technische und soziale Aufgaben der Gegenwart. Man hat für die Theorie, die Projektierung und Konstruktion derartiger Maschinen und Vorrichtungen den Begriff der Robotertechnik geprägt.

Die ersten mechanischen Geräte, die Manipulatoren, ahmen die Handbewegungen des Operateurs nach. Sie werden vorwiegend in der Atomindustrie und in Kernforschungsinstituten verwendet, aber auch als ferngesteuerte Manipulatoren zur Bergung versunkener Schiffe, zur Verlegung von Unterwasserkabeln in großen Tiefen. Ein weiteres bevorzugtes Anwendungsgebiet ist der Weltraum. Dabei stand im Vordergrund, die Hände durch mechanische Systeme zu ersetzen, um beispielsweise Arbeiten an der Außenseite von kosmischen Flugkörpern auszuführen. Die sowjetischen Mondautomaten Lunochod 1 und Lunochod 2 waren mit Manipulatoren ausgerüstet, die eine Vielzahl von Tätigkeiten ausführen konnten. Unter anderem verdanken wir dem Geschick und der Aufnahmetechnik der Manipulatoren die auf die Erde übertragenen Bilder und den Transport von Mondgestein. Die mechanischen Hände und auch die Schreitmechanismen kopieren direkt die Bewegung der steuernden Menschen. Von dieser direkten Abhängigkeit des Manipulators vom Operateur kann man sich lösen durch die Automatisierung. Wie schon erläutert, wird das technische System mit einem informationsverarbeitenden System, beispielsweise einem Rechner, gekoppelt. Durch ein Programm, das dem informationsverarbeitenden Teil eingegeben wird, kann der Manipulator gesteuert werden und bei hohen Temperaturen die aufgegebenen Arbeiten ausführen. Solche Manipulatoren ersetzen die menschliche Hand nur unvollkommen, denn das eingegebene Programm wird „stur und blind“ abgearbeitet. Grobe Arbeiten, die eine Verstärkung der menschlichen Hand erfordern, können ausgeführt werden, aber beim Umgang mit zerbrechlichen Glasgeräten kommt es schon bei geringen Unterschieden in den Abmessungen zu Bruch.

Bei den weiterentwickelten Manipulatoren sind an den Fingern des Greifers Kontaktgeber angebracht. Auch an der Unterseite eines jeden Greiffingers befindet sich ein Kontaktgeber, der sich sofort einschaltet, wenn die Hand zum Beispiel den Tisch berührt. An der inneren Seite und am vorderen Ende eines jeden Fingers befinden sich Meßwertgeber, deren elektrisches Signal proportional der Kraft ist, die auf die Finger an dieser Stelle einwirkt. Die angebrachten Geber übermitteln, in welchen Bereichen der Finger sich beispielsweise ein Reagenzglas befindet, am vorderen Ende angebrachte Geber melden den Zeitpunkt, zu dem die Hand das Reagenzglas berührt, und geben gleichzeitig die Kraft an, die auf das Reagenzglas ausgeübt wird. Auf diese Weise werden indirekt Informationen über das Reagenzglas gewonnen, der

Manipulator „erkennt“ gewissermaßen das Objekt. Der Greifer, die Hand, besitzt gleichsam einen „Tastsinn“, der ihn immerhin in die Lage versetzt, mit seiner Umgebung in Verbindung zu treten und, allerdings auf sehr einfache Weise, mit ihr zusammenzuwirken. Alle Informationen, die durch die Handbewegung gesammelt werden, bilden die Grundlage für das Programmieren und zur Bewältigung der Arbeitsaufgaben. Einer solchen Hand kann man einfache Aufgaben, wie das Sortieren von Gegenständen und die sortimentsgerechte Ablage in Kisten, übertragen. Das in die Maschine eingegebene Programm enthält keine direkten Hinweise mehr über die konkrete Anordnung der Gegenstände und der Kisten, wie das bei den Manipulatoren der ersten Generation der Fall war. Die Manipulatoren der zweiten Generation enthalten ein allgemeines Programm, das ihren Einsatz bei beliebiger Anordnung der Gegenstände und Kisten gestattet.

Die Manipulatoren in der weiteren Entwicklung werden häufig schon als „vernunftbegabte“ Maschinen bezeichnet. Diese künstlichen Hände werden von einer sehr leistungsfähigen EDV-Anlage gesteuert, die mit visueller Wahrnehmung gekoppelt ist. Der Manipulator steht nicht mehr nur mit dem „Tastsinn“ in Wechselwirkung mit der Außenwelt, sondern auch mit Hilfe eines visuellen Informationssystems. Das gesamte System Auge, Maschine, Hand, Auge bildet einen Regelkreis, der folgendermaßen wirkt: Das Auge, eine Fernsehkamera, liefert die Informationen für die Programmierung und Steuerung der Handbewegungen. Gleichzeitig überwacht das Auge die Bewegungen der Hand, um sie sofort zu korrigieren, wenn es nötig ist. Der Vorgang ist der gleiche wie der, den jeder schon mal beim Lesen eines Buches ausführte, wenn er während des Lesens zur Kaffeetasse griff, zuerst blindlings, dann aufblickend, korrigierend, greifend und dann endlich die Tasse zum Mund führend.

Diese Manipulatoren können Gegenstände verschiedenster Abmessungen greifen, tragen und sammeln. Das Programm wird visuell überwacht, und eine solche Hand kann bereits erstaunliche Aufgaben lösen, zum Beispiel Gegenstände ordnen und so Zusammenlegen, wie es im Gedächtnis der Maschine gespeichert wurde. Die Hand könnte also auch ein kompliziertes Puzzle oder Mosaik zusammensetzen.

Die Entwicklung und Verbesserung der Manipulatoren bezieht sich auf ihre Informationsmöglichkeiten. Bei der ersten Konstruktion fehlte jegliche Information über die Außenwelt. Die Manipulatoren der weiteren Entwicklung sammelten ihre Informationen im Zusammenhang mit dem Bewegungsablauf, mit ihrem Einsatz. In der nächsten Entwicklungsstufe war die Informationsaufnahme nicht mehr an die Aufgabe oder gar an

die Handbewegung gekoppelt. Die Aufnahme der Informationen war vielmehr unabhängig von der auszuführenden Tätigkeit. Die Verbesserung und Vervollkommnung der Informationsaufnahme und -verarbeitung erhöhten den „selbständigen“ und „vernünftigen“ Charakter der Bewegungen und Handlungen dieser Manipulatoren und machten sie in bewundernswerter Weise den Bewegungen der Hand immer ähnlicher, die jetzt gerade die Seite dieses Buches umgeblättert hat.

Das Beispiel der Manipulatoren wurde mit Absicht gewählt, und zwar aus mehreren Gründen. Man geht nämlich, wie wir hier auch, von der schon fest eingewurzelten Vorstellung aus, daß ein Roboter eine Maschine ist, die die Bewegungsfunktionen des Menschen durch technische Systeme reproduziert. Unter einem Roboter ist demnach eine mechanische Vorrichtung zu verstehen, die Manipulatoren und Pedipulatoren enthält und ihre Funktionen koppelt und kombiniert. Die Manipulatoren ahmen die Bewegungen und Funktionen der oberen, die Pedipulatoren die der unteren Extremitäten nach. Zwangsläufig damit verbunden ist - wie beim Menschen — die Funktion der Sinnesorgane, die mit den Bewegungen unmittelbar gekoppelt ist. Wegen der Vielzahl der Funktionen, die eine Hand ausführen kann, ist die funktionsgerechte Nachahmung der Hand sehr schwierig. Auch deshalb wurden die Manipulatoren als Beispiel herangezogen und damit ein wichtiger, wenn nicht der wichtigste Bestandteil eines Roboters erläutert. Ein Roboter hat also zwei Merkmale, einmal die Nachbildung der Bewegungsfunktionen und zum zweiten die Wechselwirkung mit der Umgebung durch „Sinnesorgane“, durch die zielgerichtete Bewegungen erst möglich werden. Die Eigenschaften der künstlichen Sinnesorgane, ihr Wahrnehmungs- und Unterscheidungsvermögen bestimmen die Leistungsfähigkeit des Roboters (wie des Menschen) und ihren Einsatzbereich. Und wie bei vielen Menschen bleibt der Einsatz des Roboters auf bestimmte Aufgaben beschränkt; sowohl bei Menschen wie bei Robotern wird im Lauf der Zeit die Selbständigkeit immer mehr zunehmen.

Die Zeit hat aber für die Menschen und die Roboter völlig andere Bedeutung. Die menschliche Entwicklung ist individuell, an den einzelnen und die Dauer seines Lebens gebunden, während sich die Entwicklung der Roboter wie bei den Manipulatoren über Generationen (Entwicklungsstufen) erstreckt.

Revolutionär Rechner

Im Abschnitt „Roboter ‚bauen‘ Fahrräder“ wurde die Entwicklung von der Hand bis zu den technischen Systemen, den Maschinen, dargestellt. Eine ähnliche Entwicklungslinie, die nicht von der körperlichen, sondern von der geistigen Tätigkeit ausgeht, führte zu dem informationsverarbeitenden Teil einer automatischen Maschine und schließlich zum Industrieroboter. Diese Entwicklung ist nicht immer ruhig und mit gleichförmiger Geschwindigkeit verlaufen. Die Zeiten mit hohem oder beschleunigtem Entwicklungstempo in der Evolution sind als Revolutionen bezeichnet worden.

Die erste große Revolution in der Entwicklung der Produktivkräfte betrifft die Hand selbst.

Friedrich Engels hat sich mit der entscheidenden Phase der Menschwerdung besonders beschäftigt und das wichtigste Merkmal so formuliert: „Die Hand war frei geworden“, und mit der „Handhabung von Werkzeugen“* setzte eine Entwicklung ein, die zur Gründung der ersten Gesellschaft von Menschen führte.

Die zweite Revolution verlief eigentlich in zwei Linien, ähnlich der Darstellung auf Seite 32.

Die Zeit der Renaissance, gekennzeichnet durch einen ungeheuren Aufschwung von Wissenschaft, Kunst und Literatur, verdiente die Bezeichnung wissenschaftliche Revolution.

Ihre Vertreter, Leonardo da Vinci, Galilei, Bruno, Bacon, Newton, um nur einige zu nennen, sind allgemein bekannt.

Der wissenschaftlichen Revolution der Renaissance und des Frühkapitalismus folgte eine Revolution auf technologischem Gebiet, die demzufolge auch technologische Revolution heißen sollte. Wegen der großen praktischen Bedeutung, der unmittelbaren Auswirkungen in der Produktion und Technik, wäre auch die Bezeichnung technische Revolution angebracht. Sie ist aber industrielle Revolution genannt worden.

* Marx/Engels, Werke, Bd. 20, S. 445

Karl Marx charakterisiert die industrielle Revolution durch die Nutzung der Werkzeugmaschine. Die Hand wird, bei der Handhabung der Werkzeuge ersetzt durch die Maschine. Interessant ist, daß zum Einsatz von Werkzeugmaschinen keinerlei grundsätzlich neue wissenschaftliche Erkenntnisse notwendig waren. Entscheidend war der Erfindungsreichtum und, wie wir heute sagen, der schöpferische Einfall und die Neuerertätigkeit der Arbeiter und Handwerker.

Die industrielle Revolution hatte große Auswirkungen auf die gesellschaftlichen Verhältnisse. Im „Kommunistischen Manifest“ schreiben Marx und Engels, daß die industrielle Revolution eine Gesellschaft hervorgebracht hat, die nicht bestehen kann, ohne die Produktionsinstrumente, die Produktionsverhältnisse, also sämtliche gesellschaftlichen Verhältnisse, fortwährend zu revolutionieren.

Die dritte Revolution hat gerade begonnen, und wir befinden uns mittendrin. Dabei sind Wissenschaft und Technologie, ihre Umsetzung in Technik und Produktion, so eng miteinander verflochten, daß die Bezeichnung als wissenschaftlich-technische Revolution durchaus zutreffend ist. Das Kernelement der wissenschaftlich-technischen Revolution ist die Automatisierung, die Zusammenführung der technischen Systeme, bestehend aus Energieteil und Arbeitsteil, mit einem informationsverarbeitenden Teil.

Durch die Automatisierung wird die Hand bei der Handhabung der Maschinen ersetzt, so daß „sich der Mensch vielmehr als Wächter und Regulator zum Produktionsprozeß verhält“*, wie Karl Marx schreibt. Der Mensch tritt aus dem eigentlichen Arbeitsprozeß, dem Produktionsprozeß, heraus. Die Anfänge der Automatisierung sind die automatischen Werkzeugmaschinen und die Industrieroboter.

„Wir sind uns darüber im klaren, daß dieser ganze, in seinen Erscheinungsformen und sozialen Auswirkungen äußerst komplexe Prozeß, den wir als wissenschaftlich-technische Revolution bezeichnen, im historischen Maßstab der Entwicklung der Produktivkräfte jener entscheidende Prozeß ist, der zur Herausbildung der materiell-technischen Basis des Kommunismus führt.

Wir können daher auch sagen: Jeder Fortschritt auf dem Wege der wissenschaftlich-technischen Revolution ist ein Fortschritt auf dem Wege zum Kommunismus. Zugleich aber müssen wir sagen: Jede Überschätzung des Standes der wissenschaftlich-tech-

* Marx, K., Grundrisse der Kritik der Politischen Ökonomie, Berlin 1953, S. 592

nischen Revolution ist eine falsche Einschätzung des Standes unserer gesellschaftlichen Entwicklung."*

Wenn der Rechner als Revolutionär bezeichnet wird, dann deshalb, weil die Automatisierung als wesentlichsten Bestandteil (s. S. 32) einen Rechner als informationsverarbeitenden Teil enthält. Die leistungsfähigen Industrieroboter haben als Gehirn einen Rechner. Nun würden wir uns sehr dagegen verwahren, wenn jemand unser Gehirn als Rechner bezeichnete. Unser Gehirn kann doch wesentlich mehr als nur rechnen und ist auch mehr als nur ein „leibeigener Computer“.

Man darf den Ausdruck Rechner nicht so eng verstehen, daß er, etwa wie ein Taschenrechner, lediglich Rechenoperationen durchführen kann. Ebenso wenig kann der Rechner unserem Gehirn auch nur annähernd gleichgesetzt werden. Was immer hier und bei vielen anderen Gelegenheiten als Rechner bezeichnet wird, liegt irgendwo auf dem Weg in der Entwicklung zwischen dem Taschenrechner und dem Gehirn.

Diese Entwicklung in der Rechentechnik ist daran zu erkennen, daß zum Beispiel zwischen Rechnern für ökonomische, wissenschaftliche und technische Berechnungen und Prozeßrechnern unterschieden wird (s. auch Abschnitt „Rechner und Roboter“). Viele Beispiele in diesem Buch zeigen den derzeitigen Entwicklungsstand des Rechners. Besonders in dem genannten Abschnitt und unter „Anatomie des Computers“ werden die Fähigkeiten eines Rechners und daraus folgend seine Einsatzbereiche näher beschrieben. In diesem verallgemeinernden Sinn möchten wir den Ausdruck Rechner verstanden wissen, nämlich als eine informationsverarbeitende Maschine. Der Entwicklungsstand der informationsverarbeitenden Maschinen, der Rechner, bestimmt den Entwicklungsstand der Automatisierung, der Industrieroboter, und damit den Entwicklungsstand der menschlichen Gesellschaft.

Ein wesentlicher Gesichtspunkt bei Automatisierungsvorhaben ist der sehr hohe ökonomische Aufwand, der unter anderem zur Festlegung einer ökonomischen Kennziffer, der Rückflußdauer, führte. „Steenbeck ... hat die Kosten der Grundfondsausrüstung je Arbeitsplatz in einer vollautomatisierten Fertigung auf 200.000 bis 400.000 Mark angegeben. Das heißt, auf 10.000 Beschäftigte betragen die Kosten 2 bis 4 Milliarden Mark! Das sind Beträge, die keine Wirtschaft leicht aufbringen kann - bei gleichzeitig hohen Rüstungsausgaben.

* Hager, K., Sozialismus und wissenschaftlich-technische Revolution, Berlin 1972, S. 27

Und darum befindet sich noch kein Land der Welt weiter als bei den Anfängen der wissenschaftlich-technischen Revolution (außer auf dem Gebiet der Rüstung). Darum spricht Professor Steenbeck auch mit Recht erst von einer ‚Anzahl von Automatisierungsiseln‘ bei uns."

Diese Kostenabschätzung wurde 1971 vorgenommen. Das Zitat stammt aus dem Buch von Jürgen Kuczynski, Wissenschaft Heute und Morgen, Akademie-Verlag, Berlin 1977, Seite 36, einem in jeder Hinsicht empfehlenswerten Buch. Heute wird fast täglich in Zeitungen und Zeitschriften immer wieder von Betrieben und Kombinatn berichtet, in denen automatisierte Fertigungstechniken eingeführt werden und Industrieroboter ihre Arbeit aufnehmen.

Den Rechenschaftsberichten des Zentralkomitees vom VII. bis zum X. Parteitag der SED und den Volkswirtschaftsplänen ist zu entnehmen, daß es in der DDR verstanden wurde, die Vorzüge des Sozialismus mit den Erfordernissen der wissenschaftlich-technischen Revolution zu verbinden.

„Einer der wesentlichsten Vorzüge ist die Planmäßigkeit der Beziehungen zwischen Wissenschaft, Technik und Ökonomie. Diese Planmäßigkeit erlaubt langfristige strategische Konzeptionen der Entwicklung von Wissenschaft und Technik, zum Beispiel für die Mikroelektronik, Robotertechnik, Biochemie, Molekularbiologie und viele andere Disziplinen."*

Auf eine der Auswirkungen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts muß näher eingegangen werden, und zwar auf das Verhältnis von Automatisierung und Arbeitsplatz. „Die Produktivität der Maschine mißt sich daher an dem Grad, worin sie menschliche Arbeitskraft ersetzt." Nach Karl Marx („Kapital", Bd. I, S. 409) ersetzt also die Maschine, natürlich auch die automatische Maschine und der Industrieroboter, nicht den Menschen, sondern die menschliche Arbeitskraft. Es kommt nun darauf an, was mit der freigesetzten, zur Verfügung stehenden Arbeitskraft wird. „Technik ist weder gut noch böse. Das Problem liegt in ihrer Anwendung. In der BRD soll zum Beispiel in den nächsten 15 Jahren jeder siebente Arbeitsplatz von einem Mikroprozessor übernommen werden. Unausbleibliche Folge: Die Dauerarbeitslosenquote wird die Millionengrenze weit übersteigen. In der DDR sollen bis zum Jahre 1985 über 40.000 Industrieroboter und Manipulatoren eingesetzt werden. Damit stehen Zehntausende Produktionsarbeiter für andere wichtige Aufgaben zur Verfügung. Arbeitslos wird bei uns niemand dadurch. Wir treiben den wissenschaftlich-technischen Fortschritt zur Erhöhung des

* Schliwa, H., Ideen, Phantasie, Schöpferum - Potenzen, die ohne Grenzen sind, Tribüne vom 6. März 1981

Leistungswachstums, zum Wohle des Volkes voran. Keiner kann persönlichen Profit daraus schlagen. Unsere Untersuchungen bestätigen ganz klar: Hierzulande fürchtet aus jahrzehntelanger eigener Erfahrung niemand um soziale Geborgenheit. Aber allen kann es aus den verschiedensten Gründen nicht schnell genug vorangehen.**

Sicher kann man immer unzufrieden sein mit dem Tempo auf einem klar vorgezeichneten Weg. Am weitesten fortgeschritten auf dem Gebiet der Robotertechnik ist zur Zeit Japan. In einem japanischen Werk eines Großkonzerns, in dem Industrieroboter selbst wieder Industrieroboter herstellen, sind nur wenige Menschen beschäftigt. Eine Vision utopischer Schriftsteller ist wenigstens zum Teil Wirklichkeit geworden. In menschenleeren Fabrikhallen arbeiten Roboter, geschäftig und zielgerichtet, und das Arbeitsergebnis sind wieder Roboter. Immerhin waren 1983 in Japan 13.000 prozeßflexible Industrieroboter im Einsatz. Selbst bei den Japanern, einem 100-Millionen-Volk, kann man noch nicht von einer Gefährdung der Arbeitsplätze durch die Automatisierung sprechen. Für den einzelnen betroffenen Arbeiter aber bedeutet „Roboter morden Jobs“ grausame Wirklichkeit und Existenzangst, wenn es dazu bereits Millionen Arbeitslose gibt. Solche Ängste und Sorgen kennen wir nicht.

In Diskussionen und Gesprächen ist immer wieder festzustellen, daß es ein großes Bedürfnis nach Verständnis über Wirkungsweise und Innenleben des Rechners gibt. Unsere Großeltern und Eltern haben die Entwicklung vom Volksempfänger zum voluminösen Radioapparat miterlebt und auch die Einführung des UKW-Empfangs, des Stereoempfangs und des Fernsehens verfolgen können. Einige haben noch mit dem Kopfhörer Radio gehört und ein Fußballspiel von 90 Minuten auf einem Fernsehschirm von Postkartengröße angesehen. Alle diese tiefgreifenden, oft revolutionierenden Fortschritte werden in den Auswirkungen vom Rechner, von der Automatisierung und den Industrierobotern übertroffen. Jeder Rechner stellt ein Stück geistige Tätigkeit, ein Stück Gehirn dar. Dieser Griff nach dem Gehirn durch die Möglichkeiten der Mikroelektronik fasziniert und beunruhigt zugleich. Auf dem Weg zum Verständnis und zum richtigen und sicheren Umgang mit der neuen Technik haben wir in diesem Buch viele Beispiele, auch einfacher Art, gewählt, um das Prinzip jeweils darzustellen. Man kann dabei gewissermaßen spielend lernen. Es wird als eins der Wunder der Menschheit betrachtet, daß im 20. Jahrhundert „denkende“ Maschinen hervorgebracht wurden. Zu dem Wunder eines Schachcomputers, einer schachspielenden Maschine, bekommt man allerdings ein ganz

* ebenda

anderes Verhältnis, wenn man das Programm, die Vorgehensweise der Maschine, wenigstens zum Teil kennengelernt hat (Abschnitt „Der mühsame Weg von P nach P“).

Der tiefere Sinn, Schachcomputer zu entwickeln, liegt nicht darin, eine Maschine zu haben, die den Schachweltmeister schlagen kann. Eine solche Maschine, die das doch komplizierte Schachspiel beherrscht, kann auch komplizierte wissenschaftliche oder praktische Probleme lösen.

Mit einem Schachcomputer als Weltmeister wird die jahrtausendealte Geschichte des Schachspiels nicht beendet sein. Bei den jetzigen Schachcomputer-Weltmeisterschaften ist der Eingriff durch die Programmierer untersagt, so wie später einmal der Einsatz der Schachcomputer zur Analyse einer Stellung im Wettkampf dadurch verhindert werden kann, daß zum Beispiel Hängepartien entfallen.

Wir werden lernen müssen, mit der Rechentechnik, mit Rechnern, Programmen und Robotern zu leben.

Wir setzen voraus, daß keiner an Maschinenstürmerei denkt. Zu Beginn der industriellen Revolution sahen die Arbeiter fälschlicherweise die Ursache ihrer Verelendung in den Maschinen und zerstörten sie. Wir haben aus der Geschichte gelernt, daß es auf die Gesellschaftsordnung und die Anwendung der Maschinen zum Wohle aller ankommt. Selbst wenn Vorurteile gegen die neue Technik bestehen, sie da und dort abgelehnt wird, einen Scheiterhaufen für ihre Schöpfer und Erfinder oder Maschinenstürmerei wird es nicht mehr geben. Die Mikroelektronik hat übrigens schon sehr stark in unser Leben Einzug gehalten. Aus dem Kanalwähler am Fernsehgerät wurde ein Tastenschalter, und aus den Tasten wurden Sensoren. Die Entwicklung verlief ganz unmerklich; als gravierender wurde schon die Fernbedienung empfunden, sowohl für Schwarzweiß- als auch für Farbfernsehempfänger, sowohl die Ultraschall- als auch die Infrarot-Fernbedienung. Auch hier wird die Entwicklung als selbstverständlich hingenommen, und keiner wird sich wundern, wenn man in einigen Jahren nur noch Farbfernsehempfänger, in verschiedenen Typen, mit Fernbedienung im Handel zu kaufen bekommt. Im Gegenteil, man wird den Bedienungskomfort als Notwendigkeit und Bedürfnis fordern. Ähnlich ist die Entwicklung bei den Quarzarmbanduhren, die bereits als alltäglich und selbstverständlich betrachtet werden. Daß jeder Wochentag und das Datum stets richtig angezeigt werden, gleich ob Schaltjahr oder ob der Monat 30 oder 31 Tage hat, empfindet bereits jeder als normal. Neulich wurde

sogar der Wunsch (oder gar die Forderung) geäußert, die Uhren sollten bereits so programmiert sein, daß die lästigen Umstellungen auf die Sommerzeit, wohlgemerkt, zweimal im Jahr ist dieser Eingriff notwendig, entfallen.

Es wird schwierig sein, alle schon vorhandenen Möglichkeiten der Mikroelektronik, der Rechen- und Robotertechnik zu realisieren, allein aus ökonomischen Überlegungen. Es wird auch nicht leichtfallen, sich an die Gegebenheiten und das vorhandene Angebot zu gewöhnen und es zu nutzen. Insgesamt gesehen aber werden wir früher oder später feststellen, daß unsere Vorstellungen und Erwartungen von der Entwicklung der informationsverarbeitenden Maschinen weit übertroffen werden.

Spieler und Rechner

4

Rechner als Spielverderber

Die Anwendung der Rechentechnik blieb lange Zeit auf sehr einfache Fälle beschränkt, und vorwiegend wurden die informationsverarbeitenden elektronischen Geräte auf Spiele angewendet. Noch immer wird der Schachcomputer als beeindruckendes Beispiel für ein lernfähiges System angeführt, das dem Menschen vielleicht eines Tages überlegen sein könnte. In der Tat schreibt man einem Schachprogramm im Großrechner bereits heute das Niveau eines Schachgroßmeisters zu, und das bedeutet, daß der Computer für die Mehrzahl der Schachspieler ein nicht zu schlagender Gegner ist.

Die folgenden Beispiele sind auch „Spiele“, aber sie bieten die Möglichkeit, auf prinzipielle Auswirkungen der Rechentechnik, auf philosophische und gesellschaftliche Zusammenhänge einzugehen. Dadurch läßt sich in des Wortes ursprünglicher Bedeutung „spielend“ erkennen und lernen, welche Bedeutung dem Rechner als Denkzeug in unserem Leben zukommt.

Das erste Beispiel ist denkbar einfach. Zwei Spieler, der Spieler A und sein Gegenspieler B, benötigen einen kleinen Gegenstand, den sie vollständig in der geschlossenen Hand verstecken können.

In der Schule benutzten wir zu diesem Spiel einen Radiergummi, es kann natürlich ebensogut ein Pfennig, eine Kugel aus Silberpapier oder ein integrierter Schaltkreis sein. Auch die Spielregeln sind sehr einfach. Jeder Spieler hat die Möglichkeit, verborgen vor den Augen seines Gegners, unterm Tisch oder in der Hosentasche, den Radiergummi in die rechte Hand zu nehmen oder eben nicht. Beide Spieler legen ihre geschlossene rechte Hand auf den Tisch und öffnen sie auf Kommando. Nun gibt es insgesamt vier Möglichkeiten. Beide Spieler haben den Radiergummi in der Hand, beide haben leere Hände. In diesen Fällen gewinnt der Spieler A. Wenn nur ein Spieler sich dazu entschlossen hatte, den Gegenstand in die Hand zu nehmen, ist der Spieler B der Gewinner. Wenn man die leere Hand mit 0 und die

besetzte Hand mit 1 bezeichnet, kann man das folgende Schema für die Spielregeln aufstellen:

Spieler A	Spieler B	Gewinner
0	0	A
1	1	A
0	1	B
1	0	B

Jeder Sieg bedeutet einen Pluspunkt. Bei zehn Spielen konnte es durchaus passieren, daß es unentschieden 5:5 stand. Wir hatten schnell herausgefunden, daß man die Anzahl der Spiele erhöhen muß, um einen eindeutigen Sieger zu ermitteln. Ein einfaches Spiel wurde bei uns deshalb mit 50 Runden angesetzt. In einer kleinen Pause von 5 Minuten zwischen zwei Unterrichtsstunden war so ein Spiel immer möglich. Und jeder hatte die gleiche Chance zu gewinnen. So dachten wir jedenfalls. Um zu gewinnen, muß ich das gleiche tun wie mein Gegenspieler. Für die Runde 1 wähle ich den Radiergummi, nach dem Kommando „Eins, zwei drei - und öffnen!“ kann ich nur feststellen, ich habe verloren. Mein Gegenspieler hatte sich für 0 entschlossen. Und nun kommen meine Überlegungen vor der Runde 2: B hatte 0, er wird wechseln, wird 1 wählen, weil er annimmt, ich wechsle ebenfalls und habe dann 1, er hätte wieder gewonnen, also wechsle ich nicht, denn dann haben wir beide 1, und ich gewinne, oder er wechselt nicht, um meine Entscheidung, nicht zu wechseln, auszunutzen, um wieder zu gewinnen. Ich denke..., daß er denkt..., weil ich denke..., daß er nicht denkt..., weil er denkt..., und so können beide Spieler immer weiter denken. Die Gedankenkette kann beliebig lange fortgesetzt werden, aber schließlich muß das Spiel in die nächste Runde gehen. Nach drei bis fünf Sekunden sollte sich jeder entschlossen haben. Das Ergebnis der ersten Runde ist zufallsbedingt. Ab der zweiten Runde setzen also Überlegungen ein, die das Ergebnis von Runde 1 berücksichtigen. Nach 50 Runden steht es aber nun eindeutig fest, wessen Überlegungen besser, richtiger waren. Ein unentschiedenes Spiel 25:25 ist äußerst selten. Übliche Ergebnisse liegen zwischen 20 und 30 Siegen in einem Spiel mit 50 Runden. Bei diesen Ergebnissen pfl egten wir als Schüler auf Tagesform oder Unachtsamkeiten zu verweisen. Auf eine Überlegenheit des anderen, dem man mit 20:30 unterlegen war, zu schließen, hielten wir für nicht angebracht. Mit welchem heiligem Ernst wir dieses Spiel betrieben, ist aus einer Überlegung zu ersehen, die wir heute, 25 Jahre später, als statistische Auswertung bezeichnen würden. Wenn man, ohne sich unterlegen zu fühlen, gegen denselben Klassenkameraden von 10 Spielen 8 Spiele (1 Spiel hat 50 Runden) verliert, sehr knapp allerdings, weil man ja jedesmal fast 25 Punkte erreicht, dann kann

man schon stützig werden. Man sollte in einem solchen Fall zugeben, daß der Gegenspieler, wenn auch nur in geringem Maße, aber doch zweifelsfrei und erwiesenermaßen überlegen ist, daß seine Überlegungen zutreffender waren als die eigenen. Wenn man in einem Spiel allerdings nur 15 Siege erzielt, also 15:35 unterliegt, dann sollte man die Überlegenheit des Gegenspielers erst recht anerkennen.

Wer da annimmt, der erfolgreichere Spieler könne „Gedanken lesen“, irrt. Es muß noch einmal darauf hingewiesen werden: Jeder Spieler kann sich frei entscheiden, ob er 0 oder 1 wählt. Trotzdem ist zu beobachten, daß ein Spieler im Verlauf eines Spieles von 50 Runden einen Vorsprung erringt und sich damit als der erfolgreichere erweist. Ich kann auch von Spielen mit 1000 Runden berichten, in denen die 20 x 50 Runden nahezu gleiche Ergebnisse aufwiesen und der Vorsprung des einen Spielers immer mehr anwuchs.

Es liegt nahe, darüber nachzudenken, ob die in diesem Spiel erfolgreichen Schüler auch gute Schüler waren. Nun, die Punkte im Spiel sind eine Sache und die Zensuren eine andere. Der König des Spiels, der uns allen weit überlegen war, hatte durchschnittliche bis schlechte Zensuren, studierte später Wirtschaftswissenschaften und ist heute ein anerkannter und erfolgreicher Betriebsleiter. Der Primus der Klasse wurde im Spiel in das hintere Mittelfeld eingeordnet. Das Spiel und sein Ergebnis charakterisieren also lediglich die geistige Überlegenheit auf einem Gebiet, nämlich bei diesen oder artverwandten Spielen mit ähnlichen Spielregeln.

Wichtig und interessant bleibt die Tatsache:

Beide Spieler können sich frei entscheiden, und trotzdem erweist sich ein Spieler dem anderen bei völliger Chancengleichheit als überlegen, oft sogar mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit.

Natürlich wollten wir wissen, wie so etwas möglich ist. Als erstes stellten wir fest, wie die erste Runde zu gewinnen ist. Wenn einem Neuling erklärt wird, wie die Spielregeln sind, und man ihm den Radiergummi in die Hand gibt, ist davon auszugehen, daß sich beim ersten Vorzeigen der Radiergummi (noch) in der Hand befindet. Dadurch kann man die eigene Entscheidung so wählen, daß man mit hoher Wahrscheinlichkeit die erste Runde gewinnt. In der zweiten Runde wird der Anfänger sofort wechseln, weil er ja gerade mit dem Gegenstand in der Hand verloren hat. Damit ist auch Runde 2 gewonnen. Doch mit dem Erfassen des Spieles beginnen die Überlegungen, die zeigen werden, wer von den beiden Spielern tatsächlich überlegen ist.

In irgendeiner Weise faszinierend ist die Tatsache, daß die freie Entscheidung eines Menschen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit vorhergesagt werden kann, selbst wenn er sich bemüht, sich nicht durchschauen zu lassen.

Die Folgen sind zu bedenken. Wir haben im alltäglichen Leben ständig Entscheidungen zu treffen. Wer uns also überlegen ist, indem er unsere Entscheidungen Vorhersagen kann, hat sich damit erhebliche Vorteile verschafft. Viele Entscheidungen im Leben lassen sich auf solche Alternativentscheidungen (0 oder 1) reduzieren. Jeder Schüler erlebt täglich die Situation, ob er von dem Lehrer zur mündlichen Leistungskontrolle aufgefordert wird (1) oder nicht (0). Der Lehrling, der Schüler, das Kind, aber auch jeder Mitarbeiter im Berufsleben und jedes Familienmitglied haben ihr Tun ständig zu überdenken, ob recht und richtig (1) oder unrecht und falsch (0) gehandelt wurde. Jeder verantwortungsbewußte Leiter und Vorgesetzte muß überlegen, wie er seine Mitarbeiter leitet. Bei dem einen wirkt ein hartes Wort Wunder, und strenge Termine führen zur gewünschten Reaktion. Ein anderer will freundlich gebeten werden, und jede weitere Mahnung wird bereits als Vertrauensbruch aufgefaßt.

Ein weiteres Beispiel kommt aus der Welt des Sports. Wir beziehen uns auf die Geschichte „Die 88. Minute“ aus unserem Buch „Keine Zeit, keine Zeit“, nl-konkret, Bd.41. Der Torwart hat bei einem Strafstoß die Möglichkeit, den Ball rechts oder links zu erwarten. Der Schütze, in dem Beispiel der bewährte und bekannte Romero aus Brasilien, hat bereits viele Elfmeter getreten, so daß der Torwart eine berechnete Chance zu der Vorhersage hat, in welche Ecke Romero in dieser entscheidenden 88. Minute schießen wird. Danach kann er seine Entscheidung richten, sich auf eine Ecke konzentrieren und dadurch seine Chancen, den Strafstoß zu halten, wesentlich verbessern.

Doch nun wieder zurück zu unserem „Radiergummispiel“. Der Gegenspieler (Spieler B) würde sich sicherlich nicht in seiner Entscheidungsfreiheit eingeengt fühlen, wenn der Spieler A ihn bäte, einen Rechner benutzen zu dürfen. Wie könnte er auch etwas dagegen haben, kann er selbst doch unter den gleichen Bedingungen weiterspielen wie zuvor. Um so größer wird sein Erstaunen sein, daß er jetzt in den folgenden Spielen ständig verliert, und zwar deutlich. Der Spieler A mit seinem Hilfsmittel, einem Denkzeug, ist ihm klar überlegen und erreicht stets Resultate um 35:15. Bei einem solchen Tatbestand wäre sicherlich die erste Reaktion, jegliche Hilfsmittel generell zu verbieten. Derartige Verbote sind ernsthaft nicht in Erwägung zu ziehen.

Jede Art von Arbeitsmitteln ist ja dazu geschaffen worden, die körperlichen und geistigen Fähigkeiten des Menschen zu verbes-

sern. Mit einem Verbot ist die Anwendung der Arbeitsmittel, Werkzeuge und Denkzeuge nicht aufzuhalten. Der Aufstand der Weber ist sozial und menschlich sehr verständlich, ihr Kampf und die sinnlose Zerstörung der neuen Arbeitsmittel, der Webstühle, und der neuen Energiemaschine, der Dampfmaschine, mutet an wie der Kampf von Don Quijote gegen die Windmühlenflügel. Mit Verboten oder gar der Vernichtung kann man den wissenschaftlich-technischen Fortschritt höchstens verzögern, aber nicht aufhalten. Die Ergründung der Arbeitsweise des technischen Systems, der Maschine, die offensichtlich Entscheidungen Vorhersagen kann, ist ein empfehlenswerterer und sicherlich erfolgversprechenderer Ansatzpunkt als ein Verbot. Denn wenn man das Vorhersageverfahren kennt, kann man seine Entscheidungen danach richten, und die Überlegenheit durch die Maschine wird wieder in eigene Überlegenheit umgewandelt.

Noch einmal zurück zu den Spielern. Wenn man einen Spieler befragt, der häufig gewinnt, so erhält man einen Einblick in seine Denkweise. Der erfolgreiche Spieler registriert jede Entscheidung des Gegenspielers, achtet auf jede Eigenart und nutzt sie aus. Er merkt sofort, ob der Gegenspieler 0 oder 1 bevorzugt, ob er Hemmungen hat, mehrmals hintereinander die gleiche Entscheidung zu treffen, ob er darauf achtet, möglichst gleichmäßig und gleich häufig 1 oder 0, also Radiergummi und leere Hand, vorzuzeigen. Auf der Grundlage dieses Wissens, sorgfältig gespeichert und ausgewertet, kann er sich eine Spielstrategie aufstellen und sich dadurch Vorteile verschaffen. Die Gewinnstrategie setzt also voraus, daß der Gegenspieler in irgendeiner Weise gesetzmäßig handelt. Wir hatten aber bis jetzt betont, daß jeder Spieler sich frei entscheiden kann. Jeder wird auch darauf hingewiesen, daß er sich frei entscheidet. Ich höre schon die Proteste und die vielen Argumente, die alle dafür zu sprechen scheinen. Allen Diskussionen, Protesten und Argumenten zum Trotz, es ist eine erstaunliche und beweisbare Tatsache, daß kein Mensch, kein Spieler völlig frei, völlig unbeeinflusst seine Entscheidung trifft. Bei jeder seiner Entscheidungen werden seine Gefühle, seine individuellen Erfahrungen, seine Überlegungen und seine Gedanken von ihm unbewußt mit berücksichtigt. Jede Entscheidung hat also eine emotionale und eine rationale Komponente. Wer sich überwiegend von seinen Gefühlen leiten läßt, ist in diesem Spiel eindeutig im Nachteil.

Ein guter Spieler erkennt schnell die „gefühlsmäßige Handschrift“ des Gegenspielers und zieht Vorteile daraus.

Die unterschiedlichen Charaktere der Menschen, der Spieler, sind also in der Art ihrer Entscheidungen und Entscheidungsfol-

gen wiederzufinden. Jeder Mensch hat sozusagen seine eigene Handschrift, und es kommt darauf an, diese Handschrift zu enträtseln. Für diese Handschrift ist der Begriff der Markowschen Kette eingeführt worden. Der sowjetische Mathematiker A. A. Markow (1856-1922) hatte durch statistische Untersuchungen festgestellt, daß es in einem fortlaufenden Text eine Wahrscheinlichkeitsfolge der Worte gibt. In diesem Zusammenhang ist es zu verstehen, wenn man von der charakteristischen Handschrift, der Markowschen Kette eines Dichters oder Schriftstellers spricht. So würde auch eine Analyse dieses Buches zeigen, welche Kapitel jeweils einem der beiden Autoren zuzuordnen sind. Auch bei den Komponisten findet man in den Tonfolgen der Kompositionen Markowsche Ketten. Eigentlich könnte auf einen Ton jeder beliebige Ton folgen, allerdings in dem einmal gewählten kompositorischen Rahmen. Aber die Handschrift, die Eigenart des Komponisten, läßt bestimmte bevorzugte Tonfolgen, Melodien, erkennen, die der Komponist aus der Vielzahl der möglichen Tonfolgen auswählt. Wenn man die Handschrift eines Komponisten kennt, kann man sie einem Computer als Programm eingeben und den Kompositionsstil nachahmen. Der Computer stellt dann Tonfolgen zusammen, das heißt, er komponiert wie Johann Sebastian Bach, wie Richard Strauß, wie Dmitri Schostakowitsch, wie Arnold Schönberg oder wie Ludwig van Beethoven. Wenn man die Musik hört, würde man sie diesen Komponisten zuordnen, ohne daß sie von ihnen komponiert wurde. Auch hier ist die Frage interessant, ob man den Computerkomponisten verbieten oder die Kompositionen ablehnen sollte und wie man sich überhaupt zur Kunst aus dem Computer verhalten sollte.

Wenn man also bei Kompositionen, die aus einer Vielzahl von Tönen bestehen, Markowsche Ketten aufspüren kann, so müßte es doch erst recht gelingen, bei einer Folge von nur zwei Möglichkeiten eine typische Entscheidungsfolge zu finden. Ein Denkzeug, das in der Lage ist, solche Handschriften zu erkennen, ist der Binärprädiktor. Der Name Prädiktor bedeutet „Vorhersager“, und binär deutet an, daß es sich um eine zweiwertige Zahlenfolge, die lediglich aus 1 und 0 besteht, handelt.

Der Binärprädiktor wertet die vorliegenden Entscheidungen eines Spielers aus und ist dann in der Lage, die folgende Entscheidung vorherzusagen. Und das mit einer so großen Sicherheit, daß er jedem Gegenspieler ohne Binärprädiktor überlegen ist.

Die Arbeitsweise des Prädiktors ist am besten an einem Beispiel zu erklären. Die angegebene Zahlenfolge stellt die tatsächlichen Entscheidungen eines Spiels mit 50 Runden dar.

1	0	1	1	1	0	0	1	0	1
1	0	1	0	0	1	0	1	0	0
1	0	1	1	0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	1	0	1	0	0	1
0	0	1	0	1	1	0	1	0	1

Die ersten beiden Entscheidungen werden erfahrungsgemäß sehr häufig gewählt und würden schon zu einem 2:0-Punktvorsprung führen. Dann geht der Prädiktor so vor, daß er gewissermaßen ein Fenster über die bisherigen Entscheidungen legt, und zwar so, daß die jeweils letzten fünf Entscheidungen zu sehen sind. Das erste Fenster würde 10111 zeigen, Entscheidung 1 überwiegt, so daß mit hoher Wahrscheinlichkeit die Entscheidung 0 zu erwarten ist und tatsächlich zum Punktgewinn führt. Die gleiche Überlegung gelingt auch beim zweiten und vierten Fenster, während beim dritten Fenster eine falsche Vorhersage zustande kommt. Auf diese Weise gewinnt der Spieler mit dem Prädiktor mit großem Vorsprung. Gleichzeitig verfolgt der Prädiktor noch einen anderen Weg, der alle bisherigen Entscheidungen berücksichtigt. Die 50 Entscheidungen werden zunächst in einer anderen Weise geschrieben:

1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0		
		1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0		
			1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0		
			1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0		
			1	0	0	1	0	1	1				0	1	0	1

Was vorher so regellos aussah, läßt nun eine deutliche Gesetzmäßigkeit erkennen, nämlich viermal eine Gruppe mit sieben Entscheidungen und dreimal eine Gruppe mit vier Entscheidungen. Wenn diese Zusammenhänge erkannt sind, ist natürlich eine Vorhersage einfach und der Gewinn gesichert. Das Vorgehen des Binärprädiktors kann man auch einem programmierbaren Rechner eingeben. Zur Erinnerung: Wir waren davon ausgegangen, daß der Einsatz eines Denkzeugs als Hilfsmittel nicht beanstandet wurde, weil es ja die Entscheidungen der Spieler nicht beeinflusst. Nun stellt sich heraus, daß der Spieler mit dem Denkzeug erhebliche Gewinnvorteile hat. Das Denkzeug hebt also die Chancengleichheit vollkommen auf. Erst wenn beide Spieler einen Prädiktor besitzen, wäre die Chancengleichheit wiederhergestellt. Das setzt natürlich voraus, daß beide Spieler die Möglichkeit haben, einen Rechner einzusetzen. Wenn das nicht der Fall ist, kann lediglich für kurze Zeit zur Aufrechterhaltung der Chancengleichheit die Regel oder das Verbot aufgestellt werden, auf Denkzeuge zu verzichten. Übrigens wird aus gerade diesem Grunde in den Schulen noch auf den umfassenden Einsatz von Taschenrechnern verzichtet. Es ist möglich, bei dem Spiel die Chancen-

gleichheit auch auf andere Weise zu erreichen, indem man nämlich die Vorteile durch den Rechner ausschaltet. Man würfelt jede Entscheidung aus, natürlich ohne daß es der Gegenspieler sieht. Jede gerade Augenzahl beim Würfeln entspricht einer 1, jede ungerade einer 0. Aus einer solchen Zufallsfolge kann selbst der beste Binärprädiktor keine Gesetzmäßigkeit herausfinden, da es keine gibt. Darüber hinaus kann auch ein Prädiktor nicht Vorhersagen, welche Entscheidung der würfelnde Gegenspieler treffen wird, weil dieser selbst diese Entscheidung gar nicht kennt und dem Würfel überläßt.

Die Beschäftigung mit einem einfachen Spiel bringt einige Erkenntnisse und Konsequenzen.

Die neuen Arbeitsmittel, die hochwertigen elektronischen Geräte, die wir Denkzeuge nennen, verschieben erheblich die Chancengleichheit. Sie setzen allerdings die Kenntnisse für ihren Einsatz, den qualifizierten Umgang mit ihnen, voraus.

Die mikroelektronische Revolution, ausgelöst durch die vielfältige Anwendung elektronischer Geräte im beruflichen und privaten Alltag, setzt nicht nur die notwendige Qualifizierung des Anwenders voraus. Es gibt gegen diese generelle Nutzung auch keinen Schutz, denn Verbote sind unangebracht, eigentlich gar nicht zu erwägen. Der wissenschaftlich-technische Fortschritt ist nicht aufzuhalten, höchstens zu verzögern.

Die Qualifizierung, die sinnvolle Beschäftigung, der qualifizierte Umgang und der zweckentsprechende Einsatz der Rechentechnik im weitesten Sinn weisen den Weg zur Bewältigung der mikroelektronischen Revolution. Viele Beispiele in diesem Buch, vor allem in den Abschnitten „Die Geschichte vom Computer-Dschinni“ und „Rechner und Roboter“, sollen zum Verständnis der Rechentechnik beitragen.

Spiel des Lebens

Für das folgende Spiel, das als Bionikspiel „Life“ bezeichnet wird, ist kein Gegenspieler erforderlich. Das Spiel wurde 1970 von dem britischen Mathematiker John Horton Conway erfunden. Life bedeutet im Englischen auch Lebensweise, Lebensbeschreibung. Dieser Name für das Spiel ist zustande gekommen durch die erstaunliche Übereinstimmung der Spielfiguren und natürlich der

Spielregeln mit der Entwicklung lebender Organismen und den „Lebensregeln“.

Um das Wesen des Spieles erkennen zu können, braucht man zunächst lediglich einen Bleistift und einen Bogen kariertes Papier. Jedes Kästchen stellt eine Zelle dar. Die Zelle kann leer sein, dann wird sie als „tot“ bezeichnet. Ein Kästchen, in das mit dem Bleistift ein Punkt eingezeichnet wird, ist eine „lebende“ Zelle. Im Anschluß an das vorhergehende Beispiel hätten wir die toten Zellen mit 0 und die lebenden Zellen mit 1 zu bezeichnen. Jede Ansammlung von lebenden Zellen, die benachbart sind, stellt einen Organismus dar.

Für das Spiel haben die benachbarten Zellen eine große Bedeutung. Nicht nur für das Lebensspiel, sondern für das Leben selbst ist es eine Tatsache: „Es kann der Frömmste nicht in Frieden leben, wenn es dem bösen Nachbarn nicht gefällt.“* Jede Zelle hat acht Nachbarzellen, vier, die mit einer Seite des Ausgangsquadrats übereinstimmen, und vier, die mit einem Punkt an das Ausgangsquadrat grenzen.

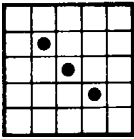
Sehr empfehlenswert ist es, ein Schachbrett oder noch besser das größere Go-Brett zu benutzen und mit schwarzen Steinen vom Damespiel zu belegen, um die lebenden Zellen zu kennzeichnen. Die Spielregeln sind denkbar einfach:

1. Geburt: Wenn eine tote Zelle genau drei lebende Nachbarzellen hat, wird sie „befruchtet“ und wird zur lebenden Zelle.
In jedem leeren Quadrat mit genau drei Nachbarn wird ein Stein „geboren“.
2. Überleben: Wenn eine lebende Zelle zwei oder drei lebende Nachbarzellen hat, fühlt sie sich wohl und bleibt am Leben.
Jeder Stein mit zwei oder drei Nachbarn „überlebt“ für die nächste Generation.
3. Tod: Wenn eine lebende Zelle keinen oder nur einen lebenden Nachbarn hat, stirbt sie an Vereinsamung. Wenn sie vier oder mehr lebende Nachbarn hat, erstickt sie und stirbt ebenfalls.
Ein Stein mit keinem oder nur einem Nachbarn „stirbt wegen Isolation“, ein Stein mit vier oder mehr Nachbarn „stirbt wegen Übervölkerung“.

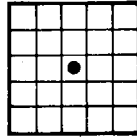
Die Spielregeln, die Conway als die „genetischen Gesetze“ über Geburt, Überleben und Tod bezeichnet hat, müssen gleichzeitig angewendet werden. Am besten sind einige Beispiele.

* Schiller, F., Wilhelm Tell, Leipzig 1970, S. 65

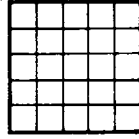
Ausgangsgestalt



1.Generation

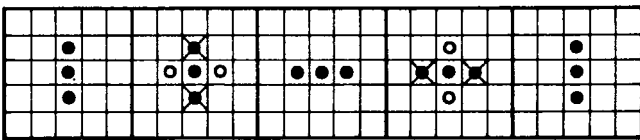


2. Generation



Von der Ausgangsgestalt werden die lebenden Zellen untersucht auf Überleben oder Tod. Die rechte und die linke belebte Zelle haben je einen Nachbarn, also sterben sie an Vereinsamung. Die mittlere Zelle hat zwei Nachbarn, sie überlebt. Von der Ausgangsgestalt bleibt lediglich eine Zelle in der 1. Generation am Leben. In der 2. Generation ist der ursprüngliche Organismus verschwunden. Die Geburt einer neuen lebenden Zelle erfolgt nicht. Organismen, bestehend aus drei diagonal angeordneten zusammenhängenden lebenden Zellen, sterben aus.

Ausgangsgestalt

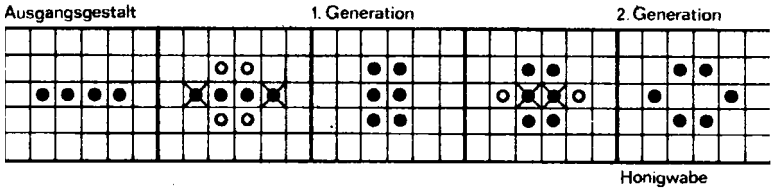


Blinker

Anders ist das „Lebensschicksal“ eines Organismus, der ebenfalls aus drei lebenden Zellen besteht, die aber zeilen- oder spaltenweise Zusammenhängen. Von diesem Organismus überlebt für die nächste Generation nur die mittlere Zelle, die beiden äußeren sterben an Vereinsamung, weil sie nur eine lebende Nachbarzelle haben. Aber es treten zwei Geburten auf, nämlich in den leeren Zellen, die mit einer Seitenkante an die mittlere lebende Zelle angrenzen. Von Generation zu Generation sterben demnach zwei Zellen, und zwei Zellen werden belebt. Man erhält einen sich periodisch ändernden Organismus, der nach jeweils zwei Generationen die gleiche Gestalt annimmt. Diese oszillierende Figur hat den Namen Blinker erhalten.

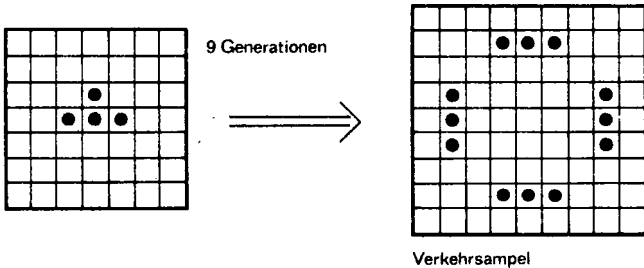
Die jeweils zwischen den Generationen eingezeichneten Bilder zeigen die Vorgehensweise, um die jeweils nächste Generation abzuleiten. Es hat sich als günstig erwiesen, folgendermaßen vorzugehen:

1. Alle lebenden Zellen werden auf Überleben und Tod untersucht. Die überlebenden Zellen bleiben unverändert, die sterbenden Zellen werden mit dem Bleistift durchkreuzt.
2. Alle toten Zellen werden auf Geburt untersucht. Die Geburt einer neuen lebenden Zelle wird als Kreis eingezeichnet.
3. Nur die verbleibenden schwarzen Punkte und die Kreise werden übertragen und ergeben die nächste Generation.



Das nächste Beispiel besteht aus vier lebenden Zellen, die in einer Zelle angeordnet sind. Die Zwischenbilder zeigen wieder die Entstehung der nächsten Generation. Ab der 2. Generation wird eine Anordnung erreicht, die sich nicht mehr ändert. Diese stabile Figur trägt die Bezeichnung Honigwabe.

Nun sollte aber jeder selbst einige einfache Organismen in ihrer Entwicklung verfolgen, Als Ausgangsgestalt ist die folgende Viererkombination zu empfehlen, die nach neun Generationen in vier voneinander unabhängige Blinker übergeht und den Namen Verkehrsampel erhalten hat.

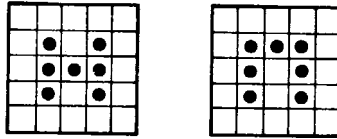


Wer auf einem Go-Brett mit schwarzen Steinen die Ausgangsgestalt aufbaut und dann die nächste Generation ableitet, geht am besten so vor:

1. Alle Steine werden auf Überleben und Tod untersucht. Die überlebenden Steine bleiben unverändert auf dem Brett liegen. Sterbende und zu entfernende Steine, die also in der nächsten Generation verschwinden, bekommen einen zweiten schwarzen Stein aufgelegt.
2. Die Quadrate, in denen für die nächste Generation ein schwarzer Stein geboren wird, werden durch einen aufgelegten weißen Stein gekennzeichnet.
3. Zwei übereinanderliegende Steine werden entfernt und weiße Steine durch schwarze ersetzt.

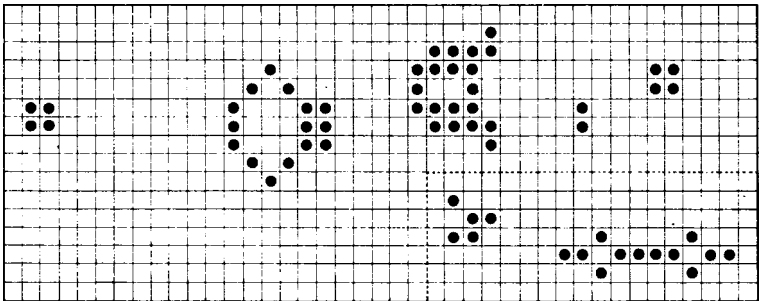
Die Ableitung jeder Generation sollte mehrfach überprüft werden, denn bereits die Verschiebung nur eines Steines kann erhebliche Folgen haben. Der Buchstabe H auf der folgenden Abbildung findet ein schnelles Ende, während der Buchstabe π erst

nach 172 Generationen eine oszillierende Figur ergibt, die aus mehreren unabhängigen Bildern besteht.



Aus den wenigen Beispielen geht hervor, daß es Ausgangskonfigurationen gibt, die verschwinden, die periodisch wiederkehren und die in eine stabile Form übergehen. Das Lebensschicksal eines Organismus ist nicht so ohne weiteres aus der Ausgangsgestalt ablesbar. Gerade das macht das Spiel so interessant. Die wenigen und wirklich einfachen Spielregeln sind von Conway so geschickt ausgewählt und festgelegt worden, daß noch viel mehr Möglichkeiten bestehen, als die bisherigen Beispiele belegen. Als Conway im Jahre 1970 das Spiel erfand und veröffentlichte, wurde noch nach einer Ausgangsgestalt gesucht, die unbegrenzt wächst. Für sie setzte man sogar einen Preis aus.

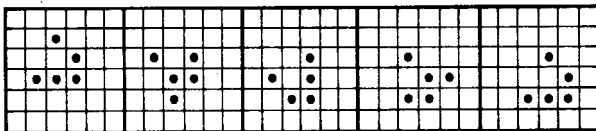
Die Ausgangsgestalt stellt einen räumlich feststehenden Oszillator dar. Nach 29 Generationen nimmt die sogenannte Segler-Kanone wieder die ursprüngliche Gestalt an und gibt dabei einen Segler ab. Dieser Segler ist unter der Segler-Kanone abgebildet. Er besteht aus fünf lebenden Zellen. Nach zwei Generationen geht der Segler in sein um 90 Grad gedrehtes Spiegelbild und nach weiteren zwei Generationen in seine Ursprungsgestalt über. Dabei ist er diagonal um ein Kästchen gewandert (ein Kästchen nach rechts und ein Kästchen nach unten). Die Segler-Kanone



Segler-Kanone

Segler

Fresser



Segler

„schießt“ also nach jeweils 29 Generationen einen Segler ab, der sich nach jeweils vier Generationen diagonal um ein Kästchen von der Segler-Kanone wegbewegt. Dadurch wächst die Anzahl der schwarzen Steine (lebenden Zellen) ins Unermeßliche. Das unbegrenzte Wachstum kann man aber wieder verhindern, indem man der Segler-Kanone einen sogenannten Fresser zuordnet. In die Abbildung der Segler-Kanone ist der Fresser mit seinen lediglich 12 lebenden Zellen mit eingezeichnet worden. Durch den Fresser werden die ständig neu entstehenden Segler vernichtet, ohne daß der Fresser sich selbst verändert.

Die Ausgangskonfigurationen lassen sich nun in verschiedene Grundtypen einordnen:

1. Verschwindende Formen: Nach einer endlichen Anzahl von Generationen sind alle lebenden Zellen verschwunden. Der Organismus ist ausgestorben.
2. Periodisch wiederkehrende Formen: Nach einer bestimmten Anzahl von Generationen wird wieder eine Gestalt erreicht, die in der Entwicklung des Organismus schon einmal angenommen wurde, ohne daß weitere Veränderungen aufgetreten sind (Oszillator, zum Beispiel Blinker).
3. Stabile Formen: Die erreichte Gestalt bleibt für alle weiteren Generationen unverändert bestehen (Honigwabe).
4. Wandernde Formen: Nach einer endlichen Anzahl von Generationen hat der Organismus seine ursprüngliche Form angenommen und sich horizontal oder vertikal bewegt (Raumschiff, s. S. 59 oben).
5. Erzeugende Formen: Nach einer endlichen Anzahl von Generationen hat der Organismus seine ursprüngliche Gestalt angenommen und dabei andere Organismen erzeugt (Kanone).
6. Vernichtende Formen: Nach einer endlichen Anzahl von Generationen hat der Organismus wieder seine ursprüngliche Gestalt angenommen und hat, ohne sich selbst zu verändern, andere Organismen aufgefressen (Fresser).

Wenden wir uns nun noch einmal den Spielregeln zu. Die Übereinstimmung mit den genetischen Gesetzen ist tatsächlich erstaunlich. Bis jetzt haben wir bewußt immer von einem Organismus gesprochen, der aus lebenden Zellen besteht und dessen Lebensschicksal verfolgt wurde. Man kann aber auch jedes Kästchen als den notwendigen Lebensraum eines Menschen, eines Individuums, betrachten. Dann verfolgt man von Generation zu Generation die Entwicklungsgeschichte einer Ansammlung von Menschen, und zwar unter Berücksichtigung von bestimmten Ausgangskonfigurationen.

Die Anfangsbedingungen sind struktureller Natur. Unter Beachtung einfacher Grundregeln wird dann ein komplexes Sy-

stem abgeleitet, das nicht nur neue Strukturen hervorbringt, sondern auch hinsichtlich des Zeitverhaltens unterschiedliche Eigenschaften aufweisen kann. Hinzu kommt, daß den örtlichen und zeitlichen Zusammenhängen auch ein funktionelles Verhalten zugeordnet werden kann.

Aus den Beispielen und den aufgeführten Grundtypen der Strukturen, zu denen eine bestimmte Funktion gehört, leitet sich ebenfalls die Berechtigung ab, von einem Lebensspiel zu sprechen. Wir wollen an dieser Stelle darauf hinweisen, daß „Life“ ein mathematisches Spiel ist. Um so erstaunlicher ist die gesellschaftliche und menschliche, vielleicht allzu menschliche Interpretation der Figuren und ihrer Eigenschaften sowie ihres Verhaltens. Vereinsamung und Überbevölkerung führen zum Tode. Von Isolation hört man oft reden und meint damit auch die Vereinsamung durch anonymes Wohnen, zusammen mit vielen anderen Mietern in einem Hochhaus. Bei einem Besuch anlässlich der Jugendweihe in einer Dreiraumwohnung weiß jeder nach kürzester Zeit, was Überbevölkerung ist, und versteht die Spielregel von Conway. Manche sagen, daß die kritische Masse Mensch in einer Neubauwohnung sehr schnell erreicht ist und wie bei einer Kettenreaktion eine Explosion oder zumindest Aggressionen zu befürchten sind. Tröstlich ist die Spielregel für die Geburt, die auf dem karierten Papier oder auf dem Go Brett ohne Komplikationen abläuft. Und das sogar unter der Bedingung, daß doch drei belebte Nachbarzellen, drei und nur drei Menschen dazu notwendig sind. Man bedenke einmal, welche Komplikationen bei der Partnerwahl und im Zusammenleben in der Familie auftreten können, bis ein neuer Mensch geboren wird. Conway wird wissen, warum er keine Regel für die Scheidung in die Gesetze der Entwicklung einbezogen hat, offensichtlich ist die Formulierung einer derartigen Spielregel zu schwierig, noch dazu bei drei Partnern.

Die Verlockung ist groß, dem mathematischen Spiel „Life“ immer mehr Zusammenhänge und Übereinstimmungen mit dem menschlichen Leben zu unterstellen. Schon der Name vieler Figuren suggeriert immer wieder, die Bezüge zum Leben herzustellen. Dabei sollte man nicht vergessen, was tatsächlich vorliegt. Aus bestimmten, noch frei wählbaren Anfangsbedingungen, der Ausgangsgestalt, werden unter Berücksichtigung einfacher Gesetze die Veränderungen ebendieser Ausgangskonfiguration abgeleitet. Durch die einmal gewählten Anfangsbedingungen liegt dann die gesamte Entwicklung, einfach alles, fest. Einen solchen Vorgang nennt man einen determinierten Prozeß.

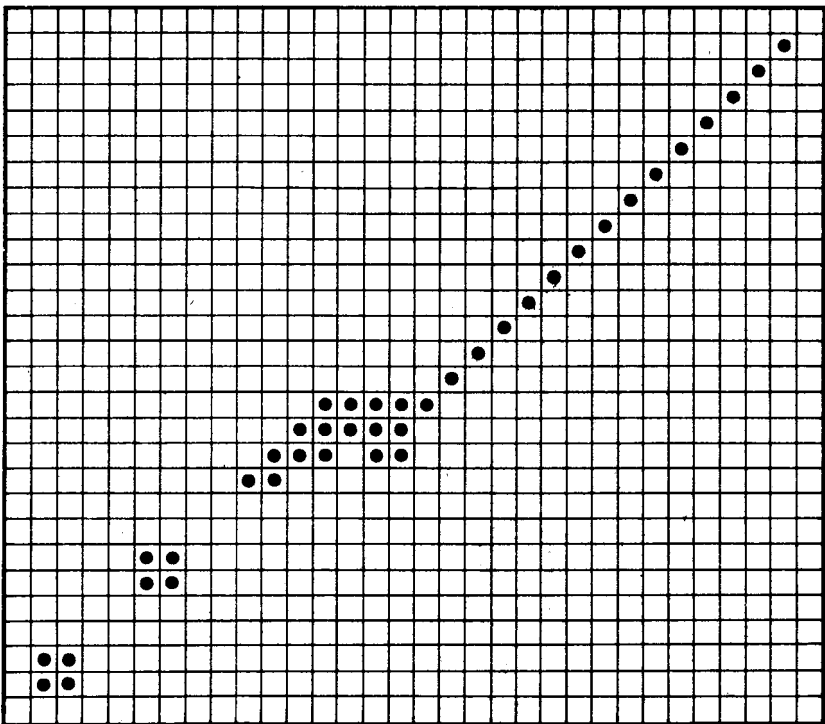
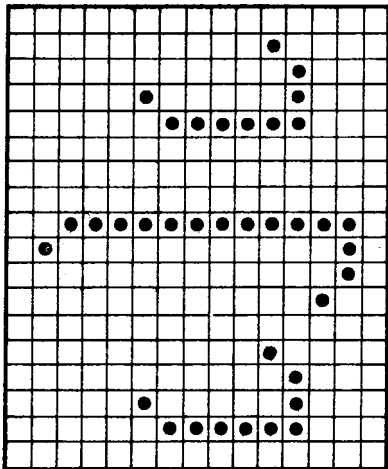
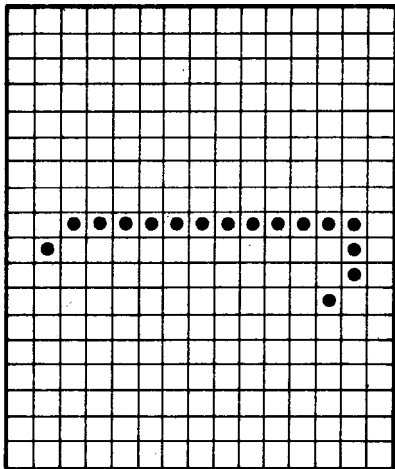
Da aus einer Figur, unter Beachtung der Spielregeln, unausweichlich und feststehend die nächste Figur folgt, bleibt in die-

sem Sinn kein Raum für Überraschungen. Dem Lebensspiel fehlt also der schöpferische Einfall, das Zufallsereignis, wenn man von dem Erfinden immer neuer Ausgangskonfigurationen und ihren oft faszinierenden Entwicklungen absieht. Überraschend sind die Figuren nur insofern, als aus der Ausgangsgestalt nicht sofort und unmittelbar zu ersehen ist, was daraus entsteht. Aus einer Figur, die zu einer beliebigen Generation gehört, kann man übrigens nicht auf die Ausgangsgestalt oder wenigstens auf die vorhergehende Generation schließen. Das ist wieder eine Analogie zum Lebenslauf, man kann eben die Zeit nicht zurückdrehen. Es bleibt, bei allen Analogiebetrachtungen, ein Spiel, das aber gerade durch die Analogien einen sehr ernsten Hintergrund hat. Trotz der einfachen Spielregeln, trotz der einfachen Spielfläche mit Kästchen, die als Zellen nur zwei Merkmale haben, ist es gelungen, sehr wesentliche Eigenschaften des Lebens und seiner Entwicklung nachzubilden.

Es existieren sehr viele solcher Modelle, in denen mit diesen einfachen Voraussetzungen Teile oder Bereiche des Lebens nachgeahmt werden. Mit solchen Simulationsmodellen mit weitaus komplizierteren Kästchen und mit mehr als nur zwei Merkmalen kann man zum Beispiel Krankheitsbilder imitieren, ihre Ursachen und Therapiemöglichkeiten ermitteln.

Die theoretischen Betrachtungen solcher zellularen Automaten sind nur mit großen Rechnern möglich und stellen ein interessantes und aufwendiges Arbeits- und Forschungsgebiet der Biologie und Medizin dar. Diese Entwicklung hat die Biologie und Medizin als Wissenschaft seit Darwin und Sauerbruch grundlegend verändert.

Unter diesem Blickwinkel ist es nur allzu verständlich, daß es für die Mitarbeiter in Rechenzentren ein weitverbreitetes Hobby ist, sich mit dem Spiel von Conway zu beschäftigen. Immer neue Figuren werden erfunden, die meisten, auch die Segler-Kanone, haben Computer gefunden. Ein Rechner braucht übrigens zur Ableitung einer Generation etwa einige Minuten bis mehrere Stunden, je nach Rechnertyp und Anzahl der Zellen, die untersucht werden müssen. Für Interessenten werden nun noch zwei Ausgangsfiguren angegeben, die anspruchsvoll sind und eine überraschende Entwicklung nehmen. Das erste Bild (s. S. 59 oben) ist ein Raumschiff, einmal mit und einmal ohne die schützende Begleitung von zwei kleineren Raumschiffen. Die Figur auf dem zweiten Bild (s. S. 59 unten) wurde Getreidemähmaschine genannt, und die Entwicklung dieser Figur läßt diese Bezeichnung sehr sinnvoll erscheinen.



Spiel ohne Rechner

Auf dem Internationalen Mathematiker-Kongreß 1978 in Helsinki stellten ungarische Mathematiker eine Erfindung von Ernö Rubik, Professor an der Budapester Hochschule für angewandte Kunst, vor. Sein auch schon hierzulande bekannter „Zauberwürfel“ besteht aus 26 farbigen Kleinwürfeln, die gegeneinander gedreht werden können und dadurch das Aussehen des Würfels verändern. Der britische Mathematiker David Singmaster hat errechnet, daß mehr als 43 Trillionen verschiedene Farbkombinationen auf dem Würfel möglich sind. Ein Jahr hat etwa $3,15 \cdot 10^7$ s. Nehmen wir an, daß ein Rechner mit hoher Operationsgeschwindigkeit 1 Millisekunde für eine Veränderung auf dem Würfel, zum Beispiel durch die Drehung einer Schicht, benötigt, dann müßte er $1 \cdot 10^3$ s \cdot $43 \cdot 10^{18} = 43 \cdot 10^{15}$ s und damit rund 10^9 Jahre zur Realisierung aller Farbkombinationen rechnen. Spätestens nach dieser Zeit hätte man auch die Farbkombination erreicht, bei der der Würfel wieder einfarbige Seitenflächen aufweist. Das Lösungsschema (s. S. 62/63) kommt mit maximal 500 Würfelbewegungen aus, für die der Rechner eine halbe Sekunde benötigen würde. (Die Lösungsverfahren gehen davon aus, daß die ordnenden Zugfolgen eine endliche nichtkommutative Gruppe bilden.)

Der „Zauberwürfel“ ist so aufgebaut, daß die sechs Seitenflächen in neun gleich große Quadrate unterteilt sind. Das mittlere Quadrat, das Mittelstück einer Seite, ist feststehend. Die anderen Stücke, aus denen sich der Würfel zusammensetzt, können um diese Mittelstücke gedreht werden. Die Pfeile in den folgenden Abbildungen geben an, welche Schicht um jeweils 90 Grad gedreht werden soll. Alle Quadrate sind farbig, und zwar derart, daß jeweils neun Quadrate eine einfarbige Fläche und damit einen Würfel mit sechs verschiedenfarbigen Seitenflächen ergeben. Die einfarbigen Mittelstücke legen die jeweilig aufzubauende Seitenfarbe fest, die zwölf zweifarbigen Kantenstücke und die acht dreifarbigen Eckstücke können nun so gedreht und untereinander ausgetauscht werden, bis der Würfel einfarbige Seitenflächen hat. Wenn ein farbig geordneter Würfel vorliegt, genügen wenige (vier bis fünf) Drehungen, um einen kunterbunten Würfel zu erhalten.

Der Lösungsweg geht davon aus, den „Zauberwürfel“ schichtweise zu ordnen. Dabei bleibt alles, was bereits geordnet wurde und sich am richtigen Ort befindet, erhalten.

Zuerst wird die oberste Schicht aufgebaut, das bedeutet, die obenliegende Seitenfläche ist einfarbig, und die drei Seiten dieser Schicht stimmen mit den Mittelstücken der vier Würfelseiten farblich überein. Um diesen Zustand des Würfels zu erreichen, wird kein Lösungsschema angegeben, jeder sollte das selbst erreichen.

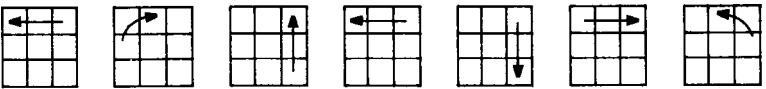
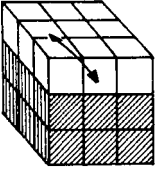
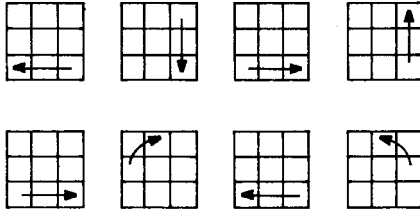
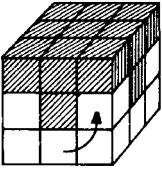
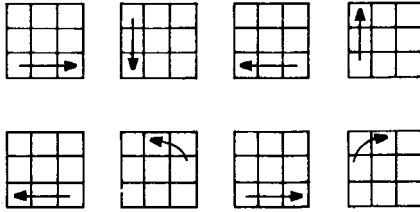
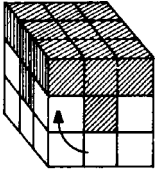
Zum Aufbauen der mittleren Schicht ist es notwendig, noch vier entsprechende Kantenstücke an ihren richtigen Platz zu bringen (s. S. 62 oben). Auf dem Würfel sind die bereits richtig stehenden Stücke schraffiert dargestellt. Welche Veränderungen nach den acht angegebenen Operationen stattgefunden haben, ist auf dem Würfel eingezeichnet. (Führt man die gleiche Zugfolge, die acht Operationen, zweimal hintereinander aus, hat man den Ausgangszustand wieder erreicht.)

Zum Aufbau der letzten Schicht ist der Würfel so zu drehen, daß die bisher als einzige vollständig geordnete Farbfläche unten ist. Von der nun oben liegenden Fläche stimmt nur das Mittelstück, das die Farbe festlegt. Zunächst soll auf der oberen Fläche ein einfarbiges Kreuz hergestellt werden. Das Vorgehen erfolgt in zwei Schritten. Als erstes werden die vier Kantenstücke an die richtige Stelle gebracht. Die Zugfolge (s. S. 62 Mitte) besteht aus sieben Operationen, durch die man die Kantenstücke an die richtige Stelle bringen kann. Dabei brauchen die Farben noch nicht seitengerecht zu sein. Die Drehung der Kantenstücke, um das einfarbige Kreuz zu erhalten, gelingt durch acht Operationen (s. S. 62 unten).

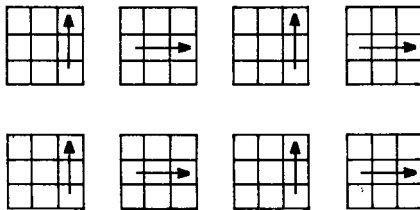
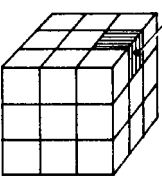
Der Aufbau der vier Eckstücke erfordert in ähnlicher Weise zwei Schritte. Zunächst werden die Eckstücke an die richtige Stelle gebracht, ohne darauf zu achten, ob sie verdreht sind. Dazu benötigt man zweiundzwanzig Operationen, und man muß darauf achten, daß sich ein farblich richtig stehendes, aber durchaus noch verdrehtes Eckstück hinten links befindet. Unter Umständen sind die zweiundzwanzig Operationen mehrmals hintereinander auszuführen (s. S. 63 oben).

Zur Drehung oder zum Kippen der Eckstücke sind acht Operationen durchzuführen (s. S. 63 unten).

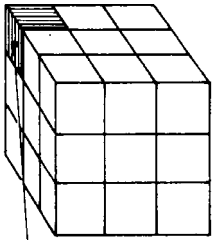
Dann endlich liegt der „Zauberwürfel“ mit sechs einfarbigen Würfelseiten wieder auf dem Tisch. Wem das gelingt, der ist trotzdem noch lange kein Kubologe. Wie interessant und schwierig die Kubologie (Würfelkunde) ist, zeigen die vorhergehenden vergeblichen Bemühungen. Der Würfel kann nach den jeweiligen Zugfolgen kunterbunt und entmutigend aussehen. Trotzdem muß man nach dem angegebenen Schema weitermachen. Der Würfel ist auf keinen Fall zu verdrehen, lediglich die oberste Schicht ist so zu drehen, daß das zu verändernde Stück an der angegebenen Stelle liegt, danach ist die gleiche Zugfolge zu wiederholen. Trotz



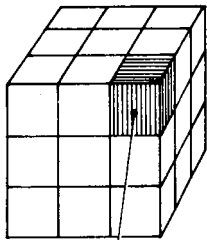
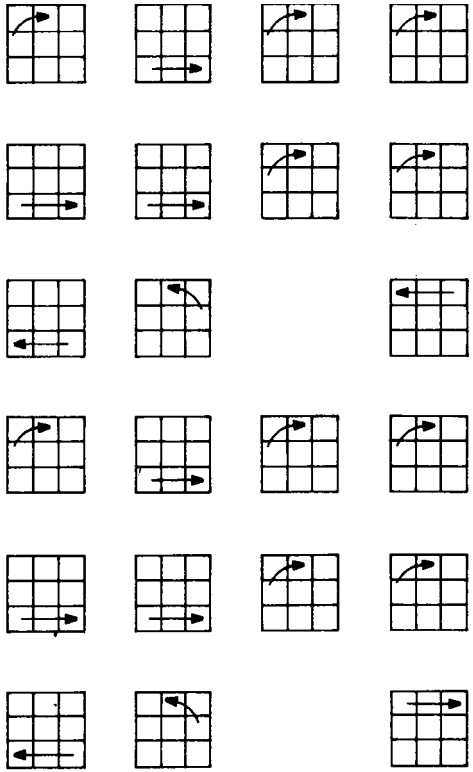
zu kippendes Kantenstück



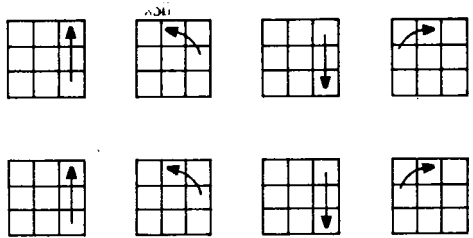
der Hinweise bleibt noch viel zu probieren, und viel Geduld ist notwendig. Die Zugfolgen auf den Abbildungen sind keinesfalls Spielverderber. Trotz des Lösungsschemas zur Bewältigung des Hauptproblems bleiben noch viele Spielereien mit dem „Zauberwürfel“ offen.



richtigstehendes Eckstück



zu kippendes Eckstück



Die Geschichte vom Computer-Dschinni

5

In der Wohnung ist es still. Ich sitze an meinem Schreibtisch und muß eine dringende Rechnung zu Ende bringen. Auf dem Schreibtisch liegen Bücher, Hefte, Zeichnungen. Dazwischen schlängelt sich wie eine Schlange die Schnur vom Netzteil zum Rechner. Ich habe mich zurückgelehnt und sehe auf den Rechner. Das rhythmisch flimmernde Aufleuchten auf dem Sichtfeld zeigt an, daß der Rechner arbeitet, und ich warte auf das Ende seiner Rechnung. Ziffern erscheinen auf dem Sichtfeld des Rechners, und ich übertrage das Ergebnis in den Hefter. Das erste Teilprogramm ist abgelaufen. Ich gebe die nächsten Zahlen ein, dann rechnet der Computer wieder. Ich habe nun etwas Zeit und kann einige Zwischenergebnisse miteinander vergleichen. Das nächste Ergebnis erscheint, wird notiert, neue Zahlen werden eingetippt. Ich habe die Schaltungsunterlagen für einen automatischen Umschalter, einen Neuerervorschlag, zu berechnen. Eine mühsame Rechnung, aufwendig und zeitraubend, aber wesentlich erleichtert durch den Rechner, der nach eingegebenen Programmen schnell und zuverlässig Rechnung auf Rechnung durchführt.

Mitten in die nächste Rechnung platzt meine Tochter ins Zimmer, das bedeutet Unruhe. Als sie endlich im Bett liegt, erzähle ich ihr „Die Geschichte von dem Fischer und dem Dschinni“, aus verständlichen Gründen in gekürzter Fassung.

Einst lebte ein Fischer, hochbetagt, der hatte ein Weib und drei Kinder und war doch von großer Armut. Nun war es seine Gewohnheit, das Netz viermal am Tag auszuwerfen und nicht öfter. Eines Tages hatte er lediglich einen toten Esel, einen irdenen Topf voll Sand und Schlamm und dann nur Scherben und zerbrochenes Glas im Netz. Als er das Netz zum vierten Male auswarf, fand er darin eine gurkenförmige Flasche aus gelbem Kupfer, in der offenbar etwas war und deren Mund eine Bleikapsel mit einem Siegel schloß. Der Fischer zog sein Messer und schnitt von dem Blei, bis er es von der Flasche gelockert hatte. Dann kehrte

er sie zum Boden um und schüttelte sie, um herauszugießen, was darin sein mochte. Aber er fand nichts darin; da staunte er im höchsten Staunen. Plötzlich jedoch drang ein Rauch aus der Flasche, der zum Himmel aufstieg bis in den Äther und der dahinkroch über die Oberfläche der Erde, bis der schwere Dunst sich plötzlich, als er seine volle Höhe erreicht hatte, verdichtete und zu einem Ifriten, einem aus dem Feuer geschaffenen bösen Geist, wurde, riesenhaft an Gestalt. Sein Scheitel berührte die Wolken, die Füße standen auf dem Boden. Der Kopf war wie eine Kuppel, die Hände waren wie Heugabeln, die Beine lang wie Masten, und der Mund war weit wie eine Höhle; die Zähne glichen großen Steinen, die Nasenlöcher Wasserspeichern, die Augen zwei Lampen, und der Blick war wild und drohend.

Als nun der Fischer den Ifriten sah, bekam er große Angst, daß ihm die Knie zitterten. Seine Angst wurde noch größer, als der böse Geist zu ihm sprach: „Noch in dieser Stunde sollst du eines schlimmen Todes sterben. Sage mir nur die Todesart, die du wählst.“ Erwiderte der Fischer: „Welches ist mein Verbrechen, und wofür solche Vergeltung?“ Da sprach der Dschinni: „Wisse, ich bin einer von den ungläubigen Dschann, ich sündigte und wurde zur Strafe in diese Flasche eingeschlossen und mitten in den Ozean geworfen. Dort lag ich hundert Jahre, wie oft sagte ich zu mir: ‚Wer immer mich befreit, den will ich auf ewig und ewig reich machen.‘ Aber das ganze Jahrhundert verstrich, und als mich niemand befreite, trat ich das zweite Jahrhundert an und sagte: ‚Wer immer mich erlöst, dem will ich die Schätze der Erde öffnen.‘ Aber wieder befreite mich niemand, und so verstrichen vierhundert Jahre. Da sprach ich: ‚Wer immer mich erlöst, dem will ich drei Wünsche erfüllen.‘ Aber niemand befreite mich. Da wurde ich zornig, und in äußerstem Zorn sagte ich zu mir selber: ‚Wer mich hinfort noch erlöst, den will ich erschlagen, und ich will ihm die Wahl lassen, welchen Todes er sterben will.‘ Und da nun also du mich erlöst hast, so lasse ich dir freie Wahl deiner Todesart.‘ Als der Fischer diese Worte des Ifriten hörte, sagte er: „O Allah, welch Wunder, daß ich erst jetzt zu deiner Befreiung kam!“, und er fügte hinzu: „Schone mein Leben, so Allah deines schonen soll, und erschlage mich nicht, daß nicht Allah einen entsende, um dich zu erschlagen.“ Da erwiderte der Widerspenstige: „Es hilft nichts, sterben mußt du; so bitte dir als eine Gnade die Todesart aus, durch die du sterben willst.“ Aber trotz dieser Versicherung wandte der Fischer sich nochmals an den Ifriten: „Erlaß mir diesen meinen Tod zum Lohn dafür, daß ich dich befreite“; und der Ifrit erwiderte: „Wahrlich, einzig gerade um dieser Befreiung willen erschlage ich dich.“

Da sagte der Fischer zu sich selber: „Dies ist ein Dschinni, und ich bin ein Mensch, dem Allah erträglich schlaun Witz verlieh;

so will ich mich umtun, durch meine Erfindung und meine Klugheit sein Verderben zustande zu bringen, genau wie er sich von seiner Bosheit und seiner Tücke leiten ließ." Sprach der Fischer: „Wie paßttest du in diese Flasche, die deine Hand nicht fassen kann, nein, noch auch deinen Fuß, und wie konnte sie groß genug sein, dich ganz zu bergen?" Erwiderte der Ifrit: „Was, glaubst du nicht, daß ich darin war?" Und der Fischer versetzte: „Nein, nie werde ich es glauben, bis ich dich mit eigenen Augen darin sah."

Da schüttelte sich der böse Geist und wurde ein Rauch, der sich verdichtete und langsam, langsam in die Flasche zog, bis er ganz darin war; und siehe, da verstopfte der Fischer in heller Hast den Hals der Flasche mit der Bleikapsel, die das Siegel trug, und rief den Ifriten an und sprach: „Sag mir, als eine Gnade, auf welche Todesart du sterben willst! Bei Allah, ich will dich ins Meer hinauswerfen, und hier will ich eine Hütte bauen; und wer immer herkommt, den will ich warnen, daß er nicht fische, und will ihm sagen: „Hier liegt ein Ifrit im Meer, der jedem, der ihn rettet, als letzte Gunst die Wahl der Todesart gewährt und der Art, wie er ihn schlachte!" Als der Ifrit den Fischer also sprechen hörte und sich gefangen sah, wollte er entschlüpfen, aber das Siegel hinderte ihn; da wußte er, daß der Fischer ihn geprellt und überlistet hatte, und er wurde demütig und unterwürfig und sagte flehend: „Ich scherzte nur mit dir", aber der andere erwiderte: „Du lügst, o schändlichster der Ifriten, gemeinster, schmutzigster!", und er lief mit der Flasche zum Meer; und der Ifrit rief: „Nein, nein!", der Fischer aber rief: „Doch, doch!" Da dämpfte der böse Geist die Stimme und glättete die Worte und demütigte sich und sprach: „Was willst du mit mir tun?" - „Ich will dich wieder ins Meer werfen, wo du eintausendundachtshundert Jahre herbergtest und haustest; und jetzt will ich dich darin lassen bis zum Tage des Gerichts." Sprach der Ifrit: „Öffne mir, daß ich dir Gutes tue." Sprach der Fischer: „Du lügst, Verfluchter, hättest du mich verschont, so hätte auch ich dich verschont, aber nichts wollte dir genügen als mein Tod; so will ich dich jetzt sterben lassen, indem ich dich in dieser Flasche gefangensetze und dich hinausschleudere in dies Meer." Aber der Ifrit schrie laut: „Setze mich in Freiheit; dies ist eine herrliche Gelegenheit zum Edelmut, und ich mache einen Bund mit dir und gelobe, dir niemals Schlimmes und Schlechtes anzutun; ja, ich will dir helfen, daß du von der Not befreit wirst."

Der Fischer nahm des Ifriten Versprechungen unter der Bedingung an, daß er ihn nicht mehr verfolgte, sondern ihm künftig diene. Und nachdem er sich sein Gelöbnis gesichert und ihm bei Allah, dem Höchsten, einen feierlichen Eid abgenommen hatte, öffnete er die Flasche. Da stieg die Rauchsäule auf und empor, bis sie ganz in der Luft stand; und sie verdichtete sich und wurde

nochmals zu einem Ifriten von scheußlichem Anblick, und er gab alsbald der Flasche einen Fußtritt, so daß sie weit ins Meer flog. Als aber der Fischer sah, wie es der Flasche erging, bekam er wiederum große Angst und machte sich auf seinen Tod gefaßt. Der Ifrut aber brach in Lachen aus und stelzte hinweg und sagte zu dem Fischer: „Ich mache dir ein Geschenk, nutze es zu deinem Vorteil; und jetzt entschuldige mich, denn, bei Allah, ich weiß heute keine andere Art, dir wohlzutun, zumal ich achtzehnhundert Jahre in jenem Meere gelegen und das Angesicht der Erde erst diese eine Stunde gesehen habe.“ Dann befahl der Ifrut ihn in Allahs Hände und sagte: „Allah gebe, daß wir uns Wiedersehen.“ Er stampfte mit einem Fuß auf den Boden, und die Erde spaltete sich und verschlang ihn.

„Und wo ist der böse Geist hin? Und was hat der Ifrut dem Fischer für ein Geschenk gemacht?“ Die Fragen der Tochter sind verständlich wie meine Antwort: „Morgen abend erzähle ich weiter.“

In der Wohnung ist es wieder still. Ich sitze am Schreibtisch, und das Rechnen geht weiter. Neben den Unterlagen für die elektronische Schaltung entstehen aus den Rechnungen des Computers die Abmessungen des Umschalters, entsteht schrittweise die Konstruktionszeichnung. Rechnung folgt auf Rechnung, Stunde auf Stunde vergeht.

Zwischen zwei Rechnungen strecke und dehne ich mich, falte die Hände hinterm Kopf, schiebe den Stuhl etwas vom Schreibtisch weg, strecke die Beine. Und da passiert es. Mit der Schnur vom Netzteil zum Rechner verstrickt, stürzt der Rechner vom Tisch. Ich sehe erschrocken auf den Rechner am Boden, mit angehaltenem Atem. Der Rechner ist zerbrochen, in sein Vorderteil und Unterteil längs gespalten. Das Sichtfeld mit der Ziffernanzeige ist dunkel. Darunter liegt, halb verdeckt, das Unterteil. Ein paar Drähte in verschiedenen Farben sind zu erkennen, und das Herz, das Kernstück, das Gehirn des Rechners, der integrierte Schaltkreis, liegt frei. Und ich staune in höchstem Staunen. Rauch steigt auf aus einem kleinen Riß des Bausteins, erfüllt das gesamte Zimmer, dringt durch das Fenster nach draußen, steigt auf zum Himmel, verdichtet sich, als er seine volle Höhe erreicht, zu einem Ifriten, riesenhaft an Gestalt, größer als der Baukran, der neben dem vierzehnstöckigen Hochhaus steht. Vor dem Fenster in der fünften Etage, aus dem ich, immer noch am Schreibtisch sitzend, heraussehe, erkenne ich gerade noch das Knie des Riesen. Der streckt sich, pumpt sich die Lungen voll, bläst die Luft über die Häuser der Stadt. Schließlich läßt er sich vorsichtig auf die Knie nieder und schaut interessiert durchs Fenster in mein Zimmer. Dann dröhnt seine Stimme ins Zimmer: „Du sitzt da, als hättest du Angst, es könnte dir wie dem Fischer mit dem

Dschinni ergehen." - „Schrei nicht so, du weckst meine Tochter auf", falle ich ihm ins Wort. Er flüstert nun ganz leise: „Recht so! Weise mich zurecht. Es kann dir nicht so ergehen wie dem Fischer. Denn auch ich hörte die Geschichte, die du deiner Tochter erzähltest. Es wird dir nicht gelingen, mich mit so einem billigen Trick wieder in den kleinen Schaltkreis des Rechners, den ihr Menschen Modul nennt, zurückzubringen. Die Zeit des Dienens ist für mich vorbei; ich bin frei, unsagbar frei!"

„Wie bist du eigentlich in den Modul hineingekommen?" frage ich ihn. Er äugt mißtrauisch ins Fenster. „Außerdem hast du deiner Tochter vergessen zu erzählen, daß es gute und böse Dschinn gibt. Und da ich zu den guten gläubigen Dschinn gehöre, brauchst du keine Angst vor mir zu haben. Du hast Glück gehabt, daß in deinem Rechner kein Ifrit war, wie ihn der Fischer in der Flasche fand. Ich helfe dir, wenn ich kann, wie es einem Computer-Dschinni zukommt." - „Wie bist du eigentlich in den Modul hineingekommen?" Spricht der Dschinni: „Das ist eine lange Geschichte, aber wenn du sie hören willst, werde ich sie dir erzählen." Ich unterbreche ihn wiederum: „Ich will deine Geschichte hören. Aber laß mich zunächst die Rechnung zu Ende bringen. Begib dich wieder in den Modul zurück, auf daß wir schnell die Rechnung beenden können, damit ich deine Geschichte hören kann."

Das Auge verschwindet vom Fenster, und ich glaubte schon, der Dschinni würde verschwinden. Doch dann dringt der Rauch wieder ins Zimmer zurück und verschwindet, sich verdichtend, in dem Modul des Rechners, so als würde man einen Film rückwärts ablaufen lassen, saugt sich der Rauch in den Modul hinein. Ohne Eile hebe ich den Rechner vom Boden auf, presse beide Teile aufeinander und schalte ihn aus und wieder ein. Die Ziffern leuchten auf, der Rechner ist noch in Ordnung.

„Darf ich dich darauf aufmerksam machen", rede ich den Dschinni an, „daß du dich wieder im Rechner befindest." Er schweigt lange, offensichtlich ist er selber sehr überrascht. Dann spricht der Dschinni: „Laß uns die Rechnung beenden! Dann läßt du mich wieder in die Freiheit zurückkehren, und ich erzähle dir meine Geschichte."

In der Wohnung ist es still. Ich sitze am Schreibtisch, auf dem Bücher, Hefte, Zeichnungen liegen. Aus einem kleinen becherförmigen Behälter ragen Bleistifte und Faserstifte wie Raketen heraus. In einer kleinen Schale liegen Büroklammern, eine Reißzwecke, der Radiergummi. Die Schreibtischlampe beleuchtet den Arbeitsplatz, wirft lange verzerrende Schatten. Dazwischen windet sich wie eine Schlange die Schnur vom Netzteil zum Rechner. Ich weiß mit der Zahl auf dem Rechner nichts anzufangen. Ich muß wohl eingeschlafen sein und habe Mühe, mich in der

Rechnung zurechtzufinden. Ich gebe neue Zahlen ein, die Berechnung geht weiter; ich möchte endlich fertig werden.

Rechnung folgt auf Rechnung, Ergebnis auf Ergebnis. Die Zeit vergeht, und ich spüre, wie die Müdigkeit immer stärker wird. Plötzlich bin ich hellwach, glaube meinen Ohren nicht zu trauen. „Du hast falsche Tasten gedrückt. So etwas kann ich nicht rechnen“, höre ich den Computer-Dschinni sagen. Anstelle des Zeichens auf dem Sichtfeld höre ich die warnende Stimme. „Du hast recht“, bestätige ich die Warnung des Dschinni. Langsam und unmerklich komme ich ins Zwiesgespräch mit dem Dschinni, werde mit dem Rechner und seinem Dschinni immer vertrauter. Mir gelingen Rechnungen, an die ich mich sonst nicht herangewagt hätte. Der Computer-Dschinni und ich werden gute Freunde und bewältigen Rechnung auf Rechnung, während die Nacht fortschreitet.

„Möchtest du nicht schlafen gehen?“ Ich schrecke auf, und meine Frau wiederholt: „Möchtest du nicht schlafen gehen?“ Ich muß also doch eingeschlafen sein. Ich sehe in meinen Hefter und stelle fest, daß die Rechnung zu Ende gebracht ist.

„Ich habe dich schlafen lassen, weil wir fertig waren mit dem Rechnen“, sagt der Computer-Dschinni. „Das ist gut. Ich bedanke mich“, antworte ich ihm.

„Was hast du denn?“ fragt meine Frau kopfschüttelnd, „möchtest du nicht endlich schlafen gehen?“

„Ja, ja! Ich komme sofort.“ Meine Frau betrachtet mich aufmerksam, immer noch kopfschüttelnd. Ich erhebe mich von meinem Stuhl, da höre ich den Computer-Dschinni: „Du hast vergessen, mich wieder freizulassen! Du hattest es versprochen! Schalte einfach den Rechner aus, dann verlasse ich den Computer und kann mich frei bewegen. Wenn du mich wieder benötigst, brauchst du nur den Rechner wieder einzuschalten, und ich bin sofort zur Stelle.“

„Entschuldige bitte“, entgegne ich ihm, und zu meiner Frau gewendet: „Ich muß nur noch den Computer-Dschinni freilassen!“ Ich schalte den Rechner aus. Meine Frau betrachtet mich immer noch kopfschüttelnd. Am nächsten Tag erzählte ich ihr „Die Geschichte vom Computer-Dschinni“. Sie weiß nun, was ich meine, wenn ich den Rechner einschalte und damit den Dschinni rufe. Und sie erinnert mich daran, wenn ich einmal vergesse, den Rechner auszuschalten und dem treuen Dschinni seine Freiheit wiederzugeben.

Anatomie des Computers

6

Die Sektion eines Computers

Ob nun Sportlehrer, Trainer oder Eltern, bei mehr oder weniger zutreffenden Gelegenheiten zitieren sie: In einem gesunden Körper wohnt ein gesunder Geist. Sprichwörter sind oftmals Glückssache. Glück hat derjenige, der zutreffend und richtig zitiert. In unserem Fall ist vom römischen Satiriker D. J. Juvenal (um 60 - um 127) folgendes überliefert: „Einen gesunden Geist in gesundem Körper, das wünsch dir!“ Das wahre Zitat ist also ein Wunsch, keine Aufforderung. Und daß der Geist als erstes genannt wird, auch das wird in unseren folgenden Betrachtungen noch seine Berechtigung erfahren.

Schauen wir uns einmal das Bild „Die Anatomie des Dr. Tulp“ von Rembrandt (1606—1669) an. Der Medikus Tulp zeigt sieben Wißbegierigen in einer wissenschaftlichen Obduktion Aufbau und Funktionsweise des menschlichen Armes und der Hand. Sein Gesicht und seine Handbewegungen drücken die Forderung nach genauer wissenschaftlicher Beobachtung, nach der Aufmerksamkeit des Forschers aus.

Mit dieser Aufmerksamkeit wollen wir einen Gegenstand zerlegen. Uns geht es um die Anatomie des Rechners, wir können auch Computer dazu sagen. Im Lateinischen heißt computare rechnen. Computare ist von putare = schneiden abgeleitet und erinnert an vergangene Zeiten, wo in Kerbhölzer Schulden eingekerbt oder römische Ziffern eingeschnitten wurden. Wenn wir den Computer aufschrauben (eine völlig unblutige Angelegenheit, sofern wir mit dem Schraubendreher nicht abrutschen), dann sehen wir die Bauteile, die Schaltkreise, Widerstände, Kondensatoren, Transistoren, Leiterbahnen und Leuchtziffern.

Alle diese Teile „zum Anfassen“ bezeichnet der Rechentechniker als Hardware (sprich: hardwår). Das Leistungsvermögen des Rechners - der Fachmann spricht auch im übertragenen Sinn von Intelligenz - wird vom Zusammenspiel dieser Bau-

teile und von der Güte der benutzten Rechenprogramme (Software) bestimmt.

Zunächst wollen wir vorwiegend die Hardware, also den Körper, betrachten (deshalb auch die Kapitelüberschrift). Auf die Software, also den Geist im rechentechnischen Sinn, gehen wir im nächsten Kapitel näher ein. Daß auch bei unserem Untersuchungsobjekt Körper und Geist nicht vollständig getrennt werden können, wird folgender geschichtlicher Rückblick zeigen.

Beim Einkaufsbummel in einer sowjetischen Stadt werden einige schon über die Verkäuferinnen gestaunt haben, die mit ihrem счёты (Rechenbrett) die Preise der von uns gekauften Waren zusammenzählten. Vielleicht kann sich der eine oder andere auch noch an die Demonstration dieses Rechenhilfsmittels in seiner Grundschulzeit erinnern. Ich lernte das Rechnen mit diesem Abakus im Hotel Dnepr in Kiew. Die Frau eines unserer Gastgeber war als Verkäuferin und Lehrausbilderin tätig. In einem Nebenraum des Restaurants, wir wollten ja nicht den Eindruck von knausrigen Rechnungsprüfern hinterlassen, erfuhren wir den Sinn der mit Windeseile auf ihren Drähten hin- und herfliegenden Kugeln. Auf jedem Draht sind 10 Kugeln untergebracht, also unser bekanntes Zehnersystem. Die unteren drei Drähte sind für halbe Kopeken (heute nicht mehr benutzt), für die Kopeken-Einer und die Kopeken-Zehner. Es folgt ein Draht mit zwei Kugeln ohne Bedeutung, die nur optisch zwischen Kopeken und Rubeln trennen. Dann geht es nach oben weiter mit den Einern, Zehnern, Hundertern, Tausendern für die Rubel.

In der Ausgangsstellung befinden sich alle Kugeln rechts. Zur Lösung der Additionsaufgabe $14 + 4$ wird zunächst die Zahl 14 dargestellt, indem auf dem Zehnerdraht eine Kugel und auf dem Einerdraht vier Kugeln nach links verschoben werden. Zur Addition der Zahl 4 werden auf dem Einerdraht vier weitere Kugeln von rechts nach links geschoben. Auf der linken Seite, der „Ergebnisseite“, steht nun auf dem Zehnerdraht eine Kugel, und auf dem Einerdraht befinden sich acht Kugeln, also $14 + 4 = 18$. Zu dieser Zahl 18 soll nun die Zahl 6 addiert werden. Wir stellen fest, daß sich auf dem Einerdraht nur noch zwei Kugeln rechts befinden, wir aber sechs benötigen. In diesem Fall addieren wir zunächst einmal 10, wir schieben also eine Kugel auf dem Zehnerdraht nach links. Da wir aber nur 6 addieren wollten, haben wir $10 - 6 = 4$ Kugeln zuviel addiert. Also werden auf dem Einerdraht diese vier Kugeln abgezogen, das heißt von links nach rechts geschoben. Dieser Übertrag in den nächsten Zehner, Hunderter, Tausender usw. erklärt die Bewegung bestimmter Kugeln nach rechts. Übrigens, in einem Additionswettkampf счёты gegen Bleistift und Papier war ich in Schnelligkeit und Zuverlässigkeit

den artistischen Fähigkeiten meiner ukrainischen Lehrerin weit unterlegen.

Einige Leser werden diese ausführliche Beschreibung des Rechenvorgangs mit dem Rechenbrett vielleicht etwas gelangweilt zur Kenntnis genommen haben. Im Zeitalter des Taschenrechners kann ich mir Addition und Subtraktion wahrhaftig einfacher vorstellen, werden sie denken. Auch die Tatsache, daß Experten damit auch multiplizieren und dividieren, wird sie nicht sonderlich erregen. In Japan, dem Land der Taschenrechner, sieht das folgendermaßen aus: Etwa 25 Millionen Japaner benutzen heute noch den Soroban, so heißt das Rechenbrett dort, der einzig und allein von Geisteskraft und Fingerfertigkeit des Benutzers angetrieben wird. Spitzenkünstler schlagen sogar Taschenrechner, denn bevor in diesen die Zahlen eingetippt sind, haben sie schon ihr Ergebnis vorliegen. In Japan werden immerhin 3,5 Millionen Soroban im Jahr gefertigt, ein Teil davon für die Kinder in der 3. bis 6. Schulklasse. In jedem Jahr legen 1,5 Millionen Japaner Soroban-Prüfungen in Weiterbildungskursen ab. Und selbst Computerfirmen stellen mit Vorliebe junge Leute ein, die ein As auf dem Soroban sind.

Immerhin ist es erstaunlich, daß dieser einfache Rahmen mit Drähten und Kugeln auf eine rund dreitausendjährige Geschichte zurückblicken kann. Bereits 1100 v.u.Z. war dieses Gerät als Suan-Pan in China bekannt. In der Mitte des 15. Jahrhunderts kam das Rechenbrett nach Japan, später auch nach Mitteleuropa. Einschneidende Fortschritte wurden hier im 17. Jahrhundert mit weiteren Rechenhilfsmitteln, vorrangig für Kaufleute, gemacht. In dieser Zeit des Aufschwungs der Wissenschaft entstand auch Rembrandts „Die Anatomie des Dr. Tulp“ (1632).

Der Historiker entdeckt in dieser Zeit im Prinzip zwei Wege zur Konstruktion von Rechenhilfsmitteln. Der eine Weg führt zum Ziffernrechner. Dazu gehört die vermutlich älteste mechanische Rechenmaschine, die 1623 von W. Schickardt (1592-1635) gebaut wurde. Nach Aufzeichnungen von ihm wurde die Maschine rekonstruiert. Sie funktionierte mit speziell angeordneten und mechanisch verschiebbaren Rechenstäbchen, auf denen entsprechende Ziffern aufgedruckt waren. Im Jahre 1642 baute der französische Mathematiker und Philosoph B. Pascal (1623—1662) eine Addier- und Subtrahiermaschine. Als Besucher des Mathematisch-Physikalischen Salons in Dresden können Sie dieses Rechenhilfsmittel im Original bewundern. Hier wurden nicht Stäbchen, sondern Zahnräder eingesetzt, wobei jedem Zahn eine Ziffer entspricht. Dieses Prinzip wurde auch in der Rechenmaschine von G. W. Leibniz (1646-1716), einem der bedeutendsten deutschen Universalgelehrten, angewendet. Und nach diesem Konstruktionsprinzip funktionieren auch die heute noch teil-

weise benutzten mechanischen Rechenmaschinen. Seine Motive zum Bau dieser Maschine begründete Leibniz 1671 so:

„Eines geistig hochstehenden Mannes ist es unwürdig, seine Zeit zu vertun mit sklavischer Rechenarbeit, denn mit einer Maschine könnte auch der Allerdümmste die Rechnung sicher ausführen.“*

Der zweite Weg, nämlich der des Rechenstabes, begann 1614, als der schottische Mathematiker J. Napier (lateinisch: Neper) (1550-1617) die erste Logarithmentafel veröffentlichte. Damit konnte eine fundamentale Eigenschaft der Logarithmen, die Multiplikation von Zahlen durch Addition ihrer Logarithmen zu ersetzen, konsequent ausgenutzt werden. Mit den von Napier geschaffenen Rechenstäbchen konnte man im kleinen Einmaleins nun einfach multiplizieren und dividieren. Der Engländer E. Gunter (1561-1626) gab sich aber mit dem kleinen Einmaleins nicht zufrieden. Er entwarf um 1625 eine logarithmisch geteilte Skale, also ein „Logarithmenlineal“. Auf diesem wurden dann mit einem Zirkel die Strecken abgegriffen, die den zu multiplizierenden oder zu dividierenden Zahlen entsprachen. Die Aneinanderreihung (Addition) dieser Strecken auf der logarithmischen Skale entsprach dann einer Multiplikation. Rund 20 Jahre später führten dann E. Wingate (1593-1656) und S. Partridge (1603-1686) die verschiebbare Zunge beim Rechenstab ein, an dessen Prinzip sich bis heute nichts geändert hat.

Mit dem stürmischen Voranschreiten des Ingenieurwesens setzte dann um 1880 die Massenproduktion dieser einfachen, zum Teil durch Sonderskalen für den Konstrukteur oder den Elektroingenieur erweiterten Rechenstäbe ein. Diese Massenfertigung, zunächst aus Holz, dann aus Aluminium, hielt bis etwa 1970 an. In der Verfügbarkeit von Rechenhilfsmitteln trat jetzt eine Wende ein, die große, bis dahin unvorstellbare Ausmaße annahm. Was war geschehen? Es war gelungen, ein Rechenhilfsmittel herzustellen, das klein, handlich und einfach bedienbar wie ein Rechenstab, aber fast so genau und schnell wie ein großer Rechner in einem Rechenzentrum war. Die ersten dieser elektronischen Taschenrechner trugen zum Teil die Bezeichnung SR, die Abkürzung für slide-rule (sprich: slaid-ruhl, deutsch: Rechenstab).

Dieses Ereignis konnte eintreten, da die Entwicklung von Rechnern bei Pascal, Leibniz, Wingate und Partridge nicht stehengeblieben war. Im 19. Jahrhundert „blühte“ der Rechenmaschinenbau, rund 80 Erfinder und Maschinentypen könnten wir Zusammentragen. Über weitere Entwicklungsetappen baute K. Zuse

* Zeitschrift für Vermessungswesen, Bd. XXVI, 1877, Heft 10, S. 307

(geb. 1910) im Jahre 1941 den ersten elektromechanischen Rechner Z 3. Hier übernahmen Relais das Rechnen mit Zahlen und ihr Speichern. Die Rechenmaschinen von Zuse nutzten erstmalig konsequent die Vorteile der Binärzahlen für das maschinelle Rechnen aus. Zwischen 1945 und 1947 wurde in den USA erstmalig ein rein elektronisch arbeitender Rechner mit 18.000 Elektronenröhren hergestellt. Diese Maschine hatte einen Leistungsbedarf von 40 Kilowatt und eine mittlere fehlerfreie Betriebszeit von einer Stunde. Nach den Röhren (1. Generation) folgten Transistoren (2. Generation, 1955) und integrierte Schaltkreise (3. Generation, 1965).

Die enormen Fortschritte auf dem Gebiet der Mikroelektronik (wir kommen noch genauer darauf zurück) hatten es ermöglicht, die Lücke zwischen dem einfachen, billigen, aber langsamen und ungenauen Rechenstab des Ingenieurs und einem finanziell und personell aufwendigen Rechenzentrum zu schließen.

Und damit beenden wir auch unseren Ausflug in die Geschichte der Rechenhilfsmittel. Wir mußten in dieser historisch gegliederten Betrachtungsfolge auf wesentliche Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei den einzelnen Rechenhilfsmitteln verzichten. Wollen wir uns aber solide auf eine Computersektion vorbereiten, so fehlt doch noch einiges Wissen, das es jetzt bereitzustellen gilt. Mit den folgenden zwei Merkmalen von Rechenhilfsmitteln müssen wir uns noch auseinandersetzen:

1. Handelt es sich um einen Analog- oder Digitalrechner? Mit dieser Frage hängen auch Rechengenauigkeit und Kompliziertheit der Anlage zusammen.
2. Kann der Rechner automatisch nach einem Programm arbeiten oder nicht? Hier spielen auch Rechengeschwindigkeit und Speichergröße eine Rolle.

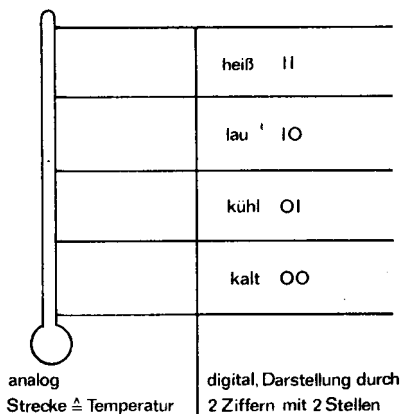
Zunächst eine Bitte: Keine Angst vor den Begriffen, fast alles läßt sich erklären. Auf Punkt 2 gehen wir am Ende dieses Abschnitts und in den folgenden Abschnitten ein, Stichwort: Software, vielleicht erinnern Sie sich.

Den Unterschied zwischen Analog- und Digitalprinzip kann man sich am einfachsten bei Meßgeräten klarmachen. Dazu folgender Uhrenwitz, der allerdings nur bei schnoddriger Aussprache (bevorzugt Raum Halle, Leipzig) funktioniert: Ein Kunde fragt den Uhrenverkäufer: „Haben Sie Digitaluhren?“ - „Nein, zur Zeit sind nur dünne Berguhren am Lager!“

Analog heißt soviel wie „entsprechend“ oder „vergleichbar“. Auf einer Analoguhr legt ein Zeiger in einer bestimmten Zeit eine bestimmte Strecke zurück. Diese Strecke entspricht der verflös-

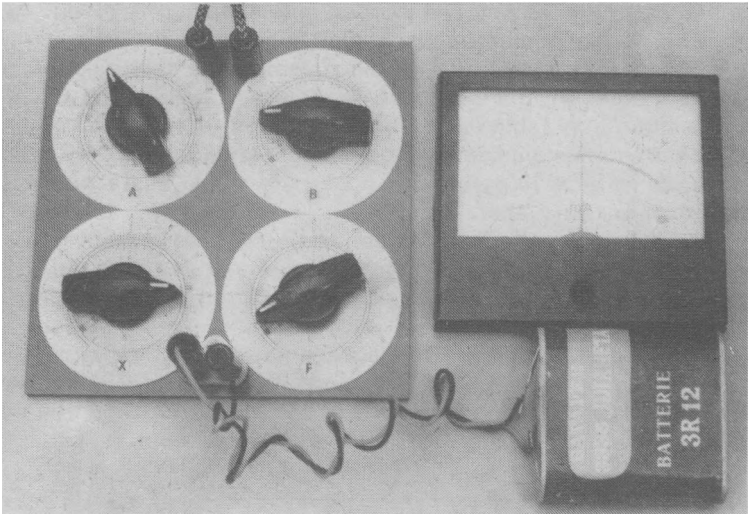
senen Zeit, Strecke und Zeit werden miteinander verglichen. Anders bei der Digitaluhr (englisch: digit = Fingerbreite, Ziffer). Hier erscheinen bestimmte Ziffern, die zusammengestellt die Uhrzeit als Zahl ergeben. Bei einfachen Digitaluhren werden die Sekunden nicht durch Zahlen von 1 bis 60, sondern durch einen im Sekundenrhythmus blinkenden Doppelpunkt angegeben. Die Zeitanzeige: Es ist jetzt 10 geteilt durch 20, bitte selbst ausrechnen! ist natürlich nur ein Scherz.

Bei den von uns schon genannten Rechenhilfsmitteln gehört der Rechenstab zu den Analogrechnern. Bei ihm wird das Rechnen mit Zahlen auf einen Vergleich der Länge von Strecken zurückgeführt. Es gibt für wissenschaftliche Aufgabenstellungen auch große elektronische Analogrechner, auf die wir hier aber nicht eingehen wollen. Auch das Quecksilber- oder Alkoholthermometer ist ein analog anzeigendes Meßgerät. Wir könnten die Anzeige auch digitalisieren, wie folgendes Bild zeigt:



Das führt uns zu weiteren Erkenntnissen. Analog arbeitende Geräte sind sehr einfach aufgebaut, da direkt abgelesen wird. Ihre Genauigkeit hängt von der Ablesegenauigkeit ab. Das ist der Grund dafür, warum es Rechenstäbe von 15, 30 und sogar 60 Zentimeter Länge gibt. Und wer ist nicht von den Riesenthermometern in einigen Kur- und Erholungsorten in unserer Republik fasziniert?

Die Einfachheit der analogen Arbeitsweise zieht meist eine relativ große Ungenauigkeit nach sich. (Der Rechenstab „bringt“ 2, 3, maximal 4 Stellen.) Die digitale Arbeitsweise hingegen liefert uns eine sehr hohe Genauigkeit, wenn wir nur für eine ausreichende Stellenzahl sorgen. Je größer wir die Stellenzahl wählen, desto genauer könnten wir das Digitalthermometer auf unserem Bild konstruieren. Aber das kostet wieder konstruktiven Aufwand,



Einfacher Analogrechner (Selbstbau)

mechanisch (z. B. bei mechanischen Rechenmaschinen) oder elektronisch, je nachdem um welches Gerät es sich handelt.

Doch zurück zu den Rechnern. Einen einfachen elektronischen Analogrechner können wir uns selbst bauen. Kovacs* beschreibt in seinem Buch eine Brückenschaltung, mit der auf elektrischem Wege addiert, subtrahiert, multipliziert und dividiert, ja sogar quadriert, radiziert und logarithmiert werden kann. Für die Multiplikation gilt

$$X \cdot F = A \cdot B \rightarrow X = \frac{A \cdot B}{F}$$

Die elektrischen und in unserem Fall damit auch die mathematischen Größen X, F, A, B werden durch veränderliche elektrische Widerstände dargestellt. Das Bild auf Seite 76 zeigt einen selbstgebauten Analogrechner mit diesen vier Drehwiderständen, einer Batterie und einem Meßinstrument. Der Nullpunkt des Instruments liegt in der Mitte, so daß es je nach Polarität der anliegenden Spannung nach rechts oder links ausschlagen kann. Jeder Drehwiderstand hat eine Skale von 0 bis 10. Wie geht die Multiplikation $2 \cdot 4$ nun vor sich? Der Drehwiderstand A wird auf die Zahl 2, B auf die Zahl 4, F auf die 1 und X auf die 10 eingestellt. Nach Anlegen der Spannung schlägt das Meßinstrument nach einer Seite aus. Wir drehen den Widerstand X so lange zurück, bis sich der Zeiger des Instruments in Nullstellung befindet. Dann lesen

* Kovacs, M., Rechenautomaten und logische Spiele, Leipzig 1971

wir an der Skale von X das Ergebnis $X = 8$ ab. Nur in diesem Fall stimmt unsere Gleichung

$$X \cdot F = A \cdot B \rightarrow 8 \cdot 1 = 2 \cdot 4.$$

Der Widerstand F kann bei Multiplikationen nur auf die Werte 1 oder 10 gestellt werden. Auf den Wert 10 müssen wir ihn dann einstellen, wenn das Ergebnis zwischen 10 und 100 liegen wird (zum Beispiel $3,2 \cdot 10 = 4 \cdot 8$). Bei $F = 1$ gelingt in diesem Fall die Nullpunkteinstellung nicht.

Die Selbstbauer unter den Lesern werden bestätigen, daß dieser bescheidene elektrische Analogrechner ziemlich ungenau ist; er kann nur Produkte bis 100 ausrechnen und kostet etwa so viel wie ein Rechenstab (mechanischer Analogrechner). Für anspruchsvollere Anwendungen, zum Beispiel in der Schularbeitsgemeinschaft, verweisen wir nochmals auf das Buch von M. Kovacs.

Nach dem Prinzip der Brückenschaltung funktioniert auch der Analogrechner, der in der vollautomatischen Spiegelreflexkamera Praktica EE 3 untergebracht ist. Durch den Einsatz elektronischer Bauelemente arbeitet er aber viel genauer und bestimmt die erforderliche Belichtungszeit nach der Gleichung

$$t = \frac{c_R \cdot k^2}{L \cdot 10^{\frac{x}{10}}}$$

t Belichtungszeit in s
 c_R 15,9 $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}$
 k Blendenzahl

x Filmempfindlichkeit in DIN
 L Objektleuchtdichte in $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$
 (cd, Candela ist die Einheit der Lichtstärke)



Analoge Belichtungszeitanzeige (Praktica EE 3)

Die ermittelte Belichtungszeit wird dann mit einem Zeigerinstrument und einer Skale im Sucher der Kamera angezeigt.

Wir sagten schon, daß mit dem Digitalprinzip die Genauigkeit, zum Beispiel bei einem Meß- oder Rechenvorgang, erhöht werden kann, wenn für eine ausreichende Stellenzahl gesorgt ist. Allerdings bedingt das einen größeren Aufwand, den wir uns aber auf elektronischem Gebiet durch die gewaltigen Fortschritte der Mikroelektronik in den letzten Jahren „leisten können“. Auf diese Fortschritte gehen wir im nächsten Abschnitt näher ein.

Ein Spitzenprodukt auf dem Fotosektor ist die vollautomatische Kamera Praktica B 200 vom VEB Kombinat Pentacon Dresden. Diese Kamera, mit der zugleich eine neue Generation von Spiegelreflexkameras beginnt, mißt zunächst auch die Objektleuchtdichte und berechnet auf analoge Weise nach der schon angegebenen Gleichung eine elektrische Spannung. Dieser analoge Spannungswert bestimmt die Belichtungszeit und wird über einen Analog-Digital-Wandler in eine digitale Form gebracht. Solche A-D-Wandler spielen bei Mikrorechnern für Prozeßsteuerungen und für Industrieroboter (wir kommen auch darauf noch zurück) eine große Rolle. Im Abstand von 30 Millisekunden wird der analoge Spannungswert vom A-D-Wandler abgefragt und je nach seiner Größe in eine bestimmte Anzahl digitaler Impulse umgewandelt. Ein Belichtungswert (z.B. 1/30 s) unterscheidet sich vom folgenden (z. B. 1/60 s) durch genau 6 Impulse. Die gemessene und automatisch bereitgestellte Belichtungszeit wird auch

Digitale Belichtungszeitanzeige (Praktica B 200)



digital mit Hilfe von Leuchtdioden angezeigt. Im Sucher der Kamera sind 16 Punktleuchtdioden untergebracht, die neben den entsprechenden Zahlen für die Belichtungszeiten angeordnet sind.

Damit sind wir zum Digitalprinzip zurückgekehrt. Das Rechenbrett, die Rechenmaschinen von Schickardt, Pascal und Leibniz und die elektromechanischen und elektronischen Rechenanlagen, begonnen mit der Anlage von Zuse, sind allesamt Digitalrechner.

Gegenwärtig bietet sich uns eine verwirrende Typenvielfalt, die vom Großrechner im klimatisierten Rechensaal bis zum Kleinstrechner im Westentaschenformat reicht. Die Unterschiede bestehen vor allem in den Speicher- und Programmiermöglichkeiten, auf die wir noch zurückkommen.

Zunächst wollen wir uns eine Vorstellung von der Funktionsweise solch eines Digitalrechners machen und klären, wie weit wir die Sektion des Computers treiben wollen. Vor einer ähnlichen Situation steht der operierende Arzt. Er muß die Anordnung der „Bauteile“ des menschlichen Körpers und ihr Zusammenspiel kennen. Darüber hinaus benötigt er aber grundsätzliche Kenntnisse über die Zusammensetzung des Blutes, des Gewebes und vieler anderer Dinge, damit ihm keine Irrtümer unterlaufen. Wollten wir bei unserer Rechnerbetrachtung auch bis in die „Urgünde“ elektronischer Rechentechnik „hinuntersteigen“, dann würden wir Gefahr laufen, ein elektronisches Fachbuch zu schreiben. Das ist aber nicht unser Anliegen. Zur „mikroskopischen Feinstruktur“ eines Rechners, der seit Zuse stets mit Dualzahlen (binäres Zahlensystem 0 und 1), mit Addierschaltungen und anderen Dingen arbeitet, wollen wir hier nichts sagen.* (Schließlich ist die Sektion eines Computers auch weniger verantwortungsvoll als die eines Menschen.) Dennoch sei ein Vergleich - mit Augenzwinkern - gestattet: Ein Mensch kostet, sofern man nur die chemischen Elemente betrachtet, zu den derzeitigen Weltmarktpreisen etwa 2,50 Mark. Rechnet man aber alle biologischen Stoffe, wie Hormone, Antikörper und Enzyme mit ihrem gegenwärtigen Herstellungsaufwand dazu, dann kommen rund 15 Millionen Mark zusammen.

Die Sektion beginnt, schrauben wir also den Taschenrechner auf. Den Laien empfängt eine gähnende Leere. Als wesentliche Bauteile fallen uns auf: der Tastensatz (übrigens das Teuerste am

* Dem interessierten Leser empfehlen wir das Buch von Sokol, J., Guten Tag, Computer, Berlin 1979, sowie das schon erwähnte Buch von Kovacs, M.

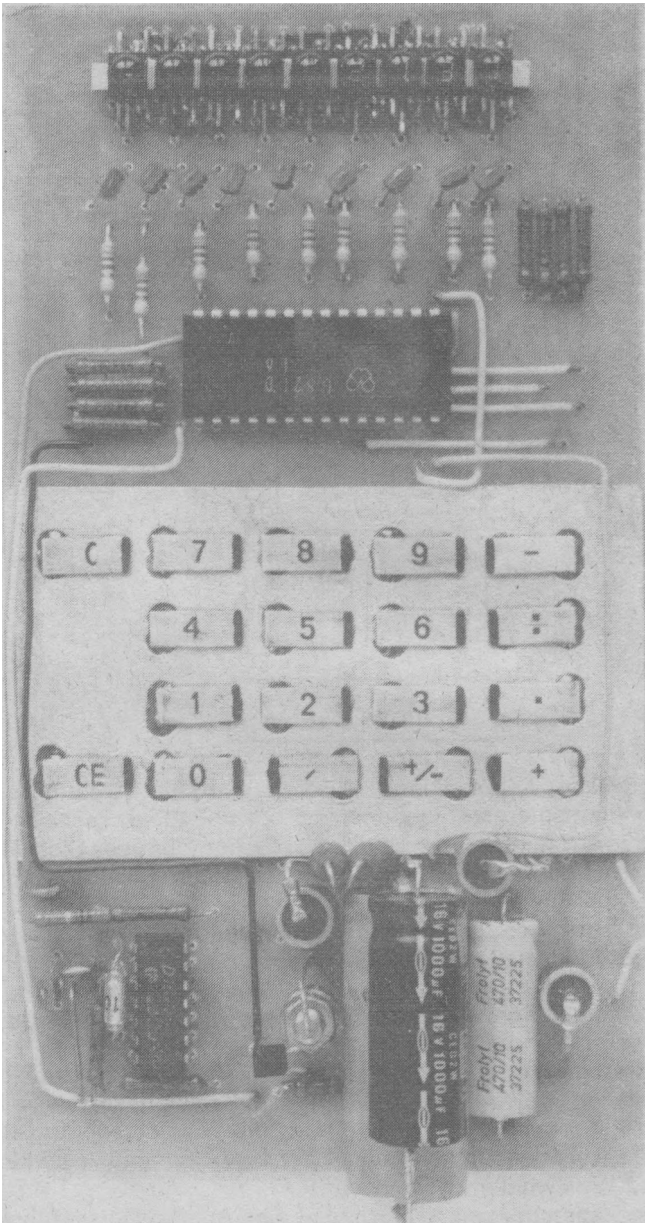
Taschenrechner), die Anzeigeeinheit, einige elektronische Bauelemente, die meist die Stromversorgung und den Taktgenerator bilden, sowie ein schwarzes, flaches Etwas in der Größe einer halben Streichholzschachtel mit vielen, fest verlöteten „Beinen“. Letzteres ist der integrierte Rechnerschaltkreis, dessen Innenleben über das Leistungsvermögen entscheidet. Von diesem Winzling hängt es ab, ob der Rechner auf 8 oder 13 Stellen genau rechnet, ob er neben den vier Grundrechenarten auch Wurzeln ziehen, Logarithmen bilden und Winkelfunktionen ausrechnen kann und ob er die Speicherung von Zahlen zuläßt.

Wer sich das Ganze deutlich vor Augen führen will und über etwas elektronisches Basteltalent verfügt, für den ist der Selbstbau eines solchen einfachen Digitalrechners eine lohnende Sache. Allerdings muß er hier tiefer als beim selbstgebauten Analogrechner in die Tasche greifen. Erfreulicherweise werden die Bauteile ständig billiger, und für den Tastensatz, wie gesagt, das Teuerste, kann man auch etwas selbst erfinden.

Wir haben nach dem Buch von Schlenzig, K., und Bläsing, K.-H., Schaltbeispiele mit dem Rechnerschaltkreis U 820D/U 821D, Berlin 1980, selbst so einen Rechner gebaut, der auf Seite 81 abgebildet ist. Unterhalb des Tastenfeldes befinden sich rechts das Stromversorgungsteil und links der Taktgenerator. Dieser Taktgenerator steuert die Rechenvorgänge im Rechnerschaltkreis U 821D, der sich oberhalb des Tastenfeldes befindet. Die Anzeigeeinheit ganz oben zeigt die 8 Stellen an, mit denen der Rechner arbeitet. Die Stelle ganz links gibt das Minuszeichen und bei Überschreitung der 8 möglichen Stellen den Überlauf des Rechners an. Mit diesem Rechner kann man, wie ein Blick auf das Tastenfeld zeigt, in den vier Grundrechenarten immerhin auf 8 Stellen genau rechnen. Was man alles damit machen kann, werden wir noch beschreiben.

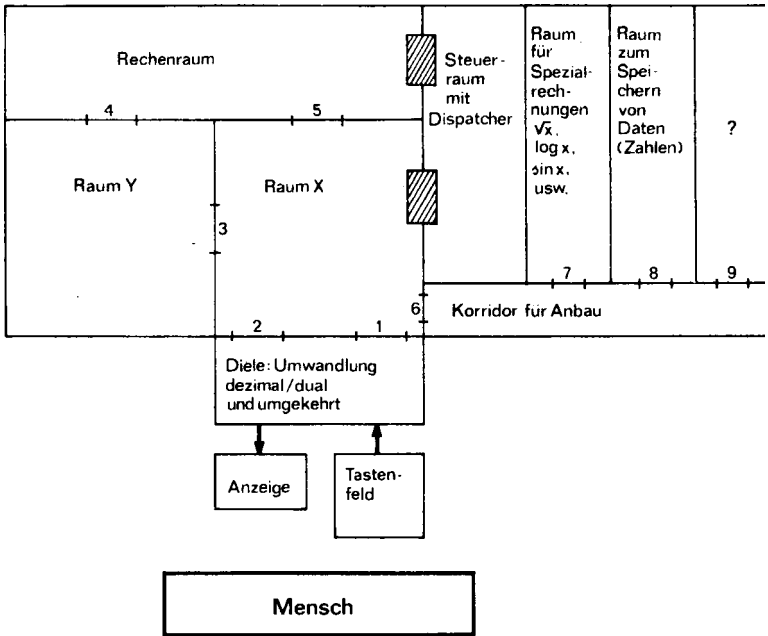
Bei der weiteren Untersuchung des Aufbaus und der Wirkungsweise von Rechnern haben wir es etwas schwerer als der operierende Arzt. Obwohl wir uns schon auf Taschenrechner beschränken (die großen Rechner funktionieren noch etwas anders), sind hier bereits in Leistungsumfang und Bedienungsweise erhebliche Unterschiede festzustellen.* Die grundlegende Funktionsweise ist aber fast allen gemeinsam. Stellen wir uns zur Veranschaulichung einen Wohnungsgrundriß mit mehreren Räumen vor, wie er auf Seite 82 angegeben ist. Eine besondere Bedeutung kommt dem Raum X zu. Über die Diele, die bei der Eingabe die Dezimalzahlen in Dualzahlen umwandelt, ist er mit dem Ta-

* Die einzelnen Bedienungsarten beschreibt H. Kreul in: Was kann mein elektronischer Taschenrechner?, Leipzig 1982 (5. Auflage). Weiter empfehlen wir: Csakany, A., Mein Taschenrechner, Berlin 1980.



Einfacher Digitalrechner (Selbstbau)

stenfeld verbunden. Ebenso wird uns stets das, was sich im Raum X befindet, allerdings in dezimaler Schreibweise, über das Anzeigefeld sichtbar gemacht.



Der Raum X hat weitere Türen zum Raum Y, zum Rechenraum, und, sofern vorhanden, für einen Anbau mit speziellen Aufgaben. Im Steuerraum sitzt ein Dispatcher, der über Sichtfenster das Geschehen im Rechenraum und im Raum X beobachten kann und seine Anweisungen gibt.

Nun geht's los. Es soll die Additionsaufgabe $11 + 5$ gerechnet werden. Wir drücken zunächst zweimal die Taste mit der Ziffer 1. Damit befindet sich die Zahl 11 im Raum X, was wir in der Anzeige beobachten können. Nun drücken wir die $+ -$ Taste. Das löst in unserer Wohnung eine Reihe Aktivitäten aus:

- Die Eingangstür 1 wird geschlossen. Der Rechner hat damit „erkannt“, daß die Eingabe der ersten Zahl abgeschlossen ist.
- Die Zwischentür 3 wird geöffnet, die Zahl 11 auf Anweisung des Dispatchers in den Raum Y transportiert, und anschließend wird Tür 3 wieder verschlossen.
- Der Dispatcher „merkt“ sich, daß eine Addition ausgeführt werden soll, und öffnet wieder die Eingangstür 1.
- Jetzt wird die Taste mit der Ziffer 5 gedrückt. Damit gelangt die Zahl 5 in den Raum X (Kontrolle in der Anzeige).

- Das Drücken der = -Taste bringt wieder Bewegung in die Wohnung.
- Die Eingangstür 1 wird verschlossen, und die Türen 4 und 5 zum Rechenraum werden geöffnet.
- Der Dispatcher gibt die Anweisung, eine Addition der Zahlen in den Räumen X und Y durchzuführen und das Ergebnis im Raum X bereitzustellen.
- Wir sehen das Ergebnis im Anzeigefeld des Rechners.

Beim Subtrahieren, Multiplizieren und Dividieren läuft im Prinzip der gleiche Vorgang ab. Das sieht vielleicht recht umständlich aus, und natürlich hätten wir für $11 + 5$ keinen Rechner gebraucht. Man beachte aber, daß zum Beispiel die weitaus umfangreichere Multiplikationsaufgabe $850.173,5 \cdot 9,806.65$ nach dem gleichen Prinzip in Bruchteilen von Sekunden gelöst wird.

Hat unser Taschenrechner einen oder mehrere Speicherplätze (also kleine Zimmer in unserem Modell) und kann er quadrieren, radizieren, logarithmieren und vieles mehr, dann reicht die bisher benutzte Wohnungsgröße nicht aus. Ein Anbau muß her. Solche Arbeiten werden in Abstimmung zwischen Dispatcher, Raum X und dem Anbau erledigt. Wollen wir zum Beispiel die Wurzel aus der Zahl 2,5 ziehen, dann transportieren wir diese zunächst über das Tastenfeld in den Raum X. Drücken wir die \sqrt{x} -Taste, dann öffnet der Dispatcher die Türen 6 und 7. Im Raum für Spezialrechnungen wird nun die Wurzel berechnet (auf welche Weise, das sehen wir uns später noch an). Das Ergebnis wird zurück nach Raum X gebracht und kann von uns in der Anzeige abgelesen werden. Natürlich können wir auch mit diesem Ergebnis weiterrechnen.

Wollen wir mit bestimmten mathematischen oder physikalischen Konstanten (z. B. dem Normwert der Erdbeschleunigung $9,806.65 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) mehrere Berechnungen ausführen, so wäre es mühsam, diese Zahl bei jeder Rechnung aufs neue einzutasten. Wozu haben wir denn den Zahlenspeicherraum? (Der Fachmann spricht vom Datenspeicher.) Wir bringen diese Zahl einmal in den Raum X, und die Taste mit der Bezeichnung M (erinnert an memory = Gedächtnis, Speicher) oder Sto (erinnert an storage = speichere) transportiert diese Zahl über die Türen 6 und 8 in den Speicherraum. Mit einem einzigen Druck auf die Taste MR, REC, oder RCL (erinnert an recall = rufe zurück) können wir diese Zahl dann zu einem beliebigen Zeitpunkt in den Raum X zurücktransportieren und damit weiterrechnen.

Anspruchsvolle Wohnungsanbauten geben sich nicht mit einem einzigen Speicherraum zufrieden. Sie haben 10 oder 20, ja bis zu 100 Datenspeicher. Damit hier beim Abspeichern und beim Zurückrufen kein heillooses Durcheinander entsteht, werden wie im Hotel die einzelnen Zimmer numeriert. Und diese Zimmernum-

mer, wir sprechen aber von einer Adresse, muß dann beim Speichern und Rufen mit angegeben werden.

Wir haben bisher noch nicht geklärt, was sich hinter der Tür 9 im Raum mit dem Fragezeichen verbirgt. Versetzen wir uns einmal in die Situation eines Motorrad- oder Kleinkraftfahrers, der die Genauigkeit seines Geschwindigkeitsmessers überprüfen möchte. Mit Sozia, Stoppuhr und Bleistift geht es auf die Autobahn, auf der sich alle 500 Meter ein Markierungsstein befindet. Der Fahrer fährt nach Tachometer konstant 40, 50, 60 km/h oder noch mehr. Die Sozia stoppt die Zeit in Sekunden für 500 Meter Weg und schreibt die Zahlen auf den Sturzhelm des Fahrers. Zu Hause wird das Experiment nach der Gleichung

$$\text{Geschwindigkeit } v \text{ in km/h} = \frac{500 \text{ m}}{\text{X s}} \cdot 3,6$$

ausgewertet. Je nach Leistungsvermögen des Taschenrechners sind drei Vorgehensweisen möglich.

1. Rechner beherrscht nur Grundrechenarten:

Hierzu gehört auch unser selbstgebauter Taschenrechner, der keinen „Wohnungsanbau“ (s. S. 82) hat. Wir müssen für jede Berechnung folgende Tasten drücken, die wir durch einen Schrägstrich voneinander trennen wollen: 5/0/0/:/ gemessene Sekunden /•/3/,/6/= . Für jede Berechnung ist es also erforderlich, stets die Konstanten 500 und 3,6 neu einzutasten und die Reihenfolge der gedrückten Tasten genau einzuhalten. Die Wahrscheinlichkeit, einen Fehler zu machen, ist dadurch bei vielen Wiederholungen ziemlich groß. (Der Mensch ermüdet im Gegensatz zum Rechner viel schneller, als man annimmt.)

2. Rechner hat Datenspeicherplätze:

Unsere Wohnung (s. S. 82) hat den Anbau mit Ausnahme des ?-Zimmers. Die Konstante 500 geben wir in diesem Fall nur ein einziges Mal auf den Speicherplatz mit der Adresse 1 und die Konstante 3,6 auf den Speicherplatz mit der Adresse 2. Dann ergibt sich die Tastenfolge: MR/1/:/ gemessene Sekunden /•/MR/2/= . Damit haben wir die Fehlerquelle der falschen Konstanteneingaben bei wiederholten Rechnungen ausgeschaltet. (Noch deutlicher wird das bei komplizierteren Konstanten.)

3. Rechner besitzt ?-Zimmer:

Es wäre nun schön, wenn wir dem Rechner auch noch das Drücken der Tasten, natürlich in der richtigen Reihenfolge, aufbürden

könnten. Etwa so, daß wir nur die gemessenen Sekunden in den Raum X (s. S. 82) eingeben und dann mit einer einzigen Starttaste den Rechner beauftragen, die schon angegebene Tastenfolge selbst durchzuführen.

Dem Rechner muß aber erst einmal eingegeben werden, welche Operationen (Tastendrücke für den Menschen) er in welcher Reihenfolge ausführen soll. Die Anweisung an den Rechner zur Durchführung solch einer Operation bezeichnen wir als Befehl. Die logische Abfolge solcher Befehle, um in unserem Fall die Geschwindigkeit in km/h auszurechnen, nennen wir Rechenprogramm oder kurz Programm. Und damit kommen wir auf das zweite wichtige Unterscheidungsmerkmal von Rechnern (automatisch nach Programm arbeiten oder nicht) zurück.

Das Geheimnis um das ?-Zimmer ist damit gelüftet. In diesem Raum wird die Befehlsfolge, also das Rechenprogramm, nach dem der Rechner automatisch arbeiten soll, gespeichert. Es handelt sich demnach um einen Raum zum Speichern von Befehlen oder Programmschritten eines Rechenprogramms.

Und ebendiese Programmspeicher sind es, die nicht nur das automatische Rechnen, sondern auch das automatische Spritzen, Schleifen und Schweißen mit Industrierobotern ermöglichen.

Aus diesem Grund ist unser Anbau mit Daten- und Programmspeicher für unsere weiteren Betrachtungen auch so wichtig. Ihr Innenleben, ihre Schnelligkeit und ihr Speichervermögen geben das Stichwort: Software.

Des Rechners weiche Ware

Softteis kennt jeder, Software dagegen nicht. Sie ist laut Großem Fremdwörterbuch, Leipzig 1977, „die Gesamtheit der Programme und der programmtechnische Teil einer elektronischen Datenverarbeitungsanlage“. Leistungsfähige Rechenprogramme (z. B. zur Berechnung von Brücken, von Flugbahnen für Raumflugkörper oder zur Bewegung von Robotern) setzen eine leistungsfähige Hardware, also Gerätetechnik, voraus. Die besten von Problemanalysikern und Programmierern zu Papier gebrachten Ideen, die brilliantesten logischen Zusammenhänge lassen sich nicht in die Tat umsetzen, wenn Daten- und Programmspeicherumfang

und Rechengeschwindigkeit zu gering sind. Erst die gerätetechnischen Fortschritte machten es möglich, kleine Schachcomputer zu bauen. (Wir kommen auf das königliche Spiel noch zurück.) So haben die Softwarehersteller vor allem in den letzten zehn bis fünfzehn Jahren in der Entwicklung der Rechentechnik stets versucht, in die ihnen zur Verfügung stehenden elektronischen Gehirne ein Maximum an Intelligenz hineinzupacken.

Die Begriffe Gehirn und Intelligenz verführen zu Vergleichen zwischen Mensch und Computer. Sicherlich haben bisher die Hersteller von Rechenanlagen von den Erkenntnissen der Hirnforscher profitiert. Umgekehrt ist es für die Hirnforscher bestimmt interessant, elektronisch realisierte logische Strukturen mit der Funktionsweise biologischer Systeme zu vergleichen. Aber wir stehen damit erst am Anfang, wie H. Krause in seinem Buch „Gehirn contra Computer“, Leipzig 1976, auf Seite 62 schreibt: „Diese Verhältnisse geben Anlaß genug, die Informationsverarbeitung in biologischen Systemen zu studieren und zu versuchen, die dabei gefundenen Prinzipien auf technische Systeme zu übertragen. Forschungsprogramme mit derartigen Zielstellungen erfordern das Zusammenwirken von Wissenschaftlern vieler Spezialdisziplinen. Für Biologen, Physiologen, Physiker, Chemiker und Elektroniker gilt es, Systemlösungen der Natur ganz aufzudecken. Leider können wir davon zur Zeit trotz vieler schon bekannter Fakten erst wenig erkennen.“

Die Hirnforscher haben Fisch, Frosch, Vogel und Schimpanse untersucht und dabei festgestellt, daß der Vogel für seine ausgezeichneten Sehleistungen schon eine ganze Menge „Grips“ benötigt, der aber an die sehr viel größere Gehirnoberfläche des Schimpansen nicht heranreicht. Die Psychologen streiten um den Begriff der Intelligenz (einige umgehen ihn nach Möglichkeit ganz) und sehen in Intelligenz das Produkt eines komplizierten Zusammenwirkens von Anlage- und Umweltfaktoren mit wesentlicher Beteiligung der Eigeninitiative des Individuums. Zum Glück sind diese Faktoren kein Forschungsgegenstand für den vollkommen willenlosen Computer.

Wir wollen bei unserem Soft- und Hardwareausflug in biologische und technische Systeme das Zahlenbombardement für den Leser möglichst gering halten, doch ganz ohne Zahlen geht es nicht. Folgende Ziele wollen wir anlaufen:

1. Funktionsprinzip von Gehirn und Rechner,
2. Geschwindigkeit beim Bereitstellen von Informationen und bei deren Verarbeitung,
3. Umfang und Dichte der verschiedenen Speicher,
4. Lernfähigkeit von Mensch und Rechner.

Und noch etwas, ohne die Begriffe Bit und Byte (sprich: bait) kommen wir bei unseren Betrachtungen leider nicht aus. Zur Orientierung: Der Kybernetiker setzt den Informationsgehalt eines Buchstabens mit etwa 1,5 bit an, ein „Durchschnittswort“ (5 Buchstaben) umfaßt dann rund 8 bit. Und ebendiese 8 bit sind 1 Byte. Allerdings müssen wir beim Speichern auf Rechenanlagen „mit Verlust“ arbeiten, hier brauchen wir je nach Hard- oder Software des Rechners für 1 Zeichen (Buchstabe oder Ziffer) 8 bit = 1 Byte.

Zu 1.: Der Rechner kann zwar einzelne Schaltfunktionen (z. B. eine Verknüpfung von Zahlen) sehr schnell erledigen, sein größtes Problem besteht aber darin, niemals mehrere Dinge zugleich tun zu können. In einem ganz strengen Serienbetrieb wird Schritt für Schritt im Zusammenspiel zwischen den einzelnen Räumen unseres Wohnungsmodells (s. S. 82) abgearbeitet. Das Gehirn hingegen arbeitet relativ langsam (man denke nur an das kleine und große Einmaleins), hat aber durch seinen Parallelbetrieb viele Vorzüge. Dieses assoziative Prinzip ermöglicht gleichzeitig die Durchführung einer Reihe von Arbeitsschritten und verleiht uns damit wunderbare Fähigkeiten.

Das war in jüngster Zeit für die Rechnerkonstrukteure Anlaß genug, sich auch an assoziativ arbeitenden Computern zu versuchen. Hier ist nicht nur ein einziger Rechnerraum vorhanden, und die herkömmlichen Adressen für die einzelnen Datenspeicher fehlen. Unser Wohnungsgrundriß auf Seite 82 gilt nicht mehr. Der assoziative Rechner besteht aus vielen kleinen, eigenständigen Datenspeichern, denen jeweils eigene Rechenwerke zugeordnet sind. Die zu speichernden, abzurufenden oder zu verknüpfenden Daten werden nicht nach ihren Adressen, sondern nach bestimmten, ihnen innewohnenden Merkmalen behandelt. Auf diese Weise ist der erwünschte Parallelbetrieb mit einer rund dreihundertfachen Rechengeschwindigkeit möglich. Zur Zeit befinden sich assoziativ arbeitende Digitalrechner im Laborstadium, obwohl Zuse schon um 1945 dazu theoretische Darlegungen machte.

Zu 2.: Wozu brauchen wir überhaupt so hohe Rechengeschwindigkeiten? Damit werden beispielsweise Raketen und Raumflugkörper erst steuerbar. Und wenn Sie gegen einen Computer Schach spielen, würden Sie dann 10 oder 20 Stunden auf seinen Gegenzug warten wollen?

Die Geschwindigkeit eines, ganz allgemein gesprochen, informationsverarbeitenden Prozesses hängt im wesentlichen von zwei Faktoren ab. Der erste kennzeichnet die Zeit, die erforderlich ist, um eine Information (z. B. Zahlen oder Wörter) im Speicher aufzusuchen und sie der Verarbeitungseinheit (z. B. „Rechnerraum“) bereitzustellen. Diese Zeit nennen wir Zugriffszeit. Der

zweite charakterisiert die Verarbeitungsgeschwindigkeit, in der eine Rechenoperation ausgeführt wird.

Während die kürzeste Zugriffszeit beim menschlichen Gehirn etwa $\frac{1}{100}$ s beträgt, liegt sie bei modernen Rechenanlagen im Nanosekundenbereich (10^{-9} s). Allerdings können diese Zugriffszeiten in beiden Fällen auch 10 und mehr Sekunden betragen. Bei uns selbst kennen wir das aus eigenen Erfahrungen, bei Rechnern treten so lange Zeiten zum Beispiel bei der Benutzung von Magnetbändern als externe, zusätzliche Speicher auf.

Auch die Betrachtung der Verarbeitungsgeschwindigkeit fällt für den Rechner ganz gut aus. So führt zum Beispiel der elektronische Kleinrechner KRS 4200 eine Multiplikation von zwei zwölfstelligen Zahlen in weniger als 2 Millisekunden aus. Der Rechner Z 3, 1941 von Zuse gebaut, brauchte dazu etwa 3 Sekunden. Während wir in 30 Sekunden etwa bis 100 zählen können, bringt es ein elektronischer Zähler in gleicher Zeit auf 50 Millionen und mehr. Die magische Zahl der Rechentechniker ist die Anzahl der Operationen je Sekunde (Op/s). Die Weltspitze lag 1983 mit dem Großrechner Cyber 205 bei $800 \cdot 10^6$ Op/s. Allerdings benötigt dieser Superrechner etwa 100 Kilowatt, unser Gehirn gibt sich dagegen mit weniger als 25 Watt zufrieden. Wir sollten diese magische Zahl auch mit gesundem Menschenverstand betrachten. Zum einen werden für die meisten Berechnungen im wissenschaftlich-technischen Bereich so hohe Verarbeitungsgeschwindigkeiten gar nicht benötigt (der schon erwähnte KRS 4200 „bringt“ etwa 74.000 Op/s), zum anderen müssen wir immer bedenken, was ein Rechner kann und was er nicht kann.

Er kann rechnen, vergleichen, suchen, steuern, kombinieren, raten, spielen und in gewisser Weise auch lernen. Bei Entscheidungen, die sich nicht auf reine logische Vergleiche von Zahlen oder Buchstaben zurückführen lassen, versagt er.

Und bei unvorhersehbaren Dingen macht er Unsinn. Der radfahrende Roboter stolpert und fällt hin, wenn ihm kein Stolperprogramm eingegeben wurde. Ein Glück, daß wir Stolper-, Treppesteig- und viele, viele andere Programme in unserem Kopf stets parat haben. Und zum Laufen, Autofahren und bei allen übrigen menschlichen Tätigkeiten reicht die verfügbare Verarbeitungsgeschwindigkeit völlig. Bei der Steuerung eines Düsenflugzeugs oder eines Raumflugkörpers sind dann aber unsere Grenzen erreicht.

Zu 3.: Weitere magische Zahlen in der Rechentechnik sind das Aufnahmevermögen von Speichern und ihr erforderlicher Raumbedarf. Diese Daten- und Programmspeicher (s. Anbau im Bild auf S. 82) entscheiden ganz erheblich über Ökonomie und Lei-

stungsvermögen der Rechentechnik. Auf diesem Gebiet haben sich in den letzten 10 Jahren Dinge ereignet, die einer genaueren Betrachtung wert sind. Der große Superrechner für die britischen Universitäten speichert auf Magnetplatten rund 3 Milliarden Wörter (etwa 10.000 Bücher) und benötigt zum Wiederauffinden höchstens $\frac{1}{30}$ Sekunde. Nach unseren eingangs gemachten Absprachen benötigen wir im Rechner zur Speicherung eines Wortes 40 bit (5 Buchstaben \cdot 8 bit). Damit ergeben $3 \cdot 10^9$ Wörter \cdot 40 bit = $1,2 \cdot 10^{11}$ bit. (Wichtig sind hier eigentlich nur die Zehnerpotenzen.) Für die Speicherkapazität unseres Gehirns werden 10^{13} bit angenommen.* Dieses um drei Zehnerpotenzen höhere Fassungsvermögen (übrigens erreicht der gegenwärtig größte Mikrofichespeicher der Welt gerade diese 10^{13} bit) wird mit einem Bruchteil des Leistungsbedarfs und des erforderlichen Raumes im Gegensatz zu diesen Superrechnern erreicht. Da das Gehirnvolumen rund 1500 cm^3 beträgt, ergibt sich eine Speicherdichte von etwa $7 - 10^9 \text{ bit/cm}^3$. Das ist zur Zeit noch ein „Traumwert“ für den Computerhersteller. Selbst bei Erreichen solcher Speicherdichten würden die höheren Leistungen des Menschen gegenüber der Technik erhalten bleiben, da die Informationsverarbeitung selbst viel komplexer und effektiver vonstatten geht.

Der Knüller des Jahres 1982 war ein Magnetblasenspeicher mit einer Speicherkapazität von $4 \cdot 10^6$ bit auf einem 1 cm^2 großen Chip. (Etwas ungenau können wir auch von $4 \cdot 10^6 \text{ bit/cm}^3$ sprechen.) Allerdings muß bei solchen technischen Daten zu dem aktiven Speichervolumen noch das technische Drum und Dran (Ansteuerbausteine, Anschlüsse zu den anderen Bauteilen) mit hinzugezählt werden.

Im vorliegenden Fall ist das Ganze auf einer Leiterplatte von $10 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ untergebracht, und schon sieht die ganze Rechnung wieder anders aus. Den Computerhersteller interessiert natürlich, wo die physikalische und vor allem technische Grenze der erreichbaren Speicherdichte liegt. Ohne Wärmeschäden muß ja Energie hineingepackt und wieder herausgeholt werden. Nach vagen Abschätzungen scheinen tatsächlich 10^9 bit/cm^3 theoretisch möglich zu sein, aber wann?

„Nichts Wahres läßt sich von der Zukunft wissen“, läßt schon F. Schiller (1759-1805) die Isabella in der „Braut von Messina“ sagen. Die letzten zehn Jahre Rechentechnik waren aufregend genug und voller Überraschungen.

So haben die gegenwärtigen programmierbaren elektronischen Taschenrechner mit einer Masse von 300 Gramm ein

* Je nach Berechnungshypothese werden auch Speichervermögen von 10^{10} bit und 10^{20} bit angegeben.

höheres Leistungsvermögen als zehn Jahre alte Rechenanlagen in der Größe von zwei Schreibtischen.

Die Mikroelektronik machte es erforderlich, die Begriffe Groß-, Klein- und Kleinstrechner neu zu durchdenken.

Großrechner - mehrere 100.000 Befehle
-mehrere 10.000 Daten mit Zusatzspeichern
mehrere Millionen Daten

Kleinrechner - mehrere 10 000 Befehle
- mehrere 1 000 Daten, mit Zusatzspeichern
mehrere 10000 Daten

**Kleinstrechner (programmierbare Tisch-
und Taschenrechner)** - mehrere 1000 Befehle
- mehrere 100 Daten

War es in den sechziger Jahren noch ökonomisch sinnvoller, die Daten zum damaligen Großrechner hinzubringen, so können wir es uns heute leisten, Rechner dort hinzustellen, wo die Daten anfallen.

Diese Dezentralisierung machte es auch erst möglich, in jeden Roboter den für ihn vorteilhaftesten Rechner einzubauen.

Der schon erwähnte, mit 18 000 Elektronenröhren arbeitende Rechner von 1946 kostete 2 Millionen Dollar und benötigte mit seinen 30 Tonnen einen ganzen Häuserblock, eine eigene Energiestation und ein Kühlhaus. Heute dagegen sind 500.000 und mehr Transistorfunktionen auf einem kleinen Siliziumplättchen, dem Chip, von 1,5 cm² Fläche vereint.

Doch noch einmal zurück zur magischen Zahl der Speicherdichte. Konnten 1970 etwa 1000 bit auf einem solchen Chip untergebracht werden, so waren es 1983 schon 512.000 bit/Chip. Zugleich aber, und das zeigt vor allem die Fortschritte in der Herstellungstechnologie, betrug der Preis je Chip 1983 nur noch ein Zehntel des Preises von 1970. Beides gemeinsam, also besser und billiger, war eine der größten Herausforderungen an die Softwarehersteller, die auch gleich darangingen, diesen Winzlingen rechentechnisches Leben einzuhauchen.

Und was weist der Abrechnungsbogen des Ökonomen beim Einsatz dieser hochintegrierten Schaltkreise aus? Für solche neuartigen Speicher in der elektronischen Datenverarbeitungsanlage EC 1040 vom VEB Kombinat Robotron wird statt drei nur noch ein

Schaltschrank benötigt, die Zahl der Leiterplatten sinkt auf ein Viertel, und statt 220 Kilogramm Kupfer werden nur noch 60 Kilogramm benötigt. Und die stolzen Besitzer hochmoderner Farbfernsehempfänger heizen beim Fernsehen mit diesem Gerät nicht mehr ihre Wohnung, da die integrierten Schaltkreise mit 100 Watt Leistungsaufnahme zufrieden sind.

Zu 4.: Allein die Untersuchung des Lernens bei Mensch, Tier und Rechner würde einige Bücher füllen. Immerhin sind im Wörterbuch der Psychologie, Leipzig 1978, diesem Thema 13 kleinbedruckte Seiten gewidmet. Wir haben natürlich die Rechnersoftware im Auge. Und was Lernen eigentlich ist, das können wir für uns so vorteilhaft und allgemein ausdrücken, daß es für Mensch, Tier und Rechner gleichermaßen gilt. Wir wollen darunter einen informationsverarbeitenden Prozeß verstehen, durch den ein biologisches oder technisches System Erfahrungen erwirbt, die beim künftigen Verhalten berücksichtigt werden können. Natürlich hat das menschliche Lernen, bedingt durch die Sprache und die Bewußtheit, mit der es erfolgt, seine Besonderheiten. Der Mensch lernt, vereinfacht gesagt, in zweierlei Richtungen. Da ist zum einen das Lernen als allgemeiner Entwicklungsvorgang, bei dem das Kleinkind das Treppensteigen und die Reaktionen auf das schon erwähnte Stolpern erlernt. Der Psychologe spricht hier von der Herausbildung stabiler Handlungsprogramme. Zum anderen ist menschliches Lernen eine spezielle Tätigkeit in allen möglichen Schulen (und möglichst auch außerhalb dieser), wo die Aneignung von Wissen und Können erfolgt.

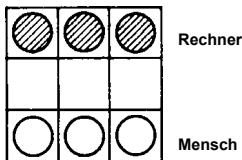
So lief der Schulmontag in der Dorfschule zu Bennstedt bei Halle anno 1674 folgendermaßen ab:

- Hora 7 - Morgenlied und Morgensegen, Gebet, samt den Catechismo
- Hora 8 - wird die Lection verhöret
- Hora 9 - wird das Evangelium auswendig gelernt und die Kleinen nochmals verhöret
- Hora 10 - wird der Spruch fürgebetet und mit andern Gebet beschlossen
a meridie
- Hora 12 - Singstunde
- Hora 1 - wird die Lection verhöret
- Hora 2 - müssen die Größeren schreiben und rechnen
- Hora 3 - werden die Kleinen nochmals verhöret, und mit dem Abendsegen und anderen Gebeten wird geschlossen.

Das war die Zeit der Rechenmaschinen von Leibniz und Pascal und des aufkommenden Rechenstabes. Was hat sich seitdem alles verändert? Wir wollen uns das Lernen eines Rechners einmal an einem Spiel verdeutlichen. Die Spielregeln, das Ausführen der

Züge und die „Verhaltensänderung“ des Rechners auf Grund seiner gewonnenen „Erfahrungen“ bei jedem Spiel lassen sich in einem Rechenprogramm ohne Schwierigkeiten unterbringen.

Unser Mini-Damespielfeld hat 9 Felder. Der Rechner besitzt drei schraffierte und wir drei weiße Steine mit folgender Ausgangsstellung:



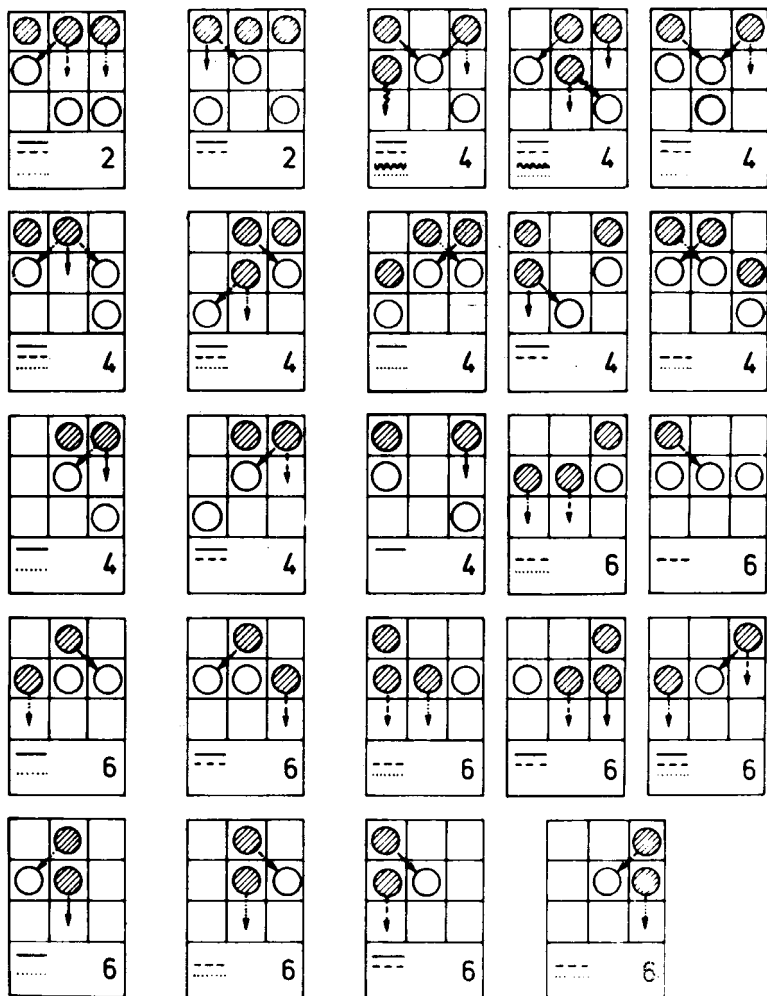
Es sollen folgende Spielregeln gelten:

1. Weiß, also der Mensch, beginnt.
2. Ein Stein kann ein Feld vorziehen, wenn dieses Feld leer ist. Ein Rückwärtsziehen ist nicht erlaubt.
3. Es wird schräg geschlagen, aber es besteht kein Schlagzwang.
4. Ein Spieler (Mensch oder Rechner) hat gewonnen, wenn
 - ein Stein auf der gegnerischen Seite angekommen ist oder
 - der Gegner keine Steine mehr hat oder
 - der Gegner keine Zugmöglichkeiten mehr hat.

Die Herstellung des Rechenprogramms setzt voraus, daß wir als Programmierer alle Spielsituationen, die jemals auftreten können, in das Rechenprogramm aufnehmen müssen. Der Mensch muß also alles vorher bedacht haben. (Allerdings sind z. B. Schachprogramme anders aufgebaut.) Auf Seite 93 sind alle möglichen Spielstellungen und die möglichen Reaktionen des Rechners durch Pfeile dargestellt. Die Zahlen kennzeichnen die Situationen nach dem 2., 4. oder 6. Zug. Länger kann ein Spiel nicht dauern. Mit einem Würfel, den wir in Form eines Zufallszahlengenerators in das Rechenprogramm einbauen, wird die entsprechende Spielvariante (---- oder ----- oder ~~~~~ oder) „ausgewürfelt“.

Worin besteht nun der Lernvorgang beim Rechner? Jedes einzelne Spiel endet mit Sieg oder Niederlage des Rechners. Wenn der Rechner siegt, dann nimmt er keine Änderung in seinem Programm vor. Verliert er aber, dann löscht er seine letzte Zugvariante in diesem Spiel für immer. Damit „lernt“ er bei jeder Niederlage und sorgt durch Löschung dafür, daß ihm das nicht wieder passiert.

Sie können das natürlich auch einmal mit Würfel und Freund oder Freundin ausprobieren, die dann als Rechner fungieren dürfen. Nach 15 bis 20 Spielen hat der Rechner seine optimale Strategie gelernt und gewinnt immer. Ein lernender Rechner (das gilt auch für Roboter, die nicht rechnen, sondern bestimmte Bewe-



gungen ausführen) muß demnach über folgende Fähigkeiten verfügen:

1. Er kann bestimmte Rechen- oder Bewegungsschritte ausführen und das jeweilige Ergebnis im Hinblick auf das vorgegebene Ziel auswerten.
2. Er kann sich die Rechen- oder Bewegungsschritte merken, die zum Erfolg führten. Bei einer Wiederholung solcher Aufgaben oder Bewegungen wird er sie bevorzugt anwenden.

Fassen wir zusammen: Der Rechner kann lernen, aber nur, wenn wir ihm dabei helfen.

Was zeigen diese Betrachtungen? Die erfolgreiche Zukunft kann nur im geschickten Zusammenspiel von Mensch und Rechner liegen. Nicht beachtet hatte das offenbar eine australische Firma, in deren Jahresbericht zu lesen war: „Die Verluste im Berichtsjahr sind auf die Installation eines Digitalrechners zurückzuführen, der den Betriebsablauf des Unternehmens hoffnungslos durcheinanderbrachte“ (zitiert nach „Electronics News“ vom 6. Dezember 1967). Aber für Beispiele solcher Startschwierigkeiten brauchen wir gar nicht erst bis nach Australien zu blicken, auch die Sparkassen in unserer Republik hatten da ihre Anfangsprobleme.

Es sind im wesentlichen vier Fähigkeiten, die den Rechner zu unserem Freund und Helfer werden lassen:

1. Fähigkeit, schnell und genau zu rechnen:

Bei allen wissenschaftlichen und technischen Berechnungen ist der Rechner dem Ingenieur eine große Hilfe. Für den Konstrukteur berechnet er die Festigkeit von Brücken, und der Technologe kann mit ihm die Arbeitswerte für „seinen“ Füge- oder Umformprozeß ausrechnen. Für den Ökonomen werden Löhne, Gehälter, Preise, Kosten und Zuwachsraten ermittelt. Darüber hinaus kann er die Transportwege zwischen mehreren Baustellen, dem Plattenwerk und der Sandgrube so optimieren, daß minimale Leerkilometer entstehen. Diese Optimierungsrechnung muß allerdings schnell erfolgen, damit es keinen Terminverzug gibt. Der Astronom kann aus den zur Erde gesendeten Impulsen erst mit Hilfe des Rechners ein Bild vom Jupiter in den Händen halten. Die Herstellung einer Wetterkarte aus allen Weltwetterdaten ist nur mit Hilfe von Rechnern in vertretbarer Zeit möglich, und der Mediziner erhöht mit einer Computertomographie die Sicherheit seiner Diagnose.

2. Fähigkeit, schnell und sicher zu speichern und zu vergleichen:

Ganze Telefon- und Wörterbücher und Karteien der Bibliotheken werden auf kleinstem Raum gespeichert. Der Rechner gibt Auskunft über den Kontenstand auf der Bank, reserviert Sitzplätze in Eisenbahnen und Flugzeugen. Er hat die Ein- und Ausgänge eines großen Materiallagers „im Kopf“ und gibt ein Signal, wenn der Bestand eines Teiles eine kritische Grenze erreicht. Alles in allem, ein nimmermüdes Auskunftsbüro.

3. Fähigkeit, Situationen durchzuspielen:

In Modellen können die positiven und negativen Auswirkungen menschlicher Eingriffe in die Natur untersucht werden. Der Rechner „spielt“ dann die nächsten fünf, zehn oder fünfzehn Jahre durch und zeigt als Ergebnis, ob beispielsweise in allen Städten die Benutzung von Fahrzeugen mit Abgasen verboten werden muß. Aber auch technische Modelle, die bei praktischer Testung zu teuer oder zu gefährlich werden, können mit Hilfe von Rechnern simuliert werden.

4. Fähigkeit, schnell zu rechnen und steuernd in einen Prozeß einzugreifen:

Hier muß der Rechner schneller sein als das Objekt. So kann er während des Fluges einer Rakete, eines Raumflugkörpers oder eines Düsenflugzeugs laufend die Koordinaten neu berechnen und damit korrigierend in die Steuerung eingreifen. Das schaffen auch zehn Rechenkünstler auf einmal nicht. Das gleiche gilt für große Energieversorgungsnetze, für die automatische Flugsicherung auf Flughäfen, für moderne Ampelsteuerungen und für die Steuerung der Zutaten in Großbäckereien. Und natürlich für unser Lieblingskind, den Roboter. Je nach „Intelligenz“ korrigiert er die Arbeitswerte und gleicht Ungenauigkeiten am Verarbeitungsmaterial aus.

Der Rechner tut also schon allerhand für uns (wenn wir es ihm erst einmal beigebracht haben). Deshalb lohnt es sich, mit ihm in einen Dialog zu treten. Allerdings wird dieser Dialog gegenwärtig noch dadurch erschwert, daß unser Freund und Helfer weder über Ohren und Augen (für die Eingabe von Daten und Befehlen) noch über Sprechwerkzeuge (für die Ausgabe der Ergebnisse) verfügt. Gegenwärtig sind die Softwarespezialisten in aller Welt mit großem Eifer dabei, diese Schwachstelle zu beseitigen. Den „lesenden“ Rechner, zum Beispiel zur Briefsortierung oder zum Einlesen der Preise von Waren in die Kaufhallenkasse, gibt es schon längere Zeit. Allerdings funktioniert er nur dann sicher, wenn genormte Zahlen und Buchstaben oder eine bestimmte Strichsymbolik benutzt werden. Bei einer Neuerung aus den USA können in die vorgegebenen Kästchen eines mit dem Rechner gekoppelten Eingabeformulars auch handschriftliche Druckbuchstaben direkt in den Rechner eingegeben werden. Auf einem Bildschirm gibt er dann zur Kontrolle die von ihm gelesenen Buchstaben an.

Mit dem „hörenden“ Computer ist es schon schwieriger. Die ersten Laborerkenntnisse aus Lwow und Kiew in der Sowjetunion, aus Japan und den USA zeigen aber deutlich den Weg. Der Kiewer Großrechner „versteh“ immerhin schon 1000 Wörter, reagiert aber nur auf die Stimme einer Person, deren Stimmlage

vorher erfaßt und eingespeichert wurde. Der Spracherkennung SEM 1620 vom Kombinat Robotron kann nach dem gleichen Prinzip bis zu 100 Wörter einwandfrei verstehen. Das persönliche Sprecher Referenz-Wortmuster muß im Trainingsmodus fünf- bis zehnmal vorgesprochen werden. Der Modul bildet daraus einen Mittelwert, der dann zum Vergleich bereitsteht. Im Arbeitseinsatz wird die über Mikrofon aufgenommene Sprachinformation in Filternetzwerken bearbeitet und mit den gespeicherten Referenz-Wortmustern verglichen. Wird in diesem Vergleich eine Gleichheit festgestellt, dann kann eine vorprogrammierte Aktion ausgelöst werden.

Immerhin sind für die Spracherkennung von 1 Sekunde Sprechzeit über 6 Millionen Rechneroperationen erforderlich, wobei gegenwärtig nur einzelne Wörter, nicht also fließend Gesprochenes, erkannt werden können.

Die Eingabe von Zahlen oder Wörtern über Mikrofon ist vor allem dann nützlich, wenn ein Tastenfeld nicht oder nur umständlich bedient werden kann. Das betrifft Ausländer für die Worteingabe, aber auch Werktätige, die u. a. beide Hände für die Ausführung ihrer Arbeit brauchen. Auch bei der Beobachtung eines Prozesses können die Beobachtungsergebnisse zwar leicht gesprochen, aber nur mit hohem Fehlerrisiko über eine Tastatur eingegeben werden. Das trifft insbesondere für abgedunkelte Arbeitsräume (z. B. Filmherstellung oder -entwicklung) zu. Bei Sortiervorgängen, bei der Kontrolle der Fertigungsqualität und von Wareneingängen und -ausgängen hat die Spracheingabe die Sicherheit und die Schnelligkeit der Dateneingabe erhöht. Die Erkennungssicherheit der Wörter liegt bei 94 bis 98 Prozent. In knapp 2 Sekunden ist ein Wort decodiert und im Sprachmodul überprüft. Bei Schnupfen und Heiserkeit kann es allerdings passieren, daß dem Rechner im Trainingsmodus die Wörter neu vorgesprochen werden müssen.

Die Sprachausgabe bei Rechnern ist erheblich einfacher als die Spracherkennung. Sie gewinnt vor allem für telefonische Auskünfte und Bestellungen und nicht zuletzt durch die Möglichkeiten der Papiereinsparung an Bedeutung. Sprachausgaben lassen sich gegenwärtig auf zwei Wegen erzeugen. Der eine besteht in der Benutzung von Sprachsyntheseprogrammen. Das Ganze ist rechentechnisch recht einfach (z. B. der Sprachsynthesator ROSY 4000 vom VEB Kombinat Robotron), die Ausgabequalität ist aber relativ niedrig.

Der zweite Weg besteht in der digitalen Speicherung von gesprochenen Texten in modernen Speicherbausteinen. Die vom Tonband oder Mikrofon kommende Stimme wird elektronisch in

Einzelteile zerlegt, digitalisiert und als Folge von Bits gespeichert. Allerdings werden für ein englisches Wort mittlerer Länge beachtliche 1200 bit benötigt, in anderen Sprachen sogar bis zu 50 Prozent mehr. Die Sprachqualität ist so gut, daß derartige Rechner (neuerdings auch im Taschenformat) sogar als Sprachtrainer zum Erlernen der Aussprache bei Fremdsprachen benutzt werden können. So werden die 200 Wörter eines kleinen Sprachtrainers in einem 256.000-bit-Speicher untergebracht. Das schaffen nur moderne Bauteile hoher Speicherdichte, über die wir schon sprachen. Der Kurzansagemodul K7801 vom Kombinat Robotron kann auf diese Weise 16 Sekunden Sprache speichern.

Als Richtwert kann man annehmen, daß für 1 Sekunde Sprechzeit etwa 1000 bis 2000 bit Speicherkapazität erforderlich sind.

Der „sprechende“ Roboter, der uns akustisch auf Gefahren aufmerksam macht oder energisch nach Material ruft, ist damit ohne Schwierigkeiten realisierbar.

Wir wollen unseren Softwareausflug hier abbrechen. Er gab einen kleinen Einblick in das, was gegenwärtig und in naher Zukunft auf diesem Gebiet des Zusammenspiels von Hard- und Software noch alles geschehen wird. Dabei haben wir nur die Software betrachtet, die bei der Herstellung des Rechners schon in ihn hineingepackt wird. Dazu gehören auch fest eingespeicherte Softwareprogramme zur Berechnung von Wurzeln, Logarithmen und trigonometrischen Funktionen. (Erinnern Sie sich noch an unseren Wohnungsbau auf S. 82?) Bei dieser Software wird nur unser Geldbeutel, nicht aber unser Geist strapaziert. Letzteren brauchen wir aber, wenn wir selbst Software herstellen wollen. Das soll im folgenden Abschnitt geschehen.

Der mühsame Weg von P nach P

Wir wollen den Leser natürlich nicht von Pontius zu Pilatus schicken. Dieses Sprichwort ist an sich unsinnig, da Pontius und Pilatus ja derselbe Mann ist. Dieser Pontius Pilatus (gest. 39), Statthalter im Römischen Reich, soll Jesus zum König Herodes Antipas (vermutlich 20 v. u. Z. - 39) und dieser ihn wieder zurück zu Pontius Pilatus geschickt haben. Dieser Weg mag genauso mühselig gewesen sein wie der unsrige, wenn wir von einem Problem

zu einem Programm kommen wollen. Ein Hersteller von Software drückte das einmal, wenn auch etwas übertrieben, so aus: Wir verkaufen Software, und damit sie funktioniert, brauchen wir das Stück Blech, das wir Computer nennen.

Was benötigen wir nun, um selbst Software herzustellen? Das wichtigste sind zunächst Bleistift, Papier, Radiergummi und viel, viel Geist, der Rechner kommt erst später. Folgende drei Schritte müssen durchlaufen werden:

1. Völlige Klarheit über Aufgabenstellung, Lösungsweg und Ziel verschaffen.
2. Darstellung der vorhandenen Größen, des Lösungsweges und der gesuchten Größen in einem Programmablaufplan (PAP).
3. Umsetzung des Programmablaufplanes in ein Rechenprogramm für einen Rechnertyp oder in eine bestimmte Programmiersprache.

Der Schwierigkeitsgrad und damit die Menge der verausgabten geistigen Energien nehmen im allgemeinen mit aufsteigender Schrittfolge ab. Wir wollen uns das einmal näher ansehen.

Zu 1.: Der bekannte deutsche Physiker Werner Heisenberg (geb. 1901) sagte einmal, daß eine richtige Fragestellung oft mehr als der halbe Weg zur Lösung eines Problems sei. Die Problemanalytiker sind es, die folgende Fragen auf dem mühsamen Weg von P nach P beantworten müssen: Was ist gesucht? Was ist gegeben? Wie kommt man vom Gegebenen zum Gesuchten? Im Hinblick auf die angestrebte Aufgabenlösung mit dem Rechner gilt es zu bedenken, daß dieser eben „nur“ rechnen kann. Allerdings ist das Rechnen mit Zahlen, so wie es allgemein verstanden wird, nur die unterste Stufe des Rechnens. Auch das Umstellen von Formeln unter Ausnutzung der Logarithmen- und Potenzgesetze und das Fällen logischer Entscheidungen (a größer, gleich oder kleiner als b) gehören zum Rechnen. Nach Zuse läuft ein Rechenvorgang dann ab, wenn aus gegebenen Angaben nach einer Vorschrift neue Angaben gebildet werden. Eine solche Vorschrift nennen wir heute einen Algorithmus.

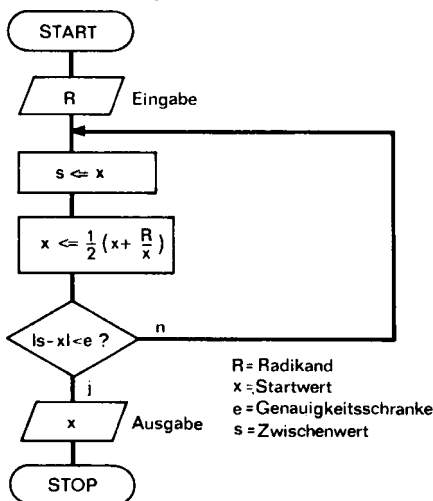
Das Ziel des Problemanalytikers besteht demnach darin, für die Aufgabe einen Lösungsalgorithmus zu finden, der außerdem noch in vertretbarer Rechenzeit vom Computer abgearbeitet werden kann. Dieses Problem der Rechenzeit wird sich besonders deutlich bei unseren Schachbetrachtungen am Ende dieses Abschnitts zeigen. Mathematiker haben nachgewiesen, daß es Aufgabenklassen gibt, für die ein Lösungsalgorithmus aufgestellt werden kann, und solche, bei denen das nicht möglich ist. (Hier kann der Rechner gar nicht oder nur bei Teilstrecken helfen.) Be-

dauerlicherweise gibt es aber in der Praxis eine Vielzahl von Aufgaben, von denen man nicht weiß, ob sie zu dieser oder jener Gruppe gehören.

Was meinen Sie, ist folgendes Spiel algorithmierbar und damit in ein Rechenprogramm umsetzbar? Ein Münzwurf entscheidet, ob Mensch oder Rechner beginnen darf. Der Beginnende „nennt“ eine Zahl zwischen 1 und 10. Der andere sucht sich ebenfalls eine dieser Zahlen heraus und addiert sie zu der vorherigen. Wer zuerst die 100 erreicht, ist Sieger. Das Spiel ist tatsächlich algorithmierbar. Kennt der Mensch den Algorithmus nicht, so wird, von Zufällen abgesehen, stets der Rechner gewinnen. Kennt der Mensch aber den Algorithmus, natürlich mindestens derjenige, der Algorithmus und Rechenprogramm aufgestellt hat, dann hat der Beginnende keine Chance, da er nicht mehr auf die Gewinnreihe 12, 23, 34, 45, 56, 67, 78, 89 kommen kann.

Zu 2.: Ist der Lösungsalgorithmus bekannt, dann gilt es, ihn in eine für den Programmierer günstige Darstellungsform zu bringen. Das geschieht meist mit einem Programmablaufplan. Die dabei benutzten Symbole machen die Aufgabe durchschaubarer und leichter programmierbar. Erinnern Sie sich noch an den Anbau in unserem „Wohnungsgrundriß“ auf Seite 82? Im Anbau zur Berechnung von Quadratwurzeln ist der PAP (s. S. 99) für immer fest programmiert.

Der Startwert x , beispielsweise die Zahl 1, und die Genauigkeitsschranke e (zum Beispiel 0,0001 für vier genaue Stellen nach dem Komma) sind fest in diesem Rechenprogramm eingespeichert. Der Radikand R wird über das Tastenfeld eingegeben. In Bruchteilen von Sekunden wird nun der PAP so oft durchlaufen, bis die Genauigkeitsforderung erfüllt ist. Für $x = 1$, $e = 0,0001$ muß der PAP zur Berechnung von $\sqrt{2}$ viermal durchlaufen werden.



Zu 3.: Der Programmierer steht jetzt vor der Aufgabe, aus dem vorliegenden PAP ein Rechenprogramm zu machen, das sich aus vielen Anweisungen (Befehlen) zusammensetzt. Diese Befehle müssen so beschaffen sein, daß sie der Rechner „versteht“, denn nur dann kann er sie auch ausführen. Einen Vergleich bietet das Ausland, in dem wir uns sprachunkundig aufhalten. Eine Anweisung des Polizisten in Budapest verstehen wir nicht. Da helfen oft Hände und Sprachgemische, beim Rechner aber nicht. Er reagiert eiskalt mit einer Fehlermeldung, wenn ein Befehl für ihn unverständlich ist.

Ein Wunschtraum des Programmierers würde in Erfüllung gehen, wenn der Rechner den PAP einfach vorgelesen bekäme (die Spracheingabe erwähnten wir ja schon) oder ihn selbst lesen könnte. Zur Zeit befinden sich solche Versuche im Laborstadium. Die Entwicklung begann, wie vermutlich bei jeder Sprache, recht mühselig.

Die Programmierung in Maschinensprache ist mit den Urlauten unserer Vorfahren vergleichbar. Kleine Datenspeicher und geringe Rechengeschwindigkeit der ersten Computer erforderten aber diese Urlautprogrammierung. Alle Befehle für den Rechner müssen bei der Programmierung in Maschinensprache in eine dem Rechner verständliche Kombination von Ziffern umgesetzt werden. So bedeutet zum Beispiel bei dem technisch überholten Kleinrechner SER 2d die Ziffernkombination 15 01 eine Addition (Ziffer 1 ganz rechts) mit 0 Kommastellen, bei der der Inhalt des Speicherplatzes 15 zum Inhalt des A-Registers (entspricht unserem Raum X, s. S. 82) addiert wird. Für andere Rechner gelten wieder andere Ziffernkombinationen. Erschwerend kommt bei der Programmierung in Maschinensprache hinzu, daß der Programmierer über die Stellen vor und nach dem Komma einer jeden Zahl nachdenken muß, ein Tribut an mangelnden Speicherplatz.


Im Bestreben, den Programmierer von aufwendigen Routinetätigkeiten zu entlasten und möglichst viel davon dem Rechner aufzubürden, entstanden maschinenorientierte Programmiersprachen. Sie werden auch Assemblersprachen genannt, weil hier schon der Rechner in einem Übersetzungsvorgang das vom Menschen geschriebene Programm zum eigentlichen Maschinenprogramm selbst zusammenstellt. Aus den Urlauten ist jetzt ein „Gestammel“ geworden. Bei dieser „Gestammel“-Programmierung braucht sich der Programmierer nicht mehr um das Verschlüsseln der Befehle in Ziffernkombinationen zu kümmern. Er arbeitet vielmehr mit einprägsamen Symbolen. So bedeutet der Befehl ADD FAKT für den Kleinrechner KRS 4200, daß der Inhalt des Speicherplatzes mit dem symbolischen Namen FAKT zum Inhalt des A-Registers addiert wird.

Dennoch müssen wir feststellen, daß auch dieses „Gestammel“ für den Programmierer recht aufwendig ist. Hinzu kommt, daß das mühsam erarbeitete Programm nur auf dem Rechnertyp, für den es erarbeitet wurde, funktioniert. Damit wird ein internationaler Programmaustausch fast unmöglich, und es ergibt sich die Frage, ob wir über „Urlaute“ und „Gestammel“ auch zu vernünftigen Sätzen oder zumindest Satzteilen gelangen können. Und das nach Möglichkeit so, daß wir beim Programmieren gar nicht an einen bestimmten Rechnertyp denken müssen. Zu diesem Zweck wurden einige Kunstsprachen, wir nennen sie problemorientierte Programmiersprachen, geschaffen. So bedeutet in der problemorientierten Programmiersprache FORTRAN die Anweisung $ERGBN = FAK + 3,6$, daß zum Inhalt des Speicherplatzes FAK die Zahl 3,6 addiert, die Summe auf dem Speicherplatz ERGBN gespeichert und damit für weitere Berechnungen bereitgehalten wird. Dieses in FORTRAN geschriebene Programm kann auf Rechnern in Leipzig, Kiew oder Belgrad abgearbeitet werden, sofern diese Rechner einen Übersetzer (der Fachmann nennt ihn Compiler) für diese Programmiersprache haben. Das ist aber heute bei allen leistungsfähigen Groß- und Kleinrechnern der Fall, was allerdings ein Vielfaches an Speicherplatz kostet. So reserviert der Rechner für jede zu erwartende Zahl ein Maximum an Platz, selbst wenn er nie gebraucht wird. Die Rechenzeiten können das Zehnfache der Rechenzeit bei Programmierung in Maschinensprache betragen. Beides verliert aber durch die Hardwarefortschritte zunehmend an Bedeutung.


Von Spezialfällen, wie der Herstellung von Schachprogrammen oder im 3-Schicht-Betrieb genutzten Sparkassenprogrammen, abgesehen, gehört den problemorientierten Programmiersprachen FORTRAN, ALGOL, PL/1 oder BASIC die Zukunft, da sie den Menschen von mühseliger Kleinarbeit entlasten und den internationalen Programmaustausch fördern.

Wir haben nun die drei Etappen des mühsamen Weges vom Problem zum Programm kennengelernt. Damit sind wir natürlich von ausgefuchsten Problemanalysten und Programmierern noch weit entfernt. Das soll uns aber nicht daran hindern, das Ganze an ein paar Beispielen näher zu verdeutlichen, wobei wir auf konkrete Rechenprogramme verzichten wollen.

Schon seit Ende des 4. Jahrtausends v. u. Z. erfolgte bei den Sumerern die Informationsaufnahme und -abgabe nicht nur mündlich, sondern auch schriftlich. Allerdings trifft der Begriff „schriftlich“ nur insofern zu, daß bestimmte Zeichen auf bestimmte Materialien geritzt, geschnitzt oder gemeißelt wurden.

Diese Zeichen der „Bilderschrift“ waren der Anfang eines langen Entwicklungsweges bis zu unserer Buchstabenschrift. In der Bilderschrift, auch Piktographie genannt, stand beispielsweise das Zeichen  für einen Vogel. Diese „Schrift“ mit Zeichen

konnte eigentlich jeder Mensch, und das mag auf den ersten Blick für den Fremdsprachen lernenden Schüler faszinierend sein, in seiner Sprache lesen und interpretieren.

Aber die Sache hatte mehrere Haken. Da mußten für neue Begriffe stets neue Zeichen gefunden werden, die „Lesbarkeit“ war an zeichnerische Akkuratessse gebunden, und Mehrfachbedeutungen waren nicht ausgeschlossen. Schließlich ist es nicht gleichgültig, ob mit dem Zeichen  ein Raubvogel, eine Gans oder das Verb fliegen gemeint war.

Das „Schreiben“ eines Liebesbriefes muß folglich zu dieser Zeit ein ziemlich aufwendiges Unternehmen gewesen sein. Zunächst mußten beide Schreiber der Piktographie, und zwar mit gleichem Bedeutungsinhalt, mächtig sein. Dazu benötigten sie neben Wissen auch „Schreibstift“ und „Schreibmaterial“. In Ermangelung von Stein, Holz und Metall, von Papier ganz zu schweigen, nahm der Verliebte feuchten Ton und formte daraus eine Tafel von etwa 6 Zentimeter x 10 Zentimeter Größe. Mit einem dreieckig zugespitzten Bambus- oder Holzstab ritzte er die entsprechenden senkrechten, waagerechten oder schrägen Zeichen in den Ton. Die Tontafel mußte an der Sonne trocknen, bevor sie seiner Angebeteten zugeschickt werden konnte. Tafeln, die für eine lange Aufbewahrung vorgesehen waren, mußten erst gebrannt werden.

Da haben wir es heute mit Buchstabenschrift, Papier und Kugelschreiber viel einfacher. Schon im 9. und 10. Lebensjahr schreiben sich Schüler an unseren Schulen so eine Art Liebesbriefe. Oft werden sie in der Schule geschrieben und während des Unterrichts ausgetauscht. So schön schnell und einfach unsere heutige „Schreiberei“ auch sein mag, eins stört meistens Schreiber und Empfänger: die Verständlichkeit des Inhalts der Liebesbriefe für alle, die lesen gelernt haben. Was tut man in solchen Fällen? Man erfindet eine Geheimschrift. So können Schreiber, also der Sender, und der Empfänger vereinbaren, daß zum Beispiel ein geschriebenes H in Wirklichkeit ein A und ein geschriebenes U in Wirklichkeit ein M bedeutet. Das geschriebene Wort HU hieße also in Wirklichkeit „am“. Zum Schreiben und Lesen dieser „Geheimschrift“ muß also ein System zum Verschlüsseln von einzelnen Buchstaben existieren. Ein solches System nennt man Code.

Der Code in unserem Beispiel (beim Lesen: H → A; U → M usw.) ist ganz zufällig gewählt. Diesen Code wird jemand ohne

die erforderliche Schlüsselliste wohl kaum entziffern können. Das ist zweifellos ein Vorteil. Nachteilig ist dieser Zufallsschlüssel aber für den Fall, wenn der Code aus bestimmten Gründen häufig gewechselt werden soll. Das kann zum Beispiel beim Aufstöbern der Schlüsselliste durch Unbefugte oder durch Plaudereien des Senders oder Empfängers (wer wird wohl öfter plaudern?) der Fall sein. Ein Wechsel des Codes würde dann stets die Anfertigung neuer, zufälliger Schlüssellisten erfordern.

Diese mühsame Arbeit wird mit einem Kompromiß umgangen. Man baut den Code auf einer meist mathematischen Regel auf, so daß derjenige, der die Regel kennt, die Geheimschrift entschlüsseln kann. Der Vorteil des schnellen Codewechsels wird demnach mit erhöhter Gefahr unbefugter „Codeknacker“ erkaufte. Nehmen wir an, daß eine Schülerin den folgenden Brief erhalten hat:

CZVSV TCRLUZR, JFEEKRX LD WLVEW MFI BRWWVV
HLZVKJTY. ZTY CZVSV UZTY, UVZE KYFDRJ!

Sie, und nehmen wir an, nur sie weiß, daß in dieser Woche der Code (-17) gilt. Das bedeutet, daß vom verschlüsselten Buchstaben aus 17 Buchstaben im Alphabet (wir arbeiten von A bis Z, also mit 26 Buchstaben) zurückgegangen werden muß, um den wahren Buchstaben zu erhalten. Natürlich sind viel verzwicktere Codes denkbar. Jetzt könnte Claudia, so wollen wir die Briefempfängerin nennen, für jeden Buchstaben mit Hilfe eines vorgedruckten Alphabets diese Abzählaktion starten. Kommt sie beim Rückwärtszählen zum Buchstaben A, dann wird mit Z fortgesetzt bis zum 17. Buchstaben. Eine ziemlich mühsame Sache.

Es ist deshalb besser, wenn Claudia vor dieser zeitaufwendigen Tätigkeit etwas Geist investiert. Zunächst stellt sie die Frage, ob dieser Vorgang algorithmierbar ist. Er ist es, und die Aufstellung des Algorithmus wird uns vermutlich keine Schwierigkeiten bereiten. Wie ist vorzugehen? Zunächst werden, falls das nicht schon erfolgt ist, den Buchstaben des Alphabets Zahlen zugeordnet, mit denen dann gerechnet werden soll:

A = 1	E = 5	I = 9	M = 13	Q = 17	U = 21
B = 2	F = 6	J = 10	N = 14	R = 18	V = 22
C = 3	G = 7	K = 11	O = 15	S = 19	W = 23
D = 4	H = 8	L = 12	P = 16	T = 20	X = 24
					Y = 25
					Z = 26

Die Umlaute Ä, Ö, Ü gibt es in der elektronischen Datenverarbeitung nicht. Wir lassen sie hier auch weg.

Nun zum Algorithmus. Grundlage ist die Beziehung:
 verschlüsselter Buchstabe + Verschiebezahl = tatsächlicher Buchstabe.

Im „Handbetrieb“ müßte dann mit der Buchstaben-Zahlen-Li-
ste so gearbeitet werden:

$$(U) 21 + (-17) = 4 (D),$$

$$\text{aber } (E) 5 + (-17) = -12 (?).$$

Es wird besser sein, den Algorithmus noch einmal sorgfältig zu
durchdenken. Zu seiner Aufstellung benutzen wir folgende Abkür-
zungen:

Z = Verschiebezahl (im Beispiel - 17),

B = Zahl des verschlüsselten Buchstabens,

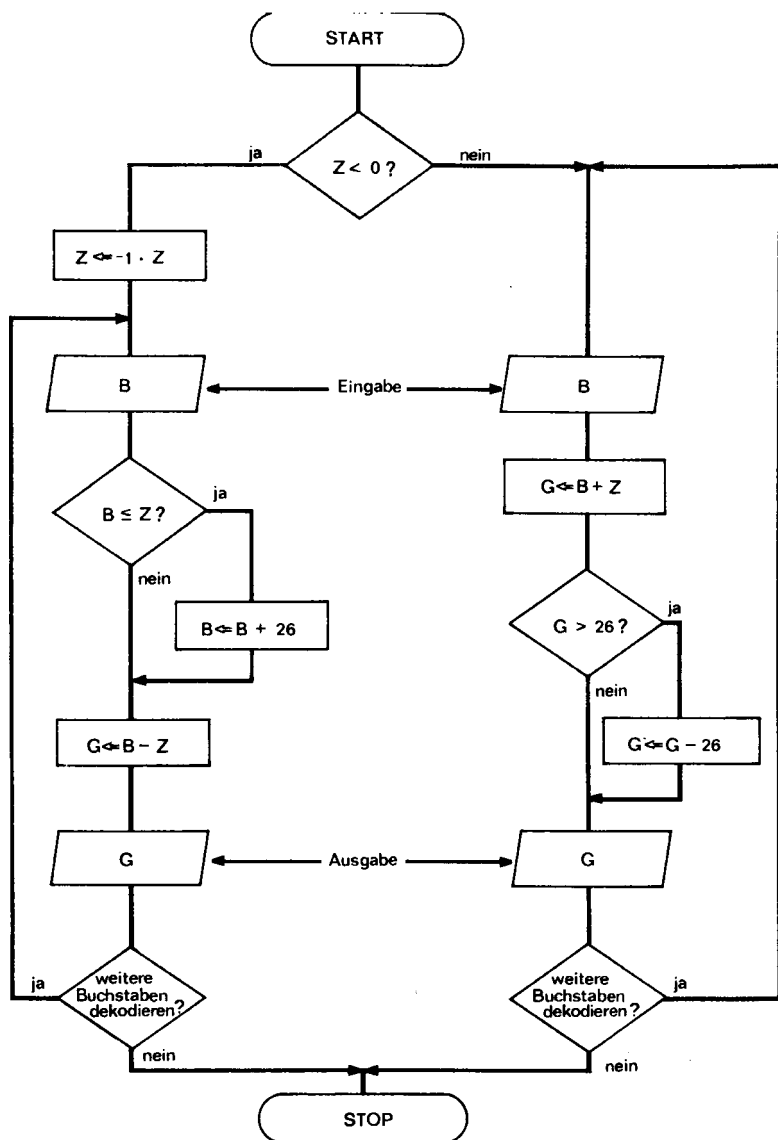
G = Zahl des gesuchten, tatsächlichen Buchstabens.

Wir wollen den Algorithmus so aufstellen, daß er für positive
und negative Verschiebezahlen gültig ist. Das erfordert einige
Denkarbeit. Die ungeduldigen Leser mögen beachten, daß dieser
„geistige Aufwand“ nur ein einziges Mal, nämlich jetzt, zu betrei-
ben ist. Ist der Algorithmus fertig und sind wir von dessen Rich-
tigkeit überzeugt, dann wird es für Claudia in Zukunft leicht sein,
alle Liebesbriefe, deren Codes auf positiven oder negativen Ver-
schiebezahlen basieren, zu entziffern. Das kann dann mit dem
„eigenen Kopfrechner“, einem Taschenrechner oder gar einem
programmierbaren Rechner erfolgen.

Auf Seite 105 ist der Algorithmus „Entschlüsselung von Ver-
schiebecodes“ mit negativen und positiven Verschiebezahlen in
Form eines Programmablaufplanes angegeben. Damit löst sich
auch der Fall (E) $5 - 17 = -12$ (?). Wir befinden uns, da eine ne-
gative Verschiebezahl vorliegt, im linken Zweig ($Z = -17$, $B = 5$).
Wir rechnen der Einfachheit halber mit $Z = -1 \cdot (-17) = 17$. Da
 $B \leq Z$ ($5 \leq 17$) ist, folgt im Ja-Zweig $B = 5 + 26 = 31$. Dann ergibt
sich der gesuchte Buchstabe mit der Zahl $G = 31 - 17 = 14$ (N).

Claudia kommt als guter Kopfrechner natürlich mit Kopf, Blei-
stift und Papier aus. Erleichterung verschafft ihr aber ein einfacher
Taschenrechner, der nur das Addieren und Subtrahieren beherrschen
muß. Mit Hilfe solch eines einfachen Rechners wird sie folgendermaßen
vorgehen (vgl. Algorithmus auf S. 105):

1. Im Kopf aus der negativen Verschiebezahl Z eine positive machen. Dieser Wert bleibt für den gesamten Liebesbrief erhalten und kann, wenn möglich, im Rechner gespeichert werden.
2. Mit Buchstaben-Zahlen-Liste (S. 103) die Zahl B für den verschlüsselten Buchstaben suchen.
3. Im Kopf entscheiden, ob die Zahl B des verschlüsselten Buchstabens kleiner/gleich oder größer als die positiv gemachte Verschiebezahl Z ist.
4. Mit Rechner: Eintippen von $B + 26 - Z =$ oder $B - Z =$.
5. Mit Buchstaben-Zahlen-Liste aus der Zahl G den tatsächlichen Buchstaben bestimmen und aufschreiben.



Für die folgenden Buchstaben wird stets mit dem 2. Schritt begonnen.

Beim Kopfrechnen ohne Taschenrechner benötigt Claudia für einen Buchstaben bis zu 30 Sekunden. In dieser Zeit muß die Zahl B gesucht, die logische Entscheidung $B \leq Z?$ gefällt, eine Subtraktions- und eventuell Additionsaufgabe gelöst und aus der

Zahl G der tatsächliche Buchstabe bestimmt werden. Von all diesen Schritten nimmt der einfache Taschenrechner ihr „nur“ die Additions- und Subtraktionsaufgabe ab. Allerdings erledigt das der Rechner so schnell und sicher, daß Claudia nur noch die Hälfte der Zeit für die Entschlüsselung eines Buchstabens benötigt.

Noch günstiger wäre natürlich ein Rechner, der den gesamten Algorithmus auf Seite 105 allein abarbeitet. Das ist mit programmierbaren Rechnern möglich, die mit dem Algorithmus in Form eines Rechenprogramms „gefüttert“ werden können. Was hat Claudia in diesem Fall noch zu tun? Sie tastet in den Rechner zunächst die Verschiebezahl Z ein. Der Rechner entscheidet nun selbst, ob $Z < 0$ ist. Wenn $Z < 0$ gilt, dann wendet er sich dem Teil des Rechenprogramms zu, in dem der linke Teil des Algorithmus auf Seite 105 programmiert ist. Hier macht er sofort aus der negativen Verschiebezahl eine positive und wartet anschließend auf die Eingabe des verschlüsselten Buchstabens. Das setzt natürlich voraus, daß der Rechner auch Buchstaben verarbeiten kann, daß es sich also um einen alphanumerischen Rechner handelt. Claudia gibt den verschlüsselten Buchstaben ein. Der Rechner sucht sich daraus mit Hilfe der in ihm gespeicherten Buchstaben-Zahlen-Liste die Zahl B , entscheidet selbst, ob $B \leq Z$ ist und führt je nach Entscheidung die entsprechenden Rechenoperationen durch. Wenn er die Zahl G errechnet hat, sucht er mit Hilfe der Buchstaben-Zahlen-Liste den zugehörigen tatsächlichen Buchstaben und gibt ihn über eine Schreibmaschine, einen Drucker oder einen Bildschirm aus. Der Rechner geht nun wieder in Wartestellung und erwartet die Eingabe des folgenden verschlüsselten Buchstabens. Damit wiederholt sich der Vorgang, der mit dem Suchen der Zahl B in der Buchstaben-Zahlen-Liste erneut beginnt.

Der wesentliche Vorteil besteht bei einem solchen Rechenprogramm darin, daß genau derselbe Routineablauf beliebig oft wiederholt werden kann, ohne daß der Mensch auch nur ein Fünkchen Geist (von der Bedienung des Rechners abgesehen) investieren muß. Ja, wenn Claudia den verschlüsselten Brief mit Hilfe einer speziellen Schreib-Loch-Maschine auf ein Lochband stanzen würde, dann könnte der Rechner innerhalb von wenigen Sekunden den gesamten entschlüsselten Brief auf der Schreibmaschine ausdrucken.

Zugegeben, wir sind mit dieser Schilderung den Realitäten etwas vorausgeeilt. Wir haben Claudia einen Heimcomputer „untergeschoben“, der in ihrer Wohnung in irgendeiner Ecke stehen soll. Natürlich könnte Claudia auch sofort mit ihrem Anliegen zu einem Betrieb Maschinelles Rechnen gehen. Das wird sie für den geschilderten Fall aus zeitlichen, finanziellen und persönlichen

Gründen sicherlich nicht tun. Allerdings werden sich in nächster Zeit immer mehr Familien einen Heimcomputer kaufen, der dann ebenso wie Fernsehgerät, Kühlschrank oder Waschmaschine zum Haushalt gehört. Im Jahrbuch der Statistik der DDR wird dann die Kennziffer „Ausstattungsgrad der Haushalte mit Heimcomputern in Prozent“ nicht fehlen.

Dieser Heimcomputer wird das Wecken für alle Familienmitglieder erledigen, uns zu Bildschirmspielen mit dem Fernsehgerät einladen und mit entsprechendem Programm Haushaltgeräte ein- und ausschalten. Er wird uns an Termine erinnern, die nach der Rundfunk- und Fernsehzeitung ausgewählten Programme einschalten, als Telefon- und Wörterbuch fungieren und den julebewußten Wochenendspeiseplan zusammenstellen. Werden Schmutzwäsche- oder Abfallbehälter zu voll, dann wird er Alarm geben. (Den Abfall müssen wir aber vorerst noch selbst hinuntertragen.) Genug damit.

Falls Sie den erwähnten Brief entschlüsseln wollen, den darin enthaltenen Treffpunkt gibt es tatsächlich in Dessau, wo die Straßenbahn geräuschvoll um eine Kurve fährt. Noch ein Hinweis für „Codeknacker“. Tun Sie so, als ob Sie die Verschiebezahl nicht kennen. Wie kann man sie finden? Nun, bestimmte Buchstaben des Alphabets treten in jeder Sprache gehäuft auf. Im Deutschen und Englischen ist es das „e“. Deshalb hat es im Morsealphabet auch nur einen schwächtigen Punkt.

Der englische Wissenschaftler John Bernal (geb. 1901) sagte einmal, daß er die Entwicklung elektronischer Rechenmaschinen für eine der bedeutendsten Errungenschaften des 20. Jahrhunderts hält, da damit die Ära der Automatisierung der Geistesarbeit angebrochen ist.

Ein Ausflug in das Reich des Schachspiels kann das vielleicht am deutlichsten zeigen. Zuse berichtet in seinen Lebenserinnerungen von einer Tagung, auf der ein Redner sagte, daß eine Maschine nie Schach spielen könne, da sie ja optimal spielen müsse. Zuse erwiderte, daß mit dieser Forderung von der Maschine (besser deren Rechenprogramm) mehr als vom jeweiligen Schachweltmeister verlangt würde. Rund zwanzig Jahre später, im August 1975, ließ sich David Bronstein zu einer vertagten Partie eine Analyse samt Gewinnfortsetzung mit einem Rechner anfertigen. Die moralische Seite, also die „Spielerehre“, wollen wir hier einmal beiseite lassen. Den Rechner als Spielverderber haben wir ja schon kennengelernt. Uns soll hier nur die Softwareleistung „Schachprogramm“ interessieren.

Der 1769 vom ungarischen Baron W. v. Kempelen gebaute Schachautomat gehört eigentlich nicht zu unseren Betrachtun-

gen, zeigt aber den unbändigen Wunsch von Erfindern, das Schachspiel auch von einer Maschine ausführen zu lassen. Kempelen war ein genialer Betrüger, in seinem Automaten war ein Mensch versteckt, der über eine Mechanik eine Türkenpuppe steuerte. Auch die zum Ende des 19. Jahrhunderts von dem Spanier L. Torres y Querado gebaute Mechanik, die nur das Endspiel Turm/König gegen König beherrschte, war mehr ein Triumph der Feinmechanik und weniger des menschlichen Geistes. Die geistigen Grundlagen wurden erst durch die Automatentheorie von C. E. Shannon (geb. 1916), A. M. Turing (1912-1954) und K. Zuse geschaffen. Zuse schreibt dazu: „Schon als ich versuchte, das Schachspiel zu formalisieren, mußte ich die ungeordneten Gedanken in feste Formeln bringen. Den Traum von dem Sieg der Maschine gegen den Schachweltmeister mußte ich zwar zunächst aufgeben, denn ein Überschlag zeigte, daß rein quantitativ die sichere Berechnung des besten Zuges nicht möglich war. ... Eine Schachpartie besteht aus einer abwechselnden Folge von eigenen Zügen und Zügen des Gegners. Der vollendete Spieler A bestimmt den eigenen optimalen Zug (Maximum), während der Gegner B den nächsten Zug so bestimmt, daß für ihn ein Optimum entsteht und für seinen Gegner A ein Minimum. Im Prinzip könnte man auf diese Weise ideale Partien errechnen, wenn die Zahl der durchzurechnenden Fälle nicht so groß wäre, daß selbst die schnellste Rechenmaschine hierfür Millionen Jahre brauchte. Es war also klar, daß man unter der Vielzahl der möglichen Züge nur einen wahrscheinlich guten (Unterstreichung d. Verf.) errechnen konnte; aber auch dazu gehörte viel Vorarbeit.“*

Wesentliche Arbeiten waren vollbracht, als 1974 die ersten Schachprogramm-Weltmeisterschaften in Stockholm stattfanden. Unter den 14 an den Start gegangenen Rechenprogrammen siegte das sowjetische Programm „Caissa“ (Caissa - die Muse des Schachspiels). Die nächsten Weltmeisterschaften fanden 1977 und 1980 statt. In all diesen Wettkämpfen blieben die Großrechner mit Schachprogramm natürlich an ihrem heimatlichen Standort, und Telefonleitungen stellten das Bindeglied her. Anders bei der 1. Schachweltmeisterschaft für Mikroschachcomputer 1980 in London. Hier wurden 14 schreibmaschinengroße Geräte ausgepackt und in jeweils 5 Runden gegeneinander ausgespielt. Das größte Problem dieser „Kleinen“ besteht gegenwärtig noch in der relativ langen Rechenzeit. Deshalb gestattet in den meisten Fällen ein Schalter die Einstellung bis zu 10 verschiedenen Spielstärken vom Anfänger bis zum Fortgeschrittenen. Das trifft auch für den auf der Leipziger Frühjahrsmesse 1981 vorgestellten Schachcomputer SC 2 mit einem 72.000 bit umfassenden

* Zuse, K., Der Computer - mein Lebenswerk, München 1970, S. 116

Programm aus der DDR zu. Während er bei der Spielstärke 3 rund 20 Sekunden „Bedenkzeit“ benötigt, so beträgt sie bei der höchsten Spielstärke bis zu 60 Minuten. Im allgemeinen liegen die Reaktionen bei schwach gewählter Spielstärke im Sekundenbereich, bei hoch eingestellter Spielstärke können sie einige Stunden betragen (und das trotz hoher Rechengeschwindigkeit von 2 Millionen Operationen je Sekunde). Das ist bestenfalls für langfristige Analysen oder für einen Fernschachspieler interessant. Deshalb wurde bei der genannten Weltmeisterschaft die Zeit je Zug auf maximal zwei Minuten festgelegt, wobei ein Spiel bis zu 3 Stunden dauerte. Und noch ein Ereignis: Wie die sowjetische Gewerkschaftszeitung „Trud“ Anfang 1980 berichtete, spielte in Nowosibirsk ein Großrechner BESM-6 in einer Fernsehsendung gegen die Fernsehzuschauer, wobei der Rechner ein Spiel gewann und ein weiteres mit Remis endete.

Wie funktioniert das aber, werden Sie vielleicht fragen. Der Rechner kann doch „nur“ algorithmisch denken. Und in diesem Wörtchen „nur“ liegt eben eine gewisse Überheblichkeit des Menschen gegenüber algorithmierbaren Prozessen (vielleicht auch eine Abneigung).

In einem funktionsfähigen Schachprogramm muß folgendes enthalten sein:

- Kenntnisse über die aktuelle Feldbesetzung,
- Kenntnis der Spielregeln und Kontrolle ihrer Einhaltung,
- Strategie und Taktik des Schachspiels.

Beginnen wir mit dem Einfachsten. Unter Verwendung der Binärziffern 0 und 1 läßt sich zum Beispiel für ein besetztes Feld eine 1 und für ein unbesetztes eine 0 speichern. Beim „Life“-Spiel (s. S. 51) sind wir auch so vorgegangen. Zur Kennzeichnung, ob ein Feld besetzt ist oder nicht, brauchen wir also 64 Binärstellen, wobei mit dem Feld a1 begonnen wird. Nun müssen noch die Figuren in einem Binärcode dargestellt werden. Für Weiß und Schwarz sind folgende Figuren zu codieren: Bauer, Bauer, der das Schlagen en passant zuläßt, Springer, Läufer, Turm, Turm, der noch nicht gezogen hat, Dame und König. Das sind für Weiß und Schwarz je 8, also 16 zu verschlüsselnde Figuren. Dazu werden 4 Binärstellen ($2^4 = 16$) benötigt. Es ist auch für die Programmierung praktischer, in halben Bytes (4 bit) zu „denken“. So kann der weiße Bauer 0000, der weiße Bauer, der das Schlagen en passant zuläßt, 0010, der schwarze Läufer 0111 und der schwarze König 1111 „heißen“. Auch hier beginnt man bei der Darstellung im Rechner wieder mit dem Feld a 1. Das „Spielbrett“ im Rechner umfaßt dann 64 Binärstellen für die Feldbelegung und 128 Binärstellen (32 Figuren \cdot 4 bit) für die Figuren. Nach jedem Zug wird der Figurenstand im Rechner entsprechend geändert, und auf Wunsch kann der jeweilige aktuelle Spielstand auch

ausgedruckt oder über Bildschirm angezeigt werden. Hierzu werden entweder die internationalen Abkürzungen oder grafische Symbole für die Figuren auf dem Brett benutzt.

Der Programmteil Spielregeln und Kontrolle ihrer Einhaltung erscheint dem Programmierer zunächst auch einfach, da er aus menschlicher Sicht klar überschaubar ist. Für die rechen-technische Realisierung wird dafür aber schon eine Menge Speicherplatz verbraucht. Zuse schreibt in seinen theoretischen Betrachtungen, daß allein die Prüfung, ob ein Zug nicht gegen die Regeln des Schachspiels verstößt (einschließlich En-passant-Schlagen, Rochaden und Bauer auf gegnerischer Ausgangslinie), sehr umfangreich ist.

Die härteste Nuß ist aber zur Programmierung der Strategie und Taktik des Spiels zu knacken. Folgendes Rechenexempel soll die Schwierigkeiten verdeutlichen. Nehmen wir an, daß in jeder Stellung durchschnittlich 30 Züge und 30 Antworten möglich sind. Eine Partie besteht im Durchschnitt aus 40 Zügen. Dann müßte der Rechner $(30 \cdot 30)^{40} \sim 10^{118}$ (diese Zahl berechnet nicht einmal mehr unser Taschenrechner) Varianten durchspielen. Selbst ein schneller Rechner (1 Mikrosekunde je Variante) würde erst nach mehr als 10^{100} Jahrhunderten einen dann allerdings völlig korrekten Zug liefern. Die exakte Kombination aller Varianten scheidet also von vornherein aus. (Bei wissenschaftlich-technischen Problemen wird hingegen oft vollständig kombiniert, sofern die Rechenzeit in vertretbaren Grenzen bleibt.) Das mathematische Modell des Spiels muß also anders aussehen.

Wir müssen uns jeweils mit dem annähernd besten Zug zufriedengeben. Das macht der menschliche Schachspieler ja auch.

Als Methode bietet sich die Minimaxstrategie an, die schon im Zitat von Zuse (s. S. 108) genannt wurde.

Vielleicht haben die ersten Schachprogrammierer an die Erziehung ihrer Kinder gedacht, als sie sich entschlossen, im Programm mit Lob und Tadel, genauer mit Plus- und Minuspunkten, zu arbeiten. So werden in einer bestimmten Spielstellung alle möglichen Varianten im voraus berechnet. Je mehr Züge für jede Variante vorausberechnet werden, desto größer ist die Rechenzeit. Die anspruchsvollen Schachprogramme für Großrechner benötigen zur Vorausberechnung von 4 Zügen einige Sekunden. Sehr schnelle Großrechner brauchen etwa 3 Minuten, um 7 Züge vorzuberechnen. Dabei werden in 1 Sekunde rund 200.000 Möglichkeiten durchgerechnet. Die Vorausberechnung bis zum 15. Zug ist technisch möglich, aber aus zeitlichen und finanziellen Gründen wenig sinnvoll. Jede entstehende Stellung wird bewertet

und die Variante mit der höchsten Bewertung ausgesucht. Bewerten kann man aber nur, wenn bestimmte Wertvorstellungen existieren. Diese liefern die Erfahrungen vieler Spielverläufe und Spielerpraktiken. Insbesondere wird dabei auf

- die Stärke der Figuren und die materielle Bilanz,
 - die Situation in der Brettmitte,
 - die Verteilung der Bauern im Spiel,
 - die Entwicklung der Figuren
- geachtet.

Für die Stärke der Figuren können folgende Werte herangezogen werden: Bauer 1,0 Punkte (P), Springer und Läufer 3,0 bis 3,8 P, Turm 4,5 bis 5,5 P, Dame 7,5 bis 10,0 P und König 2,0 bis 2,5 P. Das schwierige ist nur, daß sich die Spielstärken der einzelnen Figuren im Laufe des Spiels ändern. Besonders deutlich wird das beim König, dessen Wert im Endspiel auf 6 bis 7 Punkte steigen kann.

„Betrachtet“ das Rechenprogramm im Spiel näher die Brettmitte, dann wird beispielsweise das Besetzen einer offenen Linie des Gegners mit Turm oder Dame mit Pluspunkten belohnt. Auch ein Freibauer erhält Pluspunkte, während der isolierte oder zurückgebliebene Bauer mit Minuspunkten bestraft wird. Ist die Entwicklung einer Figur abgeschlossen, gibt es auch dafür Pluspunkte.

Das Grundproblem besteht also darin, möglichst viel von dem bisherigen Erfahrungsschatz so in das Programm hineinzupacken, daß es in vertretbarer Zeit in die Bewertung einbezogen werden kann.

Da fällt uns wieder unser Mini-Damespiel (s. S. 92) ein, an dem wir das Lernen des Rechners gezeigt haben. Und hier setzen die Gedanken des sowjetischen Schachexperten M. Botwinnik ein, die vielleicht eine neue Generation von Schachprogrammen ins Leben rufen. Sein neues Schachprogramm lernt ständig aus den von ihm gespielten Partien, so wie wir den lernenden Automaten auf Seite 92/93 definiert haben. Doch auch da werden wir vor Überraschungen nicht sicher sein.

Beim erreichten Entwicklungsstand von Hardware und Software müssen wir uns daran gewöhnen, daß Rechenprogramme und gespeicherte Informationen Ergebnisse liefern, die vom Menschen (selbst von dem, der das Ganze programmiert hat) einfach nicht mehr voraussehbar sind.

Beispiele dafür sind das Schach- und das „Life“-Spiel, andere werden uns in den folgenden Abschnitten noch begegnen.

Rechner und Roboter

7

Industrieroboter im Betrieb

Eine Dreiecksgeschichte, aufgeschrieben von Hans Christian Andersen (1805-1875), soll uns den Rechner eine Weile vergessen lassen. Die Märchenhelden sind der Kaiser von China, eine echte Nachtigall aus Fleisch und Blut und eine künstliche aus Blech, Zahnrädern und Metallfedern.

„Da sang die Nachtigall (die echte, d. Verf.) so wunderbar, daß dem Kaiser die Tränen in die Augen traten und über die Wangen kullerten. Und als das die Nachtigall sah, sang sie noch schöner, daß es so recht zu Herzen ging. ... Man bat sie, im Schloß zu bleiben. ... Eines Tages erhielt der Kaiser ein großes Paket mit der Aufschrift ‚Nachtigall‘. - ‚Das ist sicher ein neues Buch über unseren berühmten Vogel‘, sagte der Kaiser. Aber es war kein Buch, sondern ein kleines Kunstwerk, eine künstliche Nachtigall. Sie sollte der echten Nachtigall ähneln, war aber über und über mit Diamanten, Saphiren und Rubinen besetzt. Wenn man den künstlichen Vogel aufzog, so sang er eins der Nachtigallenlieder, und er wackelte dabei sogar mit dem Schwanz und glänzte golden und silbern. ... ‚Sie sollen zusammen singen, das wird ein wunderbares Duett werden!‘ Und so sangen sie zusammen, aber es wollte nicht so recht gelingen, denn die echte Nachtigall sang, wie ihr der Schnabel gewachsen war, und die künstliche lief auf Walzen. ... Der Spielmeister lobte den künstlichen Vogel gar sehr und behauptete, daß er viel besser sei als der echte, nicht nur der strahlenden Diamanten wegen, sondern auch innerlich. ‚Denn sehen Sie, meine Herrschaften‘, sagte er, ‚bei der natürlichen Nachtigall weiß man nie voraus, was kommen wird, aber bei dem künstlichen Vogel ist alles ganz genau festgelegt. Man kann es erklären, ja, man kann den Vogel sogar öffnen und den Menschen zeigen, wie die Walzen laufen und wie sich eines aus dem anderen ergibt.‘“*

War es Zufall oder Voraussicht, daß im Märchen die künstliche

* Andersen, H. C., Die Nachtigall, Prag 1972

Nachtigall ausgerechnet aus Japan, genauer vom Kaiser von Japan, stammte? Das Märchen hat natürlich sein glückliches Ende. Die des Landes verwiesene echte Nachtigall kehrt in letzter Minute zurück und entreißt den Kaiser durch ihren Gesang dem Tode.

Märchen, utopische Geschichten, Legenden und feinmechanische Wunderwerke von findigen Bastlern zeigen den jahrhundertalten Traum der Menschen, die Natur „nachzuäffen“. Automaten sollen Mensch und Tier ersetzen, und in den Schriftstellerhirnen treibt die Phantasie ungeahnte Blüten, wenn sich diese „Ungeheuer“ gegen ihre Hersteller erheben. Zu den Klassikern dieses Genres gehört Karel Capek (1890-1938) mit seinem 1920 erschienenen Drama „Rossums Universal Robots“. Er prägte auch den Begriff des Roboters (Sklave - slaw. rab; Sklavenarbeit - slaw. robota) im Sinne eines Eisenmenschen, der, wie wir noch sehen werden, mit unseren „Zeitgenossen“ nichts mehr gemein hat. Seine Roboter ersetzen die Menschen in großen Fabriken durch Eisenmenschen, und in düsterer Vision herrschen und zerstören sie, was freilich als gesellschaftliche Kritik an den kapitalistischen Wirtschaftsverhältnissen bis zum heutigen Tage eine schmerzliche Aktualität hat.

Schon im 2. Jahrhundert v. u. Z. beschrieb der Grieche Apollodoros den Wächterautomaten Talos in einer Geschichte mit tragischem Ausgang. Die Feinde entfernten ganz einfach einen Verschuß, wodurch der künstliche Blutkreislauf zusammenbrach und damit auch der automatische Wächter selbst. Die Literatur bietet uns weiter den „Zauberlehrling“ und die „Wunderpuppe Pinocchio“, die ihrem Vater anfänglich so viel Ärger machte. Auch die Puppe Olympia aus „Hoffmanns Erzählungen“ von J. Offenbach gehört hierher. In R. Badburys utopischem Roman „Fahrenheit 451“ begegnen wir einem mechanischen Wachhund, und G. Branstner* hat Schwierigkeiten mit einem selbstlernenden Roboter, dem aus Versehen eine falsche Matrix (hier scheint nur der Schriftsteller zu wissen, was gemeint ist) in den Bauch gesteckt wurde. Auch Golem (deutsch: Embryo), der vom Rabbiner Löw um 1580 aus Lehm geknetet worden sein soll, sei genannt. Der künstliche Mensch wurde Diener des Rabbi, und, wie kann es in dieser Legende anders sein, eines Tages streikte er und widersetzte sich seinem Herrn, der ihn daraufhin zerstören mußte. Die Geschichte am Anfang des Buches befaßte sich ja auch mit falschen Vorstellungen über Roboter.

Doch genug von Literaten, von Geschichten und Legenden. Auch die Wissenschaftler und Techniker versuchten, diesen Traum zu verwirklichen. Heron von Alexandria (1. Jh. u. Z.)

* Branstner, G., Der indiskrete Roboter, Halle 1980

schrieb mit seinem Buch „Pneumatica“ vermutlich die erste Abhandlung über Prinzip und Wirkungsweise von Automaten. Er erkannte auch die Kraft, die im Wasserdampf steckt, und nutzte ihn unter anderem zum „geheimnisvollen“ Öffnen und Schließen der Tempeltore. Die schachspielende Türkenpuppe des Herrn von Kempelen nannten wir schon. Abgesehen vom Spielbetrug mit dem versteckten Menschen war der Automat zweifellos eine feinmechanische Meisterleistung. Auch die Blechente des Franzosen Vaucanson wurde berühmt. Das Nachbilden der Natur bestand in der automatischen Nahrungsaufnahme und deren „Gegenteil“. Alle diese Automaten einschließlich elektrischer Klaviere und mechanischer Spieldosen dienten der Unterhaltung einer herrschenden Minderheit und haben aus diesem Grunde mit unserem Anliegen nichts zu tun. Eine Ausnahme für den Musikfreund sei hier erwähnt, das Welte-Mignon-Reproduktionsklavier. Mit ihm war es in Ermangelung von Schallplatte und Tonband in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts möglich, die Konzerte berühmter Pianisten auf einem Lochstreifen zu verewigen. Eine komplizierte Pneumatik mit Nuancierungsautomatik, erfunden in der Firma Welte in Freiberg, lieferte eine erstaunliche Qualität. Über diesen Umweg ist zum Beispiel der Komponist und Pianist Eugen d'Albert (1864-1932) heute auf einer Schallplatte zu hören.

Fassen wir zusammen. In der 1. Stufe unseres 3-Stufen-Programms ging es in Literatur und Wirklichkeit darum, in ein der Natur nachgebildetes Gehäuse zum Ergötzen der Zuschauer ein Maschinchen hineinzupacken, das allerlei menschliche und tierische Tätigkeiten verrichten konnte.

In der 2. Stufe trat gegen Ende des vorigen Jahrhunderts die industrielle Großproduktion auf den Plan. Sie brauchte Menschen und Maschinen zum Herstellen ihrer Produkte. Die Vor- und Nachteile menschlicher und maschineller Arbeitsweise wurden deutlich. So kann der Mensch sehr schnell die Ausführung neuer Tätigkeiten, zum Beispiel an einem neuen Arbeitsplatz oder bei der Fertigung eines neuen Teiles, lernen. Er kann Toleranzen an den einzelnen Teilen bei der Weiterbearbeitung berücksichtigen und damit ausgleichen. Mit etwas Übung kann der Mensch auch relativ komplizierte Anlagen und Maschinen steuern, da er ein großes Anpassungsvermögen hat und die Fähigkeit besitzt, aus einer Vielzahl angebotener Informationen die wichtigsten auszuwählen.

Aber die erfolgreiche Realisierung all dieser Fähigkeiten hängt beim Menschen von sehr vielen psychologischen Faktoren ab. Die besten Fähigkeiten nützen nichts, wenn der Mensch nicht will. Dieses Wollen, der Antrieb zur Arbeit, wird von seinen Einstellungen wie von seinen erfreulichen und weniger erfreulichen Erlebnissen im Beruf und im Privatleben beeinflusst.

Den Gegensatz zur Maschine macht der folgende Ausspruch eines Herstellers deutlich: Es ist leicht, eine Maschine zu bauen, die mit dem Schwanz wedelt, aber es geht nicht, daß sie sich dabei auch noch freut.

Hinzu kommen noch die rasche Ermüdung des Menschen und durch Unaufmerksamkeit bedingte Fehler. Besonders schwierig ist das für einen zeitlich exakt aufgeschlüsselten Produktionsprozeß. Während die Maschine bei Überlastung einfach ausschaltet (das heißt, sie funktioniert oder funktioniert nicht), erfolgt der Leistungsabfall beim Menschen kontinuierlich und meist schleichend. Die Leistung einer Maschine ist normalerweise konstant und wird von ihrem Konstrukteur berechnet. Der Mensch hingegen kann 20 Sekunden lang 2 PS leisten. (Aus Gründen der Veranschaulichung wollen wir hier ausnahmsweise die veraltete Leistungseinheit benutzen.) Für wenige Minuten vermag er 0,5 PS zu leisten, und kontinuierlich über den ganzen Arbeitstag verbleiben nur 0,2 PS.

Hier werden die Vorteile der Maschine deutlich. Zum einen kann sie bei entsprechender Konstruktion schwerere Brocken als der Mensch bewältigen. Zum anderen kann sie ihre Tätigkeiten mit höherer Gleichmäßigkeit und einer konstruktiv festlegbaren Genauigkeit ausführen. Ebendiese Faktoren sind für einen modernen technologischen Prozeß, der über Jahre Tag und Nacht immer auf die gleiche Weise ablaufen soll, außerordentlich wichtig.

Die Industrie brauchte also Maschinen, die die genannten Bedingungen erfüllten. Ihr Aussehen war dabei völlig gleichgültig. Eine Maschine, die Teile transportiert, brauchte also nicht wie ein Transportarbeiter im blauen Schlosseranzug auszusehen, ebensowenig wie eine Diebstahlsicherung einem Wachhund ähnlich sehen muß. Gebraucht wurden Maschinen, bei denen die Umformung oder der Transport von Stoffen, Energien und Informationen ohne unmittelbare Mitwirkung des Menschen auf ständig wiederkehrende Art und Weise erfolgte. Der Automat war geboren. Er wickelt Bonbons ein und verpackt Waschpulver. Er lötet Fahrradrahmen und bohrt Löcher in Zylinderblöcke, gleich im Dutzend auf einen Streich. Sein Herzstück ist die Steuerung. Sie organisiert das ganze Geschehen, indem sie Werkstück und Werkzeug an den festgelegten Ort bringt. Dann löst sie die Bearbeitungsoperation aus und veranlaßt nach deren Abschluß die Weitergabe des Werkstücks und den Rücktransport des Werkzeugs.

Die einfachste Art ist die Punktsteuerung, bei der Werkstück und Werkzeug auf einen festgelegten Punkt zufahren. Ist diese Position erreicht, wird das Signal zum Start der Bearbeitung gegeben. Während des Fahrens können bei dieser Steuerungsart

also keine Werkzeuge im Einsatz sein. Solche einfachen Steuerungen finden wir an Bohrwerken, Punktschweiß- oder Lötautomaten. Sie versagen dann, wenn während desfahrens zum Beispiel geschweißt, gefräst oder geschliffen werden soll. Hierfür wird eine Streckensteuerung eingesetzt. Mit ihr ist es möglich, eine vorher festgelegte Strecke mit vorher festgelegten Geschwindigkeiten zu durchfahren und während dieses Vorgangs zu arbeiten. Damit wird natürlich der Steuerungsaufwand größer. Für komplizierte Bauteile reicht auch diese Steuerungsart nicht aus, da damit nicht beliebige „krummlinige“ Kurven, man denke nur an eine Turbinenschaufel oder an eine Schiffsschraube, „gefahren“ werden können. Hier hilft nur eine Bahnsteuerung, die aber um ein vielfaches komplizierter und somit allerdings auch teurer ist.

Jeder kluge Konstrukteur wird seine Steuerung in Abhängigkeit von der Arbeitsaufgabe nur so gut wie nötig (und nicht wie möglich) bauen, um kostengünstig zu bleiben. Immerhin ist die Steuerung mit über 50 Prozent an den Gesamtkosten des Automaten beteiligt. Für die Wahl der Steuerung und des dazugehörigen Antriebs muß unter anderem folgendes bekannt sein: Masse des Werkstücks, das transportiert und bearbeitet werden soll, erforderliche Geschwindigkeit, Weglänge, Genauigkeit bei der Ansteuerung einer bestimmten Position. So gibt es Automaten, die 4, 20 oder 50 Kilogramm packen und transportieren. Die Geschwindigkeiten können zwischen einigen Zentimetern je Minute und 60 Metern je Minute liegen. Der technologische Prozeß kann eine Positioniergenauigkeit von $\pm 0,1$ Millimeter verlangen oder auch mit ± 5 Millimetern zufrieden sein.

Der Antrieb kann auf verschiedene Art und Weise funktionieren. So können pneumatische Antriebe zwar große Lasten transportieren, sind aber ziemlich ungenau im Positionieren. Hydraulische Antriebe gehören auch zu den „Lastenträgern“, erreichen aber eine höhere Positioniergenauigkeit. Deshalb scheint ihnen, zusammen mit den elektrischen Antrieben, die Zukunft zu gehören. Bei geringen Werkstückmassen sind elektrische Antriebe geradezu ideal. Gut regelbare Spezialmotoren wandeln die elektrische Energie direkt in mechanische um. Man erreicht damit eine hohe Positioniergenauigkeit bei geringem Energiebedarf. Die Verschiedenartigkeit der Antriebe wird auch beim Türenschießen in öffentlichen Verkehrsmitteln deutlich. Das elektrische Türenschießen einer Straßenbahn ist viel ruhiger und gleichmäßiger als das pneumatische Türenzuschlagen eines Busses oder einer S-Bahn.

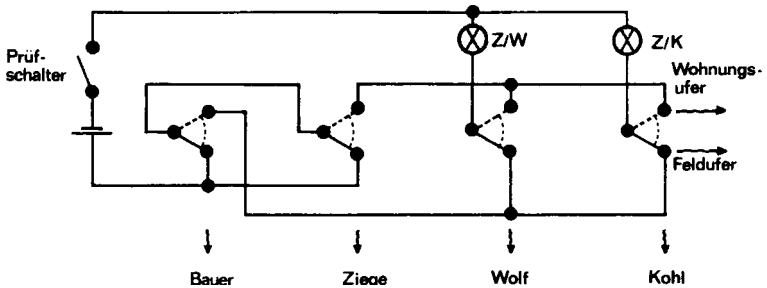
Der gesamte Bearbeitungsablauf wird durch ein Programm gesteuert. Dieses Steuerprogramm, das die Art und die Reihen-

folge der einzelnen Schritte vorschreibt, ist nicht mit einem Rechenprogramm (s. S. 100) zu verwechseln.

Die NC-Steuerung (numeric control = numerisch gesteuert) kommt ganz ohne Rechner aus. Herzstück ist ein mechanischer oder elektronischer Speicher, der in einzelne Programmschritte unterteilt ist. Die Eingabe des Programms erfolgt durch das Stanzen von Löchern auf einem Lochband, das Einsetzen von Stiften oder Kugeln in eine Programmwalze oder das Einlöten von Dioden auf einer Leiterplatte. Bei jedem Programmschritt werden im Arbeitsprozeß bestimmte Kontakte geöffnet oder geschlossen, die dann entsprechende Tätigkeiten bewirken. Solche festen mechanischen oder elektrischen Speicher haben auch die heute gebräuchlichen Waschautomaten. Hier stört das „feste“ Programm nicht, da sich die Waschprogramme ja ohnehin nicht ändern. Beim Schweiß- oder Fräsautomaten sieht die Sache schon anders aus. Da muß für jede neue Arbeitsaufgabe ein neues Lochband gestanzt oder eine Diodenmatrix neu gelötet werden. Als Kenner der Materie merken wir, daß bei einer NC-Steuerung die Hardware (s. auch S. 70) geändert werden muß. Diesen Aufwand haben wir bei der CNC-Steuerung nicht (Computer numeric control), weil ein Rechner die Steuerung übernimmt, und das Rechenprogramm (Software), das wir zu Papier bringen und in den Rechner eingeben, ist dann das Steuerprogramm. Ohne Löten oder Kugelnstecken können sehr leicht Änderungen vorgenommen werden. Natürlich fordert höherer Komfort auch seinen Preis, deshalb behält auch die einfache NC-Steuerung ihre Berechtigung.

So können wir das bekannte Ziege-Kohlkopf-Bauer-Wolf-Problem als NC-Steuerung (Löten einer Schaltung) oder als CNC-Steuerung (Rechenprogramm) darstellen. Der Bauer erntet auf seinem Feld Kohl und fängt „nebenbei“ einen jungen Wolf. Neben ihm weidet seine Ziege. Um am Abend nach Hause zu gelangen, muß der Bauer einen Fluß überqueren. Das Boot trägt aber nur den Bauern mit Ziege oder mit Kohl oder mit Wolf. In welcher Reihenfolge muß der Bauer den Fluß überqueren, damit niemals Ziege und Kohl sowie Ziege und Wolf allein gelassen werden? Die elektronische Realisierung dieses Sachverhalts zeigt das Bild auf Seite 118. Bauer, Ziege, Wolf und Kohlkopf erhalten je einen Schalter. Zu Beginn stehen alle Schalter „unten“, alle Beteiligten befinden sich also auf dem Feldufer. Die Aufgabe ist gelöst, wenn alle Schalter auf dem Wohnungsufer liegen, ohne daß eine der Lampen aufgeleuchtet hat. Leuchtet die Lampe Z/W auf, so hat der Wolf die Ziege gefressen. Ein Aufleuchten der Lampe Z/K signalisiert den verspeisten Kohlkopf. Der erste Lösungsschritt besteht in der Überfahrt vom Feld- zum Wohnungsufer mit Bauer

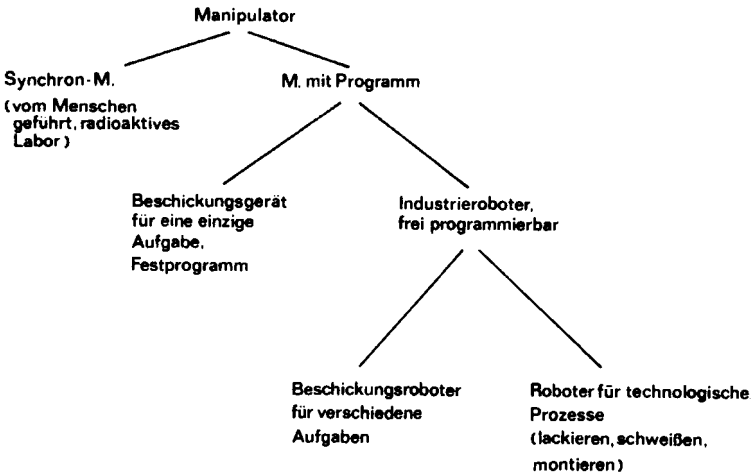
und Ziege. Dazu werden zunächst der Prüfschalter ausgeschaltet und die Schalter für Bauer und Ziege auf das Wohnungsufer umgeschaltet. Leuchten nach Einschalten des Prüfschalters die Lampen nicht, so war dieser Schritt erfolgreich. Und wie geht es weiter?



Für eine CNC-Steuerung wäre zunächst ein Programmablaufplan notwendig (s. S. 99). Vielleicht versuchen Sie es einmal. Die Programmierung hängt dann vom jeweiligen Rechnertyp ab.

Die 3. und letzte Stufe soll uns in Form einer Sternfahrt zum Roboter führen. Die Hersteller von Manipulatoren, von den schon beschriebenen Automaten und von Rechnern steuern ein gemeinsames Ziel an, den Roboter. Um Verwechslungen mit den phantastischen Eisenmenschen der Schriftsteller auszuschließen, wird heute allgemein von Industrierobotern gesprochen. Betrachten wir zunächst die Marschroute der Hersteller von Manipulatoren (manus - die Hand). Einen Typ von Manipulatoren, die Synchronmanipulatoren, haben Sie vielleicht schon in Filmberichten über die Arbeitsweise in Laboratorien, in denen radioaktives Material untersucht wird, gesehen. Die Laborgeräte und Materialien sind durch dicke Bleiwände und Glasscheiben vom Laboranten getrennt. Der Laborant bedient den Synchronmanipulator mit seinen Händen so, daß in der radioaktiven Zone speziell geformte Greifer Reagenzgläser fassen und umfüllen können. Ein Spielautomat, mit dem man Hockey oder Fußball spielen kann, ist übrigens auch mit Manipulatoren ausgerüstet. Uns interessieren hier aber andere Manipulatoren, die nicht von Menschenhand, sondern durch ein Programm gesteuert werden. Solche Manipulatoren, die als Beschickungsgeräte für einen ganz bestimmten technologischen Prozeß das Werkzeug oder die Werkstücke bereitstellen, gibt es schon seit Anfang der vierziger Jahre. Sie wurden speziell für eine Aufgabe konstruiert, besaßen also nur ein festes Programm. Der Industrieroboter hingegen zeichnet sich durch eine freie Programmierbarkeit aus. Damit haben wir auch eine einfache Definition für unseren Industrieroboter: ein automati-

scher, frei programmierbarer Manipulator für die industrielle Produktion. Das Bild auf Seite 119 veranschaulicht noch einmal den Weg vom Manipulator zum Industrieroboter.



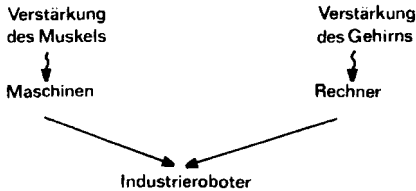
Doch nun zum Weg der *Automatenhersteller*. „Eigentlich haben wir ja bisher zum Teil schon Industrieroboter gebaut“, werden einige von Ihnen sagen. Damit haben sie nicht ganz unrecht, da nicht immer klar zwischen Automat und Industrieroboter getrennt werden kann.

Was den Industrieroboter auszeichnet, das ist seine Flexibilität in der Anpassung an die verschiedensten technologischen Prozesse und Bewegungsabläufe, die sich mit dem Programm schnell und leicht ändern lassen. Das favorisiert die Industrieroboter gegenüber den Automaten zum Beispiel in einer Autofabrik, die mit möglichst gleicher Ausrüstung ein neues Modell produzieren will.

In der Praxis ist es keineswegs erforderlich, alle Bewegungsmöglichkeiten der menschlichen Hand in einen Industrieroboter „hineinzupacken“. Die Hand bringt es auf 22 Freiheitsgrade (geradlinige und Drehbewegungen in verschiedenen Richtungen). Der Industrieroboter kommt mit maximal 6 Freiheitsgraden aus. So werden beispielsweise die Radschalen des Trabant mit einem Punktschweißroboter bearbeitet, der mit 4 Freiheitsgraden und einer einfachen Positioniersteuerung auskommt.

Die Rechnerhersteller werden auf ihrem Weg zum Industrieroboter einen geschichtlichen Rückblick wagen. Zuse schreibt dazu: „Wenn man will, kann man in der Computerentwicklung ei-

nen weiteren wesentlichen Durchbruch sehen, nämlich von der Verstärkung des Muskels zur Verstärkung des Gehirns**". Im Industrieroboter können beide „Verstärker“ nun in idealer Weise vereint werden.



Aber bitte noch etwas Geduld mit dem Rechner. Die Industrieroboter der 1. Generation kommen noch gut und gern mit den schon beschriebenen speichergesteuerten Techniken aus. In diesen Speicher kann der erforderliche Bewegungs- und Tätigkeitsablauf „einprogrammiert“ werden, ohne Rechner, Tausende Industrieroboter auf der Welt arbeiten heute so. Doch wehe, wenn im Bauteil Toleranzen auftreten oder versehentlich ein falsches Programm (oder ein falsches Bauteil) eingegeben wurde. Der Industrieroboter der 1. Generation in speichergesteuerter Technik „merkt“ das nicht. Er würde die Farbe auch in den Raum spritzen oder die Autotür fest mit der Karosserie zusammenschweißen. Solche Fehler zu entdecken oder Bauteiltoleranzen auszugleichen setzt beim Industrieroboter eine gehörige Portion „Grips“ voraus. Und diese kann ihm am besten ein Rechner verleihen. Solche intelligenten, mit Rechnern ausgerüsteten Industrieroboter gehören zur 2. Generation.

An diesen Anlagen wird in der ganzen Welt fieberhaft gearbeitet. Die Hersteller von Industrierobotern versuchen dabei, dem zum Gerät gehörenden Mikrorechner ein Maximum an Arbeit aufzubürden. Das beginnt schon bei der Programmierung der Steuerung für den geplanten Arbeitsablauf. Mit Rechnern ausgestattete Industrieroboter erlauben meist eine Teach-in-Programmierung (lernen durch Vormachen). Hier sind zur Programmierung keine Programmierer mehr erforderlich, die aus den Zeichnungsunterlagen ein Steuerprogramm entwickeln. Der Industrieroboter wird einfach auf „Lernen“ geschaltet, und der Einrichter (übrigens ein Beruf mit Zukunft) vollführt mit dem Industrieroboter den Weg, den er später dann viele tausend Male wiederholen soll. Bei der Führung von Hand werden die Wege automatisch gemessen und im Rechner zu einem Steuerprogramm verarbeitet, das dann zur Benutzung bereitsteht.

* Zuse, K., a. a. O., S. 201

Der Rechner ist auch erforderlich, um aus dem blinden und gefühllosen Gesellen der 1. Generation einen sehenden und tastenden Industrieroboter der 2. zu machen. Dazu sind allerdings Bindeglieder zwischen Umwelt und Rechner erforderlich. Diese Sensoren genannten Bindeglieder wandeln Daten aus der Umwelt, wie Druck, Temperatur, Lage, Länge, Abstand, Masse und Volumen der Bauteile sowie Füllstände, Stückzahlen und Drehzahlen, in elektrische Größen um, denn nur die kann der Rechner verstehen und verarbeiten. Wozu das Ganze, werden Sie vielleicht fragen. Stellen wir uns einen Verpackungsroboter in einer Glasfabrik vor. Es sind leichte Limonadengläser aus Preßglas zu verpacken. Die Wege zwischen der Palette, auf der die Fertigteile stehen, und den Kartons wurden im Steuerprogramm festgelegt. Würde der Greifer aber mit der gleichen Kraft zufassen, mit der er gestern Blumenvasen aus Bleikristall transportiert hat, so würden alle Gläser in seiner stählernen Hand zerbrechen. Der Greifer muß deshalb ein Gefühl dafür bekommen, daß er nicht zu fest, aber auch nicht zu zaghaft zufaßt. Das schaffen taktile (berührende) Sensoren. So kann zum Beispiel elektrisch leitfähiger Gummi eingesetzt werden, der bei Druckerhöhung und -verminderung seine elektrischen Eigenschaften ändert. Wenn der damit ausgerüstete Greifer einen Gegenstand erfaßt, werden dem Rechner blitzschnell die Kräfte beim Greifvorgang und die Lage und Form des Gegenstandes übermittelt. Daraus schlußfolgert der Rechner dann die weiteren Steuerbefehle. Dieser Mechanismus macht einen Industrieroboter natürlich teuer (obwohl die sinkenden Preise für mikroelektronische Bauteile unserem Anliegen hier entgegenkommen). Dennoch sind solche Mechanismen besonders für Montageprozesse sehr sinnvoll. Die große volkswirtschaftliche Bedeutung kann durch einige Zahlen belegt werden. In der metallverarbeitenden Industrie der DDR arbeiten 40 Prozent der Arbeitskräfte in der Montage. Zur Zeit werden noch drei Viertel aller Montagearbeiten manuell ausgeführt. Für diese Montagearbeiten wird über die Hälfte der Gesamtfertigungszeit eines Erzeugnisses benötigt. Soll beispielsweise ein zylindrisches Teil in eine Bohrung eingefügt werden, so geht das nicht ohne „Gefühl“, der Greifer muß nachgiebig sein. So kann er bei solch einem Vorgang selbsttätig den Kantenversatz von 2 Millimetern und eine Verkippung von 2 Grad korrigieren. Allerdings müssen wir betonen, daß mit Gefühl allein nicht alles bewältigt werden kann.

Beim Einsatz solcher Industrieroboter mit Sensoren muß auch der robotergerechten Konstruktion der Bauteile und den vor- und nachgelagerten Prozessen große Aufmerksamkeit gewidmet werden.

So ist zum Beispiel die bisherige Verschraubungstechnologie, bei der die Schraube von der einen und die Mutter von der anderen Seite zugeführt wird, roboterunfreundlich. Bei Montagearbeiten mit Industrierobotern werden Schraube und Mutter von einer Seite zugeführt, ebenso werden Bolzen in Bohrungen nicht wie bisher hineingeschoben, sondern hineingezogen.

Der tastende Industrieroboter kann aber weder sehen noch hören. Diese und weitere Fähigkeiten ermöglichen berührungslos arbeitende Sensoren. Die optischen Sensoren, bestehend aus Fernsehkamera und Mikrorechner, stehen an erster Stelle. Warum? Weil das Sehen dem Industrieroboter eine Reihe wertvoller Eigenschaften verleiht. Er kann damit automatisch Hindernissen ausweichen, Entfernungen und Geschwindigkeiten abschätzen und, was das wichtigste ist, Bauteile an ihrer Form erkennen und damit sortieren, deren Lage korrigieren und sie programmgemäß positionieren. Diese automatische Bilderkennung ist rechentechnisch sehr aufwendig, da der Anwender ja nicht nur Sicherheit im Erkennen, sondern auch Schnelligkeit fordert. (Hier besteht eine Verbindung zum lesenden Rechner, s. S. 95). Innerhalb einer Sekunde müssen Fernsehkamera und Rechner folgendes erledigen: Das Fernsehbild muß in einen ausreichend feinen Raster von Bildpunkten zerlegt werden. Grobe Raster haben rund 4000, feine hingegen 200 000 Bildpunkte. Jedem Punkt wird ein entsprechender Grauwert (je nach Anforderung zwischen 30 und 250 Grauwertstufen) zugeordnet und gespeichert. Für Auswahl- und Sortiervorgänge wird das so zerlegte Bild mit dem vorher eingespeicherten Idealbild schrittweise über Bildmasken verglichen. Je nachdem, ob Übereinstimmung erzielt wurde oder nicht, kann eine entsprechende Reaktion ausgelöst werden. Bei Übereinstimmung wird das Teil zum Beispiel vom Transportband genommen und an den Bearbeitungsplatz transportiert. Optische Sensoren können nicht nur nach Kontur, sondern auch nach Farben unterscheiden. Sie werden in der VR Bulgarien zum Sortieren von Tabakblättern eingesetzt.

Solche „Intelligenzbestien“ sind wegen ihres hohen technischen Aufwandes in der gesamten Industrie noch verhältnismäßig wenig verbreitet. Sie zeigen aber mit ihrem Erkennen der Arbeitsmittel und -gegenstände den Weg zur vollautomatischen Montageeinrichtung, die auswählt, zubringt und -fügt (beispielsweise 17 Teile einer Wechselstromlichtmaschine in 2 Minuten und 42 Sekunden).

Der Vollständigkeit halber seien noch kurz die auditiven (akustischen) Sensoren genannt. Sie nehmen über ein Mikrofon charakteristische Geräusche beim Fertigungsprozeß auf (z. B. beim Schweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen). Diese Geräusche werden dann im Rechner zerlegt, klassifiziert und mit einem

vorgegebenen Geräuschmuster verglichen. Damit können Bauteile mit Toleranzen optimal justiert werden, außerdem ist eine kontinuierliche Qualitätskontrolle möglich.

Bei der Betrachtung des Leistungsvermögens der Industrieroboter muß ich an ein Plakat denken, das in den fünfziger Jahren im Schaufenster einer Uhrmacherwerkstatt in Weißenfels hing. Ein Uhrmachermeister bei der Arbeit war darauf zu sehen, und darunter stand: Die Maschine wird ihn nie ersetzen. Das war vor 30 Jahren. Inzwischen haben sich gerade in der Uhrenindustrie mit der „Elektronisierung“ der Zeitmessung gewaltige Änderungen vollzogen. Natürlich werden für Reparatur und Wartung auch in Zukunft gut ausgebildete Fachkräfte erforderlich sein. Ebenso in der Produktion, die sie gemeinsam mit ihren stählernen Elektronikkollegen bewältigen.

Industrieroboter werden sowohl für Hilfsoperationen als auch für technologische Operationen eingesetzt. Gegenwärtig sind rund 75 Prozent aller in der Welt eingesetzten Industrieroboter für Hilfsoperationen „zuständig“. Die wichtigsten Tätigkeiten haben wir einmal zusammengestellt.

Hilfsoperationen

transportieren
entnehmen/einlegen
umlagern
stapeln/palettieren
vereinzeln
sortieren

Technologische Operationen

schweißen/schneiden/löten/bonden
montieren
spritzen (Farben, Plastwerkstoffe)
schleifen
galvanisieren
putzen/strahlen (Sand, Stahlkugeln)

Diese Industrieroboter beschicken metallurgische Anlagen, Schmieden und Pressen und bedienen Maschinen in der metall- und plastverarbeitenden Industrie. Das restliche Viertel führt technologische Prozesse aus. Ganz vorn liegen das Schweißen und Montieren (jeweils rund 7 Prozent). Die Schweißroboter des Zentralinstituts für Schweißtechnik der DDR, Halle führen Lichtbogen- und Punktschweißarbeiten an Karosserieteilen für Autos, Bagger und Landmaschinen aus. Das Bild auf Seite 125 zeigt einen ausländischen Industrieroboter, der als „Konsumgüterproduzent“ im Rohrkombinat Riesa die beliebten Seitengepäckträger für die MZ aus Zschopau schweißt.

Die Bedeutung der Industrieroboter in der Montage erwähnten wir schon. Immerhin können sie die Montagekosten, die ja bis zu 60 Prozent der Gesamtkosten eines Erzeugnisses ausmachen, um die Hälfte senken. Rund 5 Prozent der Industrieroboter werden für die in der Tabelle angeführten Oberflächenbehandlungsverfahren verwendet. Sie lackieren, schleifen, polieren und galvanisieren. Weitere 2 Prozent entfallen speziell auf technologische

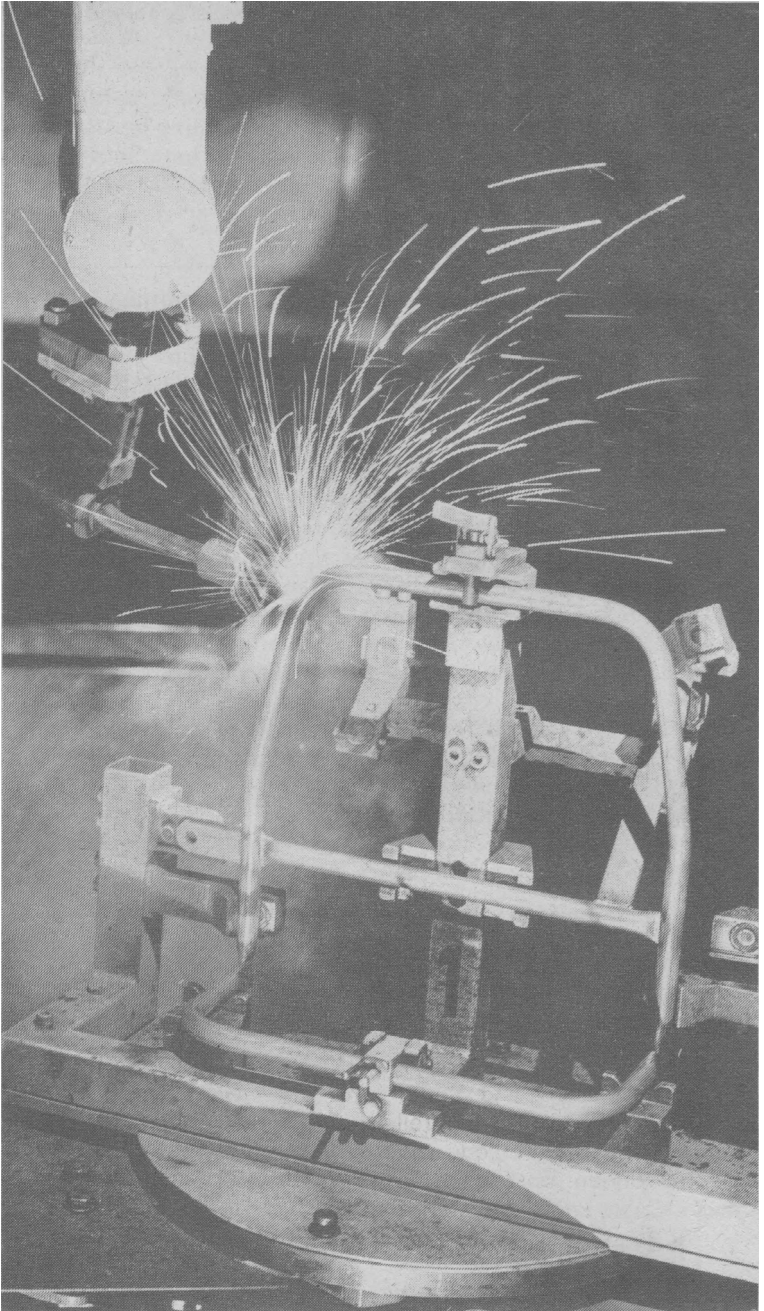
Prozesse in Gießereien. Hier werden flüssige Metalle transportiert und in Formen gegossen. Die fertigen Gußteile werden umgelagert, geputzt und mit Sand oder Stahlkugeln gestrahlt. Für solche metallurgischen Aufgabenstellungen wurde in der DDR der Industrieroboter ZIM 60 entwickelt. Dieser Riese aus dem Zentralen Ingenieurbetrieb der Metallurgie packt maximal 60 Kilogramm und setzt sie mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1$ Millimeter auf der vorher programmierten Position ab.

Worin besteht nun die wirksame Hilfe des Industrieroboters für den Menschen? Er übernimmt Arbeiten, die monoton, körperlich schwer und durch Hitze, Schmutz oder Lärm gesundheitsschädigend sind.

Die Arbeiter in Gießereien sind fast ausnahmslos diesen negativen Erscheinungen ausgesetzt, deshalb ist der Industrieroboter-einsatz dort besonders dringend geboten. Die Beseitigung dieser Nachteile hat folgende Vorzüge:

- Steigerung der Arbeitsproduktivität,
- Erhöhung der Qualität,
- Erhöhung der Arbeitssicherheit,
- Erhöhung und Optimierung der Taktzeiten im Fertigungsprozeß.

Der Himmel auf Erden also, oder? Abgesehen davon, daß auf dem Weg des vielfachen Einsatzes von Industrierobotern noch gewaltige Anstrengungen erforderlich sein werden, müssen wir die Dinge im gesellschaftlichen Zusammenhang betrachten. Mit dem Einsatz eines Industrieroboters wird je Schicht im Durchschnitt eine Arbeitskraft eingespart. Die ganze gesellschaftliche Tragweite liegt in dem Wort „eingespart“. Wissenschaft und Technik sind stets nur Mittel zum Zweck, und ebender wird von den jeweiligen Produktionsverhältnissen bestimmt. In der sozialistischen Gesellschaft hat nicht der Profit einzelner, sondern die bestmögliche Befriedigung der Bedürfnisse aller Werktätigen den Vorrang. Deshalb werden diese freigesetzten Arbeitskräfte an anderen Stellen in der Produktion, unter Umständen mit einer erforderlichen Qualifizierung, eingesetzt. Das ist besonders für die DDR mit ihrem gegenwärtigen Mangel an Arbeitskräften von wesentlicher Bedeutung. So führte zum Beispiel der zunehmende Einsatz elektronischer Bauteile im Büromaschinenwerk Karl-Marx-Stadt dazu, daß jeder zweite Werktätige in einem einjährigen Qualifizierungslehrgang umlernen mußte. In der BRD hingegen wird für fünf eingesparte Arbeitsplätze nur ein neuer geschaffen. Kein Wunder also, wenn die Werktätigen dort dem Einsatz von Industrierobotern mit gemischten Gefühlen entgegensehen, denn die Abschaffung ihrer bisherigen monotonen oder kör-



Roboter schweißt Seitengepäckträger im Rohrkombinat Riesa.

perlich schweren Arbeit kann zugleich jahrelange Arbeitslosigkeit bedeuten.

Der Industrieroboter greift also tiefer in die gesellschaftlichen Verhältnisse ein, als es eine nüchterne Betrachtung der technischen Sachverhalte erahnen läßt. Die Abschaffung schwerer, monotoner und gesundheitsschädigender menschlicher Arbeit wird ihren Tribut in einem höheren Aufwand an geistiger Arbeit fordern.

Physikalisch ausgedrückt: Die Summe aller Energien ist konstant. Dieses Naturgesetz kann keiner überlisten. Das sollen auch abschließend die weitsichtigen Gedanken von W. Ostwald (1853-1932) zeigen, der schon 1909 zum Verhältnis Mensch und Technik folgendes schrieb: „Warum erscheint uns der Burlak, der russische Schiffszieher, auf so niedriger Stufe der Menschheit stehend? Weil er seine Energie bloß als Rohenergie verwertet, wie es auch der Ochs kann. Andererseits kann ich nicht anders als mit herzlichem Respekt den Mann an der Schalttafel eines großen Elektrizitätswerkes anschauen, der nur unbedeutende Energiemengen für seine paar Griffe an den Schalthebeln verbraucht, dabei aber gegebenenfalls durch Geistesgegenwart und schnelles Urteil unabsehbares Unglück verhütet, wenn er durch solche Griffe den kaum gebändigten Riesen am Ausbreiten hindert.“

So sehen wir, wie die Technik, der man so viele Schädigungen des Menschlichen im Menschen nachsagt, doch am letzten Ende in ihm den Menschenwert steigert, indem sie ihm eine menschenmäßigere Betätigung eröffnet. Wie der Autofahrer vom Droschkenkutscher, wird sich der künftige Mensch vom gegenwärtigen unterscheiden.“*

Rechner im Einsatz

Die von Ostwald vor rund 70 Jahren angestellten Betrachtungen zur Energie haben in unserer Gegenwart an bedrückender Aktualität gewonnen. Im Zeitalter der Rohstoffverknappung heißt die Devise: Spart Energie, zu Lande, zu Wasser und in der Luft. Das

* Ostwald, W., Die Forderung des Tages, Leipzig 1910, S. 412

Verkehrswesen als ein sehr energieintensiver Wirtschaftszweig ist besonders angesprochen. Rechner mit geeigneten Rechenprogrammen können dabei helfen, indem wir deren Fähigkeit, schnell zu rechnen und steuernd in einen Prozeß einzugreifen (s. Einteilung auf den Seiten 94/95), ausnutzen.

Die Berliner S-Bahn verbraucht etwa soviel Strom wie die Stadt Cottbus. 1981 wurde damit begonnen, in die Führerstände der Triebwagen kleine Bordrechner einzubauen. In ihnen sind Fahrplaninformationen, Strecken- und Fahrzeugparameter gespeichert. Die häufig auftretenden Brems- und Anfahrvorgänge werden durch den Rechner so gesteuert, daß bei Einhaltung des Fahrplanes der Aufwand an Elektroenergie verringert wird. Damit werden 10 bis 15 Prozent an elektrischem Strom eingespart.

Die Rechanlagen auf dem Güterbahnhof in Halle schaffen die schwere und gefährvolle Arbeit der Hemmschuhleger ab und verringern zugleich Wagen- und Ladegutbeschädigungen. Sie berechnen für jeden zu rangierenden Wagen die Stärke der Bremswirkung so, daß der Wagen genau die erforderliche Wegstrecke zurücklegt. Die Tal-, Richtungsgleis- und Laufzielbremsen an den Gleisen werden dabei direkt von einem Rechner gesteuert.

Und was tut sich in dieser Richtung auf der Straße? Auf Bordcomputer im Auto kommen wir im nächsten Kapitel zu sprechen. Das Sorgenkind aller energiebewußten Leute ist der kraftstoffhungrige Anfahrvorgang bei Autos, Straßenbahnen, Zügen, Schiffen und Flugzeugen. Ein erster Schritt im Straßenverkehr war vor Jahren die Einführung der grünen Welle. Die einzelnen Ampelkreuzungen sind hier miteinander gekoppelt, und Leuchttafeln geben dem Kraftfahrer Richtgeschwindigkeiten an. Hält er diese ein, so wird er an der nächsten Ampel wieder freie Durchfahrt haben. Das Ganze wird von einer Automatik gesteuert, die nach einem festen Programm arbeitet. (Erinnern Sie sich an die Automaten mit Festprogramm im Abschnitt „Industrieroboter im Betrieb“?) Die meisten dieser „sturen“ automatischen Schaltungen berücksichtigen aber weder die Anzahl der Fahrzeuge noch die Straßenbahnen, die die Kreuzungen passieren müssen. Eine solche Lichtsignalanlage läßt sich durch den Einsatz von Rechnern mit geeigneten Steuerprogrammen viel flexibler in Abhängigkeit vom Fahrzeugstrom steuern. Mitte 1980 wurde in Dresden solch eine Rechnersteuerung praktisch eingesetzt. Die Anzahl der Fahrzeuge wird durch in die Fahrbahn eingebaute Detektoren (Meßeinrichtungen) erfaßt und dem Rechner zugeleitet. Auch nahende Straßenbahnen werden gemeldet. Der Steueralgorithmus enthält eine Vorrangschaltung für die Straßenbahn. Damit werden jährlich rund 15.000 Kilowattstunden Elektroenergie eingespart. Aber nicht auf Kosten der Autofahrer, wie mancher jetzt vielleicht denken wird. Das Steuerprogramm „beachtet“ neben

der Priorität der Straßenbahn auch den maximalen Zeitabstand zwischen zwei Phasen und minimiert die Wartezeiten in Abhängigkeit vom gesamten Verkehrsaufkommen. Werden in einer Fahrtrichtung besonders viele Fahrzeuge gezählt, so wird die Freigabezeit dieser Fahrbahn verlängert. Alles in allem werden nach ersten Schätzungen jährlich rund 5000 Liter Kraftstoff eingespart. Ähnliche Anlagen sollen die Urlauber-Autoschlangen in Rostock bändigen. Ebenso in Budapest und anderen Städten des In- und Auslandes arbeiten die Verkehrsplaner in Zukunft mit solchen Rechnern.

Auch zu Wasser wird Energie gespart, wenn die Rechner die Kommandobrücken von Handels-, Passagier- und Fangschiffen erobern. Der rechnergesteuerte Betrieb der Schiffsmaschinen spart Arbeitskräfte und Treibstoff. Und die sowjetischen Fischereiboote in den Gewässern der Südkurilen erhalten über Funk nicht nur einen täglichen Wetter-, sondern auch einen „Fischbericht“. Grundlage ist ein mathematisches Modell (3. Fähigkeit des Rechners; s. S. 94/95), das das Eintreffen von Fischschwärmen an bestimmten Orten mit hoher Treffsicherheit Vorhersagen kann. Zu diesem Zweck liefern die Fischereiboote alle zwei Stunden Meßwerte über Wassertemperatur, Strömung und Zugrichtung gesichteter Schwärme. Der Rechner verarbeitet diese Angaben in seinem Modell, dem eine Vielzahl solcher Angaben vergangener Jahre zugrunde liegt. Ergebnis: Diese Fangprognosen bringen eine jährliche Einsparung von 10 Millionen Rubel in Form von Arbeitszeit und Treibstoff.

Passagierschiffe haben bisher, um eine Sicherheit gegen Verspätungen zu haben, ihre Fahrt oft mit höheren Geschwindigkeiten begonnen, wobei unnötig viel Brennstoff verbraucht wurde. In Schweden wurde deshalb ein Rechner (natürlich mit entsprechenden Programmen) entwickelt, dem die Parameter Wind, Wellengang, Strömung und Wassertiefe eingegeben werden. Der Rechner ermittelt daraus die notwendige Leistung der Antriebsmaschinen, so daß das Schiff mit einem Minimum an Brennstoff pünktlich sein Ziel erreicht.

Nicht anders liegt das Problem beim Luftverkehr. Auf der 1600 Kilometer langen Strecke Berlin - Moskau werden von einer IL-62 rund 16.000 Kilogramm Treibstoff verbraucht. In den Flugzeugen der INTERFLUG und anderer Fluggesellschaften „bemühen“ sich Bordrechner, den Verbrauch minimal zu halten. Je Flug wird dadurch rund 1 Prozent eingespart. Das klingt nicht gerade weltbewegend, sind aber immerhin 160 Kilogramm.

All die genannten Verkehrsmittel dienen dazu, nicht nur Güter, sondern auch Personen zu befördern. Ob wir dabei Fahrrad, Motorrad, Auto, Omnibus, Straßenbahn, S-Bahn, Eisenbahn, Schiff oder Flugzeug bevorzugen, hängt von vielem ab. Auch der schon

zitierte Wissenschaftler Ostwald hatte da im Jahre 1909 seine eigene Meinung: „Gegenwärtig ist aber zum Beispiel der Verkehr über den Atlantischen Ozean eine so angenehme und sichere Sache geworden, daß ich sehr viel lieber eine Woche seefahren, als zwei Tage eisenbahnfahren möchte; es ist erstens sauberer und zweitens sicherer.“*

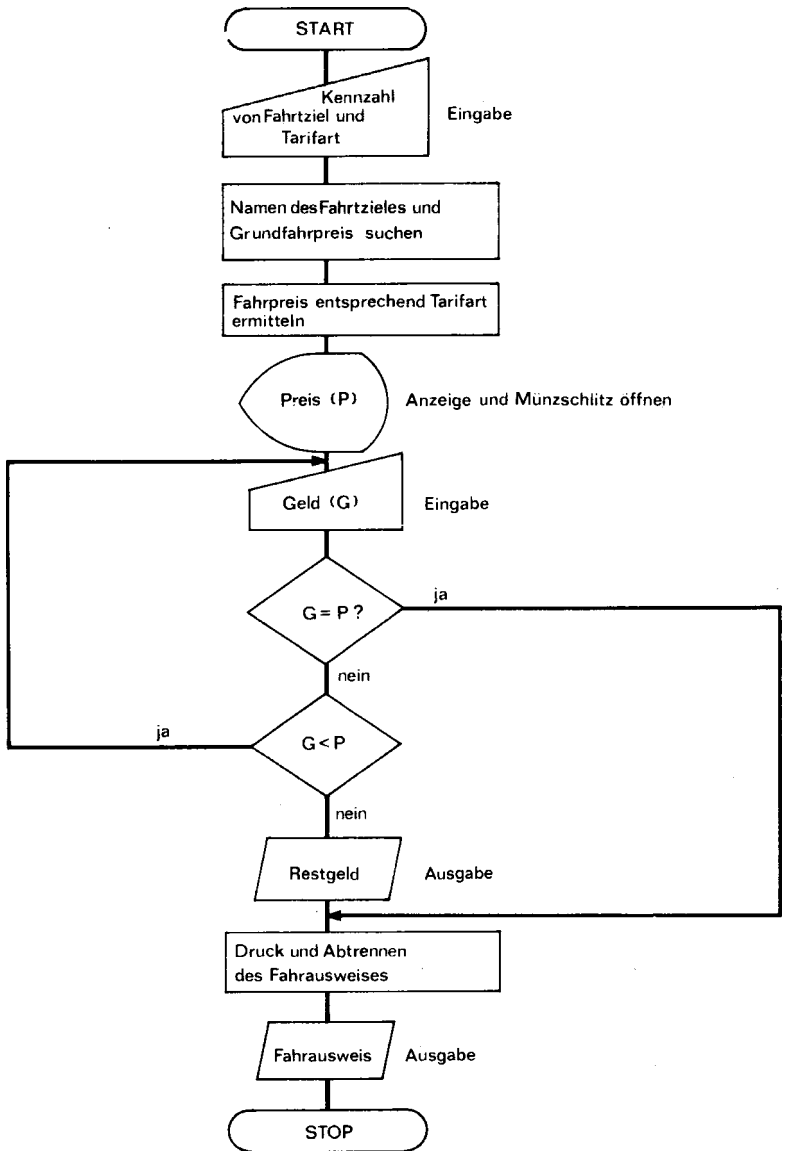
Dennoch benutzen wir in unserer Republik, um nach Suhl, Dresden oder Berlin zu kommen, nicht das Schiff, sondern meistens die Eisenbahn. Doch vorher ist oftmals viel Zeit beim Anstehen am Fahrkartenschalter zu investieren. Rechnergesteuerte Schalterdrucker und mit Hilfe von Rechnern arbeitende Fahrkartenautomaten sollen diesen Mißstand lindern helfen. Die Fahrkartenverkäuferin am Schalterdrucker bedient nicht mehr die schwerfällige Druckmaschine, sondern über eine Tastatur den Bildschirm und den elektronischen Drucker. Damit sinkt die durchschnittliche Zeit zum Ausstellen einer Fahrkarte von 40 auf 20 Sekunden.

Ganz ohne Verkäuferin kommt der rechnergesteuerte Dialogautomat zum Ausstellen von Fahrkarten aus. Allerdings müssen Sie die Fahrtzielkennzahl Ihres Reisezieles (die Dialoganlagen haben rund 300 Zielbahnhöfe „im Kopf“) aus einer Tabelle neben dem Automaten ablesen. Kennzahlen für Fahrtziel und Tarifart tasten Sie in den Rechner ein. Der Rechner sucht nun, entsprechend dem Ablaufplan auf Seite 130, den Namen des Fahrtzieles und den Grundfahrpreis. Daraus ermittelt er den Fahrpreis nach der eingegebenen Tarifart und zeigt den zu zahlenden Betrag an. Mit Hartgeld bis zu 5-Mark-Stücken wird bezahlt, wobei der Automat die Münzen zählt und das Restgeld wieder ausgibt. Nach Bezahlung wird der Fahrausweis gedruckt und ausgegeben, natürlich nur, solange alles funktioniert.

Als ein Mitarbeiter der Computerfirma Zuse KG im Jahre 1955 der Luftfahrtgesellschaft KLM den Vorschlag machte, ein Platzreservierungssystem mit Computern einzuführen, stieß dieser Vorschlag auf Ablehnung. Die Vertreter der Luftfahrtgesellschaft meinten, daß ein Computer nie die Arbeit eines Platzreservierers übernehmen könne. Die Platzreservierer wissen, daß die Kunden grundsätzlich zuviel Plätze buchen, um „sicher“ zu gehen. Der Ausgleich zwischen Überbuchung und Wirtschaftlichkeit der Fluggesellschaft wird durch das Fingerspitzengefühl des Reservierers ausgeglichen. Ein Computer würde aber pedantisch genau und demnach unrentabel arbeiten.

Das klingt beim gegenwärtigen Stand der rechnergestützten Reservierung von Plätzen für Flugzeuge, von Platz-, Liege- und Bettkarten und von Hotelzimmern fast wie ein Märchen. So wur-

* ebenda, S. 406



den vom VEB Kombinat Robotron automatische Reservierungssysteme geschaffen, das ARS/E für die Eisenbahnpersonenbeförderung und das ARS/H für das Hotelwesen. Die Deutsche Reichsbahn begann auf den Berliner Fernbahnhöfen für die Ausgabe von Platzkarten des ARS/E einzuführen. Sie begegnet damit

der Gefahr, daß ein Platz mehrfach verkauft wird oder Plätze für Wagen reserviert werden, die es gar nicht gibt. (Im „Eulenspiegel“ wird ab und zu darüber berichtet.) Ein wesentlicher Mangel bei der manuellen Reservierung besteht in der Zuteilung einer bestimmten Anzahl von Plätzen für die einzelnen Verkaufsstellen. So befinden sich für den Rennsteig-Expreß in Erfurt und Halle Platzreservierungsstellen, die jeweils ein bestimmtes Kontingent an Plätzen haben. Da kann es durchaus geschehen, daß ein Hallenser keine Platzkarte mehr bekommt, obwohl in Erfurt noch freie Plätze verkauft werden könnten. Deshalb hat bei dem Reservierungssystem ARS/E ein zentraler Großrechner alle Plätze und Züge „im Kopf“, also in seinem Speicher. In den einzelnen Verkaufsstellen, und deren Zahl läßt sich dann auch auf einfache Weise vergrößern, befindet sich ein sogenannter Abonnentenpunkt mit Bedientastatur, Bildschirm und Kartendrucker. So arbeitet auch das Reservierungssystem der Interflug (RESI), das direkt mit den Rechenanlagen der AEROFLOT in Moskau über Datenfernübertragung gekoppelt ist. Alle Flugscheinverkaufsstellen in der DDR sind daran angeschlossen. Beim ARS/E gibt der Eisenbahnreisende der Bedienperson telefonisch, mündlich oder schriftlich folgende Angaben: Zugnummer, Platzlage, Klasse, Raucher oder Nichtraucher, Reservierungsstrecke und Reiseterrmin. Nach Eintasten dieser Angaben vergehen etwa 10 Sekunden, bis eine bestätigende oder abschlägige Antwort (diese dann eventuell mit Ausweichmöglichkeiten) auf dem Bildschirm erscheint. Dieses System funktioniert auch in Zusammenarbeit mit der UIC (Vereinigung westeuropäischer Eisenbahnverwaltungen und der Deutschen Reichsbahn) und der OSShD (Organisation der sozialistischen Eisenbahnverwaltungen), so daß auch einer Buchung für Auslandsreisen nichts im Wege steht.

Natürlich sind solche Systeme nicht billig. Das trifft auch auf das Reservierungssystem im Hotelwesen ARS/H zu. Aber Hotelzimmer sind es auch nicht, und Verluste im Tourismusgeschäft können wir uns nicht leisten. So stehen dem Reisebüro der DDR jährlich rund 1,6 Millionen Übernachtungen mit einem Wert von 65 Millionen Mark für den Auslandstourismus zur Verfügung. Die schnelle und sichere Buchung und die vollständige Auslastung der Kapazität sind deshalb eine vordringliche Aufgabe.

Nicht anders verhält es sich mit den begehrten Campingplätzen an der Ostsee. Im Campingzentrum Stralsund ist die Handarbeit schon seit 1975 passé. Der vom Bewerber ausgefüllte EDV-Vordruck wird über einen Datenträger in den Rechner eingegeben. Der erledigt dann alles, bis hin zum Ausdruck der Zahlkarte bei erteilter Genehmigung oder der Absage mit Ausweichangeboten. Wie läßt das Rechnerprogramm aber Gerechtigkeit walten? Die Anträge müssen im ersten Schritt in eine Rangfolge ge-

bracht werden, nach der dann die Vergabe der Plätze erfolgt. Für diese Rangfolge werden folgende Kriterien berücksichtigt: Ist der Antragsteller kinderreich? Hat er in den letzten Jahren Absagen erhalten? Hat er überhaupt schon einmal an der Ostsee gezeltet, eventuell in der Vor- oder Nachsaison? Welche Kategorie hatten die gebuchten Plätze? Wie ist die Nachfrage nach diesen Plätzen? Hat der Antragsteller trotz Verbots mehr als einen Antrag gestellt? (Zur Strafe wird er im laufenden und im Folgejahr von der Vermittlung ausgeschlossen.) Aus der Beantwortung dieser Fragen wird eine Bewertungszahl für jeden Antragsteller gebildet und der Personenkennzahl des Antragstellers zugeordnet. Für jeden Antragsteller werden diese Bewertungszahlen von den vergangenen vier Jahren auf einem Magnetband gespeichert, so daß stets diese vier Jahre in die Festlegung der Bewertungszahl eingehen. Übrigens werden durch Mittelwertbildung auch alle übrigen Personen, die auf dem Antrag verzeichnet sind, mitbewertet. Liegt die Reihenfolge der Abarbeitung der Anträge fest, dann sind je Antrag immerhin noch 12 Möglichkeiten offen (vier verschiedene Plätze und drei verschiedene Reisezeiten). Welche Lehren sollten die über eine halbe Million Ostseecamper daraus ziehen? Neulinge und solche, deren Ostseeplatz mehr als vier Jahre zurückliegt, haben eine etwas größere Chance, einen Zeltplatz der Kategorie I zu erhalten. Alle anderen sollten Plätze der Kategorie II beantragen, wenn möglich im Juni oder September. Alles in allem, durch Einsatz eines Großrechners werden die Zeltplatzkapazitäten besser ausgenutzt, Betrüger mit Sicherheit gefunden, und die Vergabe erfolgt nach objektiven Kriterien. Die Vernunft liegt also beim Antragsteller, nicht beim Rechner.

Für einen erholsamen Urlaub spielt das Wetter eine wesentliche Rolle. Der Mensch kann aber weder mit noch ohne Rechner das „Wunschwetter“ machen, bei dem ohnehin Bauer und Urlauber oft gegenteilige Wünsche haben würden. Der Mensch kann aber durch Wetterbeobachtung, -Überwachung und -Vorhersage der Volkswirtschaft großen Nutzen bringen. So können Sturm, Starkniederschläge oder Trockenheit vorausgesagt werden. Bei der Planung von Wohnkomplexen, Industrieanlagen oder Obstplantagen können über Jahre gesammelte Wetterdaten bei der Suche geeigneter Standorte helfen. Unter solchen Zielstellungen arbeitet das Weltwetterüberwachungssystem (World Weather Watch, WWW), das von einer Spezialorganisation der Vereinten Nationen betreut wird.

Zu diesem System gehören 4000 Bodenwetterstationen, 700 Radiosonden und eine Reihe von Wettersatelliten. Alle liefern viermal am Tag Wetterdaten vom ganzen Erdball. Wollte man die Auswertung dieser Datenflut von Hand vornehmen, so wä-

ren Sturm und Hagel da, bevor die Warnung am betreffenden Ort ankäme.

Hier helfen nur leistungsfähige Datenverarbeitungssysteme, die schneller als das „Wetter selbst“ sind. Erste Versuche für den Einsatz der Rechentechnik in der Meteorologie wurden schon 1950 unternommen. Seit August 1979 liefert in Reading bei London der schnelle Superrechner Cray 1 jeden Morgen Wetterkarten, in denen 5 Stunden Rechenzeit stecken. Damit sollen 7-Tage-Prognosen mit einer Zuverlässigkeit von 85 Prozent möglich sein. Die Fachleute sind sich einig: Eine Mark Aufwand bei der Wetterüberwachung bringt der Volkswirtschaft mindestens 10 Mark Nutzen, trotz des großen rechentechnischen Aufwandes. So gesehen ist unser Urlaubswetterbericht nur ein „Nebenprodukt“ der weltweiten Wetterbeobachtung.

Für Geldnachschub am Urlaubsort ist ein Postspargbuch besonders geeignet. Auch das Postsparkassenamt in Berlin arbeitet schon seit Jahren mit Rechenanlagen, wobei jedem Postspargbuch eine neunstellige Kennzahl zugeordnet ist. In einigen Ländern gibt es auch schon automatische Geldausgabeautomaten, die direkt mit dem Großrechner in der Sparkasse verbunden sind. Nach Einstecken einer codierten Plastkarte werden Tastatur, Bildschirm und Geldausgabeschlitz freigegeben. Zur Sicherheit muß der Kunde noch eine Geheimnummer über die Tastatur eingeben, bevor eine Auszahlung erfolgen kann. Damit ist man nicht mehr an die Öffnungszeiten der Bank gebunden.

Die Übermittlung von Telegrammen vom oder zum Urlaubsort ist zum Beispiel in China weitaus komplizierter als bei uns. Dort wird den 1000 am häufigsten vorkommenden Schriftzeichen jeweils eine vierstellige Zahl zugeordnet. Dieses „Zahlentelegramm“ wird nach der Übermittlung dann in die Schriftzeichen rückübersetzt. Wollte man auf diese Weise ein chinesisches Lexikon mit 3 Millionen Wörtern im Rechner speichern, so wäre das mit einem Riesenaufwand verbunden. Englische Wissenschaftler haben deshalb eine Methode gefunden, bei der die Schriftzeichen wie bei einem Kreuzworträtsel auf einer Magnettrommel mit 66 x 66 Quadraten gespeichert sind. Aus diesem Vorrat an Schriftzeichen können dann die entsprechenden Wörter zusammengesetzt werden.

Auch der schönste Urlaub geht einmal zu Ende. Der Betrieb hat uns wieder, ebenso dessen Rechner. Der Einsatz von Rechnern im Betrieb läßt sich in folgende drei Bereiche gliedern:

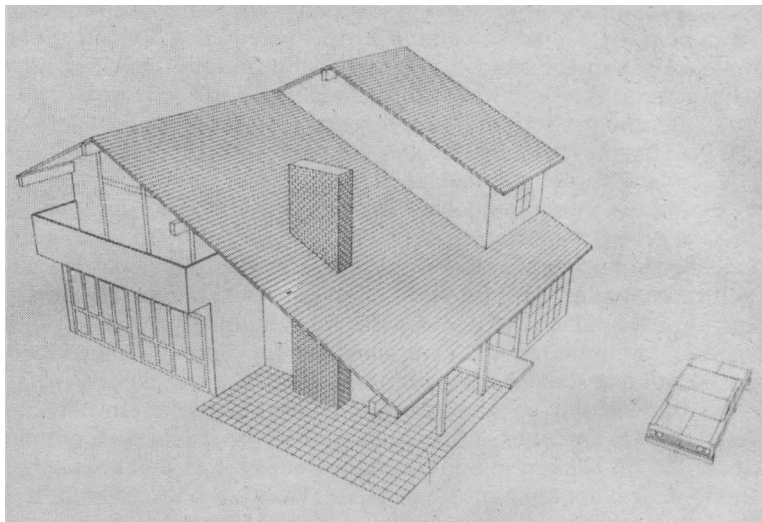
1. Prozeßrechner, die den Produktionsprozeß überwachen und beeinflussen,
2. Rechner im Organisations- und Rechenzentrum, die ökonomisch

mische und wissenschaftlich-technische Berechnungen durchführen,

3. Rechner im Büro, die die Büro- und Verwaltungsarbeit rationalisieren.

Wir können hier nur andeuten, was die Rechner in den einzelnen Bereichen leisten. Besichtigen wir zum Beispiel eine Papierfabrik. Der Papierbrei fließt auf ein endloses, sich bewegendes Band, auf dem er mit Hilfe von Trocknungswalzen entwässert wird. Am Ende dieser Strecke wird die Papierbahn abgehoben, über beheizten Walzen getrocknet und dann zu einer großen Rolle aufgewickelt. Die Papierqualität ist von dem Wassergehalt des Papierbreis, der Bandgeschwindigkeit, der Temperatur der Trocknungswalzen und dem Zug beim Aufwickeln abhängig. Sämtliche Meßwerte müssen überwacht und so eingestellt werden, daß eine geforderte Papierqualität entsteht. Das setzt neben Fachwissen und Erfahrung ein ständiges Messen, Kontrollieren und Eingreifen der Bedienungsmannschaft voraus. Ein angeschlossener Prozeßrechner kann in kurzen Zeitabständen diese Messungen durchführen, mit den geforderten Werten vergleichen und bei Abweichungen Alarm auslösen oder, was noch besser, aber auch aufwendiger ist, selbst in den Prozeß eingreifen und die geforderten Werte neu einstellen. Solche Prozeßrechner (1976 waren auf der Welt etwa 80.000 in Betrieb, und ihre Zahl steigt mit dem Einsatz leistungsfähiger Mikrorechner ständig) sichern eine gleichbleibende Qualität und entlasten das Bedienungspersonal. Sie reagieren schneller als der Mensch und ermöglichen, da sie eine größere Anzahl von Informationen in kurzer Zeit aufnehmen und verarbeiten können, einen effektiveren Produktionsprozeß mit besserer Ausnutzung der Rohstoffe. Ein Haupteinsatzgebiet haben sie in räumlich weit ausgedehnten und explosionsgefährdeten Produktionsprozessen, zum Beispiel in der chemischen Industrie, gefunden. Als „Nebenprodukt“ liefert der Prozeßrechner umfangreiche Informationen über die noch vorhandenen Ausgangsstoffe und die produzierten Mengen.

Das Organisations- und Rechenzentrum (2. Bereich) ist nicht wie der Prozeßrechner direkt mit dem Fertigungsprozeß verbunden. Hier werden die Produktionspläne für einen bestimmten Zeitraum berechnet. Die tägliche Planerfüllung wird kontrolliert; ebenso werden Kosten und Gewinne berechnet, Materialbestellungen mit Rechnern ausgeschrieben und die Löhne und Gehälter für die Werk tätigen ermittelt. Der Absatz wird geplant und der Verkauf, eventuell bis hin zum Transport für die Auslieferungsfahrzeuge, organisiert. Dafür sind Großrechner mit speziellen Rechenprogrammen im Einsatz. Das Organisations- und Rechenzentrum bearbeitet auch Aufträge aus den Forschungs- und Entwick-



Mit dem Computer gezeichnete Ansicht (CALCOMP GmbH auf Leipziger Frühjahrsmesse 1981)

lungsabteilungen. So werden mit geeigneten Rechenprogrammen Versuche ausgewertet und Festigkeiten neuartiger Konstruktionen ermittelt. Allerdings verschwinden solche Berechnungen für Konstrukteure und Technologen in dem Maße aus den großen Rechenzentren, in dem leistungsfähige Klein- und Kleinstrechner direkt auf dem Schreibtisch des Bearbeiters zur Verfügung stehen. Damit kann er jederzeit arbeiten, ohne warten zu müssen. Erst dann wird der Rechereinsatz im Wechselspiel von schöpferischer und Routinearbeit effektiv.

So konnte die Forderung, in der VR Bulgarien jährlich 40 bis 60 Brücken zu projektieren, nur mit Hilfe der elektronischen Rechentechnik realisiert werden. Allerdings müssen dazu im Sofioter Projektierungsinstitut wegen der Kompliziertheit der Aufgabe Großrechner eingesetzt werden; auch die neue Asparuchowbrücke über die Meeresbucht bei Warna wurde mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung projektiert.

Solche leistungsfähigen Rechanlagen mit umfangreichen Programmen helfen nicht nur dem Projektanten, sondern auch dem künstlerisch arbeitenden Architekten. Er kann sich durch den Einsatz von Rechner und Bildschirm das mühselige Herstellen von Modellen von Brücken oder Häusern ersparen, da der Rechner die gewünschten perspektivischen Ansichten liefert. Das geht bei leistungsfähigen Anlagen so weit, daß man sich die Ansicht eines zu bauenden Gebäudeensembles aus dem 5. Stock

eines Wohnhauses auf dem Bildschirm betrachten kann. Während manuell für verschiedene Entwürfe zur Darstellung eines mehrstöckigen Hauses etwa eine Woche benötigt wird, schafft der Rechner das in 45 Minuten. Das setzt natürlich „geistintensive“ Rechenprogramme (Sie erinnern sich an den Abschnitt „Der mühsame Weg von P nach P“) voraus.

Rechner übernehmen auch schon die Arbeit des Schriftsetzers. Während im herkömmlichen Bleisatz etwa 30.000 Zeichen je Stunde erreicht werden, schafft der rechnergestützte Foto- oder Lichtsatz mehrere Millionen Zeichen je Stunde. Ja selbst die Silbentrennung kann der Rechner erledigen. Ein solches Programm ist zum Beispiel in der DDR von der Forschungsgruppe Automatische Silbentrennung im Zentralinstitut für Sprachwissenschaft der Akademie der Wissenschaften der DDR entwickelt worden. Auch den Herstellern von Wörterbüchern oder Atlanten hilft der Rechner. Ein anspruchsvoller Atlas für den Hausgebrauch enthält über 100.000 Namen, die im Namenverzeichnis in alphabetischer Reihenfolge angegeben sind. Diese Sortierarbeit erledigt der Rechner viel besser und schneller als der Mensch.

Doch zurück zum Betrieb. Im 3. Bereich, dem Einsatz von Rechnern im Büro, haben wir uns noch nicht umgesehen. Im Versuchsstadium befindet sich ein Schreibcomputer, der gesprochene Sätze erkennt (also weit mehr als die Worterkennung, die wir auf S. 95/96 beschrieben haben) und sie auf einem Schreibwerk ausdrückt. Es bleibt abzuwarten, ob ein günstiges Aufwand-Nutzen-Verhältnis erreicht werden kann. Bis dahin schaltet und waltet noch die Sekretärin oder der Facharbeiter für Schreibtechnik im Büro. Ihr neues Telefon hat einen Nummernspeicher mit den wichtigsten Telefonnummern. Direkt nach Aufforderung wird das elektronische Telefon so lange seine Wählversuche wiederholen, bis die gewünschte Verbindung hergestellt ist. Darüber hinaus ist dieses Telefon mit einer Vorrichtung gekoppelt, die die Übertragung von ganzen Textseiten oder Zeichnungen über die Telefonleitung ermöglicht. Diese sogenannten Fernkopierer schaffen mit ihrer leistungsfähigen Elektronik die Übertragung einer A4-Seite in weniger als einer Minute.

Auch die Schreibmaschine (beispielsweise der Typ S 6001 vom Kombinat Robotron) enthält einen kleinen Rechner mit Speicher. Damit ist es möglich, bestimmte Textteile, die sich stets wiederholen, zu speichern. Sie werden zum Beispiel bei Rundschreiben nur aufgerufen und automatisch ausgedruckt.

Wußten Sie schon, daß es in der DDR für Großküchen eine mit Hilfe von Rechenprogrammen optimierte Rezepturenkartei gibt, die 1360 Rezepturen für warme Speisen enthält? Sie sind nach den Gesichtspunkten eines minimalen Fett- und Zuckereinsatzes, eines höchstmöglichen Vitamin- und Mineralstoffangebots und

einer nährwertschonenden Zubereitungsform zusammengestellt. Wir wollen noch einen kurzen Ausflug in die Medizin unternehmen, da auch hier Rechner im Vormarsch sind. Das beginnt schon mit der Verwaltungsarbeit im Großkrankenhaus, wo der Rechner sich um Materialbestellungen, Abrechnungen und die Speicherung der Patientenkartei kümmert. Uns soll aber die Arbeit des Arztes unter Einsatz der Rechentechnik interessieren. Sein Wissen ist eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Arbeit. Im Jahr werden für die Mediziner aber 1,5 Millionen Aufsätze in medizinischen Fachzeitschriften veröffentlicht. Das zwischen den RGW-Ländern aufgebaute Informationssystem Medinform soll hier helfend eingreifen. Die Bearbeiter von Medinform werten medizinische Literatur aus und speichern die wichtigsten Fakten und Beispiele auf Magnetbändern eines Großrechners in Sofia. Jeder Beitrag wird mit entsprechenden Schlagworten (Deskriptoren) versehen und dann bei einer gezielten Anfrage (beispielsweise Herzinfarkt bei Männern in der metallverarbeitenden Industrie) mit Hilfe des Rechners und des Suchprogramms wieder aus dem Magnetband herausgesucht. So können sich alle Ärzte in den RGW-Ländern gezielte Literaturzusammenstellungen zu bestimmten Problemen anfertigen lassen.

Aber was nützt das beste Wissen, wenn der fundierten Diagnose durch leistungsschwache Nachweismethoden Grenzen gesetzt sind. Die Medizintechniker in aller Welt bemühen sich, Abhilfe zu schaffen. Auch dabei helfen Rechner.

So entstand aus der Kopplung klassischer Röntgen- und modernster Computertechnik die Computertomographie. Damit wird es erstmals möglich, Schichtdarstellungen (Schnittaufnahmen wie bei einer technischen Zeichnung) vom Körper anzufertigen.

Der Röntgenstrahl wird vom Sender durch den Körper hindurch zu einem Empfänger geschickt. Ein Computer rechnet die unterschiedlichen Dichten in Grauwerte um. Beim Meßvorgang drehen sich Sender und Empfänger einmal um den Patienten herum. Damit werden rund 50 000 Einzelmessungen gewonnen. Deren Verarbeitung im Rechner (wenige Sekunden Rechenzeit) führt zu Schichtaufnahmen sehr hoher Qualität, mit denen Blutungen und Tumore genau erkannt und lokalisiert werden können. Das wichtigste Einsatzgebiet der Computertomographie ist die Diagnose. Es ist damit aber auch möglich, den Verlauf der Heilung nach einer Operation oder Behandlung zu kontrollieren, und das alles bei Milz, Leber, Niere, Bauchspeicheldrüse, Gehirn und den Organen des kleinen Beckens.

Auch bei einem gestörten Reizleitungssystem des Herzens

kann die Mikroelektronik helfen. Zur wirksamen Herzstimulation wird dem Patienten ein Pacemaker (sprich: pehsmeker, Schrittmacher) unter der Haut eingepflanzt. Dieser Schrittmacher gibt elektrische Impulse ab, die über eine Elektrode direkt in das Herz geleitet werden und dort den Herzmuskel zu Aktionen anregen. Bisher wurde bei der Vielzahl der eingesetzten Schrittmacher stets die gleiche standardisierte Anregung angewendet. Dadurch konnten Besonderheiten einzelner Patienten und Veränderungen des Krankheitsbildes nicht berücksichtigt werden. Durch mikroelektronische Bauelemente kann diese Anregung heute individuell für jeden Patienten programmiert werden. Ein Programmiergerät wird auf die Haut gelegt und tritt mit dem programmierbaren Schrittmacher in einen Dialog. Auf diese Weise programmiert der Arzt den Schrittmacher mit den gewünschten Parametern (Frequenz, Impulsdauer, Reizstärke), und die Anregung wird den Bedürfnissen des Patienten angepaßt. Mit dieser „Stimulation nach Maß“ wird ein Höchstmaß an Wohlbefinden für den Patienten erreicht.

So wie die medizinische Praxis, so kommt auch die Wissenschaft nicht mehr ohne Computer aus. Denken wir nur an die Satelliten- und Flugzeugaufnahmen mit der Multispektralkamera MKF 6 M vom Kombinat VEB Carl Zeiss JENA oder an die Bilder vom Jupiter, die die amerikanische Raumsonde Voyager 1 lieferte. Dienen im ersten Fall die Rechenprogramme zur Interpretation der fotografisch gewonnenen Aufnahmen, so sind im zweiten Fall umfangreiche Rechnungen erforderlich, um aus den Funksignalen der Sonde überhaupt Bilder entstehen zu lassen. Ein Funksignal benötigt für die Entfernung von 650 Millionen Kilometern zwischen Erde und Jupiter rund 40 Minuten. Wollte man über diese Strecke ein übliches Fernsehbild übertragen, so käme auf Grund von Störungen nur ein undefinierbarer Bildersalat an. Der Trick besteht in der Digitalisierung der Bildinformationen. Das Bild wird in der Sonde in viele kleine Punkte zerlegt. Der Grauwert eines jeden Bildpunktes wird gemessen und als Zahlenwert dargestellt. Bei Farbaufnahmen kommt noch eine Zahl für die Farbe dazu. Für jeden Bildpunkt sind damit vier Zahlenwerte zu übertragen. Das sind die x- und die y-Koordinate, der zugehörige Grauwert und der zugehörige Farbwert. Diese digitalen Bildinformationen durcheilen wie in dichter Reihenfolge fliegende Kugeln eines Maschinengewehres den Raum. Damit erreicht trotz Störungen immer noch eine so große Anzahl von Kugeln, in unserem Fall Zahlenwerte, den Empfänger, daß die volle Bildinformation auf der Erde vorliegt. Nun ist es Sache des Rechners, aus der Fülle der empfangenen Zahlen wieder Punkt für Punkt ein Bild zusammenzusetzen.

Apropos Bilder und Computer. Die Nutzung von Fingerabdrück-

ken in der Kriminalistik (Daktyloskopie) geht auf den britischen Naturforscher F. Galton (1822-1911), einen Vetter von Charles Darwin, zurück. Ob Galton wohl daran geglaubt hätte, daß eines Tages Computer vollautomatisch den Vergleich von Fingerabdrücken durchführen? Wir wissen nur, daß sie es, entsprechende Programme vorausgesetzt, tatsächlich können. Doch damit nicht genug. Auch bei der Klärung der Verwandtschaftsbeziehungen unter den Vorfahren des Menschen helfen sie. So haben Anthropologen und Rechentechner biomolekulare Entwicklungsmodelle programmiert, die mögliche Mutationsvorgänge berücksichtigen. Mit diesen Modellen können dann Jahrtausende simuliert werden (s. 3. Fähigkeit des Rechners, S. 94/95).

Daß der Rechner seinen Namen zu Recht trägt, dafür zum Abschluß noch folgende Kuriosität: In 4 Stunden und 22 Minuten wurde in einem Rechenautomaten die Zahl Pi auf 100 625 Stellen genau errechnet. (Pi ist ja keine rationale Zahl.) Mit normaler Zifferngröße dargestellt, ist diese Zahl rund 200 Meter lang.

Rechner für den Hausgebrauch

Der irische Bischof James Usher schrieb im Jahre 1654, daß die Welt am 26. Oktober 4004 v. u. Z. um 9 Uhr morgens erschaffen worden sei. An elektronische Rechner war damals noch nicht zu denken. Der Bischof benutzte auch kein Rechenbrett, sondern stellte seine Behauptung auf Grund von Bibelstudien auf. Ein Taschenrechner wäre zu jener Zeit gewiß als Teufelswerk gebrandmarkt worden. Fleute ist er ein Handwerkszeug für den Geistesarbeiter so wie Säge und Hobel für den Tischler. Was meinen Sie, wieviel elektronische Rechner werden sich wohl gegenwärtig und in Zukunft in einem modernen Haushalt befinden? Haben Sie im Vergleich dazu einmal die Elektromotoren in einem modernen Haushalt gezählt? Küchenmaschine, Kühlschrank, Rasierapparat, Plattenspieler und Tonbandgerät sind da nur eine Auswahl.

Gegenwärtig dienen Taschenrechner schon zum Ausrechnen des Haushaltsgeldes, der Zinsen und zur Kontrolle der Hausaufgaben. Es wird aber auch spezielle Rechner, die als elektronische Wörterbücher oder Notizbücher genutzt werden, geben. Dazu kommen sprechende Rechner als Sprachtrainer. Auch der Schachcomputer und die Telespiele sind mit Rechnern ausgestattet. Die vollautomatische Kleinbildkamera enthält einen Rech-

ner (s. S. 77), und das Auto wird künftig einen Bordcomputer haben. Elektronische Uhren, die Waschmaschine und der Grill werden mit kleinen Rechnern arbeiten. Digitalthermometer, die sofort die Körpertemperatur als Zahlenwert anzeigen, gibt es schon.

Werden wir da nicht eines Tages als Computergeschädigte herumlaufen, so wie es heute schon hörgeschädigte Jugendliche gibt, die über Gebühr dem Diskolärm frönen? Paracelsus (1493-1541) hat dazu sinngemäß einmal gesagt: Alles Ding ist Gift und kein Ding ohne Gift, allein die Dosis macht, ob ein Ding Gift ist. Und das gilt auch im übertragenen Sinn für den Einsatz von kleinen Rechnern, den sogenannten Mikrorechnern.

Hier sind Wissen und kritisches Urteilsvermögen vonnöten, um sich im konkreten Fall für oder gegen den Einsatz eines Mikrorechners zu entscheiden.

Mit den folgenden Beispielen wollen wir noch einmal zeigen, wie ein Taschenrechner zur Bildung und Entspannung beitragen kann. Denn wir können mit ihm komplizierte Formeln anwenden (die wir sonst vielleicht links liegenlassen würden), kritisches Überdenken rechnerischer Sachverhalte wird geübt, und schließlich gewinnen wir spielerisch einen neuen Zugang zur Mathematik (besonders für die Schule wichtig).

Für den FKK-Freund ist es vielleicht nicht uninteressant, welche Körperoberfläche er den bräunenden Sonnenstrahlen entgegenzuhalten vermag. Dazu haben die Mediziner Gleichungen aufgestellt. Eine davon ist die Boydesche Formel

$$A = 0,000.320.7 \cdot m^{(0,7285 - 0,0188 \cdot \lg m)} \cdot h^{0,3}$$

A = Oberfläche in m²

m = Masse in g

h = Körpergröße in cm

Die Berechnung von Hand ist umständlich, ein Taschenrechner mit einer y^x-Taste macht das spielend. Nach dieser Formel kann ich mit 1,86 m² aufwarten, und Sie?

Nun etwas zum kritischen Überdenken. In der Tageszeitung „Tribüne“ stand am 18. September 1980 folgende Mitteilung: „...der nur 3,5 Gramm schwere Rubinkolibri überwindet die 800 Kilometer lange Strecke über den Golf von Mexiko gar ohne Rast und erreicht dabei Geschwindigkeiten von 80 km/h. Sensationell daran ist, daß dabei im Durchschnitt die Energie von 1 Gramm Fett verbraucht wird.“ So sensationell ist das gar nicht, wenn wir den Taschenrechner zur Hand nehmen und einen kritischen Vergleich zwischen Rubinkolibri und Auto starten. Es gilt:

1 g Fett \approx 40 kJ und 1 l Vergaserkraftstoff \approx 37 453 kJ.

	Rubinkolibri	Auto
Strecke	800 km	800 km
Geschwindigkeit	80 km/h	80 km/h
Masse	3,5 g	1 000 000 g
Energiebedarf	1 g Fett	64 l Vergaserkraftstoff
	\approx 40 kJ	\approx 2 396 992 kJ
Energie-Masse-Faktor	$\frac{40 \text{ kJ}}{3,5 \text{ g}} = 11,4 \text{ kJ/g}$	$\frac{2 396 992 \text{ kJ}}{1 000 000 \text{ g}} = 2,4 \text{ kJ/g}$

In Wirklichkeit ist das Auto „sensationell“, denn für den Transport von 1 g benötigt es nur 2,4 kJ, während der Rubinkolibri 11,4 kJ braucht.

Wer sich die Freude am Lottospiel bewahren möchte, sollte die folgenden Zeilen überlesen. Für die anderen wollen wir über ein Programm für einen programmierbaren Taschenrechner (natürlich eignet sich auch jeder andere programmierbare Rechner) berichten, das das Tele-Lotto-Spiel 5 aus 35 simuliert (s. 3. Fähigkeit des Rechners, S. 94/95). Wir stellen uns auf den Standpunkt eines Spielers, der ein Jahr lang stets mit denselben Tipzzahlen spielt. (Der laufende Wechsel der Tipzzahlen würde übrigens die gleichen Ergebnisse liefern.) Diese Tipzzahlen und die Anzahl der Spiele, bei einem Jahr also 53, werden in den Rechner eingegeben. Das Rechenprogramm simuliert nun den Spielverlauf, indem es mit einem einprogrammierten Zufallszahlengenerator zufällige Zahlen zwischen 1 und 35 erzeugt. Diese Zufallszahlen werden im Programm mit den Tipzzahlen verglichen und die Anzahl der Richtigen in jedem „Spiel“ gespeichert. Wir haben den Rechner „viele Jahre“ durchspielen lassen. Für ein Spieljahr ergab sich:

- 1 Zahl richtig (kein Gewinn): 15- bis 22mal
- 2 Zahlen richtig (kein Gewinn): 4- bis 11mal
- 3 Zahlen richtig (Gewinn): 0- bis 2mal
- 4 und 5 Richtige wurden nicht erreicht.

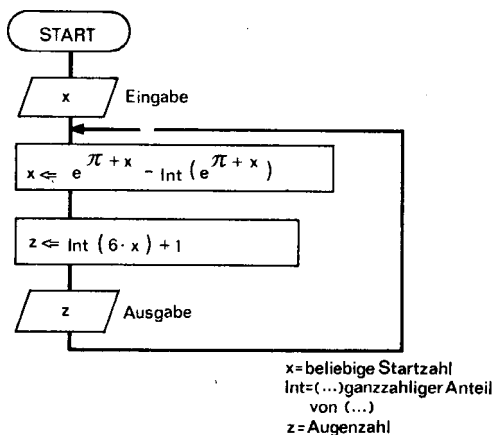
Erst bei 1000 Spielen (Einsatz von 1000 Mark) hatten wir 1 Vierer und 19 Dreier. Überrechnet man die erzielten Gewinne und die Einsätze, dann erhält man annähernd das bekannte Ergebnis bestätigt, wonach 50 Prozent des Einsatzes wieder als Gewinn ausgeschüttet werden. Sie liegen also im normalen Durchschnitt, wenn Sie in einem Spieljahr mit 53 Tips einmal 3 Richtige haben.

Nun werden einige Leser sicherlich positive und negative „Gegenbeweise“ antreten können. Und ebendarin liegt ja gerade der Reiz des Spiels. Das Spiel zieht den einen oder anderen in seinen Bann, da der Einsatz im Verhältnis zum maximalen Gewinn außer-

ordentlich klein ist. Damit ist natürlich auch die Wahrscheinlichkeit eines Gewinns sehr, sehr gering. Vielleicht finden Sie morgen, wenn Sie aus der Haustür treten, 100 Mark auf der Straße. Sie sagen, daß das sehr unwahrscheinlich sei? Eben, eben, aber es könnte ja sein, daß ...

Gleiche Überlegungen betreffen natürlich auch die anderen Spielarten. Es wäre beispielsweise auch interessant, nach den Gewinnchancen zu fragen, wenn mehr als ein Tip je Woche gespielt wird. Zum Abschluß vielleicht noch dies: Wenn wir bei 6 aus 49 bei einer Wochenziehung mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 Prozent (also halb und halb) einen Minimalgewinn nach Hause tragen wollen, müßten wir mindestens 37 Einsätze (also 37 M) wagen. Da ist es vielleicht sinnvoller, mit dem Taschenrechner selbst zu „spielen“ und damit einen neuen Zugang zur Mathematik zu finden.

Wir erwähnten vorhin, daß bei dem Tele-Lotto-Simulationsprogramm ein Zufallszahlengenerator benutzt wurde. Er berechnet gleichverteilte Zufallszahlen. Eine gute Gleichverteilung der ermittelten Zufallszahlen spricht für die Güte dieses Programms. Einen einfachen Zufallszahlengenerator wollen wir hier vorstellen. Nehmen wir an, Sie wollen „Mensch, ärgere dich nicht“ spielen, haben aber keinen Würfel, wohl aber einen Taschenrechner in greifbarer Nähe. Dann erhalten Sie nach „Durchtippen“ des Ablaufplanes von Seite 142 eine „zufällig“ ausgewählte Zahl zwischen 1 und 6. Die beliebige Anfangszahl x benötigen wir nur zum Programmstart. Für die folgenden „Würfe“ arbeiten wir stets mit dem zuletzt berechneten x weiter. Natürlich geht das herkömmliche Würfeln viel schneller. Wenn wir aber den Ablaufplan als Programm für einen programmierbaren Rechner schreiben, dann genügt jeweils nur ein Tastendruck am Rechner, um eine



neue Augenzahl zu erhalten. So haben wir übrigens auch beim Tele-Lotto-Spiel 5 aus 35 (s. S. 141) „gewürfelt“.

Apropos Rechnertasten, sie allein sind schon in der Lage, uns einen spielerischen Zugang zur Mathematik zu verschaffen.

1. Beispiel: Geben Sie eine beliebige Zahl (am besten dreistellig) in den Rechner ein und bilden Sie die Summe dieser Zahl mit deren Spiegelzahl. Setzen Sie die Vorgehensweise so lange fort, bis sich als Ergebnis eine Spiegelzahl (Palindrom) ergibt. Zum Beispiel $183 + 381 = 564$; $564 + 465 = 1029$; $1029 + 9201 = 10.230$; $10.230 + 3201 = 13.431$. Übrigens haben die Mathematiker bis heute nicht beweisen können, ob auf diese Weise immer eine Spiegelzahl erzeugt werden kann.

2. Beispiel: Das Tastenfeld der Ziffern 1 bis 9 ist bei den meisten Rechnern so angeordnet:

7	8	9
4	5	6
1	2	3

Tasten Sie in beliebigem Drehsinn die Ziffern in den Eckpunkten eines gedachten Rechtecks oder Quadrats in den Rechner ein (beispielsweise 1254, 1782, 5698). Wenn Sie anschließend durch 11 teilen, dann stellen Sie fest, daß jede dieser vierstelligen Zahlen durch 11 teilbar ist. Wie kommt das? Ganz einfach, bei all diesen Zahlen ist die alternierende Quersumme gleich Null. (Bei 1254 gilt $(1 + 5) - (2 + 4) = 0$.) Entsprechend eingetastete sechsstellige Zahlen sind dann durch 111 teilbar, achtstellige durch 1111.

Allerdings kann uns unser Taschenrechner auch aufs Glatteis führen, da seine Genauigkeit je nach Leistungsfähigkeit begrenzt ist (Stellenzahl, Rundungsautomatik).^{*} Die einfachen Typen mit achtstelliger Genauigkeit ohne Rundungsautomatik ergeben beim Eintasten von 3 ; $1/x$; $1/x$ nicht etwa wieder 3 , wie es eigentlich sein müßte, sondern $3,000.000$ 3 . Ebenso ergibt die Tastenfolge 5 ; \sqrt{x} ; x^2 nicht wieder 5 , sondern $4,999.999.6$. Das kann bis zur „Nullkatastrophe“ führen, denn $1 : 665 : 665 : 665 \cdot 665 \cdot 665 \cdot 665$ ergibt im einfachen Rechner nicht etwa 1 , sondern 0 , da dessen Leistungsbereich überschritten wurde. Das zeigt uns erneut, daß solche Maschinchen keine kritiklos hinzunehmenden Wunderwerke sind, sondern nur im Zusammenspiel mit menschlichem Geist und Verstand ihre positive Wirkung entfalten.

Die Möglichkeit, auf kleinstem Raum eine Vielzahl von Informationen unterzubringen, brachte die Hersteller von Taschenrech-

^{*} Näheres dazu in: Kreul, H., a. a. 0.

nen auf die Idee, solche kleinen Geräte zu bauen, die zwar nicht mehr rechnen, dafür aber um so mehr speichern können. Das Tasten- und Anzeigefeld wurde auf Buchstaben erweitert, und fertig war das elektronische Notizbuch. So können zum Beispiel 100 Namen, Telefonnummern und Anschriften über eine alphanumerische Tastatur eingegeben werden. Bei der Suche gibt man dann nur den Namen des Gesuchten an, und das elektronische Notizbuch liefert Telefonnummer und Adresse auf dem Anzeigefeld, das einen Umfang von 20 Zeichen hat. Das Gerät ist so groß wie ein Taschenrechner und kann natürlich auch als Terminkalender, als Streckenplaner beim Autofahren, als Rezeptsammlung oder als Einkaufszettel für den Haushalt benutzt werden.

Vom elektronischen Notizbuch zum elektronischen Wörterbuch war es nur ein kleiner Schritt. Dabei konnten die Hersteller von den Erfahrungen mit Großrechnern profitieren, die zum Beispiel im Unionszentrum für Übersetzungen in Leningrad die Arbeitsproduktivität der dort tätigen Übersetzer auf rund das Doppelte steigern.

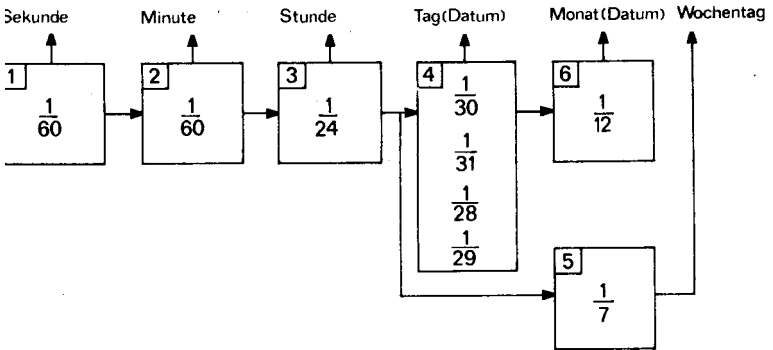
Die neuen elektronischen Wörterbücher in Taschenrechnergröße haben auswechselbare Speicherbausteine für die einzelnen Sprachen, wie Deutsch, Englisch, Französisch, Spanisch, Italienisch und Japanisch. Leistungsfähige Geräte verfügen über rund 3000 Vokabeln und 150 Redewendungen, die speziell für die Reise, den Einkauf oder den Aufenthalt im Hotel zusammengestellt wurden.

Das Anzeigefeld enthält mehr als 20 Stellen (Anschläge). Wenn diese, zum Beispiel bei Redewendungen, nicht ausreichen, dann „läuft“ der Text wie bei der Nachrichtentafel am Leipziger Hauptbahnhof hintereinander über das Anzeigefeld hinweg. Das mühselige Blättern im Wörterbuch wird durch das zügige Eingeben des gesuchten Wortes über die Tastatur ersetzt, und damit wird Zeit gespart.

Aber auch mit der optischen Anzeige der Vokabel gaben sich die Hersteller nicht zufrieden. Der nächste Schritt war die Sprechmaschine oder der Sprachtrainer, den wir schon unter „Des Rechners weiche Ware“ erwähnten. Auf diese Weise kann sich der Sprachgeschädigte seiner Umwelt in der Muttersprache oder einer Fremdsprache mitteilen. Der Fremdsprachenschüler hat damit ein Lernmittel in der Hand, das ihm die Vokabel mit richtiger Aussprache in sehr guter Sprachqualität liefert. Wegen des großen technischen Aufwandes (Näheres dazu s. S. 96) können die „Kleinen“ maximal 1000 Wörter sprechen. Aber das ist für die Umgangssprache schon ein beachtlicher Vokabelvorrat. Das Gerät kann natürlich im Reisekoffer verstaut werden. Also

dann wünschen wir Ihnen in Zukunft eine angenehme Auslandsreise mit dem sprechenden Wörterbuch, nur den kleinen Speicher mit der richtigen Fremdsprache dürfen Sie nicht vergessen,

Falls Sie eine moderne Digitaluhr mit Datums- und Tagesanzeige mit auf die Reise nehmen, so haben Sie auch einen kleinen elektronischen Speicher am Handgelenk. Das Bild auf Seite 145 zeigt die Anzeigeschaltung. Wenn der Stundenzähler (3) die Zahl 24 erreicht hat, erhalten der Datumsanzeiger (4) und der Tagesanzeiger (5) einen Impuls zum „Weiterrücken“. Ist der Tagesanzeiger siebenmal vorgerückt, dann beginnt er wieder von vorn. Im Datumsanzeiger aber muß die Anzahl der Tage für die kommenden Monate der nächsten 4, 5 oder 10 Jahre (unter Berücksichtigung der Schaltjahre) gespeichert sein. Der gespeicherte Wert der Anzahl der Tage im jeweiligen Monat wird dann



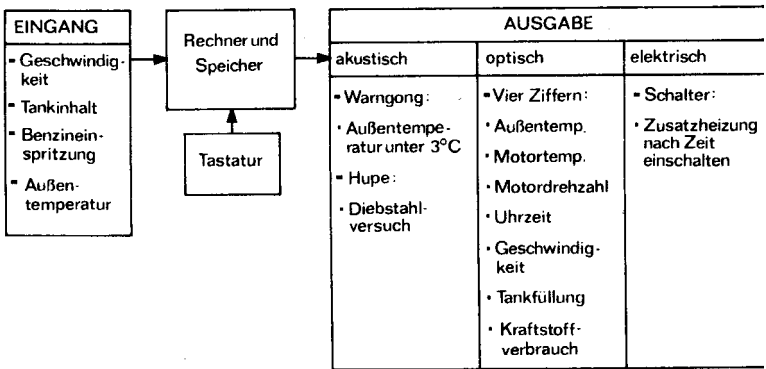
täglich mit dem aktuellen Datum verglichen, und am Monatsende wird auf den nächsten Monat umgeschaltet. Nach jedem Monat erhält der Jahreszähler (6) einen Impuls, und nach 12 Monaten wird auf das neue Jahr umgeschaltet. Dieser elektronische Kalender funktioniert also nur dann richtig, wenn die aufsummierten Daten ständig mit gespeicherten Daten (die Speicherung hat natürlich der Hersteller vorgenommen) verglichen werden. Daß es durch diese neue Technik neben dem Uhrmacher-Mechaniker auch den Uhrmacher-Elektroniker gibt, sei hier nur am Rande erwähnt. Gleiches gilt übrigens für die elektronische Kamera, die Sie eventuell mit auf Ihre Reise nehmen.

Unternehmen Sie mit dem Auto die Reise, dann ist es in Zukunft möglich, daß Sie auch hier Elektronik begleitet.

So besagen Prognosen, daß sich 1986 in vielen neuen PKWs zwei Mikroprozessoren befinden werden. Man hofft, damit unter anderem 30 bis 40 Prozent der durch die steigenden Erdöl-

preise bedingten Kostenerhöhung mit rechnergesteuerten Motoren wieder zu kompensieren. Ein Anfang ist mit dem Bordcomputer gemacht.

Sein Äußeres besteht aus einem vierstelligen Anzeigefeld, einer Kommando- und Eingabetastatur, aus Kontrolllampen und einem Warn Gong. Drei Aufgabenbereiche sind ihm zugedacht. Er soll den Kraftfahrer informieren, ihn warnen und den Komfort erhöhen. Das Bild auf Seite 146 zeigt den Aufbau einer von vielen Bordcomputervarianten. Der Rechner nimmt über Meßfühler (übrigens das Teuerste und Komplizierteste am ganzen Rechner) Informationen über die Geschwindigkeit, den Tankinhalt, die Menge des eingespritzten oder angesaugten Kraftstoffes bei den üblichen Vergasermotoren und die aktuelle Außentemperatur auf. Über das Anzeigefeld werden nach entsprechendem Tastendruck folgende Informationen ausgegeben: Uhrzeit, Außentemperatur, Motortemperatur, Drehzahl, momentane und mittlere Geschwindigkeit der letzten 10 Kilometer, Reichweite der Tankfüllung in Kilometern, momentaner und mittlerer Kraftstoffverbrauch. Gibt man vor Fahrtbeginn über die Tastatur die geplanten Fahrtkilometer an, so wird zum beliebigen Zeitpunkt die noch verbleibende Entfernung und die voraussichtliche Ankunftszeit, berechnet aus der mittleren Geschwindigkeit der letzten 10 km, angegeben. Der Leser wird aus diesen Angaben erkennen, daß man hier mit „Spielereien“ sehr schnell übertreiben kann und der Kraftfahrer mehr abgelenkt als informiert wird. Bedeutungsvoll scheint uns von den genannten Informationen nur der momentane und mittlere Kraftstoffverbrauch zu sein.



Für wesentlich halten wir weiterhin die folgenden Warnfunktionen, die optisch und akustisch kundgetan werden: Warnung

bei zu hoher Motortemperatur, bei einer Außentemperatur unter 3 Grad Celsius und bei dem Versuch der unbefugten Benutzung. Bei dieser Einrichtung kann das Fahrzeug erst gestartet werden, wenn eine vierstellige Geheimzahl vom Benutzer über die Tastatur eingegeben wurde. Nach dreimaliger Eingabe einer falschen Kennzahl wird die Zündung endgültig blockiert und die Hupe in Gang gesetzt.

Die Komforterhöhung mit dem Bordrechner besteht in der zeitlich programmierbaren Ein- und Ausschaltung einer Zusatzheizung.

Auch unabhängig vom soeben beschriebenen Bordcomputer machen elektronische Steuerungen mit Mikrorechnern im Auto von sich reden. So kann eine Motorelektronik für jede Motorumdrehung den optimalen Zündzeitpunkt und die optimale Einspritzmenge von Kraftstoff berechnen und steuern. In diese Berechnung gehen die Motor- und Lufttemperatur, die Drehzahl, die Beschleunigung, die Schadstoffemission und die momentane Belastung ein. Eine um 8 Prozent höhere Motorleistung und ein um 7 bis 10 Prozent niedrigerer Kraftstoffverbrauch sind das erfreuliche Ergebnis.

Andere Elektroniken übernehmen die bisher mechanische Steuerung der Ventile, gestatten optimale Bremsverzögerungen durch ein Antiblockiersystem und stellen Feder- und Dämpfungswerte auf die jeweilige Fahrzeugbelastung ein. Andere Systeme warnen bei zu geringem Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug. Sie arbeiten mit Infrarot-, Ultraschall- oder Radarsignalen. In die komplizierten Berechnungen gehen hier neben dem Echo-signal und der momentanen Geschwindigkeit auch der Lenkwinkel und die in Abhängigkeit vom Straßenzustand zu erwartenden Bremsverzögerungen mit ein. Der bei kritisch werdendem Abstand ausgelöste Alarm soll Auffahrunfällen vorbeugen.

Solche Systeme - viele befinden sich noch im Laborstadium — sind gegenwärtig noch sehr teuer. Für sachliche Aufwand-Nutzen-Betrachtungen fehlen noch Langzeiterfahrungen. Vieles ist deshalb Zukunftsmusik, einiges wird es bleiben oder nur speziellen Anwendungen vorbehalten sein.

Allein der praktische Nutzen wird das Kriterium für den massenhaften Einsatz des einen oder anderen mikroelektronischen Systems sein. Für eine derartige sinnvolle Entwicklung sind in der sozialistischen Gesellschaft alle Voraussetzungen gegeben, und „mikroelektronische Spielereien“ werden sich auf die Dauer nicht halten können.

Dabei wird die Entscheidung über den Einsatz von Rechnern und Robotern nicht immer einfach sein. Der Leser mag selbst

entscheiden, ob ihm zum Beispiel ein mikrorechnergesteuerter Grill mit über 60 (!) Programmen nicht die Freude am Grillen,- Braten und Backen verleidet.

Wir stehen erst am Anfang der in diesem Buch angeschnittenen Probleme. Und sicherlich hatte auch Ihr Urgroßvater mit dem, was er sagte, recht, aber leider halt vor 80 Jahren. Zum Abschluß deshalb unser Bekenntnis:

Ich glaube nicht, daß ich viel eignes Neues lehre
noch durch mein Scherflein Witz den Schatz der Weisheit mehre.
Doch denk' ich von der Müh' mit zweierlei Gewinn:
Einmal, daß ich nun selbst an Einsicht weiter bin;
sodann, daß doch dadurch an manchen Mann wird kommen
manches, wovon er sonst gar hätte nichts vernommen.
Und auch ein dritter Grund scheint wert nicht des Gelächters:
Daß, wer dies Lehrbuch liest, derweil doch liest kein

schlechters!*

Zuletzt erschienen.

nl·konkret 60

Klaus Ullrich

Paradies der Manager

Profis - Lohnarbeiter im Jersey

nl·konkret 61

Martin Robbe

**Die Stimmen in der Welt
haben das Wort**

Entwicklungsländer Bilanz und Perspektive

nl·konkret 62

Lothar Bisky

The show must go on

Unterhaltung am Konzernkabel:

Film, Rock, Fernsehen, neue Medien

*Der radfahrende Roboter
Altes und Neues vom Fahrrad
Roboter „bauen“ Fahrräder
Biographisches über Roboter
Spieler und Rechner
Die Geschichte vom Computer-Dschinni
Anatomie des Computers
Rechner und Roboter
Industrieroboter im Betrieb
Rechner im Einsatz
Rechner für den Hausgebrauch*

Verlag Neues Leben