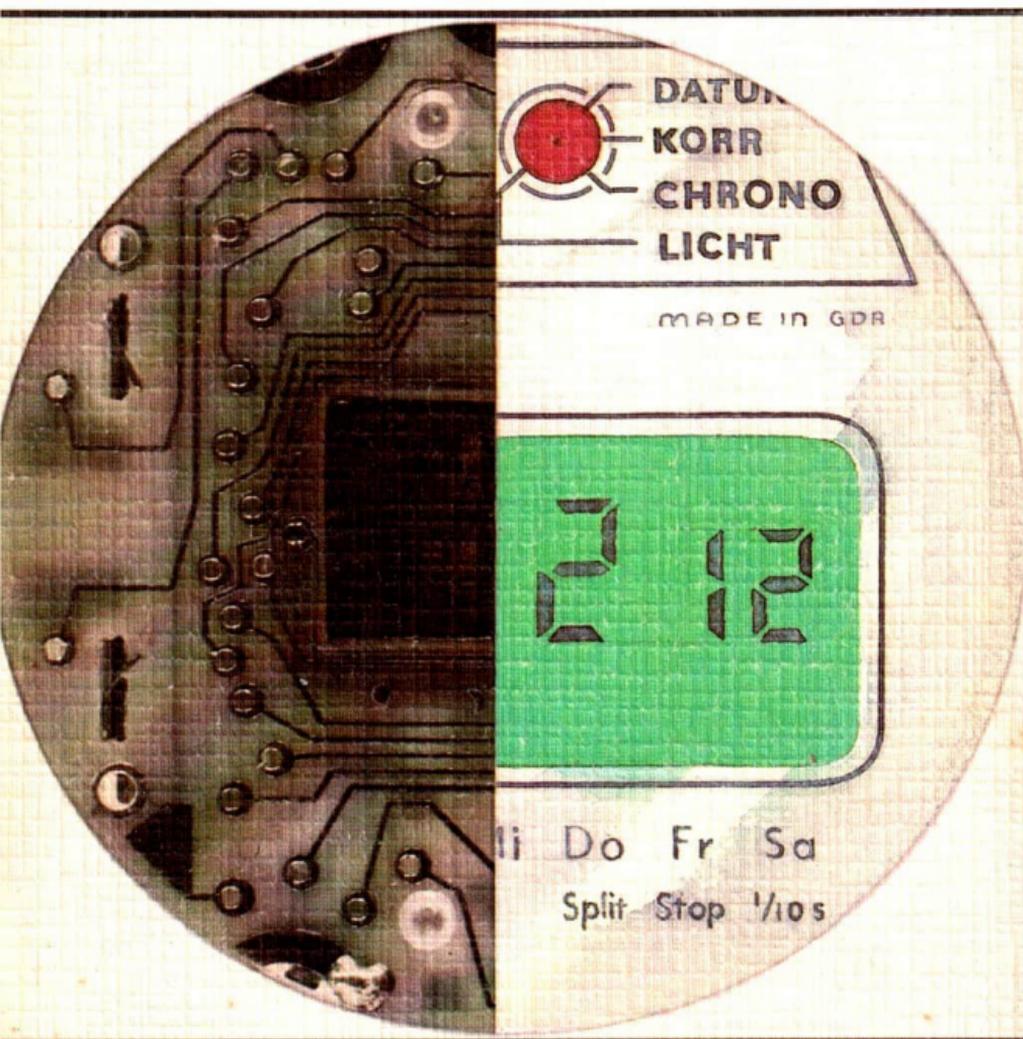


akzent

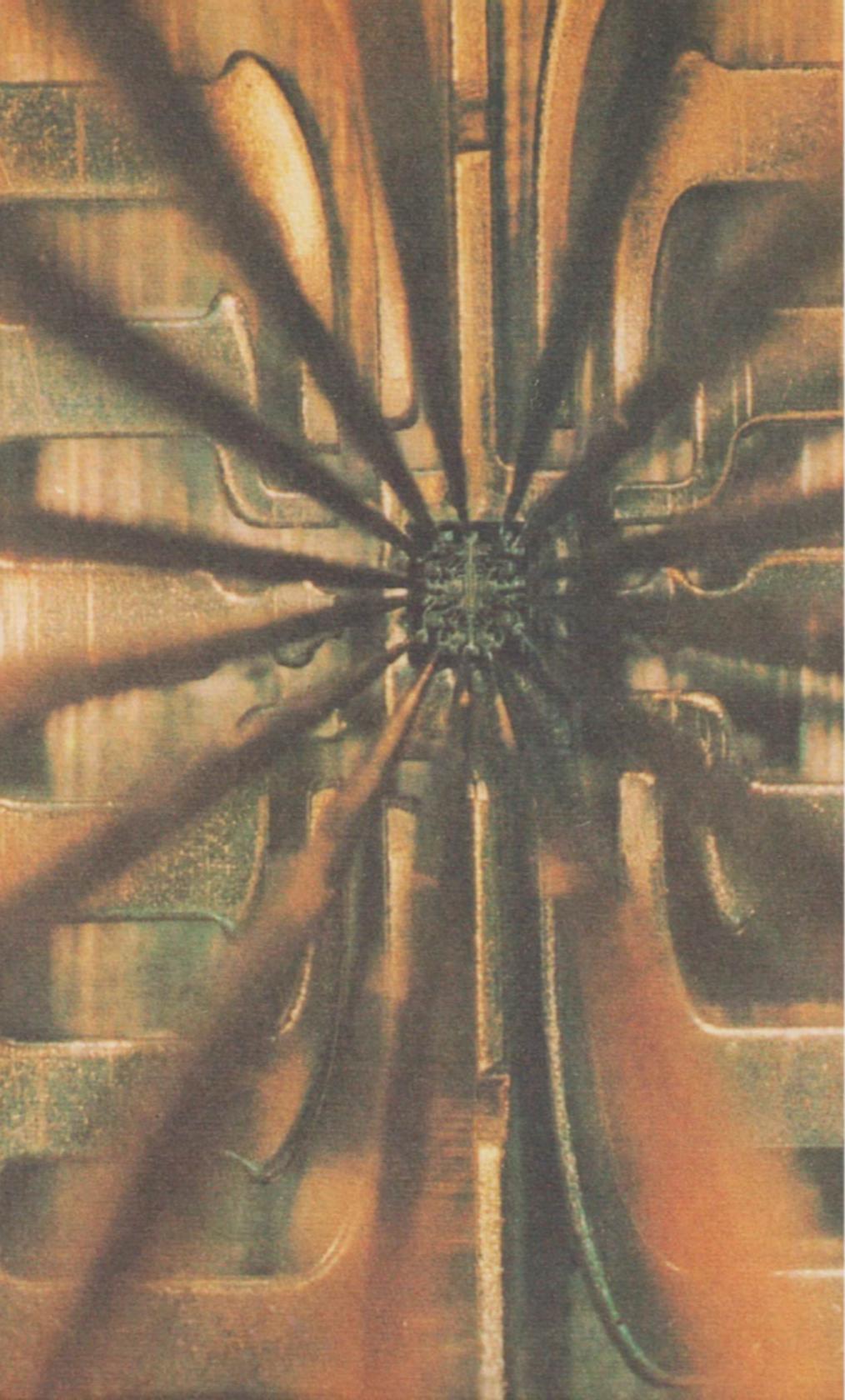
Hartmut Illini
Klaus Bernstein

Elektronik im Alltag



Elektronische Erzeugnisse spielen in allen Bereichen von Wissenschaft und Technik sowie im täglichen Leben eine immer größere Rolle. Überall begegnet man jenen faszinierenden Ergebnissen menschlichen Erfindergeistes, die den wissenschaftlich-technischen Fortschritt entscheidend mitbestimmen.

Alltagstypische Anwendungen dieser Technik stehen deshalb im Blickfeld: Geräte zur Unterhaltung und Freizeitgestaltung, Taschenrechner und Uhren, Automaten und Roboter.



Hartmut Illini/Klaus Bernstein

Elektronik im Alltag

Urania-Verlag Leipzig · Jena · Berlin

Autoren: Professor Dr. mult. Klaus Bernstein,
Karl-Marx-Stadt
Dipl.-Ing. Hartmut Illini, Halle (Saale)

Illustrationen: Gerhard Raschpichler, Leipzig

1. Auflage 1985

1.–20. Tausend. Alle Rechte vorbehalten

© Urania-Verlag Leipzig · Jena · Berlin,

Verlag für populärwissenschaftliche Literatur, Leipzig 1985

VLN 212-475/76/85. LSV 352 9

Lektor: Ewald Oetzel

Einbandreihenentwurf: Helmut Selle

Typografie: Marion Krahmer

Fotos: ADN/ZB (2); Christine Ambrosius (2, 29, 47, 62, 63, 72, 90, 93,

99, 103, 104); Gerd Meier (124); Ilona Mielke (92); VEB Meßgerätewerk

Zwönitz (115); VEB Transformatoren- und Röntgenwerk Dresden

(108); Archiv des Verlages (8, 11, 14, 26, 67); Technisches Museum

Dresden (H. Ludwig: 20, J. Güttler: 47 o., 70)

Printed in the German Democratic Republic

Reproduktion, Satz und buchbinderische Verarbeitung:

INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb Leipzig

Betrieb der ausgezeichneten Qualitätsarbeit – III/18/97

Druck: Druckhaus Karl-Marx-Stadt III/6/15

Betrieb der ausgezeichneten Qualitätsarbeit,

Träger des Ordens „Banner der Arbeit“

Best.-Nr. 653 999 2

00450

Inhalt

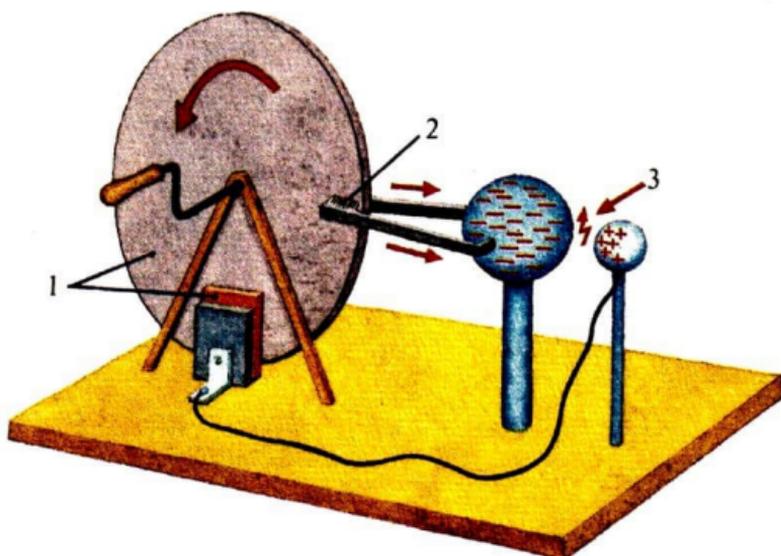
- Ein langer Weg zum Halbleiterbauelement 6
- Kleinigkeiten von großer Tragweite 19
- Für »Feinschmecker« des Klanges 44
- Fernsehtechnisches in Gegenwart und Zukunft 65
- Elektronische Spielpartner 88
- Elektronisch gesteuerte Heizenmännchen 95
- Elektronische Helfer des Arztes und des Patienten 107
- Automaten – Kopie des Menschen? 120

Ein langer Weg zum Halbleiterbauelement

Das Tor zu den grundlegenden und ganze Wirtschaftszweige umwälzenden Entdeckungen der Elektrizität wurde mit dem Beginn des 19. Jahrhunderts aufgestoßen. Exakt begann es im Jahre 1800, als der italienische Naturforscher Alessandro Volta (1745–1827) an seinem galvanischen Element zeigte, wie elektrische Spannung durch chemische Vorgänge erzeugt und gespeichert werden kann. Zwanzig Jahre danach entdeckte der dänische Physiker Hans Christian Oersted (1777–1851) das magnetische Feld des elektrischen Stromes. Erkenntnis um Erkenntnis über den elektrischen Strom und seine Erscheinungen reihten sich aneinander und wurden ihrerseits Ausgangspunkte neuer Ideen.

Blättert man in technischen Büchern, die einen historischen Rückblick über erste Nutzungsanwendungen der Elektrizität gestatten, so ist stets die Telegrafie als das herausragende erste Anwendungsbeispiel zu finden. Das hatte verschiedene Ursachen. Die technischen Voraussetzungen waren mit Voltas und Oersteds Erfindung bzw. Entdeckung geschaffen. Am Rande sei vermerkt, daß nach neueren Untersuchungen Volta vermutlich die Batterie wiederentdeckt hat. Mehrere Ausgrabungen berechtigen zu der Annahme, daß Batterien bereits im Altertum, vor etwa 2 000 Jahren, zum Vergolden von Figuren eingesetzt worden sind.

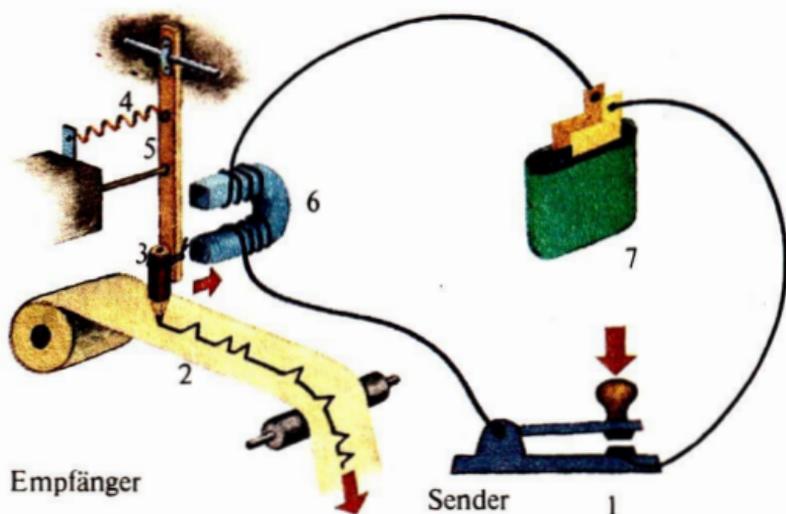
Technische Voraussetzungen sind für die praktische Anwendung einer Erfindung aber nicht allein hinreichend, ganz gleich, ob mit oder ohne Registriernummer des Patentamtes. So wäre es denkbar, daß die Batterie zuerst zur Entwicklung der Glühlampe hätte führen kön-



Elektriermaschine, mit der die Physiker der Naturkraft Elektrizität jahrhundertlang auf der Spur blieben. 1 – Reibkörper aus unterschiedlichen Materialien; 2 – Ableitungsbürsten; 3 – Funkenentladung

nen, zumal es Versuche dazu schon zu der Zeit gab, als die Wärmewirkung des elektrischen Stromes gerade erst erkannt worden war. Die Kienspäne und Öllampen durch gefahrlosere, hellere und saubere Lichtquellen zu ersetzen, kann zweifellos als dringendes und allgemeines Bedürfnis jener Zeit eingeschätzt werden. Aber die Beantwortung der Frage »Cui bono?« – »Wem nützt es?« – entschieden Geschäftsleute, Politiker und besonders Militärexperten zu ihren Gunsten. Sie unterstützten mit wachsendem Interesse den Aufbau elektrischer Telegrafienlinien. Der nordamerikanische Maler Samuel Morse (1791–1872) hatte im Jahre 1843 auf einer Versuchsstrecke nachgewiesen, wie mit noch nie dagewesener Schnelligkeit und erstaunlicher Sicherheit kodierte Nachrichten vom Absender zum Empfänger wechseln konnten.

Mit der zunehmenden Arbeitsteilung und den wachsenden Handelsbeziehungen über Ländergrenzen hinweg war die Welt für das wirtschaftliche Leben größer geworden. Eine schnelle und zuverlässige Information, z. B. über die Marktlage, wurde immer wichtiger. Besonders in den sich rasch entwickelnden kapitalistischen Industrie-



Der erste Telegraf von Morse (1835) schrieb den Buchstaben analoge Kodezeichen. Später entstand aus den Zacken und Strichen das nach Morse benannte Alphabet mit Punkten und Strichen. 1 – Morsetaste; 2 – Papierstreifen; 3 – Schreibstift; 4 – Rückzugfeder; 5 – Anschlag; 6 – Magnet; 7 – Batterie

staaten wurde immer mehr auf die politische und vor allen Dingen die militärische Bedeutung eines schnellen und sicheren Nachrichtensystems hingewiesen. Da hatte der elektrische Telegraph gegenüber den traditionellen Informationsübertragern wie Brieftaube, Postkutsche, Flügeltelegraf oder dem das Sonnenlicht reflektierenden übergroßen Spiegel bestechende Vorzüge: schnell, sicher und unabhängig von Wetter und Tageszeit.

Nach der Lösung des Problems der Isolation elektrischer Leitungen entstand sogar ein transatlantischer Telegraphendienst. Der Bau der längsten Telegrafelinie wurde 1869 beendet. Sie verband über eine Strecke von rund 18 000 km die Städte London und Calcutta. Das neue Nachrichtenmittel intensiv zu nutzen, hielt man sich allerdings vorerst zurück, denn bis 1871 war das Post- und Telegraphengeheimnis noch nicht gesetzlich garantiert.

Zu jener Zeit reiften bereits Ideen, die menschliche Sprache über Drahtleitungen blitzschnell von einem Ort zum anderen zu übertragen. Dem deutschen Techniker Philipp Reis (1834-1874) war im Jahre 1860 der erste Erfolg auf diesem Gebiet beschieden. Noch aber erkannte man nicht die Einsatzmöglichkeiten seiner Erfindung für Wirtschaft und Verkehr. Er stieß mit seiner »wissenschaftlichen Spielerei«, wie man seine Experimente bezeichnete, zunächst nur auf höfliches Interesse. Dennoch gab es schon Wissenschaftler und Techniker, die an einer drahtlosen Nachrichtenübertragung knobelten.

Einen Höhepunkt auf diesem Gebiet setzte im Jahre 1896 der russische Physiker Alexander Popow (1859-1906). Er übermittelte über eine Distanz von 250 m das erste Funktelegramm in der menschlichen Geschichte. Mit dessen Inhalt: »Heinrich Hertz«, würdigte Popow die großen Verdienste des deutschen Physikers um den Nachweis der elektromagnetischen Wellen, deren Existenz und Erzeugung erst eine Rundfunk- oder Fernsehübertragung ermöglichen.

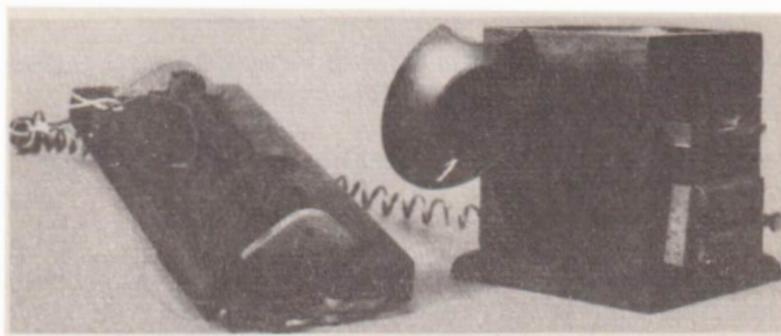
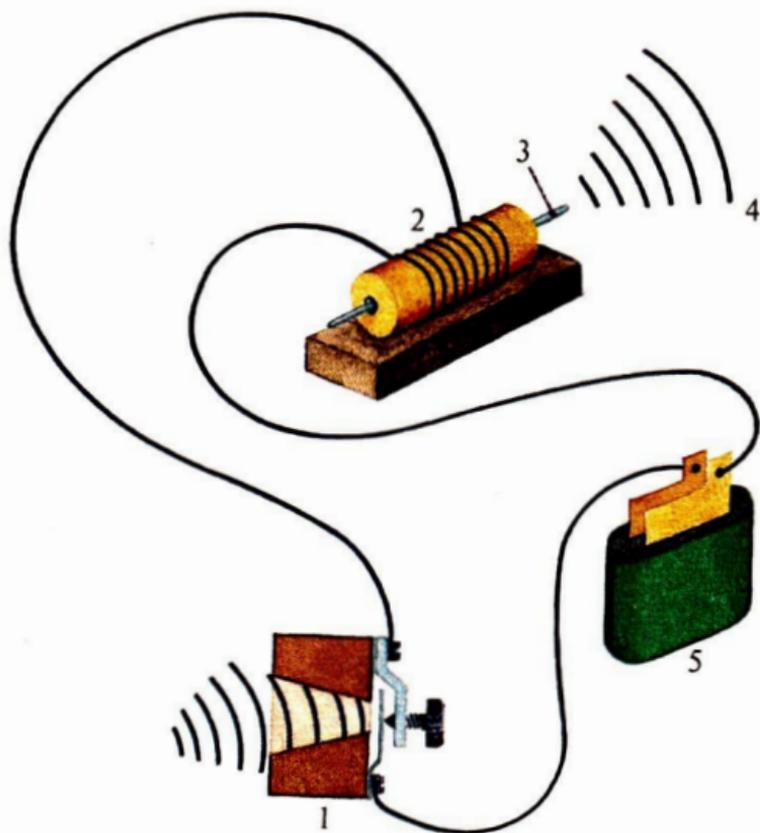
Bei allen weiteren Experimenten und Untersuchungen wurde immer offenkundiger, daß wesentliche neue Erfolge mit den bis dahin bekannten Bauelementen nicht zu erzielen waren. In der drahtgebundenen Telefonie gelang es nicht, einen physikalisch bedingten Mangel zu be-

herrschen. Das war der Leitungswiderstand, der mit zunehmender Entfernung das Telefoniesignal mehr und mehr schwächt und dadurch der Reichweite einer Telefonanlage eine natürliche Grenze aufzwingt. Vor ähnlichen Schwierigkeiten stand man bei der drahtlosen Telegrafie und Telefonie.

Mit der drahtlosen Sende- und Empfangstechnik befaßte sich auch der deutsche Physiker und Hochfrequenztechniker Karl Ferdinand Braun (1850-1918). Im Jahre 1874 veröffentlichte er eine wissenschaftliche Arbeit über die Stromleitung von Sulfidkristallen. Darin berichtete er über die Entdeckung, daß bestimmte Schwefelverbindungen beim Anlegen einer Spannung in der einen Richtung den Strom gut, in der anderen nach dem Umpolen aber sehr schlecht leiten. Der Kristall wirkt ähnlich einem Ventil, das nur in einer Richtung »durchlässig« ist. Dieser kurios anmutende Effekt fand viele Jahrzehnte keine Erklärung. Das durch die Natur geschaffene »Ventil« wurde um die Jahrhundertwende wegen seiner gleichrichtenden Wirkung als Nachweisinstrument elektromagnetischer Wellen benutzt. Für die drahtlose Empfangstechnik war das ein entscheidender Fortschritt.

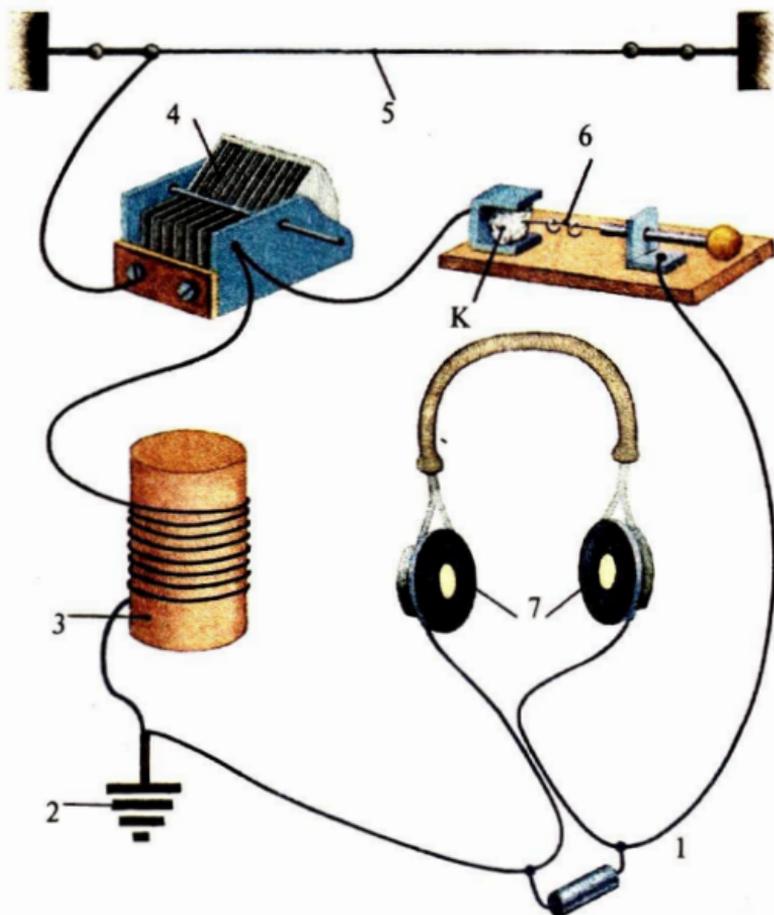
Begeisterung bei vielen Menschen erweckte in jener Zeit der sogenannte Detektorempfänger, dessen Herzstück ein linsengroßer Kristall aus solchem Sulfid oder Bleiglanz war. Mit wenigen Mitteln und ohne zusätzliche Energiequelle konnte damit aus dem vom Sender abgestrahlten Signal die Sprache oder Musik zurückgewonnen werden. Der Fachmann nennt diesen Vorgang Demodulation. Allerdings brauchte man viel Fingerspitzengefühl und Geduld, um mittels der Kontaktfeder eine für den erhofften Effekt geeignete Stelle des Kristalls zu finden. Da ein solcher Kristall kein elektrischer Leiter wie Kupfer oder Silber ist, sich aber unter damals noch ungeklärten Bedingungen wie diese Metalle verhält und folglich auch nicht als Nichtleiter bezeichnet werden kann, erhielten jene Kristalle die Bezeichnung »Halbleiter«. Der Detektor war somit das erste praktikable Halbleiterbauelement in der Geschichte der Technik.

Der Kristalldetektor beherrschte etwa zwei Jahrzehnte die Funkempfangstechnik. Danach wurde er von der



Das von Reis entwickelte Telefon mit Stricknadelempfänger hatte zwar eine sehr schlechte Wiedergabequalität, wichtige Funktionsprinzipien haben sich aber bis heute erhalten (Wandlung des Schalls in elektrische Signale und umgekehrt).

1 – Mikrophon mit auftreffenden Schallwellen; 2 – Spule; 3 – Stricknadel; 4 – übertragene Schallwellen; 5 – Batterie

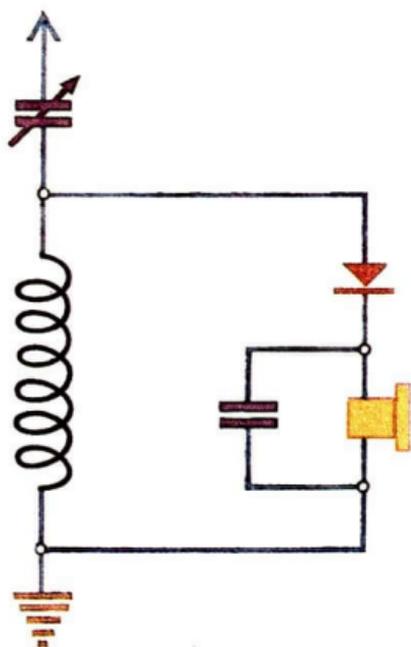


Der Detektorempfänger enthält das erste Halbleiterbauelement, einen natürlichen Kristall mit gleichrichtender Wirkung (K).

1 – Kondensator; 2 – Erdung; 3 u. 4 – Spule und Drehkondensator zur Abstimmung; 5 – Antenne; 6 – Kontaktfeder; 7 – Kopfhörer

Elektronenröhre verdrängt, die neben der gleichrichtenden auch eine verstärkende Wirkung brachte. Damit eröffnete sie weitaus vielfältigere Einsatzgebiete, als es der Detektor vermochte. Mit der Erfindung der Elektronenröhre im Jahre 1906 und ihrer Vervollkommung in der Folgezeit war endlich jenes Bauelement gefunden, das die technischen Grenzen der verschiedenen Informationsübertragungsverfahren beträchtlich erweiterte.

Die Technologie der Röhrenherstellung war damals we-



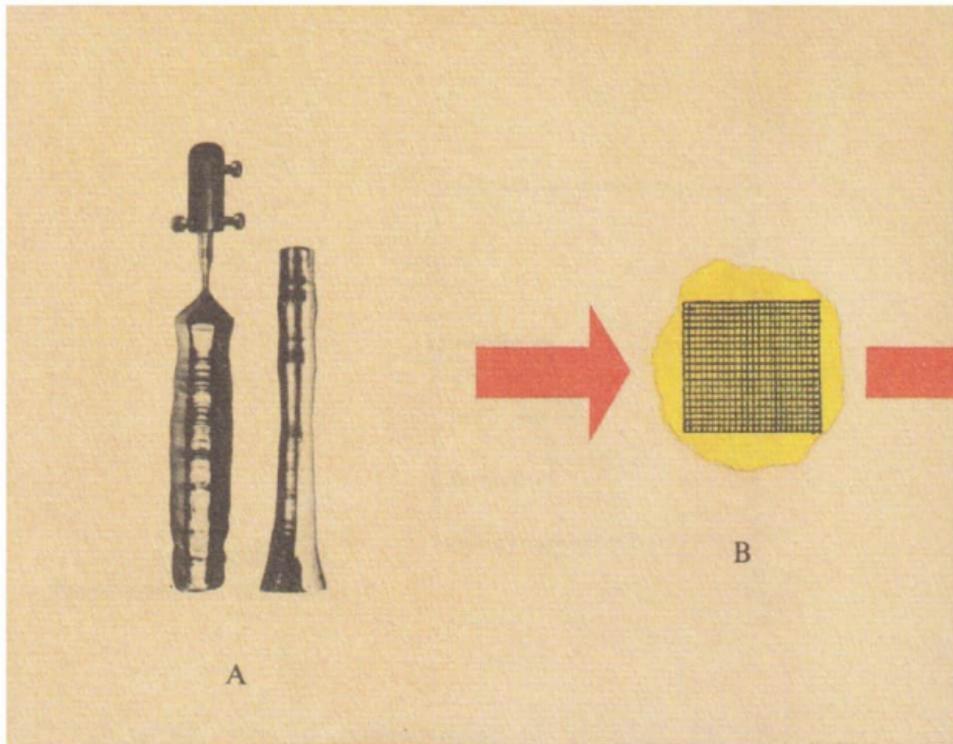
*Schaltbild
eines Detektorempfängers*

sentlich leichter zu beherrschen, als der Natur das Geheimnis des Halbleitereffektes zu entlocken. Außerdem war in jener Zeit Miniaturisierung kein zwingendes Erfordernis rationeller Material- und Energiewirtschaft.

Doch was zeichnet die Wissenschaftler aus? Gewiß auch die Tatsache, daß sie die Frage »Warum?« besonders schätzen. Ihre unermüdliche Suche nach wissenschaftlich begründeten Antworten lüftete mehr und mehr den Schleier um die Halbleiterkristalle, nachdem die theoretischen Erkenntnisse und praktischen Erfahrungen in der Atomphysik und Quantentheorie, in der Chemie, Werkstoffkunde und nicht zuletzt in der Meßtechnik erweitert worden waren.

Vorerst erfolgte jedoch der Erkenntnisgewinn noch rein empirisch, ohne eine erklärende Theorie über Brauns Sulfidkristalleffekt zu haben. Seine Entdeckung war schon in den Jahren 1926 mit dem Kupferoxydul- und 1928 mit dem Selengeleichrichter auf flächenhafte Strukturen übertragen worden.

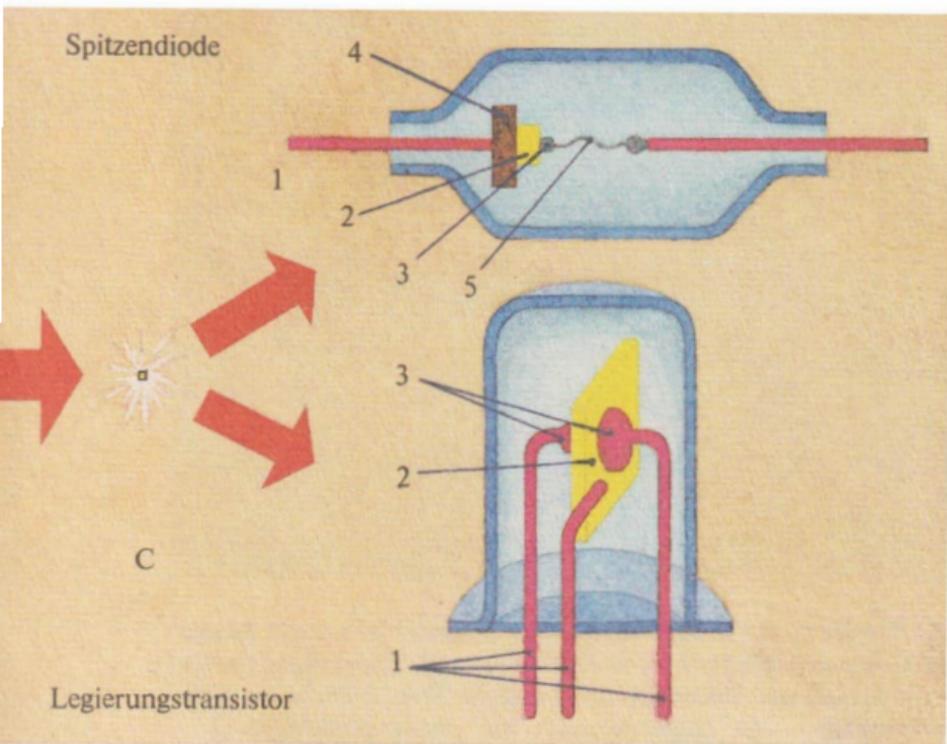
Bei den Halbleitern kommt es aber nicht vorrangig auf deren elektrischen Widerstand an. Die für die heutigen



Der gezüchtete Einkristall (A) wird in Scheiben (B) geschnitten, die, in Chips (C) zerlegt, die Voraussetzung für die industrielle Herstellung von Halbleiterbauelementen und Funktionsblöcken sind. 1 - Anschlußkontakte; 2 - Chips; 3 - Indiumpille; 4 - Trägerplatte; 5 - Kontaktfeder

elektronischen bzw. mikroelektronischen Bauelemente benötigten Halbleiterscheibchen (Chips) sind ohnehin so winzig und dünn, daß die Größenordnung ihres Widerstandswertes nicht wesentlich sein kann. Entscheidend ist der besonders geartete Leitungsmechanismus der Halbleiter gegenüber den metallischen Leitern im Sinne der Festkörperphysik. Er wird durch die geringe Anzahl freier Ladungsträger bestimmt. Sie bewirken die elektrische Leitfähigkeit eines Kristalls und werden neben der Wärmeemission durch die natürlichen oder künstlichen Verunreinigungen verursacht.

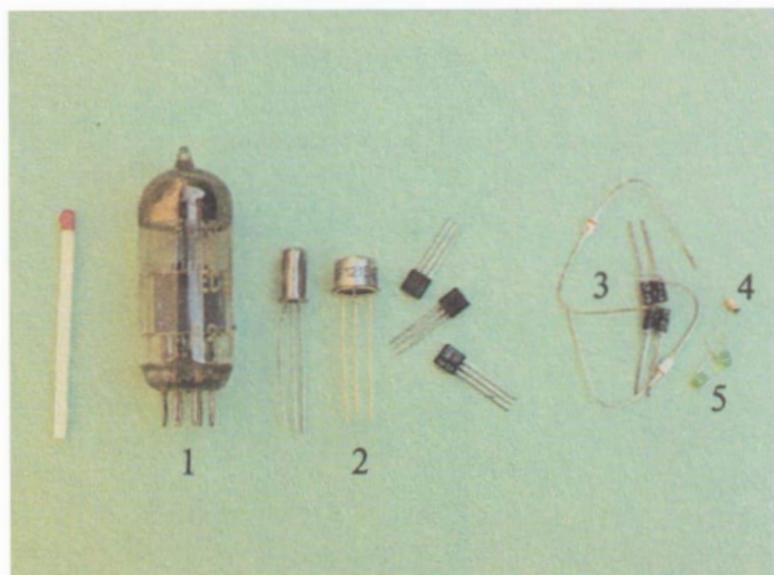
Für das Zustandekommen des Halbleitereffektes, auf dem die Funktion von Dioden und Transistoren beruht,



müssen die jeweiligen Stoffe eine extrem hohe Reinheit aufweisen. Bei Germanium beträgt diese z. B. 99,9999999%. Technisch war also abzusichern, daß sich unter 1 Milliarde Germaniumatomen nicht mehr als ein Fremdatom befindet. Wesentlich höher steht die Forderung bei Silizium, um es für eine umfassende technische Anwendung in der modernen Elektronik zu verwerten.

Selbstverständlich verläßt sich die Elektronikindustrie nicht auf Zufälle. Seit Jahrzehnten werden Halbleiterkristalle »gezüchtet«, also künstlich gewonnen. In Gestalt einer kräftigen Mohrrübe wird ein »Einkristall« hergestellt, der – idealisiert ausgedrückt – über seine gesamte Ausdehnung ein ungestörtes Kristallgitter bildet. Dabei werden derzeit Durchmesser von 50 bis 150 mm erreicht.

Für die Herstellung solcher Einkristalle gibt es verschiedene Verfahren. So kann z. B. ein Einkristall gezüchtet werden, wenn ein Kristallkeim in die Schmelze des kristallisierenden Materials getaucht und unter genau ein-



Die Wandlung der Größe ausgewählter diskreter (einzelner) Bauelemente veranschaulicht die nach 1950 einsetzende Entwicklung zur Miniaturisierung der Elektronik auf Grund der Fortschritte in der Halbleitertechnik – im Größenvergleich mit einem Streichholz. 1 – Elektronenröhre (Miniaturröhre); 2 – Transistoren verschiedener Leistung und Entwicklungsstufen; 3 – Gleichrichterdiode; 4 – infrarotes Licht emittierende Diode; 5 – Leuchtdioden

zuhaltenden physikalischen Bedingungen bei ständiger Drehung langsam und erschütterungsfrei wieder herausgezogen wird. Durch Zerschneiden des Einkristalls in Scheiben, die nur Zehntelmillimeter dick sind, erhält man das Grundsubstrat für die Chips heutiger mikroelektronischer Bauelemente. Damit der gewünschte Halbleitereffekt entsteht, wird der Kristall bereits während der Züchtung oder bei der nachfolgenden Weiterverarbeitung mit einer genau dosierten Menge von Fremdatomen »verunreinigt«, ein Vorgang, der als Dotierung bezeichnet wird. Nach dieser Technologie erlebte der Detektor im Jahre 1941 als Germanium-Spitzendiode eine Neuaufgabe, vor allem für die Radartechnik, die sich Frequenzen bediente, denen die Röhre noch nicht gewachsen war.

In den vierziger Jahren wurde schließlich das theoretische Fundament zum Verständnis des Halbleitereffektes

geschaffen. Vielerorts begannen Forschungen zur weitergehenden Nutzung des von Braun entdeckten Naturkodes. Die Versuchsreihen einer Gruppe von Physikern, Chemikern und Metallurgen unter Leitung von William Bradford Shockley führten zu einer Erfindung, die am 26. Juni 1948 in den USA patentiert wurde und eine Lawine von Fortschritten auf elektronischem Gebiet auslöste. Der Transistor war geboren worden; das Patent dafür ist gewissermaßen die Geburtsurkunde der modernen Festkörperelektronik.

Ein Jahr später wurde der erste mit Transistoren bestückte Funkempfänger vorgeführt. Drei Jahre danach war das Laboratoriumsstadium überwunden, und der Transistor wurde ein ernsthafter Konkurrent der Elektronenröhren. Der zuerst nur gleichrichtende war zum verstärkenden und steuerbaren Kristall geworden.

Geringer Energiebedarf, geringe Wärmeentwicklung, kompaktere Bauweise der transistorisierten Geräte, gleichwertige technische Parameter und bedeutend längere Lebensdauer – das sprach beim Vergleich mit der Elektronenröhre eindeutig zugunsten des Transistors. Tatsächlich wurde die Elektronenröhre nach und nach in vielen Anwendungsfällen vom Transistor verdrängt. Kein Produzent bestückt heute ein Rundfunkgerät mit Röhren. Darüber hinaus eröffnete der Transistor Einsatzgebiete, die der Röhre wegen ihrer Größe und des erforderlichen Betriebsstromes verschlossen bleiben mußten. Beispielsweise wäre es ohne die Halbleitertechnik undenkbar, den Verstärker und die Batterie einer elektronischen Hörhilfe in den Brillenrahmen eines Gehörgeschädigten einzubauen.

Im Gegensatz dazu gibt es aber auch Bereiche, in denen die Halbleitertechnik die Röhre noch nicht gänzlich verdrängen konnte. Das Gebiet großer Leistungen und hoher Frequenzen bleibt vorerst noch dominantes Einsatzgebiet der Röhren. Des weiteren gibt es Spezialröhren wie die Wanderfeldröhren und andere Röhren der Leistungselektronik (Röntgenröhre), die vorläufig noch von keinem Halbleiterbauelement gänzlich ersetzt werden können.

Der Elektronenröhre gebührt allerdings das »Ver-

dienst«, das Fundament für eine neue Technik gelegt zu haben, die weit über ihr ursprüngliches Anwendungsgebiet – die Nachrichtentechnik – hinausführte. Ihr Einsatz, z. B. zur Verstärkung der Sprechwechselströme in den Fernmeldekabeln, als Generator hochfrequenter Wechselspannungen oder als Schlüssel zum modernen Rundfunk, ließ neue Industriezweige entstehen und prägte auch manches Berufsbild.

Diese neue Technik hat unter dem Begriff »Elektronik« weltweite Bedeutung erlangt. Galt sie ursprünglich als Teilgebiet der Elektrotechnik, so hat sie sich seit Jahrzehnten – beflügelt durch die raschen Fortschritte in der Halbleitertechnik – selbständig weiterentwickelt.

Den Begriff »Elektronik« umfassend zu definieren ist nicht einfach. Es ist kaum möglich, die Elektronik gegenüber anderen Gebieten der Technik und Wissenschaft scharf abzugrenzen. Dennoch kann man formulieren, daß unter Elektronik die Physik und Technik der Bewegung und Steuerung von geladenen Teilchen in funktionsorientierten Anordnungen zu verstehen ist. Das schließt das Verhalten von Elektronen im Vakuum und in Festkörpern – also in der Elektronenröhre und im Halbleiter – ein, berücksichtigt aber auch andere Ladungsträger wie Ionen, die unter bestimmten Bedingungen ähnliche Verhaltensweisen wie die Elektronen zeigen, mit ihnen gemeinsam auftreten oder in Wechselwirkung stehen. Und weil die Elektronenröhre das erste Bauelement war, mit dessen Hilfe ein Elektronenstrom zielgerichtet gesteuert werden konnte, wird die Geburtsstunde der Elektronenröhre und die der Elektronik nicht zu Unrecht in einem Atemzug genannt.

Begünstigt und wechselseitig beeinflußt wurden diese Fortschritte durch die spezifischen Eigenschaften der Elektrizität. Hervorzuheben sind vor allem deren Wandlungsmöglichkeit in nichtelektrische Energieformen und ihre Umformung, z. B. in elektromagnetische Energie unterschiedlicher Frequenzen. Besondere Bedeutung hat natürlich auch die Geschwindigkeit, mit der elektrische Vorgänge ablaufen.

Kleinigkeiten von großer Tragweite

Zu Zeiten unserer Großeltern beschränkte sich der Einzug der Elektronik in die häusliche Umwelt ausschließlich auf das Radio. Heute erleben wir mit fernbedienbaren Fernsehempfängern, mit Quarzuhren, elektronischen Taschenrechnern, mikrorechnergesteuerten Elektroherden, elektronisch gesteuerten Waschmaschinen oder mit perfekten Musikwiedergabeanlagen einen Vorstoß der Elektronik, der die technische »Wunschwelt« eines manchen utopischen Schriftstellers vergangener Jahrzehnte in den Schatten stellt.

Wie schnell würden aber dieser heimische Glanz und unsere Freude daran verblassen, wenn nicht von Anfang an die Erhöhung der Zuverlässigkeit der elektronischen Geräte eine der Hauptaufgaben der Entwicklungsingenieure gewesen wäre! Verständlicherweise können auch das teuerste Gerät, eine ausgereifte Konstruktion nur so zuverlässig sein wie ihr schwächstes Glied.

Vor Jahrzehnten rangierten neben Röhrenausfällen die damals dominierenden Schraub- und Klemmverbindungen an der Spitze der Fehlerquellen. Mit dem Kauf solcher Geräte hatte man sozusagen ein Abonnement auf Wackelkontakte erworben. In der Folgezeit wurden die Schaltungsverbindungen verlötet. Wenn auch schon viel seltener, so gehören noch immer Defekte an elektrischen Kontakt- und Steckverbindungen infolge korrosionsanfälligen Materials wie auch die unbeständig arbeitende Mechanik in elektronischen Geräten zu den häufigsten Ausfallursachen.

Nachdem Wissenschaftler und Techniker die höheren Frequenzbereiche, den Kurz- und Ultrakurzwellenbe-

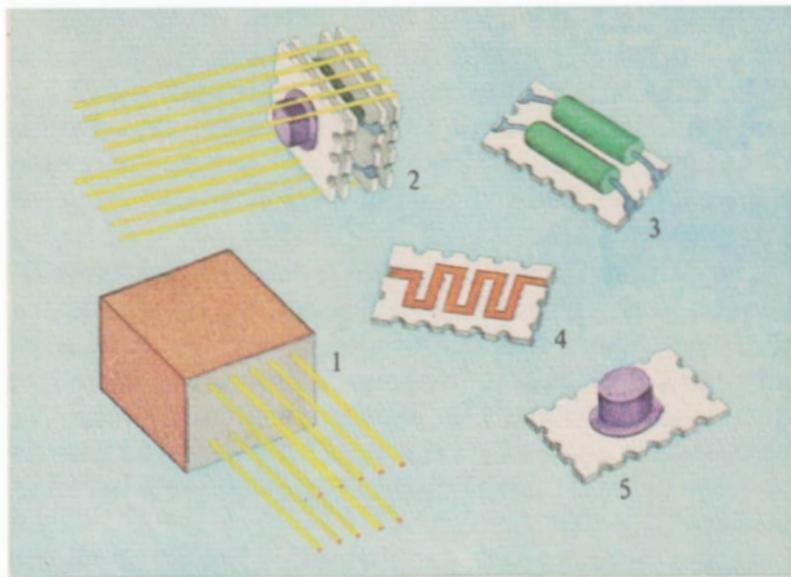


Blick auf das »Innenleben« des ersten in der DDR produzierten Fernsehempfangsgerätes »Leningrad« (vgl. Abb. auf S. 70) mit der damals für Röhrenschaltungen typischen Chassisbauweise

reich erschlossen hatten, machten sich noch andere Nachteile der ehemaligen Verdrahtungstechnik bemerkbar. Die parallele und weitläufige Verdrahtung verursachte oft unerwünschte zusätzliche kapazitive und induktive Effekte. In manchen Fällen, z. B. in der gerade aufgekommenen Rechentechnik, störte außerdem die zu lange Laufzeit der Signale.

Nicht zu übersehen ist auch der hohe Energiebedarf einer Röhrenschaltung, in der bekanntlich ein Großteil der zugeführten Energie nutzlos in Wärme umgesetzt wird – ein typisches Problem der »klassischen« Elektronik.

Daraus ergaben sich fordernde Argumente, die den Entwicklungstrend der Elektronik absteckten: kleinere und sichere Bauelemente der Elektronik mit geringerem Energiebedarf, aber gleichen oder besseren Eigenschaften, höhere Zuverlässigkeit der Schaltungen und wirtschaftlichere Fertigungsverfahren bei zunehmender Stückzahl. Diese Forderungen berührten aber gleichermaßen solche Elemente wie Transformatoren, Kondensatoren, Widerstände und das andere unerläßliche »Beiwerk« einer funktionstüchtigen Schaltung. Inzwischen



Modulbausteine verschiedener Entwicklungsstufen, mit denen Packungsdichten um zehn Bauelemente je Kubikzentimeter erreicht werden. 1 – vergossener Baustein; 2 – unvergossener Baustein; 3 – diskrete Widerstände; 4 – aufgedruckter Widerstand; 5 – Transistor

wurden auch diese den Erfordernissen der Miniaturisierung angepaßt. Übertrager, die kleiner als eine Haselnuß sind, beweisen das. Widerstände und Kondensatoren sind in der integrierten Schaltungstechnik der Mikroelektronik mit bloßem Auge nicht mehr erkennbar. Gleichzeitig erzielte man ein wirtschaftlich bedeutsames Ergebnis: Wertvolle Rohstoffe wurden eingespart.

Außerdem war bei der im Laufe der Zeit hervorgebrachten Typenvielzahl elektronischer Geräte und Anlagen auffallend, daß bestimmte elektronische Bauelementekombinationen in den verschiedensten Anwendungsfällen immer wieder und gleichzeitig vorkamen. Oft ähnelten z. B. Verstärkerstufen, Oszillatoren oder logische Grundschaltungen trotz unterschiedlicher Aufgabenstellung einander wie ein Ei dem anderen. Insbesondere durch den enormen Anstieg des Bedarfes an Schaltungen zur digitalen Signalverarbeitung in der Steuer-, Meß-, Regel- und Datenverarbeitungstechnik lag es nahe, solche oft wiederkehrenden Elementarschaltungen als kompak-

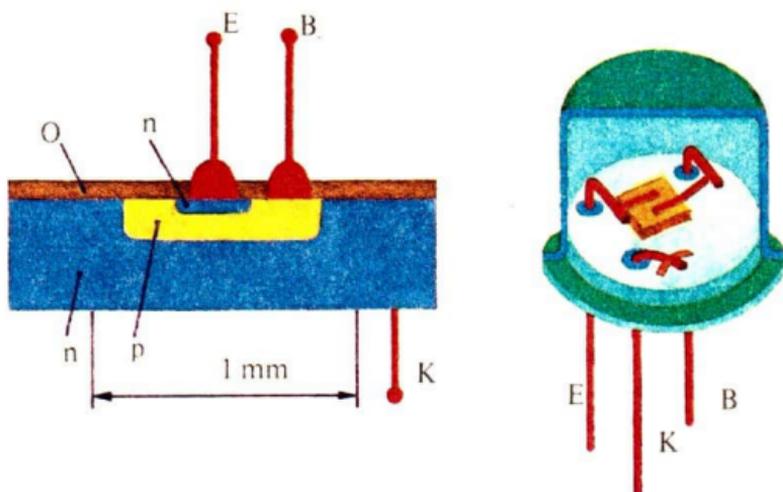
ten Schaltkreis industriell herzustellen, so daß mehrere Bauelemente gleichzeitig auf einem Stück Halbleitermaterial integriert und funktionell vereinigt sind. Durch Zusammenschaltung dieser Schaltkreise nach dem Baukastenprinzip und durch Ergänzung mit weiteren diskreten Bauelementen lassen sich dann Geräte unterschiedlicher Funktion aufbauen.

Die Miniaturisierung der Elektronik, bei der jene Gedanken ihren ersten Niederschlag fanden, begann in den fünfziger Jahren mit der Modultechnik. Dabei wurden allerdings noch diskrete einzelne Bauelemente verwendet und dreidimensional miteinander verbunden. Hohe Zuverlässigkeit und große Packungsdichte der Bauelemente konnten aber erst mit Hilfe der Mikroelektronik realisiert werden.

Dieses neue Kapitel der Elektronik wurde durch die Forderungen der Luft- und Raumfahrt sowie der Rechenelektronik nach zuverlässigen Funktionseinheiten mit geringer Masse und kleinem Volumen aufgeschlagen. Eine extreme Verringerung der Gerätegrößen spielte bei den übrigen Anwendern elektronischer Schaltungen außer in speziellen Fällen eine untergeordnete Rolle. Das Fernsehgerät kann eben nicht kleiner werden als sein derzeit noch größtes Bauelement, die Fernsehbildröhre.

Die technische Voraussetzung für die erfolgreiche Miniaturisierung der Elektronik wurde im Jahre 1958 mit der Entwicklung der Silizium-Planartechnologie geschaffen. Dabei können die verschiedenen, mikrometerdünnen und eigenschaftsbestimmenden Zonen in ebenen (planaren) Schichten übereinander angeordnet werden. Dieses Prinzip wurde Grundlage vieler weiterer Entwicklungen. Seit Mitte der sechziger Jahre werden industriell Techniken genutzt, die generell die flächenhafte Herstellung von elektronischen Bauelementen gestatten. Damit konnte nunmehr auch technologisch die gleichzeitige Integration mehrerer Bauelemente in einem Stück Halbleitermaterial realisiert werden.

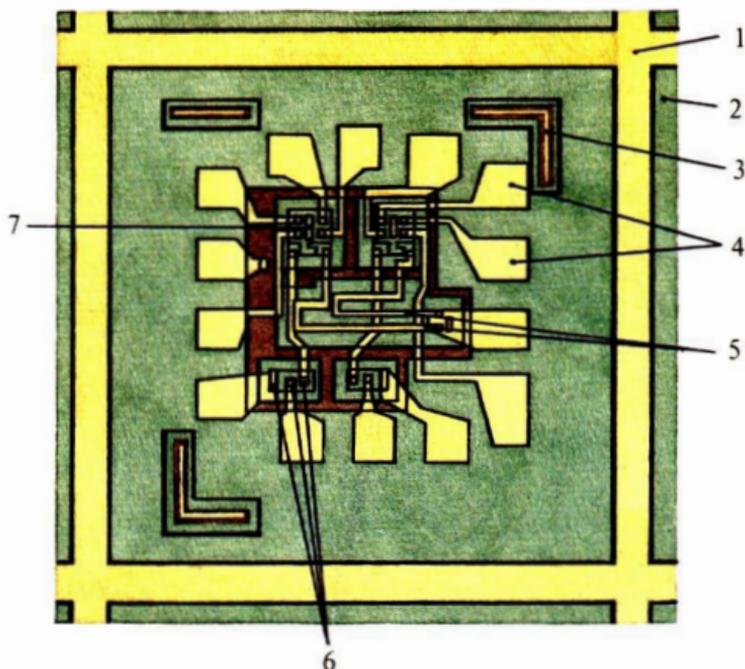
Bei der Fertigung integrierter Schaltungen kommen zwei grundlegende Technologien zur Anwendung. Einerseits ist das die Halbleiterblocktechnik. Ausgangsmaterial sind hauchdünne Halbleiterscheiben aus Silizium-Einkri-



Silizium-Planartransistor, bei dem erstmals die eigenschaftsbestimmenden Zonen im Halbleitermaterial als ebene (planare) Schichten übereinander angeordnet werden konnten; weitgehend automatisiert für viele hundert Transistoren gleichzeitig – ein Verfahren, das Prinzip zahlreicher Weiterentwicklungen zur Herstellung integrierter Schaltkreise wurde. n – Siliziumsubstrat mit Elektronenüberschuszonen; p – eindiffundierte Zone mit Elektronenmangel; E – Emitter; B – Basis; K – Kollektor; O – das Substrat schützende Oxidschicht (SiO_2)

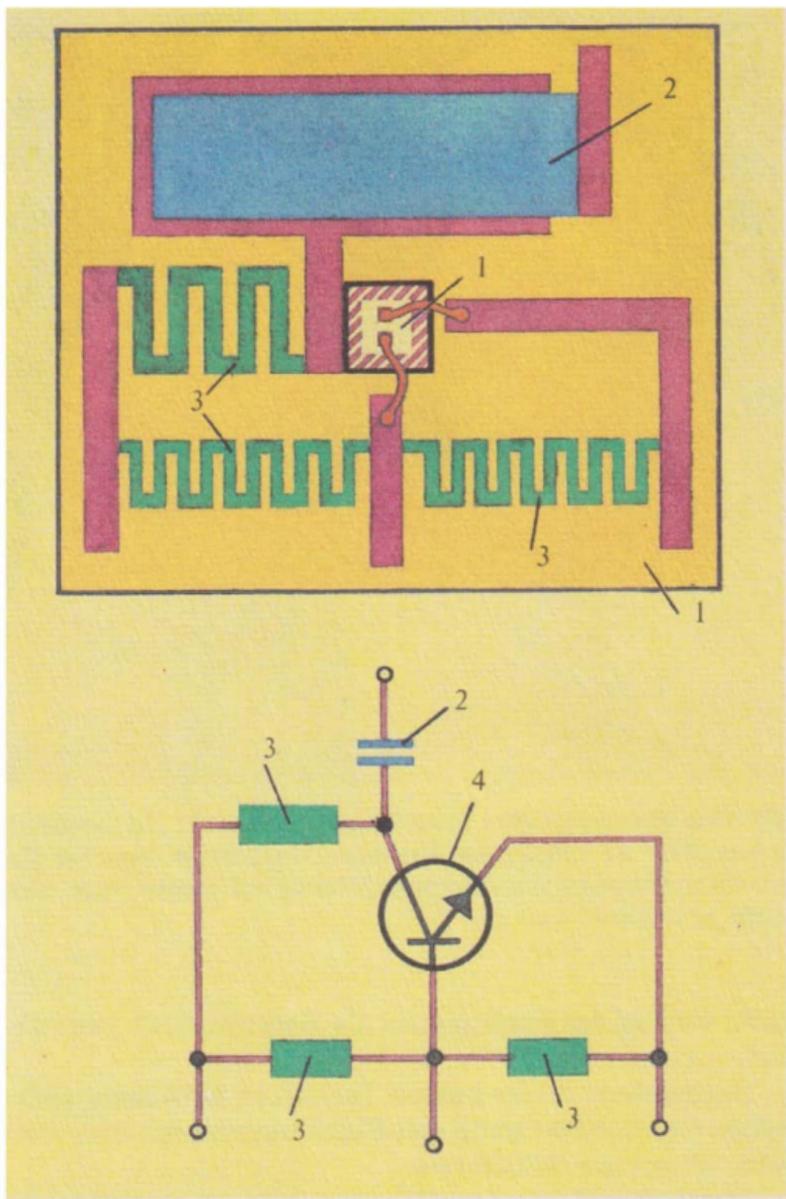
stellen, wobei die gewünschten Eigenschaftsveränderungen an genau definierten Stellen auf fototechnischem Wege und durch Diffusion sowie Ätzprozesse erzielt werden. Das Ergebnis wird auch als integrierter Festkörperschaltkreis bezeichnet.

Das etwa ab 1956 als Halbleitermaterial bevorzugte Silizium besitzt gegenüber dem Germanium unter anderem den wesentlichen Vorzug, daß es unter Einfluß von Sauerstoff eine das Substrat schützende Oxidschicht bildet. Aus einer Siliziumscheibe von etwa 80 mm Durchmesser können je nach Zielstellung und Prozeßschritten ungefähr 1 000 Chips (Scheibchen) als diskrete (einzelne) Transistoren oder als ebenso viele Schaltkreise kleineren Integrationsgrades gleichzeitig hergestellt werden. Die Schutzschicht aus Quarz gestattet zudem eine billige Kunststoffverkapselung.

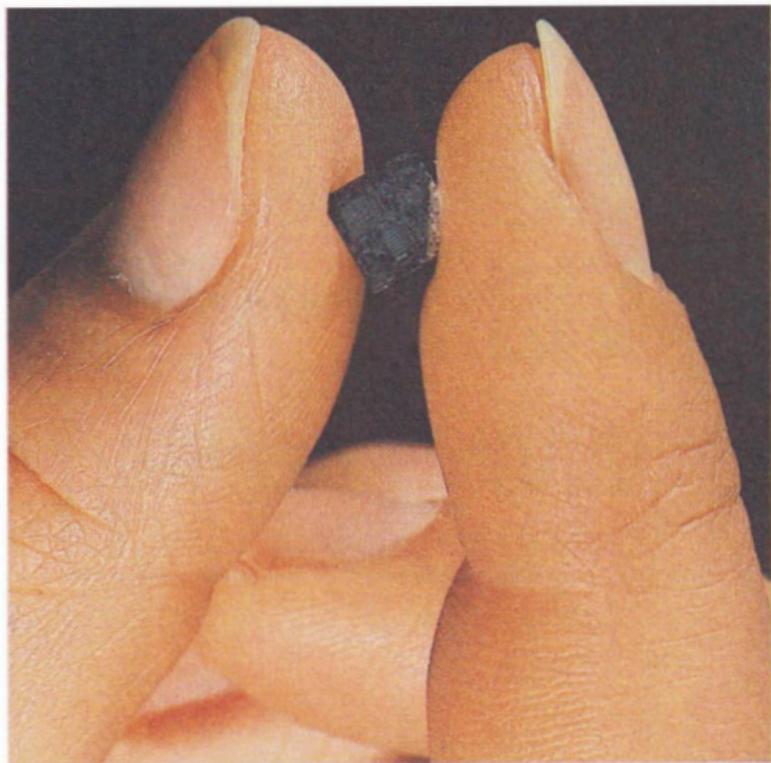


Mikroskopisch vergrößerte Darstellung eines niedrig integrierten Schaltkreises nach der Halbleiterblocktechnik. 1 – Ritzkanten zum Auseinanderbrechen der Siliziumscheibe in die Schaltkreischips; 2 – Randstücke der benachbarten Chips auf der Siliziumscheibe; 3 – Markierungen zur Lageorientierung; 4 – Kontaktflächen zur Verbindung der inneren Schaltung mit äußeren Anschlüssen; 5 – eindiffundierter Widerstand, von ebenfalls eindiffundierten isolierenden Zonen umgeben; 6 – von rechts nach links: Basis-, Emitter- und Kollektorkontakte eines integrierten Transistors; 7 – Transistor mit mehreren Emittlern

Dagegen dient bei der Schichttechnik, dem zweiten wesentlichen Herstellungsverfahren, ein isolierendes Glas- oder Keramikplättchen als Baumaterial, auf das leitende, halbleitende und dielektrische Schichten zur Herstellung vor allem von Widerständen, Kondensatoren sowie Leiterzügen und -verbindungen z. B. eingeätzt oder als dünne Filmschichten aufgedampft werden. Transistoren, Dioden wie auch die nach der Halbleiterblocktechnik hergestellten Festkörperschaltkreise lassen sich nachträglich integrieren. Diese kombinierte Verfahrensweise, die die Verwandtschaft mit der Modulbauweise erkennen



Beispiel für die Kombination von Halbleiterblocktechnik und Schichttechnik als Hybridtechnik mit dazugehörigem realisiertem Schaltbild. 1 – Trägerplättchen der Schaltung aus Glas, Keramik oder synthetischem Saphir; 2 – Kondensator (realisiert mit: Metallschicht – Isolierschicht als Dielektrikum – Metalldeckschicht); 3 – Widerstandsschichten mit verschiedenem spezifischem Widerstand in Mäanderform; 4 – nachträglich eingefügter Transistor-Halbleiterchip



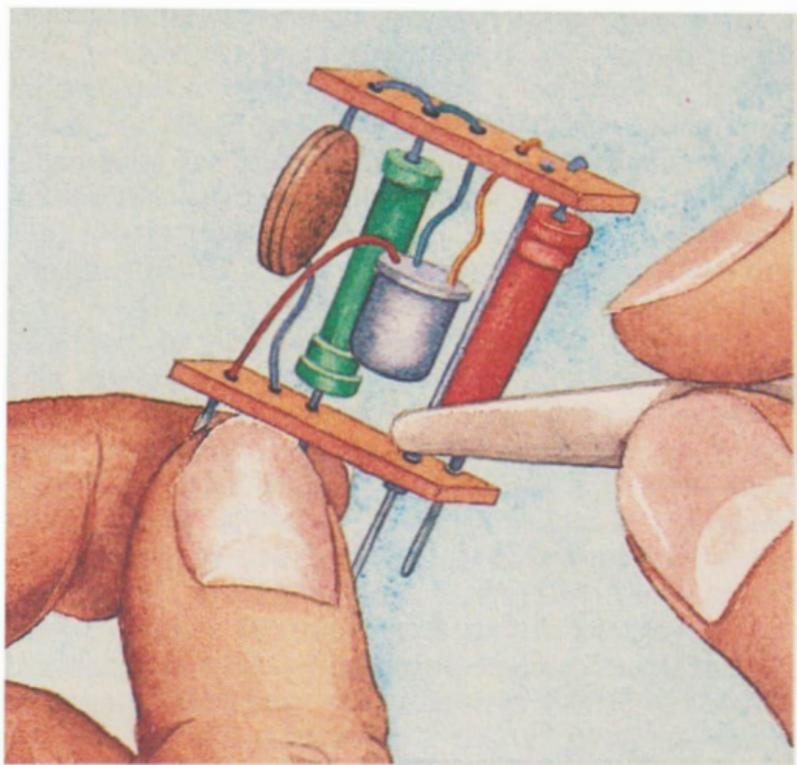
Der Chip eines integrierten Schaltkreises, bei dem die auf fototechnischem Wege zu mikrofeinen Strukturen verkleinerten logischen Zusammenschaltungen von Funktionseinheiten mit bloßem Auge nicht mehr zu erkennen sind

läßt, wird in der Fachsprache als Hybridtechnik bezeichnet.

Im Ergebnis dieser beiden Techniken entstehen, abgesehen von der Fertigung von Einzeltransistoren und -dioden, integrierte Schaltkreise.

Durch das Elektronenmikroskop betrachtet, bieten die Chips selbst für den technisch interessierten Zeitgenossen ein Labyrinth geheimnisvoller Strukturen. Die mikroskopisch feinen Bauelementestrukturen und Schichtdicken im Mikrometerbereich haben dieser Technik den Namen gegeben: Mikroelektronik.

Beispielsweise sind in dem ersten im VEB Funkwerk Erfurt hergestellten Mikroprozessor U 808 über 30 000



Montage eines Modulbausteins älteren Typs

Bauelementefunktionen vereinigt – und das auf einem Chip, der nicht größer als eine Fingerkuppe ist. Wollte man die Funktionen dieses als Herzstück eines Mikrorechners entwickelten Schaltkreises mit diskreten Bauelementen verwirklichen, so wäre ein Kleiderschrank nötig, um die erforderlichen 400 Leiterplatten, 11 000 Transistoren und vielen tausend Dioden, Widerstände und Kondensatoren mit insgesamt 100 kg Masse zu fassen. Es läßt sich sicherlich ahnen, welch hohe Präzisionsarbeit im technologischen Prozeß hochintegrierter Schaltkreise Mensch und Maschine abverlangt wird.

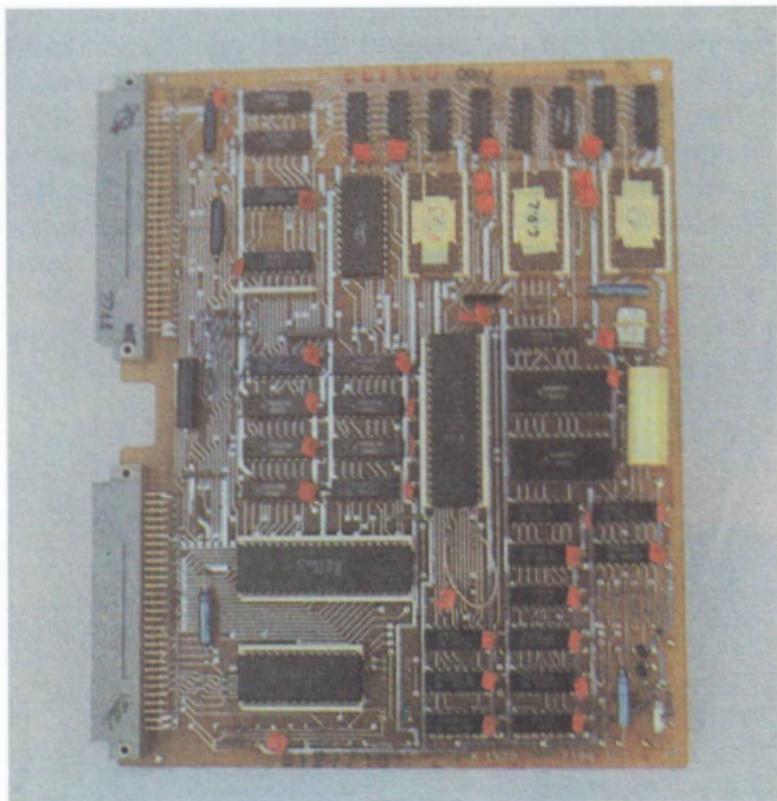
Ein gewöhnliches Menschenhaar ist etwa 0,06 mm dick. »Haargenaues« Arbeiten wäre in der Mikroelektronik folglich rund 150mal zu ungenau. Da wirkt ein Staubkorn auf einem Schaltkreis-Chip genauso verheerend wie ein scharf getretener Fußball auf einer Fensterscheibe.

Mehr als 30 Jahre sind seit Beginn der Halbleitertechnik vergangen. Im Ergebnis dieser relativ kurzen Zeitspanne verfügen wir – im Vergleich mit der »klassischen Elektronik« – über elektronische Baugruppen, deren Abmessungen, Masse und Engiebedarf um das 10 000fache verringert werden konnten und denen man eine fast unbegrenzte Lebensdauer voraussagt. Massenproduktion und wirtschaftliche Fertigungsverfahren haben auch den Bastlern diese Schaltkreise zugänglich gemacht.

Prinzipiell für jeden Anwendungsfall können integrierte Schaltkreise hergestellt werden. Allerdings sind Schaltungsentwurf und Musterfertigung so aufwendig, daß – abgesehen von den speziellen Forderungen in der Raumfahrt und Militärtechnik – die Produktion eines konkreten Schaltkreistyps erst ab 20 000 Stück ökonomisch vertretbar wird. Unter 50 Stück ist dagegen die Bauweise mit diskreten Bauelementen auf Leiterplatten wieder wirtschaftlicher. Eine rationelle Fertigung integrierter Schaltungen bedingt folglich, daß ein Schaltkreis entweder vielseitig einsetzbar sein muß (z. B. integrierter Operationsverstärker zur Verarbeitung analoger Signale) oder bei nur wenigen Anwendungsmöglichkeiten in großer Anzahl benötigt wird (z. B. integrierter Schaltkreis für Digitaluhren).

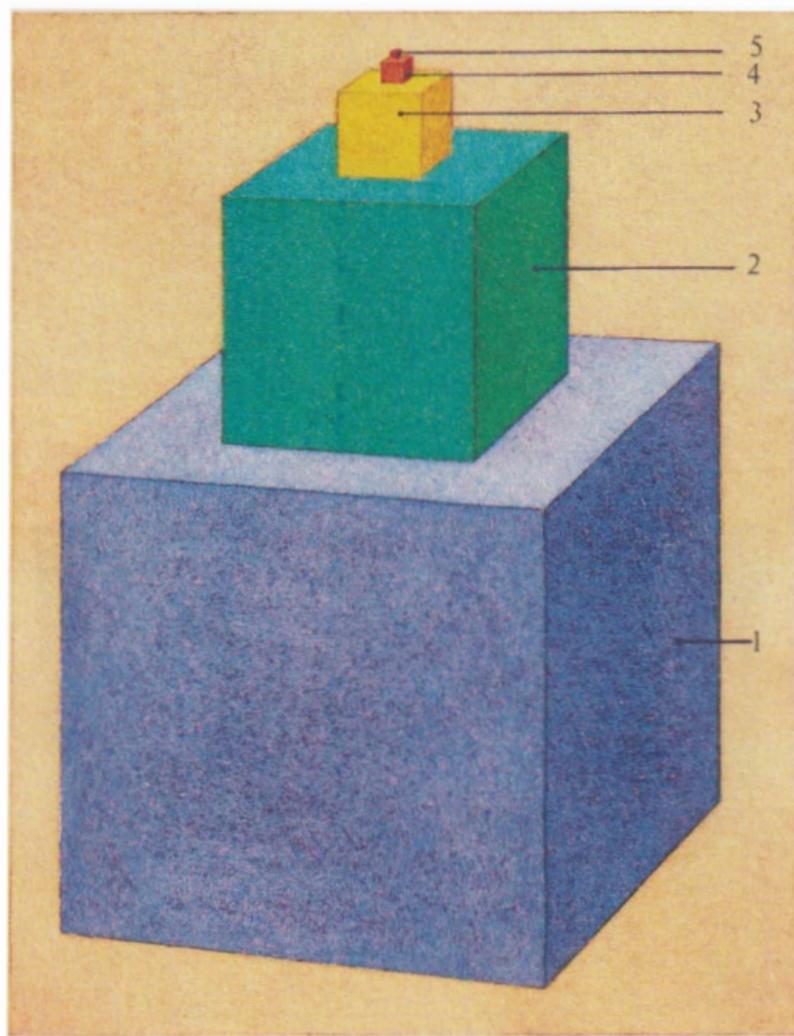
Von den beiden verschiedenen Schaltkreisarten – analogem und digitalem Schaltkreis – haben die digitalen Schaltkreise derzeit und gewiß auch in der Zukunft die weitaus größere Bedeutung. Während in der analogen Schaltkreistechnik die Signalparameter (z. B. Spannung oder Stromstärke) jeden beliebigen Wert zwischen zwei Grenzen annehmen können, kommen in der digitalen Schaltkreistechnik nur die zweiwertigen (digitalen) Signale »0« und »1« vor. Diese digitalkodierte Form von Signalen macht eine einfache, sichere und genaue Verar-

Bestückte Leiterplatte des vielseitigen „Mikrocomputers 80« (Gerät zur Steuerung der Labor- und Prozeßautomatisierung, zum Prüfen und zur Fehlersuche an mikroprozessorgesteuerten Geräten, zur Programmierung von Mikrorechnern) mit integrierten Digitalschaltkreisen unterschiedlichen Integrationsgrades als Steckereinheit



beitung der Information möglich; denn in elektrischen Stromkreisen können die zwei Zustände: »Strom fließt« und »Strom fließt nicht«, leicht unterschieden werden.

Die vielfältigen Anwendungsfälle in Steuerungsanlagen und in der Rechentechnik erhöhen in wachsendem Maße den Bedarf digitaler Schaltkreise. Auch solche Projekte wie die Digitalisierung in Rundfunk und Fernsehen oder bei der Speichertechnik im Heim beginnen bereits Gestalt anzunehmen, da sie eine höhere Störsicherheit, hohen Bedienungskomfort sowie eine bessere Nutzung der hochwertigen Technik gewährleisten. Videotext als



Zusatzinformation im Fernsehkanal oder die berührungslos abtastbare Bildspeicherplatte sind nur zwei Beispiele dafür.

Was diese Technik schließlich zu leisten vermag, wird vordergründig durch die digitalen Schaltkreise bestimmt, mit denen die entsprechenden Geräte bestückt sind, durch den Umfang der Schaltung auf den winzigen Siliziumplättchen. Ein wissenschaftlicher Taschenrechner benötigt verständlicherweise eine viel größere Anzahl elektronischer Bauelemente als ein Taschenrechner, der lediglich die vier Grundrechenarten beherrscht. Programmierbare Taschenrechner stellen weit höhere Ansprüche. Je mehr Funktionseinheiten also in einem Schaltkreis funktionell vereinigt – zusammengepackt, *integriert* – sind, desto mehr läßt sich damit anfangen. Besonders bei den Speicherschaltkreisen in der Rechentechnik, aber auch bei der Lösung von Automatisierungsaufgaben ist es von großem Interesse, diese Packungsdichte von Bauelementen, diesen *Integrationsgrad*, möglichst hoch zu entwickeln.

Vor der breiten Einführung der Mikroelektronik mußten elektronische Speicherelemente mit Röhrenschaltungen aufgebaut werden. Eine derartige aus zwei Röhrensystemen bestehende Schaltung – zigaretenschachtelgroß – konnte jedoch nur einen einzigen Speicherplatz realisieren und nur »0« oder »1« speichern, um diese Information zu einem gewünschten Zeitpunkt wieder zur Verfügung zu stellen. Speicherbausteine der Mikroelektronik vereinigen in einem Volumen von etwa zwei Markstücken mehrere hunderttausend Speicherplätze, die zudem nur einen winzigen Bruchteil der Elektroenergie von Röhrenschaltungen benötigen.

Die vergleichende Darstellung verschiedener Herstellungstechnologien einer gegebenen Schaltung veranschaulicht, wie stark sich in den letzten 35 Jahren die Packungsdichte der elektronischen Bauelemente verändert hat. 1 – konventionelle Verdrahtung (Anfänge der Leiterplattentechnik); 2 – Modulbauweise (mit Röhren); 3 – Modulbauweise (mit Halbleitern); 4 – Dünnfilmschaltung (Schichttechnik); 5 – Festkörperschaltung (Halbleiterblocktechnik)

Generation (Beginn)	typische Beispiele	Komplexität (internationale Abkürzung)	Bauelemente- dichte je cm ³	Anzahl der Funktions- einheiten ¹
1. (etwa 1910)	<i>Vakuumröhre:</i> Elektronenröhre mit mehreren Gittern, Ka- todenstrahlröhre	<i>Einzelement</i> – Chassis –	$10^{-4} \dots 10^{-3}$	
2. (etwa 1948)	<i>diskrete Festkörper- bauelemente:</i> Diode, Transistor, Thy- ristor	<i>Einzelement</i> – Leiterplatte –	$10^{-2} \dots 10^0$	10^0
3. (etwa 1953)	<i>integrierte Schaltung:</i> Gatter, Speicherzelle, Operationsverstärker	<i>Baustein</i> Kleinintegration (SSI)		$10^1 \dots 10^2$

4. (etwa 1963)	<i>integrierte Schaltung:</i> Zähler, Speicher, Addierer, Taschenrechnerschaltkreis, Stereodecoder	<i>Baugruppe/Gerät</i> Mittelintegration (MSI)	$10^1 \dots 10^6$	$10^2 \dots 10^3$
	Mikroprozessor, Speicher, Multiplizierer	Hochintegration (LSI)		$10^3 \dots 10^4$
	Computer	<i>System</i> Höchstintegration (VLSI)	$10^5 \dots 10^8$	$10^4 \dots 10^5$
	Ultrahöchstintegration (V ² LSI)			$> 10^5$
5. (Trend)	Funktionalelektronik: (Realisierung vollständiger elektronischer Funktionen in <i>einem</i> Bauelement)	<i>Großes System</i>	?	?

¹ Eine Funktionseinheit ist die Bezeichnung für eine Schaltungsanordnung, die aus voneinander abhängigen Bauelementen eine Funktion realisiert (z. B. eine Transistorfunktion).

Seit etwa 1960 hat sich die Anzahl der Bauelemente je Halbleiterchip jährlich verdoppelt. Einige 10 000 integrierte Transistorfunktionen auf den nur wenige Quadratmillimeter großen Halbleiterscheibchen sind heute bereits Standard in der digitalen Schaltungstechnik und 1 Million solcher Funktionen keine utopische Zielstellung mehr. Experten meinen, daß etwa um das Jahr 1990 die Struktur eines Transistors auf einem Chip nur noch etwa $2\ \mu\text{m}$ betragen wird. Damit wäre zwar die technologische Grenze heutiger Fertigungstechniken erreicht, aber dann könnten auf einer Fläche, die gerade so groß wie eine Briefmarke ist, rund 25 Millionen Bauelemente integriert werden – Größenordnungen jenseits unseres Vorstellungsvermögens.

Eine weitere Verdichtung der Bauelemente auf der Chipfläche stößt schließlich auch an eine physikalische Grenze. Wenn man in Größenordnungen vordringt, die im molekularen Bereich liegen, wirken die typischen physikalischen Vorgänge eines Halbleiters nicht mehr umfassend. Diese natürliche Grenze der Integration, die von verschiedenen Wissenschaftlern zwar quantitativ unterschiedlich angegeben wird, ist letztlich unüberwindlich.

Es wäre jedoch falsch, zu erwarten, daß künftig hochintegrierte Schaltkreise allein das Produktionsprogramm der Halbleiterindustrie darstellen werden. Die Lösung von einfachen Steuerungsaufgaben oder Anpassungsproblemen zwischen den einzelnen Schaltkreisen, aber auch der Aufbau von Versuchsschaltungen und das Experimentieren lassen die Nachfrage sowohl nach diskreten Bauelementen als auch nach niedrig integrierten Schaltkreisen bestehen.

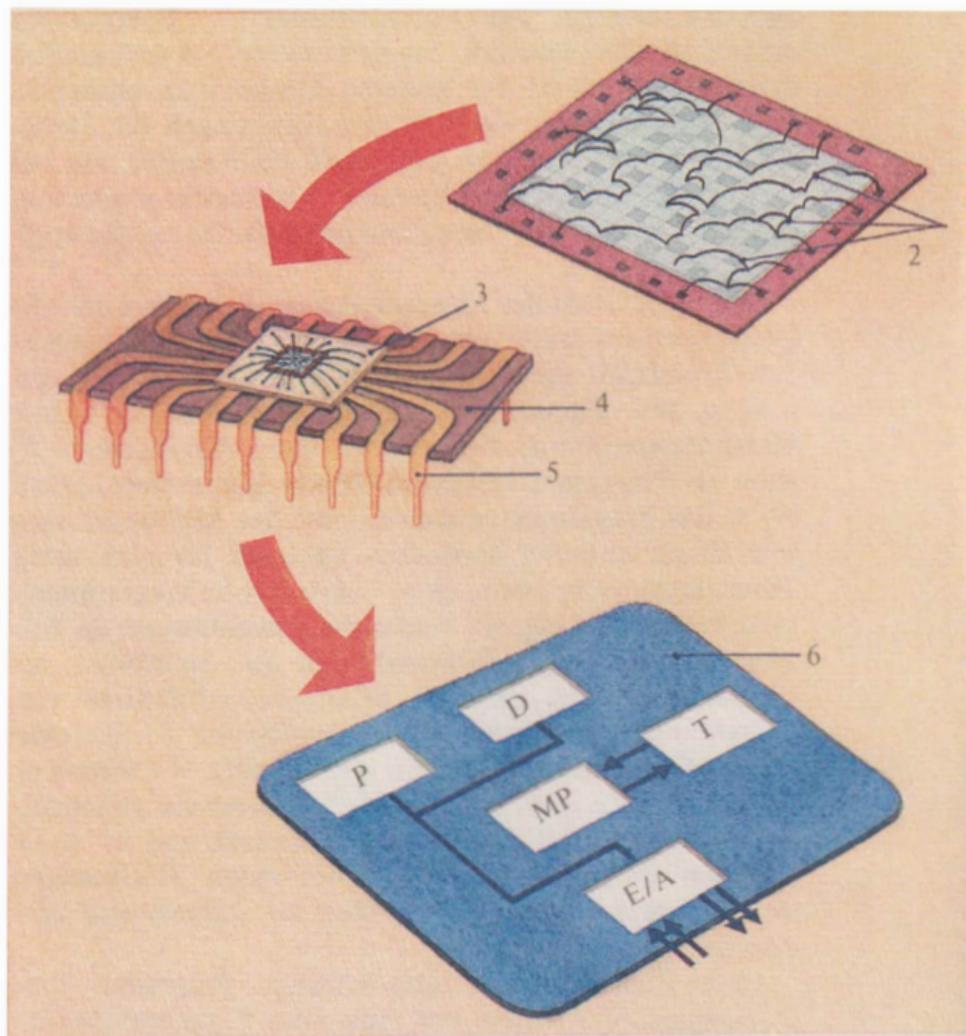
Hinter dem Begriff »Mikroelektronik« verbirgt sich inzwischen eine breite Palette elektronischer Bauelemente und Baugruppen. Spitzenerzeugnisse sind darunter ohne Zweifel die vielseitig einsetzbaren Mikroprozessoren mit Bauelementedichten von z. B. mehreren hundert Transistoren je Quadratmillimeter. Dieser hochintegrierte Schaltkreis ist ein nach dem Prinzip des Prozessors der Zentraleinheit eines Digitalrechners entwickeltes System – das Herzstück jedes Digitalrechners. Ein Mikroprozessor besitzt also ebenfalls ein Leitwerk, das die rich-

tige Reihenfolge der durchzuführenden Operationen steuert, ein Rechenwerk, das sich im kleinen und großen Einmaleins und in der höheren Mathematik auskennt, aber auch logische Verknüpfungsschaltungen für Steuerungsaufgaben enthalten kann, und ein Register, um bei mehreren aufeinanderfolgenden Verarbeitungsschritten im Rechenwerk die Zwischenergebnisse kurzzeitig speichern zu können.

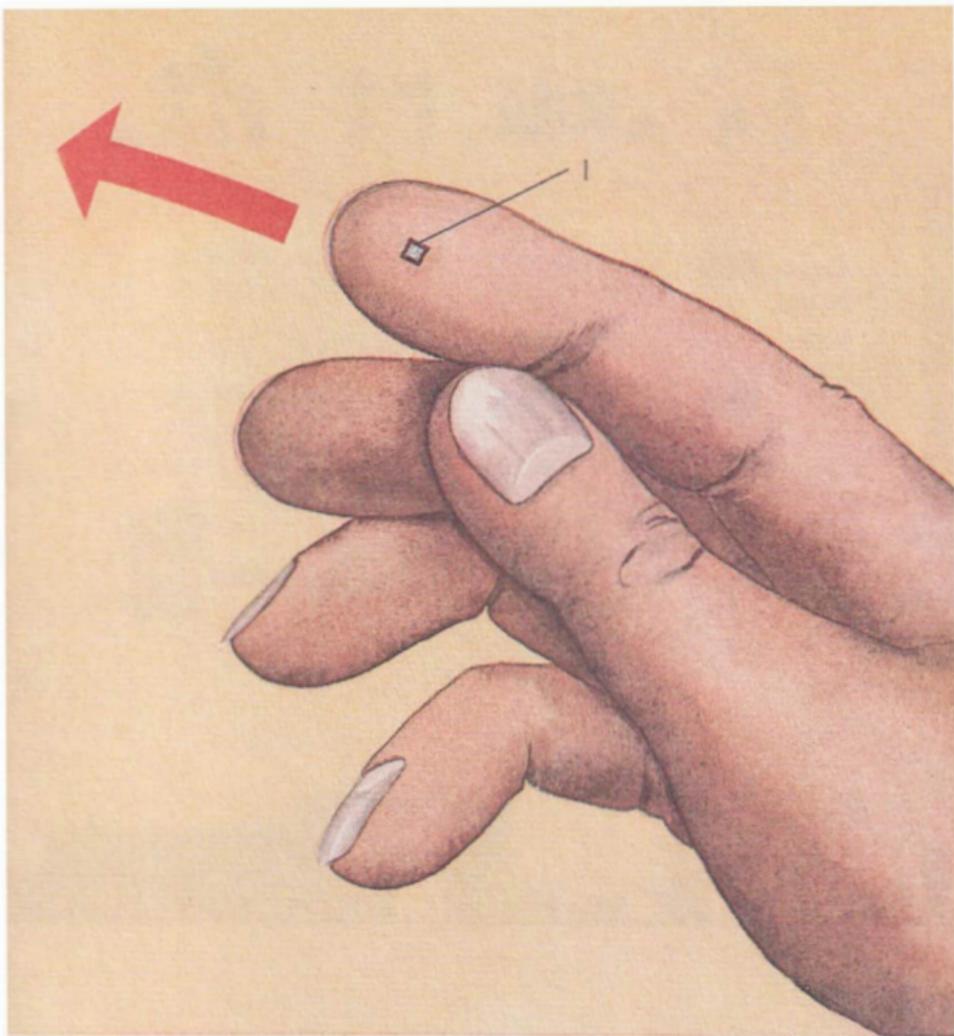
Die Variabilität der Anwendungsmöglichkeiten der Mikroprozessoren ergibt sich daraus, daß sie für den jeweiligen Einsatzfall programmiert werden können. Dies geschieht im allgemeinen durch die Kombination mit Halbleiterspeichern, die z. B. die ganz spezifische Aufgabe als Programm »eingeschrieben« bekommen haben. Wird das Programm verändert oder der Mikroprozessor mit einem anderen konkreten Speicher für eine neue Zielstellung verbunden, dann bearbeitet er programmgemäß die neue Aufgabe, vergleicht beispielsweise in Mikrosekundenschnelle Informationen mit Sollwerten, errechnet vielleicht günstige Mischungsverhältnisse von Flüssigkeiten und veranlaßt entsprechende Stellbefehle für das Öffnen oder Schließen von Ventilen – während er laut Programm mittels geeigneter Meßtechnik gleichzeitig Füllstände und Temperatur überwacht und in regelmäßigen Zeitabständen die verbrauchten Stoffmengen und andere benötigte Kenngrößen als Zahlenwerte ausdrucken läßt.

Unter Zusammenschaltung derartiger Programm- und Datenspeicher – sowie mit Aus- und Eingabeeinheiten versehen – lassen sich Mikroprozessorsysteme und Mikrorechner aufbauen. Dazu gehört noch ein Taktgenerator als jener wichtige Baustein eines Mikrorechners, der für den zeitlichen Ablauf der internen Operationen und des Datenaustausches verantwortlich ist. Kernstück eines Mikrorechners ist jedoch der Mikroprozessor, die zentrale Verarbeitungseinheit.

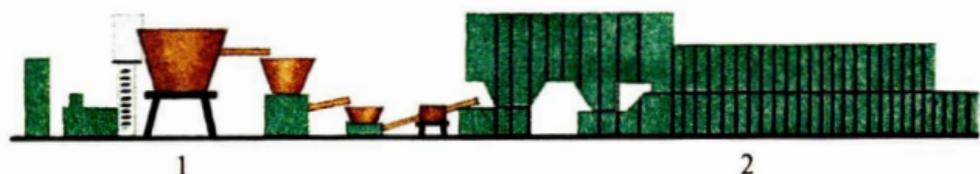
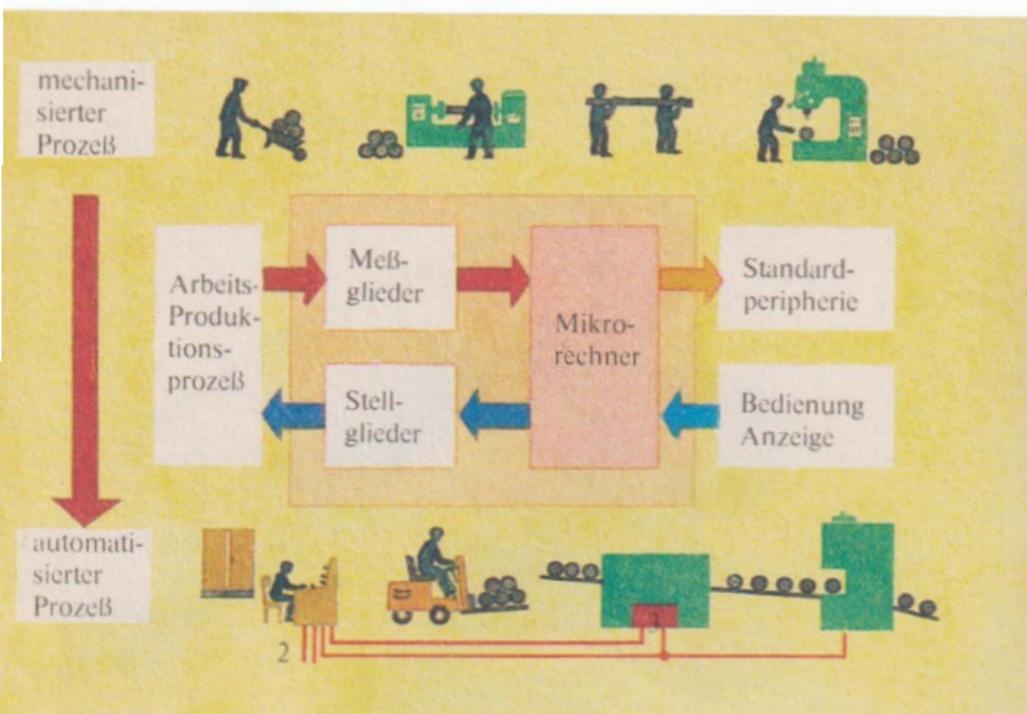
Das Einschreiben der einzelnen Befehle in den Programmspeicher kann durch den Bauelementehersteller erfolgen, der im letzten technologischen Schritt die entsprechenden Befehlsinformationen in dem Programmspeicher festlegt.



Struktureller Aufbau eines Mikrorechners, bei dem die einzelnen Funktionseinheiten je nach Anwendungsfall auch auf einem einzigen Chip (Monochipcomputer) realisiert werden können; mit aufeinander abgestimmten weiteren Mikroprozessoren, Speichern und zusätzlichen Geräten (z. B. Datensichtgerät) entsteht ein Mikrorechnersystem. 1 – hochintegrierter Schaltkreis (z. B. Speicherschaltkreis); 2 – eine dem Anwendungsfall angepasste »innere« Programmierung; 3 – Halbleiterchip mit dem programmierten integrierten Schaltkreis; 4 – Trägerplatte; 5 – elektrische Anschlüsse; 6 – Mikrorechner mit dem Mikroprozessor (MP) als Kernstück, dem Programmspeicher (P), Datenspeicher (D), dem Taktgenerator (T) und der Ein- und Ausgabereinheit (E/A)



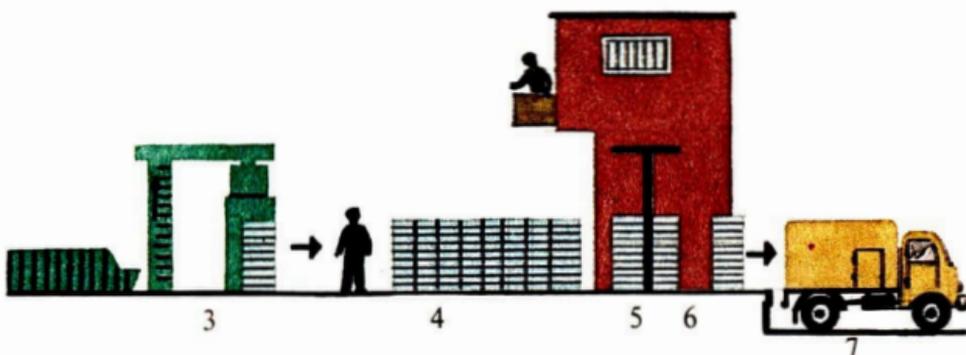
Um Mikrorechner auch universell einsetzen zu können, ist es vorteilhaft, wenn das eingeschriebene Programm wieder gelöscht und eine neue Befehlsfolge programmiert werden kann. Derartige Programmspeicher, die in den letzten Jahren entwickelt wurden, können über ihre äußeren Anschlüsse elektrisch programmiert werden. Durch ultraviolettes Licht läßt sich das Programm löschen. Damit beim »Löschvorgang« das ultraviolette Licht auf die Speicherstruktur gelangen kann, ist ein Quarzfenster im Schaltkreis genau über dem Chip angebracht.



Seit ihrem Erscheinen haben sich Mikroprozessoren und Mikrorechner in überdurchschnittlichem Tempo vor allem dort einen gesicherten Platz erobert, wo bei der Verbesserung der Arbeitsbedingungen und der Erhöhung der Arbeitsproduktivität und Sicherheit exakt beschreibbare Automatisierungsprobleme zu lösen waren. Die Anzahl dieser Anwendungen ist derzeit kaum überschaubar. Wir finden sie in der Industrie zur Steuerung von Werkzeugmaschinen und Manipulatoren, in Münzwechslern und Büromaschinen, in Kliniken zur Überwachung schwerkranker Patienten, in der Kraftfahrzeugtechnik für die Zündensatzsteuerung und den Blockierschutz beim

Die Mikrorechner können ihre Fähigkeiten bei der Automatisierung nur als geschlossenes System mit Meß- und Stellgliedern entwickeln, wobei sie sowohl andere Maschinen mit steuern und in die Regelkreise einbeziehen können als auch – trotz dezentraler Anordnung – die rationelle Funktionskontrolle und Prozeßüberwachung ermöglichen. 1 – mittlerer Rechenautomat; 2 – Kontrollzentrale; 3 – Mikrorechner; 4 – Leitungssystem zu anderen Automaten, Fließbändern usw., mit Mikrorechnern als Informationsquelle sowie Befehlsempfänger und -geber

Die durch Rechnersteuerung automatisierte Brotfabrik benötigt für jede Backlinie, von denen mehrere in der Kontrollzentrale zusammengefaßt werden, ein oder zwei Werk­tätige, die auf diese Art z. B. in 15 Minuten 7 400 Brötchen herstellen können. 1 – Aggregate zum Bereiten, Teilen und Formen der Backmasse; 2 – Tunnelbackofen; 3 – Verpackung in Paletten; 4 – Sammel­lager; 5 – Kontrollzentrale; 6 – Sortimentierung; 7 – Versand



Bremsen, in den Taschenrechnern und Bildschirmspielen, in von den Verkehrsflüssen gesteuerten Ampelanlagen an Straßenkreuzungen usw.

Große und mittlere Rechenautomaten waren bisher erforderlich, um Produktionsabläufe zu steuern, zu überwachen und situationsgerecht zu beeinflussen. Sie waren für alle Meß- und Steuerfunktionen zentral angeordnet.

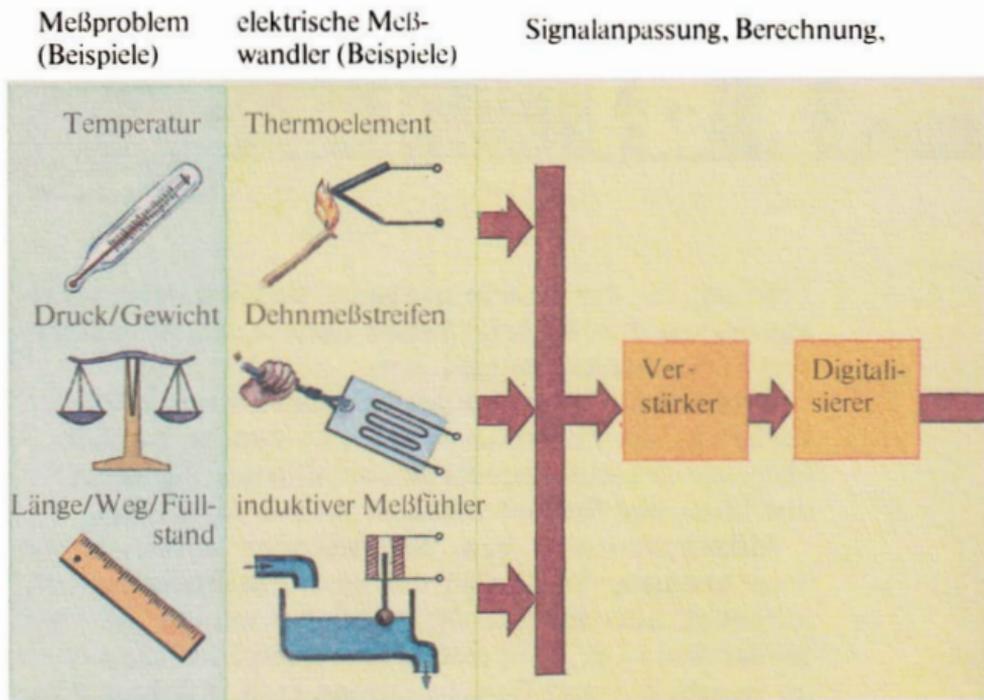
Mikroprozessoren bzw. Mikrorechner können wegen ihrer geringen Größe und des niedrigen Energiebedarfs dezentral, also an dem Ort eingesetzt werden, wo viele Meßgrößen (z. B. Temperatur) oder andere Informationen zu verarbeiten und Entscheidungen (z. B. Kühlung dros-

seln) zu treffen sind. Lediglich zur zentralen Überwachung und komplexen Auswertung sind noch elektrische Leitungen zwischen allen Mikrorechnern eines Produktionsbereiches und einer mittleren Rechenanlage zu verlegen, die allerdings auch selbst aus Mikrorechnern aufgebaut sein kann. So können viele Mikrorechner im Verbund überwacht werden.

Es ist beeindruckend, wenn man eine Produktionsstätte betritt, in der die Maschinen oder Automaten wie von Geisterhand gesteuert werden. Nirgendwo ist ein Mensch zu sehen, und doch wird emsig gearbeitet.

Bevor jedoch ein Mikroprozessorsystem einen Rationalisierungseffekt in unseren Produktionsstätten beweisen

Ausgewählte Beispiele zur Veranschaulichung einiger Probleme bei der Erfassung von Informationen bis zur gewünschten Reaktion. Jede Meßgröße ist in ein äquivalentes elektrisches Signal umzuwandeln und diese Information in ein gleichwertiges digitales Signal umzusetzen, das dann je nach Programm steuern, regeln, informieren oder/und alarmieren kann.

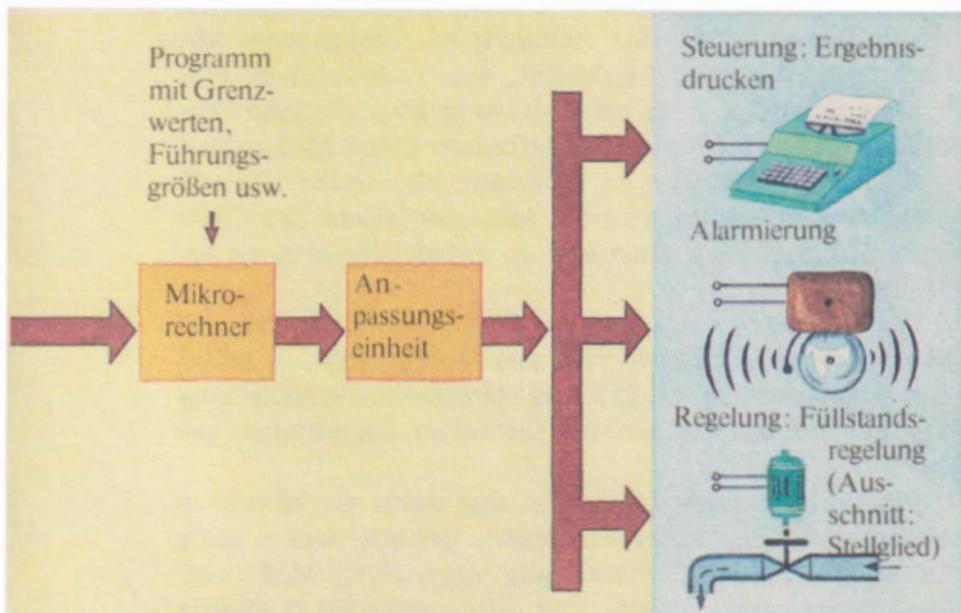


kann, sind verschiedene Voraussetzungen zu erfüllen. So muß der Anwender im Detail wissen, welche Signale unter welchen Einflüssen was steuern, regeln, schalten, signalisieren bzw. alarmieren sollen. Der technologische Prozeß muß folglich exakt analysiert werden und eindeutig beschreibbar sein. Jedem Verfahrensschritt ist unverwechselbar eine Kennzeichnung zuzuordnen, so daß im Programmspeicher auch die richtigen Impulse ausgelöst und die einzelnen Befehle in richtiger Reihenfolge abgearbeitet werden.

Die Aufwendungen für die Einsatzvorbereitung von Mikrorechnern bzw. Mikrorechnersystemen übersteigen aber oft noch die Anschaffungskosten der benötigten Gerätetechnik nicht unwesentlich. Dazu kommt in vielen Fällen, daß die Einflüsse auf einen Prozeß so vielgestaltig und umfangreich sind, daß eine Berücksichtigung aller möglichen und sich meist auch wechselseitig bedingenden Störgrößen aussichtslos erscheint. In der Landwirtschaft z. B., wo die Arbeitsgegenstände biologische Objekte sind, wo Klima, Umwelteinflüsse und territoriale

Vergleich, Auswertung, Entscheidung

Funktionsbeispiele

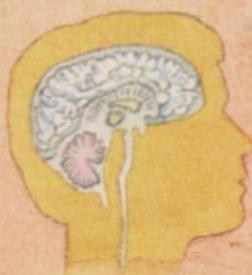


Bedingungen eine große Rolle spielen, fassen deshalb Mikroprozessoren bzw. Mikrorechner mit weniger großen Schritten als in anderen Industriezweigen Fuß. Auch dem Einsatz in Erzeugnissen des täglichen Gebrauchs setzen diese Probleme insgesamt noch gewisse Grenzen. Sie werden aber keine unüberwindlichen Hürden für den Fortschritt sein. Internationale Prognosen besagen z. B., daß in den nächsten Jahren jeder neue PKW mindestens mit zwei Mikroprozessoren ausgerüstet sein wird. Zu ihren Aufgaben gehören vielleicht eine optimale Motorsteuerung bei minimiertem Kraftstoffverbrauch, eine vorbeugende Materialdiagnose, die Warnung bei gefährlichen Straßenverhältnissen sowie die Klimaregelung im Fahrgastraum.

Die Einsatzvorbereitung umfaßt auch umfangreiche Qualifizierungsmaßnahmen. So werden z. B. Spezialisten gebraucht, die den Mikrorechner programmieren bzw. die Meßgeräte der Verfahrenstechnik entwickeln und an das Mikrorechnersystem anpassen. Nur in seltenen Fällen wird ihnen dabei gleich ein geeignetes elektrisches Signal zur Verfügung stehen, das die elektrische Information in den Ja- oder Nein-Kode des Mikrorechners umsetzt und an einen Stellmotor oder ein Magnetventil zur Befehlsausführung weiterleitet. Die exakte chemische Analyse eines Gasgemisches, das vielleicht bei bestimmten Mischungsverhältnissen explodiert, die Sofortanalyse glühender Schmelze oder eine Messung geringfügiger Dickenänderung von Walzblech erfordern meist Meßmethoden, deren Ergebnisse in definierte elektrische Signale umgewandelt werden müssen. Mitunter ist ein zweckmäßiges Meßverfahren auch erst zu entwickeln oder zu erfinden.

Die Erfahrung zeigt, daß der Gerätwert einer automatisierten Anlage zu etwa 50% aus Meßtechnik zur Informationsgewinnung, zu 15% aus Informationsverarbeitung und zu 35% aus Stelltechnik für aktive Handlungen besteht.

Ein Mikrorechner kann also nur dann als effektives Automatisierungsmittel eingesetzt werden, wenn auch die an die digitale Verarbeitung angepaßten Meß- und Stellglieder sowie Pegel- und Signalwandler verfügbar



Mensch	Operationen	Maschine
0,002	je Sek.	100000
30	je Stunde	360000000
250	je Tag	2888000000



7 Jahre

9 Minuten



Die durchschnittliche Rechenleistung eines Menschen wird von einem Mikrorechner weit übertroffen, beträchtlich leistungsfähiger sind die in den Rechenzentren konzentrierten technischen Möglichkeiten – ein Mensch benötigt für die Lösung von 100 gegebenen Gleichungen mit 100 Unbekannten und damit für etwa 681 500 Rechenoperationen rund 7 Jahre, eine mittlere elektronische Datenverarbeitungsanlage nur etwa 9 Minuten.

sind. Ein Mikrorechner allein wäre wie eine Betriebsleitung ohne Betrieb, ohne Produktionsstätten.

Trotz ihrer großen Bedeutung in Gegenwart und Zukunft machen die Mikrorechner die elektronischen Datenverarbeitungsanlagen nicht überflüssig. Zur Bearbeitung und Lösung umfangreicher Aufgaben in Wissenschaft, Technik, Wirtschaft, Produktion und im gesellschaftlichen Leben bleiben die Rechenzentren mit ihren Großrechnern eine notwendige Konzentration elektronischer Rechentechnik. In diesem Prozeß werden allerdings Mikrorechner mit dafür sorgen, daß sich der gesamte Raumbedarf des Rechners einschließlich der um ihn gruppierten Geräte und Anlagenteile weiterhin verringert.

Viel schneller als Bücher geschrieben und gedruckt werden, wachsen die Erkenntnisse auf dem Gebiet der Mikroelektronik, nehmen die Anwendungsbereiche zu.

Für »Feinschmecker« des Klanges

Wie einst in »Tausendundeiner Nacht« gute und böse Geister dem Menschen dienstbar waren, so scheint es uns Menschen des ausgehenden 20. Jahrhunderts auch mit dem Schall zu ergehen. Als Musik oder Wort in Rillen gepreßt, auf Magnettonbändern gespeichert, als elektromagnetische Welle durch den »Äther« geschickt, immer mittels und dank der Elektronik – so dient der Schall zur Information, Unterhaltung, Erziehung und Bildung. Wir wollen uns hier auf einen Anwendungsbereich beschränken, der wohl für die meisten Menschen durch täglichen »Gebrauch« zum gewohnten Alltagsablauf gehört, dennoch aber immer wieder auch eine Faszination bewirkt, die auf vielerlei Weise den einzelnen berührt. Wie die enormen Fortschritte in der Elektronik auch das »Gesicht« unserer häuslichen Umwelt mitgestaltet haben, ist sehr deutlich an der Wandlung der Unterhaltungselektronik sichtbar.

Die Unterhaltungselektronik kam zu Beginn der zwanziger Jahre auf, obwohl der russische Physiker Popow ja schon am 7. Mai 1895 den ersten Funkempfänger der Welt vorgestellt hatte. Dieses denkwürdige Ereignis wird übrigens alljährlich als »Tag der Erfindung des Radios« gewürdigt. Bevor der Rundfunk jedoch in die Kommunikationsmittel eingereiht werden konnte, mußten noch mehr als 25 Jahre vergehen.

Die Ausstrahlung der ersten öffentlichen Sendung in der Geschichte des deutschen Rundfunks erfolgte am 29. Oktober 1923. Infolge der katastrophalen wirtschaftlichen Verhältnisse der Inflationszeit konnten sich damals allerdings nur wenige Interessenten einen Radioempfänger

ger kaufen. Sie mußten sogar durch eine Prüfung erst ihre technischen Kenntnisse zur Bedienung einer Empfangsanlage beweisen.

Die ersten röhrenbestückten Rundfunkempfangsgeräte waren aus weniger als zehn Bauelementen aufgebaut. Nach und nach wurden mit der weiteren Verbesserung der Elektronenröhren und der Anwendung neuer akustischer Erkenntnisse – Einbau mehrerer Lautsprecher, Veränderungen der Chassisbauweise und schaltungstechnische Verbesserungen – Radioempfänger entwickelt, die sowohl durch ihre Leistungsfähigkeit und Empfindlichkeit als auch dank ihres ästhetischen Äußeren einen wesentlich höheren Gebrauchswert hatten.

Das »Schallerlebnis« eines Konzertes konnten allerdings diese Geräte nicht vollständig vermitteln. Es klang lediglich »monofon« aus dem Lautsprecher, als hätte der Mensch nur ein Ohr. Eine Unterscheidung, ob sich das Schlagzeug links und die Geigen rechts befinden oder wie sich die Sänger auf der Bühne bewegen, ist auch mit den heutigen Rundfunkgeräten in Monotechnik ausgeschlossen.

Wie wir aber mit unseren beiden Ohren – selbst bei geschlossenen Augen – die Richtung eines herannahenden Autos feststellen können, so sollte auch ein Rundfunkempfänger die räumliche Illusion von der Schallquelle erzeugen, als säße der Hörer im Theater- oder Konzertsaal auf dem besten Platz. An Versuchen dazu hat es nicht gefehlt. Das getrennte Aufstellen von Lautsprechern befriedigte aber ebensowenig wie die künstliche Erzeugung eines Nachhalls. Das Auftrennen des Frequenzspektrums in einen nieder- und höherfrequenten Anteil und deren getrennte Wiedergabe waren zwar sinnvoll, da mit einem einzigen Lautsprecher die gesamte Breite der hörbaren Frequenzen nicht in guter Qualität wiedergegeben werden kann, aber ein räumlicher Eindruck konnte auch dadurch nicht vermittelt werden. Was in einem monofonen Signal nicht enthalten ist, kann selbst mit raffiniertesten Kunstgriffen aus der Technik nicht herausgeholt werden.

Manche großen Dirigenten, unter ihnen Arturo Toscanini, empfanden wenig Begeisterung für Konzertübertragungen in monofoner Technik. Als man Toscanini zu

einer Schallplattenaufnahme für Monowiedergabe bewegen wollte, soll er gesagt haben: »Ich wünsche, daß jede Stimme, ja möglichst jedes Instrument während eines Konzerts zu hören sei, und verlange Gleiches natürlich auch von der Platte.« Dieser Wunschvorstellung, die akustischen Verhältnisse des Aufnahmeortes, dessen räumliche Ausdehnung möglichst originalgetreu wiederzugeben, kam zuerst die Stereoschallplatte recht nahe.

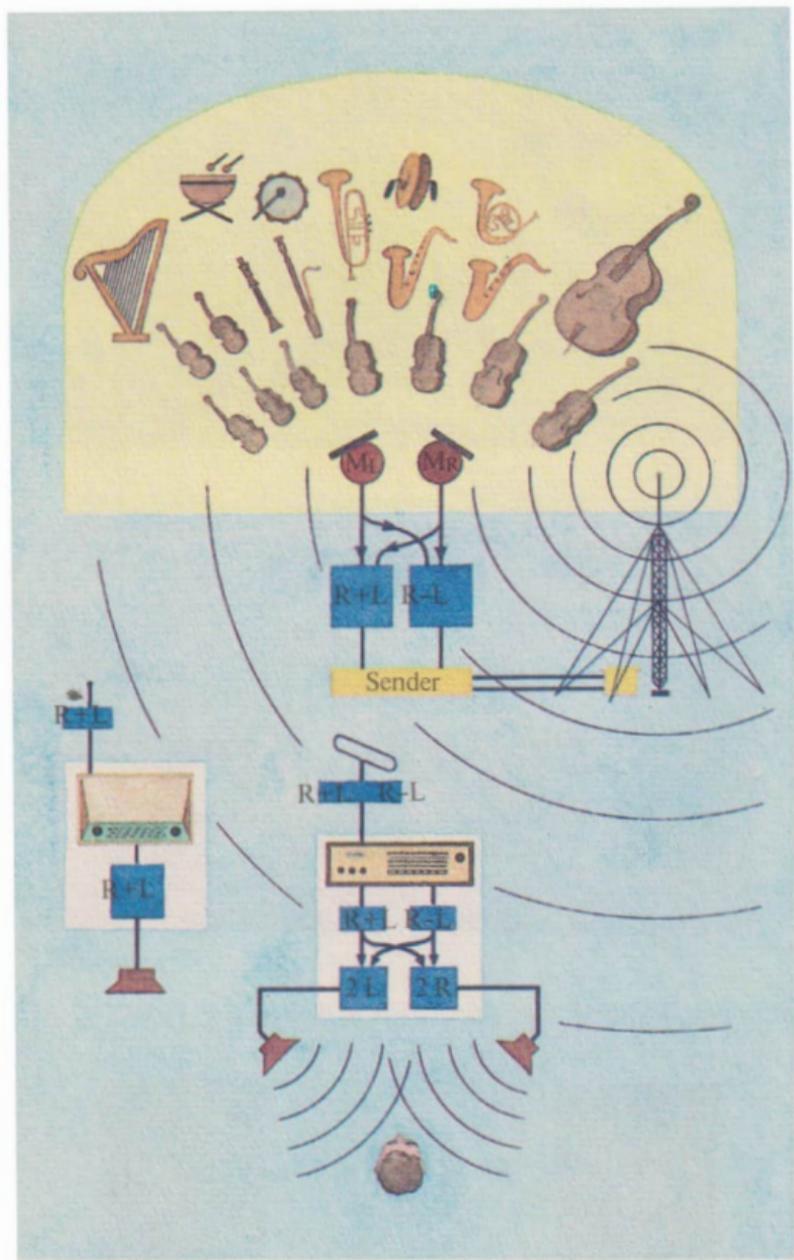
Johannes Keplers Prognose aus dem Jahre 1619: »Man wird dereinst Sprechmaschinen erzeugen können, doch werden sie einen schnarrenden Klang haben«, blieb glücklicherweise nur eine Anfangerscheinung in der Entwicklung der Schallplatte. Unsere heutigen Stereoschallplatten vermitteln dem Hörer ein echtes Klangerlebnis. Dabei erzeugt die Zweikanaltechnik (Stereofonie) eine so gute Vorstellung vom Originalereignis, als hätte der Hörer die originale »Schallquelle« vor sich.

Im Rundfunk fand die Stereoübertragung erst Eingang, nachdem die Ingenieure und Techniker die Empfindlichkeit und Trennschärfe der Empfangsgeräte verbessert sowie mit der Erschließung der ultrakurzen Wellen die Übertragungsqualität bedeutend erhöht hatten.

Ob Schallplatte, Tonbandgerät oder Rundfunkempfänger – zur zweikanaligen bzw. stereofonen Aufnahme werden mindestens zwei Mikrofone und für die Wiedergabe auf der Empfangsseite zwei Lautsprecher benötigt. Beispielsweise nimmt bei einem Konzert, das stereofon übertragen werden soll, ein rechts aufgestelltes Mikrofon vorwiegend den Schall aus dem rechten Teil des Orchesters auf, während das andere hauptsächlich für den linken Teil zuständig ist. Für die Wiedergabe erfordert das die getrennte Übertragung von beiden Mikrofonkanälen.

Mit der Entwicklung der Elektronik und der Erschließung neuer Wellenbereiche änderten sich Schaltungstechnik, Äußeres, Gebrauchswert und Bedienungskomfort der Rundfunkgeräte. Oben: Gerät mit sogenannten Mehrfachröhren und Trichterlautsprecher (1928); Mitte: Mono-Mittelsuper mit Klangregler und Klangfärbung für Baß und Sprache (um 1960). Unten: Stereosteuergerät für hohe Wiedergabetreue (HiFi) mit fünfstavigem UKW-Programmspeicher und automatischer Scharfabstimmung sowie zwei Lautsprecherboxen (1979)





Durch Summen- und Differenzbildung der Teilsignale von rechts und links wird gewährleistet, daß eine stereofon aufgenommene Rundfunk-sendung sowohl monofon mit einem Monoempfänger als auch stereofon mit einem Stereoempfänger wiedergegeben werden kann. M – Mikrofon; L – links; R – rechts

Im Stereotonbandgerät und im Stereoplattenspieler wird das analog praktiziert. Der eine Verstärker überträgt das zum rechten Mikrofon gehörende Signal, und ein zweiter verstärkt das linke Signal auf die gewünschte Lautstärke.

Im Rundfunk würde das bedeuten, daß für eine Sendung gleichzeitig zwei Sender und zwei Empfänger notwendig sind. Eine solche Praxis hätte jedoch alle Besitzer eines Monoempfängers zum Kauf eines zweiten, gleichen Monoempfängers oder zum verstümmelten Hörerlebnis verurteilt. Nicht zuletzt wären außerdem Übertragungsschwankungen zwischen den zwei Sendesignalen zu befürchten. Deshalb ist beim Stereorundfunk eine andere Technik üblich.

Damit auch der Rundfunkhörer mit einem Monoempfänger ein vollwertiges Musikprogramm und nicht nur den rechten oder linken Kanal empfangen kann, wird eine entsprechende Summen- und Differenzbildung des rechten und linken Signals vorgenommen und übertragen. Schaltungstechnisch wird das durch Parallelschaltungen gelöst. Die Subtraktion entsteht, wenn die Teilspannung von »links« 180° phasengedreht wird. Von der Sendeanlage wird dann sowohl das vollwertige Monosignal ($R + L$) und zusätzlich das Differenzsignal ($R - L$) mittels eines Hilfsträgers gesendet. Der Monoempfänger nutzt nur das Summensignal. Der Stereoempfänger dagegen gewinnt außerdem das Differenzsignal aus dem Hilfsträger zurück.

Nach erneuter Summen- und Differenzbildung stehen schließlich am Eingang der völlig gleichwertigen Niederfrequenzkanäle des Stereoempfängers die ursprünglichen Teilsignale R sowie L zur Verfügung. Wir hören stereophon. Da der Hörer zur Wahrnehmung des Stereoeffektes jedoch einen durch die Aufstellung der Lautsprecher bestimmten Platz einzunehmen und nach einer definierten Richtung zu hören hat, ist der Nutzen einer Stereoanlage beschränkt. Der Genuß des stereophonen Hörens erfordert Aufmerksamkeit und bedingt einen Platzzwang.

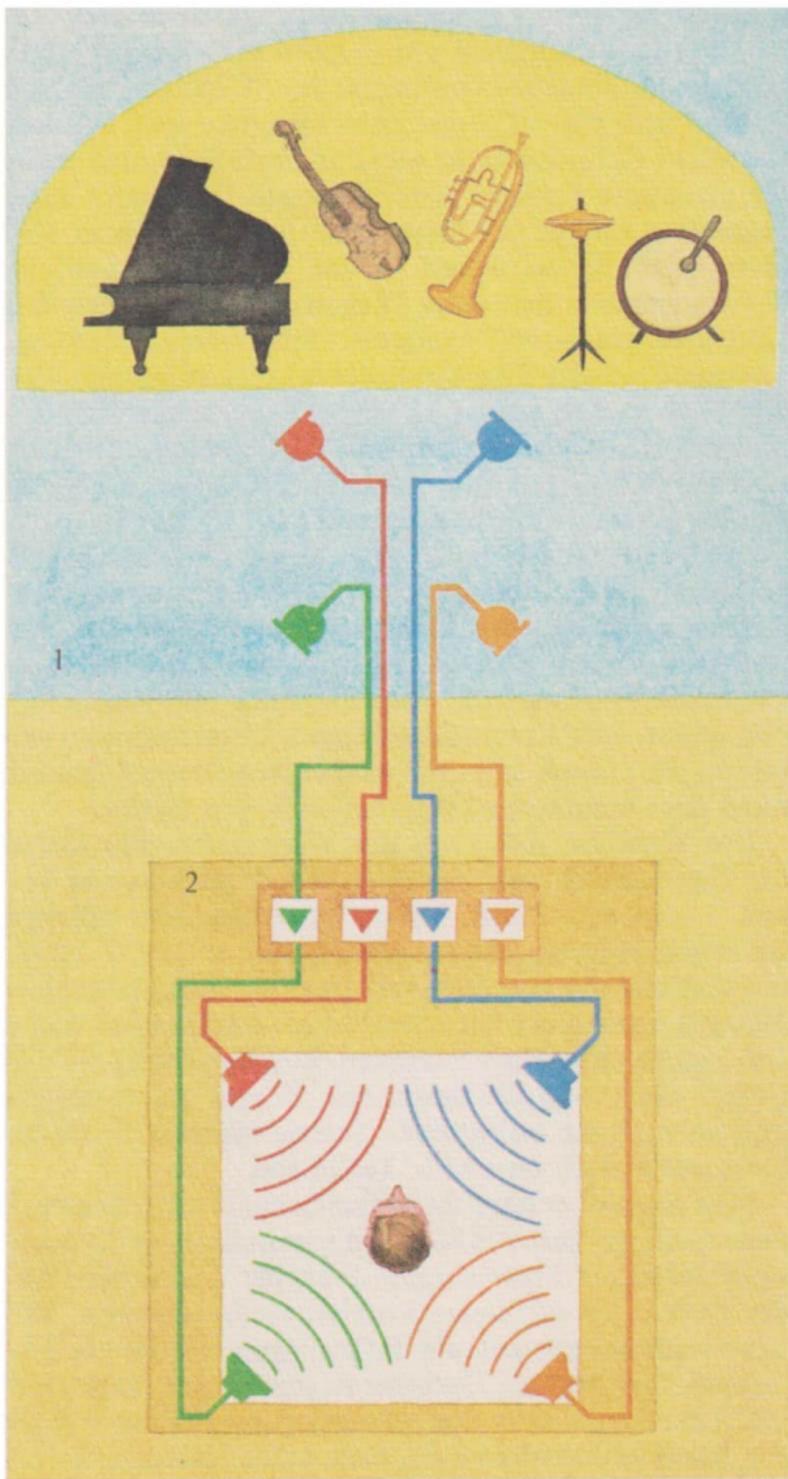
Noch ist es gar nicht so lange her, daß die Stereophonie eingeführt wurde, da beginnt man schon über ihre Nachteile und über bessere elektroakustische Übertragungs-

möglichkeiten nachzudenken. Als Ziel der Stereoübertragung war angestrebt worden, das gesamte Klangbild technisch und künstlerisch unverfälscht wiederzugeben. Das zweidimensionale Ergebnis der Stereophonie hat den besonders anspruchsvollen Musikfreund jedoch nicht so richtig befriedigt. Stereophonie erlaubt zwar eine gute und richtungsbetonte Wiedergabe des aktiven Klangkörpers, z. B. der Breite des Orchesters. Was sich jedoch infolge Reflexionen des Schalls an Wänden, Decke und Boden und im hinteren Teil des Originalraumes an Geräuschen ergibt, kann die Stereophonie nicht ausreichend vermitteln. Doch gerade diesen Teil schätzt der Konzertbesucher besonders, weil Architektur und räumliche Ausdehnung des Konzertsaaes entscheidend das Klangbild beeinflussen. »Feinschmecker« der Musik besuchen deshalb nicht jedes sie interessierende Konzert. Für sie spielt die Akustik in dem jeweiligen Raum eine wesentliche Rolle.

Der anspruchsvolle Rundfunkhörer verlangt nicht zu Unrecht zum guten Ton auch die richtige akustische Atmosphäre. Um alle Schalleffekte in einem Konzertsaal zu erfassen und für die Wiedergabe aufzubereiten, wären allerdings viel mehr Kanäle als nur die beiden der Stereophonie vonnöten. Dadurch würde der technische Aufwand aber derart in die Höhe schnellen, daß die Kosten in keinem vertretbaren Verhältnis zum Nutzen mehr stünden. Es wurde deshalb ein Kompromiß geschlossen, der das Doppelte der Stereophonie vorsieht – also vier Kanäle. Diese Vierkanaltechnik, Quadrofonie genannt, kann die originalen akustischen Bedingungen jedoch auch nicht vollkommen darstellen. Gegenüber der Stereophonie bedeutet die Quadrofonie allerdings einen großen Fortschritt, insbesondere bezüglich des Verhältnisses zwischen Direktschall und Nachhall.

Zur Erzielung eines echten Quadroeffektes sind vier getrennte Kanäle zu übertragen – für jeden der vier Laut-

Ein guter räumlicher Höreindruck wird bei der Quadrofonie (Vierkanaltechnik) erreicht, indem neben dem Direktschall zusätzlich der Nachhall aufgenommen und beide Schallarten über insgesamt vier Verstärkerkanäle getrennt übertragen werden. 1 – Aufnahmeraum; 2 – Wiedergaberaum



sprecher im Wiedergaberaum ein genau definierter Kanal. Wie im Konzertsaal gibt es dann auch für den Hörer von Quadrofonieübertragungen im Wohnzimmer ein »Vorn« und ein »Hinten« zum »Rechts« und »Links«. Bei allem Optimismus ist nicht zu verkennen, daß dabei die günstigste Hörzone bzw. der beste Hörbereich noch begrenzter als bei der Stereophonie ist. Sie befindet sich beim quadrofonen Hören in der Raummitte bzw. im Kreuzungspunkt gedachter Diagonallinien zwischen den Lautsprechern. In den wenigsten Fällen werden allerdings Lautsprecher und Zimmereinrichtung so aufgestellt werden können, daß gerade an jenem Kreuzungspunkt eine Sitzgelegenheit vorhanden ist. Alle anderen Mithörer sind außerdem stets weit mehr benachteiligt, als wir es von der Zweikanaltechnik kennen.

Am Rande sei erwähnt, daß nicht jeder Mensch Schalleindrücke gleichartig auswertet. Jeder hat über Schallergebnisse seine eigenen Erfahrungen gesammelt und muß folglich nicht das gleiche Hörempfinden wie sein Nachbar haben. Und wer sich nicht die Ruhe und Konzentration gönnt, eine Konzertübertragung aufmerksam zu verfolgen, wird auch mit der modernsten Heimelektronik nicht zum räumlichen Hörgenuß gelangen können.

Die Tatsache, daß auch die Vierkanaltechnik wegen der Eigenakustik des jeweiligen Wiedergaberaumes keinen maximalen Effekt bietet, ist neben dem höheren technisch-ökonomischen Aufwand ein so großer Nachteil, daß man ihr zumindest als Quadrorundfunk in naher Zukunft noch nicht den Durchbruch prophezeien kann. Um jedoch die anspruchsvollen Rundfunkhörer in den Genuß eines »quadroähnlichen« Hörens zu versetzen, umgeht man die technischen Schwierigkeiten durch der Stereophonie stark verwandte Techniken.

Eine gegenüber der echten Quadrofonie durchaus wettbewerbsfähige Variante entstand bereits anfangs der sechziger Jahre als Forschungsleistung der Deutschen Post der DDR. Das als Stereo-Ambiofonie bezeichnete Verfahren stützt sich auf die Erfahrungen um die Stereotechnik. Ihm liegt der Gedanke zugrunde, daß im Rechts- und Linkskanal jeder Stereoübertragung gewisse Anteile von Rauminformationen aus dem Aufnahmeraum enthal-

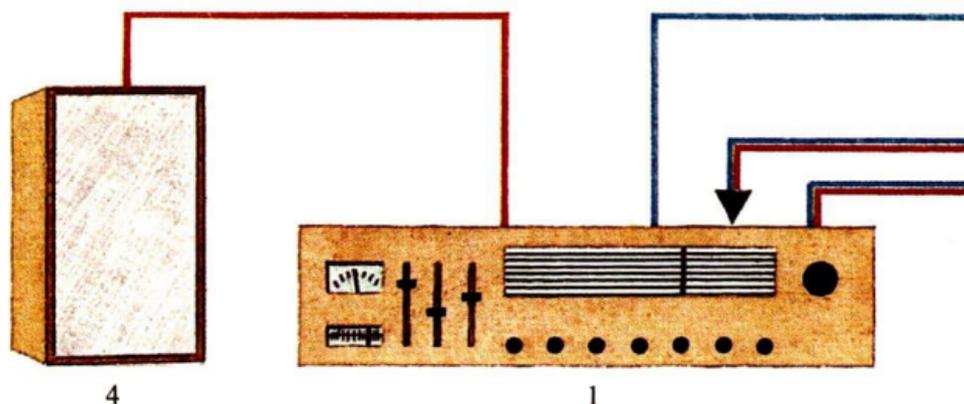
ten sind. Bei den heutigen Stereoproduktionen des Rundfunks berücksichtigen z. B. die Tontechniker die von den Seitenwänden des Aufnahme-raumes reflektierten Schallanteile extra für die Freunde räumlicher Tonwiedergabe.

Durch zusätzliche Differenzbildung zwischen dem Links- und Rechtskanal kann jener Anteil der Rauminformationen aus dem gesendeten Stereosignal herausgelöst werden. Dazu bedarf es lediglich auf der Empfangsseite, also im Stereorundfunkempfänger, einer elektronischen Ergänzung, die die entsprechende Differenz zwischen den zwei empfangenen Kanälen bildet und ausreichend verstärkt. Mit einem separaten Zusatzverstärker, der diese Funktionen in sich vereinigt, sowie einem dritten und vierten Lautsprecher kann jede Stereoanlage zu diesem Zweck erweitert werden. Auch in einer Stereoschallplatte steckt mehr, als man bisher zu hören glaubte.

Die wesentliche Steigerung des räumlichen Höreindrucks, ohne die Anzahl der Übertragungskanäle erhöhen zu müssen, macht den Wert der Stereo-Ambiofonie gegenüber der einfachen Stereofonie aus. Das Ergebnis ist ein der realen Quadrofonie ähnlicher Effekt. Dem Hörer wird bei richtiger Platzwahl zusätzlich ein »Hinten« vorgetäuscht. Für die mittels der Stereofonie erzielten Quadroeffekte ist deshalb auch der Begriff Pseudoquadrofonie, Scheinquadrofonie, gebräuchlich geworden.

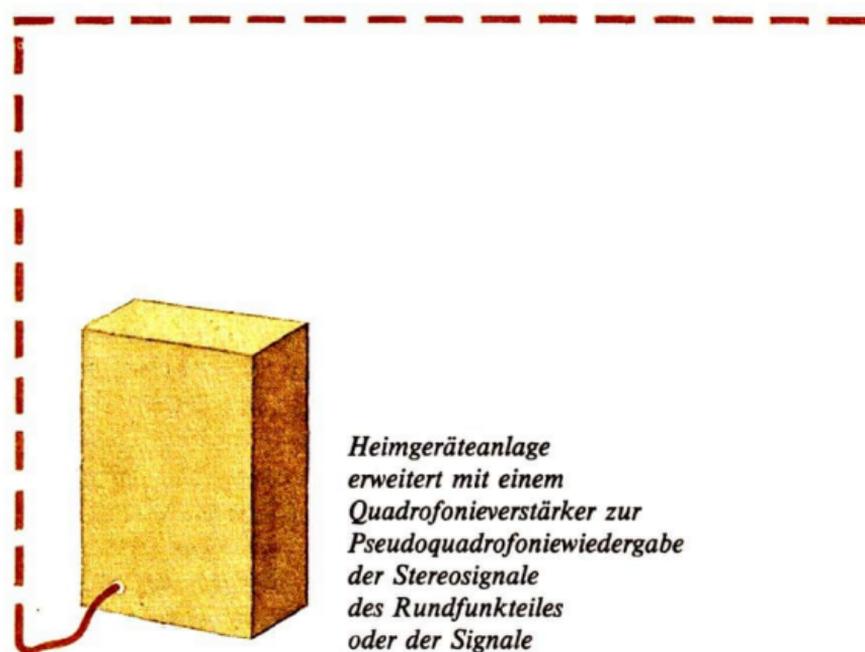
Ein vielversprechendes Prinzip zur originalgetreuen Wiedergabe akustischer Verhältnisse steht mit der Kunstkopf-Stereofonie zur Diskussion. Wie bereits der Begriff verrät, basiert auch dieses Verfahren auf der Zweikanaltechnik, also auf bereits ausgereiften technischen Bedingungen. Neu ist das Aufnahmesystem, eben der Kunstkopf.

Bei der Aufnahme – beispielsweise einer Sinfonie – wird für Millionen Hörer am Stereoradio der beste Platz im Konzertsaal gesucht. Dorthin setzt man eine detailgetreue Nachbildung des menschlichen Gehörsystems – einen Kunstkopf. An Stelle der beiden »Trommelfelle« enthält er Mikrofone. Was der einzelne Rundfunkhörer auf jenem ausgesuchten Platz hören könnte, das nimmt nun sein »Stellvertreter«, der Kunstkopf, auf. Die Wiedergabe des Stereosignals muß dann allerdings, wenn auf



4

1

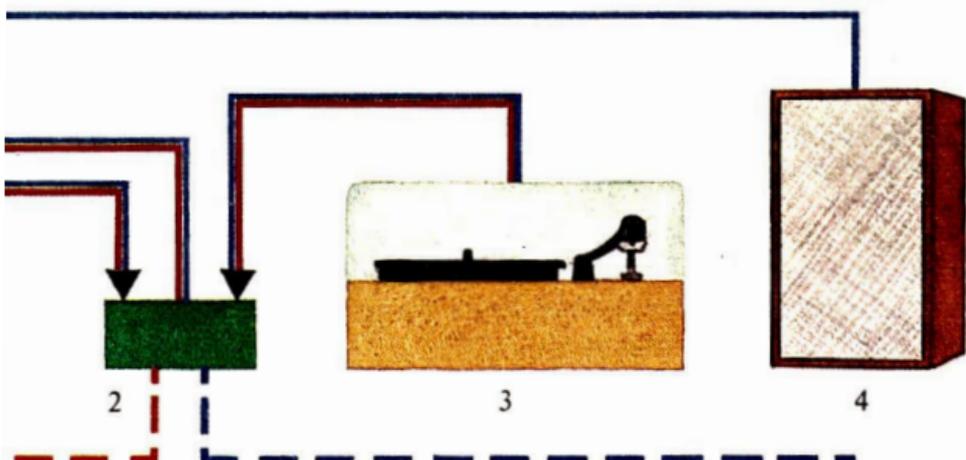


5

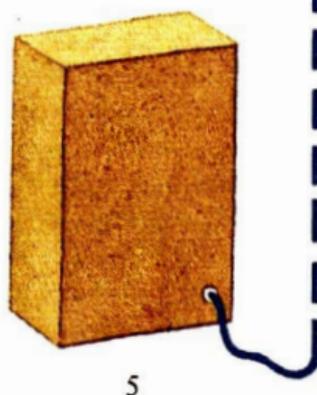
*Heimgeräteanlage
erweitert mit einem
Quadrofonieverstärker zur
Pseudoquadrofoniewiedergabe
der Stereosignale
des Rundfunkeiles
oder der Signale
der Stereoschallplatte.*

Originaltreue besonderer Wert gelegt wird, über Kopfhörer erfolgen, da die Akustik in der Wohnung das kopfbezogene Stereosignal wieder verfälscht. Seit 1976 laufen in der DDR regelmäßig Experimentalsendungen.

Durch die Kunstkopf-Stereophonie werden die räumlichen Verhältnisse im Aufnahme-raum – wiederum ohne die Übertragungskana-äle zahlenmäßig zu erweitern – so natürlich wiedergegeben, wie es bisher von keinem ande-



- 1 – Stereosteuergerät;
 2 – Quadrofonieverstärker;
 3 – Stereoschallplattenspieler;
 4 – Stereolautsprecherboxen;
 5 – Zusatzlautsprecher zur
 Wiedergabe der Differenz
 aus beiden Stereosignalen
 als Rauminformation



ren Verfahren erreicht werden konnte. Nachteilig ist allerdings, daß die Bewegungsfreiheit des Hörers von der Zu-
 leitung zum Kopfhörer abhängt. Gleichzeitig entsteht eine bei den einzelnen Menschen unterschiedliche psy-
 chische Wirkung, die als akustische Isolierung bezeichnet werden kann. Tragbare Miniempfänger als Ergebnis ent-
 wickelter Mikroelektronik werden wohl auch in dieser Hinsicht neue Lösungen anbieten.

Während die Kunstkopf-Stereofonie das reizvolle Ziel verfolgt, eine Komposition unter den akustischen Bedingungen eines bestimmten Aufnahmeortes zu hören, empfehlen Kenner die bekannten stereofonen Wiedergabeverfahren, um eine Komposition und ihre Instrumentierung kennenzulernen.

Den Nachteil, bei stereofonem Hörgenuß eine begrenzte Beweglichkeit hinnehmen zu müssen, versucht ein als Holofonie bezeichnetes Tonwiedergabeverfahren zu beheben. Das Holofoniergerät übernimmt aus den Lautsprecherbuchsen eines Stereoempfängers das niederfrequente Stereosignal, trennt über eine Frequenzweiche einen bestimmten Teil der Tonfrequenzen ab und führt alles den üblichen und zusätzlichen Lautsprechern zu. Bevor jedoch ein Signalteil die zusätzliche Lautsprecherkette erreicht, muß es verschiedene Verzögerungsschaltungen durchlaufen. Das Besondere dieses Verfahrens ist die Verzögerung längs der Lautsprecherkette. Durch sie entsteht ein Effekt, der z. B. einen Zuhörer in der Nähe des linken Lautsprechers dessen Schallabstrahlung früher hören läßt als die des rechten, die aber lauter wahrgenommen wird. Dadurch ergibt sich eine bessere Richtungsauflösung an jedem Platz im Wiedergaberaum.

Trotz aller Bemühungen für eine originalgetreue Übertragung werden jedoch weder die Stereofonie noch die Quadrofonie oder eine andere »ausgefeilte« Technik das Fluidum eines Konzertsaaes oder eines Opernhauses ersetzen können. Jede der Techniken kann nur mehr oder weniger gut den Hörer in die akustische Atmosphäre einbeziehen. Die unmittelbare Konfrontation von Künstler und Publikum, die prickelnden Situationen und die Stimmung, die wechselseitige Einflußnahme von Darbietenden und Hörern bzw. Zuschauern können nur im Konzertsaal selbst erlebt werden.

Bei allen technischen Verfahren muß des weiteren in Betracht gezogen werden, daß der beabsichtigte originale Raumeindruck um so mehr verlorengelht, je weniger sich Aufnahme- und Wiedergabeort ähneln. Das bedarf keines weiteren Beweises, denn jeder wird bei der Renovierung eines Zimmers schon einmal die Erfahrung gemacht haben, daß in einem leeren und einem mit Möbeln einge-

richteten Raum völlig unterschiedliche akustische Bedingungen herrschen. Entscheidend für das Klangerlebnis einer Stereophonie- oder Quadrofoniaufnahme sind die Größe des Wiedergaberaumes, die Aufstellung der Lautsprecher und der Platz des Hörers. So gibt es leider viele Ursachen und Möglichkeiten, einen falschen Raum- und Richtungseindruck zu gewinnen, wodurch von vornherein der Wirksamkeit der Stereophonie und mehr noch der Quadrofonie praktische Grenzen gesetzt sind.

Der Besitzer eines Stereoempfängers braucht also nicht zu befürchten, daß sein Gerät als eine Modeerscheinung in absehbarer Zeit vom technischen Fortschritt überholt sein wird. Auch der Monoempfänger wird heute und in Zukunft – und sei es als Zweitempfänger – eine Bedarfslücke zu schließen haben.

Es ist auch eine gesicherte Erkenntnis, daß die Signalübertragung sowohl im Rundfunk als auch im Fernsehen im allgemeinen noch lange drahtlos mit Hilfe der elektromagnetischen Wellen erfolgen wird. Die verkabelte Stadt, in der z. B. Lichtleiterfasern die Haushalte mit einem territorialen Informationsstudio verbinden und Filme sowie Nachrichten, Auskünfte, Musiksendungen und ganze Zeitungen jederzeit über den privaten Bildschirm oder die Stereoanlage abgerufen werden können, steckt noch in den Kinderschuhen. Es wird sie geben, zuerst vereinzelt als Versuchsstrecke und schließlich verbreitet nicht vor »übermorgen«.¹ Bis dahin kann trotz aller technischen Raffinessen ein Empfangsgerät nur so gut sein, wie es die entsprechende Antennenanlage gestattet. Der modernste Stereoempfänger ist verschenkte Technik, wenn an einer Antennenanlage gespart wird. Denn eine gute Stereowiedergabe verlangt am Empfängereingang einen um 20% höheren Signalpegel als die monofone Wiedergabe im UKW-Rundfunk.

Ein Blick auf das Frequenzspektrum elektromagnetischer Wellen erklärt uns die Notwendigkeit, nach neuen Übertragungsmöglichkeiten zu suchen. Reicht für eine herkömmliche Rundfunksendung ein Frequenzbereich

¹ Vgl. dazu: Walter Conrad, Kommunikation 2000. akzent-Reihe Bd. 65. Leipzig, Jena, Berlin 1983.

von etwa 9 kHz aus, so ist heute für einen einwandfreien UKW-Stereo-Empfänger schon mehr als das Sechzehnfache nötig, nämlich 150 kHz. Dagegen bedarf es bei der in vielen europäischen Staaten gültigen Fernsehnorm für die Übertragung eines Fernsehkanals bereits einer Bandbreite von ungefähr 6 MHz. Das heißt, der übertragene Informationsfluß je Sekunde, die sogenannte Kanal-kapazität, ist um so größer, je höher die Frequenz des Trägers ist, dem die Nachricht aufmoduliert wird.

Dicht an dicht drängen sich inzwischen die Sender in den Wellenbereichen der Hochfrequenz. Jeder kann an Hand des Spektrums der elektromagnetischen Wellen selbst abschätzen, wieviel Fernsehsender im UKW-Frequenzbereich bestenfalls Platz hätten. Davon müssen aber der UKW-Rundfunk, der UKW-Verkehrsfunk und andere Funkdienste im UKW-Bereich noch abgezogen werden.

Dieser Problemkreis verliert allerdings etwas von seiner Schärfe, wenn man weiß, daß sich ultrakurze Wellen geradlinig wie das Licht ausbreiten und auch in höheren Luftschichten im allgemeinen keine Ablenkung erfahren. Dadurch ist, entsprechend Sendeleistung und Höhe eines UKW-Senders, dessen Reichweite bedeutend geringer als die anderer bekannter Wellenbereiche. Es ist dabei sogar möglich, mehrere auf genau der gleichen Wellenlänge arbeitende Sender mit völlig verschiedenen Programmen zu modulieren, wenn sie nur weit genug voneinander entfernt arbeiten. Sie würden sich gegenseitig nicht stören.

Daraus ergibt sich, daß künftige Trägerfrequenzen höher als die bisherigen liegen werden. Unterhalb des Bereiches der Zentimeterwellen suchen zu wollen ist aussichtslos. Diese Frequenzbereiche sind so weit erforscht, daß mit Sicherheit kein Gewinn zu erwarten ist. Andererseits bringt der Übergang in den Bereich der Millimeterwellen nur etwa eine Zehnerpotenz mehr »Platz« für neue Übertragungskanäle.

Dringt man aber über den Bereich des sichtbaren Lichtes hinaus in das Wellenspektrum vor, so bedeutet das Gefahr für Gesundheit und Leben. Ultraviolette Strahlen rufen bereits empfindliche Schäden hervor, die uns als Sonnenbrand in kleiner Auswirkung bekannt sind. In

Spektrum der elektromagnetischen Wellen

Wellenlänge im Vakuum	Frequenz in Hertz (Hz)			
1 fm (10^{-15} m)	10^{23}	kosmische Höhenstrahlung	Temperaturstrahlung Atom- u. Molekülspektrum	
10 fm (10^{-14} m)	10^{22}			
100 fm (10^{-13} m)	10^{21}			
1 pm (10^{-12} m)	10^{20}	Gammastrahlung		
10 pm (10^{-11} m)	10^{19}			
100 pm (10^{-10} m)	10^{18}	Röntgenstrahlung		
1 nm (10^{-9} m)	10^{17}			
10 nm (10^{-8} m)	10^{16}	Ultraviolett		
100 nm (10^{-7} m)	10^{15}			
1 μ m (10^{-6} m)	10^{14}	sichtbare Strahlung (Licht)		
10 μ m (10^{-5} m)	10^{13}			
100 μ m (10^{-4} m)	$10^{12} = 1$ THz	Infrarot		
1 mm (10^{-3} m)	10^{11}			
1 cm (10^{-2} m)	10^{10}	Satellitennachrichtensysteme, Radar		Hochfrequenz
10 cm (10^{-1} m)	$10^9 = 1$ GHz Fernsehen (UHF)			
1 m (10^0 m)	10^8	Ultrakurzwellen (VHF)		
10 m (10^1 m)	10^7	Kurzwellen		
100 m (10^2 m)	$10^6 = 1$ MHz Mittelwellen			
1 km (10^3 m)	10^5	Langwellen		
10 km (10^4 m)	10^4			
100 km (10^5 m)	$10^3 = 1$ kHz Sprache und Musik	Niederfrequenz		
1 Mm (10^6 m)	10^2		technischer Wechselstrom	
10 Mm (10^7 m)	10^1			
100 Mm (10^8 m)	$10^0 = 1$ Hz			

weit stärkerem Maße zerstören Röntgen- und Gammastrahlen die lebenden Zellen. Richtig dosiert, werden sie allerdings, z. B. in der medizinischen Diagnostik und Therapie und bei der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung, genutzt – natürlich unter strengen Sicherheitsvorkehrungen. Die Reichweite dieser kurzwelligen Strahlen ist aber – in Abhängigkeit von der Intensität der Strahlungsquelle – sehr gering. Schon die Luftmoleküle stellen für sie ein beträchtliches Hindernis dar.

Einen Ausweg könnte also der optische Bereich mit seinem infraroten Nachbargebiet sein. Mit der Lasertechnik gibt es heute schon das geeignete Übertragungsverfahren, die entsprechenden Sender und Empfänger und mit den Lichtleitern die passenden Übertragungsleitungen. Die Ausbreitung des Laserlichtes in der Atmosphäre bleibt aber von den jeweiligen Wetterverhältnissen nicht unbeeinflusst. Zudem führen Turbulenzen in der Luft, die durch örtliche Temperaturunterschiede entstehen, zu Brechzahlchwankungen und damit zur ständigen Auslenkung des hochgradig gebündelten Laserstrahls. Deshalb wandte sich das Interesse vieler Wissenschaftler der Ausbreitung von Laserlicht in geschlossenen Anordnungen zu.

Eine Möglichkeit, Licht definiert und unabhängig von den wechselnden Einflüssen der Atmosphäre fortzuleiten, stellt die Lichtleitertechnik dar. Mit ihr wurden jahrelang Erfahrungen gesammelt. Inzwischen sind brauchbare Übertragungskanäle für den neuen Informationsträger Licht entwickelt worden. Bei einer solchen Übertragung besteht das Übertragungsmedium aus hunderttausend und mehr sehr dünnen gebündelten Fäden aus Glas oder textilen Fasern, von denen jede einzelne einen kleineren Durchmesser als das menschliche Haar hat. Ein einziger Laserstrahl vermag z. B. 10 Milliarden Telefongespräche gleichzeitig zu übertragen. Allein diese Tatsache beweist die Zukunftsträchtigkeit der Lichtleitertechnik.

Vom Standpunkt der Materialökonomie muß außerdem erwähnt werden, daß 1 g Glasleitung zur Übertragung der Lichtwellen etwa 10 kg Kupferkoaxialkabel ersetzen kann.

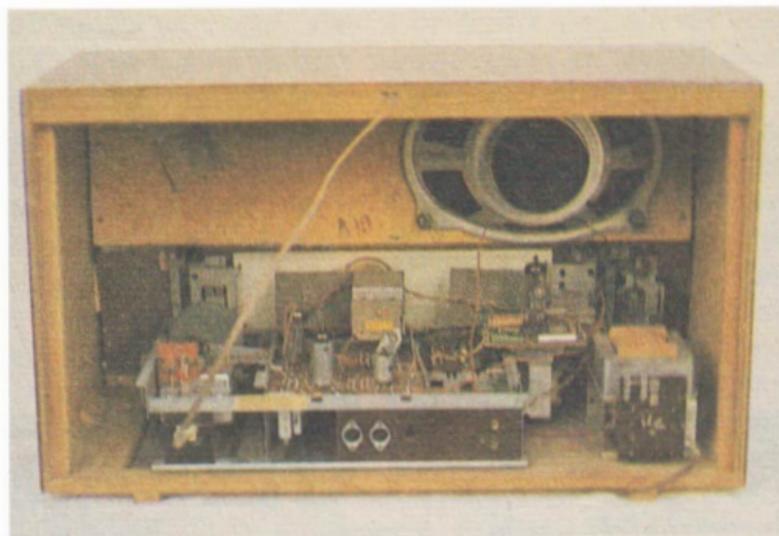
So imposant auch manche Laborergebnisse sein mö-

gen, für die Praxis sind noch viele Fragen zu klären. Jedoch besteht unter Fachleuten darüber kein Zweifel, daß Lichtleiter-Nachrichtensysteme eine Zukunft haben und mit ihnen viele Probleme der Nachrichtenübertragung gelöst werden können. Das Anfangsstadium der dazu notwendigen Arbeiten ist überwunden. Erste Übertragungssysteme funktionieren und wurden bereits der Öffentlichkeit vorgestellt. Dennoch bleibt den Physikern und Technologen noch viel zu tun, bevor die Monteure – scherzhaft gemeint – anstatt zum Lötkolben zur Lupe greifen müssen. Aber auch in einer künftigen »verkabelten« Stadt werden unsere Rundfunk- und Fernsehgeräte nicht überflüssig sein. Sie können ohne viel Aufwand und mit Hilfe der Mikroelektronik an die neuen Übertragungsverfahren angepaßt werden.

Auf dem Gebiet der Unterhaltungselektronik werden Geräte zu erwarten sein, die sich auf weite Sicht in der technischen Grundkonzeption vom derzeitigen Angebot zwar nicht wesentlich unterscheiden, aber einen bedeutend höheren Komfort und eine weitaus höhere Zuverlässigkeit aufweisen. Die Verbesserung des Gebrauchswertes wird vornehmlich durch den verstärkten Einsatz mikroelektronischer Bauelemente erreicht.

Wenn man sich die »Innereien« eines Rundfunkgerätes ansieht, dann deutet nichts mehr auf die »Drahtverhaue« früherer Empfängertypen hin. Von der ehemals säuberlichen Parallelverdrahtung bis zur Leiterplattentechnik, von flaschengroßen Röhren bis zum Transistor haben die Rundfunkgeräte alle bisherigen Entwicklungsstufen der Elektronik durchlebt.

In den vergangenen Jahren wurde vor allem die Qualität elektroakustischer Empfangsgeräte stark verbessert. Zur Kennzeichnung solcher heimelektronischen Geräte der Spitzenklasse spricht man auch von Hi-Fi-Qualität. Das Kürzel Hi-Fi steht für das englische »High Fidelity« und bedeutet: hohe Klangtreue. Hi-Fi ist damit ein Qualitätsbegriff der Mehrkanaltechnik, der in vielen Ländern – leider nicht einheitlich – standardisiert wurde und die hohen Anforderungen an den gesamten Komplex der Tonübertragung und -wiedergabe einschließt. Dieser Standard als Grundlage qualitätsgerechter Entwicklung



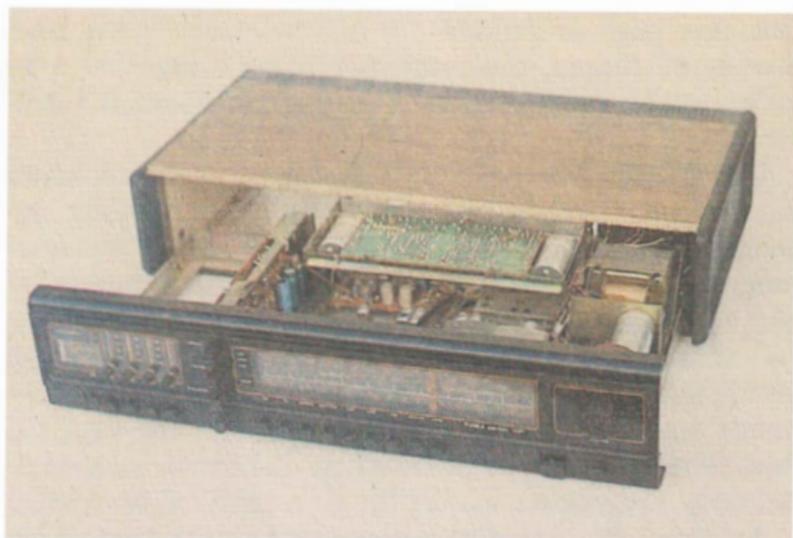
Blick in einen Rundfunkempfänger mit bereits gedruckter Schaltungstechnik und Elektronenröhren (links) sowie in ein modernes Hi-Fi-Stereosteuergerät (rechts)

und Produktion von Hi-Fi-Geräten umfaßt UKW-Empfänger ebenso wie Heimtonbandgeräte und Lautsprecher. Er bezieht sich auf Ausgangsleistung und Klirrfaktor, die möglichst unverfälscht zu übertragenden Frequenzbereiche der Gesamtanlage wie auch derjenigen ihrer Bestandteile bis hin zu den Anschlußwerten.

Welcher Trend zeichnet sich in der weiteren Entwicklung der Unterhaltungselektronik ab?

Dank der weiteren Entwicklung mikroelektronischer Bauelemente werden Steuergeräte für die Heimelektronik entwickelt, die zu immer höheren Gebrauchswerteigenschaften der Rundfunk- und Fernsehgeräte führen. So werden seit einiger Zeit Rundfunkgeräte mit einer völlig neuartigen Variante einer komfortablen Senderwahlangeboten. Beim Suchvorgang wandert ein Lichtpunkt als Skalenzeiger über 34 nebeneinanderliegende Leuchtdioden. Die Steuerung der Dioden wird mittels eines Drehknopfes von drei integrierten Schaltkreisen realisiert.

Wieder einmal beginnt ein Stück Mechanik unserer Rundfunkgeräte Museumsreife zu erlangen – dank der



Fortschritte der Mikroelektronik. Überhaupt wurde mit Beginn der achtziger Jahre in verstärktem Maße auf den Einsatz mikroelektronischer Schaltkreise in der Rundfunkindustrie orientiert. Dabei wird auf die Realisierung von Gerätefamilien in Form von Modulsystemen (Bausteine) hingewiesen. Je nach Kombination der Modulsysteme lassen sich qualitativ hochwertige Geräte unterschiedlicher Preisklassen herstellen. Das gewährleistet den Einsatz spezifischer mikroelektronischer Bauelemente in hoher Stückzahl und damit trotz besserer Gebrauchswerte sinkende Gesamtkosten. Zugleich können dabei auch die individuellen Käuferwünsche Berücksichtigung finden.

Neben den vielen überzeugenden Vorteilen des Einsatzes von integrierten Schaltkreisen in der Konsumgüterelektronik gibt es aber auch Nachteile dort, wo sich die Kennwerte gegenüber Lösungen mit diskreten Bauelementen verschlechtern oder ein Zusatzaufwand in Kauf genommen werden muß. Niederfrequenzverstärker, die Signal und Leistung für die Lautsprecher liefern, gestatten nur mittelmäßige Werte hinsichtlich Fremdspannungsabstand, Aussteuerbarkeit und Klirrfaktor, wenn sie aus Festkörperschaltkreisen bestehen. In Hi-Fi-Geräten sind sie deshalb nur bedingt einsetzbar. Neue schaltungstechnische Lösungen oder spezifische Technologien wer-

den aber auch in Zukunft zu mikroelektronischen Bauelementen führen, die insgesamt bessere Eigenschaften aufweisen als die derzeit noch diskret aufgebauten Schaltungen.

Die künftigen Rundfunkgeräte werden mehr als heute durch einen Aufbau mit integrierten Schaltkreisen gekennzeichnet sein, wobei ihr größter Anteil der Verbesserung der Zuverlässigkeit und der Komforterhöhung dienen wird. Dazu zählen Sensortasten, um die störanfälligen mechanischen Schaltelemente zu ersetzen, drahtlose Fernbedieneinrichtungen für mehr als zehn Bedienfunktionen vorwiegend mittels Infrarot-Lichtquellen und, bei Realisierung einer automatischen Sendersuch-Laufeinrichtung, Programmspeicher für etwa zehn UKW-Sender.

Automatische Feinabstimmung und automatische Umschaltung von Mono- auf Stereobetrieb bei empfangswürdigem Stereosignal sowie eine entsprechende Anzeige gehören bereits seit längerer Zeit zur Standardausrüstung von Stereo-Empfängern. Bei neueren Gerätetypen kommen eine automatische Rauschunterdrückung und eine mikrorechnergesteuerte Feinabstimmung hinzu.

International ist darüber hinaus ein Trend zu einer digitalen Frequenzanzeige für alle Wellenbereiche erkennbar, wodurch die Sendersuchskala überflüssig wird. Bei bekannter Sendefrequenz eines Senders wird es dadurch leichter, die entsprechende Frequenz sicher zu finden. Dazu ist ein elektronischer Baustein nötig, der im Empfänger eingestellte und empfangene Frequenzwerte ermittelt und deren Differenz als Empfangsfrequenz auf einer Flüssigkristallanzeige, wie sie von Digitaluhren bekannt ist, darstellt.

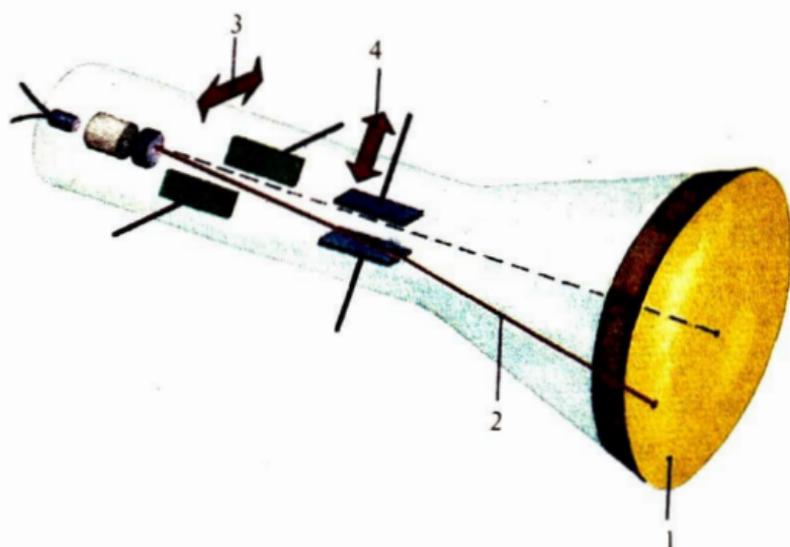
Mit dem weiteren Einsatz integrierter Schaltkreise wird sich das Aussehen von Rundfunk-, Tonband- und anderen elektronischen Geräten sicherlich weiter verändern. Mit hochintegrierten Schaltkreisen wurden bereits Musterempfänger verwirklicht, deren größte Bauelemente die Bedienknöpfe sind – den Lautsprecher einmal ausgeklammert.

Fernsehtechnisches in Gegenwart und Zukunft

Durch Wände hindurch, über Berge hinweg in die Ferne sehen zu können, ist eine alte Wunschvorstellung des Menschen. In vielen Märchen und Sagen ist uns diese Illusion überliefert worden. Was einst als Zauberspiegel Phantasieprodukt war, ist heute alltägliche Wirklichkeit. Modernes Fernsehen – dahinter verbirgt sich eine gewaltige Leistung von Wissenschaft und Technik auf dem Gebiet des Funkwesens.

Die ersten technischen Anzeichen des Fernsehens lassen sich bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts zurückverfolgen. Der Morseapparat hatte gerade seine allgemeine Anerkennung gefunden, da schlug im Jahre 1843 der schottische Uhrmacher Alexander Bain (1810–1877) ein Verfahren vor, Bilder in Zeilen und diese Zeilen wiederum in Punkte zu zerlegen. Sein Vorschlag sah weiterhin vor, den momentanen Helligkeitswert des einzelnen Punktes als Signal zu übertragen, um diese Werte dann zeitgleich und in analoger Reihenfolge Punkt für Punkt zum Gesamtbild wieder zusammensetzen. Damit enthielt diese Idee schon wesentliche Merkmale des heute gültigen Fernsehprinzips: Zeilenrasterung und Gleichlauf der Bildsignale beim Sender und Empfänger.

Zahlreiche Vorschläge im letzten Viertel des 19. Jahrhunderts bauten – Bains Idee aufgreifend – bei der Erfassung der Helligkeitswerte auf der Verwendung der Fotoelemente auf, deren erste Vertreter die Selenzellen waren. Sie wandeln bekanntlich wie die Fotozellen Licht bzw. Lichtschwankungen in elektrische Signale um. Bei ausreichender Intensität und Verstärkung kann dann beispielsweise die Helligkeit einer Lampe gesteuert werden.



Mit der Kathodenstrahlröhre entstanden die Voraussetzungen zur voll-elektronischen Bildübertragung. Ein Fernsehbild aus dem Jahre 1931 zeigt die vom Elektronenstrahl »geschriebenen« Zeilen und Bildpunkte. 1 – fluoreszierende Schicht; 2 – abgelenkter Elektronenstrahl; 3 – Ablenkung horizontal; 4 – Ablenkung vertikal

Aber entweder waren die Vorschläge mit den damaligen technischen Mitteln nicht zu verwirklichen, oder ihre Realisierung war finanziell und materiell zu aufwendig.

Eine dem technischen Stand seiner Zeit angemessene Erfindung war das »dielektrische Teleskop« des Studenten Paul Nipkow (1860–1940), eine spiralgelochte Bildzerlegungsscheibe. Die Löcher in der nach dem Erfinder benannten Nipkowscheibe sind spiralförmig genau um Lochbreite gegeneinander versetzt. Dreht sich die Scheibe, wird dadurch der von den Löchern erfaßte Bildausschnitt Zeile für Zeile zerlegt. Eine Bildzerlegung in z. B. 180 Zeilen setzt folglich 180 Löcher voraus. Die durch die Löcher hindurchdringenden Lichtschwankungen – entsprechend den Helligkeitsunterschieden des Bildes – werden von einer Fozelle in elektrische Spannungsimpulse umgewandelt, diese einer Trägerfrequenz aufmoduliert und gesendet. Rhythmus und Stärke des Sendesignales steuern im Empfänger die Helligkeit einer



Glühlampe, wobei das Hell und Dunkel der Lampe den Licht- und Schattenverhältnissen auf dem Bild in der Sendestation entspricht. Damit die in dem Lampenflimmern verborgene Bildinformation wieder sichtbar gemacht werden kann, muß die Nipkowscheibe im Empfänger genau die gleiche Drehzahl wie im Aufnahmestudio besitzen.

Die Trägheit des Auges gestattet es schließlich, die Einzelinformationen als Gesamtbild zu erfassen. Die Sicherung der Synchronität, des Gleichlaufs zwischen den Sende- und Empfängervorgängen, war damals aber noch recht problematisch. Oft mußte der Daumen als Bremse zu Hilfe genommen werden, um die Drehzahl der Lochscheibe im Empfänger genau mit jener in der Sendestation in Übereinstimmung zu bringen.

Die erste öffentliche Vorführung des Fernsehens auf der Grundlage der Nipkowscheibe erlebten die Besucher der 5. Großen Rundfunkausstellung in Berlin im Jahre 1928. »Jedem der Fernseher neben das Radio!«, »Oper und Fußballplatz im Haus« – mit diesen oder ähnlichen Schlagzeilen begleitete in jenen Jahren die Presse den bescheidenen Anfang des Fernsehens. Bei einer Bildgröße von anfangs 6 cm × 8 cm, 30 Zeilen je Bild und 12,5 Einzelbildern je Sekunde waren das aber Übertreibungen.

In der Diskussion um die Einführung des allgemeinen Fernsehfunks hatte sich schließlich mehr und mehr offenbart, daß die mechanisch-elektrische Bildübertragung selbst bei bescheidenen Ansprüchen ungenügend und eine Sackgasse war. Dafür gab es vielerlei Ursachen. Das neue Funkmedium war auf die vom Rundfunk benutzten Lang- und Mittelwellen angewiesen, denn Kurz- und Ultrakurzwellen waren damals in der Übertragungstechnik noch unbekannt. Den Fernsehfunk jedoch über den Frequenzbereich der Mittelwellen einzuführen hätte für nur wenige ein Bildprogramm, aber für viele Rundfunkhörer aus den Lautsprechern das »Tuten« des Bildsenders bedeutet. Da die Übertragung der Fernsehsignale nur mit breiten Kanälen sinnvoll ist, wären bis dahin bewährte Kanäle der Rundfunkstationen durch das Frequenzspektrum eines Fernsehsenders »überdeckt« worden.

Den bahnbrechenden geschichtlichen Augenblick für die Entwicklung der modernen Fernsehtechnik erlebten am 14. Dezember 1930 deutsche Wissenschaftler um den damals 23jährigen Physiker Manfred von Ardenne. Ihnen gelang es an jenem Tag, ein Bild mittels einer Katodenstrahlröhre vollelektronisch wiederzugeben.

Bis in die Gegenwart hat sich diese Form der elektronischen Bildwiedergabe behauptet. Wie zur Anfangszeit der Bildwiedergaberöhren erscheinen auch auf unseren heutigen Bildröhren die Nachrichtensprecher oder Schauspieler durch die präzise Steuerung eines Elektronenstrahls im Vakuum. Dabei wird der Elektronenstrahl so beeinflusst (abgelenkt), daß er wie ein schneller Bleistift die Bildpunkte – je nach Hell und Dunkel am Aufnahmeobjekt – zu Zeilen und Zeilen zu Bildern zusammensetzt. Das geschieht nacheinander und 25mal in der Sekunde. Unser Auge ist viel zu träge, um in einem bestimmten Augenblick ausmachen zu können, welcher Bildpunkt gerade vom Elektronenstrahl gezeichnet wird. Durch diese Überlistung der Natur erhalten wir den Eindruck eines geschlossenen Bildes.

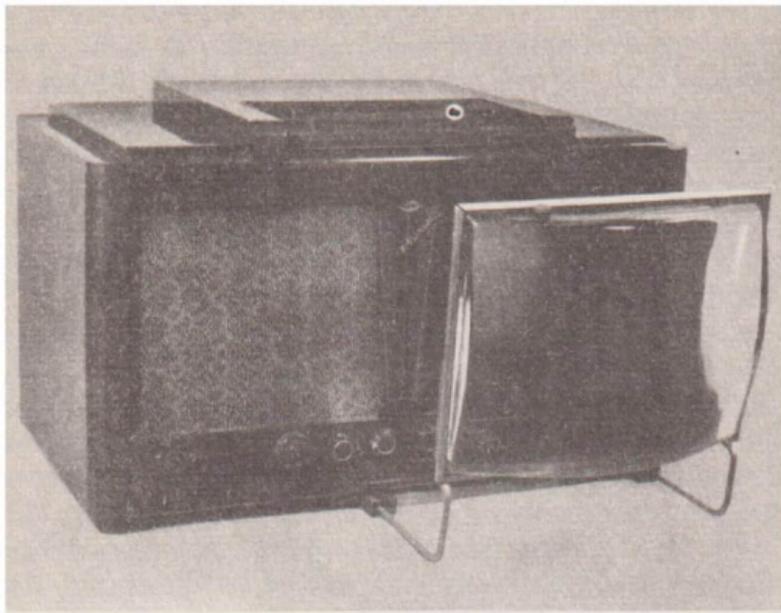
Mit der Katodenstrahlröhre war empfangsseitig die Voraussetzung geschaffen worden, in die Hochfrequenzbereiche vorzustoßen. Denn eine solche Katodenstrahlröhre wandelt zwar elektrische Impulse in optische Si-

gnale um, eignet sich aber nicht zur Umwandlung von optischen in elektrische Informationen. Das heißt, sendeseitig war zur Aufnahme vorerst noch die Bildzerlegungsscheibe aktuell. Als man jedoch 1937 um der Bildqualität willen zur 441-Zeilen-Norm übergang, mußte die Drehzahl einer speziellen Spirallochscheibe auf 10 500 Umdrehungen je Minute erhöht werden. Dieser technisch komplizierte Schritt besiegelte schließlich die Ära der mechanischen Abtastverfahren.

Um eine Ahnung davon zu bekommen, wie kompliziert und gespenstisch es zu jener Zeit während einer Direktsendung auf der Fernseh Bühne zugeht, braucht man sich nur vorzustellen, daß sich alles in völliger Dunkelheit abspielen mußte. Nur der Lichtpunkt der Nipkowscheibe huschte über den Szenenausschnitt hinweg. Anfangs ging man dieser Schwierigkeit aus dem Wege, indem z. B. ein Fernsehspiel zunächst gefilmt wurde. Danach wurde der Film mit Hilfe der Lochscheibe abgetastet und über den Sender ausgestrahlt. Aber auch das konnte nur eine Übergangslösung sein. Künstlern, Regisseuren, Technikern – allen war klar: Eine Fernsehkamera mußte universell – also im Fußballstadion wie auch im Fernsehstudio bei den unterschiedlichsten Beleuchtungsverhältnissen – einsetzbar sein.

Die erste Bildaufnahmeröhre, die optische Bilder voll-elektronisch in elektrische Signale umwandeln konnte, wurde um das Jahr 1934 entwickelt. Sie erhielt die Bezeichnung Ikonoskop. Vier Jahre danach wurde das mechanische Bildabtastverfahren endgültig aus der Fernsehaufnahmetechnik verbannt. Zuvor hatte es allerdings einen letzten Höhepunkt bei dem Versuch erfahren, das Fernseherlebnis durch Farbe zu bereichern. Das war im Jahre 1936. So primitiv die technischen Mittel waren, so schlecht war aber auch die Bildqualität. Für Farbfernsehübertragungen war die Zeit noch nicht herangereift.

Das Arbeitsprinzip des Ikonoskops ist in den letzten Jahrzehnten beträchtlich verbessert worden. Andere Lösungsprinzipien kamen hinzu. Heute gibt es Fernsehkameras, deren Empfindlichkeit die des menschlichen Auges übertrifft, und Aufnahmeröhren, die kaum größer als ein Kugelschreiber sind.



Längst technische Geschichte: der Fernsehempfänger »Leningrad« aus dem Sachsenwerk Radeberg besaß eine 70-Grad-Bildröhre und konnte mit einer wassergefüllten Vorsatzlinse bestückt werden, um das Bild von nur 13,5 cm × 18 cm zu vergrößern (1951/52)

Mittlerweile ist das Fernsehen über das heimische »Fernkino« hinaus in so viele Bereiche unseres Lebens vorgedrungen, daß es schwerfällt, alle Anwendungsgebiete aufzuzählen. Das Fernsehen begegnet uns mehr und mehr in der Industrie zur Überwachung von Produktionsabläufen wie auch in Hörsälen der Hochschulen, wo es gilt, komplizierte Vorgänge einem großen Hörerkreis zu veranschaulichen. Ebenso finden wir es zur Überwachung verkehrsreicher Straßen sowie zu Kontrollzwecken in der Raumfahrt oder zur aktuellen Information über wichtige Ereignisse bis in den letzten Winkel der Erde.

Ein bedeutsamer Schritt vorwärts zur rationellen Fertigung von Fernsehempfangsgeräten war der Einsatz der gedruckten Schaltungstechnik, die heute generell in allen elektronischen Geräten angewandt wird. Die Erhöhung der Zuverlässigkeit und damit der Gebrauchswerteigenschaften wurde durch die Verwendung von Halbleiterbauelementen erreicht. Selbstregelnde Automaten für

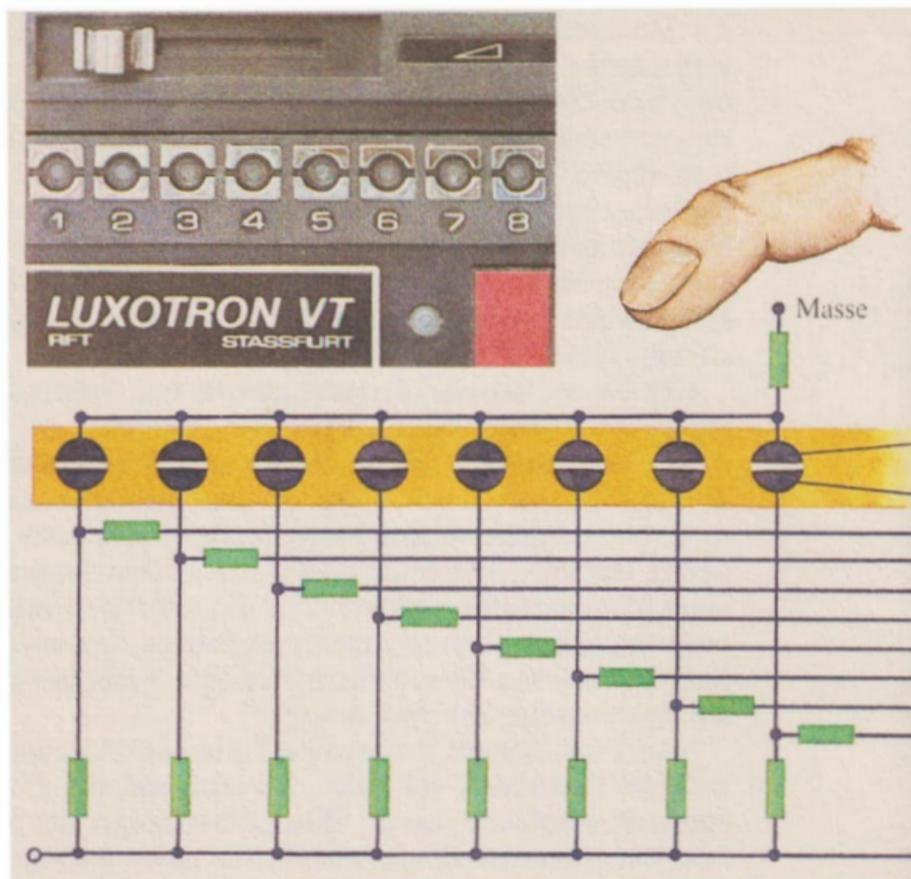
die Horizontal- und Vertikalsynchronisation des Bildes verbesserten den Bedienkomfort. Äußerlich kann man das daran feststellen, daß Fernsehgeräte jüngerer Produktion mit weit weniger Stell- bzw. Bedienknöpfen auskommen als die fernsehtechnischen Veteranen. Die Transistorisierung der Fernsehgeräte ermöglichte schließlich die Einführung der Vorprogrammierung der Senderwahl. Die hochintegrierten Schaltkreise führten zur Nutzung einer spezifischen Sensortechnik sowie zur weiteren Automatisierung verschiedener Bedienfunktionen.

Um die elektrische Kontaktgabe in den Schaltungen der Fernsehempfänger zu verbessern, ersetzten die Hersteller mechanische Schaltteile durch elektronische Berührungsschalter – vor allem bei der Bereichsumschaltung, der anfälligsten Kontaktstelle. Bei der Sensor- oder besser Berührungstechnik genügt die leichte Berührung eines Kontaktfeldes, und es erfolgt die sofortige Umschaltung von einem vorprogrammierten Sender zum anderen. Bei einer solchen Umschaltung wird auch nicht das kleinste mechanische Teilchen bewegt.

Man kann sich im einfachsten Falle zwei voneinander isolierte Elektroden vorstellen, die sich mit der Fingerkuppe überbrücken lassen. Das Leitvermögen der Haut bzw. der Hautwiderstand ermöglichen einen geringen, in jedem Falle völlig ungefährlichen Stromfluß, der z. B. zur Verstimmung eines Schwingkreises benutzt werden kann. Schließlich kommt es zur Ansteuerung einer elektronischen Schaltung, mit deren Hilfe der gewünschte Sender eingestellt wird.

Daß die Berührungselektronik nicht vor den siebziger Jahren Verbreitung gefunden hat, ergab sich aus wirtschaftlichen Erwägungen. Eine Vielzahl von Transistoren wäre nötig gewesen, um derartige Berührungsschalter für mehrere Programme zu realisieren. Erst die moderne Mikroelektronik gestattete ökonomisch vertretbare Lösungen zur Verbesserung des Bedienkomforts und der Zuverlässigkeit sowie zur Realisierung von Automatikfunktionen.

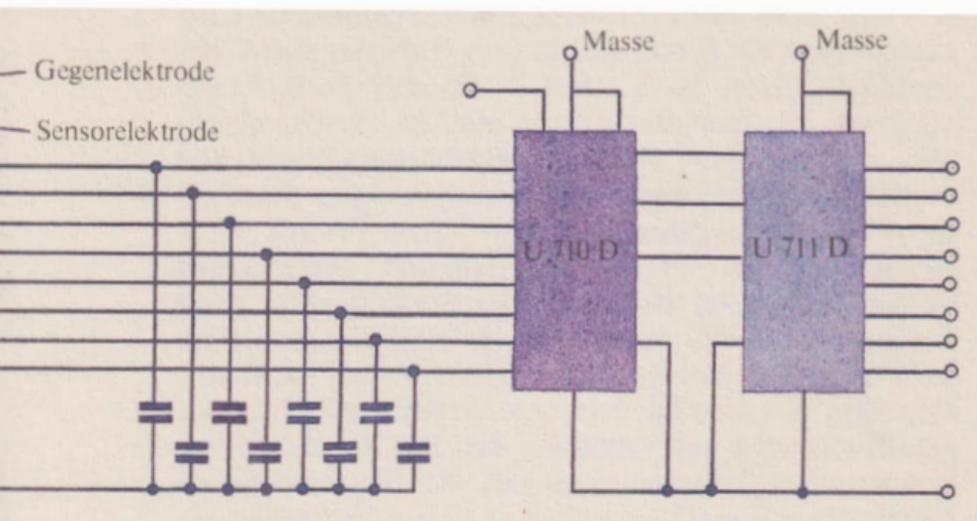
Auch eine drahtlose Fernbedienung ist zweifellos eine bequeme Sache. Mit ihr wurde es möglich, die Inbetriebnahme, Programmwahl, Lautstärke, Helligkeit und Be-



triebsbereitschaft über 8 bis 10 m Entfernung drahtlos zu steuern. Zunächst hatte man das mit Hilfe des Ultraschalls bewerkstelligt. Aber die Ultraschall-Empfangeinrichtung reagierte manchmal nicht nur auf die Befehle des Ultraschallsenders, sondern auch auf akustische Signalquellen aus der Umgebung, wenn sich deren Frequenz im Toleranzbereich des Ultraschallempfängers bewegte. Dadurch sank der Gebrauchswert einer derartigen Fernbedienung. Modernere Fernbedienungseinrichtungen übertragen die Befehle mittels Infrarotlicht. Allerdings sind auch hierbei zusätzliche Steuerschaltungen im Fernsehgerät erforderlich. Eine Beeinflussung durch Infrarotquellen der Umgebung kann durch bestimmte Impulskode-Modulationen ausgeschlossen werden.

Durch Anwendung der Mikroelektronik wird es mög-

In vielen Geräten besonders der Konsumgüterelektronik wird die stör anfällige Tastenmechanik durch spezielle integrierte Schaltkreise (IS) der Sensortechnik ersetzt. Während der IS U 710 D der binären Kodierung des getasteten Kanals dient, werden mittels des IS U 711 D die Abstimmspannung sowie die Spannung für die Umschaltung und die Anzeigelampen gesteuert.



lich werden, den Befehlsvorrat der einzelnen Infrarotsender so zu erweitern, daß sie sowohl für Fernseh- als auch für Rundfunkgeräte verwendbar werden.

Angesichts der vielfältigen Verbesserungen und Neuerungen im Bereich der Unterhaltungselektronik stiegen auch die Erwartungen auf ein Gerät zur Aufnahme und Wiedergabe von Fernsehsendungen für den Heimgebrauch. Die beim Magnettonbandgerät bekannte Technik zeigte zwar ein grundsätzliches Prinzip, konnte den Anforderungen dafür jedoch nicht genügen. Während bei der Tonspeicherung die Bandbreite um 15 kHz liegt, bedarf die Speicherung von Fernseh- bzw. Videosignalen eines Frequenzumfangs von mindestens 3 bis 5 MHz – je nach Qualitätsanspruch. Aus diesem Umstand und weiteren physikalischen Bedingungen ergibt sich die Forde-

rung, zwischen einem magnetischen Informationsträger und dem Aufnahme- bzw. Wiedergabekopf eine Geschwindigkeit zu realisieren, die fast 200mal höher als beispielsweise bei einem Kassettentonbandgerät liegt. Würde bei der Videosignalspeicherung das Längsspuraufzeichnungsverfahren eingesetzt, so hätte das einen enormen Verbrauch des magnetischen Bandmaterials erfordert, ganz abgesehen von den schwierigen mechanischen Problemen des Bandtransportes.

In den Fernsehstudios, wo man längst nicht mehr allein den Film zur Speicherung von Bildinformationen nutzt, wurde die Speicherdichte der Videomagnetbänder zunächst dadurch beträchtlich erhöht, daß die Bildinformationen sprossenartig, nahezu quer zur Transportrichtung, auf rund 5 cm breiten Magnetbändern gespeichert werden. Vor allem wegen der insgesamt hohen Anschaffungs- und Betriebskosten konnte diese Technik nicht vorbehaltlos für den privaten Gebrauch übernommen werden. Zudem ist die aufwendige Studioqualität keine Bedingung für ein anspruchsvolles elektronisches Bildschirmkino aus der eigenen »Konserve«. Die im letzten Jahrzehnt in vielen Ländern durchgeführten Forschungsarbeiten sowohl zur Erhöhung der Speicherdichte von magnetischen Informationsträgern für die Bewältigung des enormen Signalfusses als auch bezüglich des speziellen Magnetkopfes und der Elektronik schufen schließlich die Voraussetzungen, um künftig breiten Bevölkerungsschichten den Videorecorder zugänglich zu machen.

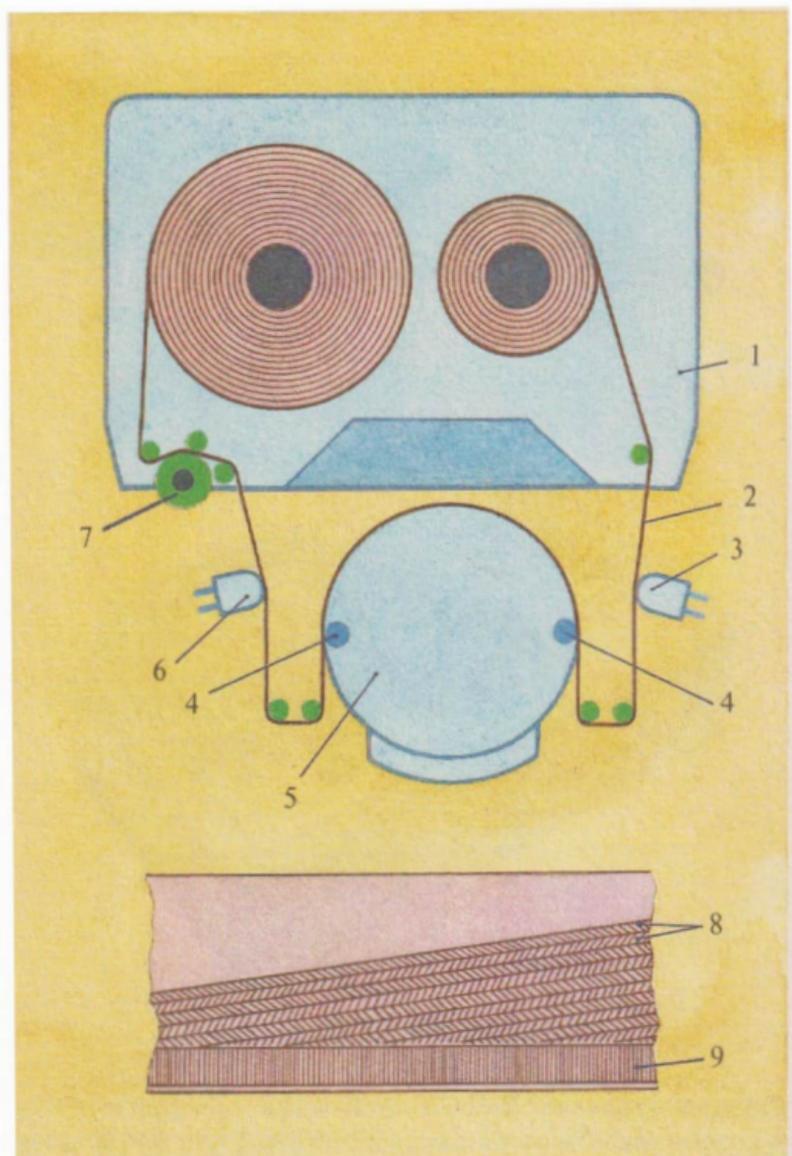
Aus verschiedenen Lösungsvorschlägen hat sich die Schrägqueraufzeichnung der Videosignale für den Heimgebrauch durchgesetzt. Dabei werden die Bildinformationen schräg und parallel dicht nebeneinander auf dem Magnetband gespeichert, wodurch die geforderte Steigerung der Speicherdichte erreicht wird. Dagegen erfolgt die Aufzeichnung des Begleittones auf einer separaten Spur in der von der Tonbandgerätetechnik bekannten Weise nacheinander in Bandtransportrichtung.

Schrägspuraufzeichnung und einige Kompromisse gegenüber der Videospeichertechnik in den Fernsehstudios ermöglichen es heute, die Magnetbandbreite bis auf einen reichlichen Zentimeter zu reduzieren und die



Videospeichergerät mit Kontrollbildschirm und Aufnahmekamera zur Aufnahme und Wiedergabe eigener Video- und Tonbandproduktionen über das Heimfernsehgerät sowie auch von Sendungen der Fernsehstationen (japan. Produktion um 1971)

Transportgeschwindigkeit kaum größer als bei Magnettonbandgeräten zu gestalten. Um die dennoch notwendige, mit etwa 5 m/s erforderliche Relativgeschwindigkeit zwischen Videomagnetband und Magnetkopf zu realisieren, wird zusätzlich der Magnetkopf in Bewegung gesetzt. Zu diesem Zweck läßt man den magnetischen Informa-



Beispiele für die Videospeichertechnik: Prinzipaufbau des Laufwerkes eines Videokassettenrecorders und Schema des Spurbildes auf dem Videoband. 1 – Videokassette; 2 – Magnetband; 3 – Löschkopf; 4 – Videokopf; 5 – Kopftrommel; 6 – Kopf für Ton- und Synchronsignal; 7 – Transportrolle; 8 – Schrägspuraufzeichnung (zur Unterdrückung des »Übersprechens« bei enganliegenden Nachbarspuren durch unterschiedlichen Neigungswinkel der Spalten beider Videoköpfe); 9 – Tonspur.

tionsträger um eine Kopftrommel schleifen, an der ein oder zwei Magnetköpfe schnell rotieren.

Inzwischen werden international Videospeichergeräte für die Schwarzweiß- wie auch Farbfernsehtechnik angeboten, wobei der Einsatz von Videokassetten deren konstruktive Merkmale bestimmt. Zumeist sind sie auch für Zeitlupen- und Standbildwiedergabe eingerichtet. Die komplizierte Signalaufbereitung und die präzise Steuerung der Bewegungsabläufe sind bei vertretbarem Aufwand allerdings nur mit integrierten Schaltkreisen zu gewährleisten. Zur Zeit sind dafür etwa 20 bis 30 integrierte Schaltkreise und rund 150 diskrete Transistoren notwendig.

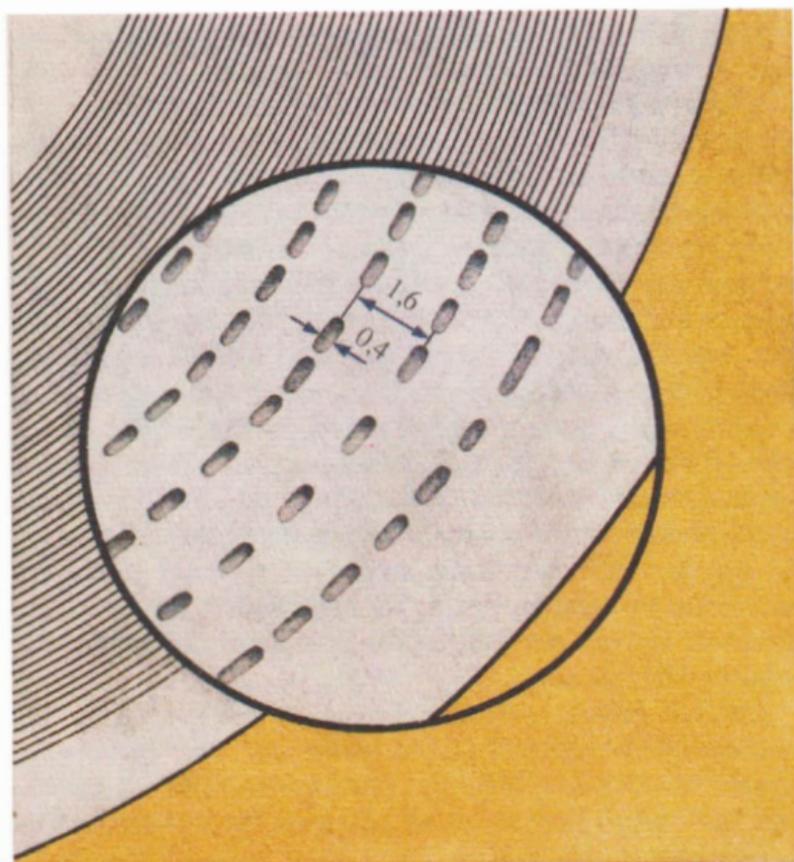
Die seit kurzer Zeit mögliche Digitalisierung elektrischer und elektronischer Funktionsaufgaben hat zu neuen Überlegungen auf dem Gebiet der Bildspeichertechnik geführt. Dieser Entwicklung liegt der Vorteil zugrunde, daß dabei lediglich zwischen zwei Signalzuständen unterschieden werden muß. Begünstigt wird die mögliche digitale Bild-, aber auch Tonspeicherung dadurch, daß zu ihrer Realisierung die insbesondere aus der elektronischen Rechentechnik bekannten Bauelemente, Systemkomponenten und Signalverarbeitungsverfahren schon vorliegen. Weitere Impulse verdankt die Videotechnik den Fortschritten der Halbleitertechnologie. Der Einsatz hochintegrierter Schaltkreise, die Regenerierbarkeit der Signale, wodurch das Fernsehbild bzw. die Fernsehaufzeichnung gegenüber vielen Störungen und Verzerrungen unempfindlich wird, sowie völlig neue Möglichkeiten der Signalspeicherung, wie sie z. B. vom Taschenrechner bekannt sind, räumen den Bestrebungen, zur digitalen Videotechnik überzugehen, reale Chancen für die Zukunft ein. Noch sind aber vielerlei Versuche und Untersuchungen nötig, bis eine technisch und ökonomisch vertretbare Lösung für den Konsumbereich angeboten werden kann.

Ähnlich gelagerte Probleme, wie sie bei der Videokassettenteknik auftreten, sind auch bei der Bildplatte, einem weiteren interessanten Speichermedium, zu beachten. Ihr Vorteil liegt in einer relativ einfachen Vervielfältigung und in der kurzen Zugriffszeit zu einer bestimm-

ten Programmstelle begründet, allerdings bei maximal einstündiger ununterbrochener Spielzeit – bis jetzt – und nicht löschbarer Speicherung. Aufgrund unterschiedlicher Zielstellungen in den Entwicklungsstätten sind auch hierbei verschiedene Systeme entstanden. Die besten Aussichten, einen breiten Interessentenkreis zu finden, scheint die optische Bildplatte zu haben.

In dem Maße, wie es gelingt, Weiterentwicklungen mikroelektronischer Schaltungen den speziellen Anforde-

Stark vergrößerte Prinzipdarstellung eines Spurbandes (Maße in μm) bei einer Bildplatte zur berührungslosen optoelektronischen Laserstrahlabtastung, deren Videoinformationen als digitale Signale in Form von etwa $0,1\ \mu\text{m}$ schwachen Vertiefungen gespeichert sind, wobei Länge und Abstand voneinander die kodierte Einzelinformation darstellen und eine Plattenumdrehung ein Vollbild ergibt (Durchmesser der Bildplatte: 30 cm; Spieldauer: 2 · 60 min)



rungen der Videospeichertechnik anzupassen, werden auch alle Vorteile der Schaltungsintegration – hohe Zuverlässigkeit, geringe Abmessungen, niedriger Leistungsbedarf, geringer Montageaufwand – wirksam werden.

Trotz der Miniaturisierung von Bauelementen ist das Fernsehgerät kaum kleiner geworden. Die Gerätetiefe hat sich zwar verändert, indem der Ablenkwinkel der Bildröhre von 70° auf 110° verändert wurde, so daß ein Fernsehempfänger nun ohne Schwierigkeiten in eine moderne Anbauwand des Wohnzimmers paßt. Auch die Masse und der Energiebedarf eines Fernsehapparates haben sich auf Grund der Bauelemente der modernen Elektronik beträchtlich verringert. Aber das größte Bauelement ist die Fernsehbildröhre geblieben; ihre Größe bestimmt nach wie vor die Abmessungen des Gerätes.

Es gibt bereits Vorstellungen und Versuche, die Bildröhre extrem flach zu gestalten oder den Bildschirm – von dem eigentlichen Empfangsteil getrennt – an die Wand zu hängen. Beispielsweise wäre es denkbar, das Katodenstrahlensystem nicht hinter dem Bildschirm, sondern seitlich davon anzuordnen. Die Elektronen müßten dann allerdings zusätzlich um 90° abgelenkt werden, um auf der lumineszenten Schicht ein Bild zeichnen zu können. Dieses Prinzip setzt jedoch solch aufwendige Ablensysteme voraus, daß der Vorteil einer flachen Bildröhre in Frage gestellt wird.

Eine völlig andere Möglichkeit für das »Ferschwandbild« wird aus der Tatsache abgeleitet, daß das Fernsehbild in Punkte und Zeilen gerastert ist. Wird jeder dieser Punkte durch eine winzige, annähernd trägheitslos steuerbare Leuchtdiode ersetzt – insgesamt wären dann bei unserer Fernsehnorm rund 450 000 solcher Dioden¹ erforderlich –, so entsteht ein Bildschirm, der nur wenige Millimeter dick ist. Damit die Dioden auch im richtigen Moment mit der gewünschten Helligkeit leuchten, bedarf es komplexer elektronischer Steuereinheiten, die nur mit modernsten mikroelektronischen Bauelementen effektiv realisiert werden können.

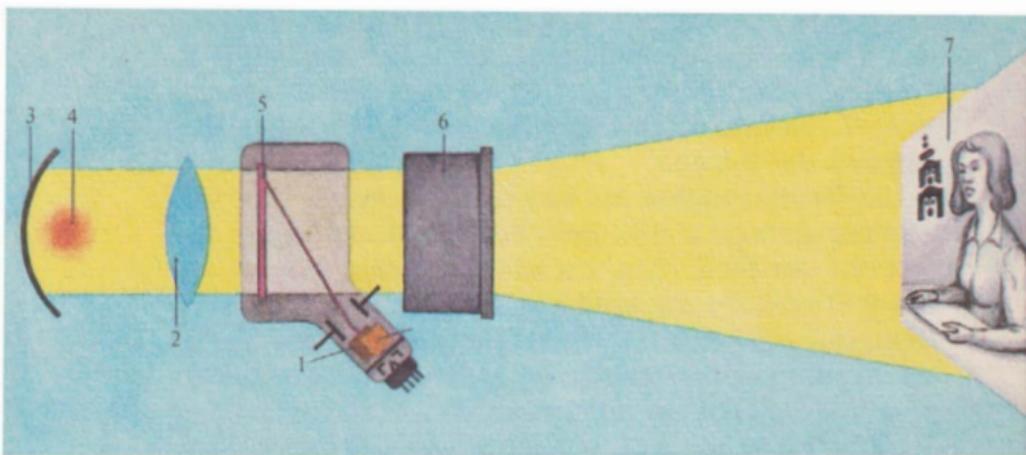
¹ Eigentlich sind es 520 800 Bildpunkte; einige Zeilen gehen jedoch, technisch bedingt, verloren.

Einen neuen Weg, extrem flache Bildschirme zu schaffen, erhoffen sich manche Fachleute von der intensiven Erforschung der sogenannten elektrooptischen Kristalle oder Flüssigkristalle. Dabei handelt es sich um eine kristalline Flüssigkeit, die sich unter bestimmten Bedingungen wie ein Kristall verhalten kann. Beim Anlegen eines elektrischen Feldes an solche hermetisch abgeschlossenen, flächenhaften Bauelemente erscheint die flüssige Substanz innerhalb des elektrischen Feldes infolge der Änderung des Brechungsindexes getrübt. So lassen sich den Flüssigkristallen sichtbare Informationen aufprägen. Als Anzeigeelemente elektronischer Uhren und kleiner Taschenrechner haben sie bereits Eingang in unsere Umwelt gefunden. Mit einer Ansprech- und Abklingzeit von etwa 50 Millisekunden sind sie jedoch noch viel zu träge, um in Form einer Matrixanordnung schnellbewegte Bilder aufzeichnen zu können.

Noch ist bis zur Produktionsreife solcher und anderer Lösungen ein gutes Stück Weges zurückzulegen. Das gilt für das Schwarzweiß- und noch mehr für das Farbfernsehen. Eine Ablösung der Bildröhre für den Schwarzweißfernseher oder der Lochmaskenröhre für die Farbbildwiedergabe wird nur durch eine qualitative Veränderung der Wiedergabegeräte möglich sein. Gegenwärtig und in naher Zukunft wird die Katodenstrahlröhre unangefochten die beste Lösung für die optische Informationswiedergabe bleiben.

Aber nicht nur die Länge der Bildröhre macht sich bei Gerätekonstruktionen als Nachteil bemerkbar. Häufig wird die begrenzte Bildgröße auch als störend empfunden. Unter normalen Wohnraumverhältnissen und bei einer verhältnismäßig kleinen Zuschauerzahl ist ein Bildformat mit der Diagonalen von 56 cm in den meisten Fällen ausreichend. Oft ist es aber wünschenswert, eine Fernsehsendung einem größeren Zuschauerkreis zu vermitteln. Denken wir nur an die Fernsehräume in Wohnheimen und Klubhäusern. Wer dort den hintersten Platz bekommt, wird sich in die Anfangszeiten des Fernsehens zurückversetzt fühlen.

Mit unseren herkömmlichen Katodenstrahlröhren ist dieses Problem allerdings nicht zu lösen. Ihre Größe ist



Bei der elektronischen Großbildprojektion (Prinzipdarstellung) wird meist eine starke äußere Lichtquelle für die Gewährleistung ausreichender Bildhelligkeit verwendet. Problematisch ist jedoch noch die Gestaltung der Signalplatte. 1 – Katodenstrahlensystem; 2 – Sammellinse; 3 – Spiegel; 4 – starke Lichtquelle; 5 – Signalplatte; 6 – Objektiv; 7 – Projektionsfläche

auf eine Bilddiagonale von etwa 67 cm beschränkt. Darüber hinaus ist es technisch nur mit erheblichem Mehraufwand möglich, das Volumen des »Vakuums« in der Röhre zu umhüllen. Das dafür erforderliche dicke Glas macht eine solche Bildröhre zu schwer.

Große Anstrengungen haben die Wissenschaftler und Fernsehtechniker in der Vergangenheit unternommen, um Fernsehbilder wie beim Film in einer Größe von mehreren Quadratmetern auf die Leinwand zu projizieren. Viele Verfahren sind beim Ringen um günstige Lösungen entstanden, angefangen von der einfachen optischen Vergrößerung des Bildes einer Katodenstrahlröhre bis hin zur Neuentwicklung von Röhren- und Lampensystemen. Sie alle sind unter dem Begriff »elektronisches Großprojektionsverfahren« oder »Projektorfernsehen« bekannt geworden. Daß wir solche Fernsehprojektoren nicht im Einzelhandel kaufen können, liegt nicht daran, daß es noch keine praktische Lösung gibt. Bis 1941 waren in Berlin neben mehreren öffentlichen Fernsehstuben mit Heimfernsehgeräten drei spezielle Fernsehtheater eröff-

net worden, die alle mit Fernsehgroßbildanlagen ausgerüstet waren. Ein Anwendungsbeispiel der Gegenwart ist die Großprojektion des von der Fernsehkamera während einer Veranstaltung aufgenommenen Bildes auf den Hintergrund der Bühne.

Die Großprojektion hat also schon mehrfach ihre Vorteile nachgewiesen. Eine ihrer Schwierigkeiten ergibt sich aber aus der Forderung, ein kontrastreiches Bild auf die Projektionsfläche zu zeichnen. Hierzu bedarf es einer Helligkeit, die etwa 1000- bis 3000mal größer als bei einem »normalen« Fernsehbild ist. Bei verschiedenen angewandten Verfahren werden in den Projektionsröhren die Elektronen mit Spannungen bis an den Megavoltbereich beschleunigt, um die benötigte Lichtenergie auf der Leuchtschirmfläche der Bildröhre erzeugen zu können.

Als bekanntestes Verfahren ist die Eidophor-Projektion zu nennen. Nach dem Eidophor-Prinzip arbeiten auch die zwei Großbildprojektoren im Palast der Republik in Berlin. Dafür ist an der Stirnseite des 5000 Personen fassenden Saales eine Gesamtfläche von 12 m × 56 m verfügbar.

Der Begriff »Eidophor« stammt aus dem Griechischen und bedeutet soviel wie Bildträger. Bei diesem Verfahren wird das Licht einer Hochdruck-Xenonlampe über eine Anordnung von Spiegelstreifen in einem Hohlspiegel reflektiert. Durch die Spiegelstreifen wird erreicht, daß das vom ebenen Spiegel reflektierte Licht nicht auf die Bildwand gelangen kann. Auf dem Hohlspiegel befindet sich eine etwa 0,1 mm dicke Ölschicht, die vom modulierten Elektronenstrahl über elektrostatische Kräfte zeilenweise deformiert wird. Je nach der Stärke der Deformation wird der Lichtstrahl mehr oder weniger stark zu den Spalten zwischen den Spiegelstreifen ausgelenkt. Auf der Bildfläche bildet sich so ein mehr oder weniger heller Lichtpunkt ab. Zur Farbbildwiedergabe bedarf es, entsprechend dem Prinzip des Dreifarbensystems, drei solcher Lichtröhren. Die Tatsache, daß ein Projektorfernsehgerät eine kostspielige Präzisionseinrichtung ist, begrenzt noch die Verbreitung solcher technischen Entwicklungen.

Ob einmal Neuentwicklungen von Lichtröhren in unsere häusliche Umwelt vordringen werden, erscheint sehr

fragwürdig. Eher wird der flache Fernsehbildschirm an der Wand hängen. Allerdings ist dabei zu beachten, daß bei größer werdendem Fernsehbild unser Auge immer mehr über die bestehende Fernsehnorm von 625 Zeilen stolpert. Bei einer 53-cm-Bildröhre mit dem Format 32×43 cm beträgt die Zeilenhöhe rund einen halben Millimeter. Die Zeilenstruktur verschwimmt für das menschliche Auge erst bei ausreichendem Abstand. Nach einer Faustregel, die dieses Problem berücksichtigt, gilt, daß der Betrachtungsabstand fünf- bis sechsmal so groß sein soll wie die Bilddiagonale der Fernsehbildröhre. Bei einer Bildröhre mit einem Diagonalmaß von 53 cm sind das folglich etwa 3 m. Angenommen, wir wünschten ein Fernsehbild von etwa $70 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}$ Größe (Bilddiagonale: 122 cm), dann sollte man – eben wegen der Fernsehnorm – rund 6,5 m (genauer 6,1 m) von der Projektionsfläche entfernt sein, damit Punkte und Zeilen vom Auge in ein ansprechendes Bild aufgelöst werden können. Nur in wenigen Wohnungen wird es möglich sein, derartige Abstände einzuhalten.

Die Techniker haben zwar auch gegen dieses Problem ein Mittel gefunden, indem sie die Zeilen durch »Wobeln« verschmieren (aus den geradlinigen Zeilen werden zickzackförmige), so daß die Zeilenstruktur annähernd unsichtbar wird. Aber das wiederum beeinträchtigt die Bildschärfe. Also muß das Raster verfeinert bzw. die Zeilenzahl erhöht werden. Welche Schwierigkeiten diese Schlußfolgerung insbesondere bei der drahtlosen Fernsehübertragung mit sich bringt, haben wir schon bei der Betrachtung des Frequenzspektrums angedeutet.

Aber so schnell lassen sich die Wissenschaftler und Techniker nicht entmutigen. Der sowjetische Forscher A. Ryftin entdeckte beim Experimentieren eine Erscheinung, die er als »Effekt der pulsierenden Adaption des Flecks auf der geladenen Mosaikplatte der Elektronenstrahlröhre« bezeichnete. Seine Entdeckung basiert auf der Tatsache, daß das aufgenommene Bild teilweise Informationen enthält, die zwar immer wieder mitgesendet werden, aber keine neue Aussage enthalten, daß also ein bestimmter Prozentsatz von Bildpunkten über eine gewisse Zeit stets gleich grau oder schwarz oder weiß bleibt.

Zweifellos könnte dieser Teil der Bildinformation einen Puffer für zusätzliche Bildpunkte und Zeilen darstellen, also für eine Erhöhung der Zeilenzahl ohne Erweiterung der ursprünglich notwendigen Bandbreite.

Eine andere fernsehtechnische Neuerung, den Informationsgehalt des gesendeten Fernsehsignals zu erhöhen, ist seit geraumer Zeit in mehreren Industriestaaten erprobt worden. Dabei werden zu laufenden Fernsehsendungen Zusatzinformationen übertragen, wie z. B. Nachrichten, Wetterbericht, Reise- und Verkehrshinweise, Mitteilungen über kulturelle Veranstaltungen, über Haushalt und Hobby oder auch Untertitel zu Fernsehprogrammen, die in mehreren Sprachen angeboten werden und von denen jeweils eine ausgewählt werden kann. Entsprechend dem Ursprungs- oder Anwenderland oder den Programmstationen, gibt es für das Zusatzinformationssystem unterschiedliche Bezeichnungen: Teletext, Videotext, Ceefax, Bultext u. a.

Die Darstellung der Zusatzinformation auf dem Bildschirm setzt allerdings voraus, daß das betreffende Fernsehgerät einen geeigneten Dekoder besitzt, der aus dem Signalgemisch die eingeschachtelten Datenzeilen wieder herauslesen kann. Der Dekoder und seine Beschaltung im Fernsehgerät ist die Bedingung für das Sichtbarmachen der gesendeten Videotextzeile, in Schwarzweiß oder bei Farbbildröhren bis siebenfarbig. Je nach technischer Lösung kann das laufende Programm abgeschaltet werden, oder es erscheint mit geschwächtem Kontrast als Hintergrund zur Zusatzinformation. Da zwischen Zuschauer und Sender keine Rückkopplung besteht, müssen die Zusatzinformationen zyklisch wiederholt werden. Hat man den Wetterbericht verpaßt oder dieser hatte eine zu kurze Standzeit, muß man warten, bis die betreffende Textseite wieder auf dem Bildschirm erscheint. Oder der Dekoder bzw. das Fernsehgerät besitzt einen Speicher, der die Kapazität besitzt, auf Befehl solche Textseiten zu speichern.

Die Nutzung des Fernsehempfängers als Ausgabegerät von Zusatzinformationen wird sich weiterentwickeln. Mit den Bildschirmspielgeräten haben wir dafür ein erstes Beispiel.

Folgt man den vielfältigen Pfaden der Funktechniker bzw. Fernsehtechniker weiter, so stößt man auch auf Forscher und Experimentatoren, die sich mit dem Problem des stereoskopischen oder plastischen Fernsehens beschäftigen. Bei einem schon recht lange bekannten Verfahren findet man auf der Sendeseite zwei in schnellem Wechsel arbeitende Aufnahmekameras. Wie bei der Betrachtung mit beiden Augen wird aus zwei Blickwinkeln aufgenommen. Die Wiedergabe erfolgt gleichfalls über zwei Bildröhren mit analog arbeitender Umsteuervorrichtung von einer Röhre zur anderen. Damit der Betrachter jedoch den plastischen Eindruck erhält, muß er eine besondere Brille aufsetzen. Wer schon einmal dieses Prinzip bei einem 3-D-Vortrag (Dreidimensional-Dia-Vortrag) kennengelernt hat, wird sich von der psychologischen Wirkung dieser Sendetechnik eine Vorstellung machen können.

Wie überrascht müssen aber jene Zuschauer gewesen sein, die sich in einer Ausstellung eine alte Ikone und andere Schätze aus dem Moskauer Kreml ansahen! Nach einem Knopfdruck löste sich der »Schatz« plötzlich in nichts auf. Worauf sie geblickt hatten, war eine einfache Glasscheibe. Darauf war aber so täuschend echt ein räumliches Bild zu sehen, daß man sich nicht zu schämen brauchte, es mit der Wirklichkeit verwechselt zu haben.

Den verblüffenden Eindruck erzielten sowjetische Fachleute mit einem unter dem Begriff »Holografie« bekannt gewordenen Verfahren. Es nutzt die Interferenz, wie sie durch Überlagerung zweier oder mehrerer Wellenzüge – z. B. der elektromagnetischen Wellen – am selben Ort entstehen, beispielsweise auf einer Glasscheibe. Solche Erscheinungen kann man manchmal auch beim Fernsehempfang feststellen. Sie entstehen infolge von Reflexionen des Sendesignals und zeigen sich auf dem Bildschirm als unerwünschtes Geisterbild. Bei der Holografie werden Interferenzen jedoch bewußt erzeugt.

Während bereits Nutzenanwendungen der Holografie, z. B. zur Untersuchung schnellablaufender Prozesse oder zur Informationsspeicherung in der Rechentechnik, erkennbar sind, ist die Schwelle auf dem Wege zum räumli-

chen Sehen beim Fernsehempfang oder auch im Filmtheater noch nicht überschritten. Das räumliche Sehen wird das Fernseherlebnis vorläufig nicht bereichern. Der erforderliche technische Aufwand ist noch zu groß. Allerdings findet in einigen Gebieten der Volkswirtschaft der Sowjetunion das Stereofernsehen seit Jahren schon Anwendung, z. B. bei der Steuerung von Manipulatoren.

Bessere Chancen können dem Fernsehtelefon oder auch Videotelefon eingeräumt werden. Die erste derartige Anlage wurde 1929 der Öffentlichkeit vorgestellt. Diese Fernseh-Sprechverbindung wurde zunächst zwischen Berlin und Leipzig aufgebaut und später bis nach Wien und auch zu anderen Städten erweitert. Mit Beginn des zweiten Weltkrieges wurden die Kabel jedoch für militärische Nachrichtenzwecke gebraucht.

Inzwischen ist das Fernsehtelefon wieder mehrfach als Weiterentwicklung und Neuheit erschienen. Daß es jedoch in Zukunft ein integrierter Bestandteil jedes Telefonanschlusses sein wird, ist kaum anzunehmen. Viel wahrscheinlicher sind dagegen zentrale Fernseh-Sprech-einrichtungen, z. B. im Wohngebiet oder auf der Post, um von dort aus – vielleicht nach vorheriger Verabredung – die Hör- und Sichtverbindung in andere Städte oder über Ländergrenzen hinweg mit dem Partner aufzunehmen.

Auch umstritten ist unter Fachleuten der Wert des Fernsehtelefons im Betriebs- oder Geschäftsleben. Einerseits wird eingeschätzt, daß durch die Kopplung des Telefons mit der Bildübertragung sehr wenig gewonnen wird. Die persönliche Ausstrahlung des Partners kann weder akustisch noch durch ein Fernsehbild wiederspiegelt werden.

Andererseits gibt es Untersuchungsergebnisse zur Förderung der vielfältigen Informationsbeziehungen zwischen Betrieben, aber auch Staaten, die für den Einsatz von Videotelefonverbindungen sprechen. Zum Beispiel kann ein Fachmann mittels einer entsprechenden Konferenzschaltung an einer entfernten wichtigen Versammlung teilnehmen, ohne seinen Arbeitsplatz verlassen zu müssen. Er kann sich beispielsweise auch eine Information als Grafik oder in Textform auf dem Bildschirm geben lassen.

Interessant ist in diesem Zusammenhang ein Verfahren, das in Japan erprobt wurde. Dabei wird das Grundprinzip des Fernsehens dazu benutzt, z. B. den Zeitungsabonnenten die einzelnen Seiten optisch per Bildschirm frei Haus zu liefern. Der Teilnehmer, der sich in seiner Wohnung oder im Büro befindet, kann über eine Fernmeldeverbindung die gewünschte Zeitung bzw. die jeweilige Seite dieser Zeitung, die ihn interessiert, wählen und über dieselbe Leitung, die mit dem Antenneneingang seines Fernsehgerätes verbunden ist, die neuesten Nachrichten auf dem Bildschirm lesen. Das kommt dem Projekt der fernsehverkabelten Stadt schon recht nahe. Was könnte in Zukunft an Energie und Kosten für gedruckte Fahrpläne, Flugpläne und Kataloge eingespart werden! Noch sind ganze Wälder dafür zu fällen.

Ob sich jedoch diese oder jene Art des elektronischen Informationsaustausches einmal durchsetzen wird, muß abgewartet werden. Der gegenwärtige Mangel an breitbandigen Übertragungswegen steht der Verbreitung vieler möglicher Anwendungsbeispiele des Fernsehens noch entgegen. Gleichmaßen sind die Versuche und Ergebnisse mit Stereoton beim Fernsehen einzuschätzen. Hierbei ist zu bedenken, daß der Stereoton im Widerspruch zu unseren Seh- und Hörerfahrungen stünde. Beim Anblick dessen, was sich vor uns auf dem kleinen Bildschirm ereignet, erwartet man auch den Ton von vorn.

Wichtiger erscheint dagegen die Möglichkeit, das Zweikanalton-Verfahren im Fernsehen dazu zu nutzen, um beispielsweise bei Sendungen ausländischer Filme zwischen dem Originalton und der Übersetzung wählen zu können oder um umgekehrt Übersetzungen wichtiger Nachrichtenprogramme simultan zum Originalton anzubieten.

Seien wir uns klar darüber, daß mehr und mehr die technischen Schwierigkeiten und Mängel neuer und interessanter Entwicklungen überwunden werden. Aber jede noch so verblüffende Lösung wird sich erst dann durchsetzen, wenn der Aufwand zur technischen Verwirklichung in einem vertretbaren Verhältnis zum Bedürfnis der Menschen steht.

Elektronische Spielpartner

Das Spiel ist nach Meinung der Kinderpsychologen und Pädagogen der Weg der Kinder zur Erkenntnis der Welt, zur Erkenntnis ihrer Möglichkeiten, zur Herausbildung nützlicher Gewohnheiten und zur Formung von Willen und Charakter. Wir möchten an dieser Stelle hinzufügen: Spielen ist kein Privileg der Kinder. Erwachsene spielen als Freund oder Erzieher mit den Kindern, spielen um Meisterlorbeeren Skat, Lotto und vieles andere mehr aus Spaß und zur Freude am Erfolg, zur körperlichen und geistigen Entspannung oder um der bloßen Unterhaltung willen. Damit das Spiel alle diese Eigenschaften erfüllt, werden an Spiele insgesamt und an Spielzeug hohe Erwartungen geknüpft.

Für alle Altersstufen hält die Industrie ein reichhaltiges Angebot an Spielzeug und Sportgeräten bereit. Seit dem Jahre 1980 gibt es bei uns ein »Spielzeug«, das zu den elektronischen Konsumgütern gehört. Funktionell ist es aber ein Zusatzgerät für normgerechte Fernsehempfänger: das Bildschirmspielgerät. Es eröffnet eine völlig neuartige Möglichkeit zur Nutzung des Fernsehers.

In Anlehnung an sportliche Regeln lassen sich z. B. mit dem Bildschirmgerät BSS 01 vier verschiedene Spiele simulieren. Zur Auswahl stehen Tennis, Fußball, Squash und Pelota. Die einzelnen Spiele können außerdem in verschiedenen Schwierigkeitsgraden durch Veränderungen der jeweiligen Ballgeschwindigkeit (0,65 oder 1,3 s für einen Schirmdurchlauf), des Ballaufprallwinkels ($\pm 20^\circ$ oder $\pm 40^\circ$) und der Schlägergröße (14 oder 28 Zeilen) durchgeführt werden.

Prinzipiell werden solche Bildschirmspielgeräte als

Sport- und Geschicklichkeitsspiele konzipiert. Der Einfallreichtum der Techniker, derartige Spiele zu entwickeln und zu programmieren, scheint unerschöpflich zu sein. Da gibt es Autorennen, plastisch wirkende Ballspiele, aktionsreiche Hindernisjagden in vielerlei Varianten und auch in Farbe. Als äußerst bedenklich sind jedoch Spiele anzusehen, deren Inhalt beispielsweise Dschungelkampf oder Weltraumkrieg sind. In kapitalistischen Ländern werden derartige Geräte produziert und verkauft. Wie schnell wird dann »Spielen« zum psychischen Training von Gewalttätigkeit und Aggressionsbereitschaft!

Ein Bildschirmspielgerät ist mit wenigen Handgriffen spielbereit. Hat man es mit dem Netz verbunden, das Ausgangskabel zur Übertragung des hochfrequenten Signals an den Antenneneingang des Fernsehers gesteckt sowie den Kanalwähler auf einen entsprechenden freien Kanal gestellt, kann ein Bildschirmspielgerät ähnliche Informationen »produzieren«, wie sie sonst über die Antenne dem Fernsehempfänger zugeführt werden. Je nachdem, was dem HF-Signal durch die Elektronik eines Bildschirmspielgerätes aufmoduliert wird, ergeben sich die Abbilder des Spielfeldes, der Bälle, aber auch der Figuren, oder es erfolgt das Einspielen von Spielergebnissen. Sicherlich werden auch einmal programmierbare mikroelektronische Bauelemente als Spielpartner in Form kleiner Computer die Unterhaltung vor dem Heimfernseher bereichern. In Kombination z. B. mit Bandkassetten als Programmträgern oder Datenspeichern wird es möglich sein, ein breites Angebot von Lehr-, Denk- und Unterhaltungsspielen zu schaffen. Aber verständlicherweise stellen solche Spielgeräte gegenwärtig nicht den Schwerpunkt der Aufgaben von Entwicklungsingenieuren in der Elektronikindustrie dar.

Elektronisches Spielen kann aber einen ernsteren Hintergrund haben, als nur der Unterhaltung oder der Entwicklung bestimmter Fertigkeiten zu dienen.

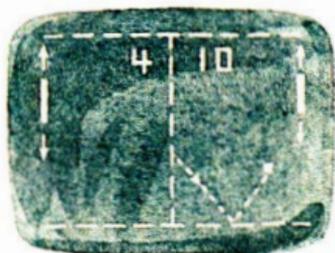
Beispielsweise bietet das Schachspiel eine Mannigfaltigkeit an Aufgaben und Lösungen, die sich zudem noch wechselseitig bedingen und beeinflussen, wie sie eigentlich nur noch durch das Leben, durch die Unerschöpf-



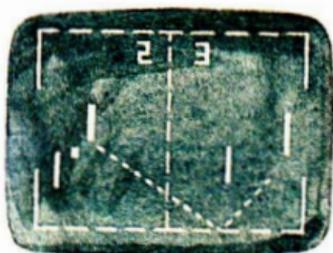
lichkeit der Praxis überboten werden kann. Elektronisches Schachspielen dient deshalb auch dazu, die Fähigkeiten der Rechner zu testen, ihre wesentlichen Merkmale weiterzuentwickeln, um sie immer effektiver einsetzen zu können.

Ein Schachcomputer wählt seinen Zug erst dann, wenn er alle in seinem Programm vorkommenden Varianten durchgespielt hat. Dabei untersucht er überflüssigerweise auch Varianten, die sogar ein Anfänger ignorieren würde, da ein zu großer Verlust oder Nachteil offensichtlich ist. Ein 1977 erprobter und als Schachspieler programmierter Digitalrechner dieser Art hätte in einer Sekunde immerhin 3 600 Züge bewältigen können, er blieb dennoch hinsichtlich seiner Spielstärke drei bis vier Titel unter dem Rang eines Schach-Großmeisters.

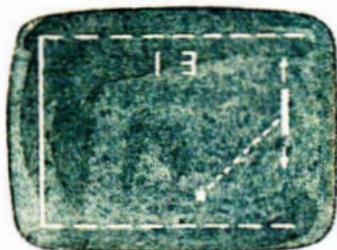
Die Verbesserung der Schachprogramme von Rechnern hat sich auch der langjährige sowjetische Schachweltmeister Michail Botwinnik zur Aufgabe gestellt. Ihm und seinen Mitarbeitern geht es dabei weniger um die sportliche Seite als vielmehr um die praktische Bedeutung dieser Versuche. Um z. B. ein betriebliches Geschehen mittels einer elektronischen Datenverarbeitungsanlage überwachen zu können und um zweckdienliche Informationen schnell und exakt für eine Entscheidungsfindung verfüg-



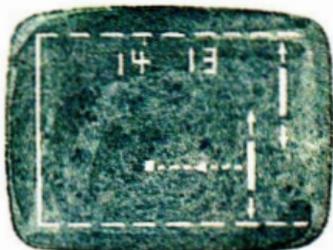
Tennis



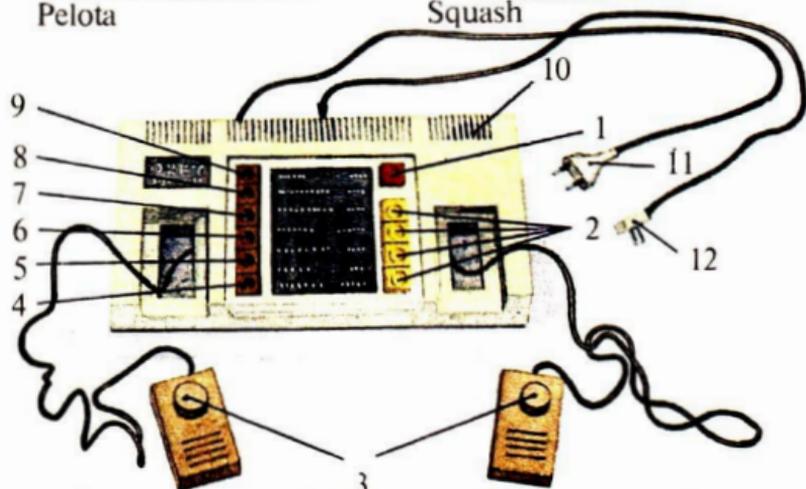
Fußball



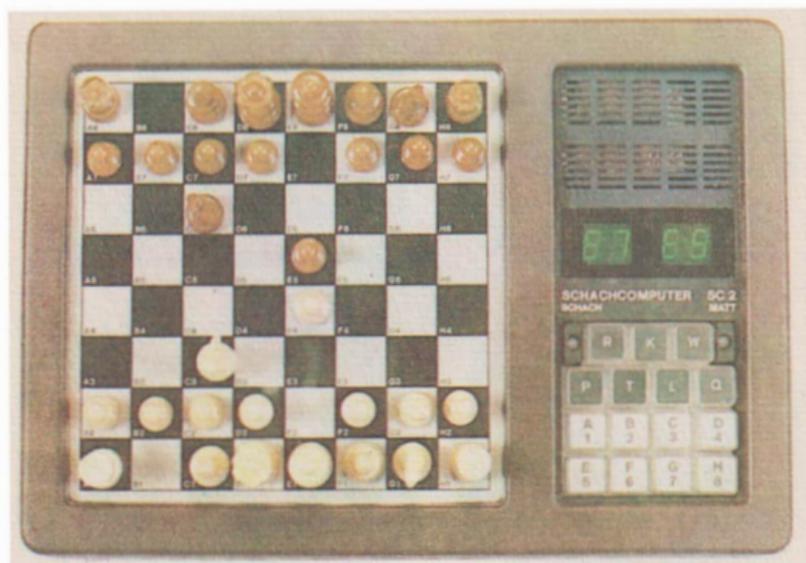
Pelota



Squash



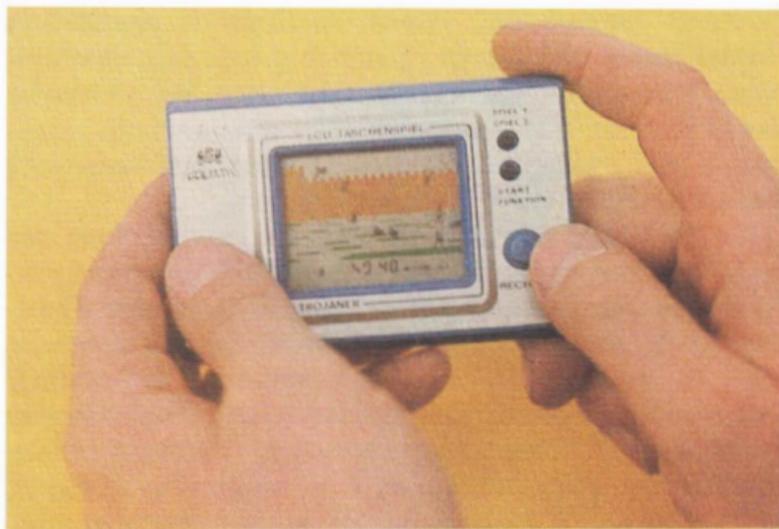
Das Bildschirmspielgerät BBS 01 vom VEB Halbleiterwerk Frankfurt (Oder) gestattet das Spielen von vier Spielarten über jeden normgerechten Fernsehempfänger, wobei der »Schläger« bzw. »Spieler« mittels des Handreglers in vertikaler Richtung (s. Pfeile) bewegt werden kann. Die Treffer werden automatisch gezählt und angezeigt. Bei Treffer, Aufschlag und Abprall werden unterschiedliche akustische Signale abgegeben. 1 – Ein/Aus-Taste; 2 – Spielwahltasten (Pelota, Squash, Fußball, Tennis); 3 – Handregler; 4 – Nullstellen der Torezählung und -anzeige; 5 – Balleinwurf manuell; 6 – Balleinwurf automatisch; 7 – Schlägergröße; 8 – Ballgeschwindigkeit; 9 – Ablenkwinkel; 10 – Lautsprecher für unterschiedliche Tonsignale bei Aufschlag, Abprall und Treffer; 11 – Netzanschlußkabel; 12 – Verbindungskabel zum Fernsehgerät (Antennenbuchse)



Der mit mikroelektronischen Bausteinen ausgerüstete Schachcomputer SC-2 vom VEB Funkwerk Erfurt kommuniziert mit dem Spielpartner über eine Tastatur sowie Digitalanzeige und teilweise akustisch, besitzt 10 Spielstärkestufen und benötigt nur wenige Sekunden je Zug.

bar zu haben, wird der Produktionsprozeß meist als mathematisches Modell dem Rechner eingegeben. Das mathematische Modell äußert sich in Gleichungssystemen mit häufig über 100 Unbekannten. Kommt es jedoch zu plötzlichen Störungen im betrieblichen Ablauf, ist ein schnelles Reagieren des Rechners unter Berücksichtigung aller Randbedingungen erforderlich. Gesicherte Analysen müssen in kürzester Zeit zur Verfügung stehen, um eventuelle Schäden auf ein Minimum zu reduzieren und um Fehlentscheidungen zu umgehen. Derartige Zielstellungen verfolgt, stark verallgemeinert gesehen, auch der Schachspieler. Unter diesem Gesichtspunkt ist es also gar nicht so abwegig, aus der Praxis des Schachspiels Schlußfolgerungen für das Konzept von Rechenanlagen für volkswirtschaftliche Prozesse abzuleiten.

Für den »Hausgebrauch« gibt es international bereits kleine, auf der Grundlage mikroelektronischer Bausteine konzipierte »Schachpartner«. Bei zu wählenden verschiedenen Schwierigkeiten können sie sowohl den Ansprüchen eines Anfängers als auch denen eines Fachmanns



Kleiner Computer als Taschenspiel; er vereinigt zwei akustisch untermalte Spielvarianten mit selbständiger Veränderung des Schwierigkeitsgrades während des Spielverlaufs und eine Digitaluhr mit Datumsanzeige und Alarmeinrichtung (Hongkong)

genügen. Der Mikroschachcomputer ist in der Lage, alle Spezialzüge wie Rochade, Schlagen »en passant« und Bauernumwandlung zu erfassen und in die Partie einzubeziehen. Züge, die nicht den Schachregeln entsprechen, werden vom Gerät erkannt und zurückgewiesen.

Wir können überzeugt sein, daß das Angebot an elektronischen Spielgeräten in der nächsten Zukunft zunehmen wird. Uns werden durch sie völlig neuartige Spielerlebnisse zuteil. Sie werden um so mehr Gefallen finden, je besser sie das Spielen, in vielen Fällen auch das spielerische Lernen, unterstützen bzw. interessant gestalten. Das Lachen, die Späße und den anregenden Gedankenaustausch mit dem Freund oder Spielgefährten kann ein »stures« technisches System selbstverständlich nicht ersetzen.

Wenn mikroelektronische Schaltkreise billig und für Kinderhände robust genug produziert werden können, wird sich auch die Altersgrenze der Nutzer mehr und mehr nach unten verschieben. Ohne Details für einen phantastischen Roman entwerfen zu wollen, wäre es

durchaus denkbar, daß bereits die Jüngsten irgendwann einmal anstatt mit hohlen Plastebausteinen mit elektronischen Bausteinen spielen. Das könnten beispielsweise Bausteine sein, die – aufgeschichtet oder aneinander gesetzt – in Vereinigung mit einem Farbenspiel akustische Signale in Form einer Tonleiter ergeben.

Ein Vergleich der überaus schnellen Entwicklung der Elektronik mit der zeitlichen Entwicklung anderer Techniken läßt vermuten, daß Voraussagen dieser und ähnlicher Art in gar nicht so ferner Zukunft Realität sein werden. In welcher Art und mit welchen technischen Raffinessen elektronisches Spielzeug im Kinderzimmer Eingang findet, bleibt aber nicht dem Techniker allein überlassen. Das entscheidende Wort werden Psychologen, Pädagogen und vor allem die Benutzer selbst sprechen. Dennoch wird elektronisches Spielzeug nicht mit Sandspielformen, Puppen, Bällen und anderen bewährten Spielgeräten konkurrieren können. Bewährtes und Neues werden nebeneinander bestehen, einander ergänzen und die spielerische Tätigkeit im Interesse einer gesunden Persönlichkeitsentwicklung gleichermaßen unterstützen.

Elektronisch gesteuerte Heinzelmännchen

Seit etwa 100 Jahren steht eine problemlose Energiequelle zur Verfügung, die insbesondere in jüngster Zeit zum Geburtshelfer für viele dienstbare Geister im Haushalt wurde. Elektrische Kaffeemühlen, Geschirrspüler, Staubsauger, Fruchtsafter, Waschmaschinen und Wäscheschleudern sind eine kleine Auswahl solcher »Heinzelmännchen«. Sie erleichtern zwar die Hausarbeit sehr, bedürfen meist aber noch einer ständigen Aufsicht und Bedienung. Eine in den letzten Jahren weiterentwickelte Gerätekategorie arbeitet nach einem elektrisch-mechanischen Programm (Programmschaltwerk) und erfüllt schon selbständig (automatisch) eine Reihe von Steuerfunktionen. Bei diesen Haushaltshilfen handelt es sich zunächst um Haushalt Großgeräte.

Trotz der zunehmenden Elektrifizierung und Automatisierung der Hausarbeit, trotz pflegeleichter Textilien, des steigenden Angebots tischfertiger Gerichte und sonstiger Erleichterungen beansprucht der Haushalt immer noch einen großen Anteil unserer Freizeit. Vielfach stekken jedoch im rationellen Gebrauch der Haushaltgeräte und in einer optimalen Organisation der Hausarbeit große Reserven, um die Freizeit zu erhöhen und somit mehr Zeit und Ruhe für die Kinder, für ein Buch oder irgendein Hobby zu gewinnen. Um darüber hinaus noch weitere Routinearbeiten im Haushalt auf die technischen Helfer delegieren zu können, bedarf es einer völlig neuen Qualität von Haushaltgeräten. Mit der Mikroelektronik, insbesondere mit den universell einsetzbaren Mikrorechnern, halten wir die entscheidende Kleinigkeit zur qualifizierten Umgestaltung der Haushaltstechnik in der Hand.

	diskrete Elektronik	Mikro- rechner
Waschautomat		×
Wäschetrockner	×	
Geschirrspülautomat		×
Elektroherd		×
Kühl- und Gefriergerät	×	
Elektrische Kleingeräte	×	

Einer bisherigen Tendenz zufolge werden Mikrorechner im Haushalt bevorzugt nur für Großgeräte mit umfangreicheren Funktionsmöglichkeiten eingesetzt.

Elektrische Haushaltgeräte beruhen auf einem allgemeinen Wirkprinzip. Für sie läßt sich ein prinzipieller Aufbau angeben. Über Bedienelemente erhält das Gerät eine Anweisung, es zeigt im allgemeinen seinen Betriebszustand an und führt, z. B. als Waschautomat, die eingegebenen Befehle nach einem vorgegebenen zeitlichen Ablauf aus.

Steigende Bedürfnisse bei der schonenden Behandlung der unterschiedlichen Textilien forderten jedoch eine Erweiterung der automatisierten Funktionen. Elektromechanische Programmschaltwerke sind aber technisch und vor allem wirtschaftlich nur begrenzt ausbaufähig. Vollelektrische Lösungen zur Realisierung der Programmschaltwerke in Waschautomaten erbringen nicht unbedingt den erhofften Nutzen. Meist sind sie einschließlich allen notwendigen Zubehörs teurer als die Elektromechanik, ohne zunächst echten zusätzlichen Komfort oder wesentlich verbesserte Gebrauchseigenschaften bieten zu können. Eine Verbesserung der Programmtechnik bedingt ein ständiges Erfassen wichtiger Größen wie Temperatur, Druck, Feuchtigkeit und Drehzahl. Diese Informationen sind der zentralen Steuereinheit des Gerätes zum Vergleich mit Soll-Größen zuzuleiten, damit sie den weiteren Ablauf festlegen kann. Für einen solchen Betriebsablauf sind spezielle Fühlelemente (Sensoren) vonnöten, deren wirtschaftlicher und technisch günstiger

Einsatz in Haushaltgeräten noch nicht umfassend gegeben ist. Vollelektronische Steuerungen beschränken sich deshalb gegenwärtig noch auf Teillösungen und Kleingeräte wie etwa die automatische Drehzahlsteuerung von Staubsaugern, Handbohrmaschinen oder elektrischen Nähmaschinen zur Sicherung einer maximalen Einstichkraft der Nadel.

Es ist allerdings nur eine Frage der Zeit, bis auch zu diesem Gesamtproblembereich umfassende vollelektronische Lösungen vorliegen. Dann aber wird die moderne Mikroelektronik die Waschmaschine zu einem »dienst-eifrigen Vollautomaten« für höchste Ansprüche machen, der mit seinem Komplex von Sensoren vielleicht völlig selbständig die Bunt- von der Weißwäsche unterscheidet, nach Trommelfüllung, nach Härtegrad des Wassers und Verschmutzungsgrad der Wäsche die Wasch- und Spülmittelmenge exakt dosiert und den Trockenvorgang bis zu der für die Textilart zweckmäßigsten Restfeuchte steuert. Neben einer beträchtlichen Bedienerleichterung und höherem Gebrauchswert wird sich gleichzeitig eine Ersparnis der Betriebskosten einstellen.

Elektronische Herde sind erste Beispiele dieser Tendenz und schon sehr weit ausgereift. Das Herzstück eines solchen Herdes ist ein Mikrorechner mit über 100 gespeicherten Koch-, Brat- und Backprogrammen und den jeweils optimalen Zeit- und Temperaturwerten. Allerdings weckt ein solches Gerät ein Bedürfnis, das es noch nicht umfassend erfüllen kann. Es ist zwar beruhigend zu wissen, daß nach einem Knopfdruck ein energiesparender Garprozeß garantiert wird oder daß die Suppe qualitätsgerecht gerade zu dem Zeitpunkt fertig ist, wenn man von der Arbeit nach Hause kommt, aber die Garantie, daß das Fleisch bei seiner unterschiedlichen Qualität tatsächlich durchgebraten oder der Kuchen in der Backröhre auf Grund der verschiedensten Rezepturen gleichmäßig durchgebacken ist, können die derzeitigen Herde noch nicht geben. Während die Hausfrau für derartige Feststellungen bestimmte »Tricks« anwendet, fehlen dem elektronischen Herd vorerst die entsprechenden Sensoren.

Noch behindern die relativ hohen Kosten für eine umfangreiche elektronische Steuerung deren umfassenden

Einsatz in Haushaltgeräten. Damit sind weniger die Kosten für die elektronischen Funktionsgruppen gemeint, da sie nur etwa 10% der Gesamtkosten betragen. Zur Funktionstüchtigkeit einer komplexen elektronischen Steuerung gehören aber außerdem: Netzteil, Eingabefeld, Anzeigeeinheit, Leistungsschalter, Stellglieder und geeignete Sensoren. Hier liegt noch ein großes Stück Arbeit vor Wissenschaftlern und Praktikern der unterschiedlichsten Disziplinen. Eine neue Technik weitgehend zu beherrschen, reicht nicht aus. Man muß auch die erforderlichen Bedingungen für ihre sinnvolle Nutzung schaffen.

Bisherige Ergebnisse und Erkenntnisse im Umgang mit der Elektronik in Haushaltgeräten zeigen, daß in Zukunft den mikrorechnergesteuerten Lösungen allgemein der Vorzug gegeben wird. Auf Grund des geringen Funktionsumfanges bei Kühl- und Gefriergeräten, bei Wäschetrocknern und anderen Kleingeräten werden aber spezielle mikroelektronische Bauelemente oder diskret aufgebaute Steuerungen die wirtschaftlichen Lösungen bleiben.

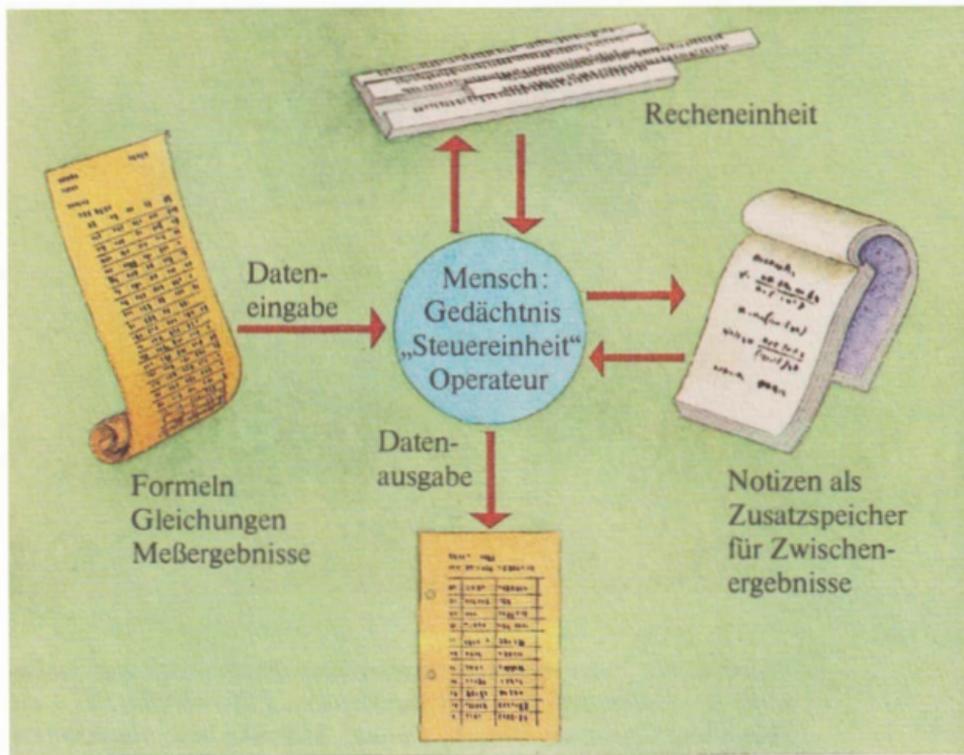
Welch hohen Entwicklungsstand die Mikroelektronik im Konsumgüterbereich erreicht hat, demonstrieren eindrucksvoll die verschiedenartigen Taschenrechner. Sie sind die »Heinzelmännchen« jenes Personenkreises, der sich aus Berufsgründen oder im Interesse der eigenen Qualifizierung verstärkt mit mathematischen Problemen befaßt. Für komplizierte mathematische Berechnungen gibt es Taschenrechner mit den vier Grundrechenarten, mit Zusatzspeicher, mit Wurzel-, Exponential- und Prozentrechnung, mit trigonometrischen, logarithmischen und Hyperbelfunktionen, mit Funktionen zur Berechnung statistischer Kennwerte, mit Digitaluhr für die Tageszeit, Datum und Stoppuhrfunktionen sowie mit programmierbarer Signaleinrichtung als Wecker. Je nach den Bedürfnissen und Erfordernissen von Berufsgruppen und Interessenten gibt es Ausführungen, die alle Raffinessen in sich vereinigen oder nur eine den speziellen Ansprüchen angepaßte Auswahl umfassen.

Die große Beliebtheit der digitalen Taschenrechner hat ihre Ursache in der zuverlässigen mikrosekundenschnellen Bewältigung von Rechenoperationen. 30 Jahre seines



Elektronische Taschenrechner verschiedener Produzenten und technischer Besonderheiten. 1 – mit leuchtendem Zifferndisplay; 2 – mit Flüssigkristallanzeige, Uhrzeit, Datum, Stoppuhr und Alarmeinrichtung; 3 – ohne Batterie, mit Solarzellen, funktioniert schon bei Kerzenlicht, mit Flüssigkristallanzeige; 4 – wissenschaftlicher Taschenrechner, programmierbar (auflegbare Programmierschablone), kann nach eingespeichertem Programm wie ein großer Rechner, allerdings mit bedeutend geringerer Speicherkapazität, mit Variablen rechnen.

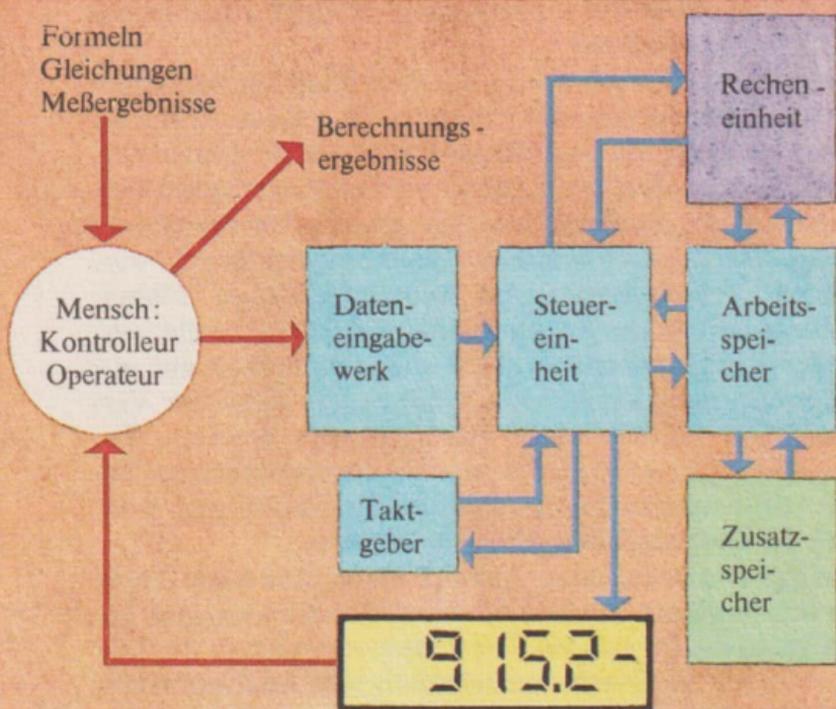
Lebens brauchte der schottische Mathematiker Lord Napier of Merchiston (1550–1617) für die Berechnung einer Logarithmentafel, die im Jahre 1614 erschien. Die gleiche Aufgabe löst heute eine mittlere Datenverarbeitungsanlage in 5 bis 10 Sekunden. Ein Taschenrechner ist zur Lösung derart umfangreicher Aufgaben allerdings nicht geeignet. Die Leistungsfähigkeit eines Rechners wird aber nicht allein durch eine »schnelle« Elektronik und ihren Umfang bestimmt, sondern wesentlich auch von einem effektiven Programm bzw. vom Programmierer und einer schnellen Dateneingabe. Während bei den Datenverarbeitungsanlagen zugriffsbereite Rechenprogramme und Daten als Lochbänder und Magnetbandspeicher in Form einer Programmbibliothek vorliegen, muß dem Taschen-



Die vom Menschen vorgenommenen Rechenoperationen (links: Beispiel für das Prinzip manueller Berechnungen) laufen routinemäßig nach festen Regeln gleich einem Programm ab, das im Rechner (rechts) mit elektronischen Schaltungen nachgebildet wird.

rechner Schritt für Schritt jede Angabe und jeder Befehl neu eingetastet werden. Die Einzeloperationen führt dann der Mikrorechner aber unvergleichlich schneller und zuverlässiger aus, als es der Mensch vermag. Ein wissenschaftlicher Taschenrechner ersetzt ein über 100 Seiten umfassendes Tafelwerk mit Logarithmentafel und trigonometrischen Funktionswerten.

Der prinzipielle Aufbau eines Taschenrechners entspricht dem seiner großen Geschwister in den Rechenzentren. Das Prinzip programmgesteuerter Rechenautomaten wurde vor etwa 150 Jahren von dem englischen Mathematikprofessor Charles Babbage (1792–1871) entdeckt. Da er seine Rechenmaschinen ausschließlich auf mechanischer Grundlage entwerfen und konstruieren



mußte, blieb in seiner Zeit die Realisierung der Idee unerfüllt. Babbages Rechenautomat sollte im wesentlichen aus drei Baueinheiten bestehen. Er gab ihnen die Bezeichnung »store«, »mill« und »control«. Übersetzt bedeutet das Vorratskammer, Rechenmühle und Arbeitsaufsicht. Im heutigen Sprachgebrauch nennt man diese Einheiten Speicher, Recheneinheit und Steuereinheit.

Die einzelnen Operationen laufen nach einem Regime ab, das durch die Programmierung fest vorgegeben ist. Im Rechenprozeß übernimmt die Steuereinheit die Aufgabe eines Kommandeurs. Er teilt die Informationen aus dem Dateneingabewerk den entsprechenden Funktionsgruppen zu, hält zwischen ihnen die Verbindung aufrecht und steuert im Rhythmus des Taktgebers programmgemäß den folgerichtigen Ablauf der Operation. Wird über das Bedienfeld eine Multiplikationsaufgabe eingetastet, so wird aus dem Vorrat von Operationsregeln im Arbeitsspeicher der Multiplikationsbefehl ausgewählt, in der Recheneinheit mit dem Multiplikanden verknüpft und dann

als Produkt über die Steuereinheit auf dem Anzeigefeld des Rechners sichtbar.

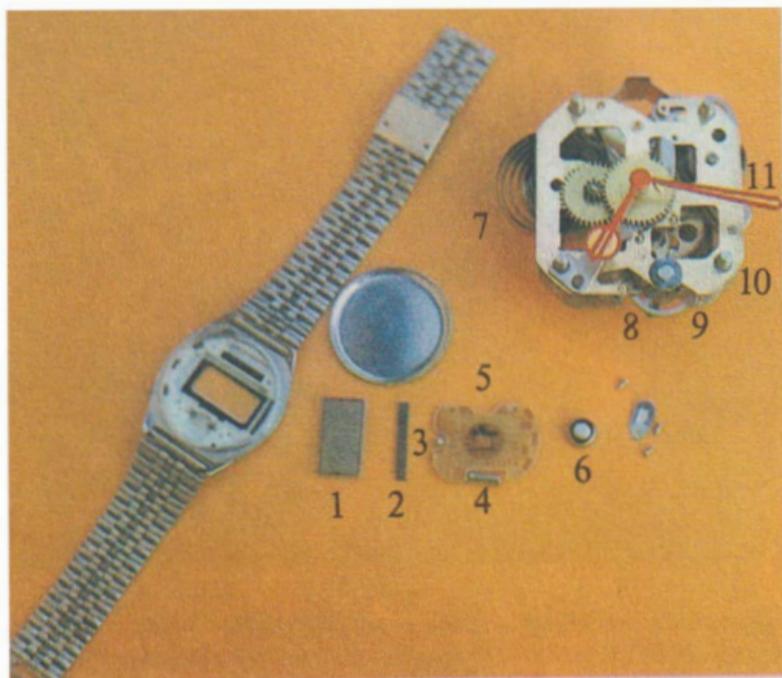
Bei diesem Prozeß dauert die vom Bediener vorzunehmende Dateneingabe am längsten. Nur einen Bruchteil davon benötigt der eigentliche elektronische Rechenvorgang. Es wäre folglich sinnlos, hierbei Rechengeschwindigkeiten anzustreben, die den großen Datenverarbeitungsanlagen gleichkommen. Weiterentwicklungen werden zu Erweiterungen von Bedienfunktionen führen, insbesondere in der Richtung, daß bei häufig wiederkehrender Rechenoperation die Bedienhandlungen auf ein Minimum reduziert werden. Ähnlich wie es in der Vergangenheit für bestimmte Berufsgruppen spezielle Rechenstäbe gab, so wird die bei den Taschenrechnern bereits andeutungsweise erkennbare Spezialisierung wohl auch zu Spezialgeräten dieser Art führen.

Welche umwälzenden Auswirkungen eine neue Technik auf bewährte Traditionen eines Industriezweiges haben kann, deutet sich im Konsumgüterbereich in der Uhrenindustrie an. Nach den reichlich vier Jahrhunderten, in denen Federwerke und Pendeluhren treue Diener des Menschen waren, werden die Pendel und Unruhen in rasch zunehmendem Maße durch Quarzkristalle ersetzt.

Ausschlaggebend für diese Entwicklung sind die winzigen Schaltkreise der Mikroelektronik, ihre nahezu unbegrenzte Lebensdauer, ihre enorme Vielseitigkeit und ihre präzise Arbeitsweise. Waren die ersten Quarzzeitmesser 1937 noch schrankgroß, so paßt heute eine vergleichbare Variante davon an ein Armband.

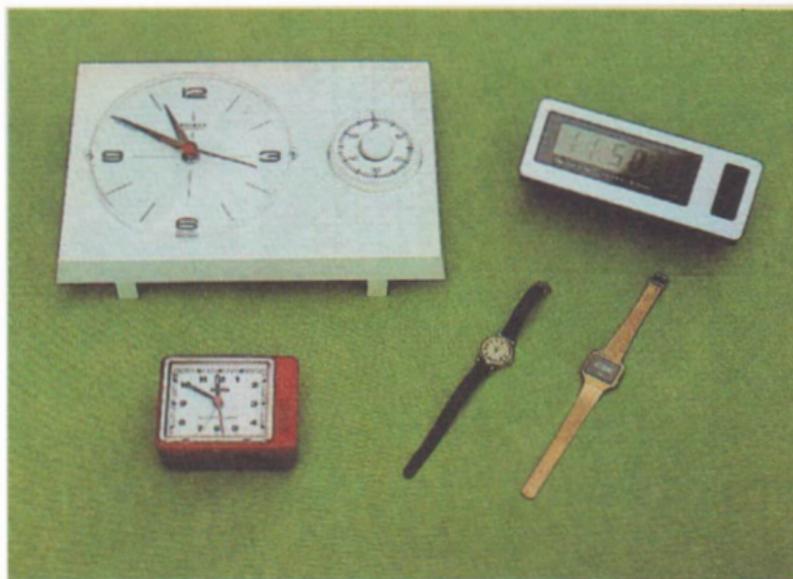
Im Unterschied zu einer mechanischen Uhr, bei der als Zeitbasis eine Unruhe im Rhythmus von etwa 4 Hz schwingt, gilt bei der elektronischen Uhr ein meist mit 32 768 Hz schwingender Quarzkristall als Zeitbasis. Während mechanische Uhren mittlerer Qualität im Verlauf eines Tages eine Zeitabweichung von ungefähr ± 30 s aufweisen, wird bei Quarzuhren mittlerer Qualität eine Ganggenauigkeit garantiert, die je Tag unter einer Zehntelsekunde liegt.

Im allgemeinen reicht für den Alltag eine gute mechanische Uhr auch heute noch aus. Die Uhrenindustrie selbst, die geodätische oder seismische Forschung, der



Zwei Uhrengenerationen. Beide Zeitmesser dokumentieren den jeweiligen Stand des wissenschaftlich-technischen Fortschritts ihrer Zeit. Vollelektronische Digitaluhr ohne jegliche dem mechanischen Verschleiß ausgesetzte Teile (zerlegt); rechts oben: mechanische Analoguhr nach dem im Jahre 1511 von Peter Henlein entwickelten Prinzip. 1 – Flüssigkristall-Anzeigedisplay, Anzeige in Ziffern; 2 – Kontaktsteg; 3 – Kondensator zur genauen Einstellung der Schwingfrequenz; 4 – Schwingquarz; 5 – integrierter Schaltkreis zur Umformung der Schwingfrequenz in Zeitinformationen und Ansteuerung des Displays über einen Kontaktsteg (2); 6 – elektrische Energiequelle (Batterie). Wichtige Teile der mechanischen Uhr; 7 – mechanische Energiequelle (Federaufzug); 8 – Einstellhebel für Ganggenauigkeit; 9 – Unruh; 10 – Räderwerk; 11 – Stunden- und Minutenzeiger

wissenschaftliche Gerätebau oder gar die Flugsicherung und die Kosmosforschung brauchen präzisere Zeitmesser. Für allerhöchste Ansprüche gibt es Atomuhren, die sich seit 1967 international nach der Strahlung eines Cäsiumatoms richten. Die »Ursekunde« wird in regelmäßigen Abständen zwischen den Zeitdiensten der verschiedenen Länder bis zur achten Stelle hinter dem Komma exakt verglichen. So genau braucht es der Normalverbraucher



Quarzuhren mit analoger Anzeige als Küchenuhr, Wecker oder Damenarmbanduhr sowie mit digitaler Anzeige als Herrenarmbanduhr und als Tisch- bzw. Weckuhr

natürlich nicht. Mit dem Entwicklungsstand der Mikroelektronik ergab sich aber die günstige Möglichkeit zur Herstellung hochwertiger Quarzzeitmesser, die ohne Wartung und regelmäßige Zeigerkorrekturen noch nach einem Jahr die »fast richtige« Zeit anzeigen.

Das wesentliche Element einer Quarzuhr ist Quarz, kristallisiertes Siliziumdioxid. Der Quarz wird als Bergkristall vor allem in Brasilien aus großen Lagerstätten gewonnen. Noch bessere Eigenschaften besitzen jedoch die synthetischen Quarze. Hauchdünne Scheibchen oder Stäbchen daraus haben die Eigenschaft, wie eine Stimmgabel zu schwingen, wenn sie sich in einem elektrischen Feld befinden. Ein Uhrenquarz vollführt in den meisten Armband-, Tisch- oder Wanduhren $32\,768 = 2^{15}$ Schwingungen in der Sekunde. Nach einer 15maligen Halbierung dieser Frequenz, die durch einen integrierten Digitalschaltkreis mit 15 sogenannten »Flip-Flops« erreicht wird, erhält man genau eine Schwingung je Sekunde. Dieser zum Schluß verbleibende Impuls je Sekunde steuert entweder nach Verstärkung einen Schrittschaltmotor oder

liefert das Signal zur Ansteuerung einer Digitalanzeige.

Damit dieser oder jener seine Gewohnheit, die Uhrzeit mittels Zeiger abzulesen, nicht aufgeben muß, gibt es neben den Digitaluhren auch Quarzuhren mit Zeigerwerk. Nachteil dieser Uhren mit Analoganzeige ist, daß sie wiederum mechanische Bauelemente erfordern.

Die vollelektronischen Quarzuhren funktionieren völlig ohne Mechanik. Über ein Anzeigefeld aus Leuchtdioden, die nur bei Bedarf eingeschaltet werden, oder Flüssigkristallen ist die Zeit direkt in Ziffern ablesbar. Begünstigt durch diese Digitalanzeige, gibt es mittlerweile Armband-Quarzuhren, die außer der Tageszeit unter anderem auch das Datum anzeigen und als Stoppuhr und Wecker fungieren können. Andere Entwicklungen stellen sich sogar mit einem Kleinstrechner kombiniert vor. Bei dieser Anwendung der Mikroelektronik, die gewiß aus keinem echten Bedürfnis erwachsen ist, artet die Bedienung allerdings in Fingerakrobatik aus.

Mit Quarzuhren, die 15 bis 25 Funktionen ausüben können, ist aber schon deutlich eine Grenze erkennbar. Darüber hinaus begibt man sich auf das technische Spielfeld, wo man sich fragen muß: Wem nützt das? Eine echte, sich andeutende Neuerung ist das »Armbandkraftwerk«: In einer Quarzuhr wird ein Minikraftwerk untergebracht, das vor Ablauf von 10 Jahren keines Batteriewechsels bedarf. Das Prinzip dieser Energiequelle beruht auf der Entdeckung des deutschen Physikers Thomas Seebeck (1770–1831) aus dem Jahre 1831, daß an der Kontaktstelle zweier elektrischer Leiter unterschiedlicher Leitfähigkeit Wärme direkt in elektrische Energie umgewandelt wird. Dieser Effekt wird vielfach in der Meßtechnik mittels Thermolemente zur Temperaturmessung genutzt. Die »Thermokraft« beträgt bei metallischen Leitern bis Halbleitern zwischen einigen Hunderttausendstel- und einigen Zehntausendstelvolt je Grad zugeführter Wärme.

Die Überlegung, die Thermoelektrizität für die Quarzuhren zu nutzen, geht nun davon aus, daß sich zwischen dem menschlichen Körper und seiner Umwelt ein ständiger Wärmeaustausch von durchschnittlich 50 W je Quadratmeter Körperoberfläche vollzieht. Zwischen Ober-

und Unterseite einer Armbanduhr kann man deshalb ein Temperaturgefälle von 5 bis 7°C feststellen. Ein miniaturisierter thermoelektrischer Generator, der diesen Temperaturunterschied nutzt und den daraus gewonnenen Strom einem winzigen Akkumulator zur Speicherung zuführt, befindet sich noch im Versuchsstadium. Vielleicht wird es sie einmal geben, die mit Körperwärme betriebene Quarzuhr.

Über ein weiteres Beispiel des hohen Standes der Technik konnte man im Jahre 1983 in technischen Zeitschriften lesen. Es wurde berichtet, daß eine Schweizer Uhrenfirma eine hörende Uhr aus der Taufe gehoben habe. Statt eines Knopfdruckes wird ihr ein Kennwort zugesprochen, um beispielsweise auf Datumsanzeige oder Stoppuhrbetrieb umzuschalten. Die Uhr versteht über ein winziges Mikrofon rund 20 Wörter, deren Frequenzen von der hochintegrierten mikroelektronischen Schaltung analysiert und in digitale Zeichen umgewandelt werden.

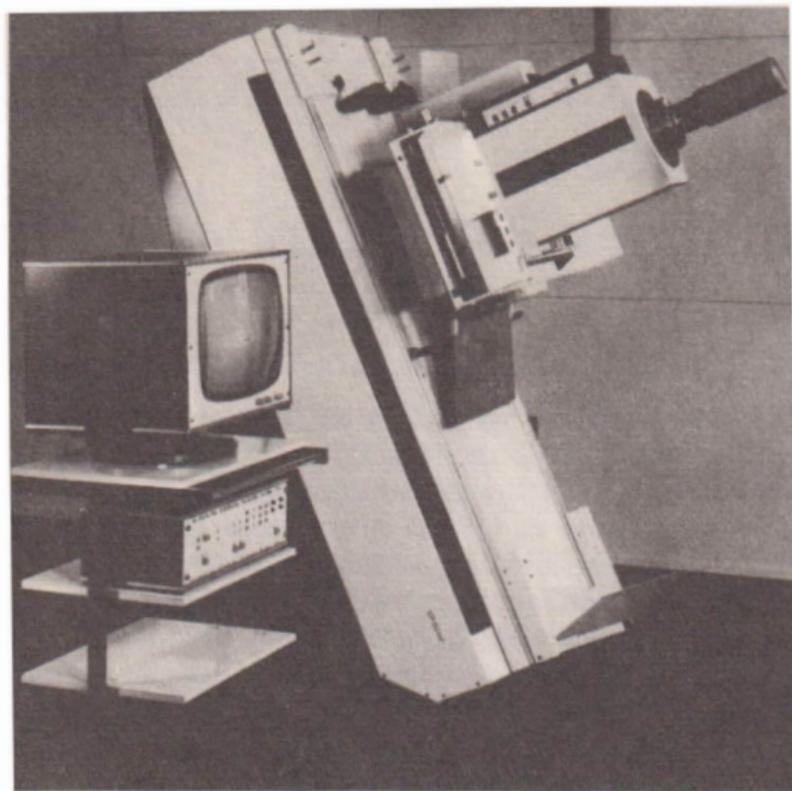
Noch viele interessante Beispiele ließen sich hier anführen, Geräte, die uns als Heizelmännchen in unserer häuslichen Umwelt Arbeitserleichterung, Annehmlichkeiten und Bequemlichkeiten bieten können. Die elektronische Türsicherung, bei der es keinen Schlüssel mehr gibt, oder das mikroprozessorgesteuerte elektronische Notizbuch, das Küchenrezepte wie auch Telefonnummern und Anschriften speichert, oder den Bordrechner im Kraftfahrzeug zur Steuerung der Antiblockier- und Bremssysteme, zur Einhaltung des geschwindigkeitsabhängigen Abstands zum vorausfahrenden Fahrzeug – wir können dies als Anwendungsmöglichkeiten nur erwähnen.

Elektronische Helfer des Arztes und des Patienten

Die Medizin hat sich seit dem 18. Jahrhundert in wachsendem Maße die Errungenschaften der Elektrotechnik und später der Elektronik zunutze gemacht. Die Namen Galvani, Faraday und Volta sowie deren Entdeckungen sind untrennbar mit den Anfängen der Elektromedizin verbunden. Überlieferungen berichten allerdings, daß erste Anwendungen elektrischer Ströme in der Medizin bereits im Altertum zu suchen sind. Zum Beispiel wurden damals manchem Kranken Zitterfische aufgebunden, die Spannungen bis zu 100 V erzeugen können. Von den elektrischen Schlägen versprach man sich Heilung.

Doch erst solche Entdeckungen wie die Batterie zur Erzeugung eines kontinuierlichen Stromflusses, wie die Röhre zur Verstärkung elektrischer Signale, das Vordringen in das Frequenzspektrum elektromagnetischer Wellen schufen schließlich die Voraussetzungen, elektrische und elektronische Geräte in der Medizin mit zunehmendem Erfolg einzusetzen. Immer enger wurde die schöpferische Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren und Ärzten. Vor 1945 zählten zum Fertigungsprogramm der Industrie Röntgeneinrichtungen, Kurzwellengeräte, Elektroschock- und Elektrochirurgieapparate, aber auch schon Geräte, mit denen elektrische Spannungen im menschlichen Körper (Bioströme) nachweisbar waren.

Nach dem zweiten Weltkrieg kamen Ultraschallapparate zur Erzeugung von Aerosolen für Lungenkranke, implantierbare Hörhilfen, künstliche elektronische Kehlköpfe mit guter Sprachverständlichkeit und elektronische Ultraschallgeräte als »Leithunde« für Blinde hinzu. Die Entwicklung der Elektronik führte schließlich zu einer



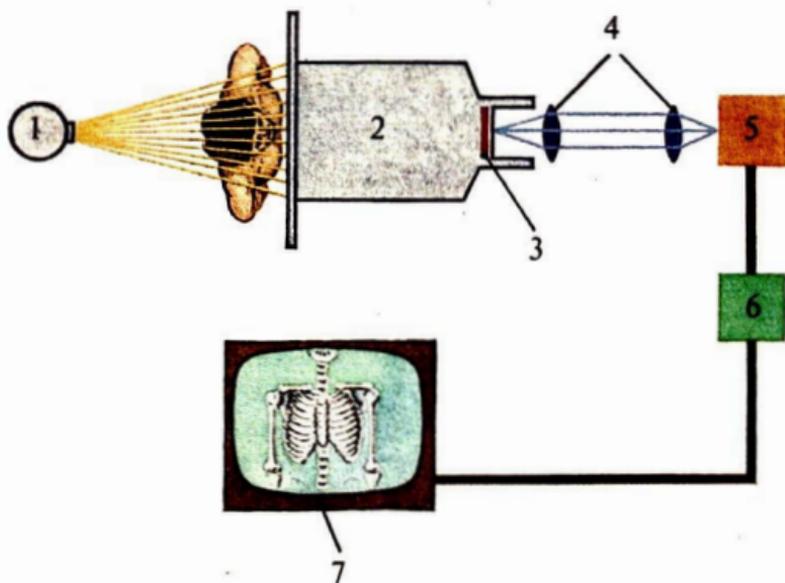
*Röntgenuntersuchungsgerät TuR DG 10-2 mit direkter und Fernseh-
bild-Betrachtung*

bedeutenden Verbesserung bekannter Wirkprinzipien der Medizintechnik, aber auch zur Erschließung völlig neuer Einsatzgebiete.

In der medizinischen Röntgendiagnostik kann die direkte und räumliche Beobachtung der lebenden menschlichen Organe und des Skelettes nur bei einer Durchleuchtung des Patienten erfolgen. Dabei wird die Röntgenstrahlung je nach der Dichte des durchleuchteten Körperteils mehr oder weniger stark abgeschwächt. Die verbleibende Reststrahlung verursacht auf einer mit Zinksalzen beschichteten Folie Fluoreszenzerscheinungen. Auf der Folie wird ein Schattenbild sichtbar. Knochen, relativ strahlenundurchlässig, werden folglich auf der Folie dunkel, die luftgefüllte Lunge dagegen wird heller abgebildet.

Die sich dabei ergebende Bildhelligkeit ist aber bestenfalls mit der Helligkeit einer vom Mond beschienenen Landschaft vergleichbar. Da bereitet es auch dem erfahrenen Arzt Schwierigkeiten, Objekte unter 3 mm Ausdehnung zu erkennen, weil das menschliche Auge für solche Lichtverhältnisse zu unempfindlich ist. Die Intensität bzw. die »Durchschlagkraft« der Röntgenstrahlung könnte zwar erhöht werden, um ein helleres Durchleuchtungsbild zu erhalten, doch dann wäre in unverantwortlicher Weise der Patient gefährdet. Die biologische Wirkung von Röntgenstrahlen führt nämlich bei Überschreitung einer bestimmten Energiemenge zur Schädigung lebender Zellen. Das ist auch der Grund dafür, daß Röntgeneinrichtungen einer Vielzahl von Sicherheitsvorkehrungen unterliegen. Dazu zählen z. B. bleibeschlagene Türen, bleihaltiger Wandputz, Bleiglasscheiben in den Kontrollfenstern und die kleinen, am Arbeitskittel zu tragenden Filmdosimeter.

Mit einer Röntgenfernsehleinrichtung ist der Arzt in der Lage, auch ohne Raumabdunklung zu durchleuchten – bei bedeutend hellerem und kontrastreicherem Bild. 1 – Röntgenröhre; 2 – Bildverstärker; 3 – Leuchtschirmbild (16...21 cm Durchmesser); 4 – Optik; 5 – Fernsehkamera; 6 – elektronischer Verstärker; 7 – Monitor



Der Kompromiß, den der Arzt zwischen gefahrloser Durchleuchtung und ausreichender Bildhelligkeit stets zu schließen gezwungen war, wurde etwa Anfang der sechziger Jahre durch die elektronischen und fernsehtechnischen Entwicklungen abgebaut. Mit der Röntgenfernseh-anlage steht dem Mediziner heute ein Gerät zur Verfügung, das ihm – trotz Verringerung der Röntgendosisleistung – ein Durchleuchtungsbild so hell wie ein normales Fernsehbild liefert. Helligkeit und Kontrast können wie bei üblichen Fernsehgeräten eingestellt werden. Dank dieser Vorzüge wurden verschiedene neuartige Untersuchungsverfahren ermöglicht. Die Durchleuchtung, z. B. während einer Knochennagelung, war bis dahin nur eine Wunschvorstellung.

Besonderes Interesse widmeten die Mediziner – Hand in Hand mit den Technikern – der Messung und Registrierung von Biopotentialen bzw. Bioströmen.

Faraday hatte vor etwa 140 Jahren bei seinen Froschschenkelversuchen erstmals das Auftreten einer elektrischen Potentialdifferenz an biologischen Objekten beobachtet.

Elektrische Energie von einer bestimmten Größenordnung an zwingt unsere Muskeln zu einer krampfartigen Kontraktion, ohne daß wir uns dagegen wehren können. Wer einmal unvorsichtigerweise eine spannungsführende Leitung berührt hat, wird diese Wirkung der Elektrizität auf die Muskeln sicherlich als sehr unangenehm in Erinnerung behalten haben. Lebensgefährlich wird das besonders dann, wenn, z. B. beim Zusammenkrampfen der Hände, spannungsführende Leitungen ergriffen werden. Die Hände kleben dann förmlich an der Leitung. Ohne fremde Hilfe ist der Betroffene verloren.

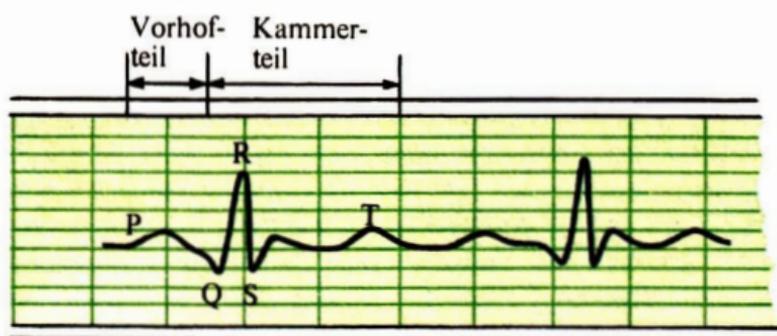
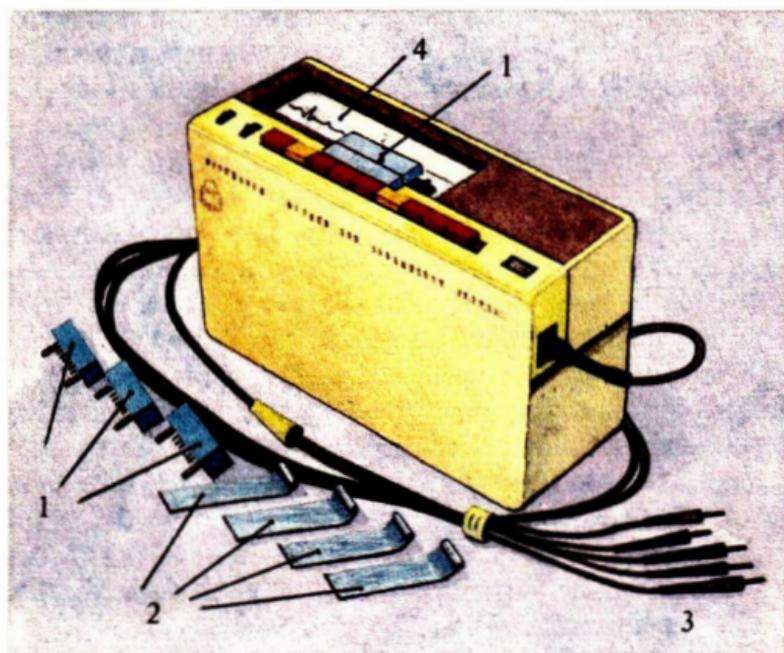
Dagegen genügen kleinste Spannungssignale, um unsere Muskeln wunschgemäß arbeiten zu lassen. Werden die Finger plötzlich zur Faust geballt, dann geht dem – im Ergebnis von Stoffwechselprozessen – ein chemischer Vorgang in den dafür zuständigen Nervenzellen voraus. Ähnlich einem galvanischen Element wird ein Aktionsstrom erzeugt, der dann die Befehlsausführung veranlaßt. Das schwache elektrische Signal zwingt unsere Hand- und Armmuskeln zur Kontraktion. Diesen Sachverhalt

nutzt beispielsweise die Reizstromtechnik, mit deren Geräten erkrankte Muskeln und Nerven von außen mit relativ schwachen Stromimpulsen angeregt werden, um sie wieder an ihre funktionellen Aufgaben zu gewöhnen.

Wird zwischen dem erregten und dem nichterregten Gewebe ein empfindliches Voltmeter angelegt, so kann die Potentialdifferenz als Spannung am Meßinstrument abgelesen werden. Die Aktionsspannung des Herzens bewegt sich in einer Größenordnung von etwa einem Millivolt. Sie wird hauptsächlich an den Hand- und Fußgelenken oder an der Brustwand abgegriffen. Eine direkte Ableitung von der Herzoberfläche könnte allerdings einen etwa 30mal größeren Wert liefern. Aber kein Arzt würde seinen Patienten zur Messung der Aktionsspannungen des Herzens in den Operationssaal bitten. Und um vieles empfindlicher müßte ein Instrument zur Messung der Spannungen der elektrischen Hirntätigkeit sein, die bei $10 \mu\text{V}$ (Mikrovolt) liegt.

Schon allein wegen der unterschiedlichen Anforderungen an hochwertige Verstärker gibt es auch unterschiedliche Geräte zur Messung dieser Bioströme. Die Messung und Darstellung bioelektrischer Erscheinungen am lebenden Gehirn erfolgt mit einem Elektroenzephalographen. Das registrierte Kurvenbild bezeichnet der Mediziner als Elektroenzephalogramm oder kurz EEG. Das Bild der Aktionspotentiale des Herzens wird Elektrokardiogramm (EKG) genannt. EKG-Geräte, Elektrokardiographen genannt, messen die Summe aller an der Erregungswelle der Herztätigkeit beteiligten Spannungen in einem bestimmten Augenblick. An Hand der Zacken und Kurvenabschnitte, aus Größe, Form, Zeitdauer, Amplitude und Beziehungen zueinander erhält der Arzt Informationen, die unter anderem Rückschlüsse auf Herzmuskelschäden oder Rhythmus- und Durchblutungsstörungen zulassen.

Inzwischen gibt es, entsprechend ihrem Verwendungszweck, EKG-Geräte von der Größe eines Kofferradios bis zur Größe eines Schreibtisches. Zudem wurden Geräte entwickelt, die mehrere Funktionen in sich vereinen. Der Elektrokardiotachograph ist beispielsweise ein volltransistorisiertes Gerät, das in sich eine Pulsfrequenzmeßstufe und die Systeme zur Aufzeichnung eines EKG vereinigt.



Mobiler, batteriebetriebener Einkanalelektrokardiograph. 1 – Programmstecker für die verschiedenen Ableitungsarten; 2 – Kontaktbleche für die Herstellung eines elektrisch leitenden Kontaktes zur Hautoberfläche; 3 – Steckverbinder zwischen Gerät und Kontaktblechen; 4 – Registrierstreifen. Darunter die Aktionsspannungen des Herzens. P – Welle: elektrischer Ausdruck der Vorhofstätigkeit; PQ – Zeit: Dauer der Überleitung von den Vorhöfen des Herzens zu den Kammern; QRS – Komplex: Ausdruck der Erregungsausbreitung innerhalb der Kammern; ST – Strecke: Höhe der Kammererregung; T – Welle: Dauer des Erregungsrückgangs

Bei der Überwachung schwerkranker Patienten spricht es auf Alarmsymptome an, z. B. wenn ein oberer Grenzwert der Herzfrequenz überschritten, wenn ein unterer Grenzwert der Herzfrequenz unterschritten wird, die Aktionsimpulse des Herzens über eine bestimmte Zeit ausbleiben (Herzstillstand) oder eine unregelmäßige Herzschlagfolge auftritt (Arrhythmie).

Im Alarmfall wird automatisch ein EKG oder die Pulsfrequenz aufgezeichnet. Außerdem kann über eine Warn-einrichtung als Zusatzgerät, das z. B. im Stationszimmer einer Krankenstation aufgestellt ist, sofort Hilfe herbeigeführt werden. Der Arzt findet dann bereits am Krankenbett dokumentationsfähige Aufzeichnungen vor, aus denen er Schlüsse für Hilfsmaßnahmen ziehen kann.

Weit empfindlicher als Elektrokardiographen müssen natürlich Geräte sein, die die Hirnpotentiale messen und registrieren sollen. Hochleistungsverstärker sind erforderlich, um letztlich eine Leistung von etwa 3 W zu erhalten, so daß die Schreibzeiger des EEG-Gerätes auch entsprechend angesteuert werden. Wieder waren es die Elektronenröhren und die Entwicklung der Verstärkertechnik, die dieser wichtigen Untersuchungsmethode des menschlichen Gehirns als »Geburtshelfer« dienen.

Mehrjährige Erfahrungen beim Messen und Auswerten gesunder und erkrankter Gehirne schufen schließlich die Voraussetzung, daß auch EEG-Geräte zur klinischen Diagnostik anerkannt wurden. Heute können mittels EEG Aussagen über Hirnschädigungen bei Unfällen oder über Ursachen epileptischer Erscheinungen oder über die Ausweitung eines Tumors getroffen werden. Beispielsweise verändert sich bei einem wachsenden Tumor der Wasser- und Natriumgehalt der beteiligten Gehirnzellen. Daraus ergibt sich eine Veränderung des spezifischen Widerstandswertes, was sich im Kurvenbild als Abweichung der Amplitude vom Erfahrungswert gegenüber einem gesunden Hirn widerspiegelt. Außerdem ist das Tumorge-webe selbst so inaktiv, daß die Frequenz der Hirntätigkeit am Krankheitsherd stark von der eines gesunden Hirnes abweicht.

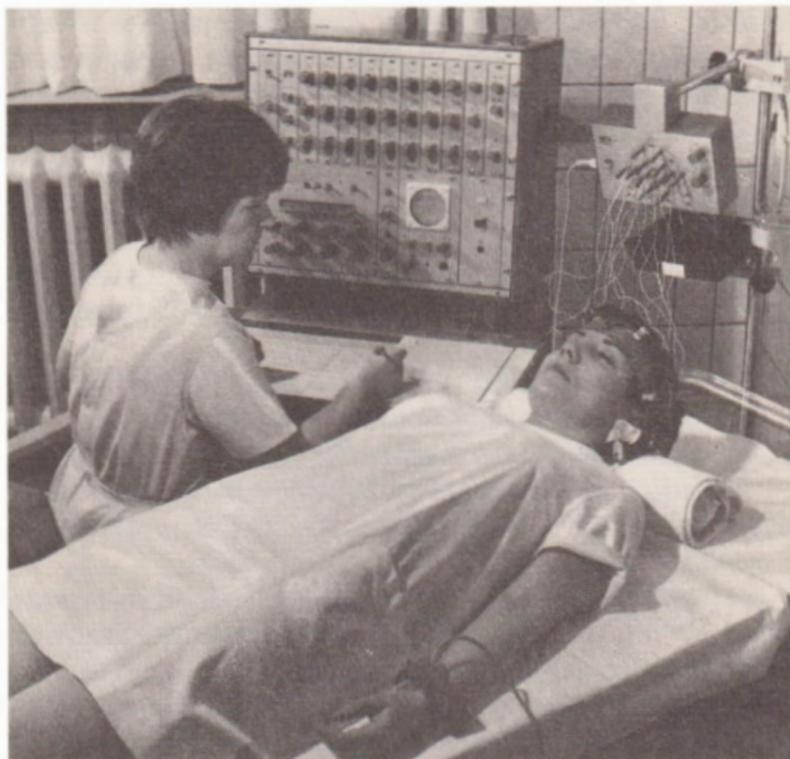
Seit einiger Zeit wird das EEG in Verbindung mit Geräten zur vollelektronischen Messung der Hauttempera-

tur, der Atemtätigkeit, Herzfrequenz und des Lidschlages dazu verwendet, um nach Zusammenhängen zwischen physischer und psychischer Belastbarkeit des Menschen zu suchen. Die Flut der Informationen und Erlebnisse, die Qualifizierung während des gesamten Berufslebens und die Streß-Situationen verlangen insbesondere denjenigen Organfunktionen hohe Leistungen ab, die der Anpassung an unsere Umwelt dienen. In erster Linie betrifft das die Funktionen des Zentralnervensystems. Wenn auch das Leistungsvermögen unseres Gehirns noch längst nicht ausgeschöpft ist, gilt es doch, dafür zu sorgen, daß weder Fehlanpassungen noch Überlastungen unseres Organismus eintreten können.

In besonderen Tätigkeitsgruppen sind solche und ähnliche Untersuchungen seit mehreren Jahren schon weit verbreitet. Zum Beispiel sind Fließbandarbeiter, Piloten, Lokomotivführer und Sportler Langzeitbelastungen oder schnellen Leistungssteigerungen ausgesetzt. Hier hilft diese Methode, Aussagen über bestimmte Einsatz- und Belastungsfähigkeiten, über Konzentrationsfähigkeit, Reaktionsvermögen und Streßwiderstandsfähigkeit zu gewinnen. Gleichermäßen eignet sich dieses komplexe Kontrollsystem für Eignungs- und Tauglichkeitsuntersuchungen anderer Berufsgruppen.

Die detaillierte Analyse eines EEG und EKG setzt vielfach noch immer eine langjährige Praxis des behandelnden Arztes im Umgang mit solchen Kurvenbildern voraus. Eine gesicherte Diagnose findet er daraus oft erst nach zeitaufwendiger Auswertung mit Zirkel und Lineal und aus Erkenntnissen anderer Diagnosemethoden. Zur Entlastung des hochqualifizierten medizinischen Personals von routinemäßigen Tätigkeiten und zur Einschränkung subjektiver Einflüsse könnte die Auswertung derartiger Informationen künftig mit Hilfe elektronischer Datenverarbeitungsanlagen erfolgen. Das trifft auch für viele andere Informationsmengen im medizinischen Bereich zu.

Völlig falsch wäre aber die Schlußfolgerung, daß wir in Zukunft auf den diagnostizierenden Arzt verzichten können. Elektronische Geräte, Anlagen und Rechner werden dem Arzt in zunehmendem Maße helfen, seine Aufgaben



Elektroenzephalograph (RFT Bioscript BST 1) zur Messung und Registrierung von Hirnpotentialen mit einer bei Routineuntersuchungen üblichen Variante der Lage der Ableitungspunkte

zu lösen. Er wird durch sie immer mehr Möglichkeiten erhalten, sich mit der Früherkennung von Krankheiten durch prophylaktische Reihenuntersuchungen zu befassen und sich in der ihm zur Verfügung stehenden Zeit noch mehr dem Patienten zu widmen. Die Elektronik wird den Mediziner zu sicheren Diagnosen befähigen, ohne ihn jedoch jemals von seiner Verantwortung gegenüber dem Kranken entlasten zu können.

Der Mannigfaltigkeit der Krankheitsursachen steht eine kaum überschaubare Vielzahl von Krankheitserrscheinungen gegenüber. Zudem äußert sich eine Erkrankung nicht bei jedem Menschen durch stets gleiche Symptome. Das Lösen kriminalistischer Rätsel scheint da bisweilen leichter zu sein als eine richtige Diagnose. In-

interessant ist in dieser Hinsicht das Ergebnis eines »Wettbewerbes« zwischen einem elektronischen Rechner und zehn profilierten Ärzten, der vor Jahren in Japan ausgetragen wurde. Es ging darum, in 123 Fällen auf Grund der Untersuchungsergebnisse ein bestimmtes Herzleiden zu diagnostizieren. Die Mediziner stellten in 75,2 bis 78% die richtige Diagnose, der Rechner dagegen in 90,1%.

Das System der elektronischen Diagnose mit Hilfe von Rechneranlagen beruht im wesentlichen auf folgenden Überlegungen:

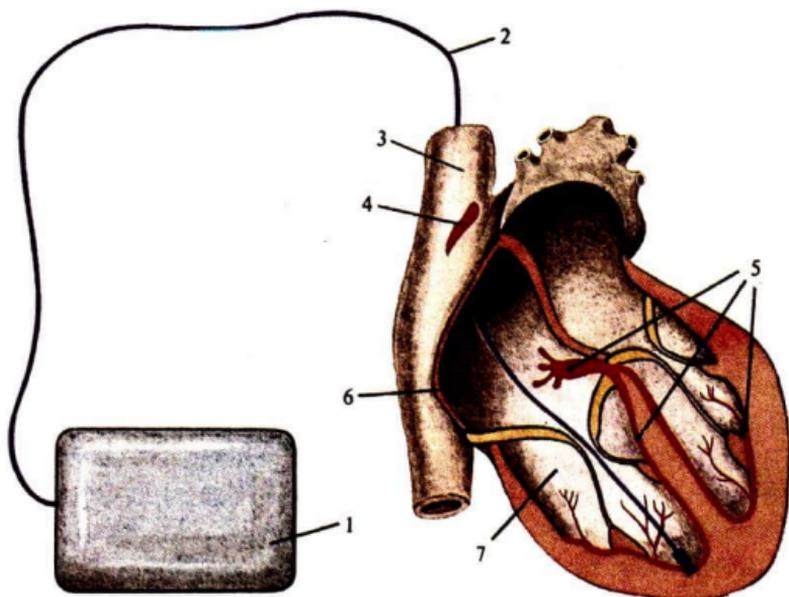
- Alle Krankheitsbilder setzen sich aus ganz bestimmten Krankheitszeichen (Symptomen) zusammen.
- Jedes der bekannten Krankheitsbilder besteht aus im wesentlichen feststehenden Symptomkombinationen.
- Die einzelnen Krankheiten sowie ihre Symptome lassen sich ordnen.

Der technische Aufwand lohnt sich jedoch nur dann, wenn auch alle anderen für eine Diagnose notwendigen Informationen schnell genug vorliegen und dem Rechner eingegeben werden können. Eine Rechenanlage, die in Minutenschnelle diagnostizieren kann, aber stundenlang auf Ergebnisse einer Blut- oder Urinuntersuchung warten muß, wäre wohl eine Fehlinvestition.

Der Einsatz der elektronischen Rechner wird sich vorerst auf medizinische Zentren konzentrieren, wo eine große Anzahl von Patienten auch die Auslastung modernster EDV-Technik gewährleisten wird.

Nicht nur als rationeller Helfer des Arztes, sondern auch als unmittelbare Stütze für den Patienten finden elektronische Systeme dankbare Nutzer.

Weltweite Verbreitung fand inzwischen der implantierbare Herzschrittmacher. Beim gesunden Herzen wird der bedarfsgerechte Herzrhythmus durch den Sinusknoten reguliert, der sich in der Vorkammer des Herzens befindet. Dieser natürliche Generator erzeugt bei einem gesunden Menschen – je nach der Belastung des Körpers – 60- bis 140mal je Minute winzige Stromstöße. Die Impulse laufen über das Reizleitungssystem bis zur Herzspitze und veranlassen dann die Herzmuskeln zur Kontraktion und damit das Pumpen des Blutes durch den Körper. Bei Herzrhythmusstörungen, insbesondere, wenn sich der



Implantierbarer Herzschrittmacher mit in der rechten Herzkammer verankertem Elektrodenkabel zur Stimulierung der Herzmuskelkontraktion bei Herzrhythmusstörungen. 1 – Herzschrittmacher einschließlich Batterie; 2 – Schrittmacherelektrode; 3 – obere Hohlvene; 4 – Sinusknoten (natürlicher Schrittmacher); 5 – Reizleitungssystem; 6 – rechte Vorkammer; 7 – rechte Herzkammer

Herzschlag unter 50 Schläge je Minute verlangsamt, kann es in den Organen zu lebensgefährlichem Blut- und Sauerstoffmangel kommen. Da das Gehirn auf solchen Mangel zuerst reagiert, kommt es dann zu Schwindelzuständen oder gar zu Anfällen von Bewußtlosigkeit. Das Herz kann sich nun auch den Erfordernissen bzw. Belastungsfällen des Körpers nicht mehr anpassen. Solche Störungen können dauerhaft erfolgreich nur behandelt werden, wenn ständig ein künstlicher Herzschrittmacher das Herz zu seiner Tätigkeit anregt.

Erstmals versuchte im Jahre 1804 der Italiener Aldini, mittels künstlicher elektrischer Impulse den Herzmuskel zur Kontraktion zu bringen. Doch erst knapp 150 Jahre später wurde von erfolgreichen Wiederbelebungsversuchen mit einem künstlichen Herzschrittmacher berichtet. Die Transistortechnik und die damit verbundene Minia-

turisierung boten schließlich die Bedingungen, durch die es dem schwedischen Kardiologen Senning im Jahre 1958 gelang, einen Herzschrittmacher unter der Haut eines Patienten zu implantieren. Heute gibt es viele Tausende von Menschen, die mit einem solchen Generator versorgt sind.

Die Vorfahren der heutigen künstlichen Herzschrittmacher waren – dem Entwicklungsstand der Technik entsprechend – groß, schwer und mußten außerhalb am Körper getragen werden. Die Schlagfolge ließ sich über einen Stellknopf regulieren. Infolge der Anfälligkeit jener Geräte brauchte der mit einer solchen Prothese versehene Patient ein Ersatzaggregat. Am schwierigsten zu meistern war die Infektionsgefahr; denn selbst bei größter Sorgfalt drangen immer Bakterien entlang der Kabel durch die Hautöffnung in den Körper ein. Ein geeigneter Weg konnte also nur das keimfreie Einsetzen des gesamten Schrittmachers in den Organismus selbst sein. Das bedingte jedoch kleinere und leichtere und vor allem funktionsstüchtige Geräte mit langer Lebensdauer.

Auch der von Dr. Senning erstmals implantierte Herzschrittmacher konnte diese Probleme nur annähernd beheben. Zu häufig mußten die Batterien von außen aufgeladen und nach Wochen durch operativen Eingriff ausgewechselt werden. Der Stromverbrauch war wegen der verwendeten Transistortechnik zu hoch. Hinzu kamen Elektrodenbrüche. Über 40millionenmal schlägt unser Herz im Jahr. Zweimal so oft wird dabei die Elektrode auf Biegung beansprucht. Weitere Operationen waren die Folge.

Die anfänglichen Schwierigkeiten waren nach nur einem Jahrzehnt weitgehend behoben. Schon zu Beginn der sechziger Jahre gab es Schrittmacher, die ein Jahr lang sicher funktionierten. Wegbereiter zur heutigen Stufe der medizinischen Prothetik war wieder der hohe Entwicklungsstand der Elektronik. Die Anwendung moderner physikalischer Erkenntnisse zur Entwicklung hochwertiger elektronischer Bauelemente einschließlich funktionsbedingten Zubehörs führte auch bei den künstlichen Herzschrittmachern zum zuverlässigen Einsatz.

Künstliche Herzschrittmacher werden heute meist nur

unter örtlicher Betäubung in rund einer halben Stunde operativ implantiert. In dem etwa streichholzschachtelgroßen Schrittmacher befinden sich die Energiequellen und der eigentliche Impulsgenerator. Als Spannungsquelle kann eine Lithium-Jod-Batterie dienen, die eine Betriebsdauer von etwa sieben Jahren gewährleistet. Sie nimmt dabei die Hälfte des verfügbaren Volumens ein. Der Generator wird im wesentlichen durch einen integrierten Schaltkreis realisiert, der in der aufwendigen Ausführung über 1 000 Transistoren in sich vereinigt. Der Schaltkreis ist entsprechend seiner Aufgabe mit weiteren elektronischen Bauelementen ergänzt. Alles zusammen wird von einem Gehäuse aus außerordentlich korrosionsbeständigem Titan umschlossen. Das moderne Laserschweißen gewährleistet, daß das System absolut dicht verschlossen ist.

Die Höhe und Breite der Impulse wurde durch Experimente statistisch ermittelt und der Konstruktion des Herzschrittmachers zugrunde gelegt. Danach unterscheidet man Schrittmacher, bei denen die eingestellten Werte – meist 75 Impulse je Minute – nach der Implantation unter die Haut nicht mehr geändert werden können. Sie passen sich wechselnden Belastungszuständen oder gar organischen Veränderungen nicht an. Sie werden bei jenen Patienten eingesetzt, bei denen der Puls unter 50 Schläge je Minute aufweist. Etwa zwei Drittel der Patienten erhalten dagegen sogenannte Bedarfsschrittmacher, da die Verlangsamung der Herzschlagfrequenz bei ihnen nur zeitweilig auftritt. Diese Systeme sind elektronisch aufwendiger, was jedoch durch die Mikroelektronik kein Problem mehr darstellt. Unter den Bedarfsschrittmachern gibt es solche, die sich nur dann einschalten, wenn infolge einer abnormen Pulsverlangsamung ein Bedarf für eine höhere Herzschlagfolge erwächst. Ansonsten bleibt dieser Schrittmacher nur in Bereitschaft. Eine andere technische Lösung gestattet, von außen mittels eines Magneten mehrere Varianten für die Impulsbreite einzustellen. Außerdem kann sich dieses System erst in Funktion setzen, wenn der Herzschlagrhythmus unter die normalen 75 Schläge je Minute abfällt.

Automaten – Kopie des Menschen?

Mikroelektronik – vor wenigen Jahren nur ein Begriff in der Fachsprache der Elektroniker, heute in aller Munde. In bisher nicht bekanntem Maße führt die Mikroelektronik zur Einsparung von Material, Energie und Arbeitszeit. Sie vermag Erzeugnisse mit qualitativ neuen Eigenschaften und höherer Zuverlässigkeit hervorzubringen und schafft neue Arbeitsinhalte.

Durch den anpassungsfähigsten Typ gegenwärtig bekannter Bauelemente, durch den Mikroprozessor, vollzieht sich zur Zeit besonders auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik ein grundlegender Wandel. Auch im häuslichen Bereich haben wir beispielsweise im Taschenrechner zur Automatisierung mathematischer Routineprozesse mit ihnen bereits engsten Kontakt. Viele andere Wunschvorstellungen sind durch die Mikroelektronik der Verwirklichung ganz nahe gerückt, in vielen Ansätzen schon greifbar. Täglich überraschen uns neue Meldungen von technisch hochentwickelten Automaten, die körperliche und geistige Tätigkeiten des Menschen ersetzen. Dabei können die elektronischen Baugruppen und die elektronischen Systeme gleichsam das Herzstück, die Steuerzentrale und das »Gedächtnis« eines modernen leistungsfähigen Automaten darstellen. Andere sinnvolle elektronische und mikroelektronische Bauelementekombinationen können als Wandler dienen, die z. B. eine mechanische in eine elektrische Meßgröße oder ein analoges in ein digitales Signal umwandeln, oder als Verstärker, um vielleicht das schwache Signal einer Fozelle zur Ansteuerung eines Stellmotors zu nutzen. So wurde es durch die Fortschritte insbesondere der Mikroelektronik viel-

fach erst möglich, einem Automaten mit vertretbarem Aufwand zu funktionsgerechtem »Leben« zu verhelfen. Da elektronische Systeme jedoch allein nicht hinreichend sind, um als Automat auftragsgemäß wirksam zu werden, sind von keinesfalls geringer Bedeutung jene technischen Funktionsgruppen, mit denen Automat und Umwelt in der von den Konstrukteuren vorbestimmten Weise in Wechselbeziehung treten. Unentbehrliche Teile eines Automaten müssen folglich Meßglieder sein, die alle für eine erfolgreiche Aktivität wesentlichen Kenngrößen der Umwelt oder des Arbeitsprozesses genügend genau und schnell erfassen (z. B. Lage, Druck, Drehzahl, Temperatur oder auch Farbe und Form) – meist gleichzeitig und ununterbrochen. Gleichmaßen wichtig sind Stellmotoren, die laut programmierter Entscheidung der Steuerzentrale z. B. eine bestimmte Zeit lang ein Ventil öffnen oder ein Werkzeug haargenau an die festgelegte Stelle am Arbeitsgegenstand ansetzen, sowie Bedien- und Kontrolleinrichtungen, damit einerseits der Mensch dem Automaten seine Forderungen (gegebenenfalls auch seine Funktionskorrektur oder ein neues Programm) aufprägen und andererseits der Automat z. B. über Funktionsabläufe informieren oder bei Havarie alarmieren kann. Erst wenn alles in sinnvoller Kombination vereinigt ist, kann die Automatisierungseinrichtung weitestgehend ohne unmittelbares Zutun des Menschen ihre Arbeit aufnehmen.

Aus der allgemeinen Darstellung der möglichen Bestandteile eines Automaten deutet sich die Fülle der zu bearbeitenden Informationen und der daraus resultierenden Reaktionen an, die energetisch und ökonomisch sinnvoll nur durch die hochintegrierte Schaltungstechnik der Mikroelektronik zu bewältigen sind. Deshalb ist ein komplizierter Automat unserer Zeit prinzipiell auch durch den Einsatz der Mikroprozessoren und – mit den entsprechenden Ergänzungen – der Mikrorechner gekennzeichnet.

Ein Automat, dessen »Innenleben« ganz dem vereinfacht dargelegten Funktionsprinzip entspricht, ist der automatische Fahrkartenverkäufer, der »universelle Selbstbedienungsverkaufsautomat für Fahrkarten und andere Belege«.

Der Dialog mit dem Reisenden findet über Berührungstasten des Automaten und das Bildschirmfeld statt, das in Frage- und Antwortteil getrennt ist. Er ist besonders für jene Reisende eine große Erleichterung, die eine bestimmte Strecke oft befahren. Die per Automat gelöste Fahrkarte enthält nämlich eine Wahl-Nummer, die – eingetastet – den ausführlichen Dialog erspart. Bezahlt wird beim Fahrkartenautomaten mit Münzen. Münzen anderer Währung oder Geldimitationen nimmt er nicht. Dafür sorgt ein neuartiger Münzprüfer.

Die weite Verbreitung des Fahrkartenverkaufsautomaten zeigt, daß es damit erfolgreich gelungen ist, die menschliche Tätigkeit zu kopieren. Dabei hat der Automat allerdings gar nichts Menschliches an sich. Er kann sich zwar mit dem Reisenden »unterhalten«, wunschgemäß Fahrkarten ausstellen und das entsprechende Fahrgeld entgegennehmen und wechseln, aber ansonsten ist er ein metallener Kasten und »beschränkt«. Was ihm seine Konstrukteure nicht »vorgesagt«, was sie nicht programmiert haben, kann er nicht tun. Dafür ist er aber Tag und Nacht dienstbereit, braucht keine Erholungspause und Nachtruhe – abgesehen von der üblichen Wartung.

Die ersten Tests mit dem Fahrkartenautomaten verdeutlichten, wie schwer es doch manchem fällt, sich mit dem Neuen, konkret mit der Mikroelektronik, anzufreunden. Umdenken ist eine Herausforderung dieser neuen Technik an uns alle, sowohl an jene, die ihr Funktion und zweckdienliche Gestalt geben, als auch an die, die mit ihr umgehen. In nächster Zeit werden immer häufiger ähnliche Gelegenheiten auf uns zukommen, bei denen wir unsere langjährigen Erfahrungen korrigieren und neuen Gewohnheiten Platz machen müssen. Ungewohntes befremdet wohl zunächst stets etwas. Auch wenn die Skeptiker ein »Haar in der Suppe« finden, so muß das kein Nachteil sein. Kritisch und dem Neuen gegenüber dennoch aufgeschlossen zu sein, hilft, die technischen »Kinderkrankheiten« schnell zu beheben und den technischen Fortschritt rasch weiterzuentwickeln.

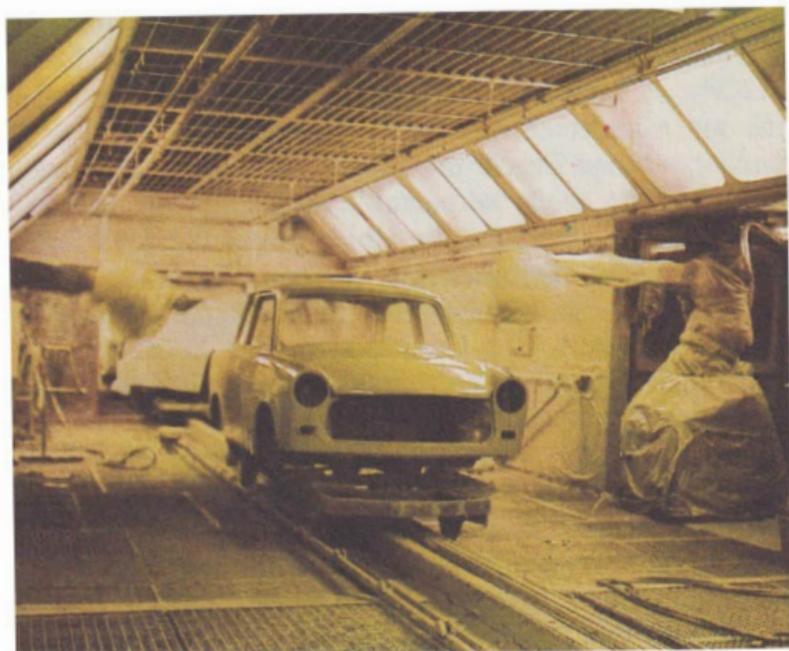
Auch Roboter sind längst unter uns. Im Jahre 1920 erschien ein Theaterstück des tschechischen Schriftstellers Karel Čapek, in dem mechanische Menschen wegen ihrer

größeren physischen Fähigkeiten und ihrer entwickelten »Bildung« begannen, ihre Schöpfer zu vernichten. Diese Gebilde in menschenähnlicher Gestalt bezeichnete Čapek als Maschinenmenschen bzw. als Roboter. Damit machte er einen Begriff populär, der in unserer Zeit international eine große wirtschaftliche Bedeutung erhalten hat. Es sind Automaten, die einige Bewegungsfunktionen des Menschen reproduzieren können. Inwieweit ihnen auch eine gewisse »Intelligenz«, die Fähigkeit zum selbständigen Erwerb von Kenntnissen und Erkenntnissen, beigebracht werden kann, hängt von dem Entwicklungsstand der Wissenschaft und Technik ab.

Angeregt durch wissenschaftlich-phantastische Bücher und Filme, ist eine Vorstellung vom Roboter entstanden, die nicht so recht in das äußere Bild unserer Gegenwart paßt. Möglicherweise wird es für die eine oder andere Arbeit Automaten in menschenähnlicher Gestalt geben, prinzipiell wird ihr Aussehen jedoch dem Zweck angepaßt sein. Ein Greifarm kann dann ebensogut zu dieser Kategorie von Automaten zählen wie ein schreitender Hubschrauber.

Roboter sind schneller und ausdauernder als Menschen. Sie werden erdacht, um die Arbeit des Menschen zu rationalisieren und damit eine höhere Produktivität zu erreichen.

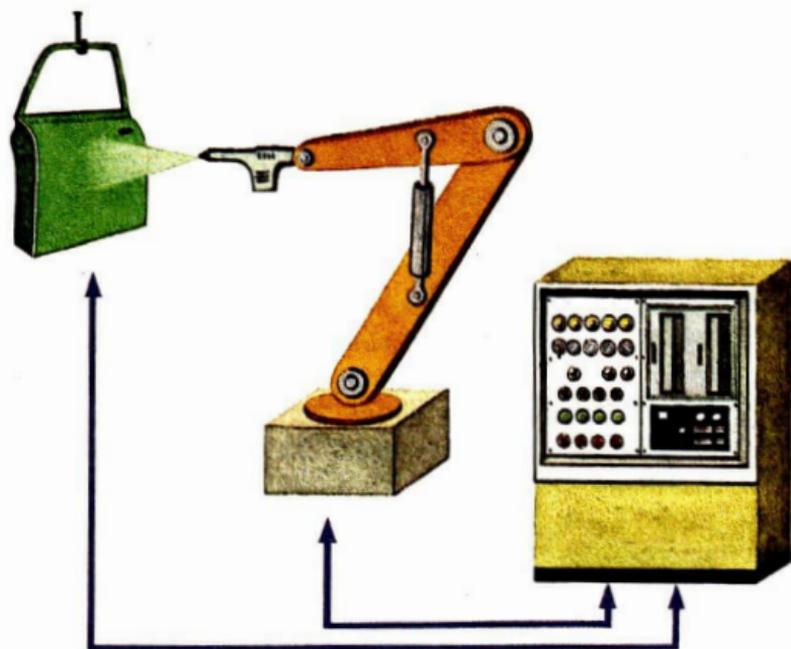
Überall in der Welt werden immer wirkungsvollere Industrieroboter eingesetzt. Schon mehren sich die Meldungen von Versuchsmustern und produktionsreifen Roboterentwicklungen, die fühlen, sehen und etwas »lernen« können. Das Kernstück eines »lernenden Roboters« ist ein Rechner bzw. ein System aus Mikrorechnern auf der Basis schneller Mikroprozessoren. Der Werk tätige, der bisher z. B. mit dem Punktschweißen einer Fahrzeugkarosse beauftragt war, bedient den mit den Schweißelektroden ausgestatteten Greifarm des Roboters und führt alle Punktschweißungen in der zweckmäßigsten Weise aus. Nur einmal. Währenddessen erfassen empfindliche Sensoren die Winkelgrade der Bewegungen, die jeweilige Lage und Stellung des Greifarmes im Moment der Punktschweißung sowie die Beschleunigungsphasen zum nächsten Schweißpunkt. Gleichzeitig werden alle Weg- und



Roboter als Lackierer von Fahrzeugkarosserien im Einsatz (VEB Sachsenring Automobilwerke Zwickau)

Schaltinformationen in Signale umgesetzt, die der Mikrorechner verarbeiten und speichern kann. Den Sensoren kommt dabei die Rolle von Sinnesorganen zu. Sie messen und geben ihre Informationen an das »Gedächtnis« des Rechners weiter. Danach ist der Roboter in der Lage, die gleichen Bewegungen und Punktschweißungen nacheinander aus seinem Speicher abzurufen und beliebig oft zu wiederholen, schnell oder langsam, exakt und in genau der gleichen Reihenfolge.

Befindet sich die nächste Karosse jedoch zufällig nicht haargenau an derselben Stelle wie ihre Vorgängerin, dann geht jede Schweißung daneben. Der Roboter im geschilderten Entwicklungsstadium kann noch keine selbständige Korrektur vornehmen. Deshalb wurden auf einer weiteren Entwicklungsstufe Industrieroboter konstruiert, die ihren Greifarm ohne Richtungseinschränkung frei im Raum bewegen, so daß ihnen befohlen werden kann, was sie ganz allgemein tun sollen. Die Details der Arbeit werden dann z. B. über das optische Auge – eine Fotozelle –



Vereinfachte Darstellung des Lackier-Roboters mit den angedeuteten Wegen des Informationsflusses und der Rückkopplung

gesteuert. Ein Programm eines solchen Roboters könnte dann verbal lauten: »Gehe in Plus-x-Richtung, bis im Strahl der Fotozelle ein Hindernis auftaucht. Mache eine Punktschweißung. Gehe in die Minus-x-Richtung, bis die Fotozelle frei ist. Gehe 20 Millimeter in Plus-y-Richtung ...«

Viel einfacher wäre es selbstverständlich, wenn sich ein Automat oder Roboter durch das gesprochene Wort sagen ließe, was von ihm erwartet wird. Elektronische Rechner, die fremdsprachige Texte übersetzen können, gibt es ja schon.

Dialogartige Gespräche und damit direkte Wechselwirkungen zwischen Mensch und Rechner sind jedoch bei dem heutigen Entwicklungsstand noch nicht umfassend möglich. Die Voraussetzungen dafür – das sinnrichtige Hören durch den Automaten, das Analysieren der Schall-schwingungen hinsichtlich Frequenz, Amplitude und Phasenlage – stecken noch in den Anfängen. Nach Meinung vieler Wissenschaftler werden brauchbare Lösungen

erst mit einer höheren Entwicklungsstufe der Mikroelektronik sowie mit der Schaffung noch größerer Speicherkapazitäten erbracht werden können. Die sich abzeichnenden Entwicklungstendenzen berechtigen zu Optimismus – ohne jedoch auszuschließen, daß vielleicht eine andere Technik und Technologie die Basis der künftigen Informationsverarbeitung darstellen, beispielsweise eine optisch-elektronische.

Die Aussicht auf »begabte« Maschinen mit »Bildungs- und Urteilsfähigkeit« drängt aber auch die Frage auf, wo wir Menschen uns in dieser »technischen Welt« einordnen. Wenn wir im Verlauf des wissenschaftlich-technischen Fortschritts mehr und mehr viele unserer Fähigkeiten Automaten überantworten, werden wir nicht schließlich zum Untertanen dieser Erfindungen und Forschungsergebnisse werden?

Verschiedene Ereignisse in der menschlichen Geschichte scheinen dies zu bestätigen. Anfang des 19. Jahrhunderts erfand der Franzose Joseph Marie Jacquard (1752–1834) einen automatischen Webstuhl, der mittels Lochkarten gesteuert wurde und jeden Weber auch bei komplizierten Mustern übertraf. Die Lyoner Weber fürchteten um ihren Broterwerb und zerstörten die Maschine. Nicht anders erging es dem Pariser Armeeschneider Thimmonier, der im Jahre 1830 die erste Nähmaschine erfand. Und heute? In kapitalistischen Ländern trägt die Mikroelektronik den bitteren Beinamen »Jobkiller«. Entgegen geschichtlichen Erfahrungen wird der Stand der Technik dafür verantwortlich gemacht, daß Werktätige um ihre Existenzgrundlage kämpfen müssen.

Daß sich eine neue Technik keinesfalls zum Nachteil eines oder Tausender von Werktätigen auswirken muß, dafür geben die sozialistischen Staaten den lebendigen Beweis, in denen Vollbeschäftigung und soziale Sicherheit ein Leben ohne Existenzangst und Zukunftspessimismus garantieren. Die Ursachen von Arbeitslosigkeit und anderen typischen Erscheinungen des kapitalistischen Alltags müssen folglich nicht im Entwicklungsstand der Technik gesucht werden, sondern vielmehr im gesellschaftlichen System selbst.

In der weiteren Auseinandersetzung mit seiner Umwelt

wird der Mensch Hemmnisse seiner gesellschaftlichen Entwicklung überwinden, er wird sich technische Errungenschaften allseitig dienstbar machen – ohne Furcht vor einer angeblichen »Diktatur der Roboter«.

Durch das eingehende Studium verschiedener Seiten der menschlichen Geistestätigkeit, des Lernverhaltens, des Reaktionsvermögens auf Umweltreize, der Sprech- und Verständigungsfähigkeit sowie der motorischen Tätigkeit fand und findet der Mensch über mathematische Methoden und Modelle Zugang zu immer »höher entwickelten« Maschinen. Sie waren aber stets Ergebnisse menschlichen Schöpferturns und deshalb immer nur Arbeitsmittel, deren Verhalten letztlich der Mensch bestimmte. Das wird auch künftig so sein.

Mittels der Elektronik hat der Mensch bereits Automaten geschaffen, mit denen er gewisse Denkprozesse und Bewegungsvorgänge zuverlässiger und bedeutend schneller ablaufen lassen kann, als er es jemals selbst vermochte. Sie können »kombinieren« wie ein Schachspieler, schneller schreiben als eine Sekretärin oder ein großes Kollektiv von Mathematikern ersetzen und in Vereinigung mit Meß- und Stelltechnik Arbeitsgänge und Prozeßabläufe wie ein qualifizierter und umsichtiger Facharbeiter meistern. So werden beispielsweise künftige Nutzenwendungen der Elektronik auf das vom Programmierer ausgearbeitete Programm verzichten können, da sie sich ihr Programm teilweise selbst geben, ja, es sogar, entsprechend veränderten Bedingungen, selbständig und zweckentsprechend umprogrammieren. Aber zwischen dem »Denken« des Automaten und dem Denken des Menschen besteht keine Identität, sondern eine Analogie; sie ähneln einander, sind aber nicht wesensgleich. So leistungsfähig ein Automat auch einmal sein wird, stets wird er sich nur auf Grund physikalisch-chemischer Gesetzmäßigkeiten entfalten können. Er wird weder wie ein Mensch denken, fühlen, erleben noch vernünftig oder mit seinem »Rechnergehirn« Bestandteil des gesellschaftlichen Bewußtseins sein können. Der komplexe Charakter des menschlichen Denkprozesses kann nicht durch ein maschinelles Nachvollziehen einzelner menschlicher Denkopoperationen ersetzt werden.

Die teilweise Überlegenheit der elektronischen Gebilde gegenüber dem Menschen besteht darin, daß sich die Prozesse im Automaten in der Regel genauer und wesentlich schneller abwickeln als die biologischen Vorgänge beim Menschen. Der Automat ist nicht an biologische Gesetzmäßigkeiten gebunden und wird außerdem nicht regelmäßig müde. In diesen dem Menschen auferlegten Grenzen liegt das Geheimnis der erstaunlichen Leistungsfähigkeit von Automaten bzw. Robotern, die der Mensch im Interesse des gesellschaftlichen Fortschritts und zur Verbesserung seiner Arbeits- und Lebensbedingungen nutzt und weiterentwickeln wird. Trotzdem wird ihm auch künftig das Denken nicht abgenommen werden. Im Gegenteil, wenn der Automat arbeitet, hat der Mensch mehr Zeit für das Nachdenken, für schöpferische Aktivität. Fuhrwerke und Autos sind, was die Fortbewegung und das Transportvermögen anbelangt, leistungsfähiger als ihre Konstrukteure, dennoch hat der Mensch das Laufen nicht verlernt.

Wie wir heute auf gesellschaftliche, wissenschaftliche und technische Erkenntnisse aus der Vergangenheit aufbauen, so hat die Zukunft ihre Wurzeln in der Gegenwart. Wir haben mit unserer Betrachtung einen weiten Blick in die Zukunft getan. Die Maßstäbe für unsere tägliche Arbeit richten sich nach den Möglichkeiten und Erfordernissen der Gegenwart. Was immer wir aber heute anpacken, was wir planen, herstellen, bauen und beschließen, tun wir mit dem Blick auf das Morgen.

»akzent« – die Taschenbuchreihe
mit vielseitiger Thematik:
Mensch und Gesellschaft,
Leben und Umwelt, Naturwissenschaft
und Technik. – Lebendiges Wissen
für jedermann, anregend und aktuell,
konkret und bildhaft.

Die Erfindung der Elektronenröhre setzte
vor rund 80 Jahren eine neue Technik in
Gang: die Elektronik.

Von Anfang an haben ihre Entwick-
lungsetappen in wachsendem Maße
auch den häuslichen Bereich durch viele
Annehmlichkeiten mit geprägt. Dieser
verändernde Einfluß der Elektronik wird
anhand ausgewählter Beispiele aus dem
Alltag verfolgt, wobei mit einem Blick
auf das Morgen auch noch ungelöste
Probleme berührt werden.
