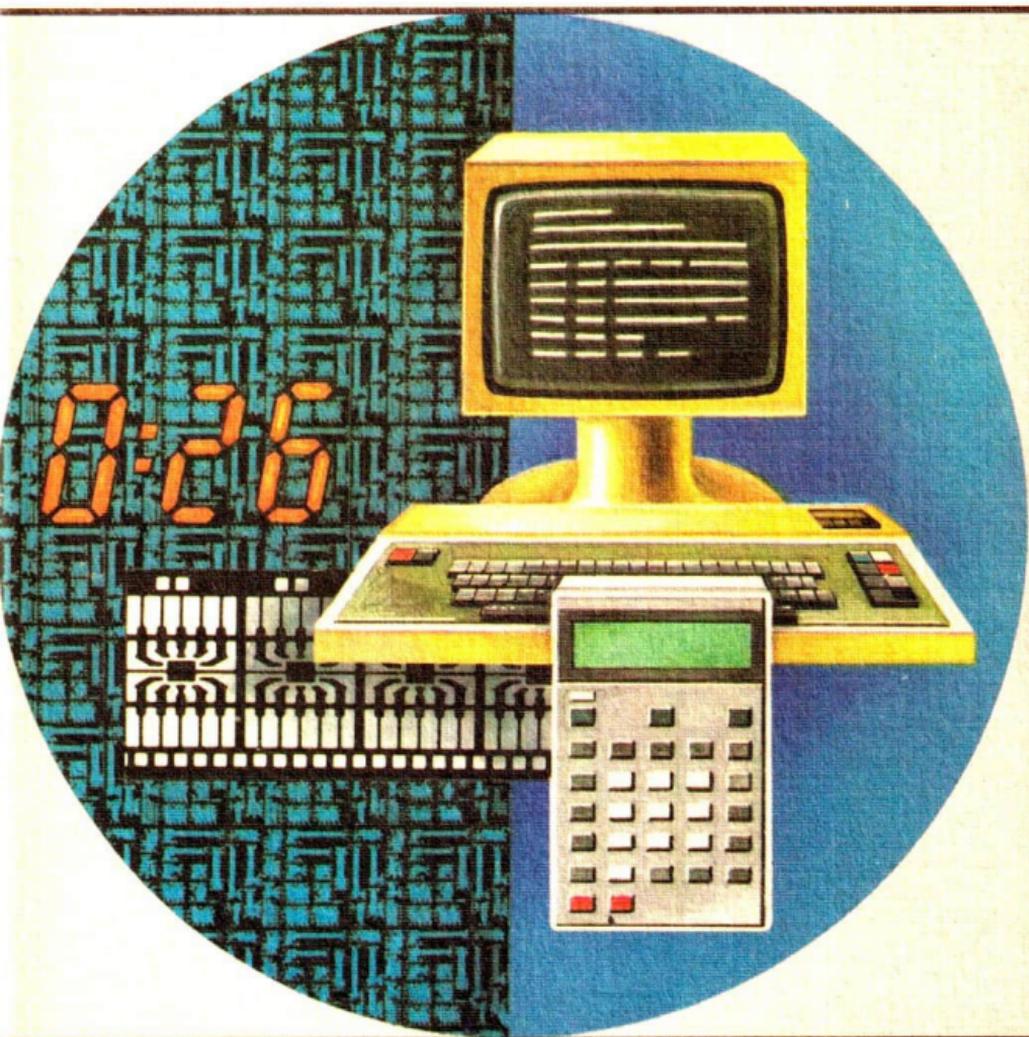


akzent

Walter Conrad

Chips Sensoren Computer

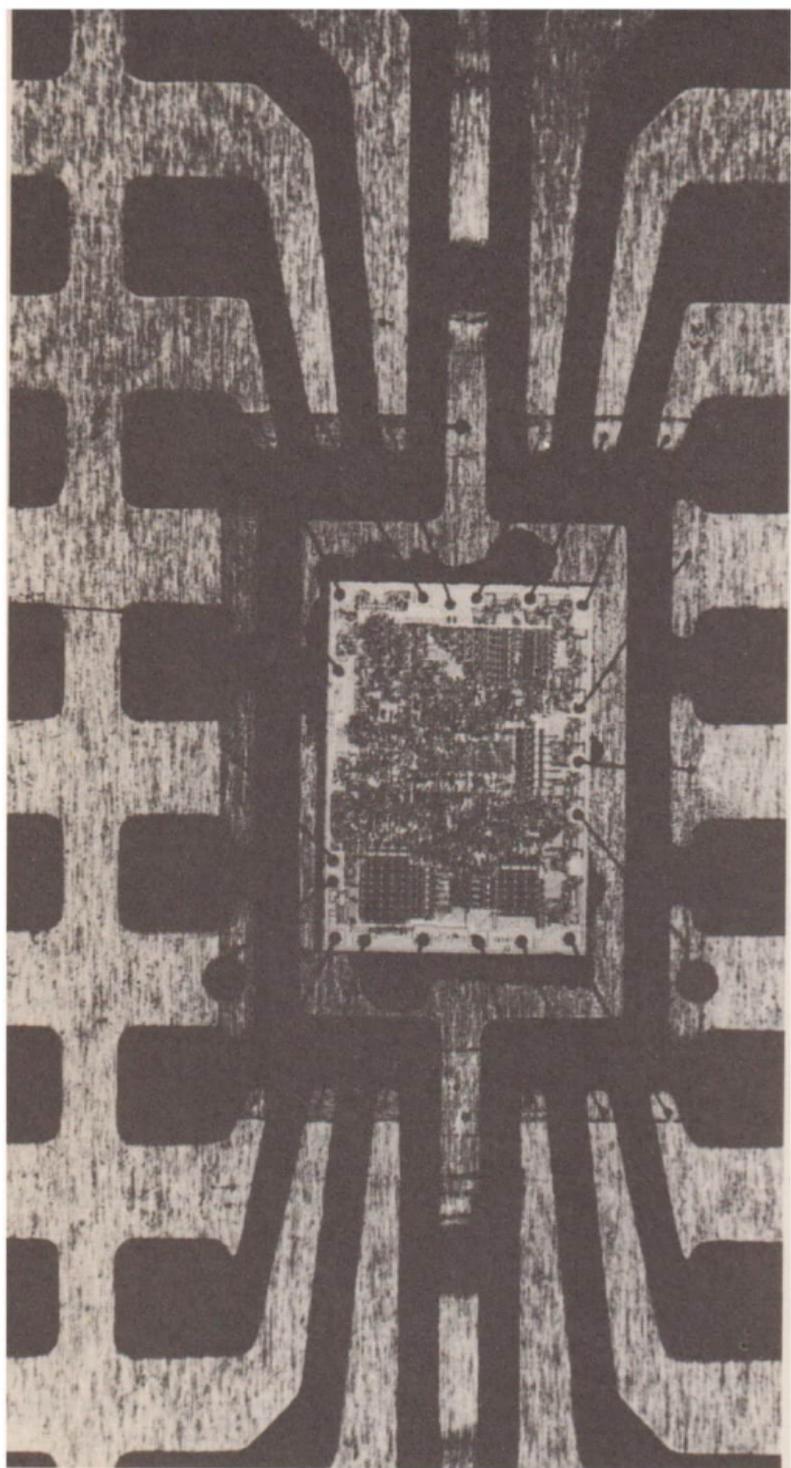


In wenigen Jahrzehnten wuchs die Notwendigkeit des Informationsaustausches der Individuen untereinander sowie zwischen Menschen und den von ihnen geschaffenen technischen Geräten und Systemen in vorher nie gekanntem Maße. Das stellte Aufgaben, deren Lösung zunehmend schwieriger wurde, häufig schon am notwendigen Aufwand scheiterte. Hier liegt das zukunftsweisende Anwendungs- und Bewährungsfeld der Mikroelektronik. Man kann es in drei große Gebiete unterteilen:

- Nachrichtentechnik,
- Rechen- und Datenverarbeitungstechnik,
- Meß-, Steuer-, Regel- und Robotertechnik.

Was leistet Mikroelektronik in diesen Bereichen?

- Sie übernimmt bisher mechanisch oder elektromechanisch gelöste Aufgaben zuverlässiger, mit geringerem Aufwand, flexibler und wartungsärmer.
- Sie löst »klassische« Elektronik durch zuverlässigere, platz- und energiesparende, oft preisgünstigere Systeme ab.
- Sie ermöglicht neue, bisher nicht machbare oder nicht einmal vorstellbare Lösungen.



Walter Conrad

Chips, Sensoren, Computer

Urania-Verlag Leipzig · Jena · Berlin

Autor: Walter Conrad, Eisenach
Zeichnungen: Wolfgang Parschau, Berlin

Abb. auf S. 2: Mikroprozessor

Conrad, Walter:

*Chips, Sensoren, Computer/Walter Conrad. – 2., erg. Aufl. –
Leipzig; Jena; Berlin: Urania-Verlag, 1988. – 128 S.*

: 59 Ill. (farb.)

(Akzent; 79)

NE: GT

ISBN 3-332-00236-8

ISBN 3-332-00236-8

ISSN 0232-7724

2., ergänzte Auflage 1988

Alle Rechte vorbehalten

© Urania-Verlag Leipzig, Jena, Berlin

Verlag für populärwissenschaftliche Literatur, Leipzig 1986

VLN 212-474/132/88 LSV 3529

Lektor: Ewald Oetzel

Umschlagreihenentwurf: Helmut Selle

Typographie: Marion Kraemer

Fotos: Archiv des Autors (58), ADN/Zentralbild (90), VEB Halbleiterwerk Frankfurt/Oder (30, 31, 33, 50), VEB Funkwerk Erfurt (2), VEB Funkwerk Köpenick (42), Leipziger Messeamt/Presseabteilung (96), VEB Kombinat Robotron Dresden (60, 61, 102, 105), VEB Uhrenwerk Ruhla (45), Siemens-Presseinformation (24, 28, 65, 97, 120), Christine Ambrosius (57), Siegfried Prölss (68), H. Schreiber (66)

Lichtsatz: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb Leipzig –
III/18/97

Druck und buchbinderische Verarbeitung:

Druckerei Neues Deutschland

Best.-Nr.: 654 248 9

00450

Inhalt

Auf dem Wege zur Mikroelektronik 7

- Am Anfang war die Elektronenröhre 7
- Grenzen zeichnen sich ab 8
- Genietet, gedruckt, gestapelt 10
- Miniaturisierung genügt nicht 13

Werkstatt der kleinsten Dimensionen 16

- Schach und Elektronik 16
- Dicke Schichten – dünne Schichten 18
- Billiges, kostbares Silizium 22
- Scheiben – Masken – Chips 25
- Erreichtes – Ziele – Grenzen 32
- Universell und spezialisiert 38

Mikroelektronik heute: vielseitiger Helfer 41

- Zehntausende Anwendungen 41
- Vom Pendel zum Quarz 44
- Bedienkomfort durch Schaltkreise 49
- Computer in der Jackentasche 55
- Mikroprozessoren – Mikrorechner 59
- Möglichkeiten über Möglichkeiten 67
- Unentbehrliche »Sinnesorgane« 70
- Maschinen – Computer – Roboter 73
- Mit Mikroelektronik unterwegs 81
- Fahrzeugführer überflüssig? 87

Tastatur vor dem Bildschirm 91
Bildschirmgeräte im Einsatz 95
PC und CAD/CAM 99
Informationen auf Abruf 103

Mikroelektronik morgen:

Aufgaben und Wege 110

Erkennen – lesen – sehen 110

Akustische Ein- und Ausgabe 115

Integrierte Optik und Akustoelektronik 119

Mikroelektronik und »Informationsflut« 124

Auf dem Wege zur Mikroelektronik

Am Anfang war die Elektronenröhre

Was wir heute Elektronik nennen, ging im wesentlichen von einem zerbrechlichen Gebilde aus Blech und Glas aus, der Elektronenröhre.

Zweierlei leistete sie vor allem: Sie richtete Wechselspannungen und -ströme gleich; sie konnte durch nahezu trägheitslose und stetige Steuerung eines Elektronenstromes im Vakuum schwache und schwächste Signale verstärken.

Ursprüngliches Einsatzgebiet der Elektronenröhre war die Nachrichtentechnik. Elektrische Signale, gleich, ob durch Fernleitungen oder drahtlos übermittelt, erreichten den Empfangsort häufig so geschwächt, daß Telefonhörer, Telegrafengeräte und andere Wandler nicht mehr verständlich oder überhaupt nicht ansprachen. Die Elektronenröhre überwand diese Hürde. Durch Einfügen von Röhrenverstärkern in die Verbindungswege konnte man kontinentweit telefonieren, über Ozeane hinweg »funken«.

Bald nach 1920 kam der Rundfunk auf. Die ersten Geräte, mit Kristalldetektoren versehen, waren nicht sehr leistungsstark. Zum Massenmedium wurde der Rundfunk erst durch Röhrenempfänger. Diese waren weder in der Anschaffung noch im Betrieb billig, ermöglichten es dafür jedoch, Programme zahlreicher naher und ferner Sender im Kopfhörer und bald auch über Lautsprecher wiederzugeben.

Röhren waren die wichtigsten und zugleich heikelsten Bauelemente jedes Empfängers – mechanisch empfind-

lich, energieverzehrend und mit einer Lebensdauer von wenigen Tausenden Betriebsstunden.

Außer um technisch/technologische Verbesserungen der Röhren bemühte man sich deshalb, vorgegebene Ziele mit möglichst wenigen Röhren zu erreichen. Zudem brachte man mehrere Röhrensysteme in *einem* Kolben unter. Trotzdem stieg die Röhrenzahl insbesondere von Spitzengeräten weiter.

Grenzen zeichnen sich ab

Außerhalb der Nachrichtentechnik erwies sich die Elektronenröhre gleichfalls als äußerst nützlich: in der Meßtechnik, zum Auslösen von Warn- und Kontrollsignalen, für Steuerungs- und Regelungszwecke und für viele andere Aufgaben. Die »industrielle Elektronik« entstand und entwickelte sich rasch. Ihre Zielsetzungen und ihre Geräte wurden umfangreicher und komplizierter.

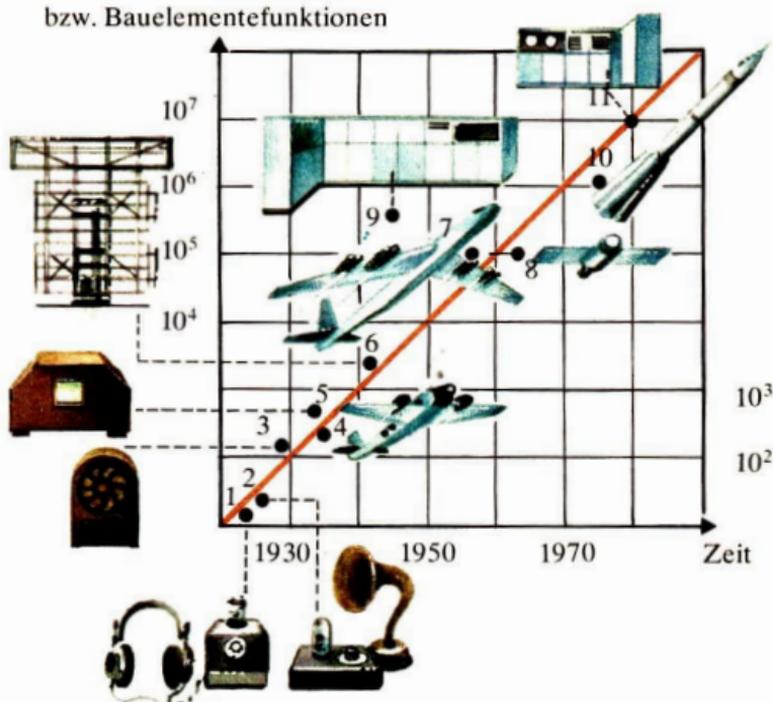
Die Anzahl der Bauelemente in elektronischen Geräten und Anlagen verzehnfachte sich nahezu im Laufe jedes Jahrzehnts. Waren für Empfänger von 1920 zehn elektronische Bauelemente typisch, enthielten Spitzengeräte von 1940 mehrere hundert, Radaranlagen 1 000 und mehr. Diese Tendenz setzte sich fort.

Allerdings – mit der Bauelementezahl vergrößerte sich die Anzahl der möglichen Fehlerquellen und Ausfallursachen. Die Zuverlässigkeit nahm ab. Volumen und Masse stiegen übermäßig, ebenso der Bedarf an Elektroenergie, die größtenteils in nutzlose Wärme verwandelt wurde und wieder abgeführt werden mußte.

Nicht nur beim Anwender, auch bei den Produzenten elektronischer Geräte wuchsen die Schwierigkeiten. Bauelemente, in getrennten Zulieferbetrieben hergestellt, mußten von Hand montiert und elektrisch verbunden werden. Dazu waren im Mittel je Bauelement zwei bis drei Lötstellen nötig. Schaltfehler, umfangreiche Nach- und Justierarbeiten blieben nicht aus. Das dreidimensionale Drahtgewirr entzog sich allen Versuchen, die Fertigung zu automatisieren.

Erkannte Möglichkeiten waren nur unbefriedigend

Anzahl der Bauelemente
bzw. Bauelementefunktionen



Zunahme der Bauelemente bzw. Bauelementefunktionen in typischen elektronischen Geräten und Systemen. 1 – Detektorempfänger; 2 – einfacher Röhrenempfänger; 3 – Superhet; 4 – Verkehrsflugzeug; 5 – erste Fernsehgeräte; 6 – Radargeräte; 7 – Fernbomber; 8 – erste Nachrichtensatelliten; 9 – erste Großrechner; 10 – Interkontinentalraketen; 11 – Großrechner

oder überhaupt nicht realisierbar. Kofferempfänger präsentierten sich im Sinne des Wortes als »Koffer« von 15 kg Masse. Herzstimulatoren (auf fahrbaren Tischchen) konnten allenfalls im Operationssaal und auf Intensivstationen helfen. Quarzuhren beanspruchten einen großen, sorgfältig klimatisierten Raum und waren so teuer, daß nur wenige Institutionen sie sich leisten konnten.

Spätestens um 1950 – nach dem Bau der ersten Großrechner mit nahezu 20 000 Röhren, 70 000 Widerständen, 10 000 Kondensatoren und 6 000 Relais, mit einer halben Million handgelöteter Verbindungen, dem Energiebedarf eines Straßenbahnzuges und sich häufenden Betriebsstörungen und Ausfällen – zweifelte kein Fachmann daran:

Die »klassischen« Konstruktionen und Technologien der Elektronik näherten sich einer Grenze.

Elektronische Geräte und Schaltungen mußten entscheidend kleiner, leichter, energiesparsamer, vor allem zuverlässiger werden, sich in hohen Stückzahlen und bei ökonomisch vertretbarem Aufwand herstellen lassen.

Genietet, gedruckt, gestapelt

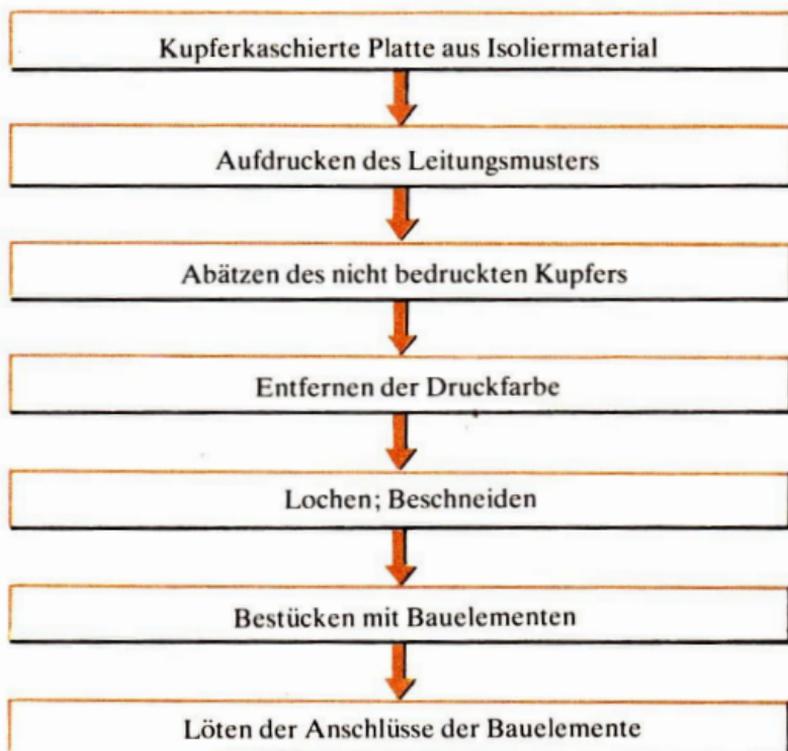
Es lag nahe, bereits vorhandene Technologien den neuen Erfordernissen anzupassen. Frühzeitig schon nahm man sich die unsicheren (anfänglich nicht einmal gelöteten, sondern geklemmten oder verschraubten) Verbindungen zwischen Bauelementen vor.

Einige Firmen ersetzten nach 1925 Drahtverbindungen durch schmale Blechstreifen. Diese wurden zusammen mit den Bauelementen auf der Montageplatte aus Isoliermaterial vernietet. Eine solche formstarre Verschaltung war zwar mechanisch und elektrisch recht stabil, aber verständlicherweise nur bei geringer Bauelementezahl anzuwenden.

Bei einer späteren Variante bohrte man Löcher zum Einführen der Bauelementeanschlüsse in Keramikplättchen. Verbindungen wurden den Plättchen mit silberhaltiger Paste aufgedruckt und danach eingebrannt. Die Bauelementeanschlüsse verlötete man schließlich mit den Leiterzügen. Dieses recht aufwendige Verfahren blieb auf einfache Bauelementekombinationen für hohe Stabilitätsanforderungen (z. B. in Meß- und Funkgeräten) beschränkt.

Ihre Nachfolger, die »gedruckten Schaltungen«, mit Leiterzügen auf isolierender Platte und zahlreichen eingesetzten Bauelementen, erlangten seit 1950 innerhalb weniger Jahre allgemeine Verbreitung.

Die Leiterplatte ist mit einer dünnen, fest haftenden Kupferauflage kaschiert. Auf diese wird nach Sieb- oder Fotodruckverfahren das Leitungsmuster der Schaltung übertragen. Nicht bedrucktes Kupfer wird anschließend abgeätzt. Entfernt man daraufhin noch die Druckfarbe, liegen die Leiterzüge frei.



Wichtige Arbeitsschritte bei der Fertigung einer bestückten Leiterplatte

An den Stellen der Bauelementeanschlüsse wird die Leiterplatte gelocht. Von der Rückseite her setzt man die Bauelemente in die Löcher ein. Die Abstände von Bohrungen und Anschlußenden sind nach bestimmten Rastermaßen (z. B. Vielfache von 1,25 mm) genormt. Sämtliche Lötstellen der bestückten Leiterplatte werden durch Tauch- oder Schwallöten gleichzeitig ausgeführt.

Alle nach gleicher Vorlage produzierten Schaltungsmuster sind identisch. Verdrahtungsfehler entfallen. Plattenherstellung, Bestücken und Löten werden teilweise automatisierbar. Dies sind gewichtige Vorzüge im Vergleich zur klassischen Verdrahtung.

Weniger auffällig ist die so erreichbare Verkleinerung elektronischer Geräte. Das hat seine Ursache in der zweidimensionalen Schaltungsanordnung (die man allerdings durch Mehrschichtstrukturen teilweise umgeht) und den Abmessungen der Bauelemente.

Bei der Miniaturisierung der Bauelemente wurden im Laufe der Zeit erhebliche Fortschritte erzielt. Widerstände, Kondensatoren, Spulen, Transformatoren usw. schrumpften durch Einsatz neuer Bauformen, Werkstoffe und Technologien.

Das galt auch für Elektronenröhren. Das Volumen der Standardtypen sank auf ein Zehntel, das von Spezialröhren noch darunter. Für manche Zwecke (z. B. Hörhilfen) existierten Elektronenröhren von der Größe eines Fingerhutes oder einer halben Zigarette. Eine weitere Verkleinerung stieß jedoch auf unüberwindliche, weil prinzipiell bedingte Schwierigkeiten.

»Gerade rechtzeitig« setzte die Ablösung der Elektronenröhre durch Halbleiterbauelemente ein, vor allem durch den 1948 vorgestellten Transistor. Er drang schnell zu immer höheren Frequenzen und größeren Leistungen vor und erwies sich Elektronenröhren in entscheidenden Punkten überlegen.

Transistoren kommen ohne evakuierten Glaskolben, ohne Erhitzen einer Katode und mit vergleichsweise niedrigen Betriebsspannungen aus. Energie- und Raumbedarf liegen um Größenordnungen unter denjenigen von Elektronenröhren; ihre Lebensdauer ist um ein Vielfaches höher. Ein großes Kühlluftvolumen ist nicht mehr erforderlich. Das ermöglicht geringere Geräteabmessungen, z. B. die der heute in der Heimelektronik eingeführten Flachgehäuse.

Weitere Verkleinerungsversuche führten zur Modultechnik (mit Elektronenröhren) und zur Mikromodultechnik (mit Halbleiterbauelementen). Man kann sich die Modultechnik so entstanden denken, daß bestückte Leiterplatten in Quadrate oder Rechtecke gleicher Größe unterteilt wurden, die man stapelte und mit Verbindungen von Plättchen zu Plättchen versah. Ein solches kompaktes Gebilde nannte man Modul¹.

Zur Realisierung wurden Keramikscheiben von z. B. 25 mm Kantenlänge mit einigen wenigen Bauelementen

¹ Heute versteht man unter einem Modul vor allem eine leicht auswechselbare, meist standardisierte Baugruppe elektronischer Geräte, z. B. eine mit Steckerleiste versehene Leiterplatte.

(Kondensatoren, Widerstände) bestückt. Die Widerstände wurden dem Plättchen häufig mit Pasten geringer Leitfähigkeit als Streifen aufgedruckt und zusammen mit den Leiterzügen eingebrannt. Diese endeten an metallisierten Kerben am Plättchenrand.

Nach Stapeln mehrerer Modulplättchen wurden Steigdrähte in die Kerben gelegt und mit diesen verlötet. Sie sorgten für elektrische Verbindungen zwischen den Plättchen und zugleich für mechanischen Zusammenhalt. Die Fassung für eine etwa nötige Elektronenröhre war in das oberste Plättchen eingearbeitet.

Die Mikromodultechnik brauchte Abmessungen und Wärmeentwicklung der Röhren nicht zu berücksichtigen. Kleinere, dünnere Plättchen genügten. Ein Mikromodul, maximal bis zu einem Dutzend Bauelemente, darunter auch Dioden und Transistoren, enthaltend, nach Fertigstellung luft- und feuchtigkeitsdicht vergossen, war kaum größer als ein Stück Würfelzucker.

Modul- und Mikromodultechnik waren hauptsächlich durch die Militär-, Luftfahrt- und Raumfahrttechnik angeregt worden, gaben jedoch nur ein kurzes Gastspiel. Ihre Vorzüge waren nicht so überzeugend, daß ein massenweiser Einsatz in Nachrichten- und Industrieelektronik vertretbar gewesen wäre.

Miniaturisierung genügt nicht

Was wir beschrieben, faßte man unter Begriffen wie Miniaturisierung, Miniatur- oder auch Subminiaturtechnik zusammen. Es war eine in ihren Grundzügen konventionelle Technik. Sie bediente sich bewährter, wenngleich möglichst verkleinerter Bauelemente. Da diese – von integrierten Widerständen und manchmal Kondensatoren abgesehen – als einzelne (»diskrete«) Bauelemente zur Schaltung zusammengesetzt wurden, konnten neue oder verbesserte Bauelemente leicht in Miniaturisierungskonzeptionen übernommen und bekannte Schaltungsprinzipien beibehalten werden.

Die Packungsdichte, ausgedrückt durch die Anzahl der in einer Raumeinheit unterzubringenden Bauelemente,

war gestiegen. Hatte man bei klassischer Chassisbauweise pro Bauelement mehr als 10 cm^3 veranschlagen müssen, sank dieser Wert durch gedruckte Schaltungen, miniaturisierte Bauelemente, Halbleiterdioden und Transistoren bis auf etwa $1 \text{ Bauelement/cm}^3$. Die Mikromodultechnik verzehnfachte in günstigen Fällen die Packungsdichte nochmals.

Heute wirken in Geräten und Anlagen häufig Hunderttausende oder sogar Millionen Bauelementefunktionen zusammen. Damit wäre selbst die Mikromodultechnik überfordert. Schon das Fernbedienteil eines Fernsehempfängers wüchse sich zu einem großen Kasten aus.

Eine weitere Verkleinerung auf den verfolgten Wegen war nicht allein aus technologischen Gründen kaum mehr möglich. Energiebedarf und Wärmeentwicklung miniaturisierter Schaltungen waren zwar – Verdienst vor allem der Halbleiterbauelemente – gering. Doch bei sich weiter verkleinernden und dichter zusammenrückenden Bauelementen wurde selbst die Abfuhr dieser Wärme immer schwieriger. Das erhöhte erneut die Störanfälligkeit der Geräte und Systeme.

Wir stoßen damit auf das wichtige Problem der Zuverlässigkeit. Elektronische Geräte versagen, sofern nicht besondere zusätzliche Sicherungsmaßnahmen vorgesehen sind, im allgemeinen schon bei Ausfall eines Bauelementes, einer Lötstelle oder Verbindung. Um quantitative Zuverlässigkeitsaussagen zu ermöglichen, wurde der Begriff Ausfallrate (λ) eingeführt. Sie gibt an, wieviel Ausfälle bei einer gegebenen Bauelementemenge innerhalb einer bestimmten Zeitspanne wahrscheinlich sind.

In elektronischen Geräten addieren sich die Ausfallraten der Bauelemente, Verbindungen, Kontakte usw. Betrachten wir ein Beispiel:

Ein Großrechner der Anfangszeit möge 20 000 Röhren, 50 000 Widerstände, 5 000 Kondensatoren und 250 000 Lötstellen und Schaltkontakte enthalten haben. Dann ergibt sich mit »günstigen« Werten aus der Tabelle eine Gesamtausfallrate von:

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{ges.}} &= (20\,000 \cdot 2 + 50\,000 \cdot 0,7 + 5\,000 \cdot 0,4 \\ &\quad + 250\,000 \cdot 0,05) / 10^6 \cdot \text{h} \\ &= 89\,500 / 10^6 \cdot \text{h}\end{aligned}$$

Der Kehrwert dieses Resultats ist die zu erwartende mittlere Betriebszeit zwischen zwei Ausfällen. Sie beträgt nur etwas über 11 Stunden! Es liegt auf der Hand, daß solche Systeme (wie sie notgedrungen vor 40 Jahren gebaut wurden) heute von fragwürdigem Nutzen wären.

In der Elektronik bezieht man die Ausfallrate meistens auf 1 Stunde und 1 Million Bauelemente.

*Ausfallraten elektronischer Bauelemente,
bezogen auf 1 Stunde und 10⁶ Exemplare*

Widerstände	etwa 0,7
Kondensatoren	etwa 0,4
Verstärkerröhren	1 ... 100
Bildröhren	10 ... 25
Siliziumdioden	0,04 ... 0,2
Siliziumtransistoren	0,01 ... 0,06
Integrierte Schaltkreise	0,02 ... 0,1
Lötverbindungen	0,01 ... 0,2

Die Angaben bedeuten z. B., daß unter 1 Million Bildröhren in einer Stunde 10 bis 25 Ausfälle wahrscheinlich sind.

Halbleiterbauelemente brachten zwar eine Zuverlässigkeitserhöhung, doch wurde diese bald durch die wachsende Anzahl der Bauelemente kompensiert. Auch die Anzahl der Lötstellen nahm durch die Miniaturisierungstechniken nur geringfügig ab, wuchs manchmal sogar (etwa durch die Steigdrähte bei Moduln).

So blieb letztlich keine andere Wahl, als den konventionellen Weg zu verlassen und nach qualitativ neuen Lösungen zu suchen.

Werkstatt der kleinsten Dimensionen

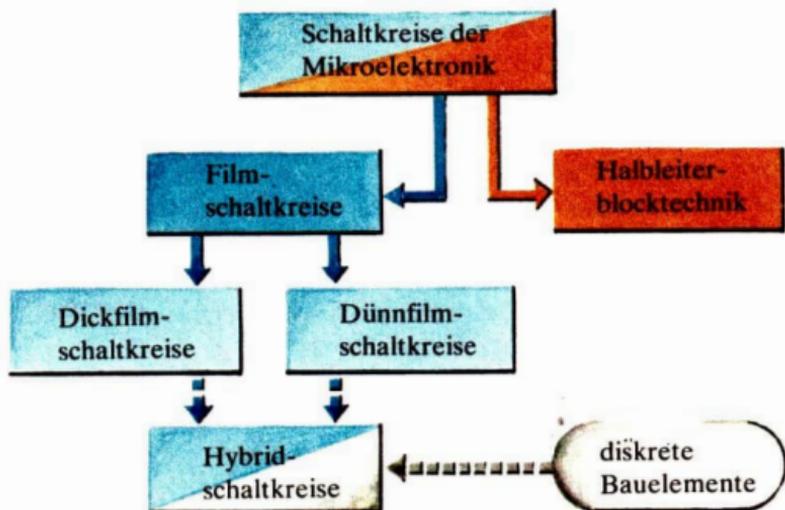
Schach und Elektronik

Zu einem Schachspiel gehören 32 Steine mit Rangunterschieden: Bauern, Läufer, Springer, Türme, Damen und Könige. Diese wenigen Figuren werden auf einem Brett begrenzter Größe nach nicht einmal vielen Vorschriften gezogen. Trotzdem ergibt sich durch immer neue Kombinationen eine unübersehbare Zahl möglicher Partien.

Auch in elektronischen Geräten kehren ständig bestimmte unterschiedliche Grundsaltungen wieder, die nach bestimmten Regeln zusammenwirken. Aus ihren Kombinationen resultiert, ähnlich wie bei Zügen von Schachfiguren, die Mannigfaltigkeit der Elektronik.

Eine dieser Grundsaltungen z. B. verstärkt schwache elektrische Signale. Wir finden solche Verstärkerstufen in allen Sendern und Empfängern, in elektronischen Speicher- und Wiedergabegeräten, in zahllosen Meßeinrichtungen der Labortechnik und Industrie, in Steuer- und Regelsaltungen usw. Andere erzeugen Wechselspannungen oder -ströme in einem weiten Frequenz- und Amplitudenbereich. Ohne diese Oszillatoren gäbe es weder Sender noch Empfänger, weder Quarzuhren noch elektronische Musikinstrumente, weder Taktgeber für Rechner noch Zählleinrichtungen. Eine dritte Grundsaltung wieder richtet Wechselspannungen und -ströme gleich. Die Aufstellung ließe sich fortsetzen. Sehr lang würde sie jedoch nicht.

Während beim Schachspiel Feldgröße und Anzahl der Steine festliegen, gilt eine ähnliche Einschränkung für die Elektronik nicht. Ihre Bausteine können in unter-



Einteilung der integrierten Schaltkreise

schiedlichsten Stückzahlen Verwendung finden und in nur durch die jeweilige Aufgabe vorgeschriebener Wiederholung auftreten.

Besonders augenfällig wurde das mit der Entwicklung der elektronischen Datenverarbeitung. In Rechnern werden unter anderen Tausende gleicher »logischer« Grundschaltungen und Speicherzellen benötigt, die Binärziffern verknüpfen bzw. sich »merken« können.

Jede Grundschaltung wurde anfänglich aus diskreten Bauelementen zusammengefügt, die einzeln miteinander verbunden werden mußten. War das nicht einfacher und effektiver zu bewerkstelligen? Ließen sich in hoher Stückzahl benötigte Grundschaltungen nicht als Ganzes, als Einheit, »integriert«, produzieren, ohne Umweg über einzeln hergestellte und dann miteinander verknüpfte diskrete Bauelemente, unter drastischer Verminderung von Lötstellen, Arbeitsaufwand, Kosten, bei parallellaufenden Arbeitsschritten und nach Technologien, die ein Höchstmaß an Zuverlässigkeit garantierten?

Der erfolgreichen Suche nach Antwort auf diese Fragen verdanken wir die Mikroelektronik. Sie ist keine Elektronik der Einzelbauelemente, sondern der integrierten Schaltkreise, in denen zahlreiche Bauelementefunktionen elektrisch und konstruktiv, jedoch untrennbar und

irreparabel vereint sind und gleichzeitig sowie in hoher Stückzahl produziert werden.

Integrierte Schaltkreise, deren erste um 1960 auf den Markt kamen, lassen sich nach ihren Aufbauprinzipien in zwei große Gruppen einordnen: Schaltkreise in Schicht- oder Filmtechnik und Schaltkreise in Halbleiterblocktechnik. Diese sind für die Mikroelektronik weitaus am wichtigsten und lehnen sich an die Planartechnologie¹ für Dioden und Transistoren an, jene vor allem an die Technologie der gedruckten Schaltungen.

Dicke Schichten – dünne Schichten

Die Bezeichnungen Dickschichtschaltkreis und Dünnschichtschaltkreis (bzw. Dickfilm- und Dünnsfilmschaltkreis) rühren von der »Dicke« der für die Erzeugung von Bauelementen und Leiterbahnen verwendeten Schichten her: Sie beträgt bis 50 μm bei Dickfilmschaltkreisen, um 1 μm bei Dünnsfilmschaltkreisen.

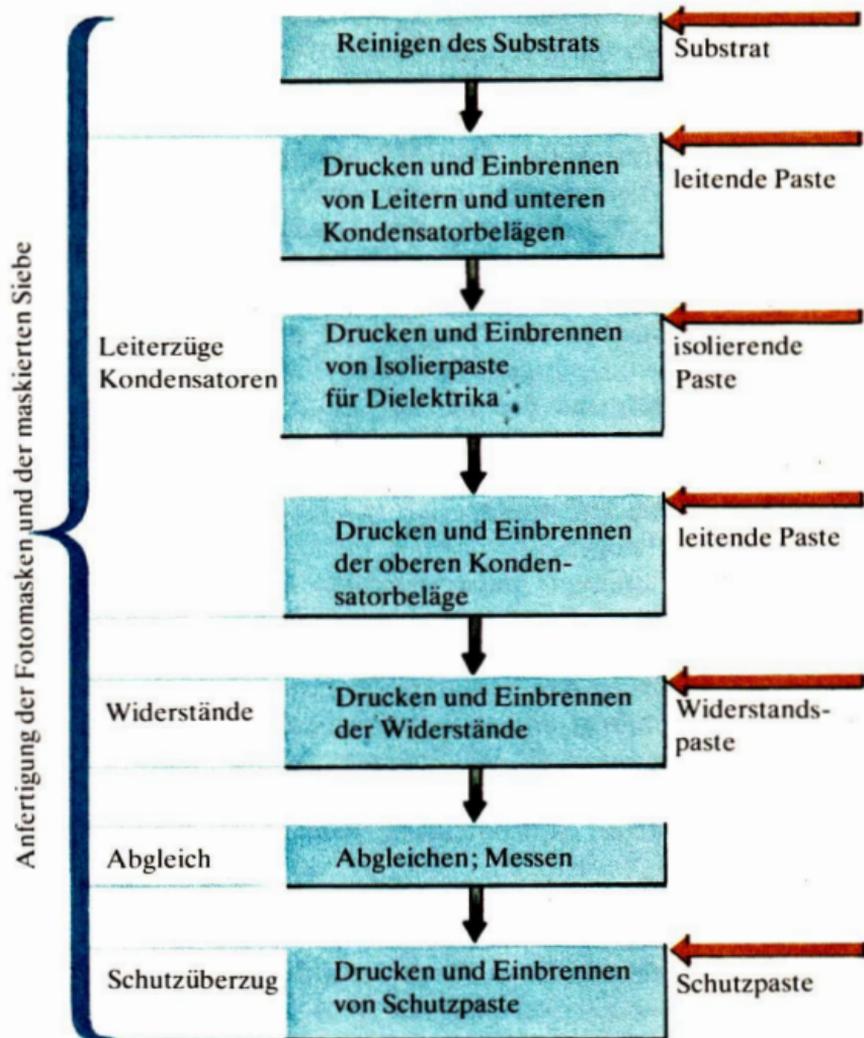
Beiden ist gemeinsam, daß nicht alle Bauelemente im Schaltkreis selbst erzeugt werden können. Das gilt vor allem für Transistoren und Dioden, aber auch für größere Induktivitäten, Kondensatoren hoher Kapazität, Übertrager usw.

Schichtschaltkreise sind daher oft Hybridschaltkreise, zusammengesetzt aus einem integrierten Teil mit der Mehrzahl der Elemente und Leiterbahnen und nachträglich hinzugefügten Bauelementen.

Substrat (Grundfläche) für Dickschichtschaltkreise bilden keramische Plättchen. Sie sind bis 1 mm dick, ihre Fläche richtet sich nach dem Umfang der Schaltung und liegt zwischen wenigen und etwa 100 cm^2 . Die Schaltung wird in aufeinanderfolgenden Schritten nach Siebdruckverfahren mittels Druckpasten aufgebaut, deren Zusammensetzung von den jeweils herzustellenden Schaltungsteilen abhängt.

Für Leiterzüge und Kondensatorflächen sind elektrisch

¹ Technologie, bei der sich die wichtigsten Fertigungsschritte auf der Fläche eines Si-Plättchens vollziehen.



Schematischer Ablauf der Herstellung von Dickschichtschaltkreisen

gut leitende Pasten – etwa Silberverbindungen – erforderlich. Widerstände druckt man mit Pasten niedriger Leitfähigkeit, z. B. mit Palladium- oder Iridiumverbindungen. Titanverbindungen wiederum werden als isolierende Pasten zur Realisierung von Leitungskreuzungen oder als Dielektrikum zwischen Kondensatorbelägen verwendet.

Am Beginn steht eine vergrößerte zeichnerische Dar-

stellung des Schaltkreises. Von ihr werden Auszüge abgeleitet, die jeweils die mit einer bestimmten Paste und in einem Arbeitsgang zu druckenden Strukturen enthalten, z. B. Widerstände. Für jeden Druckvorgang wird ein feinschichtiges Drahtsieb (bis über 300 Maschen/cm²) benötigt, das mit lichtempfindlichem Lack überzogen ist. Über Masken (Schablonen), die Strukturvorlagen für einen Druckvorgang enthalten, wird das Sieb belichtet.

Anschließende Entwicklungsprozesse machen die unbelichteten Siebteile für Druckpasten durchlässig. Mit einer Rakel wird die zugehörige Paste durch das Sieb gedrückt. Trocknen und Brennen in Durchlauföfen folgen. Mit einem weiteren Sieb und anderer Druckpaste wird der Vorgang wiederholt usf. Gleiche Arbeitsschritte werden für mehrere auf einem Sieb maskierte Schaltkreise gleichzeitig vollzogen.

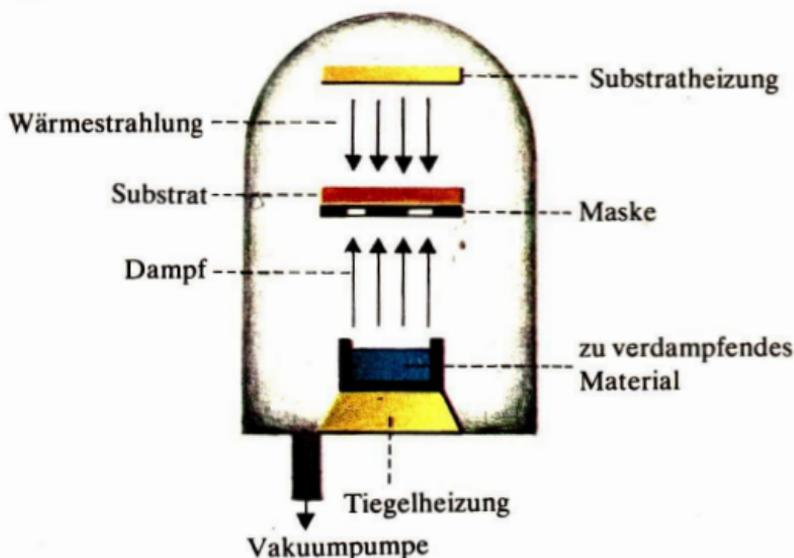
Nach dem Brennen müssen Widerstände und Kondensatoren z. B. mit Sand- oder Laserstrahlen auf ihre genauen Werte abgeglichen werden. Nach elektrischer Prüfung und Messung der Schaltkreise und Anbringen der äußeren Anschlüsse beendet hermetisches Verkappen den Herstellungsprozeß. Widerstände bis 10 M Ω , Kondensatoren bis 1000 pF sind integrierbar. Auf einem Quadratcentimeter Substratfläche kann man bis fünf Bauelemente unterbringen.

Bis zur maximal zehnfachen Bauelementezahl je Quadratcentimeter erlaubt die Dünnschichttechnik. Dies ist eine Folge ihrer subtileren Strukturen, die allerdings die Beherrschung einer verfeinerten und komplizierteren Technologie voraussetzen.

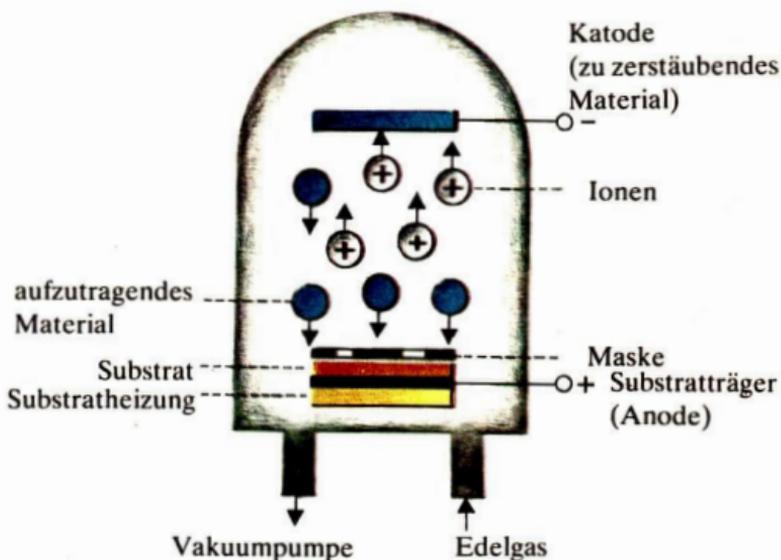
Substrate sind vorwiegend Spezialgläser mit Flächen zwischen 100 mm² und 2500 mm² und Dicken unter 0,5 mm. Schichten und Strukturen werden im Vakuum erzeugt. Vor allem zwei Verfahren haben sich durchgesetzt: Aufdampfen und Katodenzerstäubung (Ionenstrahlzerstäubung). In beiden Fällen wird das Material über Masken aus dünnen Blechen aufgebracht. Sie enthalten Durchbrüche für die Strukturen eines Arbeitsschrittes und werden nach jedem Schritt gewechselt.

Beim Vakuumaufdampfen ist das aufzubringende Material in einem elektrisch beheizten Tiegel enthalten,

oder es wird durch einen mit einer leistungsfähigen Kathode gewonnenen Elektronenstrahl örtlich bis zum Verdampfen erhitzt. Der Dampf passiert die Maskendurchbrüche und kondensiert auf dem in geringerem Abstand davor befindlichen Substrat.



Prinzip des Vakuumaufdampfens



Prinzip der Katodenzerstäubung

Bei Katodenzerstäubung bildet das aufzutragende Material die Katode, der Substratträger die Anode einer elektrischen Entladungsstrecke. Im Entladungsraum entstehende und beschleunigte Ionen eines Edelgases lösen Materialteilchen aus der Katode. Diese fliegen zur Anode und schlagen sich auf dem Substrat nieder. Das zu verdampfende oder zu zerstäubende Material richtet sich wieder nach den zu erzeugenden Strukturen. Zahlreiche Dünnschichtschaltkreise, vor allem Hybridschaltkreise, werden auch heute angeboten und eingesetzt.

Billiges, kostbares Silizium

Bauelemente der Schichttechniken entstehen *auf* einem isolierenden Substrat. Die Halbleiterblocktechnik arbeitet die Bauelemente *in* Halbleitermaterial ein. Dieses dient nicht nur als Substrat, sondern ist aktiv an den elektrischen Vorgängen beteiligt, und zwar durch aus der Halbleitertechnik bekannte Bearbeitungsverfahren und Effekte: Änderung der Leitfähigkeit durch gezieltes und genauestens dosiertes Einbringen von Fremdatomen (Dotieren) und Hervorbringen eines geforderten Leitfähigkeitstypus (n- oder p-Leitung), Vorgänge an der Grenze von Gebieten unterschiedlichen Leitfähigkeitstypus, denen wir unter anderem Diode und Transistor verdanken, oder an Schichtgrenzen auftretende Kapazitäten. Auf diese Weise lassen sich Dioden und Transistoren minimaler Abmessungen und zu Tausenden gleichzeitig in einem Block aufbauen, aber auch Widerstände und sogar Kondensatoren erzeugen. Wenn überhaupt, müssen nur wenige diskrete Bauelemente ergänzt werden.

Die Bezeichnung »Block« sollte nicht falsch verstanden werden. Bei Flächen bis maximal etwa 100 mm^2 sind die Blöcke nur Zehntel eines Millimeters dick. In mehr als 90 % aller Fälle bestehen sie aus Reinstsilizium.

Silizium ist auf der Erde in beliebigen Mengen vorhanden und kommt vorwiegend als Siliziumdioxid (Quarz, Sand) und in Gestalt von Silikaten vor. Seine Eigenschaften sind weitgehend erforscht, sein elektrisches Verhalten ist dem des anfänglich in der Halbleitertechnik bevorzug-

ten Germaniums überlegen. Technologisch besonders wichtig ist, daß sich an der Siliziumoberfläche – aus dem Silizium selbst – eine gegen chemische und andere Einflüsse sehr widerstandsfähige und isolierende Schutzschicht bildet. Sie schützt Schaltkreise und ihre Elemente bereits während der Produktion, trägt wesentlich zur Zuverlässigkeitserhöhung bei und erleichtert das Maskieren (siehe S. 26) der zu produzierenden Schaltkreise.

An die Reinheit des in der Mikroelektronik eingesetzten Siliziums werden extreme Forderungen gestellt. Bereits geringste Anteile von Fremdatomen verändern seine elektrischen Eigenschaften merklich. Auf 4 bis 5 Milliarden Siliziumatome darf nur ein »Störatom« entfallen. Erfreute sich, um den vielzitierten Vergleich zu wiederholen, die Weltbevölkerung einer dieser Zahl entsprechenden Gesundheit, dürfte nur *ein* Erdbewohner krank sein!

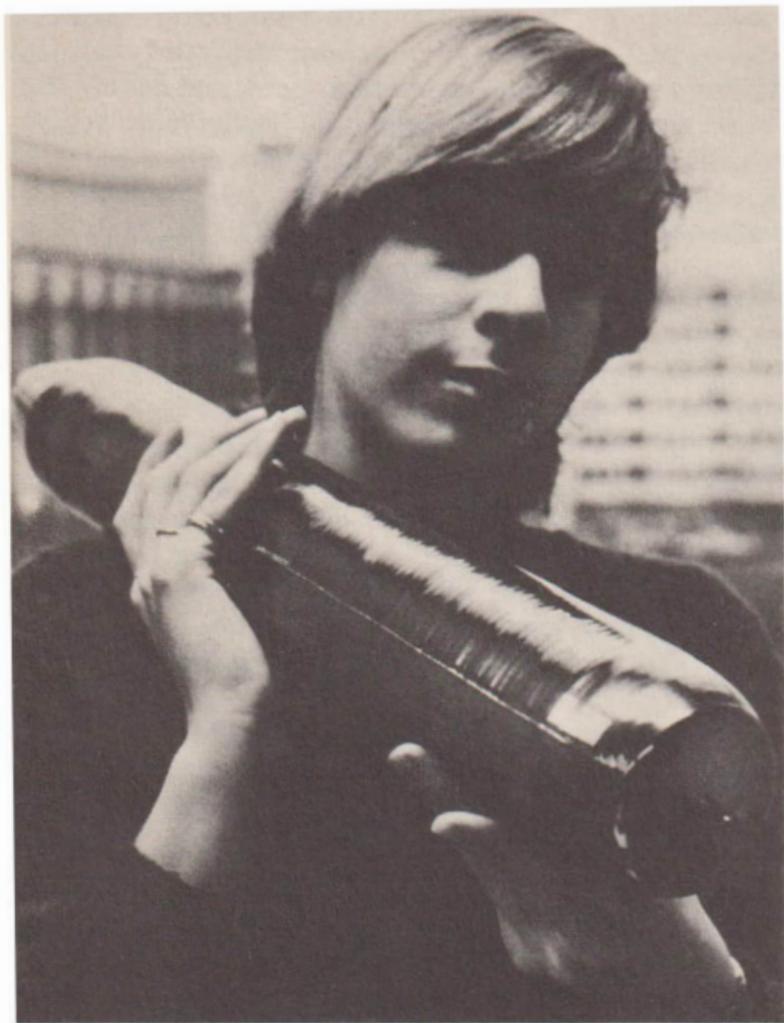
Die Reinigung des Siliziums verläuft in einer Reihe diffiziler chemischer und physikalischer Prozesse. Ihr Endresultat sind Barren oder Stäbe des geforderten Reinheitsgrades.

Das gereinigte Material ist polykristallin, winzige Siliziumkristalle liegen regellos durcheinander. Zur Produktion der meisten Halbleiterbauelemente und von integrierten Schaltkreisen aber sind »Einkristalle« Voraussetzung, Kristalle, deren Gitterstruktur nahezu fehlerfrei über makroskopische Bereiche besteht.

Man erhält sie durch Kristallzüchtung. Für die Mikroelektronik ist gegenwärtig vor allem das »Czochralski-Verfahren« von größter Bedeutung. Ein winziger Einkristall wird als Keim in die Schmelze des zu kristallisierenden Materials getaucht und unter langsamer Rotation und genau einzuhaltenden Prozeßparametern mit geringer Geschwindigkeit herausgezogen. An den Grenzen des Keims wächst die Einkristallstruktur weiter. Einkristalle von Durchmessern bis 150 mm und Längen bis um 1 m werden gewonnen.

Der Einkristall wird in Scheiben von 0,2 mm bis 0,4 mm Dicke zerteilt. Die dadurch oberflächlich verletzte Kristallstruktur wird durch Läppen, Polieren und Ätzen abgetragen und abschließend sorgfältig gereinigt.

Einige Tausende Tonnen Siliziumeinkristalle werden



Silizium-Einkristall für die Halbleiterfertigung

gegenwärtig im Jahr auf der Welt gezogen. Das erscheint wenig; doch sie decken 90% des Materialbedarfs ab. Obwohl Silizium seine führende Position noch über längere Zeit behaupten wird, beschäftigen sich Forschung und Entwicklung intensiv mit Halbleitermaterialien, die das Silizium zumindest ergänzen könnten. Besonders Galliumverbindungen gelten als aussichtsreich und werden für Spezialzwecke, z. B. im Höchsthfrequenzbereich, bereits eingesetzt.

Scheiben – Masken – Chips

Im Sauerstoffstrom wird die Siliziumscheibe mit einer Schutz- und Maskierungsschicht aus Siliziumdioxid überzogen. Eine solche Scheibe ist Substrat für die gleichzeitige Produktion oftmals Hunderter Schaltkreise, deren jeder viele Tausende miteinander verknüpfter Bauelemente(funktionen) einschließt.

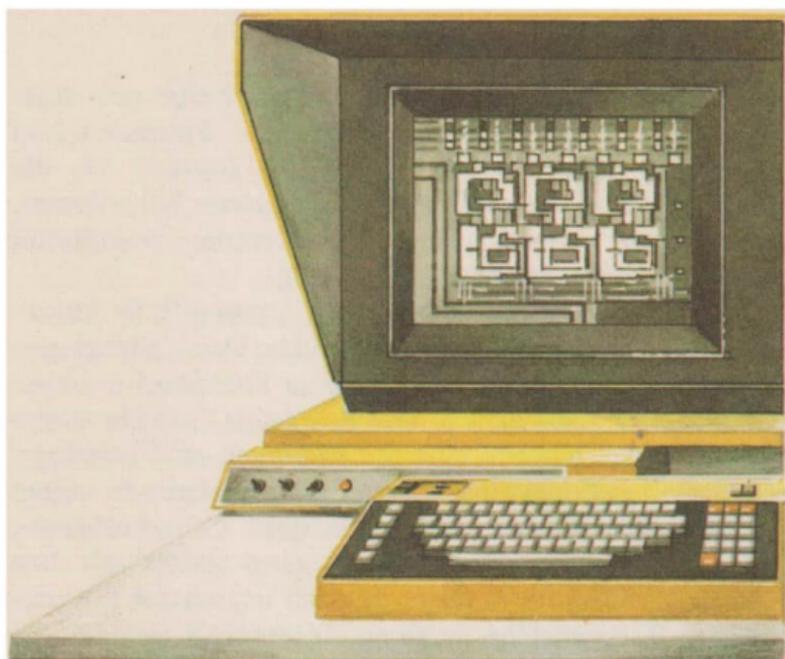
Durch Dotieren mit dreiwertigen Atomen (z. B. Aluminium oder Bor) erhält man p-leitendes, durch Einbringen fünfwertiger Atome (z. B. Arsen oder Phosphor) n-leitendes Material. Läßt man p- und n-leitende Gebiete aneinandergrenzen, ergeben sich die wichtigen pn-Übergänge. Auch die Leitfähigkeit läßt sich durch Dotieren in weiten Grenzen beeinflussen. Eine homogene Grunddotierung (Blockmaterial p- oder n-leitend) kann bereits mit dem Einkristallziehen oder durch zeitlich begrenztes Einbringen der Siliziumstäbe in einen Kernreaktor (sogenannte Neutronendotierung) erfolgen.

Über Dotierungsprozesse müssen auch geometrische Strukturen der zu erzeugenden Bauelementefunktionen eingearbeitet werden. Die dazu nötigen Verfahren lehnen sich an die Fotolithografie an, weshalb sich die Bezeichnung »fotolithografische Prozesse« eingebürgert hat.

Hierfür sind vor allem Diffusionsverfahren verbreitet. Im Diffusionsofen strömt ein mit Dotierungsstoffen versetztes Trägergas über die erhitzten Siliziumscheiben. Atome des Dotierungsstoffs dringen, wo sie nicht durch eine Abdeckschicht zurückgehalten werden, in das Scheibeninnere vor. Eindringtiefe und Konzentration der eindiffundierenden Atome lassen sich über die Prozeßführung einstellen.

Weitere Verfahren, vor allem das »Einschießen« ionisierter und elektrisch beschleunigter Dotierungsatome (»Ionenimplantation«) gewinnen wegen ihrer höheren Genauigkeit und Reproduzierbarkeit rasch an Bedeutung (vgl. S.36).

Die Strukturierungsverfahren ähneln, wie bereits angedeutet, der Planartechnologie für Dioden und Transistoren: An den zu dotierenden Stellen werden Fenster geschaffen, durch die Dotierungsstoffe eindringen können.



Hochintegrierte Schaltkreise sind nur mit Rechnerhilfe zu entwerfen und zu entwickeln.

Alle nicht zu dotierenden Gebiete werden gegen das Eindringen geschützt. Diese örtlich begrenzte Dotierung geschieht mit Hilfe der Maskentechnologie.

Jeder Dotierungs- und Maskierungsvorgang wird gleichzeitig für Tausende in einem Schaltkreis entstehende Strukturdetails und überdies für Hunderte auf einer Einkristallscheibe zu produzierende Schaltkreise vollzogen. Erst durch diese Parallelproduktion hoher Stückzahlen wird der Aufwand für die Schaltkreisfertigung ökonomisch vertretbar.

Am Beginn steht das elektrische Schema des künftigen Schaltkreises. Bereits bei der Ausarbeitung dieses Entwurfs sind Besonderheiten der Halbleiterblocktechnik zu beachten:

Transistoren und Dioden sind leicht herstellbar und beanspruchen wenig Platz. Widerstände hingegen müssen sparsam verwendet, Kondensatoren nach Möglichkeit vermieden werden. Induktivitäten, Übertrager usf. sind überhaupt nicht in Halbleiterblocktechnik ausführbar.

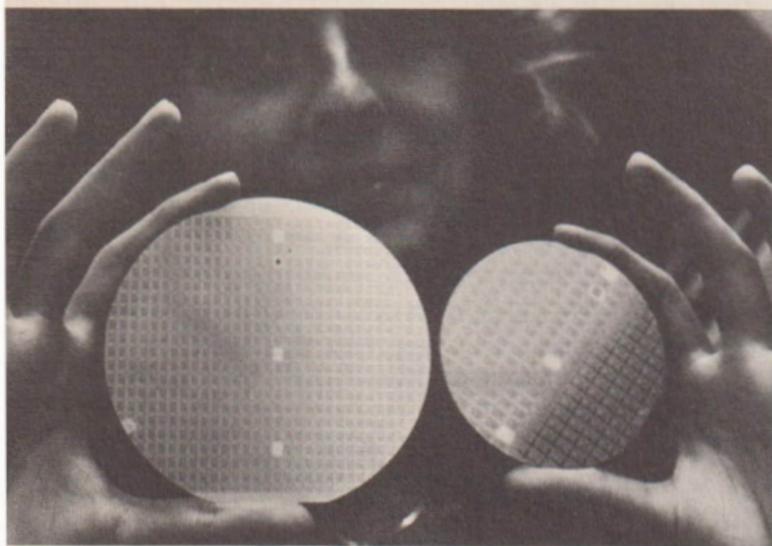
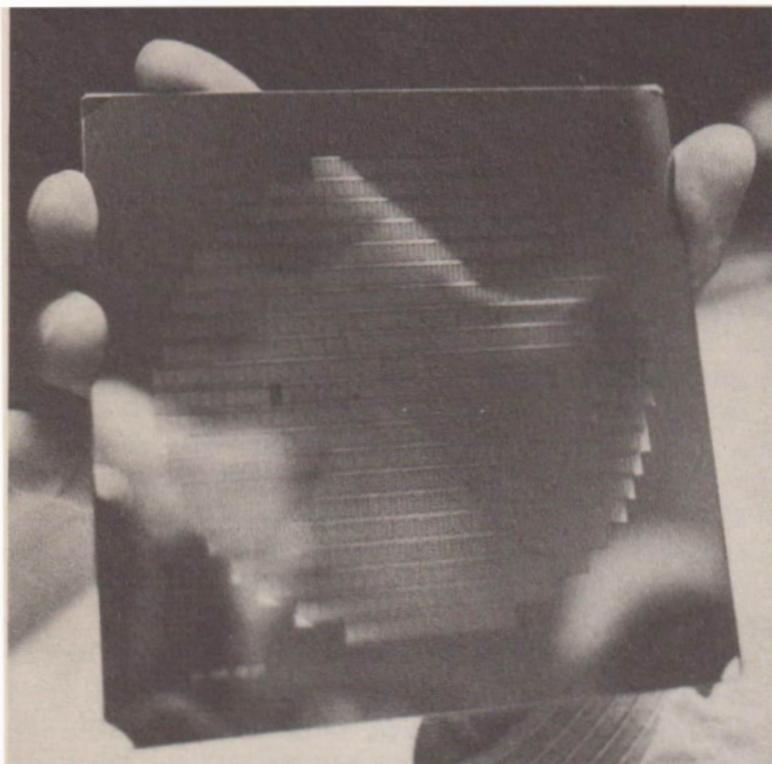
Aus dem Schaltungsentwurf wird eine häufig auf mehrere Quadratmeter vergrößerte topologische Skizze des Schaltkreises, des späteren Chips¹, mit den geometrischen Abmessungen sämtlicher Bauelemente und Verbindungen in ihrer gegenseitigen Anordnung und größenproportional abgeleitet. Hierfür optimale Lösungen in bezug auf Nutzung der Chipfläche, Anordnung der Bauelemente, günstige Verbindungsführung zu finden oder auch nur den Entwurf fehlerfrei und in vertretbarer Zeit auszuführen, ist bei hohem Integrationsgrad eine nur noch mit Rechnerunterstützung zu lösende Aufgabe.

In einem computergesteuerten Koordinatographen werden – ebenfalls im Vergrößerungsmaßstab – die Vorlagen für die fotolithografischen Prozesse aus Folie geschnitten. So entsteht beispielsweise eine Vorlage für alle Gebiete, die in gleicher Weise zu dotieren sind, eine andere für leitende Verbindungen und zu metallisierende Anschlüsse usf.

Die Auszüge für die einzelnen Produktionsschritte werden fotografisch verkleinert und, der Zahl der auf einer Siliziumscheibe entstehenden Chips entsprechend, zeilenweise neben- und untereinandergesetzt. Das übernimmt ein sogenannter Fotorepeater (Foto-Wiederholer). Unter einem Projektionsobjektiv wird lichtempfindliches Material zeilen- und schrittweise so vorbeigeführt, daß durch wiederholtes Belichten das gewünschte Neben- und Untereinander der verkleinerten Vorlagen entsteht. Nach dem Entwickeln erhält man für jeden Fertigungsschritt *sämtlicher* Chips einer Scheibe *eine* Originalschablone, die kopiert werden kann und mehrere identische Arbeitsschablonen liefert. Weil das gleiche Verfahren für jeden Arbeitsschritt zu wiederholen ist, ergibt sich ein Satz von Originalschablonen bzw. ergeben sich Sätze von Arbeitsschablonen für jede Scheibe bzw. für alle Scheiben gleicher Strukturierung.

Die mit schützendem Siliziumdioxid überzogene Scheibe wird mit einer Schicht lichtempfindlichen Lacks

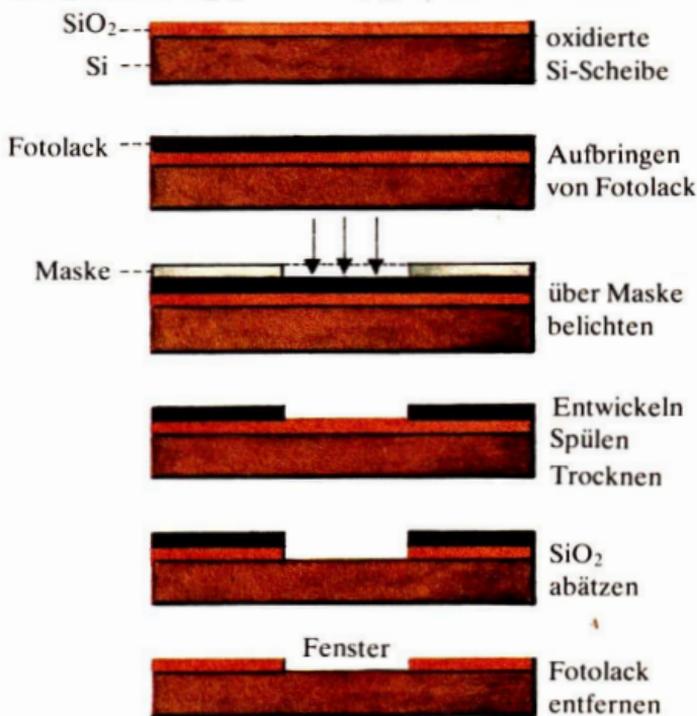
¹ Chip: engl., Span, Splitter, dünnes Plättchen; in der Mikroelektronik einkristallines Siliziumplättchen von wenigen bis zu einigen zehn Quadratmillimetern



Aus dem »Zyklus 1«: Schaltkreisschablone und bearbeitete Siliziumscheiben

(»Fotolack«) bedeckt. Er ist so beschaffen, daß sich belichtete Stellen durch einen Entwicklungsprozeß herauslösen lassen, während unbelichtete stehenbleiben (auch »umgekehrt« wirkende Lacke werden verwendet).

Das Freilegen *eines* Fensters (stellvertretend für Tausende gleichzeitig gebildeter) geht aus der Skizze hervor.



»Öffnen« eines Fensters für nachfolgende Diffusion

Durch das »offene« Fenster können Dotierungsstoffe in den Einkristall diffundieren. Nach der Diffusion wird das Fenster erneut durch Siliziumdioxid verschlossen.

Mit den folgenden Masken des Satzes werden entsprechende Abläufe wiederholt, bis alle Bauelementestrukturen im Einkristall vorliegen. Zum Schluß werden Anschlußfenster an den Bauelementen freigelegt. Durch aufgedampfte Anschlüsse und Leiterbahnen aus Aluminium verbindet man die Bauelemente elektrisch miteinander.

Unserer auf die wichtigsten Prozeßschritte konzentrierten Darstellung seien einige Ergänzungen angefügt.



Si-Scheiben-Meßplatz im »Cleanroom«

Charakteristisches Merkmal der gesamten Mikroelektronik-Produktion, vom Ausgangsmaterial bis zum fertigen Schaltkreis, sind extreme Sauberkeitsanforderungen, wie sie ähnlich in kaum einem anderen Produktionszweig gestellt werden. Ein Staubkörnchen auf einer Arbeitsschablone, geringste Spuren von Feuchtigkeit oder Fingerschweiß reichen aus, einen Schaltkreis (oder mehrere) unwiderruflich unbrauchbar zu machen. Dies und weitere störende Einflüsse zwingen zu aufwendigen Schutzvorkehrungen, von denen der »saubere Raum« (Cleanroom) besonders bekannt wurde. Nur nach umständlichen Reinigungsprozeduren darf man ihn in Spezialkleidung betreten; denn selbst am »saubersten« Straßenanzug haften viele Millionen Schmutz- und Staubteilchen.

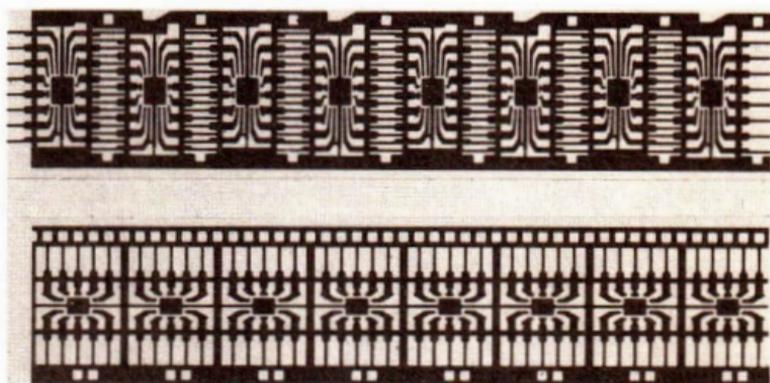
Übliche Größen der Mikroelektronik liegen im Mikrometerbereich. Deswegen müssen sämtliche Arbeitsschritte, vom topologischen Entwurf bis zur letzten Maskierung, mit höchster Präzision ablaufen. Würden beispielsweise aufeinanderfolgende Schablonen nicht auf Bruchteile eines Mikrometers deckungsgleich justiert,

sondern verschoben oder um Teile eines Winkelgrades verdreht, wären alle auf der Scheibe vorgesehenen Schaltkreise Ausschuß.

Nach Abschluß der Maskierungsprozesse werden die elektrischen Parameter der Chips geprüft und gemessen. Das kann selbstverständlich nicht punktweise von Hand erfolgen (mehrere tausend Prüfungen je Sekunde!). Sogenannte Vielfach-Sondenmanipulatoren übernehmen diese Aufgabe. Ihre Prüfspitzen tasten nach einem vorgegebenen Programm die Chips an Anschlüssen und bestimmten Meßstellen (Fläche etwa gleich dem halben Querschnitt eines Haares) ab und vergleichen die Meßergebnisse mit Sollwerten. Chips, deren Parameter nicht den Vorgaben entsprechen, werden z. B. farbig markiert und von weiterer Verarbeitung ausgeschlossen.

Diesem »Zyklus 1«, dadurch gekennzeichnet, daß alle Schaltkreise noch im Scheibenverband vereint sind, folgt nunmehr der »Zyklus 2«: Die Scheibe wird in einzelne Chips getrennt.

Die häufig nur wenige Quadratmillimeter messenden



Trägerstreifen für integrierte Schaltungen

Chips werden auf einem Trägerstreifen befestigt. Er trägt zugleich die Kontakte bzw. Anschlüsse für die Verbindung des Schaltkreises mit der Außenwelt.

Als nächstes werden die elektrischen Verbindungen zwischen den Anschluß»inseln« auf dem Chip und den Kontakten auf dem Trägerstreifen hergestellt. Verbreitet

ist »Thermokompression«: Golddrähte von etwa halber Haaresdicke werden bei hoher Temperatur mit einer Schneide auf die Anschlußstellen gepreßt. Dabei entstehen zuverlässige elektrische Verbindungen.

Schließlich wird der nochmals und wiederholt geprüfte Schaltkreis hermetisch verschlossen – für immer, denn Eingriffe oder Reparaturen sind nicht möglich. Gehäuseformen und Lage der Anschlüsse sind genormt.

Erreichtes – Ziele – Grenzen

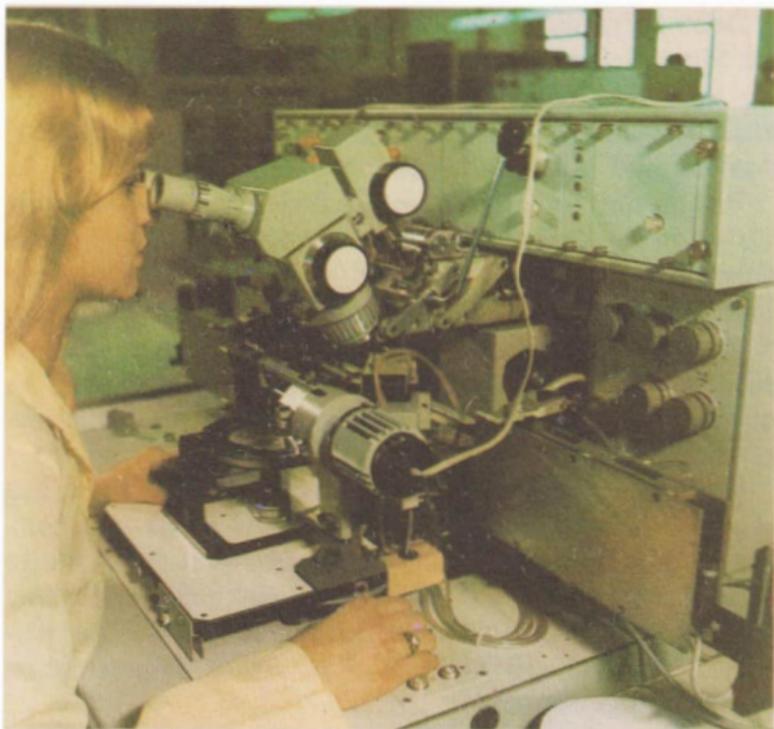
Der Weg zu integrierten Schaltkreisen in Halbleiterblocktechnik war mühsam. Bewährte Technologien mußten verbessert, neue im Wettlauf mit der Zeit und den Bedürfnissen der Anwender entwickelt werden.

Zugleich war diese Umwälzung von einem Umdenken in Schaltungsentwurf und -technik begleitet. Gewohnte Prinzipien wie die, mit steuernden und verstärkenden Bauelementen (Elektronenröhren) sparsam umzugehen, konnten und mußten neuartigen Schaltungskonzeptionen weichen, bei denen gerade diese Bauelemente bevorzugt wurden.

Die Verarbeitung digitaler, vor allem binärer Signale erwies sich in vielen Bereichen den neuen Technologien besser angemessen als diejenige analoger, sich stetig verändernder Signale. Andererseits eröffneten sich erst durch die Mikroelektronik gangbare Möglichkeiten, digitale Schaltungen in den benötigten großen Stückzahlen herzustellen.

Was wurde erreicht? Welche Tendenzen und Ziele zeichnen sich ab? Wie hat die Mikroelektronik die Forderungen an eine zukunftssichere Elektronik erfüllt?

Die Verringerung der Masse und der Maße ist am augenfälligsten. Jede Quarz-Armbanduhr beweist es. Rechner vergleichbarer Leistung sind gegenüber den Anfangsjahren auf ein Zehntausendstel ihres Volumens gesunken. Hunderte »nackter« Chips fänden in einer Streichholzschachtel Platz. Selbst ein verkappter und mit Anschlüssen versehener LSI-Schaltkreis (siehe S. 35) ließe sich als einfacher Luftpostbrief versenden.



Arbeitsplatz Chip-Bonden zur Herstellung der Verbindungen zu den äußeren Schaltkreisanschlüssen

Ein Prozent und weniger beträgt der Energiebedarf einer konsequent mit Schaltkreisen bestückten Anlage im Vergleich zum »klassischen« Vorgänger. Selbst dort, wo bisher die Mikroelektronik nur zum Teil Einzug hielt, schlägt die Ersparnis zu Buche. Nehmen wir an, daß im Mittel bei jedem der rund 6 Millionen Fernsehgeräte in unserem Lande nur 50 W durch Schaltungseinsatz eingespart werden, sind in der Hauptempfangszeit 300 MW weniger bereitzustellen. Das entspricht der Leistung eines großen Turbogeneratorsatzes.

Die Schaltgeschwindigkeit elektrischer und elektronischer Bauelemente fällt besonders ins Gewicht, wenn zahlreiche miteinander verknüpfte Schaltvorgänge nacheinander ablaufen. Das ist unter anderem in Computern stets der Fall. Ob z. B. von 10 000 aufeinanderfolgenden Schaltvorgängen der einzelne $0,1 \mu\text{s}$ oder $1 \mu\text{s}$ dauert, spielt eine wichtige Rolle.

Den steigenden Zuverlässigkeitsanforderungen kam die Mikroelektronik durch Wegfallen der meisten Lötstellen, Verminderung der Zahl äußerer Anschlüsse, Senkung subjektiver Fehlerquellen durch automatische Produktion und Messung besonders entgegen.

Wegen der Anlehnung an die Siliziumplanartechnologie war zu erwarten, daß sich die Zuverlässigkeit eines Schaltkreises nicht wesentlich von der des einzelnen Transistors unterscheiden würde. Bereits die Tabelle auf S. 15 zeigt, daß diese Erwartung nicht trog. Als Faustregel gilt deshalb, daß die Ausfallrate eines Schaltkreises derjenigen eines einzelnen Halbleiterbauelements nahekommt.

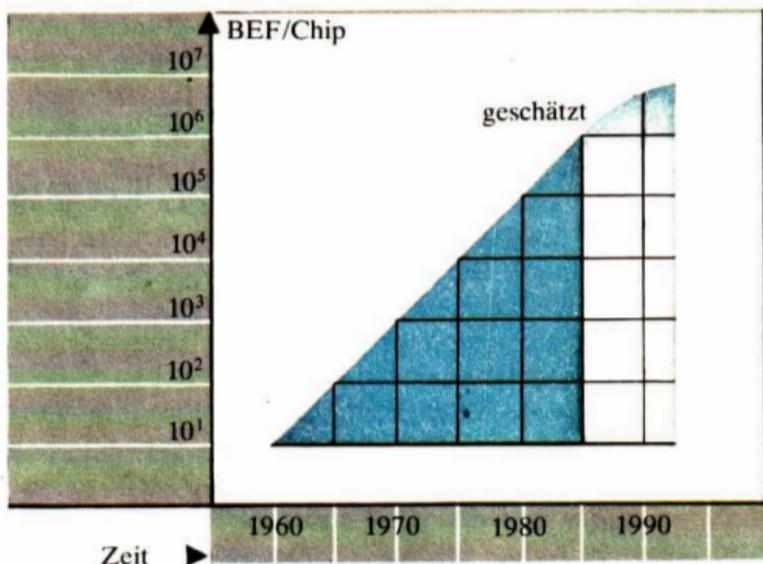
Mikroelektronik ist Elektronik hoher Stückzahlen. Ein absichtlich niedrig angesetztes Beispiel möge das belegen: In einem Produktionsdurchlauf werden 50 Siliziumscheiben bearbeitet, jede besetzt mit 400 Schaltkreisen zu je nur 150 Bauelementefunktionen. Dann werden bei diesem Durchlauf $50 \cdot 400 \cdot 150 = 3\,000\,000$ Bauelementefunktionen gewonnen.

Allerdings sind längst nicht sämtliche auf einer Scheibe entstehenden Chips am Ende wirklich als Schaltkreis verfügbar. Trotz aller Sorgfalt auftretende Verunreinigung, winzige Löcher im Fotolack (durch die Dotierungsmaterial an falschen Stellen eindringt), nicht einwandfreie Verbindungen zwischen Chip und Außenanschlüssen und andere Effekte verursachen Ausfälle.

Zur quantitativen Erfassung der funktionsfähigen Schaltkreise dient der Begriff »Ausbeute«. Eine Ausbeute von 15 % besagt z. B., daß von 100 produzierten Schaltkreisen 15 voll funktionsfähig sind. Die Ausbeute liegt heute, von Sonderfällen abgesehen, im Weltmaßstab bei 15 % bis über 20 %. Anstrengungen zu ihrer Steigerung haben daher einen hohen Stellenwert.

Seit jeher zeigt sich in der Mikroelektronik die Tendenz, den Integrationsgrad (d. h. die Anzahl der Bauelementefunktionen je Chip) und die Integrationsdichte (d. h. die Anzahl der Bauelementefunktionen je Flächeneinheit) zu erhöhen.

Dieser Trend bildet einen Schwerpunkt der technologischen Entwicklung. Seine konsequente Verfolgung wirkt



Zahl der erreichten bzw. geschätzten Baelementefunktionen/
Chip

sich günstig auf zahlreiche Schaltkreisparameter aus:
Preis, Größe, Energiebedarf sinken, Anwendungsmöglich-
keiten, Signalverarbeitungsgeschwindigkeit und Zuverläs-
sigkeit der Geräte wachsen.

*Bezeichnungen und Einteilung der Schaltkreise nach Zahl der
Baelementefunktionen/Chip*

SSI-Schaltkreise (small scale integration, Integration geringen Umfangs)	50 ... 100 BEF
MSI-Schaltkreise (medium s. i., Integration mittleren Umfangs)	100 ... 1 000 BEF
LSI-Schaltkreise (large s. i., Integration großen Umfangs)	1 000 ... 10 000 BEF
VLSI-Schaltkreise (very large s. i., Integration sehr großen Umfangs)	über 10 000 BEF
V ² LSI-Schaltkreise (very very large s. i., Integration überaus großen Umfangs)	über 100 000 BEF

Schaltkreise mit 100 000 Baelementefunktionen bean-
spruchen gegenwärtig Chipflächen von weniger als 1 cm²
(der Uhrenschaltkreis U 132 X unserer Industrie enthält

z. B. auf 16,5 mm² Chipfläche allein 2 600 Transistoren). Schaltkreise mit über 150 000 Bauelementefunktionen sind gang und gäbe, solche mit 1 Million Bauelementefunktionen bereits zu haben. Ein äquivalentes System in »klassischer« Bauweise brächte 2 t auf die Waage.

Es erscheint sehr wahrscheinlich, daß sich bereits in naher Zukunft die gesamte Elektronik einer Großrechenanlage *einem* Chip integrieren ließe.

Wie weit ist die Bauelementedichte überhaupt zu erhöhen? Das läuft auf eine Verringerung der Abmessungen der eingebrachten Bauelemente- und Verbindungsstrukturen und damit auf Vervollkommnung der zu ihrer Einbringung erforderlichen Verfahren hinaus.

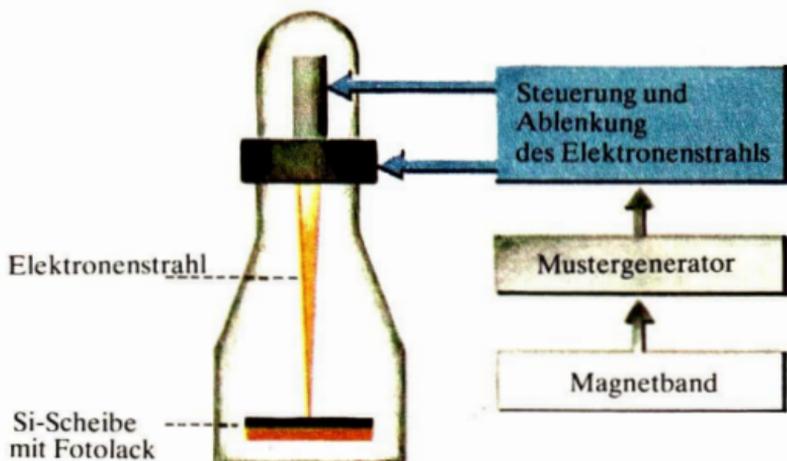
Diffusionsverfahren z. B. genügen den wachsenden Ansprüchen immer weniger, unter anderem deshalb, weil die eindringenden Atome seitlich »streuen« und die scharfen Grenzen an Strukturrändern verwischen. In dieser Hinsicht erweist sich die Ionenimplantation überlegen.

Trotz ausgefeilter Technologien jedoch gibt es Grenzen, die, wie einst beim Mikroskop, durch das »Werkzeug Licht« gesetzt werden. Bei sehr feinen Strukturen reicht das Auflösungsvermögen (d. h. die Fähigkeit, dicht beieinanderliegende Punkte oder Linien getrennt abzubilden) auch bei kurzwelligem ultraviolettem Licht nicht mehr aus. Strukturen bis minimal 1µm Linienbreite sind mit diesem Verfahren zu erreichen. Auf mehreren Wegen wird die Entwicklung vorangetrieben.

Die Röntgenlithografie ersetzt Licht durch kurzwelligere Röntgenstrahlung. Der höheren Auflösung stehen allerdings noch technologische Probleme entgegen, z. B. lange Belichtungszeiten und Schwierigkeiten mit für Röntgenlicht gut geeigneten Fotolacken.

Weiter fortgeschritten ist die Elektronenstrahlithografie. An die Stelle von Ultraviolet- oder Röntgenlicht tritt ein Elektronenstrahl. Dadurch läßt sich, ähnlich wie beim Elektronenmikroskop, ein sehr hohes Auflösungsvermögen erreichen.

Der magnetisch oder elektrisch fokussierte Strahl wird, ähnlich wie in einer Fernsehbildröhre, über die mit elektronenstrahlempfindlichem Lack beschichtete Scheibe geführt und, den zu erzeugenden Strukturen entspre-



Elektronenstrahlolithografie

chend, auf- und abgeblendet. Auch Projektionsverfahren, dem Elektronenmikroskop entlehnt, werden untersucht. Mit Elektronenstrahlen erzielt man Linienbreiten von weit unter $1 \mu\text{m}$. Hochwertige technische Ausrüstungen für die Elektronenstrahlolithografie wurden auch in der DDR entwickelt.

Weil sich Elektronenstrahlen durch magnetische oder elektrische Felder exakt ablenken lassen, wird man vielleicht eines Tages auf den relativ umständlichen Schablonen- oder Maskenzyklus überhaupt verzichten können. Die erwünschten Strukturen der Schaltkreise werden dann z. B. auf einem Magnetband gespeichert. Das Band steuert eine Ablenkeinheit, die den Elektronenstrahl über das zu bearbeitende Material führt.

Noch günstigere Verhältnisse bietet die im Prinzip ähnliche Ionenstrahlolithografie; sie bildet gegenwärtig ein wichtiges Thema in Forschung und Entwicklung.

Es gibt allerdings auch prinzipielle Grenzen für die Erhöhung des Integrationsgrades, der Integrationsdichte und der in Wärme umgesetzten zumutbaren Verlustleistung, schließlich auch der physikalisch bedingten Funktionsfähigkeit selbst.

Eine Verlustleistung von mehr als 1 W kann ein Schaltkreis unter normalen Bedingungen kaum als Wärme abführen. Jede Erhöhung von Integrationsdichte und -grad

muß also mit einer Verringerung des Leistungsbedarfs je Bauelementefunktion einhergehen.

Wichtige Vorgänge beruhen auf im Kristallgitter räumlich verteilten elektrischen Ladungen. Unterhalb einer Grenze, die sich mit weniger als $0,05 \mu\text{m}$ ansetzen läßt, macht sich der gewissermaßen körnige Kristallaufbau zunehmend störend bemerkbar. Die Raumladungseffekte versagen schließlich.

Diese Grenzen liegen jedoch noch in weiter Ferne und dürften allenfalls um die Jahrtausendwende in greifbare Nähe rücken. Forscher und Techniker hält das nicht ab, sich schon jetzt nach anderen Lösungsweegen umzusehen.

Universell und spezialisiert

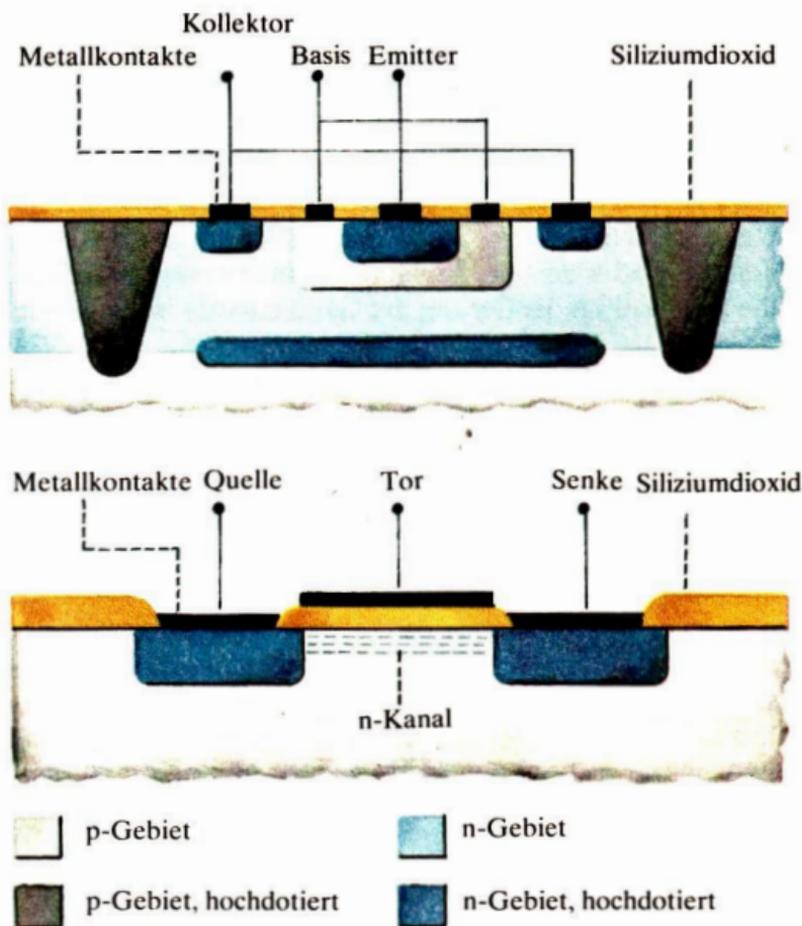
Die Schaltkreistypen sind heute kaum noch überschaubar. Handbücher, bei Erscheinen stets schon ergänzungsbedürftig, führen weit über 20 000 auf.

Von der Art der zu verarbeitenden Signale her oder nach den Funktionsprinzipien lassen sich je zwei große Gruppen mikroelektronischer Schaltkreise unterscheiden.

Digitale Schaltkreise verarbeiten Signale, die nur abgestuft auftreten, meistens als binäre Signale nur zwei Spannungswerte annehmen können. In Computern, in der Steuerungs-, Regelungstechnik und Meßtechnik haben sie ihr hauptsächliches Anwendungsfeld gefunden. Für die Nachrichtentechnik, die sich immer häufiger digitaler Verfahren zu bedienen beginnt, gewinnen sie zunehmend an Bedeutung.

Analoge Schaltkreise verarbeiten stetig verlaufende Signale. Es sind Signale, wie sie uns beispielsweise ein Lautsprecher als Schallwellen übermittelt. Wir finden solche Schaltkreise unter anderem in Verstärkern der Nachrichten- und Meßtechnik, der Elektroakustik, in elektronischen Filtern, als Modulatoren und Demodulatoren, in Oszillatoren und als Orgelschaltkreise elektronischer Musikinstrumente.

Sowohl digitale wie auch analoge Schaltkreise haben also ihre spezifischen Einsatzbereiche, und selbstverständlich sind beiden Vorzüge und Nachteile eigen.



Bipolar- und Unipolartransistor (MOS-Feldeffekttransistor)

Vom Funktionsmechanismus her wird zwischen Bipolar- und Unipolartechnik unterschieden. Gesagt sei lediglich, daß in der Bipolartechnik Vorgänge an pn-Übergängen ausschlaggebend sind, während bei Unipolartechnik die elektrisch steuerbare Leitfähigkeit eines stromführenden »Kanals« ausgenutzt wird.

Keine der beiden Techniken ist zu entbehren. Bipolare Schaltkreise z. B. ermöglichen sehr schnell ablaufende Schaltvorgänge. Besonders die in jüngster Zeit geschaffene sogenannte Integrierte-Injektions-Logik (I²L-Technik) stellt wegen hoher Packungsdichte und geringen Leistungsumsatzes eine sehr günstige Variante dar.

Unipolare Schaltkreise sind zwar etwas »langsamer«, erfordern aber weniger Herstellungsschritte als bipolare. Sie enthalten nahezu ausschließlich Transistoren, wobei diese gegebenenfalls auch Widerstands- und Kondensatorfunktionen übernehmen. Weil die Transistoren weniger Fläche als bipolare Transistoren belegen, kommt die Unipolartechnik dem Streben nach Erhöhung des Integrationsgrades und der Integrationsdichte entgegen. Auch die gegenseitige Isolierung der Bauelemente ist unproblematisch.

Häufig begegnen uns im Zusammenhang mit unipolaren Schaltkreisen Bezeichnungen wie MOS-Technik, MOS-Transistor, MOS-Speicher usw. Sie rühren von der Schichtenfolge Metall-Oxid-Silizium (MOS) her, die in der unipolaren Technik eine große Rolle spielt.

Es widerspräche Grundgedanken und Anliegen der Mikroelektronik, für jeden nur denkbaren Zweck *den* maßgeschneiderten Schaltkreis zu entwickeln und als Kleinstserie zu produzieren. Sogenannte Standardschaltkreise stellen daher einen großen Teil der mikroelektronischen Produktion. Es sind Schaltkreise für Grundsaltungen und häufig auftretende Grundsaltungskombinationen, die in Stückzahlen von Hunderttausenden oder Millionen produziert werden. Sie werden in ihren technischen Parametern aufeinander abgestimmt und als Baureihen angeboten. Der Anwender kann sie vielfältig kombinieren und für spezielle Problemlösungen zusammensetzen.

Kunden(wunsch)schaltkreise werden auf Bestellung eines Abnehmers entwickelt und produziert, der sie in großer Anzahl für *ein* Erzeugnis oder für ein begrenztes Erzeugnissortiment benötigt, z. B. als Schaltkreise für Uhren, Taschenrechner usw. Die ihnen gestellte Aufgabe erfüllen diese Schaltkreise optimal, für andere sind sie nur bedingt geeignet.

Ein Kompromiß zwischen hohen Produktionszahlen und spezialisierter Anwendung wurde ebenfalls versucht: In einen Chip integriert man Bauelementefunktionen gewissermaßen auf Vorrat, zunächst ohne leitende Verbindungen. Der Kunde gibt das gewünschte Verbindungsschema an. Es wird dann mit einer speziellen Kundenmaske aufgebracht.

Mikroelektronik heute: vielseitiger Helfer

Zehntausende Anwendungen

»Ohne Mikroelektronik keine moderne Volkswirtschaft – ohne moderne Volkswirtschaft keine Mikroelektronik«: Diese vielzitierte These ist weit mehr als ein treffendes Wortspiel. Mikroelektronik »aktiv« zu betreiben, sie über bloßes Anwenden voranzutreiben, erfordert ein hohes

Anwendungsbereiche der Mikroelektronik und typische Beispiele

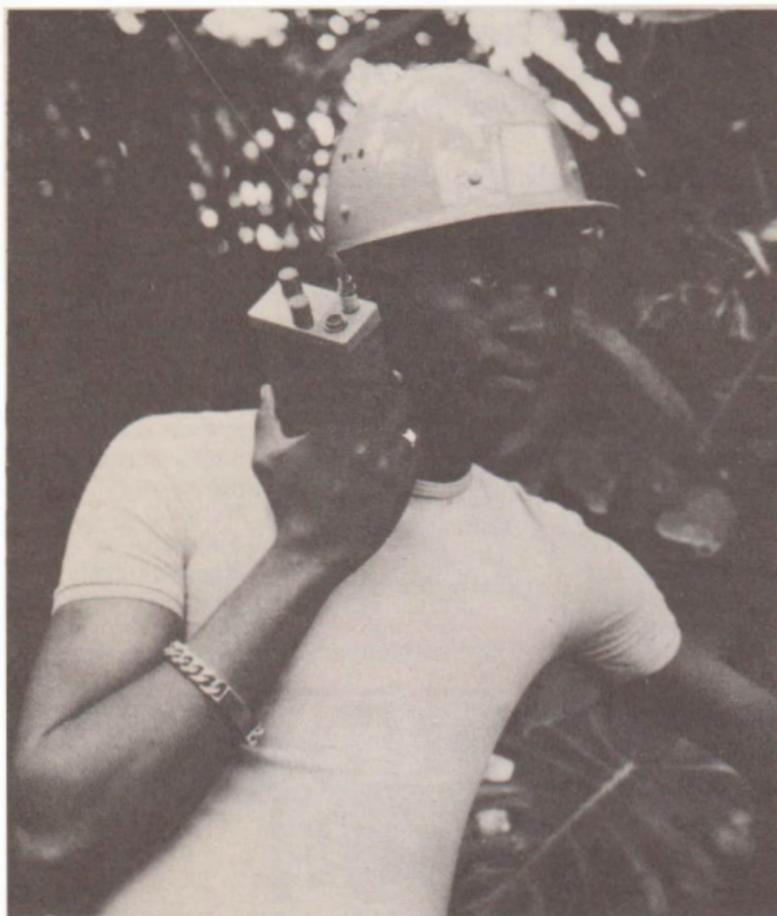


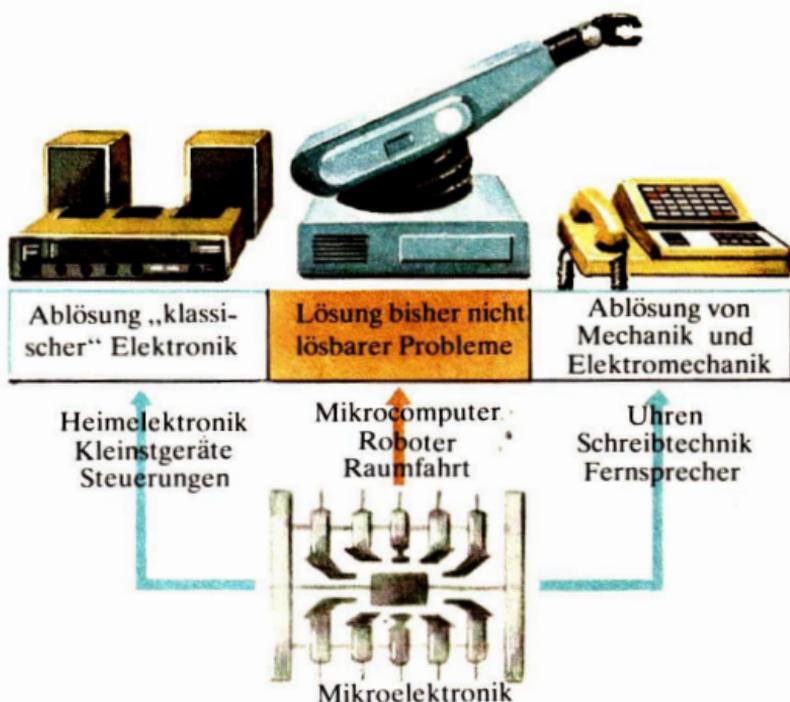
Anwendungsbereiche der Mikroelektronik

Forschungs-, Entwicklungs-, Technologie- und Produktionspotential. Nur entwickelte Industrieländer verfügen über entsprechende Voraussetzungen und Möglichkeiten. Ihre Liste weist derzeit ein rundes Dutzend Namen aus, darunter sozialistische Staaten, die DDR eingeschlossen.

Für uns bedeutet das Möglichkeiten, Verpflichtung und Verantwortung – nicht nur »in eigener Sache«, sondern auch für die Kooperation mit den uns verbundenen Ländern und im Kampf an der entscheidenden wirtschaftlichen Front zwischen sozialistischem und kapitalistischem System. Der hohe Stellenwert, den wir der Mikroelektronik zumessen, unsere großen Anstrengungen

Funksprechgeräte – auch eine Anwendung der Mikroelektronik





»Stoßrichtungen« der Mikroelektronik

für ihre Entwicklung und ihren Einsatz haben auch darin ihre Ursache.

Die Ergebnisse dieses Bemühens wurden besonders in den letzten zehn Jahren sichtbar. Halbleitergrundmaterialien sind aus eigenem Aufkommen vorhanden. Einrichtungen zum Ziehen von Einkristallen, Ausrüstungen für Entwurf, Erzeugung und Übertragung mikroelektronischer Strukturen, Anlagen für Bedampfung, Ionenimplantation und Chipmontage wurden entwickelt und werden exportiert. Andere Aggregate importieren wir von unseren Partnern.

Den Anwendern steht aus eigener Produktion und aus Importen ein Sortiment von Schaltkreisen und Bauelementen zur Verfügung, das sich erweitern wird – unter Berücksichtigung echter Bedürfnisse, technologischer und ökonomischer Gesichtspunkte und in gegenseitiger Abstimmung.

Man schätzt die Zahl der gegenwärtig erkannten An-

wendungsmöglichkeiten der Mikroelektronik auf mehrere 10 000. Nur ein geringer Teil davon wurde bisher ausgeschöpft.

Die Anwendungen der Mikroelektronik sind angesiedelt, wo Signale gewonnen, übertragen, gespeichert, verarbeitet und ausgewertet werden.

Vom Pendel zum Quarz

Mechanische, durch Pendel oder Unruh stabilisierte Uhren erreichten im Laufe ihrer Entwicklung Genauigkeiten bis zu Sekundenbruchteilen je Tag. Trotzdem genügte die Präzision der Zeitmessung nicht immer.

Quarzkristalle, in die Schaltung eines elektronischen Oszillators eingefügt, stabilisieren elektrische Schwingungen auf höchste Frequenzkonstanz. Das ist äußerst wichtig für die Nachrichtentechnik. Man kann die stabilen Schwingungen aber auch abzählen und so zur Zeitmessung verwenden.

Nach 1930 wurde dieser Gedanke in der Quarzuhr verwirklicht. Ihr Prinzip: Quarzstabilisierte elektrische Schwingungen steuern den Motor einer elektrischen Uhr. Zur Motorsteuerung benötigte man niedrige Frequenzen; die Quarzfrequenzen aber lagen im Hochfrequenzbereich. Man mußte sie ohne Genauigkeitsverlust untersetzen. Das übernahmen mit Röhren bestückte Frequenzteiler, die z. B. eine ursprüngliche Quarzfrequenz von 64 kHz bis auf 250 Hz erniedrigten. In sogenannten Treiberstufen wurde schließlich Wechselstrom für den Uhrenmotor gewonnen. Technischer Aufwand, Raumbedarf und Preis dieser Uhren waren so hoch, daß sie nur für spezielle Aufgaben, vor allem im Bereich der Wissenschaft, Verwendung finden konnten.

Bedarf an Quarzuhren jedoch war an vielen anderen Stellen mehr als genug vorhanden. 1959 kamen die ersten Klein-Quarzuhren auf den Markt. Sie waren mit einem Schrittmotor und Transistoren bestückt. Aus der Quarzfrequenz über anschließende Teilerstufen gewonnene Impulse trieben den Motor. Die Abmessungen dieser Uhren unterschritten die eines Lexikonbandes, der tägliche



Herrenuhren – digital und analog

Gangfehler lag bei maximal 1 s. Durch Zeitzeichenempfang konnte er leicht korrigiert werden. Als Chronometer für See- und Luftfahrt und in zahlreichen Instituten und Laboratorien bürgerten sich weiter verbesserte Kleinuhren dieser Art rasch ein.

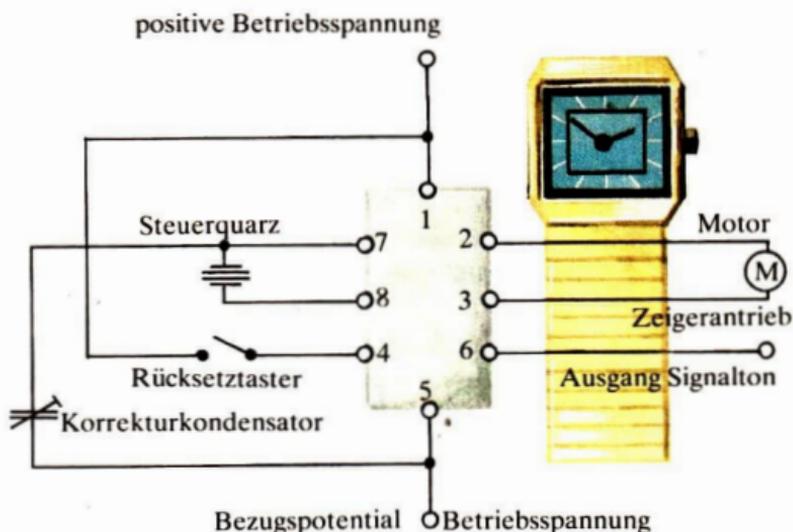
Quarzgesteuerte Wohnraum-, Taschen- oder Armbanduhren waren gleichfalls erwünscht: Benutzer wollten von der hohen Ganggenauigkeit profitieren und das Stellen und Aufziehen vergessen dürfen. Techniker sahen Vorzüge vor allem auch darin, daß ein aus vielen mechanisch bewegten Präzisionsteilen zusammengesetztes Uhrwerk vereinfacht werden oder ganz entfallen könnte.

Noch vor 1970 nahm sich die Mikroelektronik der Quarzuhren an. Bereits erste Ausführungen erwiesen sich den besten Vorläufern mit Federwerk und Unruh an Ganggenauigkeit um das Zehnfache und mehr überlegen.

Analoguhren benutzen die herkömmliche Zeigerdarstellung. Das bedingt eine Schnittstelle zwischen elektronischen Baugruppen und verbleibender (nunmehr aber relativ einfacher) Mechanik zur Zeigerbewegung. Digitaluhren zeigen die Zeit in Ziffern an und enthalten (außer Bedienorganen) keine mechanisch bewegten Teile. Um jedem Geschmack Rechnung zu tragen, wurden Uhren entwickelt, die gleichzeitig analog und digital anzeigen.

Wichtigste Bestandteile aller Uhren in mikroelektronischer Technologie sind ein Steuerquarz und ein Uhrenschaltkreis. Jener liefert die genauigkeitsbestimmende Zeitbasis, dieser schließt alle wichtigen elektronischen Funktionsgruppen für Betrieb und Anzeige ein. International sind Quarzfrequenzen von 32,768 kHz (2^{15} Hz) bzw. 4,194 304 MHz (2^{22} Hz) üblich. Die Anzahl der nachzuschaltenden Frequenzteilerstufen bleibt dann verhältnismäßig gering.

Uhrenschaltkreise sind so ausgelegt, daß sie mit wenigen äußeren Bauelementen und -teilen zur Uhr komplettiert werden können. An die acht Anschlüsse des Schaltkreises U 118 F für analog anzeigende Herrenarmbanduhren z. B. werden Spannungsquelle, Schrittmotor für die Zeigerbewegung, der Quarz mit einem verstellbaren Kondensator zur Frequenzkorrektur, ein Tastknopf zum Rücksetzen und Korrigieren der Anzeige und, wenn ge-



Uhrenschaltkreis U 118 F für Herrenarmbanduhren und seine Außenbeschaltung

wünscht, ein Piezosummer für ein Wecksignal angeschlossen.

Im Schaltkreis sind Bauelemente zur Vervollständigung des Quarzoszillators und Impulsformer zur Umwandlung der stetigen Quarzschwingungen in rechteckige Impulse integriert. Es folgen 16 Teilerstufen und weitere Impulsformer. Den Abschluß bilden Treiberschaltungen. An ihren Ausgängen erscheinen gegeneinander zeitlich versetzte Impulse zum Antrieb des Schrittmotors. Diese umfangreiche Elektronik ist auf einem Chip in einem $4,7 \text{ mm} \cdot 4,5 \text{ mm} \cdot 1,2 \text{ mm}$ »großen« Plastgehäuse untergebracht. In Damenuhren ist der Platz noch knapper. Man verzichtet im allgemeinen auf eine Verkappung.

Schaltkreise für digital anzeigende Damen- und Herrenuhren werden gleichfalls häufig gehäuselos, als »nackte« Chips, geliefert. Sie müssen mehr Bauelementefunktionen und Baugruppen aufnehmen als Analog-Uhrenschaltkreise. Der Uhrenschaltkreis U 130 X beispielsweise enthält auf $6,4 \text{ mm} \cdot 2,4 \text{ mm}$ Fläche allein über 4 000 Transistoren.

Erzeugung, Teilung der Quarzfrequenz und Formung der Impulse erfolgen wie bei analog anzeigenden Uhren.

Weil jedoch nicht Zeiger über ein Zifferblatt bewegt, sondern Zahlen und Symbole unmittelbar dargestellt werden, sind Stufen nötig, die die Impulse zählen und daraus Signale für Zeitanzeige und Sonderfunktionen ableiten.

Ziffern und Symbole werden aus einzelnen Segmenten gebildet. Daher müssen Ansteuerschaltungen integriert werden, mit deren Hilfe die Segmente nach dem »Zählerstand« in richtiger Auswahl und Reihenfolge aktiviert werden.

Wegen des minimalen Energiebedarfs hat sich für batteriegespeiste Digitaluhren weitgehend Flüssigkristallanzeige durchgesetzt. Mit einer Silberoxidzelle ist Uhrenbetrieb für ungefähr ein Jahr gewährleistet.

Die meisten Uhrenschaltkreise sind so gestaltet, daß die Uhren bestimmte Sonderfunktionen übernehmen können. Dazu zählen Angabe von Datum, Monat, Wochentag, die Nutzung als Stoppuhr, als Wecker oder als akustischer Terminkalender, der zu bestimmten Tageszeiten oder an bestimmten Tagen die Rolle einer Gedächtnisstütze übernimmt.

Wegen ihrer Vorzüge erobern sich Quarzuhren auch zunehmend das Feld der Heimuhren, vom Wecker bis zur Küchenuhr (ebenfalls mit Kurzzeitsignal und Terminkalender), von der Wohnraumuhr bis zum Uhrenradio, an dem wir mehrere Programmzeiten einstellen können, das uns durch einen Summton oder durch Musik weckt oder von einer Schlummerautomatik allmählich abgeblendet und schließlich ausgeschaltet wird.

Quarzuhren sind ein überzeugendes Beispiel dafür, daß Mikroelektronik Mechanik nicht nur ersetzen, sondern über diese hinausgehen kann. Über die Hälfte aller gegenwärtig auf der Welt produzierten Uhren sind Quarzuhren. Die Tendenz zur elektronischen Zeitmessung hält unvermindert an.

Die Gründe liegen auf der Hand: Sind mechanische Präzisionsuhren aus nicht viel weniger als 200 Einzelteilen zusammengesetzt, so kommt eine analog anzeigende Quarzuhr mit etwa 30, eine Digitaluhr mit noch weniger aus. Der Gebrauchswert ist durch erhöhte Genauigkeit, Zuverlässigkeit und durch die Zusatzfunktionen dem der »alten« Uhren eindeutig überlegen.

Der Beruf des Uhrenfacharbeiters und des Uhrmachers wandelt sich tiefgreifend. Der Präzisionsmechaniker von einst wird zunehmend auch zum Präzisionselektroniker, der mit elektronischen Schaltkreisen und Meßgeräten umgehen können muß. Eine solche Umstellung ist nicht einfach. Allein in der Schweiz und in der BRD verloren über 40 000 Facharbeiter ihren Arbeitsplatz in der Uhrenindustrie durch die so oft in westlichen Publikationen genannte »Invasion« der Chips. Daß diese Invasion zu meistern ist, zeigen unsere Uhrenwerke.

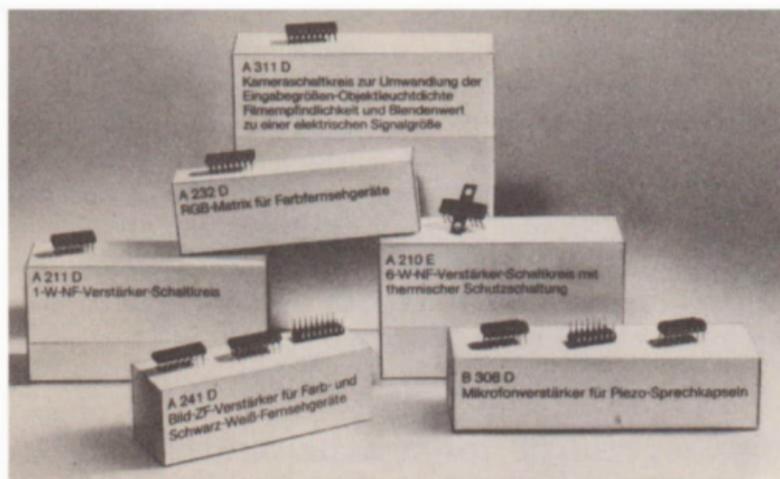
Bedienkomfort durch Schaltkreise

Das »Radio« ist ebensowenig Thema dieses Buches wie Kassetten- und Videorecorder. Völlig übergehen können wir es trotzdem nicht. Einmal zählen Hörrundfunk- und Fernsehgeräte zu den alltäglichen und verbreitetsten Geräten, in die die Mikroelektronik schrittweise einzieht; zum anderen treten gerade auf dem Gebiet der Heimelektronik durch die Mikroelektronik ermöglichte neue Lösungen für jedermann recht augenfällig in Erscheinung.

Empfänger bestätigen das weiter oben erwähnte Charakteristikum der Elektronik: Stets kehren vom Funktionsprinzip her gleiche Grundsaltungen wieder: Verstärker für verschiedene Frequenz- und Leistungsbereiche, Frequenzwandler, Demodulatoren usw. Es ist daher verständlich, daß man mikroelektronische Schaltkreise bald auch in der Empfangstechnik zu nutzen suchte.

Man mußte zunächst mit einer Schwierigkeit fertigwerden: Nur wenige der bereits verfügbaren Schaltkreise konnten übernommen werden; denn sie waren meistens für digitale Signale ausgelegt. Den Signalweg eines Empfängers aber durchlaufen von der Antenne bis zum Lautsprecher bzw. zur Bildröhre analoge Signale.

Es blieb nichts anderes übrig, als spezielle Schaltkreise für die Verarbeitung analoger Signale zu entwickeln. Das war z. B. wegen engerer Toleranzen im Vergleich zu digitalen Schaltungen nicht einfach, aber durchaus gerechtfertigt; denn solche Schaltkreise wurden in großen Stückzahlen benötigt. Viele der entwickelten Typen konnten



Längst sind Schaltkreise in die Heimelektronik eingezogen.

gleichermaßen in Hör- und Fernsehrundfunkempfängern sowie in anderen elektronischen Geräten eingesetzt werden.

Den Anfang machten Schaltkreise für »klassische« Baugruppen, z. B. Verstärkerstufen. Bald vereinigte man mehrere zusammenwirkende Baugruppen auf *einem* Chip, was weitere Platzersparnis, Wegfall von Lötstellen zwischen den Stufen und damit Zuverlässigkeitserhöhung bedeutete.

So werden für Hörrundfunkempfänger Vorstufe, Mischstufe und Zwischenfrequenzverstärker als ein Schaltkreis angeboten; es gibt Zwischenfrequenzverstärker und Demodulatoren für AM- und FM-Empfang, Stereodekoder, Tonfrequenzverstärker usw.

Sogar »Einchipradios« existieren bereits. Ein Schaltkreis enthält nahezu ihre gesamte Elektronik. Nur ganz wenige Bauelemente sowie Lautsprecher bzw. Kopfhörer und Betriebsspannungsquelle müssen zusätzlich angeschlossen werden.

Noch umfassender ist der Einsatz von Mikroelektronik in Fernsehgeräten. Zwischenfrequenzverstärker, der Schaltungszweig für den Begleitton, Farbdekoder, Synchronisierungseinrichtungen, große Teile der Ablenkstufen und zahlreiche Regel- und Stabilisierungszweige sind

bereits integriert ausgeführt. Bestimmt ist die Zeit nicht mehr fern, da Fernsehgeräte im wesentlichen aus einer Handvoll Schaltkreise zusammengesetzt sein werden. Selbst das letzte »klassische« Bauelement, die Bildröhre, wird schließlich mikroelektronikgerechteren Lösungen weichen müssen (vgl. S. 114).

Der Wunsch, mechanische und elektromechanische Anordnungen durch elektronische abzulösen, galt und gilt auch für die Heimelektronik; denn in ihren Geräten existierten zahlreiche störanfällige Kontakte und bewegliche Teile.

Am Beginn dieser Ablösung standen Einzelbauelemente, Halbleiterdioden. Sogenannte Kapazitätsdioden – ihre Kapazität läßt sich durch eine angelegte elektrische Spannung stetig verändern – leisteten, zunächst im UKW-Bereich, dasselbe wie mechanisch komplizierte Drehkondensatoren. Wellenschalter, ebenfalls häufig Ursache von Störungen, wichen Schaltdioden.

Diese Einzelbauelemente bedurften schaltungsmäßiger Ergänzungen. So mußte z. B. die Spannung einer Kapazitätsdiode veränderbar sein, aber, war sie einmal eingestellt, sehr konstant bleiben und daher stabilisiert werden. Dioden zur Frequenzbereichumschaltung benötigten eine bestimmte Schaltspannung. Zur Erfüllung dieser Aufgaben genühten bereits einfache Schaltkreise.

Schritte zu höherem Bedienkomfort ließen nicht lange auf sich warten. Kapazitäts- und Schaltdioden führten zu Abstimmaggregaten, die es dem Fernseh- oder Hörrundfunkteilnehmer gestatteten, von ihm bevorzugte Kanäle durch einmaliges Einstellen zu programmieren und dann jeweils nur durch Tastendruck abzurufen.

Auch auf die noch verbliebenen Drucktasten kann man verzichten. Bei zahlreichen Spitzengeräten genügt das Berühren einer dem jeweiligen Sender zugeordneten Sensorfläche, um über eine komplizierte, in einem Schaltkreis integrierte Elektronik den Abstimmvorgang einzuleiten und auszuführen.

Der beschriebene Komfort wäre wegen seines hohen Bauelementebedarfs ohne Hilfe mikroelektronischer Schaltkreise nicht vertretbar. Für seine weitere Erhöhung sind sie ebenfalls unentbehrlich. Doch hier, wo nur

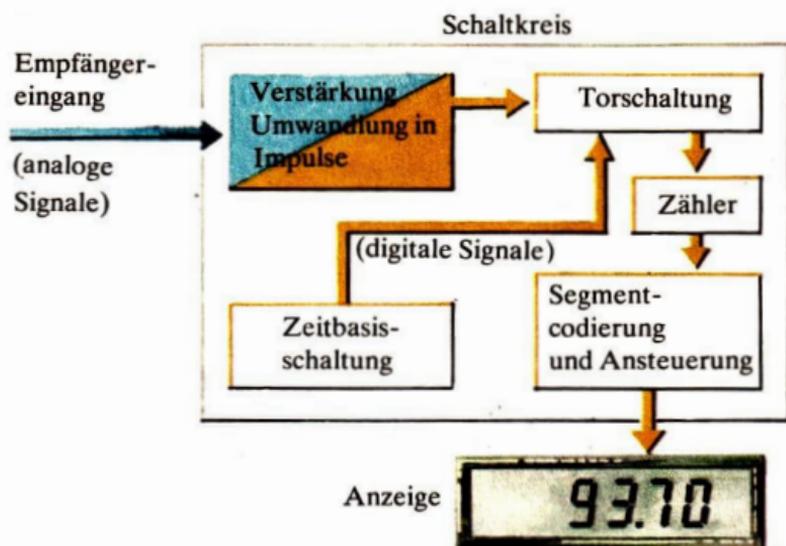
Steuervorgänge (und seien sie noch so kompliziert) ausgelöst werden sollen, kann man weitgehend auf digital arbeitende Schaltkreise und ihre Schaltungskonzeptionen zurückgreifen.

Das gilt z. B. für digitale Frequenzanzeige, bei der abgestimmte Frequenz bzw. eingestellter Kanal in Ziffern angezeigt werden. Grundlage ist der in der elektronischen Meßtechnik verbreitete Zählfrequenzmesser. Er bestimmt die Frequenz sich periodisch wiederholender Vorgänge, indem er ihre Wiederkehr während einer bestimmten Zeitspanne auszählt, in Frequenzangaben umrechnet und das Resultat anzeigt. Er muß dazu bei hohen Frequenzen sehr schnell zählen können. Und das eben leistet nur Elektronik: In der Zeitspanne, in der wir bis 100 zählen, kann ein dafür vorgesehener Schaltkreis viele Millionen abzählen!

Im Empfänger nimmt der Zähler die Signale der zu messenden Frequenz auf, verstärkt und formt sie und wandelt sie in eine Impulsfolge um. Diese erreicht eine sogenannte Torschaltung, die für wenige Millisekunden den Impulsweg freigibt. Solange das Tor geöffnet ist, werden je nach Frequenz mehr oder weniger Impulse hindurchgelassen, gezählt und anschließend in Frequenzangaben umgerechnet. Die Steuerung des Tores übernimmt eine Zeitbasisschaltung. Alle diese Funktionsgruppen, deren klassische Ausführung mehrere Tausende Einzelbauelemente erfordern würde, sind *einem* Schaltkreis integriert.

Die Zifferndarstellung erfolgt, wie wir sie von Digitaluhren kennen. Die Schaltungen zur Segmentansteuerung sind gleichfalls im Schaltkreis untergebracht. Auch bei allen folgenden Komforteinrichtungen geht es digital zu.

Beim automatischen Sendersuchlauf, bewährt vor allem in Fahrzeugempfängern, bestreicht die Abstimmung selbsttätig den eingeschalteten Frequenzbereich. Beim ersten gut zu empfangenden Sender hält sie an und schaltet den Lautsprecher ein. Sagt das Programm nicht zu, genügt Berühren einer Sensorfläche, um den Suchlauf bis zur nächsten Station fortzusetzen. Vom Bereichsende springt die Abstimmung an den Beginn zurück; die Suche wiederholt sich.



Zur Funktion der digitalen Abstimmanzeige

Der Suchlauf ist erweiterbar, z. B. so, daß er nur auf Stereosendungen anspricht oder auf Sender, die durch Kennsignale markierte Verkehrshinweise ausstrahlen.

Verknüpft man das Abstimmaggregat mit einem Speicherschaltkreis und einer Eingabetastatur, kommt man zur einfachsten Methode selbsttätiger Abstimmung. Es genügt, einen gewünschten Sender einmal einzustellen. Durch einen Tastendruck werden die Einstellung und eine Kodezahl dem Speicher eingeschrieben. Zu erneutem Empfang genügt die Eingabe der Kodezahl. Der weitere Abstimmvorgang verläuft dann selbsttätig.

Bei sogenannter Frequenzsynthese stimmt sich der Empfänger auf *jede* eingetastete Frequenz ab, nicht nur auf bereits einmal empfangene. Der Hörrundfunk- oder Fernsehteilnehmer tippt Frequenz, Kanal, mitunter nur die Postleitzahl des gewünschten Senders ein. Alles andere vollzieht sich von allein. Die Anzeige erfolgt alphanumerisch, mit Kanalnummer oder sogar durch eine Kurzbezeichnung der empfangenen Station. Einfacher geht es kaum; daß trotzdem noch eine Möglichkeit zur Handeinstellung vorgesehen ist, versteht sich von selbst.

Fernbedienung ist vor allem von Fernsehgeräten bekannt, wird aber meistens bereits so konzipiert, daß ihr

Befehlsvorrat auch zur Steuerung weiterer Geräte wie Stereoempfänger oder Recorder ausreichen würde. Fernbedienung für alle wichtigen Gerätefunktionen zu realisieren, bedarf kompliziert aufgebauter Signale und einiger Tausende Bauelementefunktionen zur Erzeugung, Übertragung und Auswertung.

Trotzdem ist die Fernbedieneinheit, deren Kernstück ein Schaltkreis bildet, nicht größer und schwerer als ein Taschenrechner. Sie setzt die eingetasteten Steuerbefehle in Impulskombinationen um. Diese werden dem Empfänger drahtlos im Infrarotbereich übermittelt, dort dekodiert und in Steuerkommandos für die verschiedenen Stellorgane umgewandelt. Das gilt sogar für stetig zu verändernde Größen wie Lautstärke, Helligkeit oder Kontrast. Die eingegebenen Werte werden digitalisiert, übertragen und schließlich wieder in stetige oder sich in unmerklich kleinen Schritten ändernde Stellgrößen umgesetzt.

Wäre es nicht günstiger, auch für die Informationsübertragung Sender-Empfänger digitale Signale zu verwenden und damit die bestehende Doppelgleisigkeit analog/digital zu vermeiden?

In der Tat hat eine digitale Signalübertragung viele Vorzüge, von denen z.B. die Störungsarmut und die Möglichkeit einer Signalregenerierung herausragen. Einfacher allerdings würden die Geräte durch Umgehen des analogen Signalweges nicht. Wir sprechen und hören »analog«, also muß am Anfang und am Ende der Übertragung eine Wandlung analog/digital bzw. digital/analog vorgenommen werden. Weitere Stufen, etwa zur Kodierung und Dekodierung der Signale, kämen hinzu. Sie zu realisieren, bereitet mit Mitteln der Mikroelektronik keine unüberwindbaren Schwierigkeiten. Schon tauchen in der Unterhaltungselektronik digitale Verfahren vorerst bei der Schallspeicherung (Schallplatte) auf. Die Digitalisierung des drahtlosen Übertragungsweges wird, wenn überhaupt, erst in weiterer Zukunft kommen. Die hohe Frequenzbandbreite einer solchen Übertragung einerseits und die fehlende Möglichkeit, solche Übertragungen mit den derzeitigen Geräten aufzunehmen, schieben vorerst einen Riegel vor.

Computer in der Jackentasche

Jeder kennt (vorläufig noch) den Rechenstab. Für Generationen Rechnender vereinfachte und verkürzte er in mancherlei Ausführung monotone Zahlenarbeit. Drei Jahrhunderte nach seiner Erfindung erwuchs ihm im Taschenrechner ein Konkurrent, der seine Bedeutung rasch und immer rascher zurückgehen ließ.

Im Jahre 1970 kamen die ersten Taschenrechner auf den Markt; 1974 zogen ihre Produktionszahlen mit denen der Rechenstäbe gleich. Heute hat sich das Verhältnis weitestgehend zugunsten des Taschenrechners verschoben. Sie gehören heute, weit mehr als noch vor wenigen Jahrzehnten der Rechenstab, nicht nur als unentbehrliches Hilfsmittel an viele Millionen Arbeitsplätze, sondern sind ein alltäglicher Gegenstand geworden, zu finden nicht nur auf dem Schreibtisch, sondern auch in Einkaufstaschen und Schulmappen.

Was erklärt diese Verbreitung und Beliebtheit? Es gibt eine Reihe von Gründen. Einer, aber nicht der wichtigste, ist das in jeder Weise wirklich taschenfreundliche Format. Die Bedienung ist leicht erlernbar. Die Ergebnisse sind eindeutig ablesbar und werden, weil Taschenrechner im Gegensatz zum analogen Rechenstab digital arbeiten, mit weit höherer Genauigkeit angezeigt. Schließlich seien die bei vielen Taschenrechnern vorgesehenen zahlreichen Sonderfunktionen und die Möglichkeit erwähnt, Zwischenergebnisse zu speichern, ohne Notizblock und Bleistift zu bemühen.

Taschenrechner sind ein Beispiel für Erzeugnisse, die überhaupt erst durch die Mikroelektronik möglich wurden. Ihre Realisierung setzte eine Technologie voraus, die mehrere Tausende Bauelemente in einem LSI-Schaltkreis unterzubringen gestattete. Ein solcher Schaltkreis heißt Rechnerschaltkreis, zählt meistens zu den Kundenschaltkreisen und bildet das Kernstück der Taschen-Computer. In ihm sind die Rechenschaltungen und, »fest verdrahtet«, d. h. unveränderbar, die Programme enthalten, die der Rechner durchführen kann, und zwar sowohl für die grundlegenden Rechenoperationen wie auch für Sonderfunktionen, deren Zahl, je nach Art des Rechners,

mehrere Dutzend erreichen kann. Bereits Schaltkreise für sehr einfache Taschenrechner müssen unter anderen folgende Teilaufgaben lösen:

- Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division,
- Kommastellung,
- Konstanten- oder Kettenoperationen,
- Auf- und Abrundung der Ergebnisse,
- Anzeige von Negativergebnissen, Eingabe- und Ergebnisüberfüllung,
- Ziffernanzeige (z. B. achtstellig).

Ein Taktgenerator steuert den Ablauf sämtlicher Prozesse. Daten und Befehle für die abzuarbeitenden Programme werden über eine Tastatur eingegeben. Um bei komplizierteren Taschenrechnern mit zahlreichen Zusatzfunktionen das Tastenfeld nicht zu umfangreich werden zu lassen, ordnet man häufig in solchen Fällen jeder Taste eine Doppelfunktion zu, die durch Umschalten gewählt werden kann.

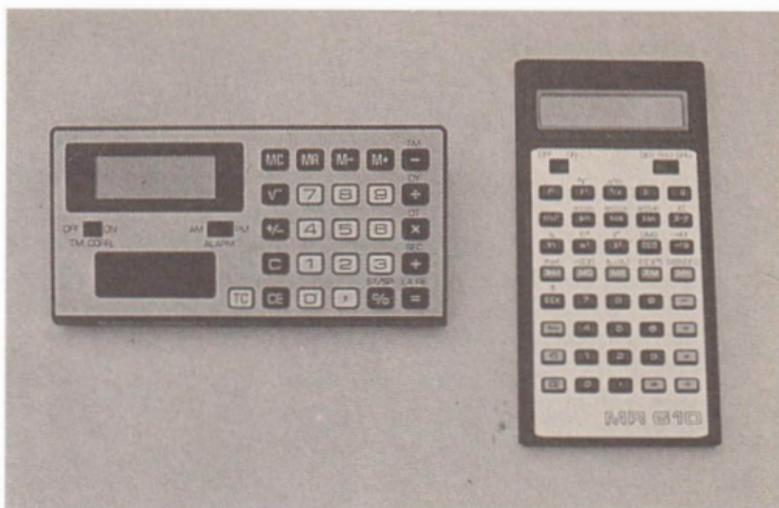
Ein Anzeigefeld, mit Leuchtdioden oder Flüssigkristallelementen (LED- bzw. LCD-Anzeige) ausgerüstet, übernimmt die Ergebnisdarstellung, die Vorzeichenangabe und die Kenntlichmachung von Eingabefehlern oder einer »Überforderung« des Rechners.

Der Leistungsbedarf eines Taschenrechners ist sehr gering, besonders bei LCD-Anzeige, und kann für viele Monate von eingesetzten galvanischen Elementen oder Kleinstakkumulatoren gedeckt werden.

Die Zahl der angebotenen Modelle ist groß. Bereits einfache Ausführungen enthalten Zusatzfunktionen wie Prozenttaste, bestimmte Konstanten (etwa die häufig benötigte Zahl π), Tasten für die Berechnung von Wurzeln, ganzzahligen Potenzen oder für den Kehrwert einer Zahl und zur Korrektur einer Fehleingabe.

Die meisten Taschenrechner sind heute mit einem oder mehreren Speichern ausgestattet. In ihnen können Zwischenergebnisse »notiert« und beliebig wieder abgerufen werden; sie sind oft so eingerichtet, daß sie als rechnende Speicher Zwischenwerte addieren, subtrahieren, multiplizieren oder dividieren können, und sie vereinfachen das Rechnen mit Klammersausdrücken.

Diese Speicher sind gleichfalls Produkte der Mikro-



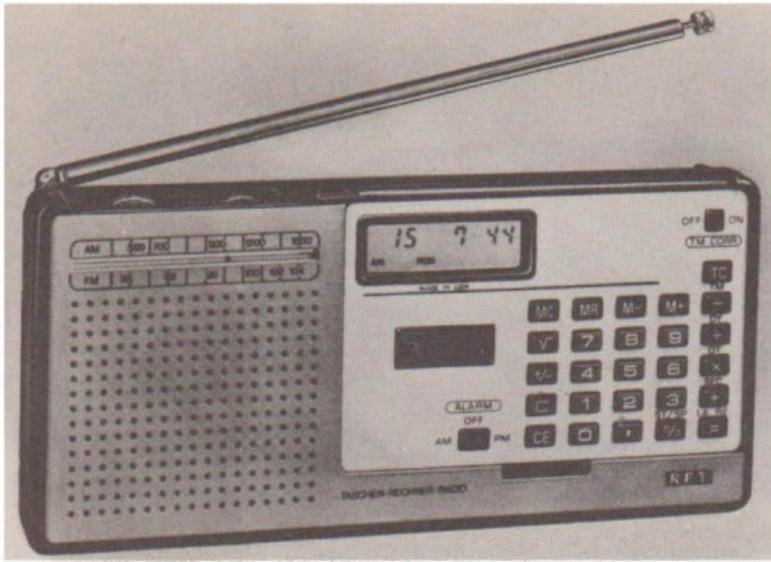
Viele nutzen ihn: Wissenschaftlicher Taschenrechner MR 610 (rechts); daneben: Rechner MR 4110 mit Uhr

elektronik; denn nur als Schaltkreise lassen sich leistungsfähige Speicher mit den für Taschenrechner unabdingbaren minimalen Abmessungen ausführen. Daß der Speicherinhalt beim Abschalten der meisten Ausführungen verlorenght, fällt beim Taschenrechner nicht sonderlich ins Gewicht.

Für Berechnungen in Forschung und Technik sind wissenschaftliche Taschenrechner verfügbar. Ihr Bedienfeld umfaßt Tasten und Schalter z. B. für die Berechnung von trigonometrischen und hyperbolischen Funktionen samt ihren Umkehrfunktionen, für natürliche und dezimale Logarithmen und für Potenzen mit gebrochenen Exponenten, Schalter für die Umrechnung Gradmaß/Bogenmaß, Altgrad/Neugrad, für statistische und Fehlerberechnungen.

Jeder dieser Operationen ist im Rechner ein Programm zugeordnet. Nach Dateneingabe und Betätigen der zugehörigen Taste (bzw. des Schalters) läuft es selbsttätig ab. Der Benutzer kann es nicht verändern oder durch ein »eigenes« Programm ersetzen.

Diese Einschränkung gilt allerdings nicht mehr für alle Taschenrechner. Seit 1974 gibt es auch programmierbare Ausführungen. Sie können wie ein normaler Taschen-



Ein »Seitensprung« des Taschenrechners: Rechner mit Radioteil

rechner arbeiten, verfügen aber zusätzlich über einen Programmspeicher für Operationsbefehle. Ihm wird, gleichfalls über das Tastenfeld, das vom Benutzer ausgearbeitete Programm Befehl um Befehl eingeschrieben. Der Programmspeicher veranlaßt auf ein Startkommando die Abarbeitung. Rechenprogramme, die sich – etwa bei der Auswertung von Versuchsreihen – nur durch wechselnde Eingangsdaten unterscheiden, können so mit sehr geringem Aufwand durchgeführt werden.

Bei manchen Modellen läßt sich das Programm auch auf einer einsteckbaren Magnetkarte speichern und in einer Programmibibliothek zur beliebigen Wiederholung aufbewahren. Schließlich existieren Taschenrechner, an die ein Druckwerk oder ein zusätzlicher äußerer Speicher angeschlossen werden kann. Taschenrechner sind damit vielen Großrechenanlagen der Anfangszeit nahezu ebenbürtig, in manchen Punkten (z. B. Zuverlässigkeit, Energieverbrauch, Flexibilität) überlegen. Zahlreiche Varianten der Taschenrechner kamen in den vergangenen Jahren in den Handel. Manche davon sind mehr oder weniger als Spielerei zu werten, andere entstanden aus Reklame- oder Profitgründen.

So kann die Kombination Taschenrechner/Uhr sehr nützlich sein, wo es gilt, Zeitspannen festzustellen oder zu addieren. Sie findet bei manchen Modellen im Gehäuse einer Armbanduhr Platz; die Betätigung kann dann nur noch mit Lupe und »Bediennadel« vorgenommen werden. Die Kombination Taschenrechner/Radioempfangsteil existiert gleichfalls, ebenso der Rechner im Kugelschreiber. Eine Firma kombinierte sogar Rechenstab und Taschenrechner.

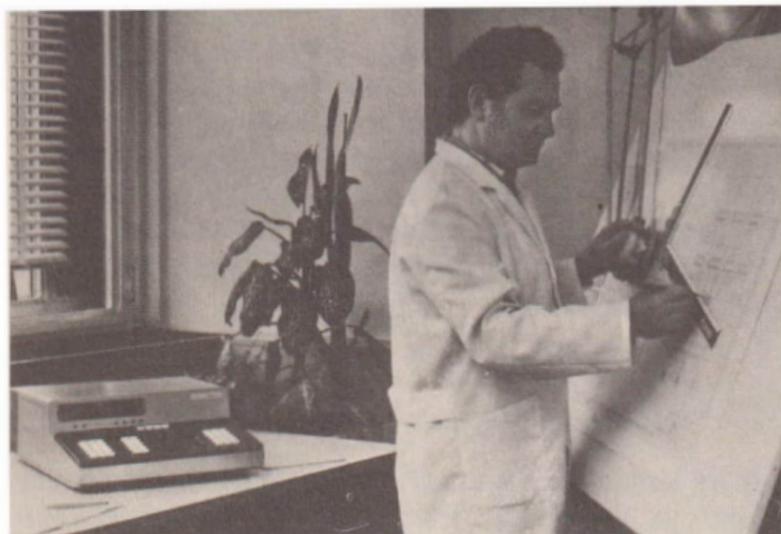
Mikroprozessoren – Mikrorechner

Der Elektromotor machte Dampfmaschine und Transmissionen in Werkhallen überflüssig. Maschinen konnten unabhängig voneinander betrieben, gesteuert und flexibler eingesetzt werden. Der Elektromotor war sofort betriebsbereit, preiswert und in weitem Leistungsbereich jedem Verwendungszweck anzupassen.

Die ersten Elektronenrechner, fabriksaalgroß und mit dem Energiebedarf eines Straßenbahnzuges, mußten – wie einst die Dampfmaschine – zentral aufgestellt werden. Benutzer waren darauf angewiesen, ihr Problem zum Rechner zu bringen und das Resultat dort wieder abzuholen, gleich, ob das persönlich, auf dem Postwege oder, wenige Jahre später, mit Hilfe von Datenfernübertragungskanälen geschah. Diese haben sich für zahlreiche Aufgaben ausgezeichnet bewährt und werden auch gegenwärtig in großem Umfange eingesetzt.

Gleichzeitig mit dieser Entwicklung und zunehmend gewannen andere Überlegungen an Gewicht. Keineswegs alle Probleme bedurften zu ihrer Lösung einer »Rechenfabrik«. Tausende Fälle waren aufzählbar, in denen ein einfacherer, leicht programmierbarer, auf das spezifische Problem zugeschnittener, kleiner und preiswerter Computer durchaus genügt hätte.

Um etwa eine Werkzeugmaschine zu steuern, einen Prozeß optimal zu führen, laufende Berechnungen in Verwaltungen oder Konstruktionsabteilungen auszuführen, Waren zu wägen oder zu inventarisieren, Versuchsergebnisse auszuwerten usw., mußte und konnte man nicht



Programmierbarer Kleinstrechner »robotron K 1001«

unbedingt Datenfernübertragungskanäle belegen, einen Großrechner »belästigen« und seine nicht billige Rechenzeit bezahlen. Ein bescheidenerer Computer »vor Ort« würde ausreichen; die Daten würden nicht mehr zum Computer, sondern dieser »zu den Daten« kommen.

Fortschritte der Mikroelektronik schufen die hierfür nötigen Voraussetzungen. Der Raumbedarf leistungsmäßig vergleichbarer Rechner sank in knapp vier Jahrzehnten von Saalgröße bis auf das Format einer Leiterkarte von 120 mm · 180 mm; die Zuverlässigkeit wuchs um Größenordnungen.

Prinzipiell waren alle Bauelementefunktionen eines Rechners in wenigen LSI- oder VLSI-Schaltkreisen unterzubringen. Doch es hätte Sinn und Wesen der Mikroelektronik widersprochen, für jede spezielle Aufgabe auch einen speziellen Computer zu entwickeln und in geringer Stückzahl zu produzieren.

Die Computer selbst wiesen den Weg zur Lösung: Alle Digitalrechner sind nach dem gleichen Grundschema aufgebaut. Sie enthalten vor allem ein nach weitgehend übereinstimmenden Prinzipien arbeitendes Kernstück, die Zentrale Verarbeitungseinheit (ZVE), den Prozessor. Er führt nach dem ihm auferlegten Programm Folgen von

arithmetischen Operationen, Vergleichen und logischen Verknüpfungen aus.

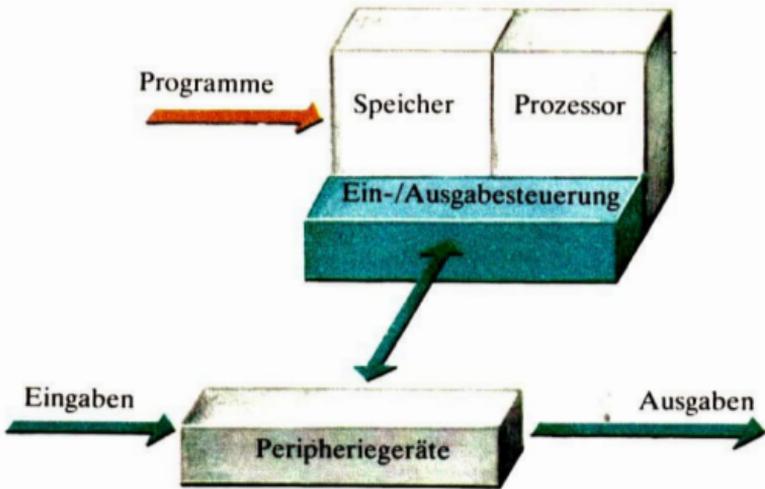
Gleiche ZVE können ganz verschiedene Programme abarbeiten und auch zum Aufbau ganz unterschiedlicher Computer genutzt werden. Es ist dem Prozessor im Grunde »gleichgültig«, woher Daten und Befehle stammen, wenn er sie nur »versteht« und »weiß«, was er mit ihnen anfangen soll. Rechner unterscheiden sich im wesentlichen durch das Umfeld ihrer Zentralen Verarbeitungseinheit.

Gleicher Prozessor mit veränderbarem Umfeld, variierbarer Ein- und Ausgabe, ergänzenden äußeren Speichern und demzufolge zahlreichen Programmierungs- und Anwendungsmöglichkeiten: War das nicht die Richtung zum vielfältig einsetzbaren Kleinstrechner, zum Mikrorechner?

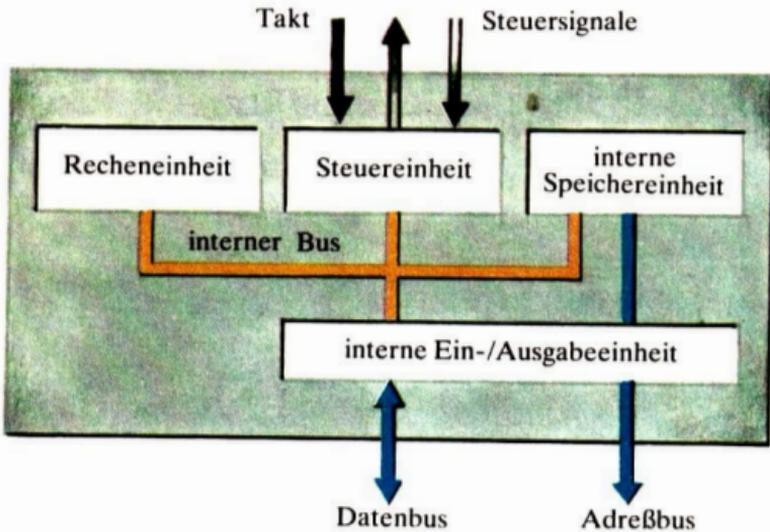
Er wurde geboren, als es 1971 gelungen war, die ZVE eines solchen Rechners als Mikroprozessor zunächst in zwei Chips, kurz danach in einem zu integrieren, der »nur« (s. u.) 2000 Transistoren enthielt.

Programmierbarer Kleinstrechner »robotron K 1003«





Grundsätzlicher Aufbau eines Computers



Funktionseinheiten eines Mikroprozessors

Der prinzipielle Aufbau eines Mikroprozessors mit Funktionsgruppen für die Aufnahme und Ausgabe von Daten und Befehlen, die Ausführung von Rechenbefehlen, von logischen und arithmetischen Operationen im Rechenwerk, die Steuerung aller internen Vorgänge entspricht der ZVE größerer Rechner. Dem Daten- und Be-

fehlsaustausch dienen Sammelleitungen zwischen den Funktionsgruppen, ein »Bussystem«, dessen Name dem Nahverkehr mit Zu- und Aussteigemöglichkeiten auf einer Linie entlehnt wurde.

Ein Taktgenerator koordiniert alle ablaufenden Operationen zeitlich. Er kann von außen zugesetzt werden, ist aber häufig im Mikroprozessor selbst mit enthalten.

Die Zeit für die Ausführung eines Befehls liegt im Mikrosekundenbereich, die Wortlänge, d. h. die Zahl der Bits, die zusammenhängend verarbeitet werden können, beträgt je nach Aufgabenstellung und Ausführung des Mikroprozessors 4, 8, (12), 16 oder auch 32 bit. Die Anzahl der »verstandenen« Befehle kann 100 und mehr erreichen.

Innerhalb von knapp 5 Jahren wurden an die 100 Mikroprozessortypen auf dem Weltmarkt angeboten. Diese Zahl nahm weiter zu, wenn auch mit geringer werdender Anstiegsrate – Folge der Entwicklung immer leistungsfähigerer und vielfältiger einsetzbarer Mikroprozessoren. Die Anzahl der im Mikroprozessor-Chip von einigen 10 mm² Fläche und wenigen Gramm Masse integrierten Bauelementefunktionen wuchs entsprechend. Zwei Beispiele sollen das verdeutlichen. Wollte man die beiden Mikroprozessoren U 808 D und den jüngeren U 880 D aus einzelnen Bau- und Konstruktionselementen zusammensetzen, brauchte man:

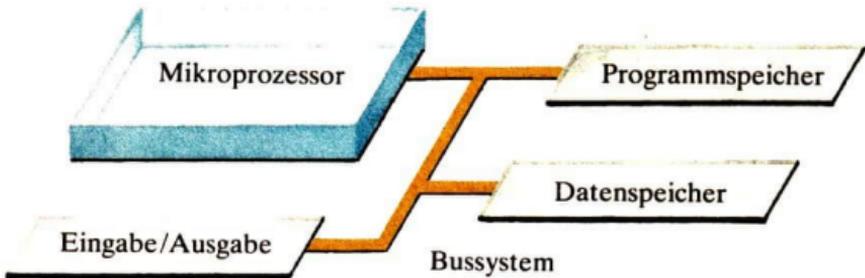
	U 808 D	U 880 D
Transistoren	1 000	21 000
Dioden	11 000	8 100
Widerstände	12 000	24 000
Kondensatoren	6 000	12 000
elektronische Bauelemente	30 000	65 100
Dazu kämen:		
Leiterplatten	400	800
Steckverbinder	400	800

So beeindruckend solche Zahlen auch sein mögen – selbst der leistungsfähigste Mikroprozessor wäre für sich allein völlig nutzlos. Seine Bedeutung erhält er, wie jede

Zentrale Verarbeitungseinheit, erst im Zusammenspiel mit weiteren Baugruppen, deren wichtigste hier in Gestalt weniger Schaltkreise hinzukommen.

Welche Bausteine sind zu ergänzen, damit aus dem Mikroprozessor ein Mikrorechner, ein Mikrocomputer wird?

Der Mikroprozessor kann nur nach ihm vorgegebenem Programm arbeiten. Es ist dem Programmspeicher eingeschrieben, liegt für die jeweilige Anwendung des Mikrocomputers fest und soll beliebig oft wiederholt oder jeweils auf Anforderung ablaufen.



Aufbauschema eines Mikrocomputers

Programmspeicher, als Schaltkreise vorliegend, sind deshalb Festwertspeicher. Ihr Inhalt wird nicht gelöscht, wenn der Computer abgeschaltet wird oder die Stromversorgung ausfällt, kann aber auch nicht verändert werden.

Programmspeicher gibt es in mehreren Varianten. Der besonders verbreitete Nur-Lese-Speicher (abgekürzt ROM: Read Only Memory) kann nur ausgelesen werden, und zwar beliebig oft. Das Programm wird, wie etwa bei einem Uhrenschaltkreis, vom Kunden bestellt und mittels spezieller Masken vom Hersteller eingebracht.

Möchte ein Anwender die Programmierung selbst übernehmen, ist das mit Hilfe eines programmierbaren Festwertspeichers (abgekürzt PROM: Programmable ROM) und eines Programmiergerätes möglich.

Eine dritte Speichervariante ist das löschbare PROM (abgekürzt EPROM: Erasable PROM). Das gespeicherte Programm läßt sich durch Ultraviolettbestrahlung löschen. Mit einem Programmiergerät kann ein neues Programm eingeschrieben werden.

Ein weiterer Speicher, der Datenspeicher, nimmt Informationen auf, die sich während der Arbeit des Mikrocomputers fortlaufend ändern, z. B. eingetastete Zeichen, Befehle, kodierte Meßwerte von angeschlossenen Geräten usf. Der Datenspeicher ist ein Schreib-Lese-Speicher und gestattet wahlfreien Zugriff; der Benutzer kann jede Spei-

Das »drahtlose« Telefon macht die Verbindungsschnur zum Handapparat überflüssig.





Auch die Tasten am Fernsprecher sind ein Resultat der Mikroelektronik

cherstelle ohne Berücksichtigung der übrigen belegen, auslesen oder löschen.

Auch der Datenspeicher ist ein Halbleiterspeicher, jedoch ist sein Inhalt im Gegensatz zum Programmspeicher »flüchtig«. Bei Abschalten des Computers oder bei Stromausfall gehen die eingeschriebenen Daten verloren.

Die Verbindung mit der Umwelt stellt die Ein- und Ausgabereinheit her. Sie kann *einen* Komplex bilden, aber auch aus getrennten Einheiten bestehen.

Die Eingabe kann unter anderem über Bedientasten, eine alphanumerische Tastatur, von Magnetbändern und -folien, über Steuerknüppel oder Lichtstift, Sensoren und Datenübertragungskanäle geschehen.

Noch weitgespannter ist die Möglichkeit der Ausgabe. Sie reicht von optischen oder akustischen Signalen über digital oder analog anzeigende Meßinstrumente bis zum Bildschirm, auf dem die Ergebnisse alphanumerisch oder als grafische Darstellung erscheinen, bis zur elektronischen (Fern)Schreibmaschine, zum Drucker oder Koordinatenschreiber und vor allem bis zu einer großen Vielfalt von Stellgliedern für Geräte, Maschinen und Anlagen.

Mikroprozessor, Programmspeicher, Datenspeicher, Ein- und Ausgabeeinheit bilden die wichtigsten Funktionsgruppen eines Mikrorechners. Weitere kommen von Fall zu Fall hinzu. Sie sind sämtlich durch Bussysteme miteinander verbunden.

Inzwischen erfuhr der Mikrocomputer eine weitere »Konzentration«: Es ist nicht unbedingt erforderlich, die genannten Funktionsgruppen auf getrennten und miteinander äußerlich zu verbindenden Chips unterzubringen. Für nicht zu umfangreiche Anwendungen kann man sie auf *einem* Chip vereinen. Das Resultat ist der sogenannte Einchiprechner (in der DDR z. B. die Typen U881, U882, U883).

Einchiprechner bieten sich vor allem dort an, wo für nicht zu umfangreiche Aufgabenstellungen große Stückzahlen eines Kleinstrechners benötigt werden. Das gilt z. B. für den Einsatz in der Fernsprechtechnik, für Meßgeräte, im Verkehrswesen und auch in Konsumgütern. Allerdings sind auch Einchiprechner häufig so konzipiert, daß sie Anschlußmöglichkeiten für weitere Speicher- und Ein/Ausgabeschaltkreise haben.

Möglichkeiten über Möglichkeiten

Bereits heute sind die Anwendungsmöglichkeiten des Mikrocomputers so umfassend und weit gefächert, daß man sie nicht einmal näherungsweise überschauen kann. Wie erklärt sich das?

Mikrocomputer können, wenngleich problemspezifisch orientiert und in etwas bescheidenerem Maße, wie große Rechner z. B. schnell und genau rechnen, vergleichen und ordnen, Situationen in Varianten durchspielen bzw. simulieren, Prozeßdaten erfassen, auswerten, verknüpfen und auf die Steuerung von Prozessen anwenden.

Aber sie leisten das alles bei so geringem Raum-, Energie-, Bedien- und Kostenaufwand, daß ihre Anwendung auch dort möglich, sinnvoll und lohnend ist, wo der Einsatz eines größeren Rechners sich aus technischen und ökonomischen Gründen verbieten würde. Selbst relativ einfache Steuerungs- und Regelungsprobleme sind oft



Mikroelektronik »in eigener Sache«: Mikrorechnergesteuerter Leiterkartenentwurfplatz

vorteilhafter mit dem Mikrorechner als mit bisher üblichen Mitteln zu lösen.

Die Realisierung der prinzipiell vorhandenen Möglichkeit etwa, eine Wasch- oder Nähmaschine über einen Schrank- oder Tischrechner zu steuern, wäre grotesk. Es ist jedoch denkbar und wird auch praktiziert, die Maschine mit einem kleinen spezialisierten Mikrocomputer auszustatten. Seine Bedienung ist so vereinfacht, daß der Benutzer von seinem »Umgang mit einem Computer« überhaupt nichts merkt. Eines allerdings muß er bemerken: eine echte technische Verbesserung gegenüber früheren Lösungen. Sie bezieht sich nicht nur auf die Bedienerleichterung und Erweiterung der Nutzungsmöglichkeiten, sondern auch auf Fragen des Energiebedarfs, der Umweltbelastung usf. »Mikrocomputer um jeden Preis« (es gibt computergesteuerte Spielzeugtiere ...) bleiben sinnlos.

Die meisten Funktionsgruppen und Bauteile (die soge-

nannte Hardware) eines Mikrocomputers können einem Sortiment von in großen Serien produzierten und in ihren Parametern aufeinander abgestimmten Schaltkreisen entnommen werden. Sie umfassen Mikroprozessoren, Speicherschaltkreise für Festwerte und freien Zugriff, Schaltkreise für zusätzliche Steueraufgaben und für den Übergang auf verschiedene Ein- und Ausgabemöglichkeiten. Durch ihre Kombination und durch das breite Spektrum der anschließbaren Eingabe-, Ausgabe- und Speicherorgane und -komplexe eröffnen sich zahlreiche Anwendungen.

Die Nutzung der Ein- und Ausgabemöglichkeiten macht weitere Maßnahmen nötig, besonders wenn Mikrocomputer für Steuerzwecke eingesetzt werden.

Mikrocomputer verstehen und verarbeiten nur binär kodierte, elektrische Signale. Als unmittelbare Resultate von Beobachtungen und Messungen sind solche Signale äußerst selten. Viele Größen – Wegstrecken, Winkel, Temperaturen, Drücke u. v. a. – sind nichtelektrisch und ändern sich stetig. Sie liefern ursprünglich keine digitalen, geschweige denn binär kodierte Signale.

An der Beobachtungs- bzw. Meßstelle muß daher fast stets eine Wandlung erfolgen, die (gegebenenfalls) nichtelektrische Größen als elektrische darstellt und überdies häufig in eine für die Weiterverarbeitung geeignete Signalform bringt. Die dazu erforderlichen Sensoren (s. u.) und Analog/Digital-Wandler sind für das Zusammenspiel Objekt – Computer äußerst wichtig.

Die Gegenrichtung, Computer – Objekt, ist gleichfalls kein »glatter« Weg. Die Ausgangssignale des Computers sind im allgemeinen weder von der Signalform noch von der Leistung her geeignet, Stellorgane wie Motoren, Elektromagnete, Ventile u. a. unmittelbar zu betätigen. Auch hier bedarf es zwischengeschalteter Wandler (z. B. Digital/Analog-Wandler).

Sensoren, Stellorgane und ihre zusätzlich erforderliche Elektronik sind häufig recht komplizierte »Mitarbeiter« des Computers und nicht selten teurer als der Mikroprozessor, für den sie tätig sind.

Die wachsende Zahl der Anwendungen ist keineswegs nur Resultat immer leistungsfähigerer Hardware.

Die Programme (Hauptbestandteil der sogenannten Software) stehen der Hardware an Bedeutung nicht nach. Ihre Erarbeitung ist ein komplizierter Prozeß, der umfangreiche Kenntnisse und noch immer hohen Zeitaufwand erfordert. Programme sind daher nicht billig, besonders dann nicht, wenn sie einmal oder in wenigen Kopien benötigt werden.

Bereits im vergangenen Jahrzehnt überschritt der Kostenanteil der Software häufig den der Hardware. Man schätzt, daß in naher Zukunft von den Gesamtkosten eines Mikrorechnersystems nur noch etwa 10 % auf den eigentlichen Rechner entfallen werden.

Unentbehrliche »Sinnesorgane«

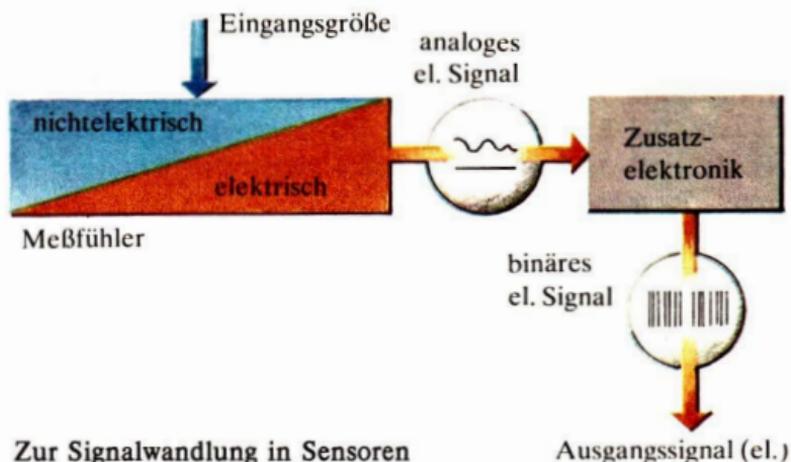
Computer müssen Informationen aus ihrer Umwelt aufnehmen und Informationen an diese zurückgeben können. Das gilt für Taschenrechner ebenso wie für Fahrzeug-Bordrechner oder Steuercomputer von Maschinen und Produktionsanlagen.

Die hierfür nötigen »Sinnesorgane« heißen Sensoren. Ihre Aufgabe ist es, aus Beobachtungs- und Meßwerten elektrische Signale zur Weiterverarbeitung zu gewinnen.

Sensoren sind in der Technik keine Neulinge. Seit Jahrzehnten werden sie eingesetzt. Ihre Liste reicht von der Lichtschranke und dem einfachen Temperaturfühler bis zu Sensoren, die detailreiche Objekte nach Form, Lage oder Farbe erkennen. Die zunehmende Automatisierung von Produktions-, Verkehrs- und Verwaltungsprozessen stimuliert die Sensortechnik besonders.

Jeder der uns interessierenden Sensoren besteht aus zwei Komponenten: einem Meßfühler zur Umsetzung nichtelektrischer in elektrische Größen und einer Zusatzelektronik für die Signalaufbereitung bzw. -verarbeitung. Dabei hat sich eine Einteilung in »berührungsfreie« und in »taktile« Sensoren ergeben. Bei diesen besteht Berührungskontakt zwischen Meßfühler und Objekt; bei jenen berühren sich Meßfühler und Objekt nicht.

Die Zahl der für Meßfühler nutzbaren physikalischen Effekte ist groß. Selbst ihre bloße Aufzählung würde hier



zu weit führen. Wir beschränken uns auf wenige charakteristische Beispiele.

Für Temperaturfühler wird vor allem die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von Leitern und Halbleitern herangezogen. Neben Fühlern aus Leitermaterial großer Temperaturabhängigkeit haben sich Heiß- und Kaltleiter bewährt. Auch Thermolemente werden angewendet.

Kapazitive Sensoren sind geeignet geformte Kondensatoren, deren Plattenabstand oder Dielektrikum durch den zu erfassenden Prozeß verändert wird. Das hat eine meßbare Kapazitätsänderung zur Folge. Läuft beispielsweise eine Folien- oder Papierbahn als Dielektrikum zwischen Kondensatorplatten hindurch, ändert sich die Kapazität des Fühlerkondensators bei Feuchte- und Dickschwankungen oder einem Materialriß.

Magnetisches Feld und elektromagnetische Induktion bilden die Basis zahlreicher Meßfühler. Die Induktivität einer Spule oder Leiterschleife ändert sich, wenn ferromagnetisches Material seinen Abstand zu Spule oder Schleife verändert; die Schwingungen eines Oszillators werden gedämpft oder erfahren eine Frequenzverschiebung, wenn sich dem Schwingkreis Metalle nähern; magnetische Stoffe rufen, gegenüber Spulen oder Leiterschleifen bewegt, in diesen Spannungen hervor.

Als taktile Sensoren dienen Dehnungsmeßstreifen (Wi-

derstandsänderung eines Leiters durch Dehnung), piezoelektrische Sensoren (Auftreten einer elektrischen Spannung zwischen Flächen bestimmter Materialien, z. B. Quarz, bei Krafteinwirkung), Fühlstifte und -rollen, leitende Folien, deren Widerstand sich örtlich bei Druckeinwirkungen verändert usf.

Als besonders wichtig haben sich optische Sensoren erwiesen. Ihr Anwendungsbereich erstreckt sich unter anderem auf das Erfassen von linearen und Drehbewegungen, Winkelstellungen, begrenzenden Linien oder Kanten, auf Strömungs-, Durchfluß- oder Trübungssensoren, Rauch- und Flammenmelder, das Anzeigen von Flüssigkeits- oder Schüttgutständen. Zur Umwandlung von Lichtänderungen in elektrische Signale stehen Fotoelemente, Fotowiderstände, Fotodioden und -transistoren, Fotothyristoren und -vervielfacher zur Verfügung.

Industrieroboter der zweiten und dritten Generation (siehe S. 80) entwickeln sich zunehmend zu »fühlenden« und »sehenden« Robotern. Sie benötigen in vielen Fällen Bildsensoren, die – stellvertretend für das menschliche Auge – Formen, Positionen, Farben erkennen können und es dem Industrieroboter gegebenenfalls ermöglichen, sich zu orientieren.

Das können einfache optische Sensoren nicht leisten. An ihre Stelle müssen Bildsensoren treten, deren Signale von einem Mikrorechner ausgewertet werden und mit diesem zusammen ein Bilderkennungssystem bilden.

»Augen« des Systems können Fernsehkameras sein; doch gilt das Interesse vor allem der Entwicklung kleiner, robuster Bildsensoren auf der Grundlage mikroelektronischer Technologien.

So existieren zum Erfassen von Längen, Bewegungen oder Geschwindigkeiten zeilenartige Strukturen aus lichtempfindlichen Elementen (maximal bis zu einigen Tausenden je Zeile). Zum Erkennen zweidimensionaler Formen oder Objekte werden winzige fotoelektrische Aufnahmeelemente in Gestalt einer Matrix in Halbleitermaterial integriert und zeilen- und spaltenweise abgetastet (eine Lösung, die auch für »mikroelektronische« Fernsehkameras als aussichtsreich gilt). Auf Chips von etwa 50 mm² Fläche brachte man bereits etwa eine halbe

Million lichtempfindlicher Elemente unter. Das entspricht der Bildpunktzahl eines Fernsehbildes.

Der Computer gibt Steuersignale aus. Zur Betätigung der zu steuernden Organe, seien es nun Motoren, Ventile, Greif- und andere Werkzeuge, ist Leistung erforderlich. Hier ergibt sich eine Schnittstelle zwischen Informations- und Energieübertragung, die anfänglich Schwierigkeiten bereitete. Durch die sogenannte Leistungselektronik können sie abgebaut werden. Transistoren für immer größere Leistungen werden produziert. Der Thyristor, ebenfalls ein Halbleiterbauelement, steuert Ströme von Tausenden Ampere und benötigt dazu eine äußerst geringe Steuerleistung. Sie wird von integrierten Wandler- und Verstärkerschaltkreisen beherrscht.

Maschinen – Computer – Roboter

Der Gedanke, Maschinen wesentliche oder sämtliche Arbeitsgänge selbsttätig und in gleichbleibender Qualität verrichten zu lassen, ist nicht neu. Schon vor fast 200 Jahren tasteten Fühlhebel Lochkarten ab und steuerten Webmaschinen für unterschiedliche und wiederholbare Muster.

Fließfertigung und Transferstraßen aus der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts fanden, parallellaufend mit der Entwicklung von Steuer- und Regeltechnik, eine Weiterführung in automatischen Fließreihen. Sie produzierten hohe Stückzahlen; menschlicher Eingriff beschränkte sich im wesentlichen auf Kontroll- und Wartungsfunktionen.

Bei allen Vorzügen hatte diese Automatisierungsweise einen Nachteil, der immer stärker ins Gewicht fiel: Die Produktion war auf *ein* »Programm« fixiert, auf die Herstellung im wesentlichen eines einzigen Erzeugnisses. Produktionsänderungen oder -umstellungen waren nur schwer möglich und in jedem Falle mit großen Zeit- und Produktionsverlusten behaftet.

Vor allem in der metallverarbeitenden Industrie überwiegt aber die Produktion kleiner oder mittlerer Serien. Änderungen, Spezialisierungen, Berücksichtigung techni-

scher Fortschritte oder auch von Kundenwünschen müssen nicht nur möglich, sondern rasch zu realisieren sein. Daraus leitet sich die immer wieder betonte Forderung ab, neben Einzweckautomatisierung für Großserien eine flexible Automatisierung für geringere Stückzahlen und häufig wechselnde Erzeugnisse zu schaffen.

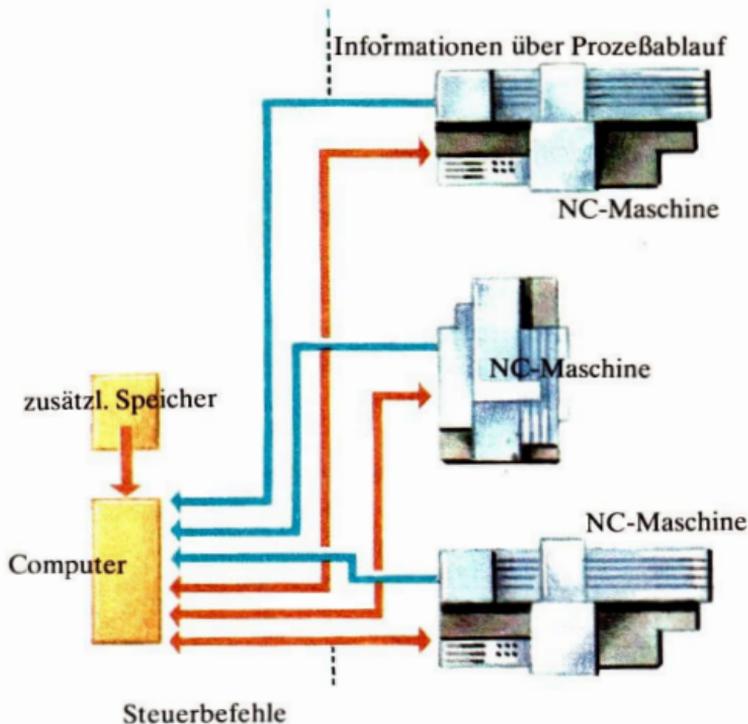
Ein Schritt auf diesem Wege sind, seit Ende der fünfziger Jahre, numerisch gesteuerte Maschinen (abgekürzt NC-Maschinen, von Numeric Control). Sie werden über Lochbänder programmiert, aber auch über Programmwalzen, in die Kontaktstifte oder -kugeln zum Schalten der Arbeitsschritte eingesetzt sind. Verbreitet sind auch Matrixschaltungen, an deren Leiterkreuzungen, dem Programm entsprechend, als Schalter wirkende Dioden eingelötet werden.

NC-Maschinen mit einer solchen »festen« Verdrahtung können nur verhältnismäßig einfache Bearbeitungsabläufe und Kombinationen daraus durchführen. Ein Programmwechsel erfordert die Herstellung eines neuen Lochbandes, Umstecken oder Auswechseln der Programmwalze bzw. der Leiterplatte mit der Matrixschaltung. Für kleine und oft wechselnde Produktserien erwies sich diese Art der Maschinensteuerung als noch nicht befriedigend.

Eine bedeutende Flexibilitätssteigerung wurde durch die Mikroelektronik ermöglicht: Man koppelte Maschine und Computer und ging von der NC- zur CNC-Maschine (abgekürzt von Computerized NC-Maschine) über. Der Bestand an numerisch gesteuerten Maschinen, deren Einsatz zunächst verhältnismäßig zögernd erfolgt war, verviunffachte sich in Industrieländern innerhalb von knapp 5 Jahren.

Bei sogenannter Rechnerdirektsteuerung sind mehrere Maschinen mit einem größeren Computer zusammengeschaltet. Seinem Speicher wird das spezifische Programm für jede mit dem Rechner gekoppelte Maschine entnommen.

Empfängt der Rechner fortlaufend Informationen über Arbeitszustand und Prozeßablauf jeder Maschine, kann er eine Kooperation organisieren, Überlastung oder ungenügende Auslastung einzelner Maschinen verhindern



Rechnerdirektsteuerung

und den Materialtransport zu oder zwischen den Maschinen disponieren.

Die Einführung der Mikroprozessoren und der Mikrorechentechnik gestattete es, einen Schritt weiter zu gehen und einzelne Maschinen mit Mikrocomputern auszurüsten. Ein Programmwechsel wird dadurch erheblich vereinfacht und beschleunigt. Es genügt, ein neues Programm einzugeben. Die Umrüstzeiten sinken auf einen Bruchteil selbst derjenigen von NC-Maschinen.

Durch ihre »freie« Programmierbarkeit kommt die CNC-Maschine der Forderung entgegen, Vorzüge der Automatisierung mit hoher Flexibilität zu verbinden. Darüber hinaus kann der Rechner, sofern ihm von Sensoren ausreichende Daten über Arbeitsweise der Maschine, Werkzeug- und Werkstückpositionen usw. zugeleitet werden, selbst Signale- und Korrekturfunktionen ableiten.

Das alles hat dazu beigetragen, CNC-Maschinen nicht

nur im »großen« Maschinenbau für spanabhebende und umformende Prozesse, für Brennschneide- und Lötarbeiten, sondern zunehmend auch zur Steuerung kleinerer Werkzeugmaschinen einzusetzen, kommt es doch gerade bei diesen meist besonders auf Anpaßfähigkeit und Flexibilität an.

320 Industrieroboter arbeiteten 1980 in der DDR; gegenwärtig sind es über 50 000. Bedarf es einer weiteren Veranschaulichung ihrer Bedeutung?

Die sozialistische Gesellschaft widmet der Technik und dem Einsatz von Industrierobotern besonders hohe Aufmerksamkeit; denn

- sie nehmen uns schwere, gesundheitsschädigende oder monotone Arbeiten ab und fesseln uns nicht an den Arbeitstakt einer Maschinenanordnung;
- sie setzen Arbeitskräfte für qualifiziertere Tätigkeiten frei;
- sie erbringen eine hohe Steigerung der Arbeitsproduktivität;
- sie sichern gleichbleibende, hohe Erzeugnisqualität und können Energie sowie Rohstoffe sparen helfen.

Mit dem menschenähnlichen Roboter utopischer Erzählungen haben sie so gut wie nichts gemein. Sie sind (bei aller Vielseitigkeit) streng zweckgerichtet konstruiert. Das drückt sich auch in ihrer äußeren Gestaltung aus.

Gegenwärtige Anwendungen der Industrieroboter – die Zahl wächst – lassen sich in eine von drei Gruppen einordnen:

Die größte ist diejenige, in der Industrieroboter Hilfsarbeiten, vorwiegend Transport- und Bestückungsaufgaben, übernehmen. Sie beschicken Werkzeugmaschinen und Industrieöfen, befördern heiße Teile, entnehmen bearbeitete Rohlinge aus Preß- und Gußwerkzeugen, legen Materialien und Produkte nach vorgegebenen Kriterien ab. Sie ordnen, sortieren, stapeln.

Industrieroboter für technologische Prozesse schweißen, löten, schneiden, entgraten, schleifen, polieren, übernehmen Farbspritzen, Sandstrahlen und Entfetten, aber auch die Teigzubereitung in Großbäckereien und nähen Teile von Oberbekleidung und anderen Textilien.

Die dritte Gruppe umfaßt Industrieroboter für Monta-

gearbeiten. Sie gilt als besonders zukunftssträchtig. Noch immer müssen die meisten Montagearbeiten von Hand ausgeführt werden – in der metallverarbeitenden Industrie z. B. bis zu 70%. Der Aufwand an Fertigungszeit und Kosten ist dementsprechend. Industrieroboter können ihn um mehr als die Hälfte senken!

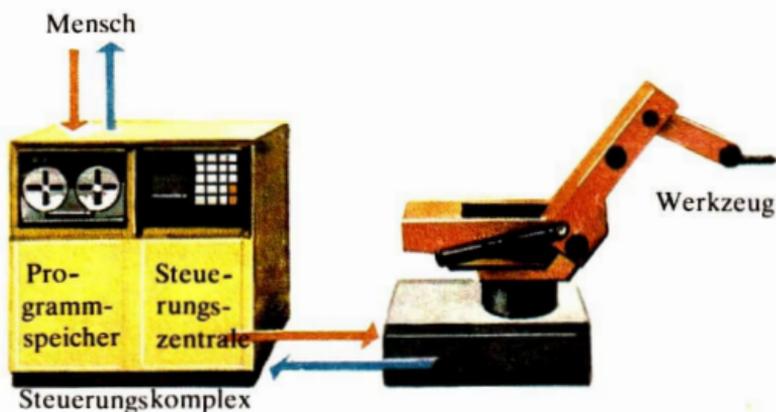
Gegenwärtig z. B. verschrauben und vernieten sie Kleinteile, montieren Baugruppen von Büromaschinen, bestücken Leiterplatten mit Bauelementen, setzen Auto-scheinwerfer zusammen, verschließen Gefäße hermetisch.

Dies alles ist lediglich eine Auswahl dessen, was schon erreicht ist. Bereits wenn diese Zeilen gedruckt sind, wird es weitere Beispiele in Hlle und Flle geben.

Industrieroboter gehen über NC- und CNC-Maschinen hinaus, indem sie nicht nur Bearbeitungsvorgänge im engeren Sinne steuern und durchführen, sondern auch notwendige, zugleich aber eintönige und oftmals physisch stark belastende Handhabungsoperationen wie Materialentnahme, -transport, Ablage, Ausrichten, Verschieben usw.

»Gehirn« eines Industrieroboters ist ein Steuerungskomplex, zusammengesetzt aus der Steuerungszentrale und dem Programmspeicher. Jene steuert die zu vollziehenden Bewegungen, Arbeitsschritte usf., dieser teilt ihr mit, was sie, wie sie es und in welcher Reihenfolge sie es

Grundschema eines Industrieroboters



zu tun hat. Außerdem dient der Steuerungskomplex der Kommunikation mit dem Menschen, der den Industrieroboter in Betrieb setzt und hält, die Programme ausarbeitet und eingibt.

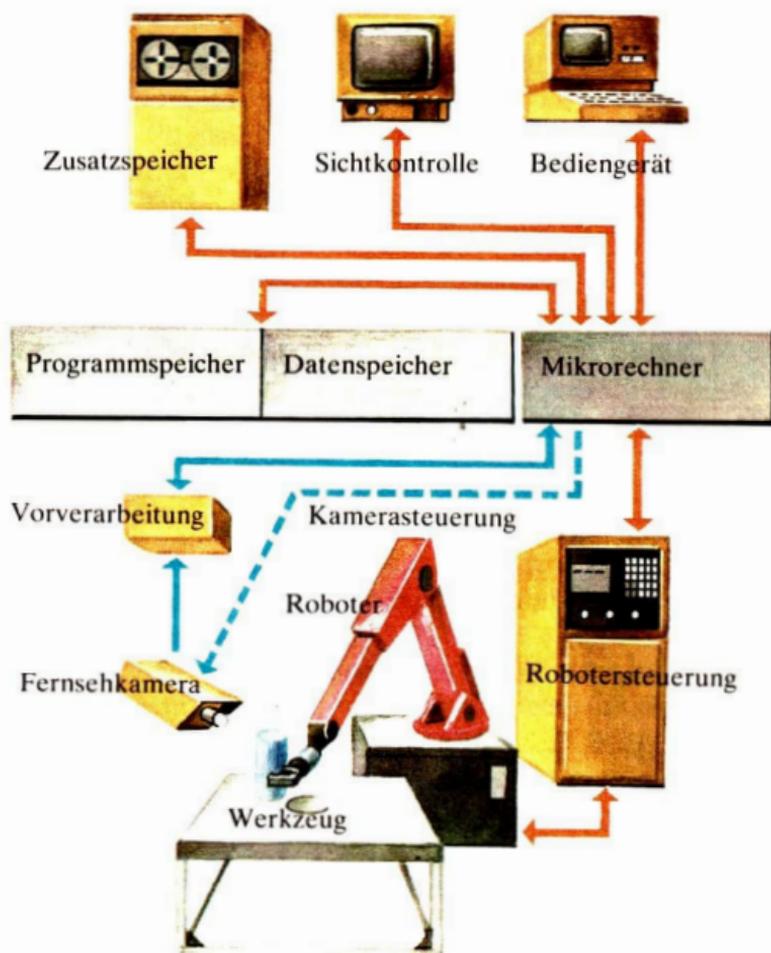
Letztlich ist die Steuerung bestimmend für Flexibilität und Leistungsvermögen der Industrieroboter. Der Anteil des Steuerkomplexes an den Gesamtkosten eines Industrieroboters ist daher beachtlich und kann bei leistungsfähigen Ausführungen 50 % bis 60 % erreichen. Auch hier ist eine steigende Tendenz zu verzeichnen.

Man unterscheidet gegenwärtig drei Generationen von Industrierobotern; allerdings sind die Grenzen nicht in jedem Falle scharf zu ziehen.

Industrieroboter der ersten Generation sind mit relativ einfachen Steuerungen ausgerüstet. Zu ihnen zählen Wegmeß- und Winkelmeßeinrichtungen, Endlagenschalter usw. Sensoren zur Information oder Rückmeldung Objekt-Steuerung, wie wir sie im vorigen Abschnitt vorstellten, fehlen. Die Roboter sind gegenüber ihrer Umwelt gewissermaßen blind, handeln nur ihr Programm ab. Die Werkstücke müssen sich genau an vorgegebenen Positionen befinden. Abweichungen oder Toleranzen werden nicht berücksichtigt. Ein Roboter der ersten Generation würde nicht darauf achten, ob das richtige Werkzeug eingespannt oder ob es abgenutzt ist; er würde eine Farbspritzpistole auch auf völlig verschmutzte Flächen richten, wenn er auf Farbspritzen programmiert wäre.

Auf einen Mikrocomputer können solche Roboter oft noch verzichten. Ihre Steuerung muß nicht einmal elektronisch ausgeführt sein, obwohl auch hier elektronische Mittel und Programmspeicher immer wichtiger werden. Industrieroboter der ersten Generation erweisen ihre Leistungsfähigkeit vor allem bei hohen Stückzahlen. Sie machen einen großen Teil der gegenwärtig eingesetzten Roboter aus und werden auch nicht verschwinden, wenn die nächsten Robotergenerationen sich weiter durchsetzen.

Industrieroboter der zweiten Generation sind »intelligenter« als ihre Vorläufer. Sie nehmen mit taktilen und berührungsfreien (z. B. optischen, bilderkennenden) Sensoren Informationen über Arbeitsablauf, Arbeitsgegenstände, Werkzeugzustand, Abweichungen von Sollwerten



Der »sehende« Roboter

und Störungen auf. Vom Mikrorechner, der für diese Roboter- generation typisch ist, werden die Informationen zum gespeicherten Arbeitsprogramm in Beziehung gesetzt und zu Steuerbefehlen für die Stellorgane verarbeitet. Die Roboter kontrollieren sich gewissermaßen selbst. Sie sind flexibler einsetzbar als Roboter der ersten Generation und können wegen des einfachen Programmwechsels auch bei kleinen Stückzahlen effektiv arbeiten. In allen Industrieländern sind sie im Einsatz.

Wichtiger Entwicklungsschwerpunkt sind Industrieroboter der dritten Generation. Können Roboter der zwei-

ten Generation über ihre Sensoren fühlen, erkennen und daraus Steuer- und Korrekturmaßnahmen ableiten, so lernt die dritte Generation immer besser sehen und sogar hören (vgl. S. 117). Ihre Vertreter können die Umwelt wahrnehmen und sich in ihr teilweise orientieren. Sie unterscheiden bei ihren Handlungen Gegenstände nach Größe, Form, Lage und Farbe.

Dazu ist ein gut ausgebildetes »Gehirn« erforderlich, bestehend aus einem leistungsstarken Mikrorechner mit hinreichend aufnahmefähigen Speichereinrichtungen. Wichtiger Informationslieferant sind leistungsfähige Bilderkennungssysteme. Ihre Signale werden im Rechner ausgewertet und beispielsweise mit Mustern verglichen. Resultat sind wieder Steuerkommandos.

Objekte können nach bestimmten Kriterien sortiert oder aus einem ungeordneten Vorrat ausgewählt werden. Komplizierte Arbeitsabläufe werden vollzogen, wobei sich der Roboter häufig selbst geeignete Werkzeuge sucht. Störungen oder Änderungen der Prozeßparameter werden erkannt und vom Roboter kompensiert. Es ist bei manchen Ausführungen sogar möglich, ihnen bestimmte Anhaltspunkte einzugeben, nach denen sie selbst ein günstiges Handhabungsprogramm »ausprobieren« und dann ausführen.

Der Roboter muß, wie jede Datenverarbeitungsanlage, programmiert werden; er ist, soll er nicht völlig hilflos sein, zu informieren, was er zu machen und wie er in diesem oder jenem Fall zu reagieren hat. Die dazu nötigen Informationen müssen in den Speichern des Roboters griffbereit sein – in einer Form, die vom Mikrorechner verstanden und in Befehle umgesetzt wird.

Wie programmiert man einen Industrieroboter? Die bekannten Verfahren bieten sich an und werden ausgenutzt: Ein Programmierer arbeitet, etwa nach einer technischen Zeichnung oder einer Arbeitsanweisung, das Roboterprogramm in allen Schritten aus. Das ist ein komplizierter und zeitraubender Prozeß. Er erfordert umfangreiche Spezialkenntnisse, obgleich inzwischen speziell auf Industriesteuerungen und -roboter zugeschnittene Programmiersprachen existieren.

Man versucht daher auch hier, den Hauptteil der Pro-

grammierarbeit dem Industrieroboter selbst aufzubürden. Das geschieht mit Hilfe des »Teach-In-Programmiers«. »To teach« bedeutet im Englischen »unterrichten« – und genau darauf beruht die Methode.

Der Einrichter schaltet seinen Roboter auf »lernen« und nimmt ihn gewissermaßen an die Hand. Er führt ihn Schritt für Schritt durch das künftige Arbeitsprogramm. Der Roboter »merkt« es sich und kann es später ohne Hilfe wiederholen.

Zwei Varianten dieser Methode sind vor allem bekannt: Der Einrichter kann den Computer an entscheidenden Stellen des Arbeitsprogramms durch Tastendruck veranlassen, diesen Wert für das Programm zu übernehmen und festzuhalten. Eleganter ist die andere Möglichkeit: Beim »Durchfahren« des Arbeitsablaufs werden alle wichtigen Daten selbsttätig dem Speicher eingeschrieben. Der Computer bildet aus ihnen sein künftiges Arbeitsprogramm.

Einen Programmierer im engeren Sinne braucht man bei Teach-In-Programmierung nicht; allerdings steht auch zunächst kein schriftlich fixiertes Programm zur Verfügung.

Mit Mikroelektronik unterwegs

Ampelanlagen sind ein notwendiges Übel im Straßenverkehr. Fahrzeuge müssen bremsen und wieder anfahren, erhöhter Energiebedarf und vermehrter Abgasausstoß sind die Folgen – ganz abgesehen von Zeitverlusten, die besonders dann stören, wenn die Ampelanlage die eingestellte Schaltfolge auch bei schwachem Verkehrsaufkommen einhält.

Immer öfter geht man von dem starren Schaltprogramm ab und überträgt die Ampelsteuerung Mikrorechnern. Sie erfassen das tatsächliche Verkehrsgeschehen und steuern die Ampeln danach und mit Hilfe des in ihnen gespeicherten Programms. Außerdem können sie weitere Ampelanlagen und eine Verkehrsleitzentrale über den Verkehrsfluß informieren.

Die Fahrzeuge werden durch Sensoren erfaßt. Sie sind

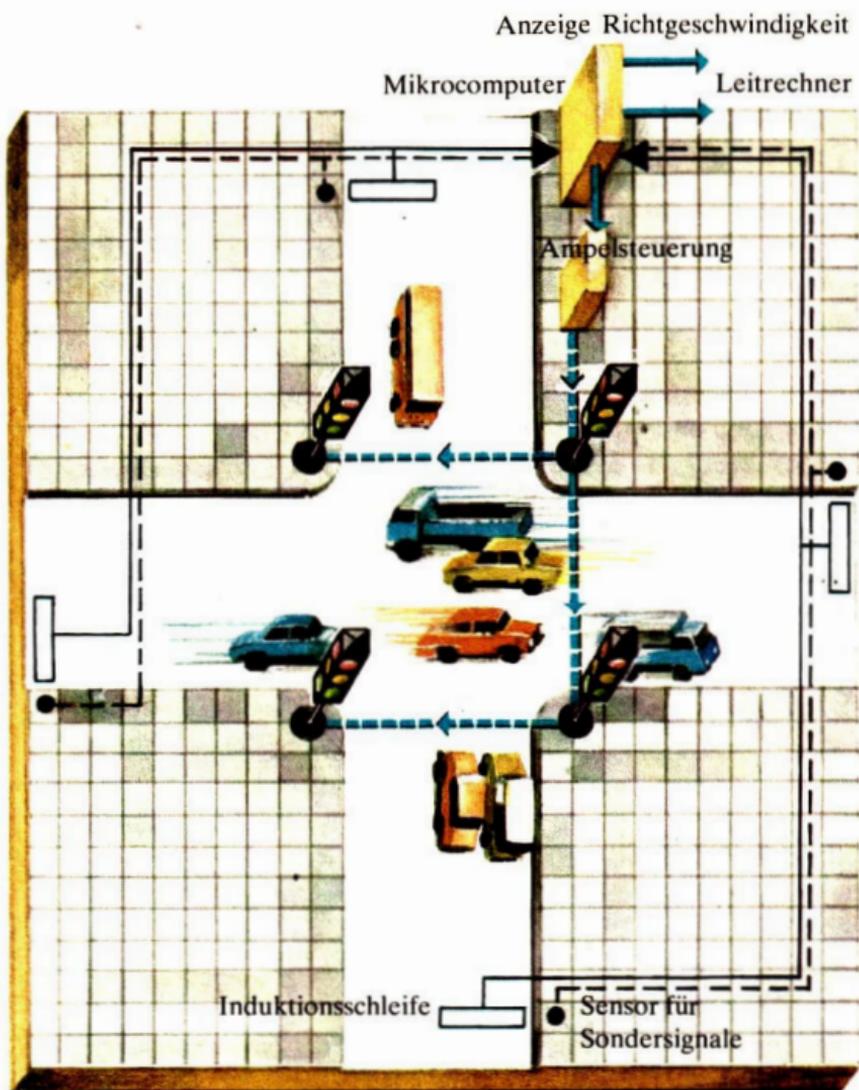
in bestimmten Abständen vor der Kreuzung z. B. als Induktionsschleifen unter den Fahrspuren eingelassen. Jedes Fahrzeug ruft beim Überfahren einer Induktionsschleife einen Spannungsimpuls hervor. Anzahl und zeitlicher Abstand der Impulse sind Eingangssignale für den Computer. Er verknüpft die von den Sensoren kommenden und kodierten Signale so, daß die Ampeln möglichst günstig geschaltet werden: Die Länge der Rot- und Grünphasen wird verkehrsabhängig bemessen. Richtgeschwindigkeiten, bei deren Einhalten an der nächsten Ampel »grün« zu erwarten ist, werden berechnet und optisch angezeigt.

Damit sind die Möglichkeiten nicht erschöpft. Man kann das Rechnerprogramm beispielsweise so auslegen, daß Straßenbahnen Vorrang genießen (als Sensor genügt ein Schienenkontakt); Sonderdienste wie Polizei- oder Krankentransportfahrzeuge können mit speziellen Signalgebern, etwa im Infrarot- oder Mikrowellenbereich arbeitend, versehen werden. Die Signale werden vor den Kreuzungen empfangen und schalten auf freie Durchfahrt. Durch druckempfindliche Sensoren wiederum können Schwerlasttransporte angekündigt und berücksichtigt werden. Verbindet man die Rechner miteinander oder mit einem übergeordneten Verkehrscomputer, wird es möglich, die Ampelanlagen ganzer Städte optimal zu steuern.

Selbst wenn wir von dem geringeren Abgasausstoß und den kürzeren Wartezeiten absehen, sind die Vorteile erheblich. Allein durch den Rechner einer Dresdner Straßenkreuzung werden im Jahr 15 000 kWh (Straßenbahn) und einige Tonnen Kraftstoff eingespart. »Nebenbei« aber stellen die den Verkehr fortlaufend beobachtenden und registrierenden Mikrorechner Städte- und Verkehrsplanern wertvolle Unterlagen zur Verfügung.

Ein weites Feld für den Einsatz mikroelektronischer Einrichtungen bietet sich im Schienenverkehr. Es erstreckt sich von Signal- und Sicherheitseinrichtungen bis zu völlig computergesteuerten Fernstrecken (z. B. in Japan) und bis zu Nahverkehrsnetzen mit dichter Zugfolge.

Im Rangierbetrieb zahlreicher Güterbahnhöfe beschleunigen Mikrocomputer den Wagenumlauf und vermeiden Beschädigungen der Ladungen beim Rangieren.



Ampelsteuerung durch Mikrorechner

Sensoren messen Geschwindigkeit und Masse abgedrückter und abrollender Wagen und steuern danach Bremsenrichtungen an den Gleisen so, daß die Waggons ihr Laufziel exakt und ohne überhöhte Geschwindigkeit erreichen. Das mühsame und nicht ungefährliche Hemmschuhlegen entfällt. Bis 6 000 Waggons werden täglich auf einem österreichischen Rangierbahnhof »elektronisch« verteilt und zu Zügen zusammengestellt.

Bordcomputer unterschiedlicher Aufgabenstellung finden sich heute an Bord aller Arten von Verkehrsmitteln.

Beim Anlaufen großer Schiffsmotoren muß ein aus vielen Einzelschritten zusammengesetztes Anfahrprogramm abgewickelt werden, dessen Parameter überdies Schwankungen unterworfen sind. Mikrocomputer können das Programm selbsttätig und optimal führen, indem sie die von Hunderten Meßstellen eingehenden Signale auswerten und zu Steuerbefehlen verarbeiten. Auch bei normalem und bei »wachfreiem« Fahrbetrieb bleiben sie tätig, geben Alarm bei unzulässigen Abweichungen von den Sollwerten und drucken ein Maschinentagebuch mit allen notwendigen Angaben aus.

Einfachere Bordcomputer, häufig sogar im Taschenrechnerformat, optimieren Steig-, Sink- und Horizontalflug von Luftfahrzeugen und bewirken damit eine deutliche Kraftstoffersparnis. Auch bei Interflug-Maschinen sind sie im Einsatz.

Daß an Bord von Wasser- und Luftfahrzeugen weitere Computer helfen, beispielsweise mit den Navigationssystemen zusammenarbeiten, die Position anzeigen oder fortlaufend mit Zeitmarken in Karten übertragen, die zurückgelegte oder noch zurückzulegende Strecke melden, unter Berücksichtigung von Windrichtung und -stärke, von Strömungen oder abnormalem Wettergeschehen günstige Kurse errechnen und vorschlagen, ist fast schon eine Selbstverständlichkeit.

Nahverkehrsmittel wie S- und U-Bahnen bedienen sich zunehmend ebenfalls der Bordcomputer, um möglichst fahrplangetreu und energiesparend zu sein. Ihrem Speicher werden Daten über Streckenführung, Halte, Steigungen, Langsamfahrbereiche usw. zusammen mit Fahrplanangaben eingeschrieben. Der Computer leitet daraus die jeweils günstigste Fahrweise ab und zeigt sie an. Messungen bei der Berliner S-Bahn ergaben, daß sich durch die mikroelektronischen Helfer bis zu 20% der Elektroenergie einsparen lassen.

Der Ausdruck »Kraftfahrzeugelektronik« ging schon vor längerer Zeit in den technischen Sprachschatz ein; denn schon frühzeitig versuchte man, Vorzüge der Elektronik im Kraftwagen zu nutzen: Drehzahlen, Geschwin-

digkeiten, Tankfüllungen wurden über Sensoren erfaßt, störanfällige Blink- und Intervallschalter mit Hilfe von Dioden und Transistoren »kontaktlos« ausgeführt. Man regelte Lichtmaschinen elektronisch und wagte sich hier und da schon an die Umgehung der kontaktgesteuerten Zündung.

Ging es anfänglich vor allem darum, für diese oder jene Teilfunktion bessere Lösungen zu finden, so ermöglichte die Mikroelektronik weiterreichende Zielsetzungen: Systemlösungen auf der Basis von Mikroprozessoren und Mikrocomputern können die Arbeit des Motors effektiv und sparsam steuern, Sicherheit und Fahrkomfort erhöhen und den Fahrer mit zusätzlichen Informationen versorgen.

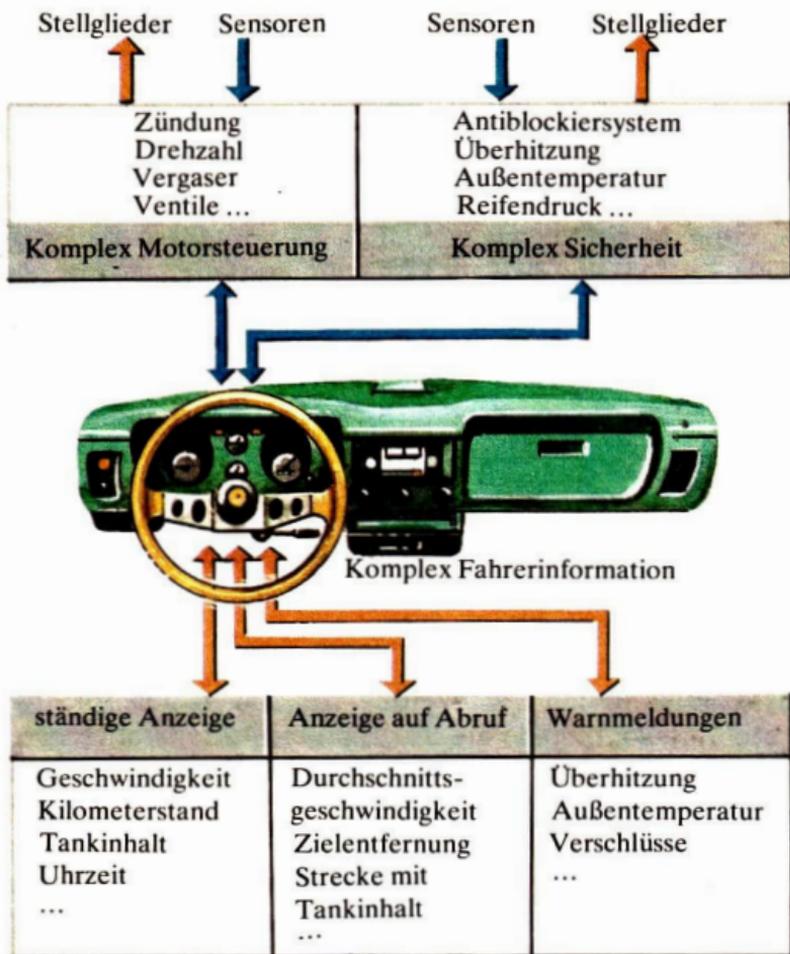
Es hat sich als zweckdienlich erwiesen, dies alles nicht einem einzigen Bordcomputer zu übertragen, sondern eine Aufteilung vorzusehen.

Der Komplex für die Motorsteuerung berücksichtigt Drehzahlen, Temperaturen, Abgaszusammensetzung, Beschleunigung und Verzögerung und steuert den günstigsten Zündzeitpunkt, die zuzuführende Kraftstoffmenge, mitunter sogar das Spiel der Ventile.

Schaltkreise für den Komplex Sicherheit verhindern ein Blockieren der Bremsen, warnen bei zu hoher Motor-temperatur oder bei gefährlich absinkender Außentemperatur. Sogar der Reifendruck wird bei manchen Ausführungen elektronisch überwacht. Es gibt Fahrzeugtypen, die erst nach ordnungsgemäßem Schließen der Türen und Anlegen der Sicherheitsgurte gestartet werden können oder deren Zündung blockiert bleibt, bis eine mehrstellige Kodezahl eingetastet wurde. Ein Probieren mit falschen Ziffern löst spätestens beim dritten Versuch ein lautes Alarmsignal aus. Es ertönt auch, wenn jemand Tür- oder Kofferraumschlösser gewaltsam zu öffnen versucht.

Das Ein- und Ausgabefeld zur Fahrerinformation ist Teil des Armaturenbretts. Hier werden die Informationen analog durch Zeigerinstrumente, digital durch Ziffernfelder oder binär (»ein-aus«) durch Lämpchen angezeigt.

Während manche Produzenten zunächst in Anzeigevielfalt geradezu schwelgten und die Käufer ihrer Erzeug-



»Arbeitsteilung« der Mikroelektronik in Kraftfahrzeugen

nisse sich beinahe in das Cockpit eines Flugzeuges versetzt fühlten, lichtet sich in jüngster Zeit das Dschungel der Anzeigen und Instrumente wieder, um die Aufmerksamkeit des Fahrers nicht unnötig abzulenken.

Ständig ausgewiesen werden Angaben über momentane Geschwindigkeit, Kilometerstand, Tankinhalt und Uhrzeit. Warnmeldungen kommen hinzu und haben Vorrang: Notwendiges Umschalten auf Reservetank, Überhitzung des Motors, gefährliches Absinken der Außentemperatur werden meist mehrfach ausgegeben – optisch durch blinkende Lämpchen, akustisch durch Gong, Dau-

erton und bei manchen Spitzenmodellen in künstlich erzeugter Sprache (vgl. S. 115).

Weitere Informationen kann der Fahrer abrufen. Er erfährt z. B. die Durchschnittsgeschwindigkeit der letzten Kilometer oder Meilen, die Entfernung zum (bei Fahrtbeginn einzutastenden) Zielort, die aus der bisherigen Durchschnittsgeschwindigkeit resultierende wahrscheinliche Ankunftszeit, die mit dem Tankinhalt noch zurücklegbare Strecke und, je nach Herstellerfirma und -land, manches andere.

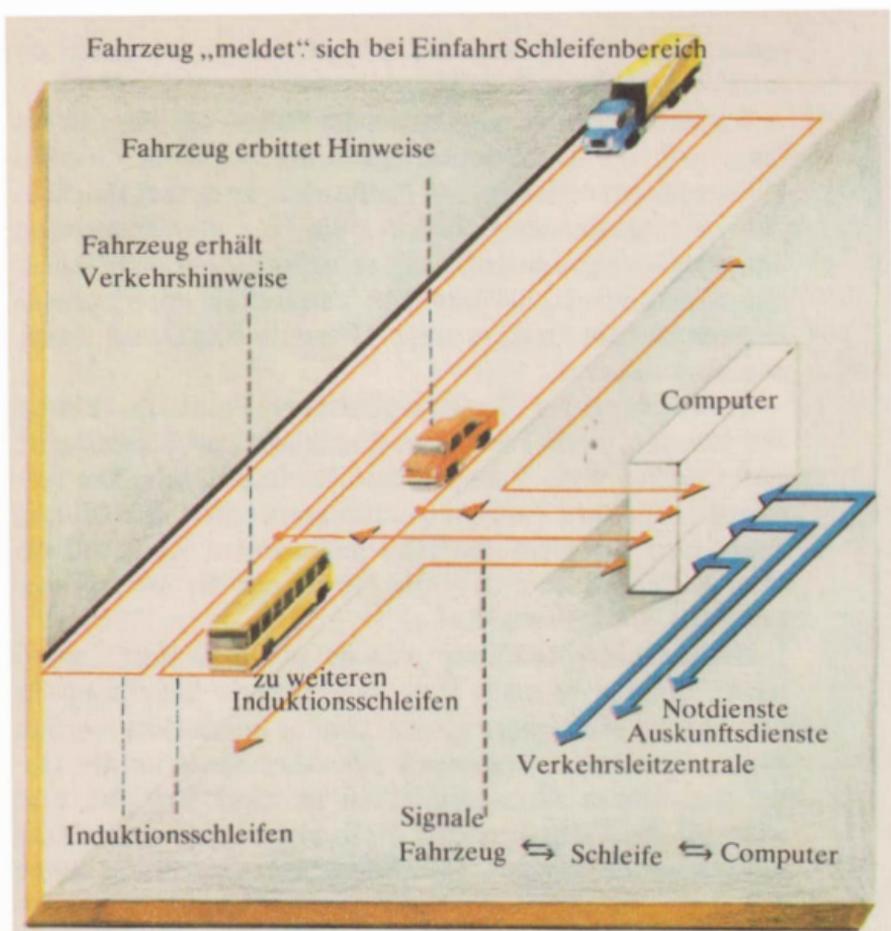
Bordrechner für Taxis registrieren Fahrtstrecke und Wartezeiten, berücksichtigen Zuschläge und Sondertarife und drucken dem Fahrgast eine Rechnung aus. Die Angaben sämtlicher Fahrten werden gespeichert und bilden, zusammen mit dem ebenfalls gemessenen Kraftstoffverbrauch, Wartezeiten usw. die Grundlage für die Abrechnung bei Schichtschluß.

Nicht einmal Radfahrer müssen auf ihren Bordcomputer verzichten. Er stellt sich als erweiterte Uhr/Stoppuhr dar, die in eine Fassung am Lenker geschoben werden kann. Ein Sensor, bestehend aus einer Spule an der Gabel und einem Magnetplättchen an einer Speiche, gibt während der Fahrt Impulse ab. In einer Rechenschaltung werden sie verarbeitet. Der Fahrer kann augenblickliche Geschwindigkeit, Durchschnittsgeschwindigkeit eines zurückliegenden Zeitabschnitts und bisherige Fahrtstrecke abrufen und anzeigen lassen.

Fahrzeugführer überflüssig?

Können Computer an Bord mit Computern »am Wegesrand« so kooperieren, daß der Verkehr automatisch gesteuert und gelenkt, der Fahrzeugführer weitestgehend entlastet oder völlig überflüssig wird?

Vorstufen reichen bis in die »vormikroelektronische Zeit« zurück. Bereits vor Jahrzehnten folgten in manchen Werkhallen unbesetzte Fahrzeuge für innerbetrieblichen Materialtransport auffälligen Leitlinien, stoppten, wenn ein Hindernis diese verdeckte, und hielten an vorgegebenen Stellen, um be- oder entladen zu werden.



Bordcomputer und »Computer am Straßenrand« – eine bereits untersuchte Möglichkeit

Die elektrischen Fahrmotoren wurden über einfache elektrisch/elektronische Schaltungen von optischen Sensoren gesteuert. Sie reagierten auf Licht, das von den Leitlinien reflektiert wurde und dessen Intensität sich bei jeder Abweichung änderte.

Mobile Industrieroboter folgen gleichfalls Leitlinien, um Materialien aus Lägern und Regalen zu entnehmen oder dorthin zu bringen. Roboter der dritten Generation können so leistungsfähig gestaltet werden, daß sie sich auch ohne Leitlinien zurechtfinden, Hindernissen ausweichen und vor ihnen nur anhalten, wenn keine Möglichkeit des Umfahrens besteht.

Auf zahlreichen wichtigen Bahnstrecken ist über Funk jederzeit eine mündliche Verständigung zwischen Stellwerken und Zugpersonal möglich. Für die Übertragung vielfältiger Steuerbefehle und Rückmeldungen in Gestalt von Impulsen bzw. Impulsgruppen erwiesen sich Funkwellen bis heute als zu störanfällig.

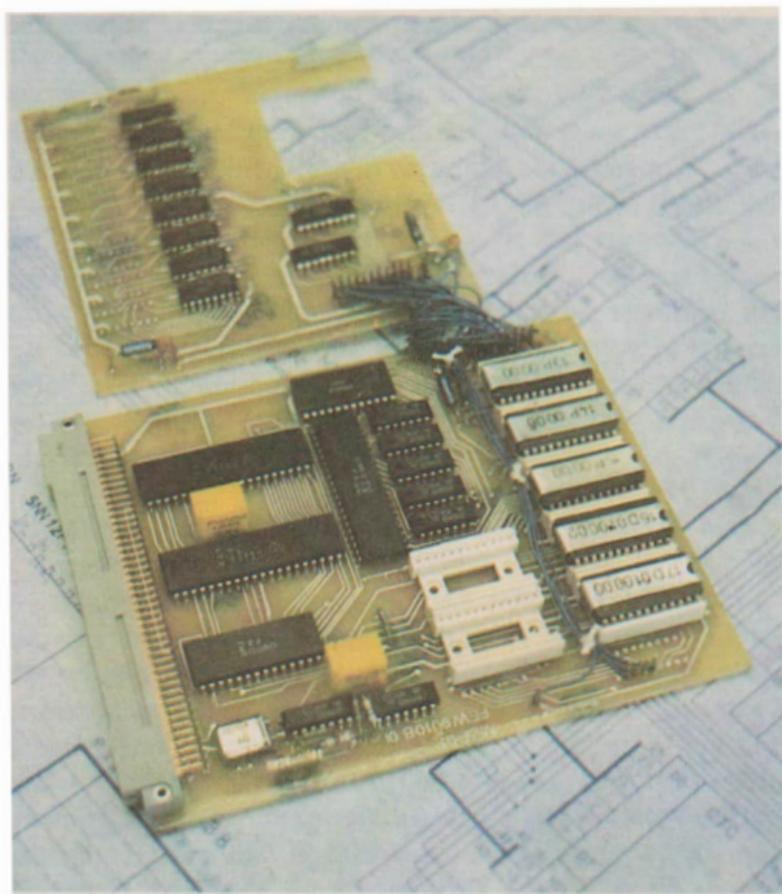
Sicherer ist für diesen Zweck die »linienförmige Zugbeeinflussung«. Zwischen oder neben den Schienen liegt ein isolierter Leiter. Ihm werden vom Rechner im Stellwerk und vom Bordcomputer im Triebfahrzeug alle Befehle, Informationen und Rückmeldungen zugeleitet. Vermittler zwischen Triebfahrzeug und Leiter ist das um diesen bei Stromfluß auftretende elektromagnetische Feld.

Auf diese Weise wäre tatsächlich vollautomatischer Zugbetrieb möglich. Plötzlich auftauchende Hindernisse würden von einer Art Radargerät dem Bordcomputer gemeldet, der eine sofortige Schnellbremsung veranlaßt. Versuche mit unbemannten Triebfahrzeugen gibt es seit Jahren in der Sowjetunion, in Japan, Frankreich und in anderen Staaten. Auch Projekte, städtische Nahverkehrsnetze führerlos zu betreiben, wurden vorgelegt.

Ihre Ausführung dürfte, wie auch die Automatisierung von Fernbahnstrecken, noch einige Zeit auf sich warten lassen. Eine längere Erprobungszeit (etwa im Güterverkehr) müßte vorausgehen. Auch dürfen die sehr erheblichen Einrichtungskosten nicht übersehen werden – und schließlich die Notwendigkeit, sicherlich vorhandene Vorbehalte der künftigen Passagiere durch erfolgreiche Versuchsspannen abzubauen.

Kraftfahrer, die dem Bordcomputer einige Ziffern eintasten und anschließend ein Schläfchen machen, während Leitkabel und Computer sie ungefährdet und auf schnellstem Wege an das ferne Ziel bringen, existieren vorerst nur in utopischen Erzählungen; ob sie je Wirklichkeit werden, sei dahingestellt.

Das besagt aber nicht, daß es nicht Vorschläge und Versuche gäbe, den Verkehr auch auf der Straße mit Hilfe von Mikroelektronik und Computern unkomplizierter und vor allem sicherer zu machen. Fast alle Überlegungen gehen davon aus, daß derartige Hilfsmittel nur



Das Herzstück des Bordrechners für S-Bahn-Strecken aus dem VEB Forschungs- und Entwicklungswerk Blankenburg der Deutschen Reichsbahn ist dieser Baustein. Er gestattet u. a. eine energieoptimierte Fahrweise, wodurch sich eine Energieeinsparung bis zu 20 % ergibt.

schrittweise einzuführen wären, bereits vorhandene Einrichtungen in Fahrzeugen, in Verkehrszentralen usw. erhalten blieben und selbstverständlich auch weiterhin genutzt werden könnten.

Man denkt z. B. an Induktionsschleifen nicht nur vor Ampeln, sondern in periodischen Abständen in Autobahn- und Fernstraßendecken. Der Bordcomputer eines Fahrzeugs, das die Schleife erreicht, gibt an sie selbsttätig ein Meldesignal ab. Daraufhin überspielt die Induktionsschleife dem Bordcomputer blitzschnell in kodierter

Form aktuelle Verkehrsinformationen, z. B. über Stau, Umleitungen oder Sperrungen.

Man denkt auch schon an Erweiterungen. Irgendwo unterwegs, nicht unbedingt über einer Induktionsschleife, gibt der Fahrer seinem Bordcomputer Fragen ein: nach der nächsten Tankstelle oder Werkstatt, einem Motel, einer Raststätte oder der Abfahrt zu einem gegebenen Ort. Auch die beste Fahrtroute zum eingegebenen Ziel kann abgefragt werden. Selbsttätig übermittelt der Bordcomputer die Fragen der nächsten Induktionsschleife. Die Antwort kommt, noch ehe die Schleife »überfahren« ist. Utopie? Die prinzipielle Verwirklichungsmöglichkeit wurde, z. B. in Japan, bereits erwiesen.

Andere Systeme schlagen, vor allem zur Erleichterung des Stadtverkehrs, Infrarotgeber und -empfänger in Fahrzeugen und an Ampelanlagen oder neben der Fahrbahn vor. Über sie könnte der Bordcomputer mit einem zentralen Verkehrsrechner kommunizieren, sich vereinfachte Skizzen der Fahrtstrecke zuleiten lassen, Hinweise erfragen, wann das Fahrzeug von der Hauptstraße abbiegen muß, ob ein bestimmter Parkplatz belegt ist usf. Wo bei solchen Projekten die Grenzen zwischen Möglichkeit, Nützlichkeit, Spielerei und Utopie liegen, ist oft nicht leicht zu entscheiden, zumal diese Grenzen sich immer wieder verschieben.

Schiffe und Flugzeuge werden gegenwärtig mit Computerhilfe weitgehend automatisch, aber nicht führerlos gesteuert und ans Ziel gebracht. Auch dies wäre, wie Raketentechnik und Raumfahrt erweisen, nicht prinzipiell ausgeschlossen. Ob wir uns im Verkehr eines Tages völlig »kleinen Kästchen« anvertrauen können und wollen, bleibt abzuwarten.

Tastatur vor dem Bildschirm

Bildschirmgeräte haben in den vergangenen Jahren unter den Ein-/Ausgabeeinrichtungen für das Arbeiten mit Computern eine Spitzenstellung errungen. Ihre technischen Merkmale, ihre Vielseitigkeit und einfache Bedienbarkeit prädestinieren sie dafür:

- Mit Hilfe einer Tastatur und unter sofortiger Sichtkontrolle können auf einem Bildschirm Texte dargestellt, gespeichert, wieder abgerufen, korrigiert und verändert werden.
- Grafiken, Schaltbilder, Konstruktionen lassen sich auf dem Bildschirm entwerfen und bearbeiten. So kann auf leicht erlernbare Weise ein Dialog mit dem Computer geführt werden.
- Der Papierverbrauch reduziert sich ganz erheblich. Schmierzettel und Rohentwürfe entfallen; lediglich die »Reinschrift« wird, wenn überhaupt nötig, ausgedruckt oder auf ein anderes Speichermedium übertragen.
- Darstellungsmittel ist die technisch ausgereifte Elektronenstrahlröhre der Fernsehtechnik. Die Bilderzeugung läuft nach gleichen Verfahren und meistens auch gleichen Normen wie beim Fernsehen ab.
- Die für die eigentliche Bilddarstellung maßgeblichen Funktionsgruppen können im wesentlichen von der Fernsehtechnik übernommen werden.
- Häufig läßt sich ein handelsüblicher Fernsehempfänger für die Wiedergabe benutzen. Dadurch vereinfacht sich das Bildschirmgerät weiter; denn es muß lediglich ein Videosignal bereitstellen. Dieses wird dem Fernsehempfänger über einen besonderen Anschluß (bei Fernsehgeräten häufig bereits vorgesehen) oder nach Umsetzen auf einen Fernsehkanal über die Antennenbuchse zugeführt.

Die meisten Bildschirmgeräte werden von einem Mikrocomputer gesteuert. Eingabeeinheit ist eine Tastatur, dem erweiterten Tastenfeld einer Schreibmaschine ähnelnd. Sie umfaßt zunächst Tasten zur Zeicheneingabe: für alphanumerische Zeichen, häufig auch für grafische Elemente (z. B. Bogenstücke, Kreise, Geraden zwischen wählbaren Punkten).

Tasten für Bedien- und Steuerfunktionen kommen hinzu: Löschen, erneutes Überschreiben (»Tippfehler«) von Textstellen oder -abschnitten, Zeilenfortschaltung und Verschieben der Darstellung (z. B. Hochrücken bei Annäherung an den unteren Bildrand), Herausheben bestimmter Stellen durch Blinken, Einblenden einer Marke zur Kennzeichnung der jeweiligen Schreibposition, Wahl



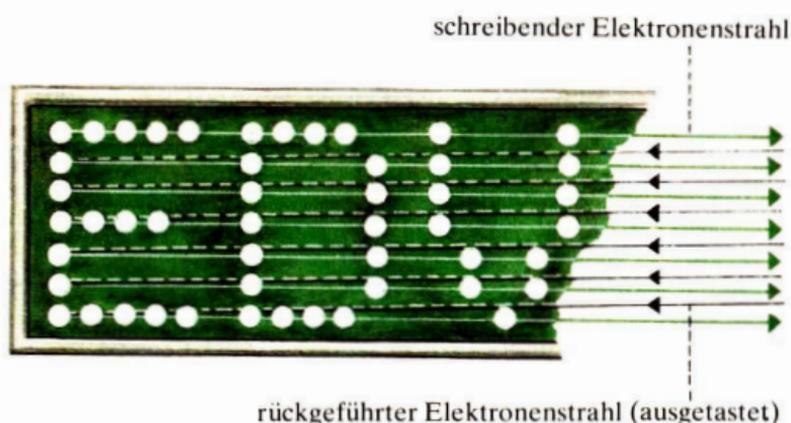
Wichtigste Funktionsgruppen eines Bildschirmgerätes

verschiedener Farben für die Darstellung und für den Bildhintergrund. Außerdem sichert der Mikrocomputer die Verbindung mit weiteren Ein- und Ausgabegeräten, Computern und Zusatzspeichern.

Der Elektronenstrahl der Bildröhre (der Einfachheit halber sei Schwarz/Weiß-Darstellung angenommen) schreibt ein Raster aus mehreren Hundert parallelen Zeilen (der angewandten Fernsehnorm entsprechend) auf den Bildschirm. Das Bild wird mosaikartig aus Bildelementen zusammengesetzt. Sie kommen zustande, indem der Elektronenstrahl während der Zeilendurchläufe in seiner Intensität (und damit der Helligkeit der zugehörigen Bildelemente) gesteuert wird. Damit das Bild sichtbar und möglichst flimmerfrei bleibt, muß es mehrere zehnmal je Sekunde überschrieben und auf diese Weise regeneriert werden.

Die vom Bildschirmgerät darzustellenden Zeichen sind im Zeichengenerator unveränderbar und unlöschar («ROM») gespeichert. Jedem Zeichen ist ein »Bitmuster« zugeordnet. Es entspricht der Anordnung der Bildelemente für die Zeichen auf dem Bildschirm.

Alphanumerische Zeichen werden in vereinfachter, stilisierter Form dargestellt. So lassen sich Buchstaben, Ziffern und einige Sonderzeichen gut und eindeutig lesbar in einem sieben Elemente hohen und fünf Elemente breiten Mosaikfeld ausdrücken. Der zugehörige Zeichenkode ist deshalb für Bildschirmgeräte und andere elektrisch/elektronische Anzeigen international weit verbreitet.



Zur zeilenweisen Entstehung der im Zeichengenerator gespeicherten Zeichen

Für jedes Zeichen sind demnach sieben Zeilen vorzusehen. Weil der Elektronenstrahl aber jeweils nur eine Zeile überstreicht, kann ein Bitmuster nicht als geschlossene Einheit zur Ansteuerung der Bildröhre übertragen werden. Der Zeichengenerator muß vielmehr zuerst und nacheinander sämtliche Bildelemente der ersten Zeile ausgeben, danach die für Bildelemente der zweiten, dritten Zeile usw.

Diese Signale werden der Funktionseinheit zur Videosignalerzeugung zugeführt und von ihr so aufbereitet, daß sie wie Fernsehsignale den Elektronenstrahl der Bildröhre steuern können.

Die darzustellenden Zeichen werden im Bildwiederhol-speicher ausgewählt, kodiert und dem Zeichengenerator übermittelt. Das Auslesen des Bildwiederhol-speichers erfolgt zur Regenerierung des Schirmbildes (s. o.) in peri-odischer Wiederkehr.

Das exakte zeitliche Zusammenspiel aller für die Bild-erzeugung notwendigen Funktionsgruppen steuert der Taktgenerator durch Signale zur Zeichen- und Zeilenaus-wahl und durch Rastersignale für den Bildaufbau. Seine Arbeitsfrequenz hängt eng mit der jeweils verwendeten Fernsehnorm zusammen.

Eine sehr nützliche Ergänzung für Bildschirmgeräte ist der Lichtstift. Er hat etwa das Format eines Kugelschrei-bers und wird über ein flexibles Kabel mit dem Mikro-computer verbunden.

Setzt man den Lichtstift dem Bildschirm auf oder führt man ihn über die Schirmfläche, kann man durch Betäti-gen von Funktionstasten

- an der Aufsetzstelle Marken setzen,
- Zeichen löschen und erneut überschreiben,
- eine dem Lichtstift folgende Leuchtspur erzeugen, das heißt, mit dem Lichtstift schreiben und zeichnen.

Die Spitze des Lichtstifts trägt ein fotoelektrisches Ele-ment. Es gibt einen Impuls ab, wenn die unter ihm lie-gende Bildschirmstelle vom schreibenden Elektronen-strahl überstrichen wird. Koordinaten und Zeitpunkt dieses Zusammentreffens sind durch Fernsehnorm und Taktgenerator bestimmt. Der Mikrocomputer »weiß« da-her, von welcher Elektronenstrahlposition ein ihn errei-chender Lichtstiftimpuls stammt. Durch diese Koordinie-rung kann er Steuerprozesse zur richtigen Zeit und am richtigen Bildschirmort auslösen.

Bildschirmgeräte im Einsatz

Was kann man mit Bildschirmgeräten anfangen? Die Zahl der verwirklichten, gegenwärtig erprobten und der noch ihrer Realisierung harrenden Möglichkeiten ist groß, Folge der vielfältigen Kombinierbarkeit von Bild-schirm- und Zusatzgeräten.



Aus der modernen Volkswirtschaft nicht mehr wegzudenken:
Bildschirmterminal

Briefe, Protokolle, Berichte, Manuskripte entstanden über Jahrhunderte auf recht umständliche Weise, vom Entwurf über das Diktat und Korrekturen bis zur Endfassung mit mehreren Kopien.

Ganz anders läuft das ab, wenn man ein Bildschirmgerät zur Textbearbeitung heranzieht. Der Verfasser tastet seinen Text ein und kann ihn auf dem Bildschirm mitlesen. Hat sich ein Fehler eingeschlichen oder mißfällt ihm eine Passage, wird die betreffende Stelle gelöscht und neu eingegeben – Tastendruck ersetzt den Radiergummi.

bringen. Nachrichtenkanäle können ihn in die Ferne übertragen. Eine Kopie, auf Magnetband oder in einem Folienspeicher abgelegt, bleibt am Ursprungsort.

Führt man diese Methode konsequent durch, rückt das »papierlose« Büro in greifbare Nähe. Ein großer Teil des Schriftverkehrs wird überflüssig. Registratur und Archiv repräsentieren sich nicht mehr als lange Reihen von Ordnern und Karteikarten. Elektronische Speicher bewahren das gesamte Material. Jedes Schriftstück kann sekunden- oder minutenschnell auf dem Bildschirm sichtbar gemacht, schriftlich fixiert oder übertragen werden. Von der konventionellen Bürotechnologie bleibt dabei wenig übrig. Wie nötig aber Veränderungen in diesem Bereich sind, zeigt ein Vergleich: Während sich die Arbeitsproduktivität in der Industrie seit 1900 etwa versechzehnfachte, wuchs sie in »Büros« nur etwa zweieinhalbfach!

Redaktionen haben die Ausbaufähigkeit dieser Methode (»Computersatz«) frühzeitig erkannt. Der zu druckende Text wird von Anfang an über den Bildschirm erarbeitet; seine Anordnung und Aufteilung in Spalten, Schriftgrößen und -arten werden über Funktionstasten eingegeben. So entsteht Seite um Seite, fixiert zunächst in einem Speicher. Sein Inhalt wird von einer elektronisch gesteuerten Setzmaschine übernommen. Folge dieser effektiven Methode ist ein Tätigkeitswandel der Redaktions- und Druckereimitarbeiter, der in westlichen Ländern zwar zu steigendem Profit, vor allem aber zur Entlassung erfahrener Fachleute führte ...

Eine andere Anwendung des Bildschirmgeräts kennen wir von Bahnhöfen. Mechanische Fahrkartendrucker, seit einem Menschenalter in Betrieb, weichen mikrocomputergesteuerten Anlagen.

Auch den nächsten Schritt kennen wir: Automaten, denen wir Reiseziel und alle erforderlichen Angaben eintippen, die den Preis ausrechnen und anzeigen, in Hartgeld entgegennehmen und Fahrschein und Wechselgeld aushändigen.

Zeitaufwand und Schlangen beim Fahrkartenerwerb sind erheblich geschrumpft. Die Zeit für das Ausstellen eines Fahrscheins am Schalter sank um mehr als die Hälfte gegenüber früher.

PC und CAD/CAM

Die Mikroelektronik wartet mit immer neuen Abkürzungen auf. »PC« und »CAD/CAM« begegnen uns in jüngster Zeit beinahe täglich. PC, der Personalcomputer, erweist sich als besonders nützliches Glied der Mikrorechnerfamilie. Mit »Personal« hat sein Name nichts zu tun. Gemeint ist vielmehr ein »persönlicher« Computer, zugeschnitten auf einen bestimmten Arbeitsplatz bzw. Aufgabenbereich. Seine Nutzung, bei der Bildschirmdialog eine wichtige Rolle spielt, ist leicht erlernbar. Er kann vielfältig eingesetzt und erweitert werden, gilt als eine Art »Fahrrad für geistige Arbeit«.

In der Grundkonzeption unterscheidet sich der Personalcomputer nicht von anderen Mikrorechnern. So besteht der bei uns verbreitete PC 1715 aus einer Rechereinheit mit Speicher, einer Tastatur und einer Bildschirmeinheit – Bestandteile, die auch beim leistungsstärkeren A 7100 und allen anderen Personalcomputern vertreten sind.

Personalcomputer können sehr anpassungsfähig ausgelegt werden und ein umfangreiches Programmspektrum abarbeiten. Anschlußstellen für Drucker, Disketten- und Magnetbandspeicher, Zusätze für Textverarbeitung oder zur Kommunikation mit anderen Computern oder Speichern eröffnen ihnen ein weites Anwendungsfeld, dessen Erschließung große Bedeutung beigemessen wird. Es erstreckt sich von ökonomischen und technischen Berechnungen über Verwaltungs- und Organisationsarbeiten bis zur Rationalisierung meßtechnischer, medizinischer und vor allem produktionsvorbereitender und -durchführender Prozesse.

Die Notwendigkeit, gerade solche Prozesse abzukürzen, bei Entwurf und Konstruktion flexibel und schnell auf Änderungen, Verbesserungen und Kundenwünsche selbst bei kleinen Produktionsserien reagieren zu können, stimulierte CAD und, damit verknüpft, CAD/CAM.

Technische Zeichnungen setzen sich aus geometrischen Elementen, aus Geraden, Kreisen, Kurvenstücken usw. zusammen, die nach feststehenden Regeln gewonnen werden. Nach »Regeln« aber kann auch ein entspre-

chend programmierter Computer arbeiten – und darauf beruht CAD (Computer Aided Design), das rechnergestützte Entwerfen.

An die Stelle des Zeichentischs treten Bildschirm, Tastatur und Lichtstift. Die Tätigkeit mit Zeichenkopf, Zirkel, Bleistift und Tuscheschreiber übernimmt ein Elektronenstrahl. Er zieht auf dem Bildschirm Linien zwischen eingegebenen Koordinaten, dreht sie um beliebige Punkte oder Winkel, läßt Kreise wählbaren Halbmessers und Zentrums entstehen. Ellipsen, Sinuslinien und andere Kurven sind auf den Bildschirm zu bringen. Beschriftungen werden einfach eingetastet.

So entsteht aus gespeicherten, »vorgefertigten« Zeichenelementen eine Entwurfsskizze. Sie ist beliebig korrigier- und veränderbar, wird spätestens als Endfassung in einem Speicher abgelegt und, wenn gewünscht, von einem Zeichengerät, dem »Plotter«, zu Papier gebracht, während am Bildschirm schon die nächste Aufgabe bearbeitet werden kann. Zeitreduzierungen auf ein Viertel und weniger gegenüber früher sind an der Tagesordnung, vor allem bei Entwürfen mit sehr vielen, von Hand nicht mehr zu bewältigenden Details, wie sie beispielsweise für LSI-Schaltkreise typisch sind.

Seine volle Überlegenheit gegenüber dem Handentwurf erreicht CAD allerdings erst durch die weitgefächerten Speicher- und Programmierungsmöglichkeiten der Computer. Zeichnungsausschnitte können vergrößert und verkleinert werden, ohne daß der Gesamtentwurf verlorengehe. Man kann Strukturen farblich hervorheben. Elemente, die in gleicher Ausführung für verschiedene Entwürfe gebraucht werden (z. B. kleine Normteile oder Schaltungssymbole) lassen sich speichern, immer wieder abrufen und in die Darstellung einsetzen.

In *einem* Entwurf mehrfach wiederkehrende Details, etwa Treppenstufen oder Zähne eines Rades, werden nur einmal entworfen und dann in beliebiger Wiederholung und Lage zueinander auf den Bildschirm gebracht. Rotationssymmetrische Teile werden nur zur Hälfte dargestellt, vom Computer um die Symmetrieachse gespiegelt und so vervollständigt.

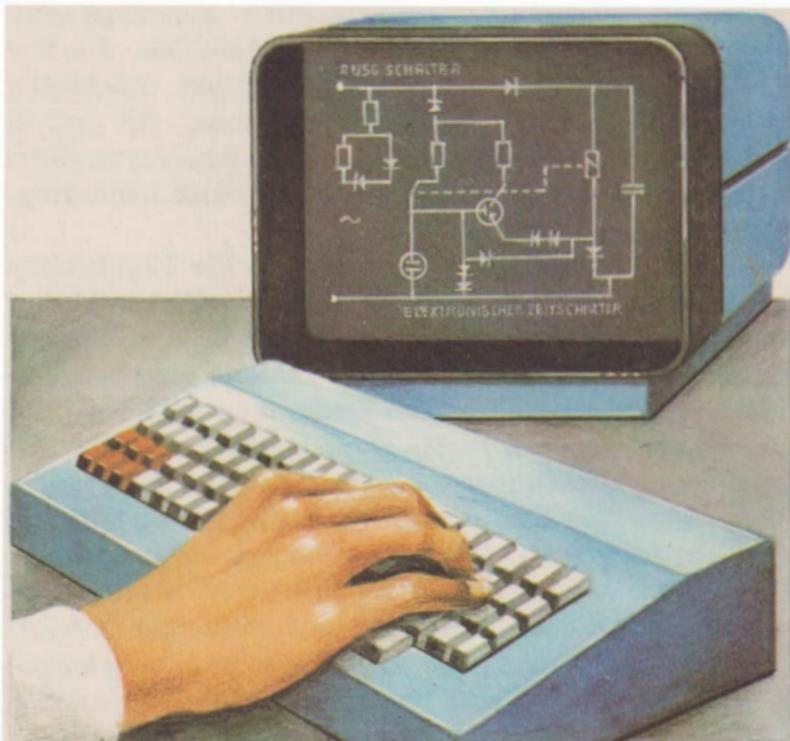
Leistungsstarke Anlagen können zweidimensionale

Risse in räumliche Abbildungen unter beliebiger Perspektive umsetzen. Was das unter anderem für Formgestalter und Architekten bedeutet, bedarf keiner Erläuterung. Bewegungsabläufe sind auf dem Bildschirm modellierbar und darstellbar – eine Methode, die heute auch in Werbe- und Trickfilmstudios gern angewandt wird.

Die CAD-Einheit bestimmt Masse, Schwerpunkt, Trägheitsmomente von Werkstücken und übernimmt damit einst aufwendige Arbeiten. Die für die Effektivität der Volkswirtschaft so wichtigen Überleitungszeiten verkürzen sich beachtlich. International werden beim rechnergestützten Entwerfen Produktivitätssteigerungen um ein Mehrfaches erzielt.

CAM (Computer Aided Manufacturing) bedeutet »Fertigung mit Computerhilfe«. Wie das vor sich gehen kann,

CAD, dargestellt am Beispiel des Entwurfs einer einfachen Schaltung





Mikrorechner-Entwicklungssystem robotron A 5 601

haben wir (vgl. S. 74 ff.) bereits erfahren. Allerdings »verstehen« CNC-Maschinen und Industrieroboter die von CAD als Ergebnis gelieferten Zeichnungen, Stücklisten und Arbeitsanweisungen nicht unmittelbar. Sie erst in ein Programm für CNC-Aggregate oder Roboter zu übersetzen, ist jedoch zeitaufwendig und schließt Fehlermöglichkeiten ein.

CAD/CAM vermeidet diesen Umweg: Ein Textilmuster sei zu entwerfen. Man kann die unterschiedlichen Motive darstellen, speichern und nach Belieben kombinieren. Ohne »Federstrich« lassen sich Varianten erproben, vergleichen und auswählen. Das Endresultat wird nicht nur gespeichert, sondern zugleich zur Herstellung eines Magnet- oder Lochbandes bzw. für eine Diskette genutzt. Diese wird dem Steuercomputer als Programm eingegeben, der danach Strick- oder Webautomaten steuert.

Ähnliche Methoden rechnergestützter Produktionsvorbereitung und -steuerung sind auf zahlreiche Produktionsprozesse übertragbar und erlangen rasch zunehmend Bedeutung. Die Vorzüge überzeugen: Am CAD-Arbeitsplatz wird der Entwurf oder die Konstruktion erarbeitet.

Aus den gewonnenen Konstruktionsdaten werden unmittelbar Programme oder Befehle für Maschinensteuerung, Prozeßführung usw. abgeleitet.

Entwicklungs- und Überleitungszeiten, Materialkosten und Zeitaufwand können entscheidend gesenkt werden. Bis zu 80% der Durchlaufzeit von Erzeugnissen lassen sich auf diese Weise einsparen. Der notwendigen Flexibilität und »Reaktionsfähigkeit« in Produktionsprozeß und -programm kommen CAD/CAM-Lösungen weit entgegen. Tausende CAD/CAM-Arbeitsplätze ersparen bereits Millionen Arbeitsstunden. Ihre Zahl steigt, weitreichenden Plänen folgend, sinnvoll und ständig.

Informationen auf Abruf

Schon Monate vor der Urlaubssaison herrscht bei überregionalen Zeltplatzvermittlungen Hochbetrieb. Trotzdem soll die Bearbeitung ganzer Postsäcke voller Anträge rasch, nach Möglichkeit die Wünsche der Antragsteller erfüllend, erfolgen. Computer leisten dabei die Hauptarbeit.

Sie berücksichtigen gewünschten Zeltplatz und geplante Urlaubszeit, bieten Ausweichlösungen an, beziehen Kinderzahl des Antragstellers und Ferientermine ein. Außerdem stellen sie fest, ob der Campingfreund den erbetenen Platz schon öfter beanspruchte, ihn vielleicht zu einem »Stammpplatz« machen möchte, auf den andere vergebens warten müßten. Nicht einmal bemogeln läßt sich der Rechner. Werden von einem künftigen Zeltplatzurlauber gleichzeitig mehrere Anträge gestellt, wird eine andere Schummelei versucht, merkt es der Computer und weist den Antrag zurück. Ist alles in Ordnung, kommt auf dem Postwege die Zahlkarte.

Mit zunehmendem Reiseverkehr wuchs die Zahl der Platzkartenbestellungen. Eingeführte Verfahren zur Reservierung genügten nicht mehr. Nicht nur, daß es vielerorts nicht möglich war, sofort eine Platzkarte zu erhalten, immer wieder kamen auch Fehler wie Überbesetzungen oder unnütz frei bleibende Plätze vor.

Die Deutsche Reichsbahn automatisiert, wie viele Bahnverwaltungen, schrittweise ihr Reservierungssystem. Sämtliche Züge mit Platzkartenangebot sind im Speicher eines zentralen Rechners festgehalten. Der Rechner ist stets auf dem laufenden, welche Plätze für einen bestimmten Tag verkauft bzw. noch verfügbar sind, und bucht vergebene Plätze sofort ab. Er ist mit »Terminals« (auch Datenend- oder Kundenpunkte genannt), bestehend aus Bildschirmanzeigeeinheit, Tastatur und Drucker, auf den Bahnhöfen verbunden. Von dort werden die Wünsche des Reisenden über die Tastatur und Datenübertragungskanäle dem zentralen Rechner übermittelt. Er prüft das Verkaufsangebot. Nach wenigen Sekunden erscheint die Antwort auf dem Bildschirm des Terminals. Der Reisende kann den vom Drucker ausgefertigten Reservierungsbeleg mitnehmen – könnte seinen Platz aber auch einen Monat vorher bestellen. Datenverbindungen und -autausch mit Reservierungssystemen anderer Staaten und Bahnverwaltungen ermöglichen Platzbuchungen im internationalen Reiseverkehr.

Luftverkehr wäre bei seiner gegenwärtigen und der noch zu erwartenden Dichte ohne Reservierungssysteme kaum zu organisieren und durchzuführen. Mit wenigen Ausnahmen gibt es auf nationalen und internationalen Fluglinien nur reservierte Plätze. Sie müssen rechtzeitig und zuverlässig gebucht werden können. Dabei sind Flugpläne verschiedener Gesellschaften ebenso zu berücksichtigen wie Anschlußverbindungen ohne zu große Wartezeiten und schließlich das verständliche Ziel aller Luftfahrtgesellschaften, ihren Maschinenpark rationell zu nutzen und auszulasten.

Deshalb gehören Reservierungssysteme in der Luftfahrt zum internationalen Standard. Ebenso selbstverständlich ist ihre internationale Zusammenarbeit. Sie sind nach dem für alle Auskunfts- und Informationssysteme gültigen Prinzip aufgebaut: Mit einem oder mehreren leistungsfähigen Computern sind Terminals verbunden. Im Frage- und Antwortspiel zwischen Terminal und Computer werden die geforderten Informationen eingeholt.

Das Buchungssystem RESI (abgek. für Reservierungssystem INTERFLUG) arbeitet unmittelbar mit dem auto-



Platzreservierungsterminal

matisierten Buchungs- und Verkaufssystem der AERO-FLOT zusammen. Die Terminals stehen in Zweigstellen des Reisebüros der DDR, auch im Ausland, ebenso in zahlreichen INTERFLUG-Vertretungen.

Die Flugwünsche des Kunden werden eingetastet und (aus der DDR über Berlin-Schönefeld) dem Zentral-Reservierungsrechner in Moskau mitgeteilt. Dort sind sämtliche Flüge, Anschlüsse usw. für die wichtigsten Fluggesellschaften und die gültige Flugplanperiode gespeichert – das sind Zehntausende Einzelflüge! Der Rechner prüft sofort, ob Plätze für den gewünschten Flug verfügbar sind, reserviert sie oder schlägt andere Möglichkeiten vor. Die Antwort erscheint auf dem Bildschirm des Terminals; sein Drucker stellt das Ticket aus.

Das Moskauer Zentrum ist über eine spezielle Datenübertragungsstrecke mit dem internationalen Flughafen Frankfurt/Main verbunden und dadurch an das internationale Buchungssystem der SITA (abgek. von Société Internationale des Télécommunications Aéronautiques, Int. Gesellschaft für Nachrichtenverbindungen in der Luft-

fahrt) angeschlossen. Dieses betreibt u. a. Zentralen in London, Paris, Tokio, New York, Hong Kong. Damit ergeben sich weltweite Platzbuchungsmöglichkeiten.

Selbstverständlich kommen solche Reservierungssysteme auch dem Frachtverkehr zugute. Sie können die gesamte Buchführung, Abrechnung und Verrechnung zwischen den Gesellschaften übernehmen. Außerdem bilden ihre Daten eine vorzügliche Ausgangsbasis für Verkehrsplanung, Flugplangestaltung und -abstimmung.

Mit Rechnern und Anlagen der ersten Datenverarbeitungs-Generationen wären solche Systeme, zumindest im heutigen Umfang, nicht durchführbar gewesen. Erst die Mikroelektronik ließ sie Wirklichkeit werden.

Das System Computer – Datenübertragung – Terminals hat inzwischen eine Fülle von Anwendungen gefunden. Die Hilfsmittel zur Datenübertragung reichen dabei von Mitnutzung einfacher Fernsprech- und Fernschreibleitungen über Spezialkabel und Richtfunkstrecken bis zu Nachrichtensatelliten.

Beim Gütertransport und -umschlag kann über örtlich getrennte Terminals ein Computer konsultiert werden, ob, wann und welche Güter auf Schiene, Straße oder Wasserweg transportiert werden sollen, welche Maße und welche Masse sie haben dürfen. Verladepläne können optimiert, Transportwege zu Lieferanten und Abnehmern verkürzt, Leerfahrten reduziert und sogar Frachtpapiere und Rechnungen ausgestellt werden.

Durch ein ähnliches System wurden in den volkseigenen Leunawerken »Walter Ulbricht« die Beladezeiten je Kesselwagen auf im Mittel 6 Minuten gesenkt. 17 Arbeitskräfte konnten eine andere Tätigkeit übernehmen.

Computerterminals in Rohstoff- und Materiallagern, bei Dispatchern, Technologen und Konstrukteuren ersparen eine erhebliche Zahl von Telefonaten samt der dafür nötigen Zeit. Der Dialog über die Tastatur des Terminals genügt zur Feststellung, ob das angeforderte Material und in welcher Menge es bereitsteht, wodurch es ersetzbar wäre, wann mit Nachlieferung zu rechnen ist. Das Resultat wird gespeichert und ausgedruckt. Stöße von Bestell- und Materialscheinen, Empfangsbestätigungen usw. fallen weg.

Sind die Kassen in Kaufhallen und Warenhäusern zugleich (vereinfachte) Terminals eines Computers, sind der Stand der einzelnen Kasse und der Gesamtumsatz jederzeit bekannt. Tippt man an der Kasse zum Preis eine warespezifische Kodezahl ein, wird das Schild »Wegen Inventur geschlossen« nahezu überflüssig. Lager- und Regalbestand jedes Warenpostens sind stets bekannt. Der Rechner kann signalisieren, wenn der Bestand einer Ware unter einen kritischen Wert sinkt, er könnte sie sogar selbsttätig nachbestellen.

Versuche mit *Kodezahlen* an Kassen wurden inzwischen fast überall wieder aufgegeben. Die Kassiererin mußte zu viele Zahlen im Kopf behalten oder nachschlagen; beides führte zu häufigen und folgenreichen Fehlern. Man setzt deshalb zunehmend Kassenterminals ein, die Waren selbst erkennen (s. u.).

In Verwaltungen, im Bankwesen und an vielen anderen Stellen haben wir uns längst an die elektronische Datenverarbeitung gewöhnt. Die Mikroelektronik erweiterte die Möglichkeiten. Zunehmend werden Bank- und Postschalter mit Bildschirm-Terminals ausgerüstet. Über sie kann man Ein- und Auszahlungen, Währungsumtausch usw. beschleunigen, optisch verfolgen und sich jederzeit einen auf dem jüngsten Stand befindlichen Kontoauszug ansehen.

Banken bieten zunehmend die Dienste von Auszahlungsautomaten an. Kunden stecken ein kodiertes Kärtchen in den Automaten Schlitz am Bankgebäude, auf Bahnhöfen, Flughäfen usw., tasten eine persönliche Kennzahl und Kontonummer sowie den gewünschten Betrag ein. Der Automat fragt den Bankcomputer nach Kennzahlübereinstimmung und Kontostand ab, subtrahiert den geforderten Betrag durch Umkodieren des Kundenkärtchens und des Kontos und zahlt aus.

Ähnliches wird auf etwas einfachere Weise mit Münzfernsprechern erprobt. Man kauft ein Kärtchen mit 100 oder 200 Gebühreneinheiten, steckt es in den Schlitz eines Fernsprechautomaten, wählt und spricht, ohne nach Münzen suchen zu müssen. Der Mikrocomputer im Automaten berechnet das Gespräch nach Dauer und Entfernungszone und löscht entsprechend viele Gebührenein-



Bildschirmterminals in einem Fernmeldeamt für internationalen Fernsprechverkehr in der UdSSR

heiten auf dem Kärtchen. Nähert sich der Vorrat dem Ende, wird der Kunde während des nächsten Gesprächs durch ein akustisches Signal darauf hingewiesen.

Auskunftsdienste vieler Postverwaltungen müssen Rufnummern nicht mehr in dicken »Wälzern« suchen. Alle Rufnummern einer Stadt oder eines Gebietes sind in Speichereinrichtungen von Computern eingeschrieben und werden fortlaufend auf dem neuesten Stand gehalten. Eintippen des Namens und der Anschrift (Postleitzahl!) lassen die gesuchte Rufnummer sofort auf dem Bildschirm der Fernmeldeauskunft erscheinen. Durch Verbindungen der Computer untereinander können auch Rufnummern der entferntesten Fernsprechteilnehmer unverzüglich ermittelt werden.

In Frankreich möchte man »papierfressende« und dabei stets korrekturbedürftige Fernsprechbücher überhaupt



Terminal mit Infrarotübertragung – Hilfe bei der mobilen Datenübertragung in Betrieben

wegfallen lassen. Jeder Teilnehmer soll ein kleines Terminal erhalten, bestehend aus Tastatur und Anzeigefeld. Die Anfrage wird eingetastet, die gesuchte Rufnummer erscheint im Anzeigefeld.

Ein Handterminal mit Infrarotsender kann über Sensoren an der Decke von jeder Stelle einer Werkhalle aus Daten übertragen.

Fahrplanauskünfte erhält der Reisende zunehmend, indem er einem Computer Zielort und gewünschte Fahrzeitspanne (z. B. »nachts«, »vormittags«) eintastet. Unverzüglich druckt der Auskunftautomat alle günstigen Verbindungen samt Umsteigezeiten usw. aus.

Touristeninformationen können, z. B. in unserer Hauptstadt, im »Dialog mit dem Bildschirm« eingeholt werden – über Verkehrsverbindungen, Hotels, Museen und vieles andere.

Mikroelektronik morgen: Aufgaben und Wege

Erkennen – lesen – sehen

Bei Kassenterminals bereitete die »Fehlerquelle« Mensch anfänglich Schwierigkeiten. Sie ist nie völlig auszuschließen, wo Informationen eingetastet, zunächst zu Papier gebracht oder auf andere Weise für elektronische Verarbeitung vorbereitet werden. Außerdem beanspruchen manuelle Schritte relativ viel Zeit. Großes Bemühen gilt daher Systemen, die menschlich bedingte Fehlerquellen weitestgehend ausschalten und für den Computer wichtige Eingangsdaten selbst erkennen und erfassen.

Für abgepackte Waren und andere Produkte löst man diese Aufgabe mit Hilfe optischer Sensoren und sogenannter Strichcodes. Jedes zu erfassende Objekt ist (meistens auf der Verpackung) nach Warenart und häufig auch mit dem Preis durch ein Feld paralleler Striche bzw. Balken gekennzeichnet. Ein optischer Sensor, der Strichcodeleser, tastet das Muster ab und bildet daraus elektrische Signale.

Handgeführte Lesestifte ähneln äußerlich einem Lichtstift. Sie werden auf der abzutastenden Fläche quer über das Strichmuster geführt. Ihre Abtastspitze trägt eine winzige Linse und eine Leuchtdiode, die Licht auf den Strichcode wirft. Ein Fototransistor wandelt das reflektierte und in seiner Helligkeit kodeabhängig schwankende Licht in Strom- bzw. Spannungsänderungen um. Sie müssen vor der weiteren Verarbeitung in computergerichte Signale umgesetzt werden. Die dazu erforderlichen Schaltkreise sind häufig im Lesestift mit untergebracht.

An Kassenterminals gleitet die Ware meistens unter einer fest installierten Abtastvorrichtung, dem Strichkode-Scanner, vorbei. Der Strahl eines leistungsschwachen Lasers wird durch rotierende Spiegel ununterbrochen und schnell so über die Warenoberfläche geschwenkt, daß der abtastende Lichtpunkt den Strichkode mit Sicherheit auch dann erfaßt, wenn das Objekt »verdreht« liegt oder die Entfernung Oberfläche-Abtastkopf wechselt (z. B. bei unterschiedlichen Verpackungsgrößen). Die Verarbeitung des reflektierten Lichts geschieht wie beim Lesestift.

Strichkodierung wird nicht nur im Handel angewendet. Auch Post- und Warensortier- und -verteilanlagen benutzen sie. Mitunter werden Bücher, Zeitschriftenhefte und -beiträge zusätzlich durch Strichkodes markiert, um sie leichter archivieren zu können. Man überprüft mit Strichkodes Bankbelege, Kreditkarten und Betriebsausweise.

Erwähnen wir schließlich Vorschläge, gedruckte Angaben über Hörrundfunk- und Fernsehprogramme durch eine Strichkodierung zu ergänzen. Der Eigentümer des zugehörigen Empfängers brauchte nur noch mit einem Lesestift über das ihn interessierende Programm zu streichen – Sendezeit, -termin und -kanal würden gespeichert und das Gerät ohne weiteres Eingreifen immer zum richtigen Zeitpunkt ein- und ausgeschaltet. Weniger technisch aufwendig und billiger ist es allerdings, beim Lesen der Programmzeitschrift solche Angaben einem kleinen Zusatzgerät einzutippen.

Besonders umfassende Konsequenzen ergäben sich, wenn Computer nicht nur Strichkodes, sondern alphanumerische Zeichen, »Klarschrift«, lesen könnten. Der »Eingabe-Flaschenhals« zwischen schriftlicher Vorlage und Computer würde aufgeweitet; ein beachtlicher Teil manueller Arbeit entfiel.

Lesende Computer wären beispielsweise in der Lage:

- Texte (Belege, Formulare, Artikel, Buchauszüge usw.) selbsttätig zu speichern,
- Textvorlagen nach vorgegebenen Kriterien auszuwählen und zu sortieren, z. B. nach Sachwörtern,
- manuelle Eingabe bei maschinellen Übersetzungen zu erübrigen,

- Sehgeschädigten Gedrucktes zugänglich zu machen, indem etwa Buchstaben und Wörter in akustische Informationen umgesetzt oder für die Fingerspitzen auf einem Sensorfeld, ähnlich wie bei Blindenschrift, abföhlbar gemacht würden.

Zahlreiche andere Möglichkeiten sind denkbar. Doch noch gibt es keinen Computer, der etwa so gut lesen könnte wie ein Schüler der dritten Klasse. Das liegt nicht zuletzt an den Schriftvarianten. Für Druckschriften sind sie sehr zahlreich, für geschriebene Schriften, deren jede individuell geprägt ist, unübersehbar.

Unser Gehirn filtert charakteristische Merkmale der alphanumerischen Zeichen aus, verknüpft sie, greift auf vielfältige Erfahrungen und erkannte Sinnzusammenhänge zurück und versetzt uns so in die Möglichkeit, mit einiger Mühe auch fast unleserliche Schrift zu entziffern.

Das können Computer noch längst nicht leisten. Sie vergleichen vorgelegte Schriftbilder mit gespeicherten Mustern und erkennen sie nur, wenn Schrift- und Musterzeichen weitgehend übereinstimmen.

Wir müssen dem Computer daher vorerst Leseerleichterungen anbieten. Dafür wurden stilisierte und maschinenlesbare Schriften entwickelt. Auch kennen wir Versuche (z. B. für das Eintragen von Postleitzahlen), alphanumerische Zeichen über dünn vordruckte Spuren in vorgegebene Kästchen zu schreiben. Das alles sind jedoch mehr oder weniger Behelfslösungen. Wäre ein Fachtext in Computerschrift noch akzeptabel, ist ein künstlerisch gestaltetes Buch in maschinenlesbarer Schrift nur schwer vorstellbar.

Trotzdem sind bereits zahlreiche Computer für die Eingabe maschinenlesbarer Schrift eingesetzt. Die Zeichen werden zeilen- oder spaltenweise nacheinander von einem fotoempfindlichen Lesekopf abgetastet. Er zerlegt bei der Aufnahme das Bild in dunkle und helle Elemente. Das geschieht etwa durch ein Raster integrierter Fotodioden. Die von diesen abgegebenen helligkeitsabhängigen Signale werden nach einem Schwarz-Weiß-Muster geordnet, kodiert zum Computer übertragen und mit den dort gespeicherten Musterzeichen verglichen. Bei weitgehender Übereinstimmung werden sie angenommen und ver-

arbeitet. Erkennt der Lesekopf ein Zeichen nicht, wird ein Signal ausgelöst oder bzw. und der Leseprozeß unterbrochen.

Lesepistolen werden von Hand über die Spalten und Zeichen der Vorlage geführt. In einer Sekunde können über 100 Zeichen gelesen werden, ein Mehrfaches von dem, was beim Erfassen mit dem Auge möglich ist.

Für längere Texte, etwa ganze Seiten, wurden Lesemaschinen entwickelt. Sie arbeiten nach dem Prinzip von Fernsehkameras, benutzen zur Abtastung Bündel von Lichtleitfasern oder, ähnlich wie Strichkode-Scanner, einen schnell bewegten Laserstrahl. Er tastet die an ihm vorbeigeführte Vorlage ab, während fotoempfindliche Elemente das reflektierte Licht auffangen.

Das Problem der Objekterkennung ist uns bei Industrierobotern bereits begegnet. Es wird bei sehr detailreichen Objekten vorwiegend noch durch Mittel gelöst, die der Fernsehtechnik entlehnt sind. Herkömmliche Bildaufnahme – und Wiedergaberöhren sind aber wenig mikroelektronik-freundlich. Sie beanspruchen verhältnismäßig viel Raum, hohe Betriebsspannungen und nicht unerhebliche elektrische Leistung und sind mechanisch empfindlich.

In zahlreichen Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen ist man daher um Bilderkennungssysteme bemüht, deren Sensoren sich nicht nur in mikroelektronische Konzeptionen einordnen, sondern möglichst auch unter Zuhilfenahme mikroelektronischer Technologien herstellen lassen. Neben Matrixanordnungen aus Fotodioden und -transistoren werden vor allem sogenannte Ladungsverschiebungsschaltungen untersucht, erprobt und eingesetzt.

Ladungsverschiebungsschaltungen sind nur in fortgeschrittener mikroelektronischer Technologie ausführbar. Als Raster angeordnete winzige Kondensatoren werden bei Lichteinfall mehr oder weniger elektrisch aufgeladen. Diese Ladungen werden in einem bestimmten Takt zum Rasterrand verschoben, abgenommen und bilden die Signale zur weiteren Verarbeitung. Es gelang, auf Flächen um 1 cm^2 mehrere Hunderttausende solcher Kondensatorelemente unterzubringen. Als Sensoren in

der Industrie, aber unter anderem auch in elektronischen Kameras werden lichtempfindliche Ladungsverschiebungsschaltungen zunehmend angewandt.

Ebenso interessant, und nicht nur für die Zusammenarbeit mit Computern, sondern auch für die Fernsehempfangstechnik, sind »flache« Displays (Bildschirme). Forschung und Entwicklung sind hier noch in vollem Fluß. Man experimentiert z. B. mit Flüssigkristallanordnungen oder nutzt die seit langem bekannten Effekte bei Gasentladungen aus, die hier an Schnittpunkten einer Elektrodenmatrix auftreten. Je nach Ansteuerung der Elektroden kommt es an den Schnittpunkten zu sehr kleinflächigen, leuchtenden Gasentladungen. Sie stellen die Bildelemente dar. Es gibt Versuchsausführungen für Displays mit über 1 Million Bildelementen und einer Dicke von nur 1 cm.

Lesepistole zum Erkennen alphanumerischer Zeichen



Akustische Ein- und Ausgabe

Die intensiven Arbeiten, die der akustischen Aus- und Eingabe gelten und eine sprachliche Verständigung mit Computern ermöglichen sollen, sind keineswegs etwa technische Spielerei. Ein sprechender und hörender Computer böte eine Reihe wichtiger Vorzüge:

- Ein- und Ausgabe, der Dialog mit dem Computer, erforderten keine speziellen Kenntnisse. Jeder könnte ihm Aufgaben und Fragen stellen und sich die Antwort einfach anhören;
- Ein- und Ausgabeprozesse könnten weiter beschleunigt werden und so der hohen Geschwindigkeit der eigentlichen Verarbeitungsvorgänge besser angepaßt werden;
- wo beide Hände benötigt werden, bei der Bedienung vieler Maschinen, von Instrumenten und Verkehrsmitteln, wäre es eine Entlastung, wenn man dem Computer Kommandos einfach zurufen könnte;
- viele Körperbehinderte würden mit Hilfe akustischer Aus- und Eingabe in die Lage versetzt, wieder einer sie befriedigenden Tätigkeit nachzugehen;
- umgekehrt könnte das visuelle Beobachtungsvermögen entlastet werden, wenn Kontroll- und Warnsignale, Grenz- oder Meßwerte von technischen Einrichtungen akustisch übermittelt würden;
- Auskunftssysteme, die unsere Fragen »mündlich« beantworten, kämen unseren Gewohnheiten besonders entgegen;
- der Nutzen einer Sprachübertragung und -übersetzung mit akustischer Ein- und Ausgabe, eines Tages vielleicht weitergeführt bis zum elektronischen Simultandolmetscher, wäre kaum abschätzbar.

Computer, mit denen wir plaudern können wie mit unseresgleichen, gibt es noch nicht. Teilerfolge, deren Zahl rasch zunimmt, sind jedoch beachtlich.

Akustische Ausgabe fällt Computern nicht allzu schwer. Zwei Verfahrensgruppen sind gegenwärtig üblich.

Bei der einen wird dem Computer der künftige Wortschatz vorgesprochen. Die Wörter werden im Computer in Silben und Lautelemente zerlegt, binär kodiert und ge-

speichert. Soll der Computer sprechen, werden nach einem Programm die notwendigen Elemente aus dem Speicher abgerufen und zusammengesetzt. Die erzeugte Sprache klingt recht natürlich, doch ist der Wortschatz weitgehend durch die Speicher- und Programmiermöglichkeiten bestimmt.

Die zweite Gruppe, die direkte Sprachsynthese, verzichtet auf das Vorsprechen. Die Elemente der Sprache werden durch Frequenzgeneratoren, Filter usw. im Computer selbst erzeugt und nach einem Programm zu Wörtern zusammengefügt. Der Wortschatz ist prinzipiell unbegrenzt, auch »fortlaufende« Sprache und mehrsprachige Syntheseprogramme sind möglich.

Sollen sprechende Computer nach Abmessungen, Aufwand und Energiebedarf vielseitig einsetzbar sein, kommen für ihren Aufbau nur LSI- bzw. VLSI-Schaltkreise in Betracht. Das zeigen auch die bis heute bekanntgewordenen Anwendungen.

Mit geringem Wortschatz kommen Uhren aus, die, vorwiegend für Blinde gedacht, die Zeit auf Anforderung ansagen. Es gibt sie seit mehreren Jahren.

Einige Hersteller bieten Kraftfahrzeuge an, die dem Fahrer zusätzliche Informationen akustisch zukommen lassen, etwa »Gurte nicht angelegt«, »Kofferraum nicht verschlossen«, »Nachtanken erforderlich«. Die Geräte sind für mehrere Sprachen programmierbar. Zur akustischen Wiedergabe werden Verstärker und Lautsprecher des Autoradios benutzt, dessen eingestelltes Programm für die Durchsagezeit auf leise gestellt oder ausgeblendet wird. Es werden auch Kameras angeboten, die akustische Hinweise (z. B. »Blitzgerät benutzen«) geben.

Für Blinde entwickelte man Taschenrechner mit akustischer Ausgabe, während für Sprachunterricht oder als Übersetzungshilfe sprechende Computer im Taschenrechnerformat verfügbar sind. Hunderte Wörter können sie übersetzen. Stationäre Hochleistungscomputer für Sprachsynthese erreichen schon Sprechzeiten von mehr als einer Stunde.

Die Eingabe bei akustischen Auskunftssystemen, z. B. bei sogenannten sprechenden Fernsprechbüchern oder Fahrplänen, erfolgt meistens nicht über ein Mikrofon,

sondern über Tasten. Sprache zu verstehen, fällt Computern viel schwerer, als uns akustisch zu informieren.

Wir verstehen Sprache auch dann, wenn sie undeutlich, verzerrt, heiser, dialektgefärbt, schlecht artikuliert oder durch äußere Störungen beeinflusst ist. Durch einen unbewußt ablaufenden Lernprozeß stellen wir uns rasch auf den Sprecher ein.

Dem Computer geht es beim Hören von Sprache ähnlich wie beim Lesen beliebiger Schrift. Das Erkennen bereitet ihm wegen der gewaltigen Zahl der Sprechvariationen und -nuancen noch große Schwierigkeiten. Spracherkennung beruht, wie beim lesenden Computer, auf Mustervergleich. Das Sprachsignal wird in Frequenzbänder zerlegt, deren Anteile nach Amplitude, gegenseitigem Verhältnis usw. gemessen werden. Das Ergebnis dieser Analyse wird, nachdem es binär kodiert wurde, der aus Schaltkreisen aufgebauten Einheit für den Mustervergleich zugeleitet. Stimmt eines der gespeicherten Muster mit dem kodierten Signal (in weitgehender Annäherung) überein, »erkennt« es die Vergleichseinheit. Daraus werden Signale abgeleitet, die nach Weiterverarbeitung beispielsweise eine Bildschirmeinheit, Stellorgane eines Aggregates oder eines Roboters oder auch eine akustische Ausgabe steuern können.

Je genauer die Eingangssignale analysiert werden, desto besser und umfassender sind die Erkennungsmöglichkeiten. Sie können allerdings nur dann ausgenutzt werden, wenn in leistungsfähigen Speichern entsprechend viele und detailreiche Muster abgelegt sind.

Spracherkennungssysteme, die nur auf einzelne Wörter, meistens gesprochene Befehle, reagieren, sind einfacher als Systeme, die kleinere akustische Einheiten (z. B. Sprechsilben) in fließender Sprache verstehen sollen.

Zwischen Einzelwörtern bestehen deutliche Pausen, was bei fließender Sprache durchaus nicht gewährleistet ist. Außerdem müssen je Wort nur soviel Merkmale erfaßt werden, wie zur eindeutigen Wortunterscheidung notwendig sind. Schließlich sprechen wir Einzelwörter unwillkürlich fast immer deutlicher aus als in Sätzen fließender Sprache.

Nahezu alle eingeführten Spracherkennungssysteme

sind daher gegenwärtig für die Eingabe einzelner Wörter oder kurzer Wendungen eingerichtet. Ihr Aufnahmevermögen, ihr Wortschatz, erreicht 500, in manchen Fällen 1000 Wörter und mehr, allerdings bei erheblichem Schaltkreisaufwand.

Um sie »anzulernen«, werden ihnen die Wörter mehrmals deutlich vom gleichen Sprecher vorgesagt. Im Eingabegerät wird aus den Merkmalen eine Art Mittelwert gebildet und als Muster abgelegt. Es ist meistens sprecherspezifisch, nur der »Lehrer« wird vom Computer verstanden, und auch das nur, wenn sich seine Stimme nicht wesentlich (etwa durch Heiserkeit) verändert hat. Spracheingabeeinrichtungen, die eine Kinderstimme ebenso wie einen Baß, einen Sachsen ebenso wie einen Berliner verstehen, existieren noch nicht.

Trotz dieser Einschränkungen gibt es bereits zahlreiche Anwendungen. So existieren in Japan Industrieroboter, die mündliche Anweisungen ausführen. Sprachsteuerungen für Transportmittel und wissenschaftliche Instrumente bewähren sich; Fernsehkameras mit akustischer Steuerung von Brennweite, Schwenken, Neigen usw. wurden vorgestellt.

Für Körperbehinderte sind Rollstühle und Kraftfahrzeuge lieferbar, die zahlreiche gesprochene Befehle verstehen. In Schweden experimentiert man mit Fernsprechern, bei denen der Anrufende nicht mehr wählt, sondern lediglich den Namen des gewünschten Teilnehmers deutlich ausspricht. Eingabegeräte und -einrichtungen für fließende Sprache sind gegenwärtig ein Schwerpunktthema. Seine Bearbeitung beschäftigt nicht nur die Elektroniker, die immer leistungsfähigere Verarbeitungsschaltkreise und Speicher beisteuern müssen, sondern bezieht auch Wissensgebiete wie die Informationstheorie, vor allem Zweige der Sprachwissenschaften, ein.

Ihre Resultate werden nicht nur den sprechenden und hörenden Computer Wirklichkeit werden lassen, den es gegenwärtig erst vereinzelt gibt; auch die Diktierschreibmaschine, die angesagte Texte aus dem phonetischen Klangbild in Schriftsprache umsetzt und niederschreibt, wird dann in den Bereich des Realisierbaren rücken.

Integrierte Optik und Akustoelektronik

Optoelektronische Bauelemente, auf den Wechselwirkungen zwischen Elektronen und sichtbarer, aber auch infraroter oder ultravioletter elektromagnetischer Strahlung beruhend, sind seit langem bekannt. Sie werden für die elektrisch-optische und die optisch-elektrische Signalwandlung und -übertragung eingesetzt. So wichtige und verbreitete Bauelemente wie Fotozelle, Bildverstärker und Bildwandler, wie Bildaufnahme- und Bildwiedergabehöhen gehören dazu.

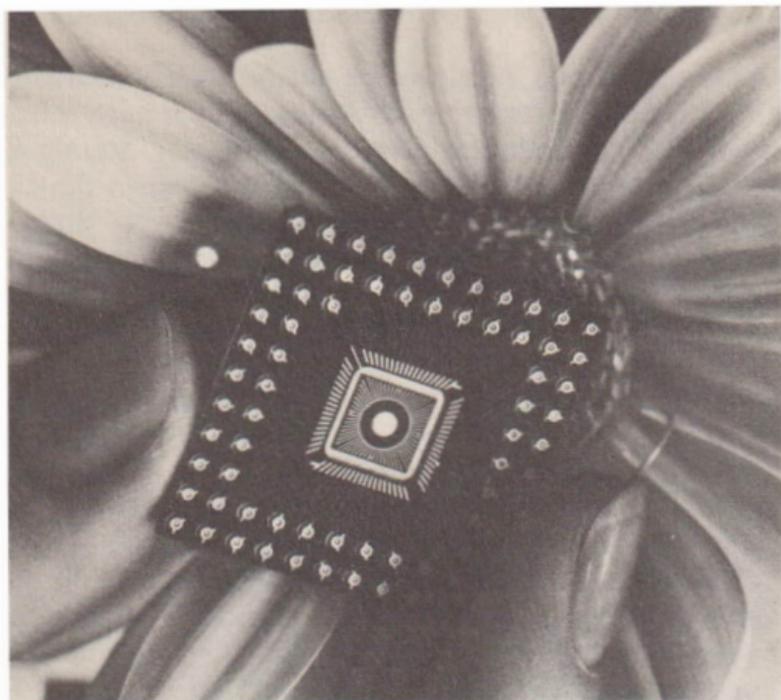
Die Halbleitertechnik ließ weitere hinzukommen: Fotodioden, -transistoren und -thyristoren, Fotoelemente (z. B. Solarzellen), Leuchtdioden, vor allem die Halbleiterlaser, die unter anderem wichtige Bestandteile der sich rasch entwickelnden Lichtleiterkabeltechnik wurden.

Die Nutzung mikroelektronischer Technologien für die Optoelektronik ist uns ebenfalls begegnet. Matrixanordnungen von Foto- und Leuchtdioden, Ladungsverschiebungsbildsensoren und Flüssigkristalldisplays sind Beispiele dafür.

Die integrierte Optik strebt an, mehrere oder zahlreiche Komponenten eines optoelektronischen Systems samt den sie verknüpfenden optischen Übertragungsleitern in einem Chip unterzubringen, die Wellen auf ihrem Wege steuernd zu beeinflussen, Teile der elektromagnetischen Energie ein- und auszukoppeln, kurz, mit Lichtwellen ähnliches wie mit elektrischen Ladungsträgern in mikroelektronischen Schaltkreisen zu bewirken.

In optoelektronischen Schaltkreisen müssen in gleicher Weise Gesetzmäßigkeiten der Mikroelektronik und der Optik berücksichtigt werden. Als Lichtsender beispielsweise werden Laserdioden, als Lichtempfänger Fototransistoren integriert. Zur Steuerung dienen auch Wechselwirkungen zwischen Lichtwellen und elektrischem oder magnetischem Feld. Die Fortführung der optischen Signale geschieht durch Lichtwellenleiter, in denen sie im wesentlichen auf zickzackförmigem Wege durch wiederholte Totalreflexion an den Wellenleitergrenzen transportiert werden.

Der Brechungsindex des Trägermaterials muß dazu



Opto-Kreissegment-Detektor mit 64 Fotodioden zur optischen Kontrolle kreisförmiger Gegenstände

niedriger sein als der des Lichtleitermaterials. Dieses wird in Form schmaler Streifen (etwa $3 \mu\text{m}$ breit) nach fotolithografischen Verfahren auf- oder eingebracht. Neben Wellenleitern aus Titan auf Lithiumverbindungen bewährt sich das auch für andere Bereiche der Mikroelektronik interessante Galliumarsenid. Die Suche nach elektrisch wie optisch gleichermaßen günstigen Materialien geht weiter.

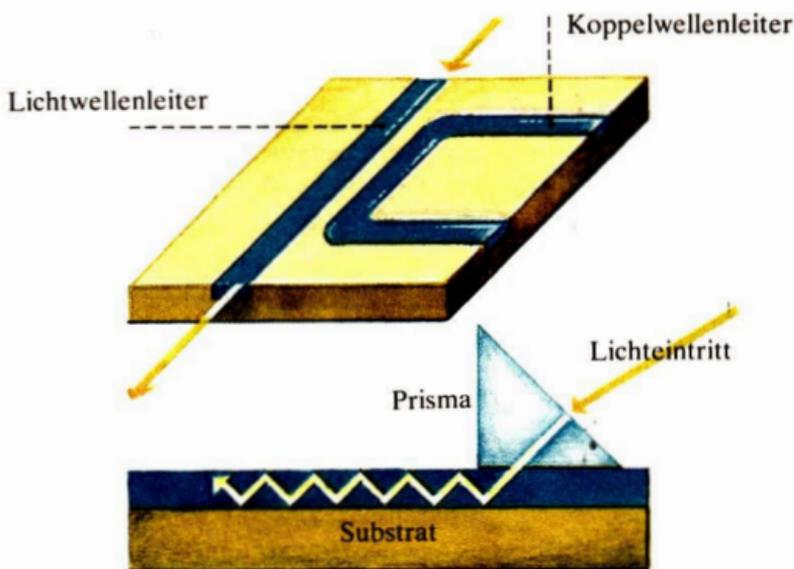
Die Reihe der entwickelten, erprobten oder bereits eingesetzten Bauelemente ist schon verhältnismäßig lang. So kennt man neben integrierten Lichtsendern und -empfängern Modulatoren und Verstärkeranordnungen. Es gibt Prismenanordnungen, mit denen man eine Lichtwelle von außen in den integrierten Wellenleiter einkoppeln kann, und Prismen in Form dünner Schichten, die die Wellen auf ihrem Wege umlenken. Es sind Schalter- und Koppelanordnungen in Erprobung, mit deren Hilfe man

an mehreren Eingängen auftretende Wellen wahlweise auf verschiedene Ausgänge »schalten« kann. Dadurch wird es möglich, logische Verknüpfungsschaltungen zu integrieren, die – vereinfacht ausgedrückt – Lichtimpulse ähnlich verarbeiten, wie dies elektrisch in elektronischen Bausteinen geschieht. Außerdem lassen sich aus einem Frequenzgemisch bestimmte Frequenzen ausfiltern oder Wellen unterschiedlicher Frequenzen gleichzeitig über einen Lichtleiter übertragen und dann wieder trennen.

Die integrierte Optik kommt durch ihre hohen Übertragungs- und Schaltgeschwindigkeiten (Lichtgeschwindigkeit!), die breiten übertragbaren Frequenzbänder, die Unempfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Störungen den Bedürfnissen und Einsatzbedingungen der Elektronik weit entgegen. Ihre Fertigung kann automatisiert werden; die Schaltkreise sind zuverlässig und kostengünstig. Neben bewährten Materialien der Mikroelektronik werden weitere untersucht, z. B. Stoffe, deren Lichtdurchlässigkeit sich in kürzester Zeit auf Lichtundurchlässigkeit umschalten läßt und umgekehrt. Vorteilhaft ist ferner, daß Lichtstrahlen sich ohne gegenseitige Beeinflussung kreuzen können und daß man bei Auslesen optischer Speicher die optisch gespeicherten Informationen nicht sofort in elektrische umwandeln muß.

Gerade in der Informations- und Computertechnik wird die Bedeutung der integrierten Optik wachsen. Computer z. B., die mit Lichtgeschwindigkeit arbeiten, hätten zusammen mit teilweise bereits vorhandenen optoelektronischen Ein-, Ausgabe- und Speichermöglichkeiten eine derzeit kaum abschätzbare Leistungsfähigkeit. Es gibt Fachleute, die im »Licht-Computer« den Computer der Zukunft erblicken.

Die gleichfalls »im Kommen« befindliche Akustoelektronik nutzt Wechselwirkungen zwischen elektrischen und akustischen Vorgängen aus. In piezoelektrischen Materialien (sie sind uns als »Quarz« in elektronischen Uhren begegnet) lassen sich durch elektrische Wechselspannungen an z. B. fotolithografisch aufgebrachtene Elektrodenstrukturen akustische (mechanische) Oberflächenwellen erregen, die an der piezoelektrischen Oberfläche



Optische Kopplung und Einkopplung bei Schaltkreisen mit integrierter Optik

entlanglaufen. Sie rufen zwischen ähnlichen Elektroden wiederum elektrische Spannungen hervor, die abgenommen und weiterverarbeitet werden können. Weil akustische Oberflächenwellen nur eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von wenigen Kilometern je Sekunde haben, tritt gegenüber rein elektrischen Anordnungen eine erhebliche Signalverzögerung auf.

Akustoelektronische Oberflächenwellen-Bauelemente (AOW-Bauelemente) beruhen meist auf dem dargestellten Prinzip.

Auf einem Chip aus piezoelektrischem Material befindet sich als Eingangswandler eine Struktur von kammerartig ineinandergreifenden Elektroden zur Umwandlung der zugeführten elektrischen in akustische Energie. Die entstehenden Wellen laufen an der Materialoberfläche zum Ausgangswandler. Er ist ähnlich wie der Eingangswandler aufgebaut und übernimmt die Rückwandlung in elektrische Signale. Dämpfungsmassen an den Oberflächenenden verhindern störende Wellenreflexionen.

Die definierte Verzögerung, die Signale zwischen Eingangswandler und Ausgangswandler erfahren, wird zum Aufbau kostengünstiger Signalverzögerungsglieder geringer Ab-

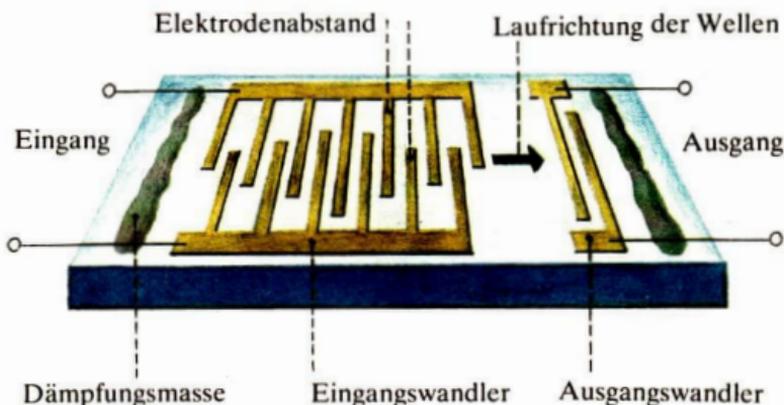
messungen genutzt, wie sie z. B. in Farbfernsehgeräten benötigt werden. Man kann aber, was bei bisherigen Verzögerungseinrichtungen nicht ohne weiteres möglich war, zwischen Eingangs- und Ausgangswandler weitere Abnahmeelektroden anbringen und auf diese Weise ein Eingangssignal abgestuft verzögern.

Das Frequenzverhalten der AOW-Bauelemente wird entscheidend von der Elektrodenstruktur bestimmt. Dies kann man zum Bau von Filtern für vorgegebene Frequenzen, Frequenzbänder und den Frequenzgang innerhalb dieser ausnutzen. Für Fernsehempfänger entwickelte AOW-Filter auf etwa 30 mm² Chipfläche sind zum Beispiel den früher für die gleiche Aufgabe erforderlichen Netzwerken mit jeweils rund zwei Dutzend Einzelbauelementen äquivalent.

Schaltungen zur Impulsformung und Schwingungserzeugung lassen sich gleichfalls mit AOW-Bauelementen realisieren. Nicht einmal mehr die Bindung an piezoelektrisches Trägermaterial ist zwingend. Es existieren technologische Verfahren, bei denen man in einem Chip Silizium und eine piezoelektrische Schicht so zusammenfügt, daß das AOW-Bauelement integrierter Bestandteil des mikroelektronischen Schaltkreises wird.

Eine Verbindung zur integrierten Optik schließlich stellen akustoelektronische Schalter dar, bei denen Laserlicht durch akustische Oberflächenwellen zur Seite gelenkt wird und dabei Schaltvorgänge auslösen kann.

Grundsätzlicher Aufbau eines AOW-Bauelements



Mikroelektronik und »Informationsflut«

Immer schneller wuchs in den vergangenen Jahrzehnten die Menge der Informationen, die bei unterschiedlichsten Prozessen anfallen und verarbeitet, übertragen, gespeichert werden und dann jederzeit abrufbereit verfügbar sein müssen.

Informationsmenge und -zunahmerate wirken beängstigend. Ist die schwellende Informationsflut überhaupt noch nutzbringend zu verwerten, oder überschwemmt sie uns weitgehend ungenutzt?

An bedenklichen oder doch nachdenklich stimmenden Beispielen mangelt es nicht:

- Untersuchungen ergeben einen erschreckend niedrigen Auswertegrad der an Titelzahl und Umfang rasch zunehmenden Fachliteratur.
- Mehrfachentwicklungen und -erfindungen bleiben nicht aus, verursacht durch mangelnde Kenntnis dessen, was anderswo geschah.
- Der Aufwand, etwas Neues zu ersinnen, ist oft geringer als derjenige, zu prüfen, ob das »Neue« nicht bereits längst ersonnen wurde. Besonders Chemiker wissen davon ein Lied zu singen.
- Schätzungen besagen, daß mit herkömmlichen Organisations- und Verwaltungsmethoden die Menschheit schon in naher Zukunft ausschließlich damit befaßt wäre, »sich selbst zu verwalten«.
- Vom Schüler bis zum Hochschullehrer weiß jeder um die Schwierigkeiten, Material, also Informationen, zu finden, einzusehen, kopieren zu können. Ein großer Teil der veranschlagten Arbeitszeit wird für diese Hilfsprozesse benötigt – und trotzdem bleibt das unguete Gefühl, vielleicht doch etwas übersehen oder nicht beachtet zu haben.

Bereits auf S. 44 drückten wir aus, daß alle Aufgaben der Mikroelektronik letztlich im Bereich der Informationstechnologien angesiedelt sind; es gibt kaum einen Abschnitt in diesem Buch, in dem das nicht in Erscheinung tritt. Wie wird, wie kann diese Hilfe im weiteren notwendigen »Ring« mit der Informationsflut aussehen?

- Sie vollzieht sich vor allem in drei großen Komplexen:
- der Erhöhung der Verarbeitungsgeschwindigkeit von Informationen,
 - der vielfältigen Kommunikation zwischen Informations»erzeugern« und Informations»verbrauchern«,
 - der rationellen Speicherung großer Informationsmengen bei vielseitigen Zugriffsmöglichkeiten und kurzen Zugriffszeiten.

Diese Komplexe sind eng miteinander verbunden. Bereits heute wäre ihre technische Realisierung ohne Mikroelektronik kaum noch sinnvoll und möglich.

Jahrzehnte hindurch hielten im Bereich der Verwaltung die Produktivitätssteigerungen mit denjenigen in der materiellen Produktion nicht Schritt. Schreibmaschine, Fernsprecher, Fernschreiber und Diktiergerät vermochten im Prinzip nur wenig daran zu ändern, daß seit langem bewährte und praktizierte Verfahren und Methoden den Anforderungen immer weniger genügten.

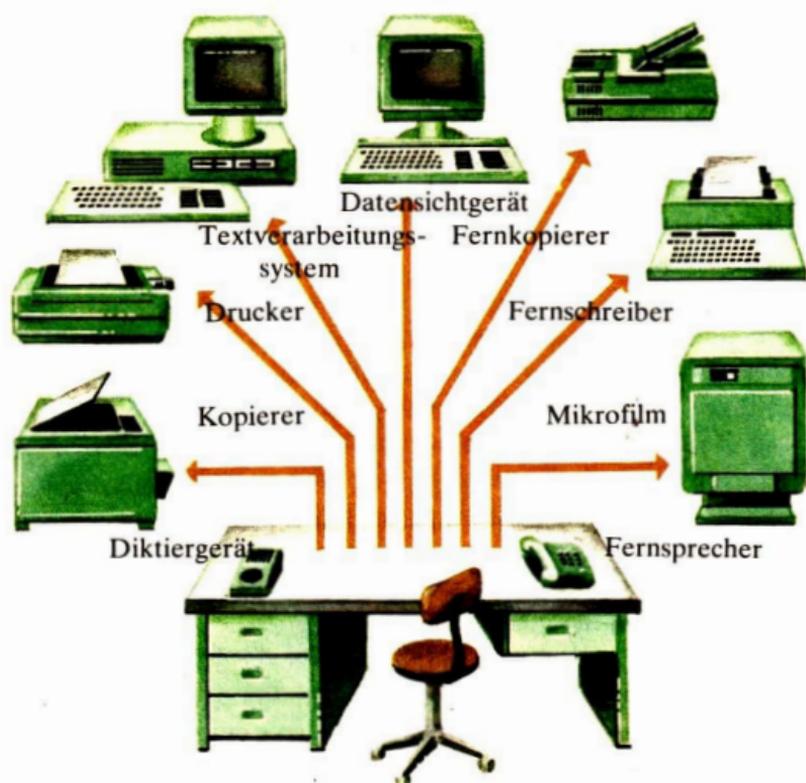
Selbstverständlich fehlen Diktiergerät und Fernsprecher auch im modernen Büro nicht. Dazu aber kommt ein ganzes Arsenal von Hilfsmitteln, die wir im wesentlichen mikroelektronischen Schaltkreisen verdanken.

Angaben, die einst in langen Ordnerreihen gesucht werden mußten, erscheinen nach Anforderung durch Tastenbetätigung sekundenschnell auf dem Bildschirm des Datensichtgerätes. Sie können unverzüglich kopiert, ausgedruckt oder dem Textverarbeitungssystem eingegeben werden.

Das Fernschreiben beschränkt sich nicht auf alphanumerische Zeichen. Der Fernkopierer überträgt und fixiert auch Zeichnungen, Tabellen, Grafiken, Bilder. Sie können auf Mikrofilm archiviert, beliebig oft abgerufen und auch Partnern überspielt werden.

Die Entwicklung schreitet voran: Mikrocomputer vereinfachen die notwendigen Bedienvorgänge, können mit Mikrocomputern in anderen Verwaltungsdienststellen zusammenarbeiten, Probleme an »große« Rechner delegieren, Auskünfte bei Datenbanken einholen, Übersetzungen in Auftrag geben usw.

Die Nutzung dieser und vieler anderer Möglichkeiten setzt ein den wachsenden Erfordernissen angepaßtes



Wenig Papier – viel Elektronik: moderner Arbeitsplatz in der Verwaltung

Kommunikationsnetz voraus. Gerade die Mikroelektronik hat wesentlich dabei geholfen, den vorhandenen Nachrichtenwegen noch innewohnende Reserven zu erschließen. Denken wir hier nur an die steigende Leistungsfähigkeit der Richtfunkstrecken, Breitbandkabel- und Satellitenverbindungen oder an die Nutzung noch vorhandener Lücken in Hörrundfunk- und Fernsehsignalen (z. B. Videotext und Bildschirmtext).

Allein Schaltkreise anstelle der Abermillionen mechanischer und elektromagnetischer Bauelemente im »größten Automaten der Welt«, im Fernsprechnet, würden entscheidende Verbesserungen nach sich ziehen. Die Störanfälligkeit und damit die Ausfallzeiten der Anlagen sanken auf einen Bruchteil. Die Geräte könnten geräuschlos und auf kleinem Raum arbeiten und den Teilnehmern zusätzlichen Komfort bieten: Tastenwahl,

Kurzwahl, Konferenzschaltungen, »Anklopfen« bei einem besetzten Teilnehmer, Herstellen der Verbindung, wenn dieser aufgelegt hat, und manches mehr.

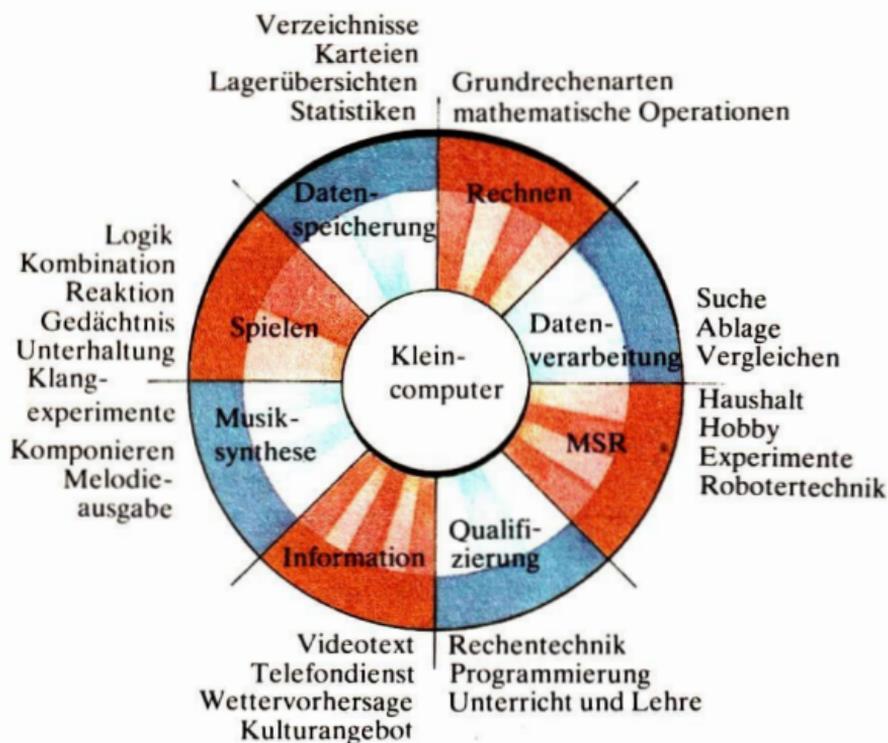
Solche Umstellungen sind zeitaufwendig und teuer und können zunächst nicht auf gewisse Kompromisse verzichten, weil »alt« und »neu« für einen längeren Zeitraum miteinander verträglich sein müssen. Auch die Lichtleiterkabel, die eine Vervielfachung der verfügbaren Nachrichtenkanäle für verschiedenste Dienste bringen können, werden keinesfalls sozusagen über Nacht eingeführt werden.

Digitale Signale haben nicht nur viele Vorzüge für die Übertragung, sondern sind für die Verarbeitung mit mikroelektronischen Schaltkreisen besonders geeignet. Allgemeiner Einsatz der digitalen Signalübertragung in der Kommunikationstechnik erfordert allerdings Umstellungen gewaltigen Umfangs. Beim Rundfunk etwa geht es (vgl. S. 49) »analog zu«, beim Fernsprecher werden analoge Sprachsignale übertragen, dagegen digitale Wähl- und Zählimpulse fortgeleitet.

Alle diese Schwierigkeiten sind jedoch überwindbar. Eines Tages werden Kanäle für das wachsende Kommunikationsbedürfnis der Gesellschaft nicht mehr ausgesprochene Mangelware sein.

An die Seite der Computer und Kommunikationsnetze werden entsprechend leistungsfähige Speicher treten. Auch sie sind bereits »in Arbeit«. Große Datenbanken umfassen den Fakteninhalt großer wissenschaftlicher Bibliotheken und werden später jedermann zugänglich sein. Chips von der Größe einer viertel Briefmarke halten schon jetzt den Inhalt von rund 100 Schreibmaschinen-seiten abrufbereit. Optische Speicher, in deren Platten ein Laser die kodierte Informationen als mikroskopische Vertiefung einbringt, bewahren auf der Fläche einer Langspielplatte den Text vieler Tausender Seiten. Handliche Zusatzspeicher stehen auch für Kleincomputer zur Verfügung.

Mikroelektronik hat innerhalb eines Vierteljahrhunderts einen hohen technischen Stand erreicht. Viele sehen ihn nur als den Anfang an. Noch stört, daß der Siliziumchip nur bis sehr geringer »Einbautiefe« genutzt



Anwendungen eines Kleincomputers

wird. Man denkt an Stapel Ebenen im Chip, eine Fortführung der Modultechnik (vgl. S. 12) auf höherer Ebene. Bessere Strukturierungsverfahren lassen eine weitere Erhöhung der Bauelementedichte um den Faktor 100 nicht unmöglich erscheinen. Weiterer Schwerpunkt sind nach wie vor die Erzielung besserer Ausbeuten ebenso wie das Erreichen noch kürzerer Schaltzeiten bei den einzelnen Operationen. An Arbeit, auch für künftige Jahrzehnte, mangelt es gewiß nicht.

Wir alle müssen vor allem lernen, mit Mikroelektronik umzugehen. Das erfordert Umdenken und Neu-Durchdenken. Es genügt nicht, alter Technik Mikroelektronik nachträglich »anzuschrauben«; es ist eine neue, mikroelektronikgerechte Technik zu schaffen, die mit einem immer größeren Nutzeffekt dem Wohle des einzelnen und der Gesellschaft dient.

»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.

Gäbe es keine Mikroelektronik, wären
im Jahre 2000 mehr als ein Drittel der
Menschheit für die »klassische« elektro-
nische Produktion nötig. – Heute sind
bereits Zehntausende Anwendungen
dieser noch jungen Technik bekannt,
und täglich kommen neue dazu. So ist
es für jeden unabdingbar, sich über
deren neuartige, noch nicht einmal voll
erkannte Möglichkeiten, vielleicht aber
auch schon über deren Grenzen Gedan-
ken zu machen und die Konsequenzen
abzuschätzen, die sich aus der Anwen-
dung der Mikroelektronik ergeben.

ISBN 3-332-00236-8
