

# Die Rolle der Forschung in der Elektronik

Autor(en): **Speiser, Ambros P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **100 (1982)**

Heft 23

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74816>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Die Rolle der Forschung in der Elektronik

Von Ambros P. Speiser, Baden

Die Frage zu stellen, welche Rolle der Forschung in der Elektronik zukomme, scheint auf den ersten Blick eher überraschend: Es entspricht doch einer verbreiteten Überzeugung, dass die Elektronik eine forschungsintensive Technik ist und dass die Forschung auf diesem Gebiet reiche Früchte trägt; Forschung und Fortschritt in der Elektronik werden oft geradezu als Synonyme betrachtet. Ist diese Haltung gerechtfertigt?

## Über die Geschwindigkeit des technischen Fortschrittes

Die eingangs gestellte Frage sei anhand zweier Kurven betrachtet. Bild 1 zeigt ein Diagramm, das in dieser oder einer ähnlichen Form viele Male wiedergegeben worden ist. Es veranschaulicht die Anzahl von Schaltelementen auf einem Chip in einer integrierten Schaltung (einem IC). Die Kurve beginnt im Jahr 1956 mit 1: das ist der diskrete Transistor. Heute ist die Zahl 500 000 im Begriff, überschritten zu werden. Das entspricht einer Erhöhung von etwa 70 Prozent pro Jahr oder einer Ver200fachung in zehn Jahren. Es gibt in der Technik kaum eine Messgrösse, die während mehr als einem Vierteljahrhundert gleichmässig mit einer so hohen Vermehrungsrate gewachsen wäre. Als Gegenstück vermittelt Bild 2 ein Beispiel aus der Energietechnik: Die Kurve zeigt Materialtemperaturen, es handelt sich um die Temperatur der ersten (also heissesten) Schaufelreihe in Gasturbinen oder Flugzeugtriebwerken. Hohe Temperaturen bedeuten besseren Wirkungsgrad, also Brennstoffersparnis, sind also sehr erstrebenswert. Die Temperatur hat in den letzten 40 Jahren um 280 C° zugenommen, das sind pro Jahr etwa 7 C° oder 0,7 Prozent! (In der Thermodynamik muss man, um Prozente zu errechnen, die Temperatur nicht in Celsiusgraden, sondern in Kelvin einsetzen.) Woher kommt dieser grosse Unterschied? Sind die Wissenschaftler, Ingenieure und Unternehmer aus der einen Seite so viel tüchtiger als auf der andern? Wohl kaum. Alles deutet darauf hin, dass auf beiden Seiten mit Intensität und Sachkunde geforscht wird; und blickt man in die Geschäftsberichte, so findet man, dass die F- und E-Aufwendungen in Prozenten vom Umsatz bei den Flugzeugtriebwerken um einiges höher sind

als auf den meisten Gebieten der Elektronik. Der Grund liegt vielmehr darin, dass die Natur ihre Geheimnisse auf der einen Seite leichter preisgibt als auf der andern, wahrscheinlich deshalb, weil man auf dieser Seite von den endgültigen, durch die Grundgesetze gegebenen Grenzen noch wesentlich weiter entfernt ist als auf der andern.

Es ist eine allgemein gültige Tatsache, dass der technische Fortschritt auf verschiedenen Gebieten sehr verschieden schnell verläuft. Die Technik schreitet schnell voran auf allen Gebieten, in denen die Elektronik eine Schlüsselrolle spielt, und dazu gehören Computer-, Nachrichten- und Leitetchnik. Demgegenüber ist der Fortschritt besonders langsam auf den Gebieten Energie und Verkehr - sehr zum Verdruss der Mitmenschen, die sich möglichst schnell eine grundlegend neue Energietechnik wünschen!

## Kostendegression

Das schnelle Eindringen der Elektronik in mehr und mehr Gebiete der Technik ist aber nicht allein dem technischen Fortschritt zuzuschreiben; auch der Verlauf der Kosten hat massgebend dazu beigetragen. In Bild 1 wurde gezeigt, wie sich die Anzahl Elemente auf einem IC, beginnend mit dem diskreten Transistor, seit 1956 ver500 000facht hat. Es ist bemerkenswert, dass während dieser ganzen Zeit die Kosten eines ICs ungefähr konstant geblieben sind und dass ein gängiger IC heute - unter Berücksichtigung der Geldentwertung - nicht mehr kostet als damals ein diskreter Transistor der ersten Generation. Je aufgewendetem Franken erhalten wir heute eine unvergleichlich höhere Gegenleistung als ehemals. Ein Vergleich mit Energie- und Verkehrs-

anlagen, deren Kosten im gleichen Mass wie die Geldentwertung steigen, zeigt, welche grossen Unterschiede zwischen den verschiedenen Domänen bestehen. Es lohnt sich, hier noch kurz auf eine Besonderheit der integrierten Schaltungen einzugehen, eine Besonderheit, die eng mit der Kostendegression verknüpft ist: Nämlich auf die Tatsache, dass es sich bei wesentlichen Stufen der Herstellung um photolithographische (also photographie-ähnliche) Prozesse handelt. Hochentwickelte optische Systeme besorgen die Verkleinerung und Reproduktion. Man macht sich die Tatsache zunutze, dass optische Systeme im Grund ungeheuer leistungsfähige Datenverarbeitungsanlagen sind. Die Daten treten dabei nicht als elektrische Signale auf, sondern als Lichtstrahlen oder, anders ausgedrückt, als Lösun-

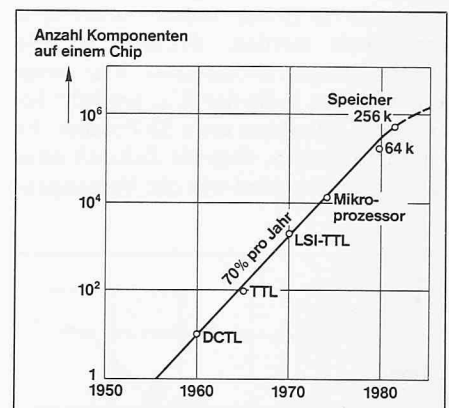
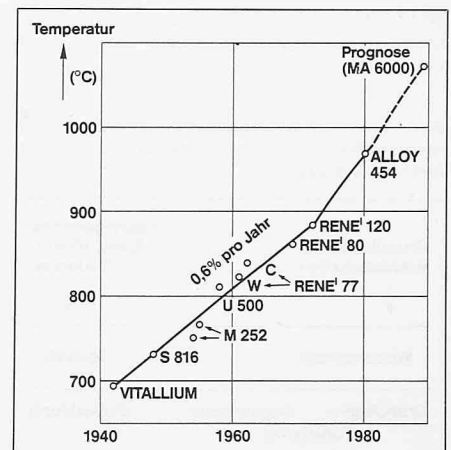


Bild 1. Anzahl Komponenten auf einem Chip in einem Bauelement der Mikroelektronik. Die Abkürzungen DCTL, TTL, LSI deuten auf die verschiedenen Generationen von Schaltkreisen hin

Bild 2. Temperatur der Werkstoffe der Schaufeln in Gasturbinen und Jet-Triebwerken. Die Namen und Nummern sind Codebezeichnungen von Legierungen



gen der Maxwellschen Gleichungen. Es ist der folgende etwas simplistische, aber anschauliche Vergleich gemacht worden: Wer bei einem Photographen von einem Negativ eine Vergrößerung herstellen lässt, bezahlt einen fixen Preis, unabhängig davon, ob auf dem Bild eine einzelne Person oder eine Menschenmenge abgebildet ist!

Verschiedene Anzeichen deuten darauf hin, dass die Kurve von Bild 1 im Begriff ist, sich abzuflachen. Die Gründe liegen nicht nur in physikalischen Gegebenheiten, sondern auch in der Problematik des Entwurfs und des Systemaufbaus.

## Leistungselektronik

Die Elektronik ist nicht nur in die Computer- und Nachrichtentechnik eingedrungen, sondern auch in die *elektrische Energietechnik*, und es hat sich das Forschungs- und Entwicklungsgebiet der Leistungselektronik gebildet. Ihre Bauelemente sind *Diode*n und *Thyristoren*, neuerdings auch *Leistungs-transistoren*. Bild 3 zeigt, wie diese Bauelemente für immer höhere Leistungen entwickelt werden. Freilich ist die Wachstumsgeschwindigkeit hier langsamer als im Falle der ICs; pro Jahr beträgt die Zunahme etwa 32 Prozent. Es ist anzunehmen, dass die Zukunft ähnlich verlaufen wird wie die Vergangen-

heit. Die Kosten solcher Bauelemente, bezogen auf ein Kilovolt-Ampere Schaltleistung, nehmen ebenfalls ab, aber mit einer Degressionsrate, die geringer ist als die 32 Prozent dieser Kurve. Der Leistungselektronik haften eben bereits Merkmale der Energietechnik mit ihrem langsameren Wandel an.

Trotzdem breitet sich die Leistungselektronik schnell aus. Höhere Elektrizitätspreise und vermehrtes Energiebewusstsein tragen mit dazu bei; denn die Leistungselektronik erlaubt es in vielen Fällen, elektrische Energie *rationeller* zu verwerten und Verluste zu vermindern. Diese Ausbreitung wird sich fortsetzen. Es ist sogar vorausgesagt worden, dass die Zeit kommen werde, da jede erzeugte und verbrauchte Kilowattstunde einmal – wenigstens einmal – durch einen Siliziumkristall fliesse!

## Der Transistor

Das gewaltige Gebäude der heutigen Elektronik ruht auf einigen wenigen, grossen Tragsäulen, von denen die wichtigste der Transistor ist. Seine Erfindung liegt 35 Jahre zurück. Inzwischen ist er in den hintersten Winkel der Erde vorgestossen, und er durchdringt sämtliche Bereiche unseres beruflichen und privaten Lebens. Angesichts dessen ist es wohl nicht übertrieben, den Transistor als *eine der bedeutendsten Erfindungen in der Geschichte der Technik* zu bezeichnen. Er ist aber auch das Ergebnis einer bedeutenden wissenschaftlichen Leistung. Die Erfindung des Transistors wird oft als Modellfall für das gute Funktionieren der Verbindung von Wissenschaft und Technik dargestellt, ebenso dafür, wie die naturwissenschaftlich begründete technische Forschung die Welt verändern kann.

## Der Innovationsprozess

Der Vorgang, für den die Erfindung des Transistors ein Modellfall ist, lässt sich am Diagramm von Bild 4 veranschaulichen. Links ist die Wissenschaft, rechts die Technik. Nahe beim linken Rand finden wir die Grundlagenwissenschaften, am rechten Rand das Endprodukt einer Entwicklung, also eine fabrikgerechte Konstruktion oder ein fabrikgerechtes Verfahren. Eine Idee hat normalerweise irgendwo in der linken Hälfte des Diagramms ihren Ursprung und wandert im Laufe der Jahre nach rechts; sie durchläuft die Phasen der angewandten Forschung, der Grundlagenentwicklung und schliesslich der Produktentwicklung.

Die Entstehungsgeschichte des Transistors ist ein Musterbeispiel für diesen Vorgang. Sie fusst auf der *Quantentheorie*, die im Jahre 1900 formuliert wurde und die in unserem Diagramm ganz am linken Rand unterzubringen ist. Die Quantentheorie führte zur *Quantenmechanik* und diese, in den 30er und 40er Jahren, zur Beschreibung der Gesetzmässigkeiten der *Kristallgitter* und des *Verhaltens von Elektronen in solchen Gittern*. Auf diesem streng wissenschaftlichen Nährboden konnte der epochemachende Erfindungsgedanke entstehen, der zum Transistor geführt hat. Seine weitere Ausarbeitung bis zu betriebsfertigen Apparaten und Anlagen ist ein Ergebnis der engen Koppelung von Wissenschaft und Technik, die uns in den vergangenen Jahrzehnten nicht nur den Transistor, sondern noch viele weitere bedeutende Neuerungen beschert hat.

## Die Front der Wissenschaft und die Front der Technik haben sich auseinanderbewegt

Man tut den Tatsachen wohl keinen Zwang an, wenn man festhält, dass die aktuelle Weiterentwicklung der Elektronik weniger nahe an den Grundlagen verläuft als damals die Erfindung des Transistors. Der rasante Fortschritt der Gegenwart besteht weniger aus der Aufnahme und Verwertung grundsätzlich neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse als vielmehr aus einer *bis aufs äusserste perfektionierten Ausnutzung des grossen Wissensschatzes in Physik, Chemie, physikalischer Chemie, Materialkunde und anderen Gebieten*. Hinzu kommt eine *hochentwickelte Apparatetechnik*, ohne welche die heutigen ICs nicht hergestellt werden könnten. Die heutige Photolithographie erfordert optische Geräte von einer Perfektion, die es vor einigen Jahren noch nicht gab. Der optischen Technik sind aber Schranken gesetzt, die durch die Wellenlänge der Lichtstrahlen festgelegt sind. Um sie zu überwinden und um Strukturen mit einer noch feineren Auflösung zu schaffen, beginnt man jetzt Apparate für die Elektronenstrahl- und Röntgenlithographie zu verwenden. Für die Entwicklung und Herstellung dieser differenzierten (und teuren) Hilfsapparaturen haben sich ganze Industriezweige gebildet, die man in ihrer Gesamtheit als *«Mikroelektronische Sekundärindustrie»* bezeichnen könnte.

Alle diese Tätigkeiten umfassen heute weniger die Schaffung neuer wissenschaftlicher Erkenntnis als vielmehr die *perfektionierte technische Realisierung*. Die Front des wissenschaftlichen

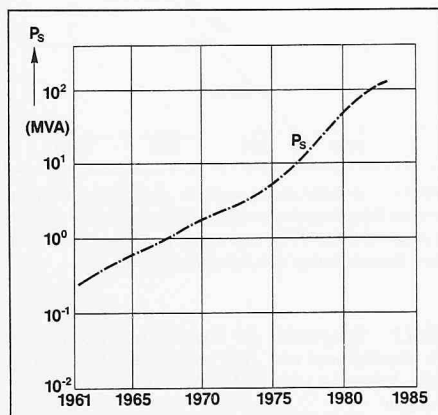


Bild 3. Schaltleistung (Sperrspannung mal Durchlassstrom) von Thyristoren, effektiv und prognostiziert

Bild 4. Der Gesamtprozess der technischen Neuerung von den Grundlagenwissenschaften bis zum fabrikgerechten Ergebnis



Forschens und die Front der technischen Realisierung, die in den 50er und 60er Jahren so nahe beieinander verlaufen sind, haben sich voneinander weg bewegt. Einmal werden sie sich wieder nähern, daran ist kaum zu zweifeln, und es werden daraus Ergebnisse entstehen, die wir uns heute gar nicht vorstellen können. Wann wird das eintreten? in 5, 10, 15 Jahren oder erst im nächsten Jahrhundert? Niemand kann das voraussagen.

### Die Elektronenröhre

Der Siegeszug des Transistors lässt uns gelegentlich vergessen, dass der *eigentliche Wegbereiter der Elektronik* nicht der Transistor, sondern die Elektronenröhre war, die 1906 erfunden wurde und die während eines halben Jahrhunderts allein das Feld beherrschte. Sogar die ersten Computer waren mit Röhren ausgerüstet: Der Computer-Gedanke kam zu früh für den Transistor, und die erste, übrigens sehr erfolgreiche Computer-Generation musste das Kunststück vollbringen, die Röhren in einer Aufgabe zu verwenden, für die sie sich im Grund nicht besonders gut eignen.

Heute sind die Elektronenröhren vom Transistor verdrängt worden – beinahe, aber nicht vollständig. Dort, wo zugleich hohe Spannungen, hohe Leistungen und hohe Frequenzen vorkommen – beispielsweise in Radiosendern – beherrschen sie auch heute noch das Feld vollständig. Es ist anzunehmen, dass sich daran noch während einer langen Reihe von Jahren nichts ändern wird. Das Vakuum hat eben elektrische Eigenschaften, an die kein Halbleiter herankommt!

### Hardware und Software

Bis hierher haben wir uns durchwegs mit Vorgängen und Objekten befasst, die materiellen Charakter haben und die sich auf die physikalischen und chemischen Gesetze stützen. Sie gehören zur Hardware. Wenn ich jetzt sage, dass daneben die Software existiert und dass sie an Bedeutung (und an Aufwand, den sie erfordert) die Hardware zu übertreffen beginnt oder bereits übertroffen hat, so spreche ich gewiss keine Neuigkeit aus.

Es ist eigentümlich, dass man von der Trennung zwischen Hardware und Software fast nur in der Datenverarbeitung und Leittechnik spricht. Diese Zweiteilung hat nämlich viel allgemeinere Gültigkeit. Der *Komponist*, der ein Musikstück komponiert, schreibt im Grunde die Software, die nachher mittels der Instrumente – der Hardware – zum Erklingen gebracht wird. Auch

die Arbeit des *Architekten*, der einen Bau entwirft, ist – auf einer etwas anderen Ebene – die Erstellung von Software: Das Ergebnis seiner Arbeit ist nicht etwas Materielles, sondern etwas, das auf dem Zeichnungspapier als Datenträger festgehalten und übermittelt werden kann.

### Forschung und Entwicklung in der Software

Ein wachsender Teil des technischen Fortschrittes spielt sich heute an der Software-Front ab, und es ist allgemein bekannt, dass in den Gestehungskosten eine Anlage der Software-Anteil den Hardware-Anteil weit übersteigen kann. Es ist klar, dass nicht nur die Erarbeitung von neuen Konzepten, sondern auch die Erstellung der eigentlichen Software (sofern es sich nicht um rein anwendungsspezifische Programme handelt) dem Vorgang von Forschung und Entwicklung zuzurechnen ist. Aber wie ist der Vorgang strukturiert? Was ist Forschung, was ist Entwicklung? Welches sind die Grundlagen, auf die man aufbaut? Muss man sie der Wissenschaft oder der Technik zurechnen? Was ist patentierbar, was fällt unter das Urheberrecht, und was lässt sich – ähnlich wie Ergebnisse der Mathematik – überhaupt nicht schützen? Das sind Fragen, die erst allmählich einer Klärung entgegengehen werden.

Gerne würde man den technischen Fortschritt in der Software ebenfalls, so wie in der Hardware, in das Diagramm von Bild 4 einpassen. Doch das gelingt höchstens nach einem erheblichen Umdenken und ist wohl überhaupt nur begrenzt möglich.

### Von Neumann-Maschine und Programmierungssprachen

Unter Software im engeren Sinn werden *Computerprogramme* verstanden. Im weiteren Sinn muss man auch die *Theorie der Programmierungssprachen* und die *Schaffung neuer Programmierungssprachen* dazurechnen. Besonders komplex sind die *gegenseitigen Einflüsse zwischen Hardware und Software*. Fortschritte in den Programmiersprachen führen zu Änderungen in der Rechnerarchitektur und umgekehrt. Dieses Gebiet bezeichnet man als *Systemtechnik*.

Zu den bedeutendsten und weitestragenden Gedanken auf dem Gebiet der Systemtechnik gehört die *von Neumann-Maschine*. Sie besteht aus einem Rechenwerk, einem Steuerwerk und einem Speicher, mit zwei wesentlichen Merkmalen: Befehle können wie Zah-

len im Speicher untergebracht und im Rechenwerk verändert werden, und die Ausführung von Befehlen kann von Zwischenergebnissen abhängig gemacht werden. *John von Neumann* publizierte das Konzept im Jahre 1946. Heute erscheinen uns diese Gedanken absolut selbstverständlich. Damals waren sie es nicht; es handelte sich um revolutionäre Ideen, deren Bedeutung nicht überall erkannt wurde. Noch Jahre später gab es Computer-Projekte, die für Befehle und Zahlen verschiedene Formate, getrennte Speicher und getrennte Datenkanäle vorsahen. Erst heute zeichnet sich durch Fortschritte in der Hardware und in der Informatik die Notwendigkeit von Rechnerarchitekturen ab, die vom von Neumann-Prinzip abweichen.

Die von Neumann-Maschine liegt mir auch aus einem persönlichen Grund sehr am Herzen: Ich war selbst einer der Mitarbeiter von Neumanns und habe an der Anwendung und der Verbreitung seines Gedankenguts aktiv mitgewirkt.

Einige Jahre später erfolgte ein weiterer Schritt von grundlegender und weitreichender Bedeutung: Die *Programmierungssprachen*. Soll man das eine Erfindung nennen? Oder ein Konzept? Diese Frage muss offenbleiben. Ansätze zu Programmierungssprachen gab es ungefähr gleichzeitig an verschiedenen Orten, aber jedenfalls gehört das in der *Schweiz* und in *Deutschland* von *Bauer*, *Rutishauser* und *Samelson* erarbeitete *Algol* zu den frühesten und gleichzeitig wegweisenden Ergebnissen dieser Art. Auch bei den Sprachen wurden seitdem laufend neue Generationen mit neuen Fähigkeiten entwickelt. Auf *Algol* folgte *Pascal*, zur Zeit ist *Ada* in der Einführung begriffen. Insgesamt beläuft sich die Zahl der Programmierungssprachen, die geschaffen werden, auf mehrere hundert.

Von Neumann-Maschine und Programmierungssprachen waren zweifellos Ergebnisse der Forschung. Aber sie waren andersgeartet als das, was man gewohnt war. Man hatte sich daran gewöhnt, dass Mathematik, Physik und Chemie ein festgefügtes Gebäude bilden, das auf einem soliden Fundament steht und das über Jahrhunderte aufgebaut wurde. Zu diesem Gebäude ist ein Forschungsergebnis ein neuer Baustein, der genau an seinen vorbestimmten Platz passt. Die Front der Forschung – also die Grenze zwischen dem Bekannten und dem Unbekannten – ist definiert. Aber Neuerungen wie die Programmierungssprachen und die von Neumann-Maschine passen nicht in dieses Schema. Die Systemtechnik ist in gleicher Weise ein strukturiertes Gebiet. Es existiert kein über lange Zeit ge-

bautes und gefestigtes Fundament, auf dem sie ruht. Vorläufig müssen wir uns mit Begriffen wie Systemtechnik und Software begnügen und uns damit abfinden, dass die Grundlagen dazu erst im Entstehen begriffen sind, uns aber gleichzeitig darüber freuen, dass eine ununterbrochene und reiche Ernte von bedeutenden und nützlichen Ergebnissen auf uns zukommt. Für die Gesamtheit des Wissens um den Computer ist die Bezeichnung «Informatik» geschaffen worden, die sowohl die Hardware als auch die Systemtechnik enthält. Im Englischen ist die Bezeichnung «Computer Sciences» geläufig. Die Informatik ist heute ein etabliertes Lehr- und Forschungsgebiet; es gibt Hochschul-Abteilungen für Informatik, es gibt den Titel des Informatik-Ingenieurs.

### Die Organisation von Forschung und Entwicklung

Entsprechend dem andersgearteten Vorgang des Neuerungsprozesses auf den Gebieten Software- und Systemtechnik stellen sich uns neue Aufgaben in der Führung von Forschung und Entwicklung. Wie ein grosses Forschungslaboratorium in Physik oder Chemie zu organisieren und zu führen ist, weiss man auf Grund einer jahrzehntealten Erfahrung, und es gibt dafür viele erfolgreiche Vorbilder. Anders ist es in der System- und Software-Technik. In den Anfängen bestand dieser Neuerungsprozess aus der Tätigkeit von Einzelpersonen oder kleinen Gruppen; Fragen der Führung und Organisation warfen keine Probleme auf. Die Zeiten haben sich gewandelt. Heute müssen Hunderte oder sogar mehr als tausend Personen für die Lösung gemeinsamer Aufgaben eingesetzt werden. Wie eine solche Organisation – man spricht von eigentlichen *Software-Fabriken* – zu gliedern und zu führen sei, ist eine Frage, deren optimale Lösung noch längst nicht gefunden ist.

### Aktuelle Forschungsaufgaben

Welches sind nun auf dem Gebiet der Software- und Systemtechnik die aktuellen und drängenden Forschungsauf-

gaben – mit anderen Worten: Wo verläuft die Front zwischen dem Bekannten und dem Gesuchten? Eine Aufzählung und Begründung von aktuellen Forschungsaufgaben müsste Gegenstand eines umfangreichen Berichtes sein; hier fehlt der Raum dazu, wir müssen uns auf Stichworte beschränken.

Zu den aktuellsten Entwicklungsrichtungen gehören zweifellos die *Multi-computer-Systeme*, ihre Architektur und ihre Programmierung. Das Entstehen von solchen Systemen ist das Ergebnis der Fortschritte sowohl auf dem Gebiet der integrierten Schaltkreise als auch bei der Beherrschung paralleler anstelle von sequentiellen Programmabläufen. Die sinkenden Kosten und die schrumpfenden Abmessungen erlauben heute den Aufbau von Systemen, in denen der simultane Ablauf von Verarbeitungsvorgängen in grossem Umfang verwirklicht wird. Solche Systeme werfen aber Fragen auf, die in der Von-Neumann-Maschine nicht einmal andeutungsweise existierten. Einige Stichworte sind: Multiprozessoren und Mehrfach-Betriebssysteme; Rechnetetze; zuverlässige und fehlertolerante Systeme; Programmierungssprachen für gleichzeitige, kooperierende Abläufe; theoretische Modelle. Diese und ähnliche Fragen sind heute Gegenstand von weltweit tätigen Forschungs- und Entwicklungsgruppen und gehören auch bei BBC zu den Forschungszielen mit Priorität.

### Der Kreis schliesst sich

Weiter oben wurde darauf hingewiesen, dass sich die Kurve von Bild 1 abzuflachen beginnt und dass die Gründe dafür nicht nur in physikalischen Gegebenheiten, sondern auch in der Problematik des Entwurfs der ICs zu suchen sind.

Die Feststellung, dass die Kosten eines einzelnen ICs trotz gewaltiger Vermehrung der Schaltelemente ungefähr konstant geblieben sind, gilt wohl für die Herstellung, nicht aber für den Entwurf. Die Kosten des Entwurfs steigen in beängstigender Weise. Es ist abgeschätzt worden, dass der Entwurf eines IC ungefähr 100 Dollar je Schaltelement kostet. Danach wären die Ent-

wurfskosten sogar proportional zur Anzahl Schaltelemente! Diese Zahl wird nur dann unterschritten, wenn hochgradig repetitive Strukturen vorkommen oder wenn bereits vorhandene Submoduln verwendet werden können. Die Zahl der Schaltelemente auf einem IC geht bald in Richtung einer Million. Es ist offenkundig, dass für den Entwurf grundlegend neue Wege beschritten werden müssen. Wir befinden uns heute mitten in einem Vorgang, der in seltsamer Weise einer Entwicklung ähnelt, welche die Computerbenutzer vor 30 Jahren miterlebt haben.

Die frühen Computer wurden in Maschinensprache programmiert; in den allerersten Modellen musste man das Programm sogar im Dualsystem (oder allenfalls im Oktalsystem) niederschreiben und eintasten. Man empfand diesen Zustand nicht einmal als besonders unbequem: Die Möglichkeit, die gestellte Aufgabe mit Computer statt von Hand zu lösen, rechtfertigte diese Mühe bei weitem. Dann kamen die Programmierungssprachen und die Compiler, ohne die wir heute gar nicht mehr arbeiten könnten.

Im Vorgang, der zu einem IC führt, erleben wir heute folgendes: Bisher musste zuerst der elektrische Schaltkreis entworfen werden; dann erfolgte die Übertragung auf die verschiedenen Masken, deren Vorlage auf einem Zeichentisch mit grosser Genauigkeit aufgezeichnet wurde. Nun entwickelt sich die Möglichkeit, nicht nur den Entwurf der Schaltkreise, sondern auch die gesamte Graphik zu automatisieren, das heisst, durch einen Computer ausführen zu lassen. Die Zeichenarbeit sowohl für die Schaltkreise als auch für die Maskenstrukturen wird automatisiert. Damit wird ein weiteres Mal eine mühsame Arbeit vom Menschen auf die Maschine übertragen, diesmal aber nicht in der Erstellung von Software, sondern im Entwurf und der Herstellung der Hardware.

Vortrag, gehalten an den Internationalen Pressetagen von BBC

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. A. P. Speiser, Chef der Konzernforschung, BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie., 5401 Baden.