Vom Zahnrad zum Chip

Autor(en): **Kneubühler, J.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **73 (1982)**

Heft 19

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-905022

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Vom Zahnrad zum Chip

J. Kneubühler

681.3(091);

Es wird ein geschichtlicher Überblick über die technische Entwicklung von der ersten Rechenmaschine bis zu den modernsten Computer-Bausteinen gegeben.

L'article présente l'historique de l'évolution technique de la première machine à calculer jusqu'aux composants les plus avancés des processeurs modernes.

Einleitung

Datenverarbeitungsanlagen sind im Begriff, die automatisierte Technik und soziale Struktur unserer Gesellschaft in einem Masse zu beeinflussen wie kaum eine andere Erfindung des industriellen Zeitalters. Dies ist um so erstaunlicher, als es kaum 35 Jahre her ist, dass die erste, wirklich leistungsfähige Datenverarbeitungsanlage fertiggestellt worden ist. In dieser kurzen Zeitspanne haben diese Anlagen jedoch eine derartige Perfektion erreicht, dass man mitunter sogar von einer «künstlichen Intelligenz» und von «denkenden Maschinen» spricht. Natürlich sind dies Übertreibungen. Eine Datenverarbeitungsanlage führt genau das aus, was ihr vom Menschen in Form eines Arbeitsprogramms aufgegeben wird. Ist dieses Programm für alle möglichen Varianten der Parameter einmal festgelegt, so wird es von der Datenverarbeitungsanlage mit bisher nicht gekannter Schnelligkeit, Zuverlässigkeit und Genauigkeit ausgeführt. Diese Eigenschaften sind die Ursachen dafür, dass Datenverarbeitungsanlagen heute in allen Zweigen unseres wirtschaftlichen, technischen und wissenschaftlichen Geschehens Eingang gefunden haben. Ja, heute sind die Datenverarbeitungsanlagen sogar aus dem Alltag kaum mehr wegzudenken.

Der Geschichte der Datenverarbeitung gingen einige Jahrhunderte weniger bewegter Zeiten voraus.

Erste Rechenmaschinen

Als der 19jährige *Blaise Pascal* (1623 bis 1662) [1] im Jahr 1642 seine Rechenmaschine in Paris vorführte, staunte die ganze Welt. Dabei konnte die Maschine nur addieren. Zum Subtrahieren musste das Komplement gebildet werden. Pascal, einer der grössten Mathematiker Frankreichs, hatte die Maschine für seinen Vater gebaut, der Finanzverwalter eines französischen Departements war. Sie sollten ihm das tägliche Rechnen erleichtern.

Figur 1 zeigt ein bis heute erhalten gebliebenes Modell der Pascalschen Rechenmaschine und Figur 2 deren Arbeitsprinzip. Die Maschine enthält Zahnräder mit 10 Zähnen, wobei der Zehnerübertrag über eine Klaue c und Mitnehmerstifte vollzogen wird. Eine Sperrklinke pro Stelle soll Zahnrad und angekoppelte Zahlenwalzen in der Ablesestellung arretieren. Die Zahlenwalze f ist mit zwei reziproken Ziffernreihen versehen. Zum Subtrahieren verschob man die Abdeckplatte e und drehte den komplementären Wert ein. Die Verdienste Pascals können nicht hoch genug eingeschätzt werden, da er trotz allen technischen Schwierigkeiten mit dem Zählrad und der mechanischen Zehnerübertragung die Grundlage zu den Rechenmaschinen gelegt hat.

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 bis 1716) [1], Philosoph, Rechtsgelehrter, Mathematiker, Naturwissenschaftler, Geologe, war einer der vielseitigsten deutschen Denker seiner Zeit. Er fand auch noch Zeit, sich mit der Konstruktion mechanischer Rechenmaschinen zu befassen. Er erweiterte die Idee des Zählrades um eine wesentliche Möglichkeit, nämlich um die Multiplikation durch fortgesetzte und gezählte Addition. Ein erstes Modell stellte Leibniz im Jahre 1673 in London aus.

Zur Ausführung einer Multiplikation wurde der Multiplikand an den Einstellrädern und die niedrigste Ziffer des Multiplikators am Umdrehungszähler eingestellt. Dann drehte man das Haupttriebrad so lange, bis der Umdrehungszähler an einen Anschlag stiess. Hierdurch wurde der Multiplikand entsprechend oft stellenparallel in das Resultatwerk übertragen. Danach wurde das Einstellwerk um eine Stelle nach links verschoben und dieselbe Prozedur mit der nächsten Ziffer des Multiplikators wiederholt. In ähnlicher Weise multipliziert man heute noch mit mechanischen Rechenmaschinen. Auch Divisionsaufgaben konnten nach diesem Prinzip durch fortgesetzte Subtraktionen gelöst werden. Leibniz hat also die erste echte Rechenmaschine für die

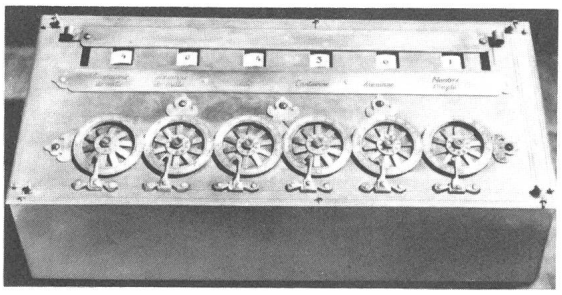

Fig. 1 Rechenmaschine von Blaise Pascal

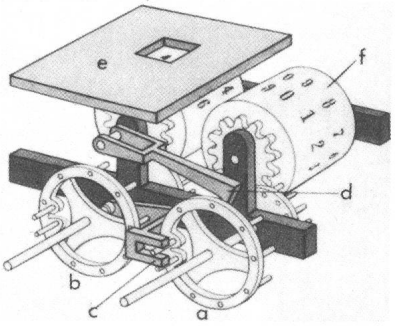

Fig. 2 Zählräder und Zehnerübertrag von Pascal
a Einerrad; b Zehnerrad; c Klaue; d Sperrklinke; e Abdeckplatte; f Zahlenwalze

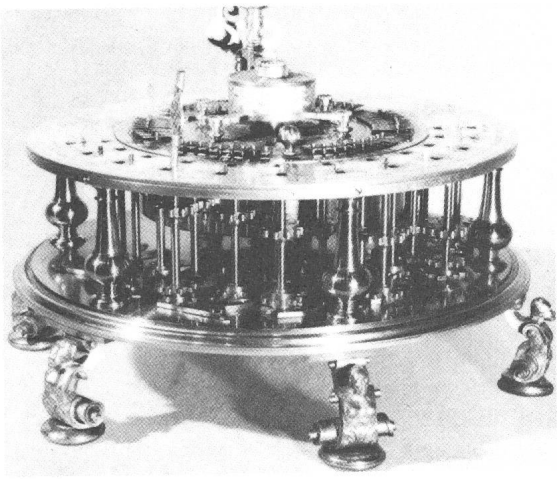

Fig. 3 Rechenmaschine von Antonius Braun (ohne Gehäuse)
Technisches Museum Wien

vier Grundrechenarten konzipiert und gebaut, denn Additionen oder Subtraktionen waren einfach Multiplikationen bzw. Divisionen mit dem Faktor 1.

Eine der ersten richtig funktionierenden Verwirklichungen der Gedanken von Leibniz ist die in Wien befindliche mechanische Rechenmaschine von *Antonius Braun*. Sie stammt aus dem Jahre 1727 und ist Karl VI. gewidmet (Fig. 3).

Es vergingen aber noch weitere 50 Jahre, bis die ersten mechanischen Rechenmaschinen durch den schwäbischen Pfarrer *Matthäus Hahn* zwischen 1774 und 1790 serienmässig hergestellt wurden (Fig. 4). Das Resultatwerk war konzentrisch angeordnet, die Eingabe erfolgte über Staffelwalzen am äusseren Rande der Maschine. Eine zentrale Handkurbel diente als Antrieb.

Im Jahre 1850 wurde in England das erste Patent für eine tastaturgesteuerte Addiermaschine erteilt. Es bedurfte nur noch der Verbindung mit dem Elektromotor, um daraus eine mechanische Rechenmaschine entstehen zu lassen, wie sie bis in jüngster Zeit verwendet wurde.

Lochkartentechnik

Die Lochkarte, das Medium zur Speicherung von Informationen in Form von Lochkombinationen, ist in ihrer Urform als Holztafel seit 1728 bekannt. In jenem Jahr baute der französische Mechaniker *Falcon* eine Webstuhlsteuerung.

Entscheidenden Einfluss auf die weitere Verwendung der Lochkarte hatte die bahnbrechende Idee des Amerikaners *Hermann Hollerith*, des ersten, der die Lochkarte als maschinell lesbaren Datenträger benutzte und somit als Begründer der maschinellen Datenverarbeitung angesprochen werden kann. Hermann Hollerith (1860 bis 1929), Sohn deutscher Auswanderer aus der Pfalz, war von Beruf eigentlich Bergwerkingenieur. Er hatte jedoch Gelegenheit, an der amerikanischen Volkszählung im Jahre 1880 mitzuarbeiten, und erfuhr dabei am eigenen Leibe, wie geisttötend und zeitraubend das manuelle Auswerten statistischer Angaben ist. So kam er vermutlich auf die Idee, die statistischen Angaben zur Person in einer Art Symbolschrift in Karten zu lochen und diese in einer elektrischen Zähl- und Registriermaschine auszuwerten (Fig. 5).

Elektromechanische Datenverarbeitung

Eine Lochkartenanlage bestand in ihrer Grundausrüstung aus Kartenlocher, Kartenprüfer, Sortiermaschine und Tabelliermaschine. Auf dem Kartenlocher wurden die auszuwertenden Daten manuell gelocht. Zur Prüfung der abgelochten Informationen wurde die Lochkarte in eine zweite Maschine, den Kartenprüfer, eingelegt. Man tastete dieselben Angaben noch einmal. Stimmten die Lochungen mit den zuletzt eingetasteten Angaben überein, so wurde die Lochkarte mit einem Prüfzeichen versehen und konnte anschliessend weiterverarbeitet werden. War dies nicht der Fall, so musste eine neue Karte gelocht werden. Die Sortiermaschine enthielt eine Abfühlstation und im allgemeinen 13 Ablagefächer, 12 für die Lochungen in einer Spalte (0–9, 11, 12er Lochung) und eines für ungelochte Spalten. Die Abfühlbürste in der Abfühlstation wurde auf die zu sortierende Spalte gestellt und bewirkte die Ablage der gerade abgefühlten Karte in das Fach, das der Lochung in der abgefühlten Spalte entsprach. Die Tabelliermaschine war ursprünglich nur eine Addiermaschine mit mehrstelligen elektromechanischen Zählwerken, basierend auf dem Zählrad-

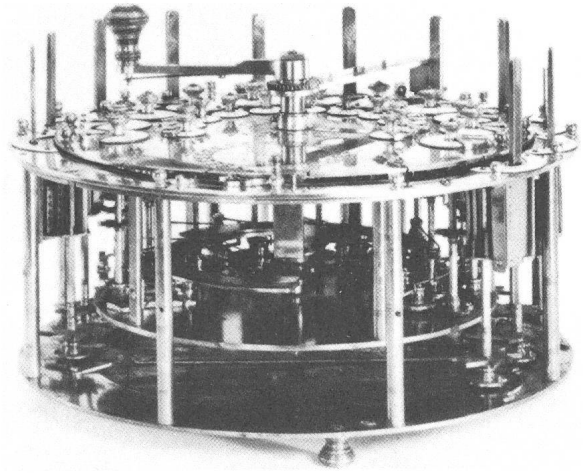

Fig. 4 Rechenmaschine von Matthäus Hahn (ohne Gehäuse)
Württembergisches Landesmuseum Stuttgart

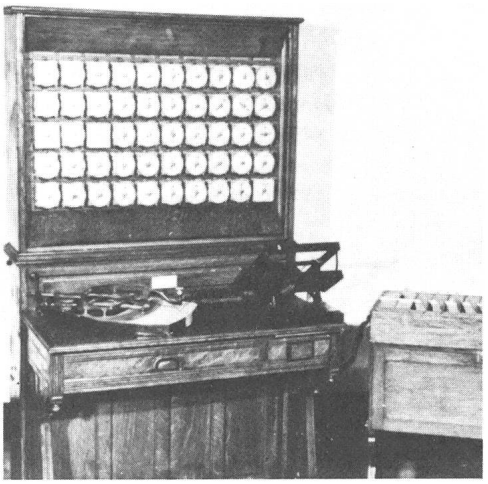

Fig. 5 Elektrische Zähl- und Registriermaschine von Hermann Hollerith

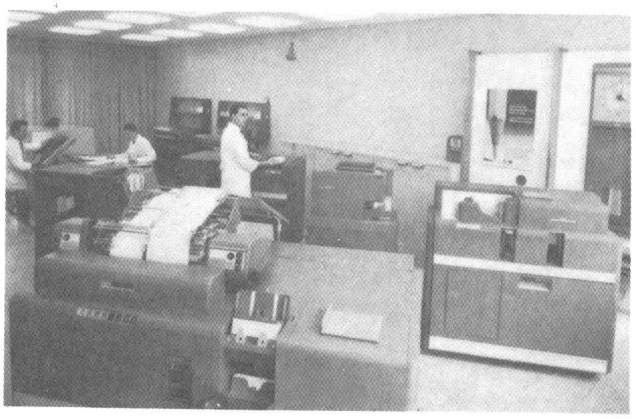

Fig. 6 Die Lochkartenmaschinen von gestern bilden die Grundlage der elektronischen Datenverarbeitung von heute

prinzip von Leibniz. Später kam ein Schreibwerk zum Drucken von Listen hinzu (Fig. 6).

Im Laufe der Zeit wurden die Maschinen durch eine Reihe von Zusätzen immer weiter verbessert. Hinzu kamen Ergänzungsmaschinen wie Mischer, Summenstanzer, Rechenlocher usw., die eine Lochkartenanlage immer leistungsfähiger und schneller gestalteten. Beispielsweise wurden die Zählräder der elektromagnetischen Zähler mit elektrisch abfühlbaren Kontakten versehen, so dass das Ergebnis maschinell erfasst werden konnte. Subtraktionen wurden durch komplementäre Addition wie bei Pascal, Multiplikationen durch fortgesetzte Addition und Stellenverschiebung wie bei Leibniz ausgeführt. Bis zum Aufkommen der mit Elektronenröhren bestückten Rechenautomaten behielt man jedoch das Zählrad als Bauelement für Rechenwerke, Impulszähler und Speicher bei. In der Lochkartentechnik erfolgte die Programmsteuerung extern über Schalttafeln, die früher an der Maschine fest angebracht, später jedoch auswechselbar angeordnet waren. Figur 7 zeigt eine solche auswechselbare Schalttafel an einer Tabelliermaschine. Die Buchsen dieser Schalttafel, die zu den Steuerelementen der Maschine führen, wurden über elektrische Schaltschnüre miteinander verbunden.

Die Steuerelemente konventioneller Lochkartenmaschinen bestanden aus elektromechanischen Relais mit Schaltzeiten von 5 bis 10 ms. Sie waren zwar, verglichen mit den

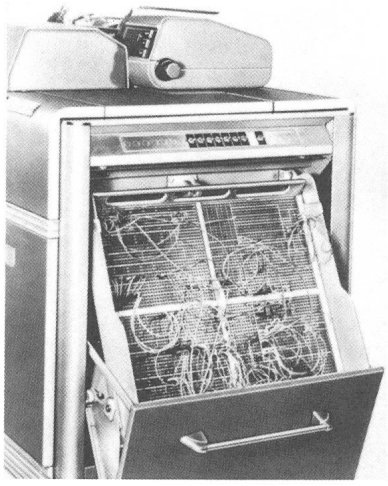

Fig. 7 Externe Schalttafelsteuerung

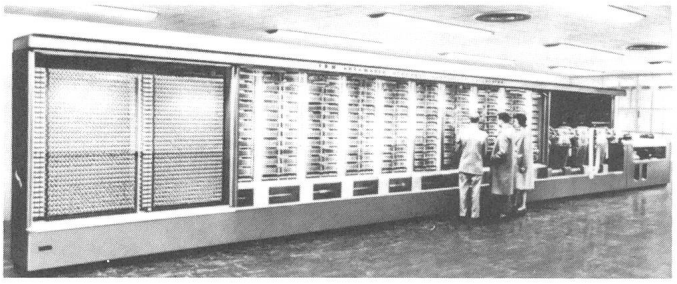

Fig. 8 Harvard Mark I

Schaltzeiten elektronischer Bauelemente, relativ langsam, für die Steuerung der vorwiegend mechanischen und elektromechanischen Geräteinheiten jedoch hervorragend geeignet. Von Nachteil war die Störanfälligkeit der Relaiskontakte gegen Verschmutzung und Kontaktabbrand.

Der alte Computer

Die von *Konrad Zuse* geleitete Rechenmaschinenentwicklung in den dreissiger Jahren in Deutschland verlief ähnlich wie diejenige in den USA. Der Mann, der den ersten amerikanischen Rechenautomaten entworfen und gebaut hat, war ein weithin bekannter Wissenschaftler, *Howard H. Aiken*, Professor für angewandte Mathematik an der Harvard-Universität in Cambridge (Mass.). 1939 begann er mit Unterstützung der IBM Corporation mit dem Bau eines Rechenautomaten, der vorwiegend Standardbauteile der Lochkartentechnik wie Relais, dekadische Zählräder, elektrische Kupplungen usw. enthielt. Er nannte seine Maschine «Automatic Sequence Controlled Computer» (ASSC). Sie ist auch unter dem Namen «Harvard Mark I» bekannt. Am 7. August 1944 wurde sie formell dem Computation Laboratory der Harvard-Universität übergeben. Durch den Krieg bedingt, wussten Aiken und Zuse nichts über ihre gleichartigen Arbeiten.

Aiken verwendete als Rechenelement und Zahlenspeicher noch das dekadische Zählrad, jedoch in einem vorher nie gekannten Ausmass. Im Vergleich zur Zuse Z 3 war Mark I eine riesenhafte Maschine mit über 700 000 Einzelteilen, 3000 Kugellagern sowie 80 km Leitungsdraht und füllte eine über 15 m lange und fast zweieinhalb Meter hohe Wandfläche. Figur 8 vermittelt einen Eindruck von der Grösse der Anlage. Sie rechnete parallel-dezimal und enthielt hierfür 72 Addierzähler zu je 23 Dezimalstellen, sog. Akkumulatoren, die sowohl zum Speichern von Zahlen als auch zum Addieren geeignet waren. Daneben gab es eine separate Einheit zur Multiplikation und Division sowie Kurzzeitspeicher aus Relaisketten und Schaltersätzen als Festspeicher. Ein Additionstakt dauerte 0,3 s, eine Multiplikation zweier zehnstelliger Zahlen ca. 6 s. Zur Dateneingabe waren Lochstreifen- und Lochkartenleser und zur Datenausgabe Kartenlocher und elektrische Schreibmaschinen vorgesehen.

Mit dem nach dem Erfinder «*Eccles-Tordan*-Schaltung» oder auch kurz «Flip-Flop» genannten Schaltelement wurde es möglich, Röhrenschaltungen in Rechenautomaten einzubauen. *T.P. Eckert*, *J.W. Mauchli* und andere Mitarbeiter der Moore School of Electrical Engineering der Pennsylvania-Universität nannten ihren ersten Röhrenrechner ENIAC, d.h. Electronic Numerical Integrator and

Computer. Der Rechner war ein Riesengerät mit über 18 000 Elektronenröhren, 1500 Relais und einem Leistungsverbrauch von mehr als 150 kW. Obschon viele Leute prophezeiten, dass ENIAC wegen der Störanfälligkeit der 18 000 Röhren niemals richtig arbeiten würde, erwies er sich doch als recht zuverlässig. Eckert hatte nämlich dafür gesorgt, dass die Röhren mit nur 25% ihrer Nennleistung betrieben wurden, und erreichte damit eine Ausfallrate von 2 bis 3 Röhren pro Woche, eine für damalige Verhältnisse beachtlich hohe Zuverlässigkeit.

Neue Wege beim strukturellen Aufbau wurden noch nicht beschritten. ENIAC rechnete wie Mark I parallel-dezimal. Das dekadische Zählrad wurde einfach durch zehn Flip-Flops für die Ziffern 0 bis 9 ersetzt. Der Datentransport innerhalb des Rechners, z. B. zwischen zwei 10stelligen Akkumulatoren, erfolgte stellenparallel auf 10 «Adern» eines Datenkanals. Die Anzahl der Impulse auf jeder Ader entsprach der zu übertragenden Ziffer, neun Impulse für die Dezimalziffer «9» oder ein Impuls für die Ziffer «1». Der Grundtakt zur Erzeugung der Rechenimpulse wurde von einem 10-kHz-Impulsgenerator vorgegeben. Ein Additionszyklus dauerte 200 µs, eine Multiplikation zweier zehnstelliger Zahlen 2,8 ms.

ENIAC war ursprünglich zur Berechnung ballistischer Tafeln konzipiert worden. Hierfür war seine Flexibilität und Speicherkapazität ausreichend. Als man jedoch daranging, ihn für universellere Aufgaben einzusetzen, zeigten sich bald seine Grenzen. Es spricht jedoch für ENIAC und seine Konstrukteure, dass er trotz des raschen Fortschritts in der elektronischen Rechenmaschinentechnik noch bis 1955 nützlich und erfolgreich eingesetzt werden konnte.

Das Computerzeitalter

Bis zu Mark I hat der Mensch Jahrtausende verbracht. Was seither in knapp vierzig Jahren geschehen ist, ist atemberaubend und wäre ohne intensive Forschung sicher nicht möglich gewesen. Bei IBM z. B. gehen jährlich 6 bis 8% des Umsatzes in die Forschung (Grundlagenforschung und angewandte Forschung, Produkteentwicklung, wissenschaftliche Zentren), das sind jeweils über eine Milliarde Dollar.

Die Ziele der Grundlagenforschung sind über die Zeit die gleichen geblieben: Schritthalten mit dem neuesten Stand der wichtigen Wissenschaften, Erforschung und Erweiterung der technologischen Grenzen und Suche nach neuen Technologien. Eines der drei IBM-Forschungslaboratorien befindet sich in Rüschlikon bei Zürich. Die Mannigfaltigkeit der notwendigen Grundlagenforschung mögen folgende Forschungsprojekte aus der jüngsten Zeit dokumentieren: Supraleitertechnik zur Messung ultraschneller elektrischer Signale, Spracherkennung, Messgeräte für Laser-Wellenlängen, Laser-Galvanotechnik, bipolare Transistorschaltkreise im Subnanosekundenbereich, kleinste experimentelle Schaltkreiselemente.

Etwa Mitte der fünziger Jahre begannen Transistoren und Dioden die Elektronenröhre abzulösen. Transistoren zeichnen sich durch kürzere Schaltzeiten, kleinere Abmessungen und geringere Verlustleistungen aus. Zunächst montierte man die Transistoren als Einzelkomponenten wie Widerstände und Kondensatoren auf Schaltkarten und lötete sie in die Schaltung ein. Die Weiterentwicklung führte dann zu immer kleineren Abmessungen. Bei der «hybriden» Technik, Anfang 1964 eingeführt, wurden zwar immer noch diskrete Schaltelemente verwendet, die Transistoren und Dioden waren aber bereits zu 0,5 mm² kleinen Siliziumplättchen zusammengeschrumpft. Diese Plättchen waren mit 3 bzw. 2 winzigen Anschlusskugeln versehen, mittels deren man sie auf die Leiterzüge der elektrischen Schaltverbindungen eines Keramikträgers auflötete. Der Keramikträger, ein sog. Substrat, war etwa 1.5 cm² gross. Auf seiner Oberseite waren Widerstände und Leitungszüge im Siebdruckverfahren aufgebracht, die Unterseite enthielt Anschlußstifte, welche die Verbindung zu den übrigen Schaltelementen und Funktionseinheiten herstellten.

Ende der sechziger Jahre gelang es schliesslich mit wirtschaftlich vertretbaren Prozessen, sämtliche Einzelkomponenten nebst den elektrischen Verbindungsleitungen in das Innere des Siliziums zu verlegen, sie in den Festkörper «hineinzuintegrieren». Man spricht deswegen auch von einer integrierten oder, da es sich um einen einzigen Baustein handelt, auch von einer monolithischen Technik.

Die Schaltzeiten konnten gegenüber den Elektronenröhren der ersten Rechenautomaten infolge der Miniaturisierung monolithischer Technik um etwa 3 Grössenordnungen verbessert werden (Fig. 9). Für die Packungsdichte ergeben sich ähnliche Werte. Die Entwicklung in Richtung grösserer Packungsdichte und kürzerer Schaltzeiten geht weiter. Eine Abflachung des bisherigen Trendverlaufs ist vorerst nicht abzusehen, denn prinzipielle physikalischen Grenzen sind noch nicht erreicht.

Beispielsweise wurde 1953 zur Speicherung von 1 Mio. Bytes ein Raum von 11,2 m³ benötigt, 1979 mit dem Prozessor IBM 4341 noch 8,4 cm³, was einen Verbesserungsfaktor von über 10 000 entspricht. Der erste Rechner, Mark I, wog 5 t und brauchte 80 km Leitung und 330 Relais. Der Prozessor IBM 4341 wiegt 10 kg. Mark I brachte es je Sekunde auf 2000 Multiplikationen; der IBM 4341 hingegen ist 125mal schneller, d. h. 250 000 Multiplikationen je Sekunde.

Trotz der stürmischen Entwicklung sind die Grenzen der Halbleitertechnik nicht erreicht. Die Packungsdichte könnte noch um einen Faktor 100 bis 1000 erhöht werden, die

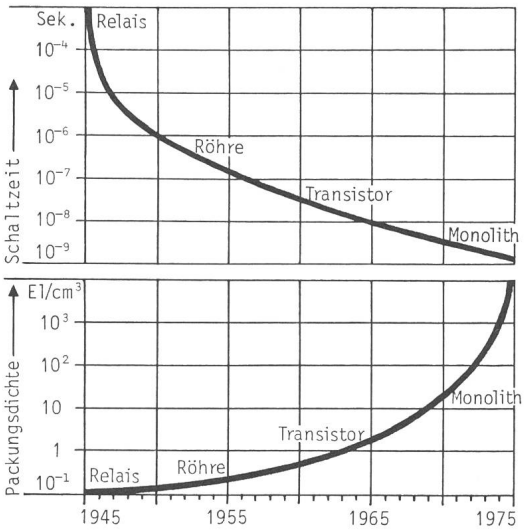

Fig. 9 Entwicklung der Packungsdichten und Schaltzeiten von Rechenelementen

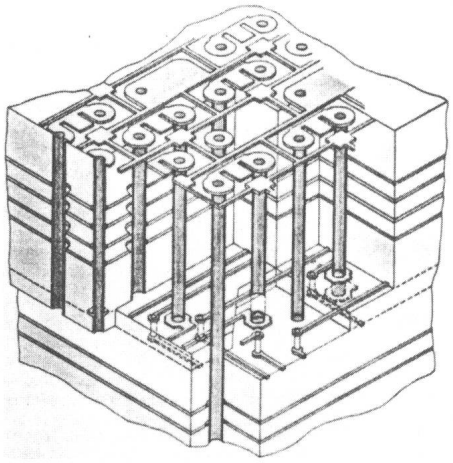

Fig. 10 Aufbau eines Logik-Chips mit etwa 400 bis 450 Schaltkreisen

Schaltgeschwindigkeit um einen Faktor von 10 bis 100. Doch liegt eine Schranke darin, dass die Wärmeabführung aus kleinsten Bereichen begrenzt ist. Die TCM-Technologie (TCM = *T*hermal *C*onduction *M*odule) verdeutlicht dieses Problem. Auch hier ist eine Lösung gefunden worden, wie die neuartige Tieftemperatur-Technologie zeigt. Die *Josephson*-Technologie verspricht einen 1000mal kleineren Energieverbrauch und eine 100mal höhere Geschwindigkeit als die Halbleiter.

Die Entwicklung seit den frühen 50er Jahren sei anhand von ein paar Zahlen illustriert. Von 1952 bis 1980 haben sich

- die Kosten einer gegebenen internen Computerleistung um den Faktor etwa 500 reduziert,
- die Kosten für die Speicherung einer gegebenen Anzahl Zeichen um etwa den Faktor 500 reduziert,
- die interne Geschwindigkeit um etwa den Faktor 13 300 erhöht.

Hätten sich andere Dinge auf ähnliche Weise entwickelt, müsste heute beispielsweise ein Mittelklassewagen für etwa Fr. 320.– erhältlich sein (1965 Fr. 10 000.–). Für den gleichen Preis wie 1965 wäre dagegen ein erheblich leistungsfähigeres Auto verfügbar: eines mit über 3000 km/h Spitzengeschwindigkeit bei einem Treibstoffverbrauch von ¼ l auf 100 km.

Die neueste Computertechnologie

Grundlage der Prozessorentechnologie bildet die Halbleitertechnik auf Siliziumbasis. Der heutige technische Stand manifestiert sich z. B. in den neuen IBM-Chips (Logik-Chips mit ungefähr 700 Schaltkreiszellen und von 4,7×4,7 mm Grösse). Aus diesen 700 Schaltkreiszellen werden etwa 400 bis 450 Schaltkreise gebildet (Fig. 10). Für die interne Chip-Verkabelung werden etwa 2,4 m Kabel benötigt. Die Chips werden in extrem reiner Umgebung fabriziert, um später mögliche Ausfälle auszuschliessen, die durch mikroskopisch kleine Verunreinigungen in der Luft verursacht werden könnten. Die Luft in den Herstellungsräumen ist ungefähr tausendmal reiner als die in einem Operationssaal im Spital. Im November 1980 wurde im Prozessor IBM 3081 erstmals die bereits erwähnte TCM-Technologie (Thermal Conduction Module) realisiert. Diese Technologie ermöglicht eine weitere Steigerung der Chips-Packungsdichte und der Chip- und Modul-Verdrahtung. Es sind 100 bis 133 Logik-Chips auf einem TCM zusammengepackt. Insgesamt enthält ein TCM ungefähr 45 000 Schaltkreise, so viel wie ein ganzes IBM System/370 Modell 145. Ein TCM misst 12,5×13,5×3,5 cm. Alle Signal- und Stromverbindungen der Chips sind in den 33 Schichten des Keramiksubstrats integriert. Zu- und Ableitungen erfolgen über 1800 Kontaktstifte an der Unterseite des Keramiksubstrats (Fig. 11). Die Wärmeableitung von den Chips erfolgt durch einen auf jedem Chip sitzenden Wärmeleitstempel, der die Wärme direkt zu einer Abdeckplatte führt, die die Keramikplatte mit den montierten Chips umgibt. Der Innenraum dieser Abdeckplatte ist mit Helium gefüllt, um die Chips vor chemischer Korrosion zu schützen und gleichzeitig den Wärmetransport zu unterstützen. Auf die Abdeckplatte wird eine Kühlplatte aufgesetzt, durch die das Kühlwasser strömt, mit dem die Wärme abtransportiert wird.

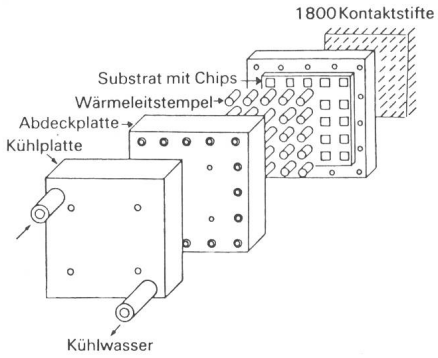

Fig. 11 Thermal Conduction Module (TCM)
Versiegelte Kapsel 12,5×13,5×3,5 cm, heliumgefüllt, wassergekühlt

Schlussbetrachtung

Die Entwicklung der industrialisierten Welt führte von der Erforschung der Materie über die Beherrschung der Energie in Form von Kraft- und Arbeitsmaschinen bis zu direkten Brennstoffantrieben und zur Erschliessung der Kernenergie. Einen Teil dieser Entwicklung bilden die Ausweitung der Nachrichtentechnik und die Computertechnik mit so faszinierenden, sich daraus ergebenden Möglichkeiten wie Weltraumforschung und Weltraumfahrt.

Der eigentliche Schlüssel zum technischen Fortschritt liegt in der sich immer wiederholenden, gegenseitig befruchtenden Wechselwirkung zwischen abstrakten, geistigen Konzeptionen und Innovationen der Technik. Denn wer weiss, was noch alles in den Köpfen der Technik und Forscher vorgeht?

Literatur

[1] *H. Wüger:* Pioniere der Elektrotechnik, Blaise Pascal, Bull. SEV 53(1962)21, S. 1006; Gottfried Wilhelm Leibnitz, Bull SEV 57(1966)11, S. 485

Adresse des Autors

Josef Kneubühler, IBM Schweiz, General-Guisan-Quai 26, 8001 Zürich.