
Kapitel 0 Einleitung

0.1. Historisches Stichwort

Läßt man analoge Rechengeräte wie Rechenschieber oder Nomogrammtafeln und Rechenunterstützende Geräte wie einen Abakus außer acht, dann kann man die Historie der Rechner ansetzen zunächst mit einer Periode, in der die Entwicklung sich konzentrierte auf

0.1.1. Mechanische Rechner

- Wilhelm Schickard (1592 - 1635) baute 1623 in Tübingen einen Addierer / Subtrahierer, in dem er das Problem des Zehnerübertrags löste.
Die Multiplikation wurde bei seiner Konstruktion über Tabellen gemacht.
In den Wirren des 30-jährigen Krieges ging seine Erfindung unter.
- Blaise Pascal (1623 - 1662) baute in Frankreich wenig später 1642 eine Addier / Subtrahiermaschine, die weite Beachtung erfuhr.
- Gottfried Wilhelm von Leibnitz (1646 - 1716) entdeckte nicht nur das Dualsystem und formulierte unabhängig von Newton die Differentialrechnung, sondern baute auch 1671 die erste Vierspezies-Rechenmaschine.
- Um 1800 erfindet J. M. Jacquard den nach ihm benannten lochkartengesteuerten Webstuhl, einen ersten programmgesteuerten Automaten.
- Charles X. Thomas (1785 - 1870) baute 1820 eine erste kommerziell erfolgreiche Vierspezies-Rechenmaschine.
- Charles Babbage (1791 - 1871), Professor der Mathematik in Glasgow erhielt 1823 vom englischen Parlament 17.000 £ zum Bau seiner *Difference Engine* zur automatischen Berechnung von Polynomen mit Hilfe der Methode der finiten Differenzen.
Auf Grund mechanischer Schwierigkeiten (Reibung!) - noch gab es keine Kugellager, spielfreie Zahnräder oder Präzisionswellen, und keine Massenproduktion von Präzisionsteilen - und Differenzen mit seinem Mechaniker Clement wurden die Arbeiten 1842 eingestellt.
Ein Nachbau wurde 1993 unter Verwendung zeitgenössischer Technik im Science-Museum London fertiggestellt und funktioniert.
1830 legte Babbage den Entwurf einer *Analytical Engine* vor, eines programmgesteu-

erten Vierspezies-Rechners mit getrennten Operations- und Speicheranweisungen, gesteuert durch Jacquard-Lochkarten.

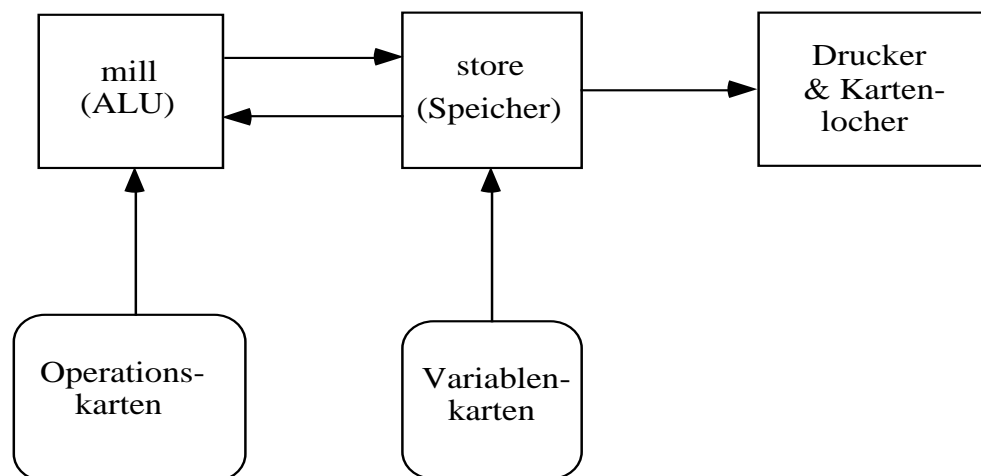
Der Speicher hat 1000 Worte zu 50 Dezimalen.

Der Rechner kennt noch keine Sprungbefehle.

Ada Augusta Countess of Lovelace, Tochter des Dichters Lord Byron und befreundet mit Babbage, schreibt Programme für die Maschine. Sie ist die erste Programmiererin. (Ihr zu Ehren wird eine Programmiersprache ADA genannt).

Die Maschine wird nie gebaut.

Analytical Engine



0.1.2. Elektromechanische Rechner

Die Verwendung elektrischer Kontakte und ihre Steuerung durch Relais erlaubt erheblich schnellere Rechner.

- Hermann Hollerith (1860 - 1929) wertet 1890 mit einer *Lochkarten-Tabelliermaschine* die US-Volkszählung für das US Bureau of Census aus. 1896 gründet er die Tabulating Machine Company, aus der 1924 unter Thomas Watson die Firma IBM hervorgeht.
- Konrad Zuse (1910 - 1995), ein deutscher Bauingenieur, baut 1936 einen mechanischen Rechner, die *Z1* (Nachbau durch Zuse 1994 im Museum für Technik, Berlin). 1938 baut er die *Z2*, einen elektromechanischen Rechner und 1943 die *Z3*, einen ersten allgemeinen programmgesteuerten Rechner, der dem Krieg zum Opfer fällt (Nachbau im Deutschen Museum, München). 1945 entwickelt er den *Plankalkül*, eine erste höhere Sprache, die viele Eigenschaften von Algol vorwegnimmt, gründet die Firma Zuse, die Rechner *Z4*, *Z25*, ... herstellt und später von Firma Siemens übernommen wird.

- Alan M. Turing (1912 - 1954), englischer Mathematiker, stellt 1936 die später nach ihm benannte Turing-Maschine vor, ein theoretisches Modell eines Universalrechners. 1943 ist er im "Ultra-Projekt" mit beteiligt am Bau des Colossus, dem ersten Röhrenrechner, eingesetzt zur erfolgreichen Entschlüsselung des Geheimschreibercodes der deutschen Wehrmacht.
- Howard Aiken (1900 - 1973), US-Mathematiker, Harvard entwirft 1937 einen elektromechanischen Rechner, der von IBM 1939 - 44 als *Harvard Mark I* gebaut wurde. Sein Speicher enthielt 72 Zahlen à 22 Ziffern, er brauchte 3 s für die Multiplikation von zwei 10-stelligen Ziffern. Der Rechner wurde im Manhattan-Projekt (Bau der ersten Atombombe) eingesetzt.

0.1.3. Elektronische Rechner der ersten Generation - Röhrenrechner -

Gekennzeichnet durch die Verwendung von

- Radoröhren für Gatterfunktionen
- Hg-Verzögerungsleitungen als Speicher
- Trommelspeicher als Massenspeicher

Der erste elektronische Rechner wurde 1943 - 46 gebaut von John W. Mauchly und J. Presper Eckert an der University of Pennsylvania. Es ist der *ENIAC* - electronic numerical integrator and calculator - und hatte 18.000 Vakuumröhren, wog 30 t und multiplizierte zwei 10-stellige Zahlen in 3 ms. Er wurde noch im Manhattan-Projekt eingesetzt.

- John von Neumann (1903 - 1957), ungarischer Mathematiker, stellt 1945 das Konzept der nach ihm benannten von-Neumann-Architektur vor.
Zusammen mit A. W. Burks und H. H. Goldsteine realisiert er 1946 - 48 am Institute for Advanced Studies, Princeton, USA die *IAS-Maschine*, den ersten modernen Rechner.

1951 bauen Eckert und Mauchly die *UNIVAC*, den ersten Rechner mit Magnetbandspeicher; sie gründeten die Firma Burroughs.

1952 wurde am MIT - Massachusetts Institute of Technology - der *WHIRLWIND* gebaut, die erste Maschine mit Kernspeicher.

In England baut Maurice V. Wilkes an der Manchester University den *ATLAS*, in dem virtuelle Speicher, Indexregister und Mikroprogrammierung erstmals realisiert werden.

1953 bringt IBM die IBM-701 als kommerziellen Rechner heraus, der eine Kathodenstrahlröhre als Hauptspeicher und Trommel- und Bandspeicher als Massenspeicher aufweist.

0.1.4. Rechner der zweiten Generation (1955 - 64) - Transistorrechner

Sie wurden möglich durch die Basiserfindung des Transistors 1947 durch Bardeen und Shockley in den Bell-Laboratories von AT & T.

Sie sind gekennzeichnet durch

- Schaltnetze mit diskreten Transistoren
- Ferrit-Kernspeicher als Hauptspeicher
Magnetplatten als Massenspeicher
- Gleitkommaarithmetik, Indexregister, I/O-Prozessoren
- Hochsprachen (Fortran 1957, Lisp 1960, Algol 1960)
Unterprogrammbibliotheken, Batchmonitore (Vorläufer von Betriebssystemen)

Es gab "Superrechner" wie

- UNIVAC LARC (Livermore Atomic Research Computer)
- IBM 7030 (STRETCH)

und "Großrechner" wie

- IBM 7094
- CDC 1604 (Control Data Corporation)

0.1.5. Rechner der dritten Generation (1965 - 74) - integrierte Gatter als Bausteine

Sie wurden möglich durch die Basiserfindung der integrierten Schaltung 1962, zunächst in Form

von SSI (small scale integration) - einige Gatter

und MSI (medium scale integration) - z. B. ALU auf einem Chip.

Kennzeichen waren

- Mikroprogrammierung, pipelining, Caché-Speicher
- Multiprogramming, Multiprocessing
- Betriebssysteme, virtuelle Speicher.

Typische Maschinen waren

- Superrechner:
 - 1964 CDC 6600 (weiterentwickelt zu den Cyber Vektorrechnern)
 - 1969 Illiac IV (Feldrechner mit 64 CPU's)
 - Großrechner:
 - 1965 IBM System / 360 (Prototyp heutiger Rechner)
- Kennzeichen: 16 allgemeine Register
32 Bit Wortlänge
Gleitkommaarithmetik

Adressierung mit Displacement,

Basisregister und Indexregister (D(B, I))

Familie von Rechnern, weiterentwickelt zu System /370, 3090

- Minirechner:

1965 Digital Equipment PDP 8

erster Rechner unter 10.000 \$ für Prozeßrechenanwendungen

12 Bit Wortlänge, 4096 Worte im Kernspeicher

Kenneth Olsen baut damit die Firma Digital Equipment (DEC) auf,
Weiterentwicklung zur PDP 11, VAX und DEC Alpha.

0.1.6. Rechner der vierten Generation (1975 - heute)

Die Basiserfindung ist der Mikroprozessor 1971 (Intel 4004, 4 Bit μ -Prozessor, ca. 7500 Gatter auf einem Chip).

Kennzeichen: LSI - VLSI - Schaltkreise (large scale integration,
very large scale integration)
Halbleiterspeicher
Mikroprozessoren (= CPU auf einem Chip)
(Minirechner (CPU + Interface + Speicher auf einem Chip)
massive Parallelität
graphische Benutzeroberflächen
objektorientierte Sprachen

Typische Maschinen

- Superrechner:

1980 CRAY-1 (Vektorrechner, entwickelt von Seymore Cray, spätere Maschinen
CRAY X-MP, CRAY-90, T3D,...)

1990 TM 1 (Feldrechner mit 2^{16} Prozessoren, Firma Thinking Machines)

- Großrechner:

- IBM 3090 (4 parallele CPU's) Nachfolge der Systeme /360 und /370

- Workstations: Unix-Betriebssystem

- SUN-SPARC (Rechner mit RISC-Architektur)

- Silicon Graphics (Rechner mit schneller Graphik)

- PC's (personal computer):

- Apple Macintosh

Steve Jobs baut damit die Firma Apple auf;

erste brauchbare graphische Benutzeroberfläche

Rechner auf Basis Motorola 680xx μ -Prozessoren

- IBM-PC (auf Basis Intel 8088 - 8086 - 80286 - 80386 - 80486 - μ -Prozessoren)

Bill Gates baut mit dem Betriebssystem DOS der PC's seine Firma Microsoft auf, (heute weiterentwickelt zu Windows '95).

Trends:

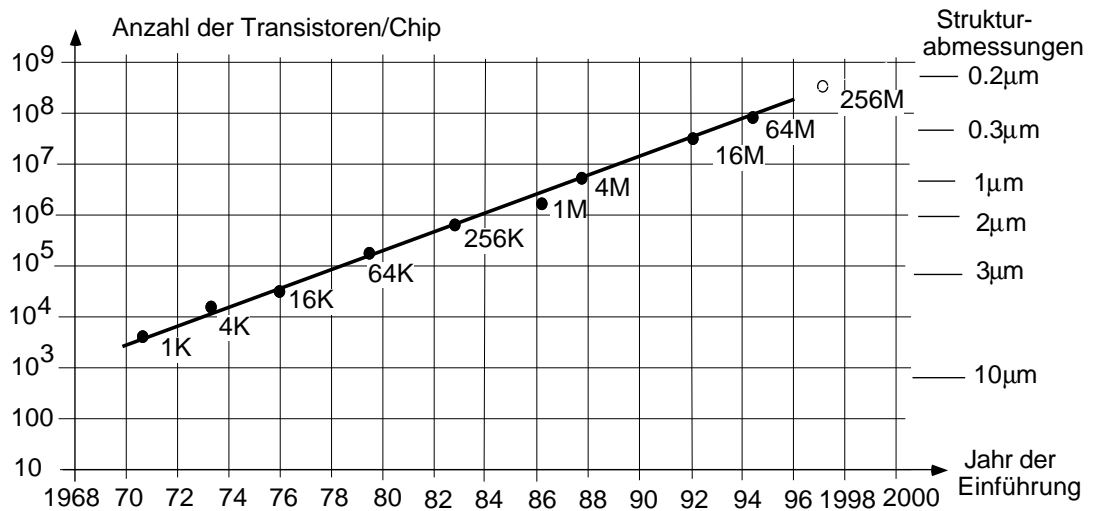
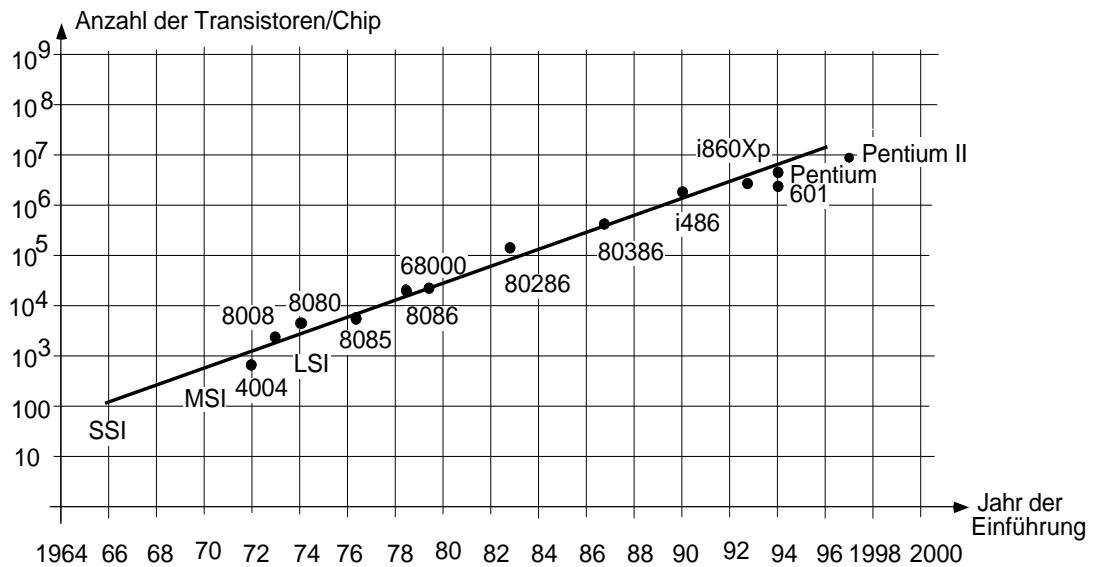
- CPU eines Großrechners auf einem Chip
 - IBM: μ IBM /370
 - DEC: α -Prozessor (64 Bit Wortlänge, 150 MHz Clock)
 - Intel: Pentium-Pro
 - Motorola: Power-PC 604
- umfangreiche Halbleiterspeicher: 8 - 64 - 512 MB
- große Massenspeicher: Platten mit einigen GB
- CD-ROM statt Disketten zum Transport von Daten und Programmen
- Vernetzung der Rechner lokal und weltweit

0.2. Treibende Technologie

Die Entwicklung der Informatik wurde nur möglich durch die Entwicklung der Technik der integrierten Schaltungen, d. h. die *gezielte Herstellung mikroskopisch kleiner Strukturen auf der Oberfläche von Halbleitern*, die ihrerseits basiert auf Materialwissenschaft (Herstellung hochreiner, großer Silizium- und Gallium-Arsenid-Einkristalle) und Verfahrenstechnik (Photolithographie, Ätzverfahren, Reinraumtechnik, gezieltes Einbringen von Verunreinigungen - Dotierung - in Einkristalle, Aufdampfen von Metallen).

Die Fortschritte in der Verfahrenstechnik haben sich in mehrfacher Hinsicht ausgewirkt:

- a) Die erzielbaren Strukturbreiten gingen von 1.5 \rightarrow 1.0 \rightarrow 0.5 \rightarrow 0.2 (\rightarrow 0.1) μm . Dabei ist 1 μm mit normaler Belichtung erreichbar, 0.5 μm bedingt die Verwendung von UV-Licht (Quecksilber-Lampen strahlen UV-Licht ab mit einer Wellenlänge von $\lambda = 0.254 \mu\text{m}$).
0.1 μm ist nur noch erreichbar bei Belichtung mit Röntgenlicht, z. B. aus einer Synchrotron-Quelle (BESSY - **B**erliner **E**lektronen - **S**trahlungs - **S**ynchrotron-Quelle). Dort liegen auch die Feinstrukturen in organischen Systemen (0.1 $\mu\text{m} = 1000 \text{ \AA}$ Größe von Proteinen).
- b) Durch die Strukturverkleinerung gingen auch die *Gatterlaufzeiten* zurück:
10 \rightarrow 5 \rightarrow 1 (\rightarrow 0.1) ns.
Gekennzeichnet durch TTL-Gatter mit typisch 10 ns; CMOS-Gatter auf VLSI-Chips erreichen 1 ns und in Ga-As-Schaltungen erreicht man 0.1 ns (in 0.1 ns läuft Licht 30 mm).
- c) Die Fortschritte in der allgemeinen Verfahrenstechnik schlugen sich nieder in einer Erhöhung der erreichbaren Chipgröße, bestimmt durch gewünschte Ausbeute trotz Fehlstellen auf dem Chip: 1 x 1 $\text{mm}^2 \rightarrow$ 10 x 10 $\text{mm}^2 \rightarrow$ 25 x 25 mm^2 (\rightarrow Wafer scale integration).
LSI-Chips hatten typische Größen von 1 mm^2 , ein 64 MBit-Chip hat 10 x 10 mm^2 , auf 25 x 25 mm^2 bringt man 64 CPU's eines Neurochips unter.
Ein Chip von 10 x 10 mm^2 mit Strukturhöhen von 1 μm und Strukturbreiten von 0.5 μm entspricht einem Ölgemälde von 10 x 10 m^2 mit Farbschichten von 1 mm und Pinselstrichen von 0.5 mm.
- d) Die Packungsdichte konnte auch dadurch erhöht werden, daß man mehr als eine Metallisierungsschicht auf dem Chip aufbringen lernte (bis zu 5). Dadurch lassen sich Leitungsbündel über Transistorfunktionen führen ohne Siliziumfläche in Anspruch zu nehmen, und die Verteilung der Erd- und Versorgungsleitungen elektrisch günstig gestalten, Voraussetzung für Taktfrequenzen von über 100 MHz.



Sowohl bei den Speichern wie bei den Mikroprozessoren hat man über die letzten 30 Jahre die Anzahl der Transistorfunktionen auf einen Chip als Funktion des Herstellungsjahres durch eine Exponentialfunktion beschreiben können.

Es ist klar, daß diese Entwicklung auslaufen wird - eine Exponentialfunktion divergiert! - man nähert sich den durch die Physik gesetzten Grenzen.

Die Fortschritte in der Dünnschichttechnik haben bei den magnetischen Speichern ebenfalls zu einer großen Zunahme der Speicherkapazitäten geführt von 10 MB --> 10 GB, durch Verkleinerung der magnetisierten Domänen auf Strukturbreiten unter 1 µm und entsprechende Verkleinerung der mechanisch bewegten Schreib / Leseköpfe, die Zugriffe von wenigen Millisekunden erlauben.

Auch optische Systeme sind dadurch beeinflußt worden: CD-ROM's codieren die Information durch Vertiefungen (pits) von 1 µm Breite in einer ebenen Fläche, die von einem mechanisch bewegten Laser-Lesekopf ausgelesen werden.

Bei Halbleiterlasern im nahen Infraroten mit $\lambda = 870 \text{ nm}$ ist die Struktur beugungsbegrenzt bei $1 \mu\text{m}$.

Man erreicht 600 MB auf einer CD-ROM. Durch Laser im Blauen wird man noch einen Faktor 2 gewinnen, durch Mehrschichtensysteme ggf. einen weiteren Faktor 4.

Speichert man die Information dreidimensional in einem Kristall als Volumen hologramm ab, sollten Dichten von $10^8 \text{ Bit} / \text{mm}^3$ erreichbar sein ($2 \mu\text{m}^3 / \text{Bit}$).

