

1. Vorlesung Betriebssysteme

Dr. Christian Baun

Hochschule Mannheim
Fakultät für Informatik
wolkenrechnen@gmail.com

Heute

- Vorstellung
- Organisatorisches zur Vorlesung
- Literatur
- Generationen von Computersystemen und Betriebssystemen

Dr. Christian Baun

- 2005: Diplom in Informatik an der FH Mannheim
- 2006: Master of Science an der HS Mannheim
- 2006 – 2011: Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Forschungszentrum Karlsruhe und Karlsruher Institut für Technologie
 - 2006 – 2008: D-Grid Integrationsprojekt
 - Referenzinstallation
 - Integration zusätzlicher Komponenten und nachhaltiger Betrieb
 - 2008 – 2011: Open Cirrus Cloud Computing Testbed
 - Betrieb und Optimierung von privaten Clouds
 - Entwicklung von Cloud-Werkzeugen
- 2011: Promotion an der Universität Hamburg
 - Titel: „Untersuchung und Entwicklung von Cloud Computing-Diensten als Grundlage zur Schaffung eines Marktplatzes“
- 2011 – 2012: Vertretungsprofessur an der HS Darmstadt
- Seit September 2012: Quality Specialist für HANA bei der SAP AG

Inhalt der Vorlesung Betriebssysteme

- Diskussion der Grundlagen, Prinzipien, Probleme, sowie Lösungen klassischer und moderner Betriebssysteme
 - Es geht um die **Konzepte**, nach denen Betriebssysteme aufgebaut sind und funktionieren
 - Es geht **nicht darum**, wie man seinen Drucker/Scanner/o.ä. unter einem bestimmten Betriebssystem installiert
- Diskussion der Hardware klassischer und moderner Computersysteme
 - Es soll ein Verständnis entwickelt werden, wie Entwicklungen der Hardware die Entwicklung der Betriebssysteme beeinflusst hat

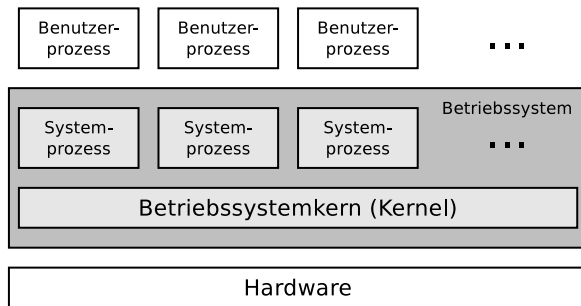
Ablauf der Vorlesung

- **Einführung in Betriebssysteme**
Entwicklung der Betriebssysteme, Klassifikationen, Betriebsarten
- **Speicherhierarchie und Speicherverwaltung**
Datenverwaltung, Adressräume, Partitionierung, Swapping, Virtueller Speicher
- **Prozesse und Threads**
Systemaufrufe, Prozess-Kontext, Prozesszustände, Prozesssteuerung, Threads
- **Prozess-Scheduling und Scheduling-Verfahren**
Prozesssynchronisation, Prozesskommunikation, Prozesskooperation
- **Dateien und Dateisysteme**
Dateien, Dateisysteme, Journaling-Dateisysteme, Extents, Defragmentierung
- **Virtualisierung und Emulation**
Vor- und Nachteile der Virtualisierung, Virtualisierungskonzepte

Literatur

- **Betriebssysteme**, *Carsten Vogt*, Spektrum Verlag (2001)
- **Moderne Betriebssysteme**, *Andrew S. Tanenbaum*, Pearson (2009)
- **Betriebssysteme**, *Erich Ehses, Lutz Köhler, Petra Riemer, Horst Stenzel, Frank Victor*, Pearson (2005)
- **Betriebssysteme**, *Eduard Glatz*, dpunkt.verlag (2006)
- **Betriebssysteme**, *Albrecht Achilles*, Springer-Verlag (2006)
- **Betriebssysteme**, *William Stallings*, Pearson (2003)
- **Betriebssysteme**, *Erich Ehses, Lutz Köhler, Petra Riemer, Horst Stenzel, Frank Victor*, Pearson (2005)
- **Betriebssysteme**, *Uwe Baumgarten, Hans-Jürgen Siegert*, Oldenbourg Verlag (2007)
- **Systemsoftware**, *Jürgen Nehmer, Peter Studium*, dpunkt.verlag (2001)

Prinzipieller Aufbau eines Betriebssystems



- Benutzerprozesse arbeiten die Aufträge der Benutzer ab
- Systemprozesse sind Komponenten des Betriebssystems und erbringen Dienstleistungen des Betriebssystems
- Alle nicht als Systemprozesse realisierten Komponenten bilden den Betriebssystemkern (\implies Kernel)

Betriebssysteme sind Teil der Systemsoftware

- Grundlage der darauf basierenden Anwendungssoftware
- Umfasst alle Software, die den Betrieb eines Rechners steuert
- Stellt eine Verbindung zur Hardware her
- Steuert die Verwendung und Zuteilung der verfügbaren Hardwareressourcen
- Zur Systemsoftware gehören:
 - **Betriebssysteme**
 - Datenbank-Verwaltungswerkzeuge
 - Dienst- bzw. Systemprogramme (z.B. Kommandozeilenwerkzeuge zur Administration des Systems und Anzeige und Bearbeitung von Dateien, Werkzeuge zum Konvertieren von Dateiformaten, Spooler für Druckaufträge, usw.)
 - Interpreter (Shell)
 - Compiler und Assembler zur Übersetzung von Quelltexten
 - Werkzeuge zur Fehlersuche (Debugger)

Wichtige Fragen

- Was für Betriebssysteme gibt es?
- Seit wann gibt es Betriebssysteme?

Generationen von Computersystemen & Betriebssystemen

- **0. Generation (bis 1940)**
(Elektro-)mechanische Rechenmaschinen
- **1. Generation (1940 bis 1955)**
Elektronenröhren, Relais und Steckfelder
- **2. Generation (1955 bis 1965)**
Transistoren und Stapelverarbeitung
- **3. Generation (1965 bis 1980)**
Integrierte Schaltungen und Dialogbetrieb
- **4. Generation (1980 bis 2000)**
Hochintegrierte Schaltungen, Mikroprozessoren, PCs/Workstations
- **5. Generation (2000 bis ???)**
Verteilte Systeme, *Das Netz ist der Computer*, Virtualisierung

0. Generation (bis 1940)

- Mechanische/elektromechanische Rechenmaschinen
- Bekannte Beispiele:
 - Rechenmaschine von Wilhelm Schickard (1623)
 - Rechenmaschine für Addition und Subtraktion mit Zehnerübertragung
 - Rechenmaschine Pascaline von Blaise Pascal (1643)
 - Rechenmaschine für Addition und Subtraktion und bis zu achtstellige Zahlen mit Zehnerübertragung
 - Leibniz'sche Rechenmaschine von Gottfried Wilhelm Leibniz (1673)
 - Rechenmaschine für alle vier Grundrechenarten und bis zu sechsstelligen Zahlen. Vollständige Zehnerübertragung
 - Differenzmaschine Nr.1 zum Lösen polynomialer Funktionen von Charles Babbage (1832)
 - Hollerithmaschine von Herman Hollerith (1888)
 - Tabelliermaschine, Lochkartensortierer, Lochkartenlocher und Lochkartenleser
 - Einsatz 1890 bei der amerikanischen Volkszählung
 - Die Firma von Hollerith wurde 1924 zur International Business Machines Corporation (IBM) umbenannt

1. Generation (1940 bis 1955)

- Die Erfindung des Computers ist eine kollektive Errungenschaft über ein Jahrzehnt und zwei Kontinente
- Die erste Generation von Computersystemen entstand gegen Ende des 2. Weltkriegs \implies Konrad Zuse, John von Neumann
- Anforderungen an einen universellen Computer:
 - Gespeichertes Programm
 - Bedingte Sprünge
 - Trennung von Speicher und Prozessor
- Rechner waren Maschinen mit teilweise über 10.000 Röhren oder Relais, die langsam und fehleranfällig arbeiteten
- Betriebssysteme und Programmiersprachen waren unbekannt
 - Der Benutzer/Programmierer startet **ein** Programm, dass direkt auf die Hardware zugreift
- Programme wurden über Steckfelder gesteckt
- An Computernetze oder verteilte Systeme war noch nicht zu denken

Bekannte Vertreter der 1. Generation

Maschine	Entwicklung	Speicher/CPU getrennt	bedingte Sprünge	Program- mierung	interne Kodierung	Zahlen- darstellung
Z1 / Z3	1936-1941	ja	nein	SW	binär	Gleitkomma
ABC	1938-1942	ja	nein	HW	binär	Festkomma
Harvard Mark 1	1939-1944	nein	nein	SW	dezimal	Festkomma
ENIAC	1943-1945	nein	teilweise	HW	dezimal	Festkomma
Manchester Mark 1	1946-1948	ja	ja	SW	binär	Festkomma
EDSAC	1946-1948	ja	ja	SW	binär	Festkomma

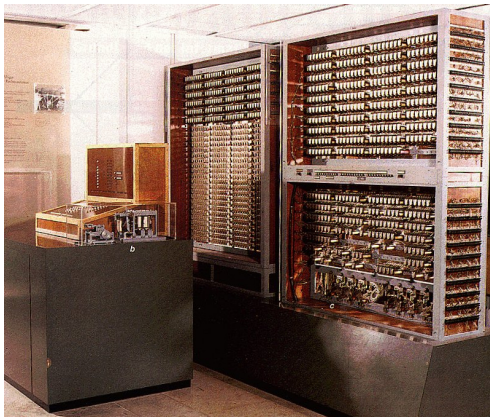
- Technologien
 - Mechanisch über Relais: Z1 und Z3
 - Elektronisch: Alle späteren

Computer, die intern nach dem Dezimalsystem arbeiten?

- ENIAC und Harvard Mark I arbeiteten parallel-dezimal
- Das dekadische Zählrad wurde einfach durch zehn Flip-Flops für die Ziffern 0 bis 9 ersetzt
- Das Addieren und Subtrahieren erfolgte über 20 Akkumulatoren mit je 10 Dezimalstellen
- Zum Multiplizieren und Dividieren gab es wie bei Mark I besondere Einheiten, die ebenfalls aus Röhrenschaltungen aufgebaut waren
- Der Datentransport innerhalb des Rechners, z.B. zwischen zwei 10 stelligen Akkumulatoren, erfolgte stellenparallel auf zehn 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
- Hinzu kam eine elfte Ader zum Übertragen des Vorzeichens
- Den Grundtakt zur Erzeugung der Rechenimpulse gab ein 10 kHz Impulsgenerator vor
- Ein Additionszyklus dauerte 200 Mikrosekunden, eine Multiplikation zweier zehnstelliger Zahlen 2,8 Millisekunden
- Die Dateneingabe erfolgte über Lochkarten oder dekadische Drehschalter, von denen etwa dreihundert vorhanden waren
- Das Programmieren erfolgte mit Schalttafeln via Schaltschnüre, Stecker und Schalter

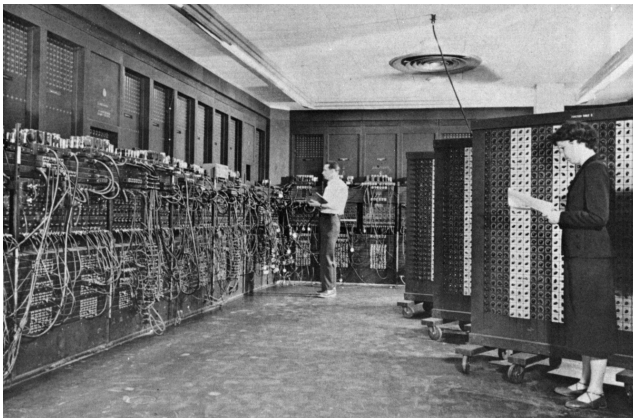
Quelle: <http://computer-modell-katalog.de/eniac.htm>

1. Generation: Zuse Z3 (1941)



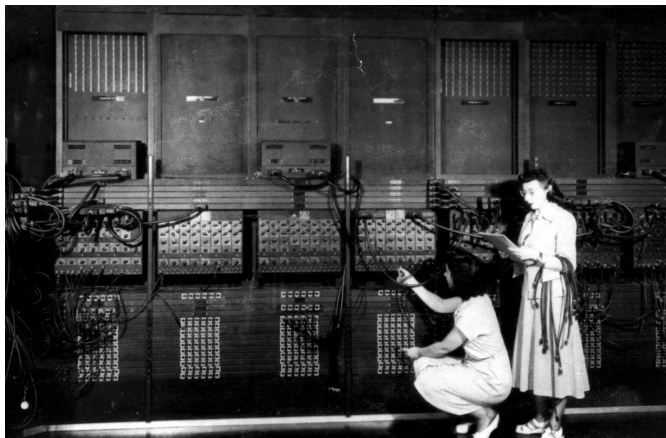
- Erster Computer der Welt (basiert auf Relais-technik)
- Erstmals Verwendung des Dualsystems

1. Generation: ENIAC (1944) (1)



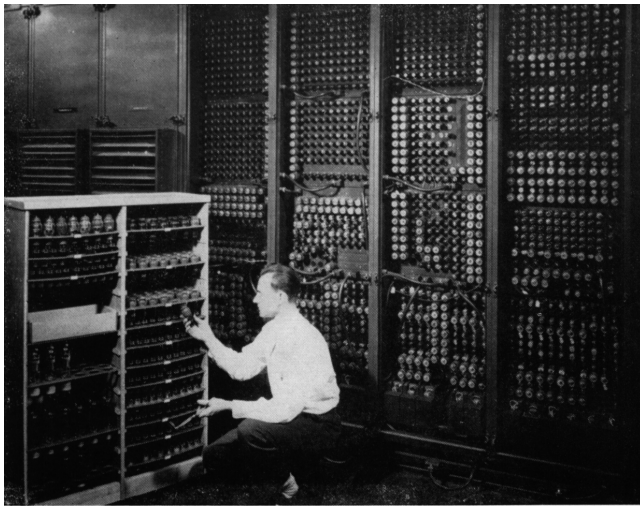
- Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC)
- Erster elektronischer Universalrechner (mit Elektronenröhren)

1. Generation: ENIAC (1944) (2)



- 17.468 Röhren, 7.200 Dioden, 1.500 Relais, 70.000 Widerstände, 10.000 Kondensatoren

1. Generation: ENIAC (1944) (3)



Replacing a bad tube meant checking among ENIAC's 19,000 possibilities.

2. Generation (1955 bis 1965)

- Einführung der Transistoren Mitte der 50er Jahre
⇒ Rechnersysteme wurden deutlich zuverlässiger
- Anfang der 50er Jahre wurde die Steckfelder durch Lochkarten abgelöst
- FORTRAN- oder COBOL-Programme wurden:
 - vom Programmierer auf Formblätter aufgeschrieben,
 - vom Eingabe bzw. Codierer in Lochkarten gestanzt
 - und dem Operator übergeben
- Der Operator koordiniert die Reihenfolge der Programme (Jobs), bestückt den Rechner mit den entsprechenden Lochkarten, lädt den Compiler vom Magnetband, und übergibt abschließend das Rechenergebnis als Ausdruck
⇒ Sehr ineffiziente Arbeitsweise
- Später wurden aus Effizienzgründen die Programme gesammelt, auf Magnetbänder eingelesen und dann im Maschinenraum verarbeitet

Beispiel für die 2. Generation: IBM 7090 (1959) (3)



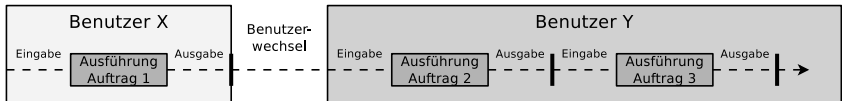
Quelle: <http://www.computer-history.info>

2. Generation: Stapelbetrieb bzw. Batchbetrieb (1)

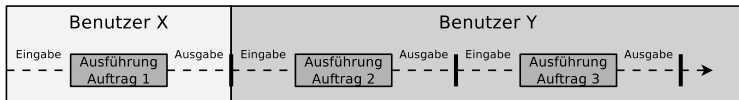
- Frühe Betriebssysteme waren **Stapelverarbeitungs-Betriebssysteme**
- Ziel: Maximierung der Prozessorausnutzung
- Bei einem Rechengesystem mit Stapel- bzw. Batchbetrieb, muss eine Aufgabe aus einer Menge von Aufgaben vollständig gestellt sein, bevor mit ihrer Abwicklung begonnen werden kann
- Programme wurden auf Lochkarten geschrieben und dem Operator gestapelt übergeben
 - Seine Aufgabe war es, den Rechner mit dem Stoß (*Batch*) von Lochkarten zu bestücken
- Der Stapelbetrieb eignet sich gut zur Ausführung von Routineaufträgen
- Auch heutige Systeme besitzen die Möglichkeit, Programmabfolgen automatisch zu bearbeiten (z.B. Batch-Dateien, Shell-Skripte, usw.)

2. Generation: Stapelbetrieb bzw. Batchbetrieb (2)

Einbenutzerbetrieb mit Einzelauftragsbearbeitung (Single User Mode)



Stapelbetrieb (Batchbetrieb)

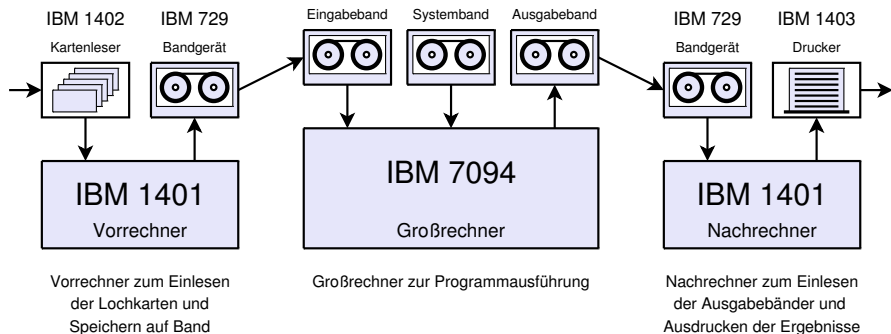


Zeit



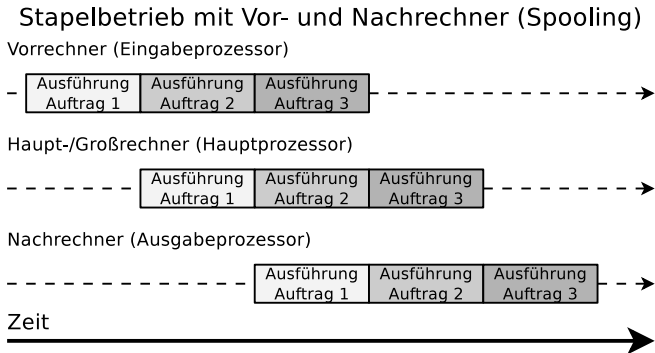
- Beschleunigung durch Automatisierung
- Problem: Beim Stapelbetrieb wird der Hauptprozessor nicht optimal ausgenutzt. Während der Ein-/Ausgabe liegt der Prozessor brach

2. Generation: Stapelbetrieb bzw. Batchbetrieb (3)



- Vor-/Nachrechner befreien den Großrechner von langsamer I/O-Arbeit
- Von Band kann viel schneller eingelesen werden, als von Lochkarten und auf Band kann viel schneller Ausgegeben werden als auf Papier
- Ziel: Vermeidung ungenutzter Rechenleistung des Großrechners

2. Generation: Stapelbetrieb bzw. Batchbetrieb (4)



- **Spooling** ist die Entlastung des Hauptprozessors durch zusätzliche Hardware für Ein-/Ausgabeoperationen
 - Ein-/Ausgabe geschieht nebenläufig zur Bearbeitung anderer Aufträge

2. Generation: Stapelbetrieb bzw. Batchbetrieb (5)

- Heute haben Computer neben dem Hauptprozessor spezielle, DMA-fähige (*Direct Memory Access*) Ein-/Ausgabeprozessoren, die Aufträge direkt in den Hauptspeicher schreiben und Ergebnisse aus diesem holen
- Spooling ist heute noch aktuell. z.B. Spoolingprozesse zum Drucken
- Üblicherweise ist die Stapelverarbeitung (Batchbetrieb) eine **interaktionslose Ausführung** einer Folge von Aufträgen (Jobs)
- Nach dem Start eines Jobs wird er bis zum Ende oder Auftreten eines Fehlers ohne Interaktion mit dem Benutzer abgearbeitet
- Bei früheren Rechnersystemen mit Stapelbetrieb erhielt der *Benutzer* das Ausführungsergebnis vom Operator

2. Generation: Stapelbetrieb bzw. Batchbetrieb (6)

- Klassischer Stapelbetrieb ist **Einzelprogrammbetrieb (Singletasking)**
 - Das Betriebssystem gestattet immer nur die Ausführung eines Programms auf einmal
 - Start eines zweiten Programms ist erst nach Beendigung des Ersten möglich

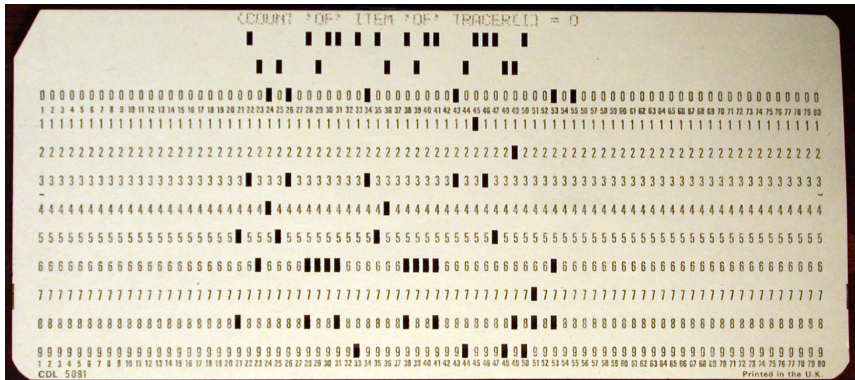
Stapelbetrieb ist heute nicht obsolet!

Rechenintensive Programme, die in verteilten Systemen laufen, sind in den meisten Fällen interaktionslose Batchprogramme

⇒ Distributed Computing und sog. Number Crunching

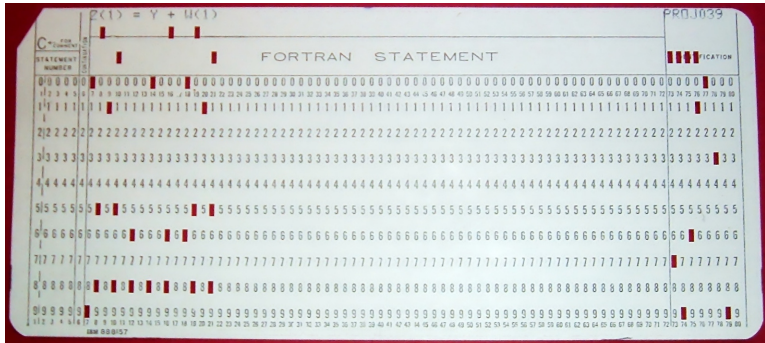
- In dieser Generation: Noch keine Computernetze und verteilte Systeme

2. Generation: Eine Lochkarte



- Jede Lochkarte stellt üblicherweise eine Zeile Programmtext mit 80 Zeichen oder entsprechend viele binäre Daten dar
- Da die Zeilenlänge von E-Mails und Textdateien heute noch typischerweise 80 Zeichen beträgt, geht auf die Lochkarte zurück

2. Generation: Noch eine Lochkarte



Bildquelle: Wikipedia

- 12 Lochpositionen für die Kodierung jedes Zeichens
 - Ziffern kodiert man mit einem einzelnen Loch in der entsprechenden Zeile
 - Buchstaben und Sonderzeichen kodiert man, indem mehrere Löcher in die Spalte gestanzt werden

Einige Betriebssysteme der 2. Generation

Betriebssystem	Veröffentlichung	Besonderheiten
Atlas Supervisor	1957	Betriebssystem für Stapelverarbeitung
GM-NAA I/O	1958	Betriebssystem für Stapelverarbeitung
UMES	1958	Betriebssystem für Stapelverarbeitung
SHARE	1959	Betriebssystem für Stapelverarbeitung
IBSYS	1960	Betriebssystem für Stapelverarbeitung

- Betriebssysteme dieser Generation dienen nur zur Überwachung der Stapelverarbeitung
 - Der Start eines Programmlaufs, die Beendigung oder der Absturz werden angezeigt
 - Diese Betriebssysteme sind also reine Monitore zur Beobachtung

3. Generation (1960 bis 1980)

- Frühe 60er Jahre: Integrierte Schaltungen setzen sich durch
⇒ Leistungsfähigere, kleinere und billigere Computer
- Anfang der 60er Jahre bildeten sich zwei Entwicklungsstränge heraus:
 - Weiterentwicklung der Stapelverarbeitungssysteme in Richtung gleichzeitig abzuarbeitende Jobs
 - Erste einfache Speicherverwaltung (*Fixed Partitions*)
- 70er Jahre: Dialogbetrieb (*Time Sharing*) bzw. Zeitteilbetrieb
 - Eine Zentraleinheit, mehrere Terminals (Dialogstationen)
 - Jeder Benutzer erhält beim Anmelden einen Benutzerprozess⇒ Ziel: Faire Verteilung der Rechenzeit
- Ende der 70er Jahre: Entwicklung des Mikroprozessors
⇒ Entwicklung des Home-Computer bzw. Personal Computer (PC)
 - 1977: Apple II. Erster Heimcomputer
 - 1981: IBM PC. Meist verkaufte Rechnerarchitektur (Intel 80x86)

Bekannte Vertreter der 3. Generation

Maschine	Entwicklung	Besonderheiten
CDC 6600	1964	Erster Supercomputer
IBM System/360	1964	8-Bit Zeichengröße. Flexible Architektur. Optimierbar für verschiedene Anwendungen
PDP-8	1965	Erster kommerzieller Minicomputer von DEC
ILLIAC IV	1969	Erster Multiprozessor-Rechner
CRAY 1	1976	Supercomputer



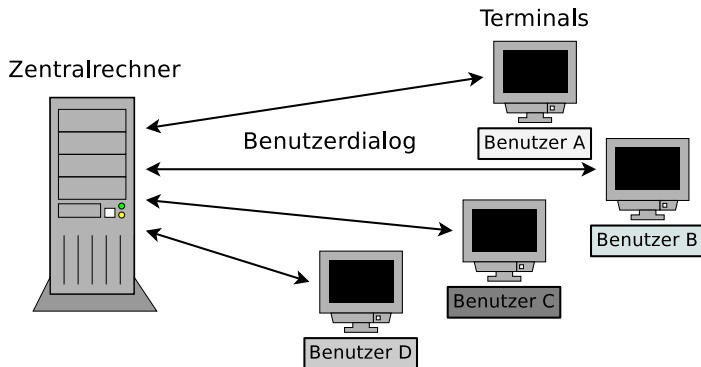
Bildquelle: tecchannel

- In dieser Generation gibt es auch das erste dezentrale Computernetz (Arpanet), Computernetze um Terminals mit Großrechnern über serielle Leitungen zu verbinden (z.B. IBM Systems Network Architecture) und proprietäre Direktverbindungsnetzwerke (z.B. DECnet)

3. Generation: Dialogbetrieb – Timesharing (1)

- Mehrere Benutzer arbeiten an einem Computer gleichzeitig und konkurrierend, indem sie sich die verfügbare Rechenzeit des Hauptprozessors teilen
- Verteilung der Rechenzeit durch Zeitscheiben (*Time Slices*)
 - Die Verteilung kann nach unterschiedlichen Strategien erfolgen
- Jeder Benutzer glaubt, dass er die gesamte Rechenleistung des Hauptprozessors stets für sich alleine zur Verfügung hat
- Erstmals können mehrere Benutzer gleichzeitig über Terminals an einem Computer interaktiv arbeiten und das Rechenverhalten beeinflussen
- Die Programme der einzelnen Benutzer sind unabhängig voneinander
- Die quasi-parallele Programm- bzw. Prozessausführung bezeichnet man als **Mehrprogrammbetrieb** oder **Multitasking**
- Ziel: Minimierung der Antwortzeit

3. Generation: Dialogbetrieb – Timesharing (2)



Mehrprogrammbetrieb (Multitasking)



3. Generation: Dialogbetrieb – Timesharing (3)

- Durch Dialogbetrieb kamen neue Arbeitsweisen in die IT, die heute selbstverständlich sind und neue Konzepte wurden notwendig:
 - **Scheduling** (*Zeitplanerstellung*): Automatische Erstellung eines Ablaufplanes (*schedule*), der Benutzern bzw. Prozessen zeitlich begrenzte Ressourcen zuteilt
 - **Swapping** (*Umlagerung*): Prozess des Ein- und Auslagerns von Speichersegmenten in den/vom Arbeitsspeicher vom/in den Hintergrundspeicher (Festplatten)
 - Swapping findet immer dann statt, wenn der Scheduler einen Prozess aktiviert (siehe Speicherpyramide)
 - **Dateisysteme**, die quasi-gleichzeitige Dateizugriffe erlauben
 - **Speicherschutz**: Der Arbeitsspeicher wird aufgeteilt und laufende Programme voneinander getrennt
 - So kann ein Programmierfehler oder Absturz eines einzelnen Programms nicht die Stabilität anderer Programme und des Gesamtsystems beeinträchtigen

Betriebssystem	Veröffentlichung	Besonderheiten
BESYS	1957	Frühes Dialogbetriebssystem. Nie veröffentlicht
CTSS	1961	Eines der ersten Dialogbetriebssystem (Timesharing)
OS/360	1964	Erstes Betriebssystem für IBM/360 Mainframes
CP/CMS	1968	Populäres Dialogbetriebssystem
Multics	1969	Vorläufer von Unix
Unics (später Unix)	1969	Mehrbenutzer-Betriebssystem der Bell Laboratories
DEC DOS-11	1970	Dialogbetriebssystem für PDP-11-Minicomputer
DEC RT-11	1973	Einzelbenutzer-, Echtzeitbetriebssystem für PDP-11-Minicomputer
Version 6 Unix	1975	Erstes kommerziell verkaufte Unix der Bell Labs
DEC CP/M	1975	Erstes plattformunabhängiges Betriebssystem
COS	1976	Cray Operating System für Cray-Supercomputer
DEC VMS	1977	Virtual Memory System für DEC VAX-Rechner
Apple DOS	1978	Betriebssystem für Apple-II-Computer
Atari DOS	1979	Betriebssystem für Atari-8-Bit-Computer
Version 7 Unix	1979	Plattformunabhängiges 16-Bit-Betriebssystem

4. Generation (1980 bis 2000)

- Aufkommen hochintegrierter Schaltkreise und exponentiell wachsende Integrationsdichte der elektronischen Komponenten
 - Prozessoren werden immer leistungsfähiger und preiswerter
 - Speicherbausteine haben eine immer höhere Kapazität
- Hohe Rechenleistung kann an jedem Arbeitsplatz installiert werden
 - Workstations setzten sich durch
 - Immer größerer Erfolg von Heimcomputern und Personal Computern
- Hauptziel der Softwareindustrie (sollte es sein): Benutzerfreundliche (grafische) Lösungen für die Benutzer schaffen, die von der zu Grunde liegenden Hardware nichts wissen wollen
 - Auf Personal Computern: MS-DOS Version 1.0 (1981)
 - Auf Workstations (SUN, SGI,...): UNIX
- Aufkommen und Etablierung von Computernetzen mit offenen Standards und von verteilten Systemen
 - Ethernet, Token Ring, WLAN
 - Client-Server, Cluster, Peer-to-Peer, Grids, Clouds,...

Einige Betriebssysteme der 4. Generation

Betriebssystem	Veröffentlichung	Besonderheiten
QDOS	1980	CP/M sehr ähnlich. 1981 von Microsoft übernommen
Xenix	1981	Unix von Microsoft. Grundlage von SCO UNIX
MS-DOS	1981	Weiterentwicklung von QDOS
PC-DOS	1981	Durch IBM fehlerbereinigte Version von MS-DOS
QNX	1982	Unix-artiges Echtzeitbetriebssystem
GNU-Projekt	1983	Ziel: Freies, Unix-kompatibles Betriebssystem
SunOS	1983	Unix für Workstations und Server von Sun Microsystems
MacOS	1984	Betriebssystem für Apple Macintosh-Computer
AmigaOS	1985	Betriebssystem für Commodore Amiga-Computer
Atari TOS	1985	Betriebssystem für Atari-Computer
Windows	1985	Grafische Oberfläche für MS-DOS
IBM AIX	1986	Unix für IBM Workstations, Mainframes und Server
GEOS	1986	Betriebssystem für Commodore 64
IRIX	1987	Unix für Workstations und Server von SGI
MINIX	1987	Unix-artiges Betriebssystem mit Mikrokern für die Lehre
OS/2	1987	Betriebssystem von IBM und Microsoft für PCs
NeXTSTEP	1987	Unix-artiges Betriebssystem für den NeXTcube
SCO UNIX	1989	Unix für Workstations und Server
Linux	1991	Freies, Unix-kompatibles Betriebssystem
BeOS	1995	Betriebssystem für PCs

5. Generation (2000 bis ????)

- Einige Schlagworte aus der 5. Generation:
 - *Das Netz ist der Computer*
 - Verteilte Systeme \Rightarrow Cluster-, Cloud-, Grid-, P2P-Computing
 - Multicore-Prozessoren und parallelisierte Anwendungen
 - Virtualisierung \Rightarrow VMware, XEN, KVM,...
 - Freie Software (OpenSource) \Rightarrow Linux (Android), BSD,...
 - Kommunikation überall \Rightarrow mobile Systeme
 - Neue Arbeitsformen \Rightarrow e-Science, e-Learning, e-Business,...
 - Dienste und Services \Rightarrow Web Services (REST, SOAP)
 - Ressourcen nach Bedarf mieten bzw. anfordern \Rightarrow On Demand
 - Personal Computing vs. Parental Computing (z.B. iOS)
- Schlagworte für später:
 - Quantencomputer (wohl eher 7. oder 8. Generation)