

Geschichte der Betriebssysteme

Ein Streifzug durch die
Entstehung moderner
Betriebssysteme

© 2006 Bernd Onasch

Übersicht

Einführung

Historischer Streifzug

Betriebssystemvoraussetzungen

Mathematische Grundlagen

Entwicklungsstufen der Hardware

Entwicklung von Eingabesystemen

Betriebssystembestandteile

System- / Ressourcenverwaltung

Dateiverwaltung

Visualisierung

Vernetzung

Programmierung

Betriebssysteme

Großrechnersysteme

Betriebssysteme System V Unix

Betriebssysteme BSD Unix

Experimentalsysteme

Microcomputer Systeme

Betriebssystem

Betriebssystem (Operating System)

Grundlegende Software eines Rechners. Das Betriebssystem organisiert die Interaktion mit der Hardware, die Prozessverwaltung, die Speicherverwaltung und bietet eine Schnittstelle für den Benutzer und die Applikationen an.

Die Architektur des Betriebssystems und deren zugrundeliegende Philosophie wirkt sich sehr stark auf die Programmierung, den Programmierstil und die Implementierung der technischen Interaktion zusätzlicher Komponenten aus.

(frei zitiert aus dem sog. Jargon File)

Voraussetzungen für ein Betriebssystem

- Mathematische Grundlagen
- Entwicklungsstufen der Hardware
 - Architektur
 - Rechenwerk (CPU)
 - Datenspeicher
- Entwicklung von Eingabesystemen
 - Interaktion
 - Visualisierung

Bestandteile von Betriebssystemen

- System- und Ressourcenverwaltung
- Dateiverwaltung
- Visualisierung
- Vernetzung
- Programmierung
- Applikationen

Historischer Streifzug



Von mechanischen Rechenmaschinen zu modernen Computern

Mechanische Rechenmaschinen (I)

1623 Wilhelm Schickard

Rechenmaschine für Multiplikationen

1666 Sir Samuel Morland

Rechenmaschinen je für Multiplikation und Addition

1642 Blaise Pascal

Rechenmaschine für Additionen

1673 Gottfried Leibnitz

Rechenmaschine für die vier Grundrechenarten

Wartung: Feinmechanische Herausforderung

Mechanische Rechenmaschinen (II)

1770 Philip Matthäus Hahn

Rechenmaschine mit Staffelwalzenprinzip

Wartungsfreundliche Mechanik

1820 Charles Xavier Thomas

Rechenmaschine "Arithmometre"

Werkstattmäßige Herstellung

1822 Charles Babbage

Differenzenrechenmaschine für Tabellenberechnungen

Was war der „erste“ Computer?

Definitionsabhängig existieren verschiedene Kandidaten:

1822 Differenzenrechenmaschine (Charles Babbage)

1936 Mechanischer Rechner Z1 (Konrad Zuse)

1941 Relaisrechner Z3 (Konrad Zuse)

1944 Relaisrechner MARK I (Howard Aiken)

1946 Elektronischer Rechner ENIAC (J. Eckert)

1951 Kommerzieller Rechner UNIVAC (J. Eckert)

1953 Kommerzieller Rechner IBM 701 EDPM

1959 Transistorrechner IBM 1401

Entwicklungsstufen der Computer

1. Generation (ca. 1940-1958)
Relaisrechner
2. Generation (1959-1964)
Basierend auf Transistoren und gedruckten Schaltkreisen
3. Generation (1964-1972)
Basierend auf ersten Integrierten Schaltkreisen (IC)
IBM System/360 und DEC PDP-Serie
4. Generation (1972-)
Basierend auf hochintegrierten Schaltungen (LSI)
Xerox Alto, Cray-1, Altair, Apple, etc.

Klassifizierung der Computertypen

Großrechner (Mainframe)

Timesharing/BATCH-Systeme, hohe I/O-Leistung

Supercomputer

Komplexe Rechenoperationen im RAM-Speicher

Minicomputer (Workstation)

Mehrbenutzerrechner, heutige UNIX-Systeme

Microcomputer (Personal Computer)

Arbeitsplatzrechner, heutige Windows-Systeme

Appliances

Dedizierte Systeme für spezielle Aufgaben

Mathematische Grundlagen

$$\mathbf{J}_j = \begin{pmatrix} \lambda_j & 1 & & & \\ & \lambda_j & 1 & & \mathbf{0} \\ & & \ddots & \ddots & \\ & & & \lambda_j & 1 \\ \mathbf{0} & & & & \lambda_j \end{pmatrix} .$$

Einfluss der Mathematik auf die aktuelle Architektur der Hardware und Betriebssysteme

Von Neumann Architektur

1679 Gottfried Leibnitz

Beschreibung des binären Zahlensystems
(Basis für alle Logikbausteine)

1936 Alan Turing

Beschreibung der sog. Turing-Maschine
(Berechenbarkeit, Statusübergänge)
Beweis der Nicht-Entscheidbarkeit des Halte-Problems

1945 John von Neumann

Beschreibung der sog. Von-Neumann-Architektur
(Rechenwerk, Steuereinheit, Speicher, I/O)

Quantum Computing

Basierend auf Quantenmechanik

- Informationsbasis sind anstelle des Bit (0,1) die Qubits mit beliebigen Superpositionen zwischen 0 und 1
- Optionale Verschränkung mehrerer Qubits

1976 Roman Ingarden

Erste Versuche der Definition der Quanteninformatik

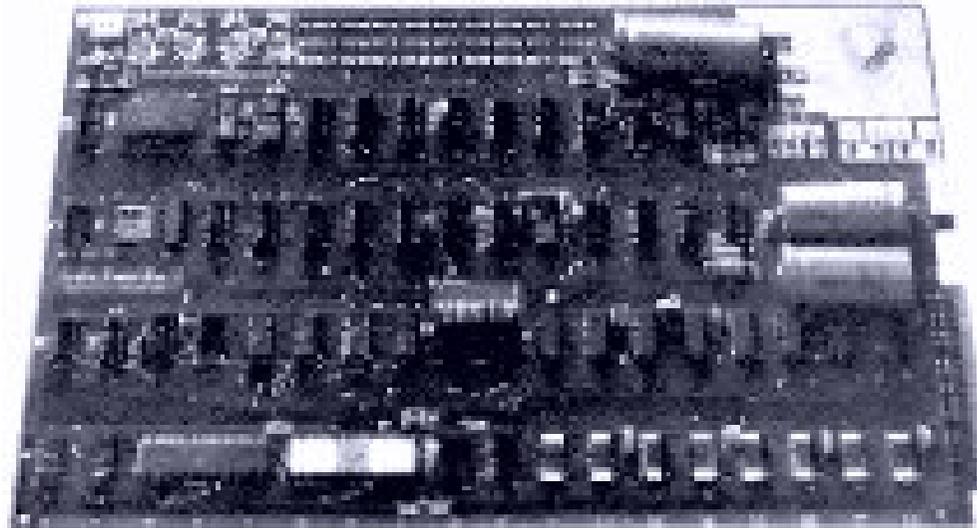
1994 Peter Shor

Definition eines probabilistischen Algorithmus zur Faktorisierung

1998 Stanford University, MIT

Erste minimale Prototypen von Quantum Computern

Entwicklungsstufen der Hardware



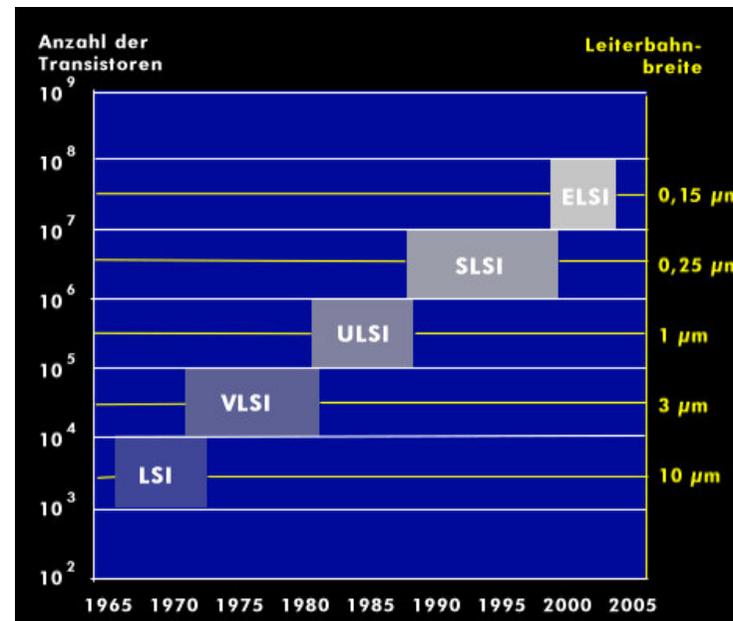
Nutzung der Materialien ihren Zeit
Kein Holz oder Eisen, aber Silizium

Logikbausteine

- 1938 Erster Einsatz elektrischer Relais in Rechenanlagen
Zuse Z3 als erster vollständiger Relaisrechner
- 1947 Erfindung des Transistors
- 1958 Entwicklung der Integrierten Schaltkreise (IC)
Konzentration von Transistoren
- 1970 Erfindung der Speicherbausteine (RAM)
„Intel 1103“ mit 1kBit Dynamischem RAM
- 1971 Erfindung des Mikroprozessors (CPU)
„Intel 4004“ als 4 Bit CPU

Integrationsdichte

Stetige Miniaturisierung der Integrierte Schaltkreise (IC)



Höhere Dichte von Verarbeitung und Datenspeicher

Rechenwerk (CPU)

Rechenwerke mit größerem Adressraum

1971 4-Bit Prozessor (Intel) bis
1992 64-Bit Prozessor (DEC)

Entwicklung von verschiedenen Arten von Rechenwerken

Hauptprozessor (CPU)

Multicore-Prozessor

Co-Prozessoren (z.B. FPU oder GPU)

Digitale Signalprozessoren (DSP)

spezialisierte I/O-Prozessoren (z.B. SCSI)

Rechenwerke mit zusehends beschleunigter Taktrate

Befehlszyklus (Fetch-Decode-Execute-Cycle)

Datenspeicher

Klassen von Speichermedien

Flüchtige Speicher (DRAM, SRAM)

Permanente Speicher (ROM, PROM)

Mechanische Speicher (Lochkarten, 1890)

„Ältere“ Magnetische Speicher (Kern, Band, 1935)

„Moderne“ Magnetische Speicher (Diskette, Festplatte, 1956)

Optische Speicher (CD, DVD, 1982)

Zunehmende Integrationsdichte der Speichermedien

→ Erlaubt größere Datenmengen und Programme

Zunehmende Haltbarkeit der Speichermedien

→ Erlaubt Archivierung von Langzeitdaten

Modularisierung

bis ca. 1975 Integration der Rechnerarchitektur
Konzentration der Verarbeitungslogik
Rechenwerk (CPU) als einziges Steuerelement

ab ca. 1975 Modularisierung (S-100-Bus im Altair 8800)
Dezentralisierung der Aufgaben
Interaktion mehrerer Steuerelemente
Dedizierte Grafikprozessoren
Dedizierte Hardware für Datenspeicherung

Entwicklung von Eingabesystemen



Eingabe über Schalter, Text-Terminals bis zu graphischen Systemen

Lochkarten und Schalter

1805 Lochstreifen zur Steuerung von mechanischen Webstühlen
(Joseph-Marie Jacquard)

1833 Analytische Rechenmaschine mit Lochkartensteuerung
(Charles Babbage)

1890 Lochkartenmaschinen zur US Volkszählung
(Herman Hollerith)

1928 Standardisierung des Lochkartenformats

1941 Kippschalter und Verkabelung zur „Programmierung“ bei allen
frühen Rechnern (Z3)

Schalter sind bis heute gebräuchlich zur Konfiguration der Hardware

Tastaturen zur Eingabe

Einzelne mechanische Tasten zur Eingabe (ab 1940)

Fernschreiber (ab ca. 1955)

mit mechanischen Schreibmaschinentastaturen

Elektronische Tasten

Tastaturen mit elektronischen Tasten

Fernschreiber mit Lochstreifen (ab ca. 1970)

Tastaturen als Bestandteil von Konsolen (ab ca. 1975)

Heimcomputer-Tastaturen (um 1980)

Standard-Tastaturen (IBM PC, ab 1980)

Ausgabe (Kontrolle und Ergebnis)

über Leuchten, Segmentanzeigen bis zu Röhren

über Lochstreifen oder Magnetstreifen

Terminalsysteme

Eingabesysteme mit Tastatur und Bildschirm:

Fernschreiber

1965 Teletype ASR33 (ursprünglich für Telex)

Textterminals

1970 DEC VT05 Terminals (Zeichensatz ASCII)

1972 IBM 3270 Terminals (Zeichensatz EBCDIC)

1975 Hewlett-Packard 2640A (inkl. Bandlaufwerk)

Terminals (und Terminalserver) etablierten sich als dedizierte Rechner für Supercomputer im Mehrbenutzerbetrieb

Terminal-Emulationen sind bis heute gebräuchlich als Eingabefenster und Systemkonsolen

Grafikterminals

Grafikterminals

1975 Tektronix TEK 4015 (Vektorgrafiken)

Grafiksysteme

1973 Xerox Alto Minicomputer

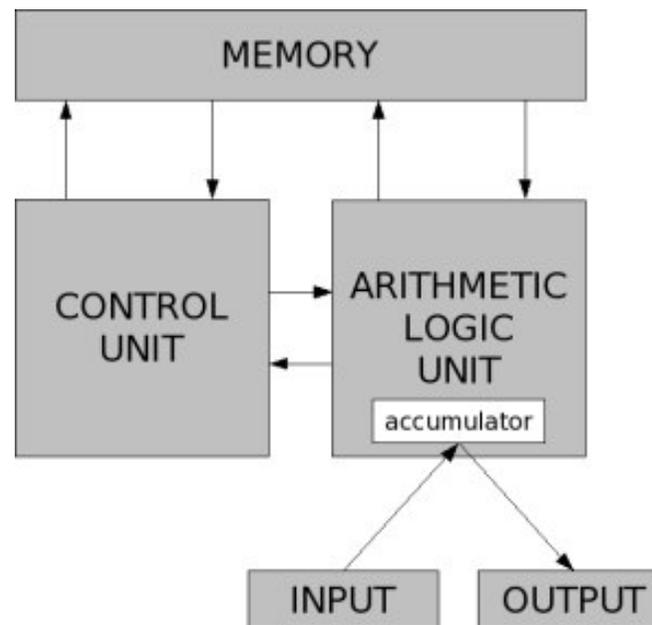
1983 Apple Lisa Desktopcomputer

1984 X-Windows (MIT Project Athena) Software

1990 (ca.) Dedizierte X-Server (Langsame CPU)

Die Grafiksoftware X11 wird heutzutage auf nahezu allen Workstations und Desktops eingesetzt, die Ausnahme bildet Microsoft Windows.

System- / Ressourcenverwaltung



Die Hauptaufgabe eines Betriebssystems
Verwaltung der Ressourcen und deren Verteilung

Hardware-Interaktion (BIOS)

Aufgrund der Modularisierung entstand frühzeitig eine breite Palette an verschiedenen Peripherie-Geräten.

Betriebssysteme benötigen daher

- Hilfsmittel zum initialen Laden des Betriebssystems
- Allgemeine Schnittstelle zur Interaktion mit der Hardware
- Hilfsmittel zur Lokalisierung und zum Aufruf weiterer Hardware
- Hilfsmittel zur Initialisierung der Hardware

Manche Betriebssysteme laden die Software zur Ansteuerung der Hardware als spezifische „Treiber“ selbst nach.

Speicherverwaltung

Verschiedene Modelle der Speicherverwaltung sind bis heute im Einsatz:

- **Direkte Speicherverwaltung**
Prozess hat exklusiven Zugriff auf den Speicher
Prozess kann den physikalischen Speicher direkt adressieren
- **Segmentierung** (später Paged Segmentation)
Aufteilung des Speichers in feste Segmente
Zuteilung ganzer Segmente zum Prozess
- **Virtuelle Speicherverwaltung**
Abbildung von virtuellem auf physikalischen Speicher → MMU
Arbeitsspeicher ist nicht auf physikalischen Speicher beschränkt
Speicherbereiche der Prozesse können geschützt werden
Auslagerung (Paging) ungenutzter Speicherbereiche

Prozesse und Multitasking

Verschiedene Modelle der Abarbeitung von Programmen sind möglich:

- Single Tasking
Das Betriebssystem verarbeitet im genau ein einzelnes Programm
- Kooperatives Multitasking
Das Betriebssystem erlaubt die Abarbeitung mehrerer Programme die „kooperativ“ die Ablaufkontrolle zurückgeben
- Präemptives Multitasking
Das Betriebssystem erlaubt mehrere Prozesse und verwaltet die Ablaufkontrolle selbst (→ Scheduler)
- Threads
Eine Erweiterung des Prozessmodells, das mehrere Threads pro Prozess mit gleichem Speicher (d.h. Programm) erlaubt

Benutzer und Rechte

Bereits im Single Tasking Betrieb auf Großrechnern (BATCH) musste zwischen unterschiedliche Benutzern unterschieden werden:

- Benutzer zur Systemverwaltung
Vollständiger Zugriff auf die Systemressourcen
- Normale Benutzer
Zugriff nur auf die Programme und Daten des Benutzers
- Benutzergruppen
Gemeinsame Nutzung von Programmen und Daten

Benutzerrechte umfassen u.a. Mechanismen des Dateischutzes, des Speicherschutzes, aber auch der Abgrenzung von speziellen Ressourcen gegenüber anderen Benutzern.

Dateiverwaltung



Speicherung von Daten
Handhabung von Dateien und Dateisystemen

Dateisysteme (I)

Datenorganisation von Massenspeichern (Festplatten, CD-ROM, ...)

- Blockorientiert in Größen von 2^n Byte (z.B. 512, 2048, 4096)
- Datenzuordnung
 - Referenz auf Start und Länge einer Datei
Dateien sind physikalisch sequentiell abgelegt
 - Referenz auf Start einer Datei, Verkettung der Folgeblöcke
Dateien sind als verkettete Liste von Blöcken abgelegt
 - Freie Zuordnung der Blöcke zu einer Datei
Dateiorganisation wird in einer zentralen Tabelle verwaltet
- Zusatzattribute (Dateiname, Zugriffsrechte, ...)
- Dateistrukturattribute (RMS)

Dateisysteme (II)

Verschiedene grundlegende Typen von Dateisystemen

- Lineare Dateisysteme
Früher auf Lochbändern, heute auf Magnetband (BACKUP)
- Hierarchische Dateisysteme
 - Ohne Unterverzeichnisse (z.B. CP/M)
 - Mit Unterverzeichnissen (z.B. DOS, Unix)
- Netzwerkdateisysteme
Nutzung von Netzwerkprotokollen zur Zentralisierung von Daten
- Virtuelle Dateisysteme
Vereinheitlichung von Zugriffen (z.B. Speicher, Prozesse)

Moderne Dateisysteme

Zusätzliche Funktionen moderner Dateisysteme

- Hard Links und Symbolic Links
- Journaling (Metadaten- bzw. Full-Journaling)
XFS (SGI), reiserFS, ext3 (Linux), FFS (BSD), NTFS, ODS-2
- File system encryption
NTFS (Microsoft)
- Änderungsprotokollierung (File Change Log)
ODS-2 (DEC), NTFS
- Atomare Transaktionen
reiserFS, NTFS, ODS-2

Visualisierung



Interaktion mit dem Benutzer
Optische Aufbereitung von Informationen

Textbasierte Systeme

Die Ausgabe von Operationen und Ergebnissen war stets durch die technischen Möglichkeiten der Ausgabegeräte geprägt:

Großrechner und Supercomputer (bis ca. 1985)

- Systeme ausschließlich mit Textterminals (TN3270, VT52, o.ä.)
- Blockorientierte I/O-Masken (IBM Großrechner)
- Zeilenorientierte Eingaben (Unix und VMS)
- Bildschirmmasken und Layout in Abhängigkeit der Terminals

Minicomputer (Workstations) und Microcomputer (bis ca. 1985)

- CP/M emuliert ein VT100 Textterminal für die Darstellung
- DOS und Heimcomputer arbeiten textbasiert

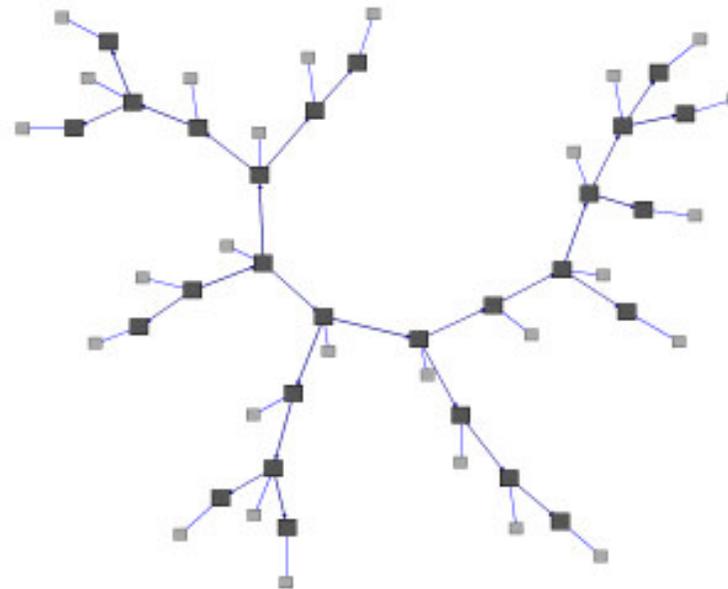
Grafikbasierte Systeme

Bearbeitung mehrerer paralleler Prozesse in einer grafischen Umgebung in Anlehnung an den physikalischen Schreibtisch:

Seit 1984 bis heute – Modulares System X11 mit getrennter Visualisierung, Präsentation und grafischen Anwendungen
→ Auf nahezu allen Unix-Systemen im Einsatz

Ab 1985 – Verschiedene „GUI“ Systeme auf Microcomputern mit teilweise modularem, teilweise monolithischem Aufbau
→ GEOS, GEM, Amiga Workbench, OS/2
→ Microsoft Windows

Vernetzung



Interaktion mit anderen Systemen
Vernetzung von Rechnern und Aufgaben

Netzwerk Architekturen

Netzwerk Architekturen:

- Standalone Rechner
- Peer-to-Peer Netze
- Broadcast Netze
- Routing Netze

Diverse Netzwerk Topologien:

- u.a. Bus, Baum, Netz

Physikalische Schichten:

- Ethernet
- Token Ring
- FDDI
- X.25 bzw. X.29

Netzwerk Protokolle (I)

1974 Systems Network Architecture SNA
Proprietäres Protokoll entwickelt von IBM
Netzwerk mit Routing und „NCP“-Knoten

1980 Internetwork Packet Exchange IPX/SPX
Entwickelt für Novell NetWare
Netzwerk mit Routing ähnlich TCP/IP

1983 Network Basic Input/Output System NetBIOS
Entwickelt für IBM Microcomputer (PC) Netzwerke
NetBEUI mit Broadcast, genutzt für Microsoft Windows

Netzwerk Protokolle (II)

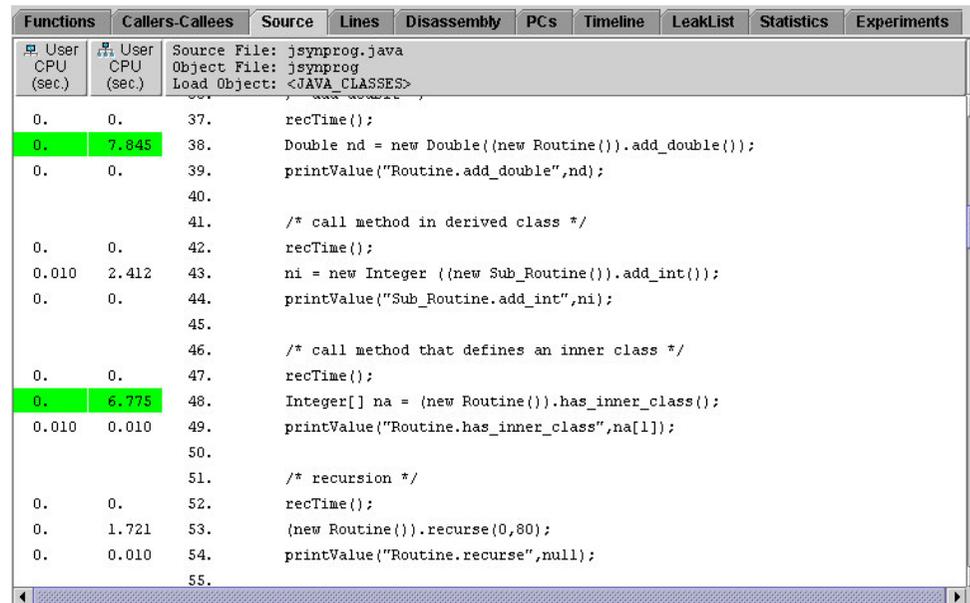
1972 Transmission Control Protocol / Internet Protocol TCP/IP
Protokoll ging aus dem ARPAnet hervor
Breite Palette von Implementierungen und Anwendungen

1975 DIGITAL Network Architecture (DNA) DECnet
Proprietäres Protokoll entwickelt von DIGITAL
DECnet mit Broadcast, hauptsächlich von VMS genutzt

1984 AppleTalk
Proprietäres Protokoll entwickelt von Apple Computer

1994 IPv6 bzw. IPng
Nachfolger der TCP/IP Protokollwelt

Programmierung



Functions	Callers-Callees	Source	Lines	Disassembly	PCs	Timeline	LeakList	Statistics	Experiments
0.000	0.000	Source File: jsynprog.java							
0.000	7.845	Object File: jsynprog							
0.000	0.000	Load Object: <JAVA_CLASSES>							
0.000	0.000	37.	recTime();						
0.000	7.845	38.	Double nd = new Double((new Routine()).add_double());						
0.000	0.000	39.	printValue("Routine.add_double",nd);						
		40.							
		41.	/* call method in derived class */						
0.000	0.000	42.	recTime();						
0.010	2.412	43.	ni = new Integer ((new Sub_Routine()).add_int());						
0.000	0.000	44.	printValue("Sub_Routine.add_int",ni);						
		45.							
		46.	/* call method that defines an inner class */						
0.000	0.000	47.	recTime();						
0.000	6.775	48.	Integer[] na = (new Routine()).has_inner_class();						
0.010	0.010	49.	printValue("Routine.has_inner_class",na[1]);						
		50.							
		51.	/* recursion */						
0.000	0.000	52.	recTime();						
0.000	1.721	53.	(new Routine()).recurse(0,80);						
0.000	0.010	54.	printValue("Routine.recurse",null);						
		55.							

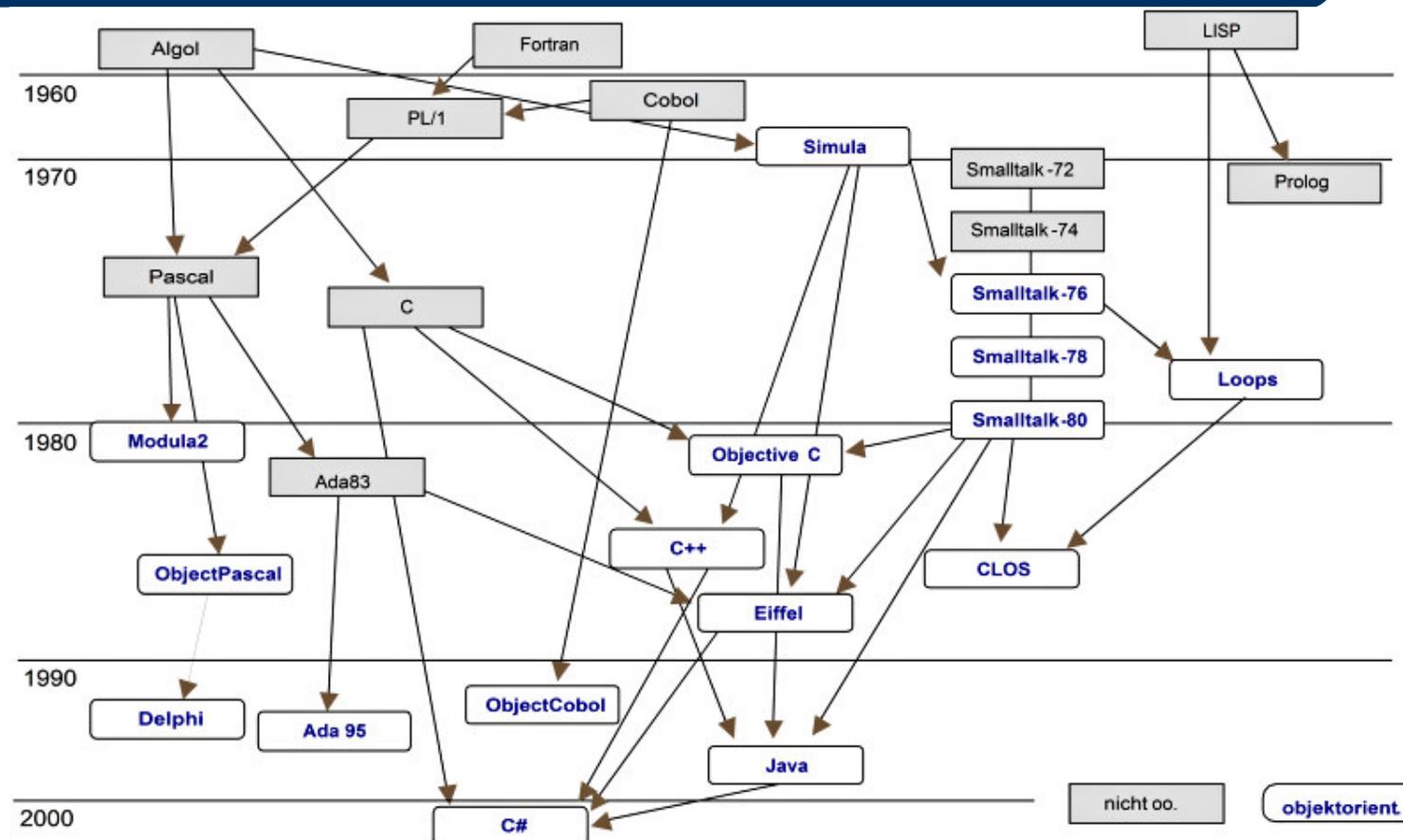
Entwicklung und Programmierung
Programmiersprachen und Werkzeuge

Historische Entwicklung (I)

Programmiersprachen entstehen parallel zur ersten Computer-Generation:

- 1942 Plankalkül von Konrad Zuse (theoretischer Ansatz)
- 1954 FORTRAN (prozedural)
- 1958 ALGOL (prozedural, erste blockstrukturierte Sprache)
- 1959 LISP (regelbasiert)
- 1960 COBOL (prozedural)
- 1964 PL/1 (prozedural)
- 1965 BASIC (prozedural)
- 1971 PASCAL (prozedural)
- 1972 Smalltalk (erste vollständig objektorientierte Sprache)
- 1972 C (prozedural)
- 1975 Prolog (regelbasiert)
- 1983 C++ (objektorientiert)
- 1987 SQL (erste spezialisierte Datenbanksprache)
- 1995 Java (objektorientiert)

Historische Entwicklung (II)



Systemprogrammiersprachen

Assemblersprachen

- Lesbare Form der Maschinensprache eines Prozessors
- Die ersten Betriebssysteme geschrieben wurden in Assembler geschrieben
- Systemtreiber und Hardware-Unterstützung wird bis heute teilweise in Assembler realisiert

Programmiersprache C

- Sprachabstraktion zur Assemblersprache
(Sprachkonstrukte ähneln dem Assembler der PDP-Serie)
- Sprachkonzepte orientieren sich an ALGOL, BCPL und B
- Entworfen für die Programmierung des Systemkerns von UNIX
- Zahlreiche spätere Sprachen orientieren sich an der Syntax von C

Anwendungsprogrammierung

Programmiersprache FORTRAN

- Erste tatsächlich umgesetzte höhere Programmiersprache
- Bevorzugt im Einsatz für numerische Berechnungen
- Optimiert für mathematische Berechnungen

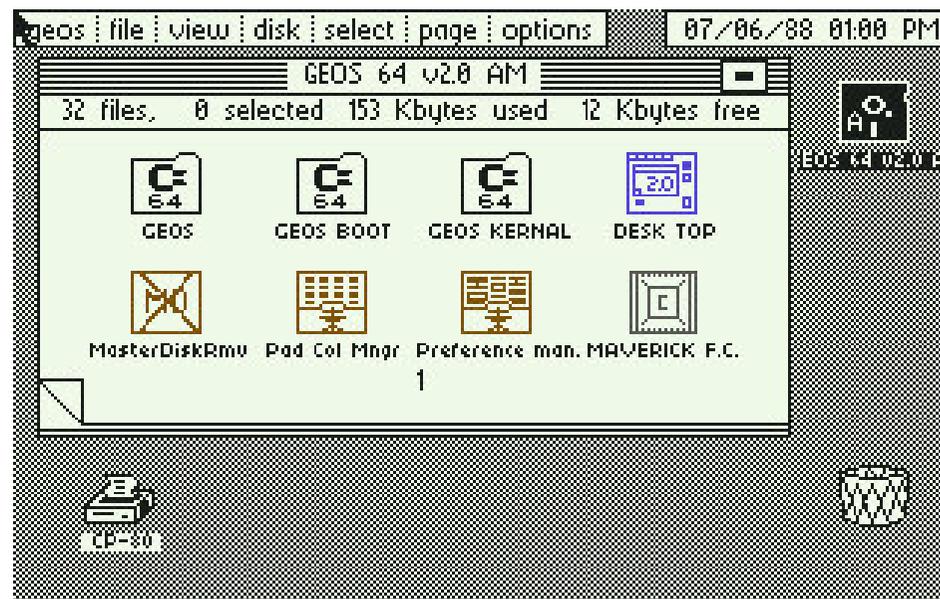
Programmiersprache COBOL

- Bevorzugt im Einsatz für betriebswirtschaftliche Programme
- Optimiert für die Behandlung großer Datenmengen

Programmiersprache JAVA

- Übersetzte Programme (Bytecode) lauffähig auf verschiedenen Plattformen
- Objektorientiert mit Optimierung auf Vernetzung und „Web“

Betriebssysteme



Überblick über historische und aktuelle Betriebssysteme
und ihren alltäglichen Einsatz

Historische Entwicklung (I)

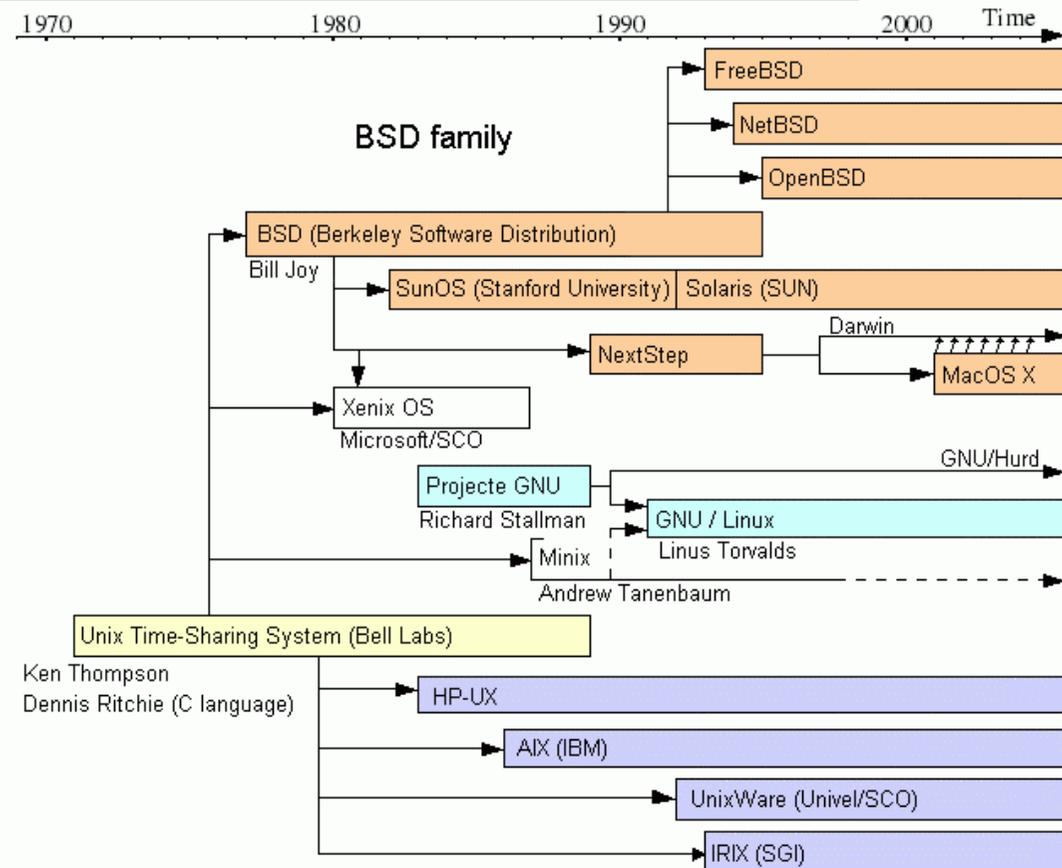
Die Betriebssysteme entwickelten sich in mehreren Zyklen, die sich grob klassifizieren lassen:

- Großrechnersysteme
Betriebssysteme von IBM, DIGITAL, CDC, Siemens
- Minicomputer und der Aufstieg von UNIX
Entwicklung einer Vielzahl von UNIX Derivaten
- Microcomputer und 8-Bit-Heimcomputer
Entwicklung einer Vielzahl von Spielkonsolen
- Microcomputer als Desktopsysteme (PC)
Betriebssysteme wie Apple MacOS und MS-DOS

Historische Entwicklung (II)

Grafische Übersicht der Abhängigkeiten und zeitlichen Verläufe der Vielzahl von UNIX Derivaten.

Grafik:
 BSD Familie in ROT
 System V Familie in BLAU



Gruppe der Betriebssysteme für Großrechner (Mainframes)

Erste Betriebssysteme wurden auf Mainframes entwickelt, u.a.:

International Business Machines Corp. (IBM)

OS/360

VM/CMS

MVS

Siemens AG und Fujitsu Corp.

BS 1000, BS 2000

Digital Equipment Corp. (DEC)

TOPS-10, TOPS-20

RSX-11M

VAX/VMS

Großrechnersystem OS/360

Entwicklung	1965 bis 1972 (IBM)
Vorgänger	-
Plattformen	IBM S/360 und Nachfolger
Dateisysteme	DASD (proprietär)
Visualisierung	Fernschreiber und Textterminals
Netzwerke	(keine)
Besonderheiten	-Erstes System mit Festplatten-Voraussetzung -Adressierung mit 24 Bit -Anfangs „Single Tasking“

Großrechnersystem VM/CMS

Entwicklung	1966 bis ca. 2000 (IBM)
Vorgänger	OS/360
Plattformen	IBM S/360 und Nachfolger
Dateisysteme	NSS (proprietär)
Visualisierung	Textterminals 3270
Netzwerke	SNA (BITNET), später auch TCP/IP
Besonderheiten	-Erste Umgebung als „Virtuelle Maschine“

Großrechnersystem MVS

Entwicklung	1975 bis ca. 2000 (IBM)
Vorgänger	OS/360
Plattformen	IBM S/370, S/390 und Nachfolger
Dateisysteme	RACF (proprietär)
Visualisierung	Textterminals 3270
Netzwerke	SNA (BITNET), später auch TCP/IP
Besonderheiten	-Zeichenkodierung EBCDIC -Adressierung in 24-/31-/64-Bit

Großrechnersystem BS 2000

Entwicklung	1974 bis heute (Fujitsu Siemens)
Vorgänger	BS 1000
Plattformen	IBM S/390, SPARC, Intel Itanium (geplant)
Dateisysteme	RACF, später auch diverse UNIX Dateisysteme
Visualisierung	Textterminals
Netzwerke	SNA (BITNET), später auch TCP/IP
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none">-Zeichenkodierung EBCDIC-Systematische Integration von UNIX Befehlen-Dateisystem erlaubte Per-File-Authentifizierung

Großrechnersystem TOPS-10/-20

Entwicklung	1969 bis ca. 1975 (DIGITAL)
Vorgänger	-
Plattformen	PDP-10 Systeme
Dateisysteme	Files-11 (proprietär)
Visualisierung	Textterminals VT
Netzwerke	TCP/IP (ARPA)
Besonderheiten	-Adressierung auf 18 Bit -Virtueller Adressraum -Trennung von Programm und Daten

Großrechnersystem VMS

Entwicklung	1975 bis heute (DIGITAL, Hewlett-Packard)
Vorgänger	RSX-11M, TOPS-20
Plattformen	PDP, VAX, Alpha AXP, Intel Itanium
Dateisysteme	Files-11, ODS-2
Visualisierung	Textterminals VT, Grafikbetrieb X11
Netzwerke	DECnet, TCP/IP, diverse weitere Emulationen
Besonderheiten	-Enges Clustering -Integrales Security Konzept -Echtzeitfähigkeit

Betriebssystemfamilie System V UNIX

Die Familie der Betriebssysteme, die auf der Basis des UNIX Timesharing System III und System V entwickelt wurden, u.a.:

Silicon Graphics Inc. (SGI)

IRIX

Hewlett-Packard (HP)

HP-UX

International Business Machines Corp. (IBM)

AIX

Berkeley Software Distribution (BSD) greift auf System III zurück.

Workstationsystem UNIX (IRIX)

Entwicklung	1982 bis heute (Silicon Graphics SGI)
Vorgänger	System V
Plattformen	MIPS (32 und 64 Bit)
Dateisysteme	XFS
Visualisierung	Grafikbetrieb X11, X-Server
Netzwerke	TCP/IP
Besonderheiten	-Starke Unterstützung von Journaling -Visualisierung mit 3D Grafik

Workstationsystem UNIX (HP-UX)

Entwicklung	1983 bis heute (Hewlett-Packard)
Vorgänger	System V
Plattformen	HPA RISC, Intel Itanium
Dateisysteme	VXFS, HFS, diverse Unix Dateisysteme
Visualisierung	Textterminals, Grafikbetrieb X11, X-Server
Netzwerke	TCP/IP
Besonderheiten	-Anfangs lief der HP-UX Kern in einer Emulation -Initial auf System V basierend

Workstationsystem UNIX (AIX)

Entwicklung	1986 bis 2004 (IBM)
Vorgänger	System V
Plattformen	Diverse (von i386 bis IBM S/390)
Dateisysteme	JFS, JFS2, diverse Unix Dateisysteme
Visualisierung	Grafikbetrieb X11, X-Server
Netzwerke	TCP/IP
Besonderheiten	-Breite Auswahl and Plattformen -Erstes Dateisystem bis 16 Tetrabyte

Betriebssystemfamilie BSD UNIX

Die Familie der Betriebssysteme, die auf der Basis der Berkeley Software Distribution (BSD) UNIX entwickelt wurden, u.a.:

Sun Microsystems Inc. (SUN)

SunOS bzw. Sun Solaris

Digital Equipment Corp. (DEC)

ULTRIX

OSF/1

Public Domain Entwicklungen

NetBSD, openBSD und FreeBSD

Workstationsystem UNIX (Sun)

Entwicklung	1982 bis heute (Sun Microsystems)
Vorgänger	BSD
Plattformen	68000, SPARC, i386, Intel Itanium
Dateisysteme	UFS, ZFS, EXT2, diverse Unix Dateisysteme
Visualisierung	Grafikbetrieb X11, X-Server, OpenWindows
Netzwerke	TCP/IP
Besonderheiten	-SunOS bis 4.1.4, ab dann Sun Solaris -Basis für UNIX System V Release 4 (SVR4)

Workstationsystem ULTRIX

Entwicklung	1984 bis 1995 (DIGITAL)
Vorgänger	BSD
Plattformen	PDP, VAX, MIPS
Dateisysteme	UFS, diverse Unix Dateisysteme
Visualisierung	Textterminals, Grafikbetrieb X11, X-Server
Netzwerke	TCP/IP, DECnet
Besonderheiten	-Basierend auf BSD und System V -Frühe Multiprozessor Unterstützung

Workstationsystem UNIX (OSF/1)

Entwicklung	1991 bis 2005 (DIGITAL, IBM, Hewlett-Packard)
Vorgänger	BSD, MACH, ULTRIX
Plattformen	MIPS, Alpha AXP, HPA RISC
Dateisysteme	UFS, EXT2, diverse Unix Dateisysteme
Visualisierung	Textterminals, Grafikbetrieb X11, X-Server
Netzwerke	TCP/IP, diverse weitere Emulationen
Besonderheiten	-Erste Microkernel Implementierung (MACH) -Erste Implementierung verteilter Systeme (DCE)

Workstationsystem „BSD“

Entwicklung	1993 bis heute (Public Domain Entwickler)
Vorgänger	BSD
Plattformen	Diverse (von i386 bis Intel Itanium)
Dateisysteme	UFS2, EXT2, diverse Unix Dateisysteme
Visualisierung	Textterminals, Grafikbetrieb X11, X-Server
Netzwerke	TCP/IP
Besonderheiten	-Sammlung von NetBSD, openBSD, FreeBSD -Netzwerkschicht ist TCP/IP Referenz -Große Zahl an Applikationen

Gruppe der experimentellen Betriebssysteme

Experimentelle Betriebssysteme sind als Testumgebung für neue Architekturen und Methoden meist im Forschungsumfeld entwickelt.

AMOEBA ist ein verteiltes Betriebssystem

MACH ist der Prototyp des Microkernel

MINIX ist eine Architektur entworfen für Lehrzwecke

RTOS-UH ist ein Vertreter der Echtzeitbetriebssysteme

Experimentalsystem AMOEBA

Entwicklung	1984 bis 2001 (Andrew S. Tanenbaum)
Vorgänger	-
Plattformen	Diverse (u.a. i386, SPARC)
Dateisysteme	Bullet Server, NFS
Visualisierung	Grafikbetrieb X11, X-Server
Netzwerke	TCP/IP
Besonderheiten	-Verteiltes Betriebssystem (Netzwerk) -Objektorientierter Ressourcen-Ansatz -Ressourcenzuteilung „On Demand“

Echtzeitbetriebssystem RTOS-UH

Entwicklung	1984 bis heute (Universität Hannover)
Vorgänger	-
Plattformen	PowerPC, 68000
Dateisysteme	FAT, FAT32, NFS
Visualisierung	Textterminals
Netzwerke	TCP/IP
Besonderheiten	-Prioritäten und präemptives Multitasking -Garantierte Reaktionszeiten auf Ereignisse -Diverse Bussysteme (VME, CAN, Profibus, ...)

Experimentalsystem MACH

Entwicklung	1985 bis 1994 (Carnegie Mellon Univ.)
Vorgänger	CMU Accent Kernel
Plattformen	Diverse (u.a. VAX, SPARC, i386)
Dateisysteme	(keine, Dateisystem außerhalb des Kernel)
Visualisierung	(keine, Kernel nicht abhängig von Visualisierung)
Netzwerke	TCP/IP
Besonderheiten	-Erste Microkernel Architektur -Abstraktion von Ressourcen

Experimentalsystem MINIX

Entwicklung	1987 bis heute (Andrew S. Tanenbaum)
Vorgänger	-
Plattformen	Diverse (u.a. 68000, i386, SPARC)
Dateisysteme	MINIX Dateisystem
Visualisierung	Textterminals, Grafikbetrieb X11, X-Server
Netzwerke	TCP/IP
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none">-Design „from scratch“-Microkernel Architektur-Systemarchitektur für Lehrzwecke

Gruppe der Betriebssysteme für Desktoprechner (Microcomputer)

Die Entwicklung der Desktoprechner umfasst die beiden Entwicklungsstufen:

- Textbasierte Systeme

 - CP/M

 - „BASIC“ als Sammelbegriff für Heimcomputer

 - MS-DOS

- Grafikbasierte Systeme

 - „GEM“ und „GEOS“ als Sammelbegriff für Heimcomputer

 - OS/2

 - MS Windows bis Windows NT/XP

 - Linux

Heimcomputersysteme werden inzwischen oft als Virtuelle Maschine emuliert.

Desktopsystem CP/M

Entwicklung	1974 bis 1988 (Digital Research Inc.)
Vorgänger	-
Plattformen	u.a. Intel 8080, Z80, 68000
Dateisysteme	(kein einheitliches Dateisystem)
Visualisierung	Fernschreiber, Textterminals
Netzwerke	(keine)
Besonderheiten	-Plattform-unabhängiges Betriebssystem -Modularer hierarchischer Aufbau -Nachfolger DR-DOS in Konkurrenz zu MS-DOS

Desktopsystem „BASIC“

Entwicklung	1977 bis ca. 1990 (Acorn, Apple, Atari, Commodore, Amstrad, Sinclair, TRS, etc.)
Vorgänger	-
Plattformen	6502, Z80, 6809 (8 und 16 Bit)
Dateisysteme	(Abhängig vom Heimcomputer)
Visualisierung	Textkonsole, vereinzelt Grafikkonsole
Netzwerke	(keine)
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none">-Erste Vertreter Apple II und Commodore PET-Vielzahl von individuellen Konsolen-Hauptsächlich als Spielkonsole genutzt

Desktopsystem MS-DOS

Entwicklung	1980 bis 1999 (Microsoft)
Vorgänger	-
Plattformen	Intel 80x86, i386
Dateisysteme	FAT, später FAT32
Visualisierung	Textterminals, Microsoft Windows
Netzwerke	IPX/SPX, NetBIOS, u.a.
Besonderheiten	-Abwärtskompatibilität der Intel Prozessoren -Begrenzung von Speicher und Massendaten

Desktopsystem MS Windows

Entwicklung	1985 bis 2004 (Microsoft)
Vorgänger	MS-DOS
Plattformen	i386
Dateisysteme	FAT, später FAT32
Visualisierung	Microsoft Windows
Netzwerke	NetBIOS, TCP/IP, u.a.
Besonderheiten	-Zusammenfassung Windows 3.x, 95, 98, ME -Anfangs nur kooperatives Multitasking -Eingeschränktes präemptives Multitasking

Desktopsystem „GEM“

Entwicklung	1985 bis 1989 (Digital Research Inc.)
Vorgänger	CP/M
Plattformen	Intel 8088, Motorola 68000
Dateisysteme	(abhängig von der Implementierung)
Visualisierung	GEM Desktop
Netzwerke	(keine)
Besonderheiten	-Atari ST TOS basiert auf GEM -ViewMax erweitert DR-DOS um GEM

Desktopsystem „GEOS“

Entwicklung	1986 bis 2004 (Berkeley Softworks)
Vorgänger	keine (8 Bit) bzw. MS-DOS (16 Bit)
Plattformen	6502 (8 Bit) bzw. Intel 80x86 (16 Bit)
Dateisysteme	(Abhängig vom Heimcomputer) bzw. FAT
Visualisierung	GEOS User Interface
Netzwerke	(keine)
Besonderheiten	-GEOS (8 Bit) für Heimcomputer C64, Apple, etc. -PC/GEOS (16 Bit) Version für IBM / MS-DOS -Ausnutzung extrem begrenzter Ressourcen

Desktopsystem OS/2

Entwicklung	1987 bis 2005 (IBM, Microsoft)
Vorgänger	MS-DOS
Plattformen	i386
Dateisysteme	HPFS (proprietär), JFS
Visualisierung	Textterminal, Presentation Manager PM
Netzwerke	TCP/IP
Besonderheiten	-Erstes System mit präemptivem Multitasking -Speicherschutz zwischen Prozessen -Benutzeroberfläche vollständig objektorientiert

Desktopsystem „Linux“

Entwicklung	1991 bis heute (u.a. GNU, Linus Torvalds)
Vorgänger	MINIX
Plattformen	Diverse (von i386 bis Intel Itanium)
Dateisysteme	EXT2, reiserFS, diverse Unix Dateisysteme
Visualisierung	Textterminals, Grafikbetrieb X11, X-Server
Netzwerke	TCP/IP
Besonderheiten	-Vielzahl an Distributionen -Große Zahl an Applikationen

Desktopsystem Windows NT/XP

Entwicklung	1994 bis heute (Microsoft)
Vorgänger	Microsoft Windows, VMS
Plattformen	I386, Alpha AXP
Dateisysteme	FAT32, NTFS, vereinzelte Unix Dateisysteme
Visualisierung	Microsoft Windows
Netzwerke	TCP/IP
Besonderheiten	-Quasi Monopol der Desktopsysteme -Ebenfalls präemptives Multitasking (→ OS/2)

Nicht erwähnte Betriebssysteme

Aufgrund der Menge blieben u.a. folgende Systeme unerwähnt:

- XENIX / SCO Unix (System V UNIX)
- NeXTstep (BSD UNIX mit MACH Kernel)
- AmigaOS (Grafisches Heimsystem, ähnlich GEM)
- MacOS (Grafisches Heimsystem, inzwischen BSD)
- GNU Hurd (Experimentalsystem)
- CORBA (Experimentalsystem)
- MASPARE (Verteiltes System für Mehrprozessorrechner)