

Prüfungsunterlagen zur Vorlesung

PC-Technologie

Norman Hendrich

Universität Hamburg
Fachbereich Informatik
Vogt-Kölln-Str. 30
D 22 527 Hamburg
hendrich@informatik.uni-hamburg.de

Inhaltsverzeichnis

Allgemeines	1
Definition PC, Design-Guides	2
PC Architektur	4
Interrupt-Controller	7
Speicherbereiche	8
BIOS und DOS	9
Skalierung	11
Literatur	13
Die x86-Architektur	14
Befehlssatz	19
Register	20
Stack	23
Adressierungsarten	24
CISC vs. RISC	33
Befehls-Scheduling	34
superskalare Ausführung	36
x86-64 und IA64	38
SIMD-Erweiterungen	40
MMX	41
3Dnow!	45
SSSE	48
Speicherhierarchie	51
Performance Gap	52
DRAM	53
SDRAM	56
DDR-SDRAM	58
Rambus	59
Cache	63
IRAM	67
SMP-Multiprozessorssysteme	69
SMP	70
MESI	71
Exkurs: ASCII-Red	75
Bussysteme	78
ISA	80
ISA Plug and Play	83
PCI	86
AGP	90
Serielle Busse	91
USB Ziele	92
USB Architektur	93
USB Pakete	96
USB Deskriptoren	98
FireWire	101
Festplatten	105
Platten-Technologie	107
Datenformat: Beispiel FAT	108
IDE, ATAPI	112
SCSI	116
SCSI-Beispielkonfiguration	119
RAID	120
Dateicache	125

CD und DVD	127
CD Prinzip	127
CD Fehlerkorrektur	130
Dateiformate CD-DA, CD-ROM	132
CD-R und CD-RW	135
DVD	140
DVD Kopierschutz	143
DVD-R und DVD-RAM	145
Audio	146
Digitale Signalverarbeitung	148
AC97	149
Virtuelle Studios	151
DirectSound	153
Graphik	156
Anforderungen	157
Renderpipeline	159
Trends	163
DirectX	165
Mobile Geräte	168
Stromverbrauch	169
Displays	171
Vernetzung	172

Vorlesung 18.215

PC-Technologie

Norman Hendrich

Universität Hamburg, Fachbereich Informatik, TECH

<http://tech-www.informatik.uni-hamburg.de/lehre/pc-technologie/>

Motivation und Ziele

- Technologiefortschritt weiterhin exponentiell (Moore's Law)
- Marktdominanz der "Wintel-Plattform"

=> PCs haben Technologieführung übernommen
 => Plattform wird ständig weiterentwickelt
 => immer weitere Anwendungsgebiete
 Beispiel Audio: Software-Synthesizer

(Software-Synthesizer RB-338)



Kennenlernen und Einschätzen von:

- Rechnerarchitektur PC
- Betriebssystemkonzepte
- aktuelle und zukünftige Entwicklungen

Themen

	Termine:
• x86-Prozessoren	05.04
• MMX, 3DNow!, ISSE, IA64	12.04
• Systemarchitektur, Speicher von EDO bis RDRAM	19.04
	26.04
	03.05
• Massenspeicher, IDE, SCSI, CDROM, DVD	10.05
• Datenübertragung und Busse, USB, Firewire, Modems	17.05
• Medienverarbeitung, Audio, Video, 3D-Graphik	24.05
	31.05
• Betriebssystemkonzepte und Treiber	07.06
• Altlasten: BIOS, MS-DOS, Win32	(14.06
• DirectX	21.06
	28.06
• Anforderungen für mobile Geräte	05.07
	12.07

Definition "PC"?

Was ist überhaupt ein PC?

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| + Das Original, IBM-PC 1981: | 8088, 4.77 MHz, 64 KByte, ... |
| + "Aldi"-PC, 2000: | PIII, 666 MHz, 64 MByte, ... |
| + Microsoft und Intel Spezifikation: | PC98, PC99, PC2001, ... |

=> gemeinsame Merkmale?!

- + x86-Prozessor, ISA-Bus (nur noch bis 2001)
- + Systemsoftware, BIOS, DOS, Windows (bzw: Linux)
- PDAs, Handhelds, WAP-Handy, ...
- Mac G4, Sun Enterprise 4/450, ...
- Playstation 2, ...

Definition "Workstation" vs. "PC"

"4M"-Regel (ca. 1985):	Apollo DN-3000 1988:	PC-AT 1988:
1 MIPS	4	0.2
10 MByte Hauptspeicher	8	1
10 MBit/sec. Netzwerk	10	-
10 MPixel Farbgraphik	1024x800x8	640x480x4
Multitasking/Multiuser	ja/ja	nein/nein
Betriebssystem	AEGIS (Unix)	DOS 3.x
Oberfläche	GUI	Text
Monitor	19"	15"
Preis	DM 40.000	DM 10.000

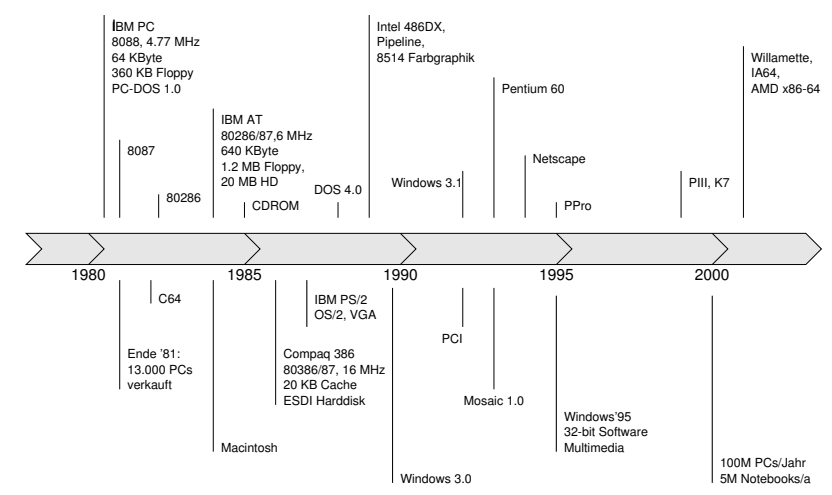
Workstation vs. PC: Performance 03/2001

SPEC CPU2000 Benchmarks (baseline):	SPECint	SPECfp
AMD Athlon 1.2 GHz	443	387
Intel Pentium-III 1.0 GHz (VC820)	407	284
Intel Pentium-IV 1.5 GHz (VC850)	524	549
Compaq Alphaserwer 833 MHz	518	590
HP 9000 j6000	417	433
Sun Blade 900 MHz	438	482

- keine offiziellen Werte für PowerPC
- alle anderen RISC weit abgeschlagen
- Programme beanspruchen L1/L2-Cache + Hauptspeicher
- gleicher Speicher: sehr ähnliche Werte für alle Systeme

[www.spec.org/osg/cpu2000, Stand 03/2001]

Timeline



Definition PC: "Windows compatible"

"Windows-compatible" Logo von Microsoft:

- nur bei Einhalten aller Spezifikationen,
- Intel und Microsoft definieren Mindestanforderungen
- www.pcdesguide.org, PC98, PC99, PC2001, ...

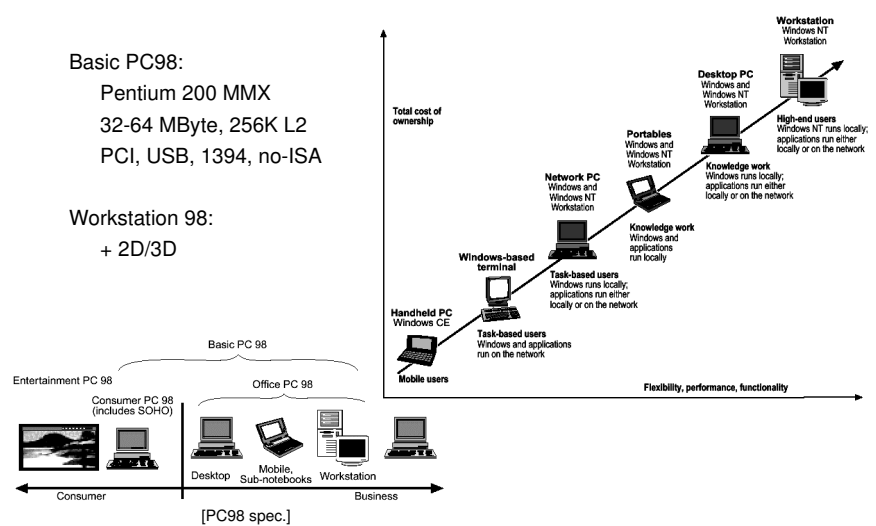


- definiert auch verschiedene Einsatzgebiete: Office, Home, Workstation, Server, ...
- => garantiert Kompatibilität
- => garantiert "Rente" für Intel u. Microsoft durch notwendige Upgrades
- aktueller Trend: Verzicht auf "legacy"-Schnittstellen (serielle/parallele/Joystick/analoge Audio- Ports fallen weg!)

Beispiel: PC98

Basic PC98:
 Pentium 200 MMX
 32-64 MByte, 256K L2
 PCI, USB, 1394, no-ISA

Workstation 98:
 + 2D/3D



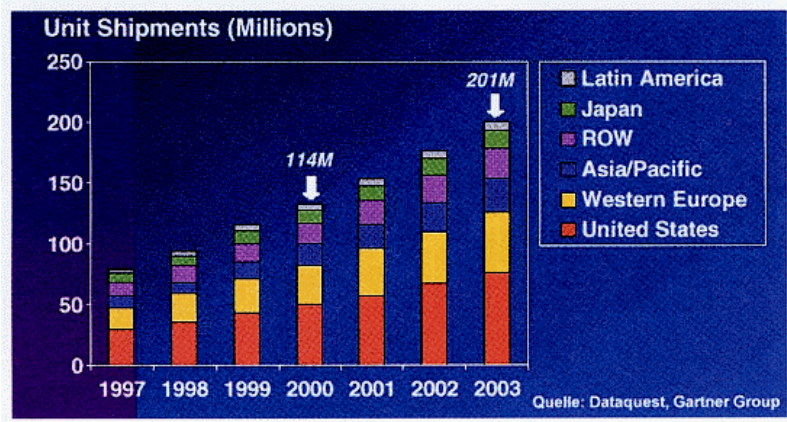
Beispiel: PC2001

Basic PC2001:
 500 MHz
 64 MByte, 128K L2
 PCI, USB, 1394, no-ISA
 keine "legacy" ports, keine Floppy
 4 USB
 1024x768x32 2D
 1024x768x16 + Zbuffer 3D
 1024x768 Video, optional DVD
 digitaler Monitorausgang

Mobile PC2001:
 600 MHz
 64 MByte, 128K L2
 Workstation 2001:
 700 MHz
 128 MByte, > 512K L2
 mehrprozessorfähig

siehe PC2001 Spezifikation

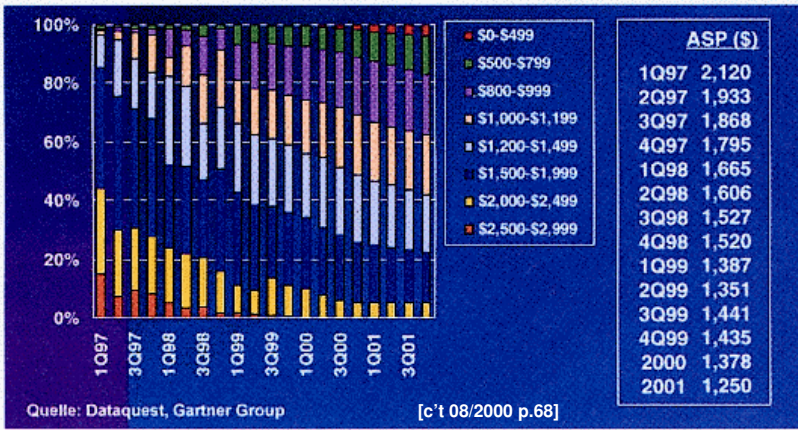
PC: Stückzahlen



Zwar steigen die PC-Verkäufe laut Dataquest weiter an, die Margen für die Hersteller sollen aber noch weiter sinken.

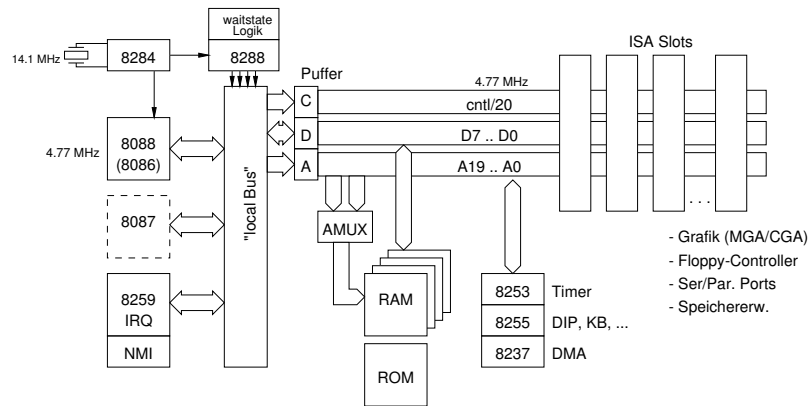
[c't 08/2000 p.68]

PC: Systemkosten



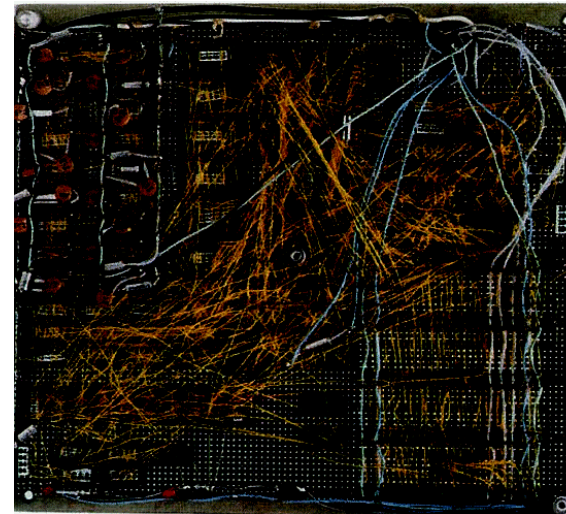
Geht es nach den amerikanischen Marktforschern, wird der Anteil von Rechnern, die einschließlich Monitor unter 1500 US-Dollar kosten, bald fast 80 Prozent der gesamten PC-Verkäufe ausmachen.

ISA: PC/XT



- Intel 8088 mit Support-Chips (Takt, Timer, DMA, IRQ, ...)
- ein gemeinsamer 8-bit Bus für alle Komponenten

PC: Prototyp des IBM PC



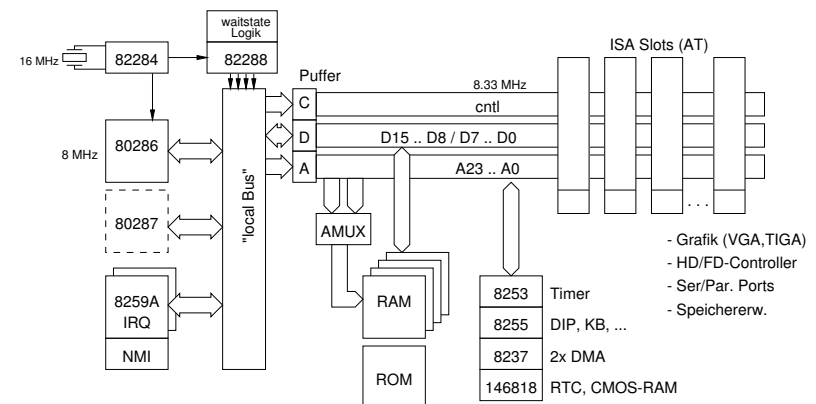
[c't]

ISA: PC/XT Eigenschaften

Original-IBM PC:

- Intel 8088, 4.77 MHz (Turbo-Versionen bis 10 MHz)
- real-mode, 1 MB Adressraum
- nutzt alle damals verfügbaren Support-Chips
- ein gemeinsamer Bus
- 20 bit Adressen (1MB), 8 bit Daten, diverse Steuerleitungen
- RAM / ROM mit am zentralen Bus
- RAM-Refresh über Timer und DMA
- 8 Interrupt-Quellen, 3 DMA-Kanäle frei
- weitere Peripherie (Grafik!) über Slots
- nur CPU und DMA als Busmaster

ISA: PC/AT



- Intel 80286 mit passenden Support-Chips
- gemeinsamer Bus, 8/16-bit Transfers

Hardware vs. Software . . .

Hardware = "fest, schwer zu ändern, . . ."

- dramatische Evolution der PC-Hardware
- 8088 mit 8-bit Bus zum Pentium-III
- alle Komponenten um Größenordnungen verbessert

Ausnahmen bedingt durch Softwarekompatibilität (!)

- originale Interrupt- und I/O-Architektur erhalten
- sogar Bugs müssen vererbt werden (A20-Gate usw.)
- immer noch Engpässe mit I/O-Adressen und Interrupts
- PC2001 fordert (endlich) Verzicht auf "legacy" Komponenten
- aber immer noch interrupt-sharing usw.

PC-Technologie | SS 2001 | 18.214

PC: I/O-Konzept

- Trennung zwischen Speicher- und I/O-Bereichen
- nutzt die x86-Befehle für I/O-Transfers (inportb, outport, ...)
- nutzt das x86-Buskonzept:
 - gemeinsame Daten- und Adressleitungen
 - separate Steuerleitungen für Speicher und I/O
 - nur 64 KByte I/O-Adressraum
- 8086/8088 erlauben 1 MByte Adressraum für Speicher
- Aufteilung in 640 KByte RAM, oberhalb ROM und Graphik
- Interrupt-Architektur basiert auf dem Intel 8259 Controller
- zunächst nur acht Interruptebenen

PC-Technologie | SS 2001 | 18.214

PC: I/O-Adressen im AT

000 - 01F	DMA controller 1	8237
020 - 03F	Interrupt controller 1	8259
040 - 05F	Timer	8254
060 - 06F	Keyboard controller	8041
070 - 07F	real-time clock	
080 - 09F	DMA page register	
0A0 - 0BF	Interrupt controller 2	8259
0c0 - 0DF	DMA controller 2	8237
0F0	coprocessor, clear busy	80287
0F1	coprocessor reset	
0F8 - 0FF	coprocessor registers	
1F0 - 1F8	hard disk	
200 - 207	game i/o	
278 - 27F	parallel printer port 2	
2F8 - 2FF	serial port 2	
300 - 31F	prototype card	
360 - 36F	reserved	
370 - 378	parallel printer port 1	
380 - 38F	sdhc bisynchronous 2	
3A0 - 3AF	sdhc bisynchronous 1	
3B0 - 3BF	monochrome graphics	
3C0 - 3CF	reserved	
3D0 - 3DF	CGA graphics adapter	
3F0 - 3F7	diskette controller	
3F8 - 3FF	serial port 1	

nur 10 bit dekodiert ...

PC-Technologie | SS 2001 | 18.214

PC: IO-Adressen, Beispiel



- I/O-Adressraum gesamt nur 64 KByte
- je nach Zahl der I/O-Geräte evtl. fast voll ausgenutzt
- eingeschränkte Autokonfiguration über PnP-BIOS

PC-Technologie | SS 2001 | 18.214

PC: Interrupt-Konzept

flexibles Interrupt-Konzept der 8086-Familie:

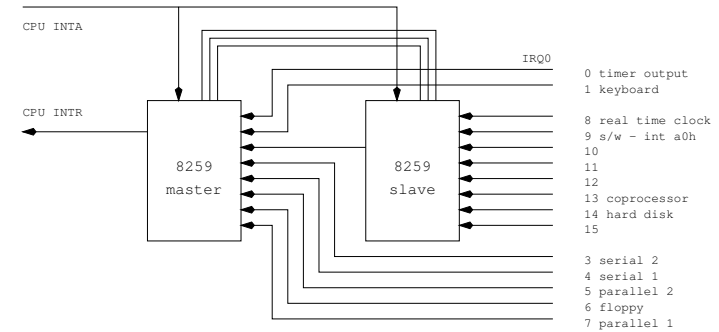
- ein Interrupt-Eingang am Prozessor
- zusätzlicher Eingang für NMI-Interrupt (non maskable)
- spezielle Buszyklen bei Reaktion auf INT-Signal
- Prozessor liest Interrupt-Nummer vom Bus
- 8259-Controller implementiert das zugehörige Busprotokoll
- oder Software-Interrupt auslösen
- eigene x86-Befehle (INTO, INT 3, INT n, BOUND)
- Interrupt-Nummer wird im AX-Register übergeben
- Standard-Mechanismus zum Aufruf von BIOS/DOS-Funktionen
- 256 Interrupt-Vektoren, ab Adresse 00000 im Hauptspeicher
- Vektornummer abhängig von IRQ-Quelle oder INT-Argument

PC: 8259 Interrupt-Controller

programmable interrupt controller Intel 8259

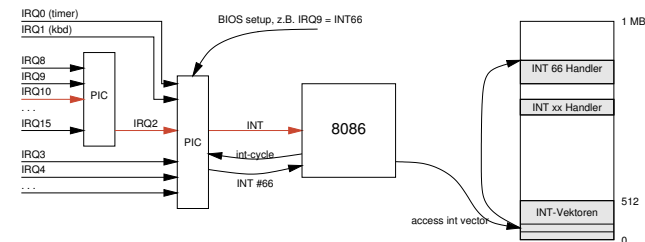
- Hilfsbaustein für die 8085/8086-Familie
- übernimmt Mapping von IRQ-Leitung zu Interrupt-Nummer
- Mapping per Software programmierbar
- kaskadierbar bis 8 Bausteine (56 Interrupt-Eingänge)
- nur ein Baustein im ursprünglichen PC
- zwei-Chip Kaskade seit PC/AT
- Hardware einfach erweiterbar, aber SW (DOS) leider nicht
- Multiprozessorsysteme erfordern verbesserten Controller (APIC)
- Details und INT-Sequenz: siehe 8259-Datenblatt (.pdf)

PC: Interrupts im AT



- nur vier freie Interrupts - ohne Sound, Graphik, ...
- weitere Kaskadierung wäre leicht möglich
- scheitert aber an Softwareunterstützung

x86: Interrupts im real-mode



```

void INT_66_handler() {
    save_registers_to_stack();
    read_master_PIC();
    if (master_PIC_active) { // hardware interrupt
        read_slave_PIC(); // but which one?
        switch( slave_PIC ) {
            case slave_IRQ8: // handle_RTC_interrupt
            case slave_IRQ9: // handle s/w int a0h
            case slave_IRQ10: // free
        }
        reset_slave_PIC();
        reset_master_PIC();
    }
    else { // software interrupt 66
        restore_registers();
        IRET;
    }
}

```

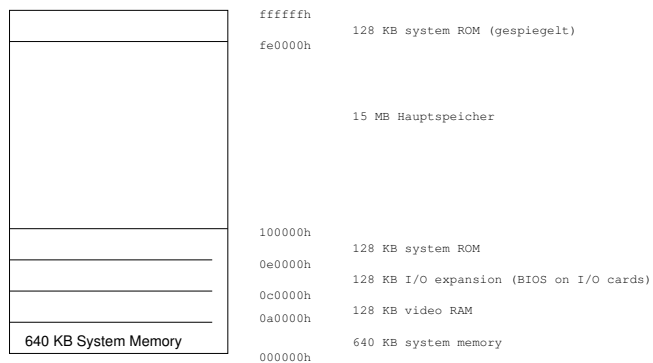
- BIOS programmiert den PIC 8259
- Umsetzung IRQ auf INT-Nummern
- INT-Vektoren ab Adresse 0

PC: Speicherbereiche im PC

ursprüngliche IBM Entwurfsentscheidungen:

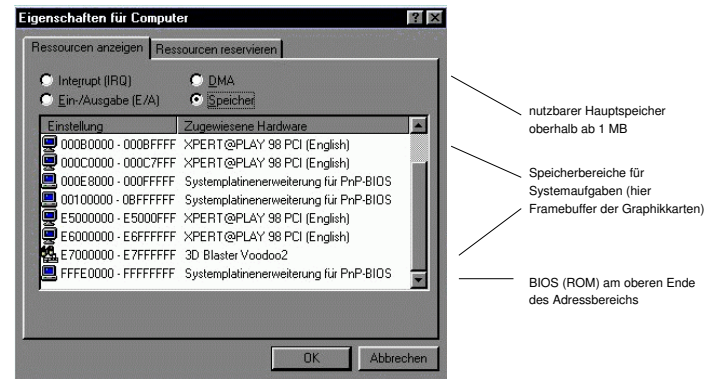
- 8086/8088 Adressraum ist 1 MByte
- für RAM, ROM, memory-mapped I/O
- zunächst 128 KB ROM am oberen Ende (wg. Reset)
- zunächst 640 KB RAM (ausgeliefert mit 64 KB)
- außerdem 128 KB Adressraum für Graphik
- Rest für spätere Erweiterungen reserviert
- entsprechende Aufteilung in DOS "hardkodiert"
- später diverse Erweiterungen auf "hohe" Speicherbereiche

PC: Speicherbereiche im AT



- 80286 adressiert bis 16 MByte Speicher
- unterer Bereich bis 1 MB ist PC-kompatibel
- ROM wird an obere Adressen gespiegelt

PC: Speicherbereiche, Beispiel



- Windows 9x erlaubt bis 4 GByte Adressraum
- Adressen 00000000h bis ffffffffh
- Aufteilung 1 GB / 1 GB / 2 GB

BIOS: Grundfunktionen

BIOS / Betriebssystemfunktionen:

- realisiert über x86 INT Befehl
- Register AX enthält die Interrupt-"nummer"
- andere Register verwendet zur Parameterübergabe
- zugeordnete Nummern:

BIOS:	00h .. 1Fh	z.B. 13h Disk-I/O
DOS:	20h .. 40h	z.B. 23h CNTL-C Handler
Anwender:	40h .. FFh	z.B. 4Fh SCSI, 6Fh Novell, ...

```

MOV AX, 05h      ; Funktionsnummer nach AX
MOV DL, "a"      ; Datenwerte nach DX, lower Byte
INT 21h          ; Software-Interrupt
                 ; gibt Zeichen "a" auf PRN aus
    
```

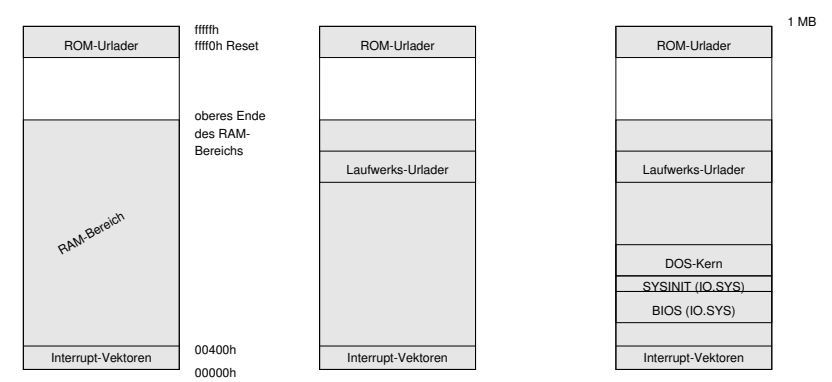
BIOS: Funktionen

00h	divide error	10h	graphic
01h	single-step, debugging	11h	bios get equipment list
02h	non-maskable interrupt	12h	bios get memory size
03h	breakpoint	13h	disk I/O
04h	into detected overflow	14h	serial ports
05h	print screen	15h	tape recorder / extensions
06h	invalid opcode (80286)	16h	keyboard I/O
07h	processor extension (reserved)	17h	printer I/O
08h	IRQ0, system timer	18h	diskless boot , ROM BASIC
09h	IRQ1, keyboard data ready	19h	system bootstrap loader
0ah	IRQ2, lpt2/ega/vga/ nested IRQ9	1ah	timer I/O
0bh	IRQ3, com2	1bh	keyboard break
0ch	IRQ4, com1	1ch	system data (graphic)
0dh	IRQ5, harddisk, lpt2	1dh	system data (disc params)
...		...	

DOS: Funktionen

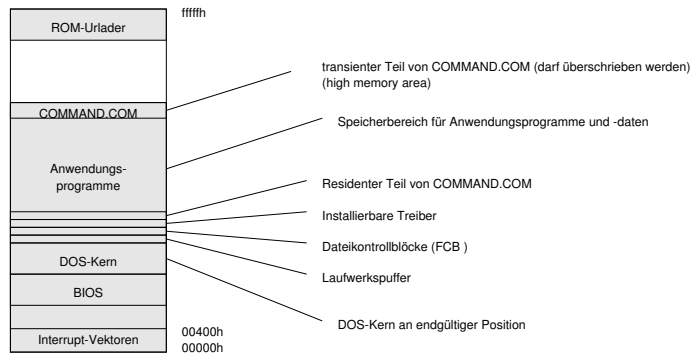
20h	terminate program
21h	misc. functions
22h	program termination address
23h	control-C / break handler
24h	critical error handler
25h	absolute disk read
26h	absolute disk write
...	
30h	far jmp instruction
33h	mouse
34h	floating point emulation
0bh	IRQ3, com2

PC: 8086 Reset und DOS-Boot



- Resetvektor ist ffff0h, dort System-ROM (BIOS)
- ROM-Urlader ermittelt Boot-Laufwerk, lädt Bootsektor ins RAM
- Bootcode lädt IO.SYS (BIOS) und MSDOS.SYS

PC: 8086 Reset und DOS-Boot



- DOS-Kern wird soweit nach unten verschoben wie möglich
- Dateipuffer und Treiber oberhalb des Kerns
- Anwendungsprogramme zwischen Puffern und Command.com

PC: Windows 2K Treiber

Figure 1.1 shows the major components of the Microsoft® Windows® 2000 operating system environment. [MS Win2K DDK]

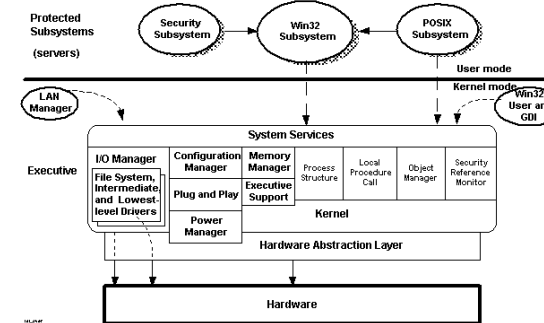


Figure 1.1 Windows 2000 Component Overview

The Windows 2000 operating system environment includes some components that run in user mode and others that run in kernel mode. File system, intermediate, and lowest-level drivers are shown at the lower left, included with the kernel-mode I/O Manager. As Figure 1.1 shows, the Windows 2000 operating system includes a number of kernel-mode components with well-defined functionality isolated in each component. Those of most interest to kernel-mode driver writers are the Kernel, I/O Manager, Plug and Play Manager, Power Manager, Hardware Abstraction Layer (HAL), Configuration Manager, Memory Manager, Executive Support, and Process Structure components. Additional components of interest to some driver writers include the Object Manager and Security Reference Monitor.

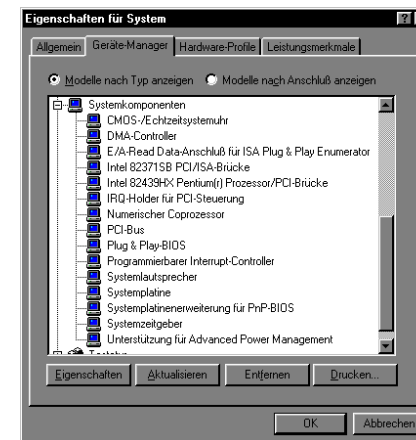
The Plug and Play (PnP) Manager and Power Manager are new components in Windows 2000. They support both Windows 2000-only drivers and *WDM drivers*. For more information about how Windows 2000 and WDM drivers use these new features of Microsoft operating systems, see the *Setup, Plug and Play, and Power Management Design Guide and Reference* in this DDK.

PC: Windows 9x Speicherbereiche

gemeinsam genutzter Systembereich	FFFFFFFh	1 GB
gemeinsam genutzt für Anwendungen	C0000000h	1 GB
privater Adressbereich Anwendungen	80000000h	knapp 2 GB
ungenutzt	00400000h	4 MB
V86 Bereich	0010FFF0h 00000000h	1 MB inklusive "8086 A20 bug": real mode Bereich

- DOS-Bereich immer noch für Boot / Geräte (VGA) notwendig
- Kernel, Treiber, usw. im oberen 1 GB-Bereich

BIOS: Systemkomponenten



- Einstellung über PCI-Autokonfiguration bzw. die Treiber

zukünftige Entwicklungen!?

- Planarprozeß ist massiv parallel
 - Kosten fast unabhängig von der Anzahl einzelner Elemente
- => Moore's Law: exponentieller Anstieg des Integrationsgrades und damit exponentielles Wachstum von:
- CPU-Performance
 - Speicherkapazität (DRAM, Festplatten)
 - entsprechend komplexere Software

Moore's Law

- Planarprozeß ist massiv parallel
 - Kosten fast unabhängig von der Anzahl einzelner Elemente
- => Moore's Law: exponentieller Anstieg des Integrationsgrades
- mehr Funktionen bei gleichen Kosten (gleiche Chipfläche)
 - oder gleiche Funktion bei geringeren Kosten
 - rein wirtschaftlich bedingt
 - solange, bis Kapitalkosten für neue Technologie zu hoch

Verbesserungen durch: (relativer Anteil)

- feinere Lithographie (50%)
- verbesserte Transistoren / Strukturen (25%)
- bessere Rechnerarchitektur (25%)

Moore's Law: Lithographie, Hochintegration

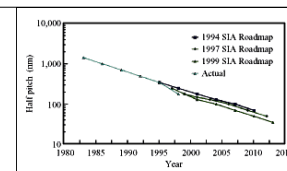


Figure 1
Historical and future trends of lithographic resolution capability. Here, half pitch is the minimum size of lithographic features on a chip. (SIA—Semiconductor Industry Association.)

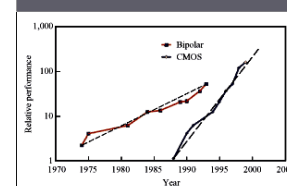


Figure 6
Historical and future server performance trends using bipolar and CMOS circuits. The straight lines represent the time-averaged exponential improvement in the performance of the technology.

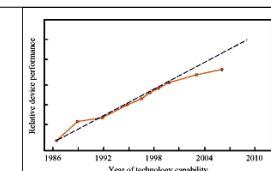


Figure 2
Comparison of performance for devices produced in successive technology generations vs. the year in which each technology generation first reached capability for volume production. Circles and the yellow curve represent historical and expected future behavior. The straight line represents an exponential growth rate as predicted from Moore's law. Circuit effects such as loading are not considered in this measurement of relative performance.

- exponentielles Wachstum
- seit 1970, bis > 2015

CMOS vs. ECL:

- Hochintegration, langsame Xtors
- schnelle Xtors, Abwärmeproblem

[IBM JR&D 44-3, 2000]

Moore's Law: Transistor-Skalierung

As the technology scales... [Intel µP-Forum 99]

Width = $W = 0.7$, Length = $L = 0.7$, $t_{ox} = 0.7$

- 1. Dimensions reduce 30%, this is good**
 $Area_{Cap} = C_s = \frac{0.7 \times 0.7}{0.7} = 0.7$
 $Fringing_{Cap} = C_f = 0.7$
 $Total_{Cap} \Rightarrow C = 0.7$
- 2. Capacitance on a node reduces by 30%, this is good**
 $Die_{Area} = X \times Y = 0.7 \times 0.7 = 0.7^2$
- 3. Transistor density (integration) doubles, this is good**
 $\frac{Cap}{Area} = \frac{0.7}{0.7 \times 0.7} = \frac{1}{0.7}$
- 4. Capacitance per unit area increases 43%, this is not good**

Moore's Law: bessere Transistoren

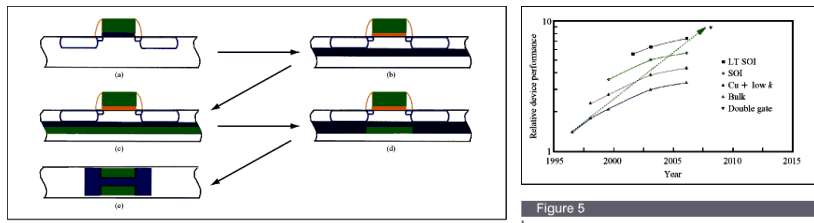


Figure 4
Plausible evolution in transistor structure toward a more symmetric structure that results in better control of the fields in the gate region, regulating device condition. The FETs pictured are: (a) bulk Si, (b) silicon-on-insulator (SOI), (c) ground plane, counter-electrode, (d) vertical double gate, and (e) fully symmetric double gate.

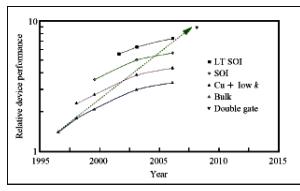


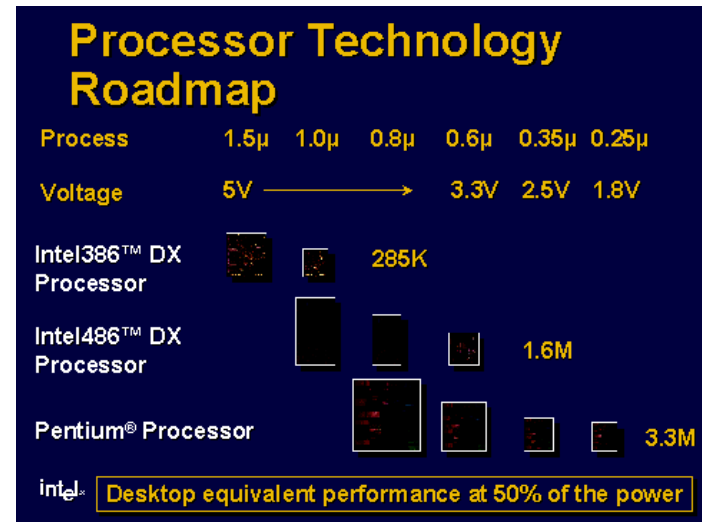
Figure 5
Application of new structures and materials to continue the trend (dashed line) of exponential improvement in device performance vs. time. The transistor structures indicated are bulk Si and double gate. The labels SOI and LT SOI refer to the use of silicon-on-insulator at room temperature or low temperature, while Cu+ low k refers to the use of copper metal interconnections with low-dielectric-constant insulators.

Evolution des MOS-Transistors:

- "bulk" Transistor direkt im Si-Substrat
- "silicon on insulator", SOI dünnes Substrat, darunter Isolationsschicht
- "ground plane" Substrat, Isolator, leitende Schicht: Spiegelladungen
- "double gate" optimale, symmetrische Anordnung

[IBM JR&D 44-3, 2000]

x86: Halbleitertechnologien ...



[intel IDF98]

Moore's Law: bessere Verdrahtung

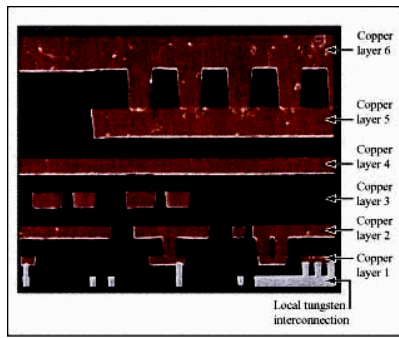


Figure 1
Cross-sectional scanning electron micrograph showing typical CMOS 7S interconnections with tungsten local interconnections and six levels of copper wiring. From [16], reproduced with permission of The Electrochemical Society, Inc.

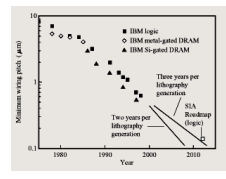


Figure 2
Minimum wire pitch used in IBM DRAM and CMOS logic technologies vs. year of introduction, and extrapolation of the current scaling trend into the future. Modified from [10], with permission of The Electrochemical Society, Inc.

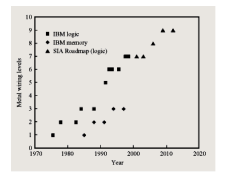
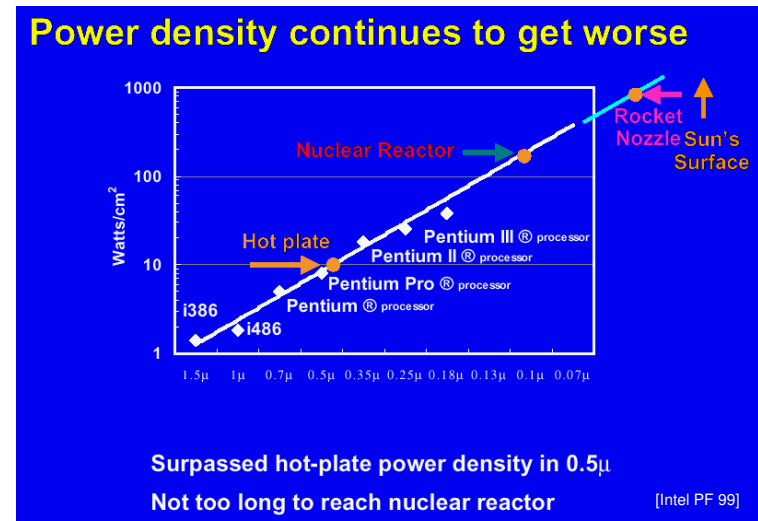


Figure 3
Number of wire levels used in IBM DRAM and CMOS logic technologies vs. year of introduction (includes tungsten local interconnections) and Semiconductor Industry Association (SIA) Roadmap values for future years. Modified from [10], with permission of The Electrochemical Society, Inc.

[IBM JR&D 44-3, 2000]

Moore's Law: Leistungsverbrauch



Surpassed hot-plate power density in 0.5µ
Not too long to reach nuclear reactor

[Intel PF 99]

Literatur: Bücher

A.S.Tanenbaum	Computerarchitektur, 4. Auflage
J.L.Hennessy & D.A.Patterson	Computer Architecture, a Quantitative Approach, MKP 1996
H.-P. Messmer	PC-Hardwarebuch, 6. Aufl., Addison-Wesley 2000
S. Mueller	PC-Hardware Superbibel, Markt&Technik 1999
R. Hyde	http://webster.cs.ucr.edu/Page_asm/ArtofAssembly/pdf/AoAPDF.html
R. Duncan	MS-DOS für Fortgeschrittene, Vieweg 1987
S.P.Dandamudi	Introduction to Assembly Language Programming, Springer 1998
Intel	diverse Datenbücher (siehe developer.intel.com)
Commodore	PC-AT Service Manual (vollständige AT-Schaltpläne...)

PC-Technologie | SS 2001 | 18.214

Literatur: URLs

www.microsoft.com/hwdev
developer.intel.com

www.sandpile.org
bwrc.eecs.berkeley.edu/CIC
www.computerhistory.org
www.x86.org
www.tomshardware.com
www.pcdesguide.org
www.amd.com/swdev

www.usb.org
www.pcisig.org

PC-Technologie | SS 2001 | 18.214

Literatur: ausgewählte c't Artikel

A.S.Tanenbaum	Computerarchitektur, 4. Auflage
J.L.Hennessy & D.A.Patterson	Computer Architecture, a Quantitative Approach, MKP 1996
PCI-Bus, Interrupts	11/2000, 258ff
ACPI, Powermanagement	20/1998, 166ff
DVD Übersicht	20/1888, 101 ff, CSS: 08/2000, 221
Übersicht Intel/AMD Prozessoren	14/2000, 88ff
Speicher-Einmaleins	19/2000, 180ff
3D-Graphik	08/2000, 202ff, progressive Polygonmodelle: 16/1998, 166ff
USB, Firewire	02/1997, 284ff
Dateisysteme (FAT...)	06/2000, 116ff
LCD, Projektoren	12/2000, 170ff

PC-Technologie | SS 2001 | 18.214

Leerseite

PC-Technologie