

Vorlesung: Rechnerstrukturen, Teil 2 (Modul IP7)

J. Zhang

zhang@informatik.uni-hamburg.de

Universität Hamburg
Fachbereich Informatik

AB Technische Aspekte Multimodaler Systeme

10. Januar 2003

10. Januar 2003

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeine Informationen	3
2. Einführung in die Rechnerarchitektur	4
"Moore's Law"	6
Motivation	9
Beschreibungsebenen	12
Rechnerstrukturen	22
Wie rechnet ein Rechner?	31

10. Januar 2003

Allgemeine Informationen

Vorlesung (1): Di. u. Do. 10:00 c.t - 11:00

Pause: 11:00 - 11:10

Vorlesung (2): 11:10 - 11:55

Raum: Phil A

Web: <http://tams-www.informatik.uni-hamburg.de/lehre/>

Name: Prof. Dr. Jianwei Zhang

Büro: F308

E-mail: zhang@informatik.uni-hamburg.de

Sprechstunde: Donnerstag 15:00 - 16:00

Sekretariat: Tatjana Tetsis

Büro: F311

E-mail: tetsis@informatik.uni-hamburg.de

Einführung in die Rechnerarchitektur

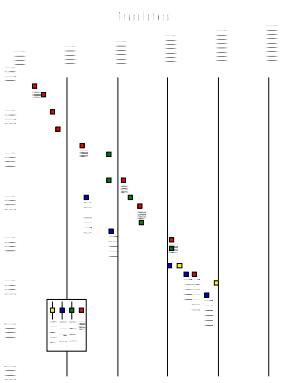
Rapide sich veränderndes Gebiet:

- Vakuum Röhre Transistor (C VLSI)
- verdoppelt sich alle 1,5 Jahre ("Moore's Law"):
 - ◆ Speicherkapazität
 - ◆ Prozessorgeschwindigkeit (durch Fortschritt in der Technologie und der Organisation)

Überblick der Entwicklungsgeschichte

DRAM chip capacity Microprocessor Logic Density

Year	Size
1980	64 Kb
1983	256 Kb
1986	1 Mb
1989	4 Mb
1992	16 Mb
1996	64 Mb
1999	256 Mb
2002	1 Gb



Seite 5
10. Januar 2003

"Moore's Law"

Umgangssprachliche Formulierung:

Bei konstanten Kosten verdoppelt sich die Rechenleistung eines Mikroprozessors alle 18 Monate.

Bemerkungen:

- Moores Vermutung bestätigt sich seit 1975.
- Moores ursprüngliche Aussage betrifft die Steigerungsrate für die Anzahl der Schaltkreise auf einem Chip.
- Moores Vermutung wird allgemein als "Moore's Law" bezeichnet.

Seite 6
10. Januar 2003

"Moore's Law" – Formel

$$L(t) = L(0) \times 2^{t/18}$$

Die Zeit t wird in Monaten gemessen.

$L(t)$ = Leistung zum Zeitpunkt t .

$L(0)$ = Leistung zum Zeitpunkt 0.

Einige Formelwerte:

Jahr 1:	1.5874
Jahr 2:	2.51984
Jahr 3:	4
Jahr 5:	10.0794
Jahr 6:	16
Jahr 7:	25.3984
Jahr 8:	40.3175

Leistungssteigerung der Spitzenrechner seit 1993

Jahr	Rechner	Linpackleistung in Gflop/s	Zahl der Prozessoren
1993	Fujitsu NWT	124	140
1994	Intel Paragon XP/S MP	281	6.768
1995	Intel Paragon XP/S MP	281	6.768
1996	Hitachi CP-PACS	368	2.048
1997	Intel ASCI Red (200 MHz Pentium Pro)	1.338	9.152
1998	ASCI Blue-Pacific (IBM SP 640E)	2.144	5.808
1999	ASCI Intel Red (Pentium II Xeon)	2.379	9.632
2000	ASCI White, IBM (SP Power 3)	4.903	7.424
2001	ASCI White, IBM (SP Power 3)	7.226	7.424
2002	Earth Simulator, NEC	35.610	5.104

Motivation

Was Sie lernen werden:

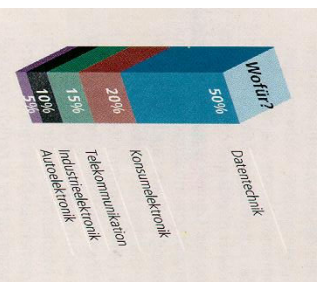
- wie Computer funktionieren, als grundlegende Basis
- wie man ihre Leistung analysiert (und wie nicht)
- Fragen moderner Prozessoren (Caches, Pipelines)

Warum sollte man diese Dinge lernen?

- Sie wollen Computerwissenschaftler werden
- Sie wollen Software entwickeln, die praktisch genutzt wird (daher brauchen wir Leistung)
- Hardware wird immer enger mit Software als Embedded Systems gekoppelt
- Sie müssen Verkaufentscheidungen treffen oder einen "Expertenrat" abgeben

Seite 9
10. Januar 2003

Bereiche der Technischen Informatik



Mechatronik, Robotik, Echtzeit-Regelung, Prozedurtechnik, Embedded-Systems. Der Rest liegt in Anwendungsfeldern der Mikroelektronik.

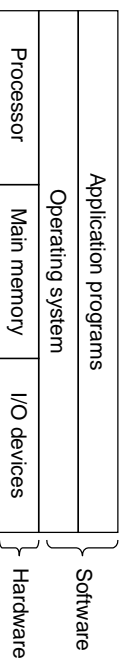
Seite 10
10. Januar 2003

Motivation - 2

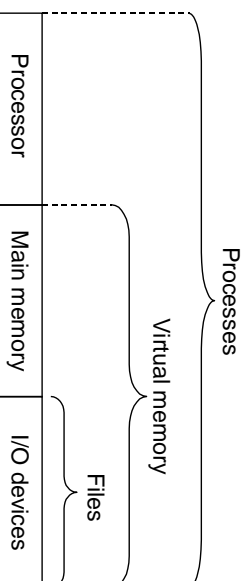
Was zieht uns an:

- Veränderung
- Es ist aufregend
- Es wird noch aufregender
- Große Bedeutung für alle anderen Aspekte der E-Technik und Informatik

Beschreibungsebenen – eine Schichten-Ansicht



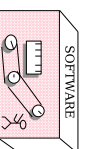
Von einem Betriebssystem gelieferte Abstraktionen



Seite 13
10. Januar 2003

Befehlssatzarchitektur (ISA)

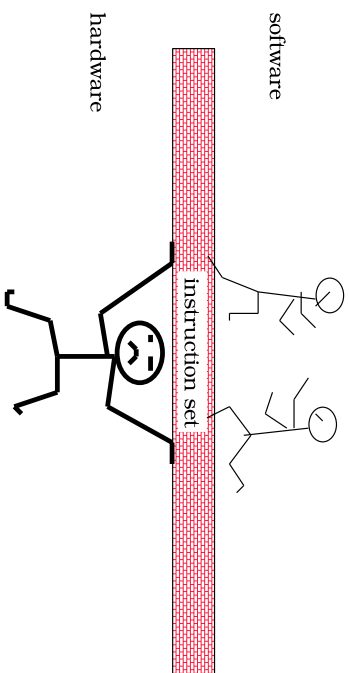
Befehlssatzarchitektur: Instruction Set Architecture (ISA):
die vom Programmierer betrachteten Attribute der konzeptionellen Struktur



- + des funktionellen Verhaltens, die beinhalten:
- Organisation des programmierbaren Speichers
 - Datentypen und Datenstrukturen: Codierungen und Darstellungen
 - Befehlssatz
 - Befehlsformate
 - Modelle für Befehls- und Datenzugriffe
 - Ausnahmebedingungen

Seite 14
10. Januar 2003

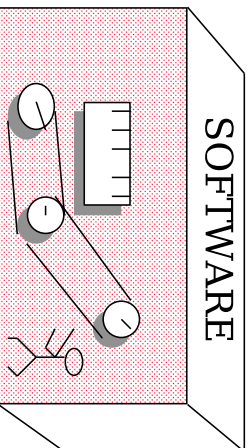
Der Befehlssatz: Ein kritisches Interface



Seite 15
10. Januar 2003

Sichtweise des Logikdesigners

ISA EBENE
Funktionseinheiten u. Verbindungen

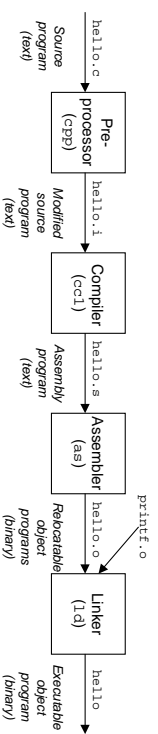


Seite 16
10. Januar 2003

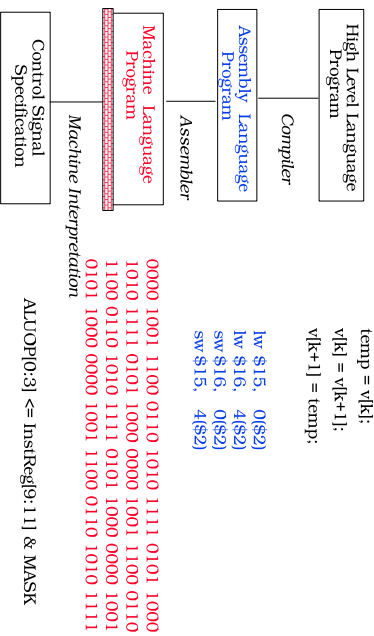
Beispiele für Befehlssatzarchitekturen

Digital Alpha	1992-97
HP PA-RISC	1986-96
Sun Sparc (v8, v9)	1987-95
SGI MIPS (MIPS I, II, III, IV, V)	1986 - 96
Intel (8086, 80286, 80386, 80486, Pentium, MMX, ...)	1978 -
Motorola/IBM/Apple (PowerPC 602/603/604/740/750/7400)	1993 -
IA 64	2000

Das Kompilierungssystem



Repräsentationsebenen



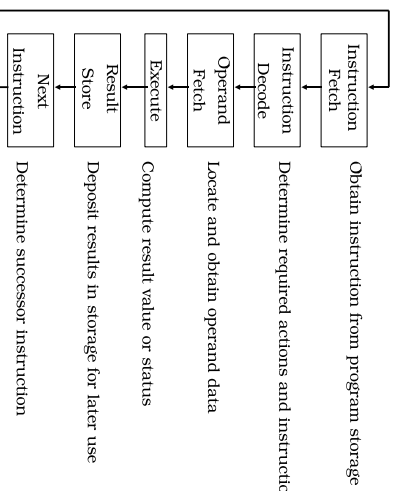
Assembler

In Assembler werden Sie selten ein Programm schreiben müssen.

Das Verständnis des Assemblers ist unerlässlich für das Verständnis des Ausführungsmodells auf der Maschinenebene:

- Programmverhalten bei Fehlern
 - ◆ Das High-Level Sprachmodell ist dort nicht anwendbar
- Die Programmleistung verstärken
 - ◆ Die Ursachen für Programm-Ineffizienz verstehen
- Systemsoftware implementieren
 - ◆ Der Compiler hat den Maschinencode als Ziel
 - ◆ Die Betriebssysteme müssen den Prozesszustand verwalten

Ausführungszyklus



Seite 21
10. Januar 2003

Rechnerstrukturen

Bestandteile eines Rechners:

- Input (Maus, Keyboard)
- Output (Bildschirm, Drucker)
- Speicher (Laufwerke, DRAM, SRAM, CD)
- Netzwerk

Unser primärer Schwerpunkt: der Prozessor (Datenpfad und Kontrolle)

- wird mit Hilfe von Millionen Transistoren implementiert
- ist unmöglich durch die Untersuchung jedes einzelnen Transistors zu verstehen
- Wir brauchen...

Seite 22
10. Januar 2003

Rechnerstrukturen - Weitere Betrachtung

Rechnerstrukturen =

- Rechnerarchitektur
- Implementierung

Rechnerarchitektur =

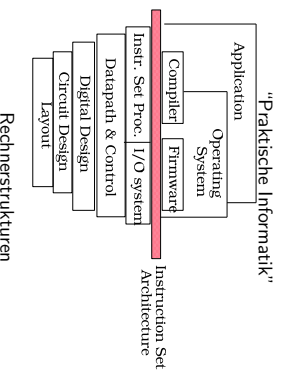
- Schnittstelle zwischen Rechner und Benutzer =
 - ◆ Befehlssatzarchitektur
 - ◆ Maschinenorganisation

Implementierung

- Hardware-Aufbau von Komponenten, die die Rechnerarchitektur realisieren
- Speichereinheiten, Recheneinheiten, Verbindungssysteme,...

Seite 23
10. Januar 2003

Was umfasst der Begriff Rechnerstrukturen?



- Koordination vieler Abstraktionsebenen der Beschreibung
- Berücksichtigung ständig wechselnder äußerer Einflüsse
- Entwurf, Leistungsmessung, Leistungsbewertung

Seite 24
10. Januar 2003

Maschinenorganisation

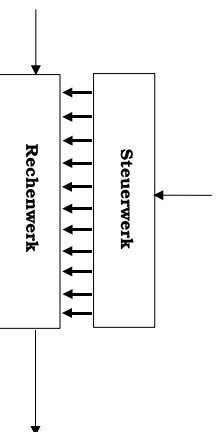
- Fähigkeiten und Leistung der prinzipiellen Funktionseinheiten
 - ◆ (z.B., Registers, ALU, Shifters,...)
- Verbindungen zwischen diesen Einheiten
- Informationsfluss zwischen den Komponenten
- Logik und Methoden zur Realisierung des Informationsflusses
- "Choreographie" der Funktionseinheiten
- Beschreibung auf Register-Transfer-Ebene (Register Transfer Level (RTL))

Seite 25
10. Januar 2003

von Neumann Architektur

Charakteristika:

1. Daten und Befehle liegen im gleichen Schreib-Lese-Speicher.
2. Der Zugriff auf Speicherinhalte erfolgt über die Adresse der Speicherzelle, Speicherinhalte sind nicht typisiert.
3. Die Programmausführung erfolgt sequentiell, Befehl für Befehl.



Seite 26
10. Januar 2003

Treibende Kräfte auf Rechnerstrukturen

- Technologie
- Anwendungen
- Programmiersprachen
- Betriebssysteme
- Geschichte

Seite 27
10. Januar 2003

Technologie

- Gegen 1985 entstehen Ein-Chip 32-Bit Prozessoren und Single-Board-Computer
 - ◆ Workstations, PCs, Multiprozessoren basieren seither auf dieser Technik
- Mit den neu auf dem Markt erscheinenden Prozessoren ist Mainframe-Leistung auf einem Chip verfügbar

Seite 28
10. Januar 2003

Technologiebedingtes Wachstum in Zahlen

- Prozessor
 - ◆ Transistorzahl: ca 30% pro Jahr (heute ca. 100 Mio.)
 - ◆ Takttrate: ca 20 % pro Jahr
- Speicher
 - ◆ DRAM Kapazität: ca 60% pro Jahr (4x alle 3 Jahre)
 - ◆ Zugriffsgeschwindigkeit: ca. 10 % pro Jahr
 - ◆ Kosten pro Bit: sinken um ca. 25% pro Jahr
- Plattenspeicher
 - ◆ Kapazitätssteigerung: ca. 60% pro Jahr

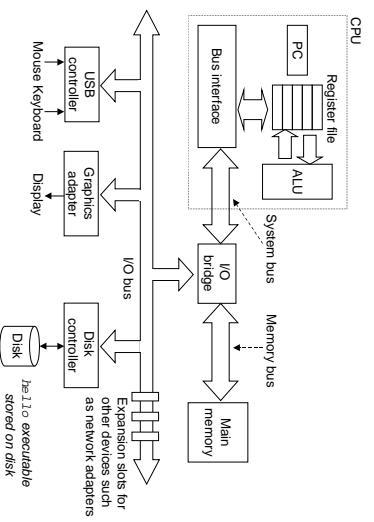
Beispiel: Der PowerPC 7540 (G4)

Geschwindigkeit	bis 1,2 GHz
Busfrequenz	133 MHz
Bus Interface	64 Bits
L1 Cache	32/32 kByte
L2 Cache	256 kByte
Prozess	0,18 μ m
U_{int}	1,3 - 1,6V
$U_{I/O}$	1,8V / 2,5 V
Leistung	21,3 W / 1 GHz
Performance	2280 Drystone MPS @ 1GHz

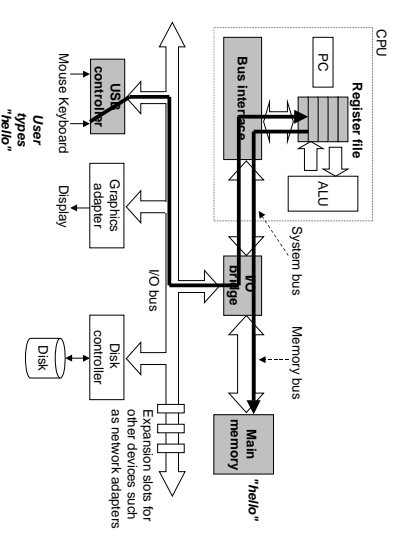
Wie rechnet ein Rechner?

- Datenpfad und Steuerwerk
- Choreografie der Funktionseinheiten
- Caches und Speicherhierarchien
- Wie man Daten sicher verwahrt
- Ein-/Ausgabe und Netzwerke
- "Hello World" - Wie man mit Rechnern kommuniziert

Hardwareorganisation eines typischen Systems

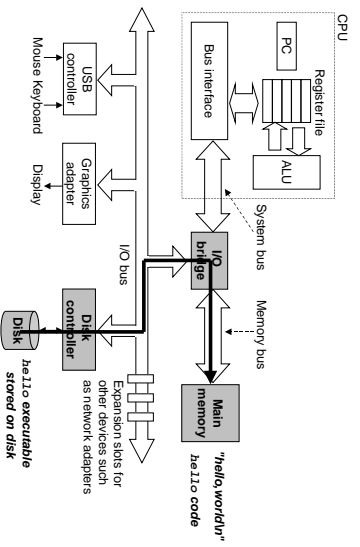


Lesen



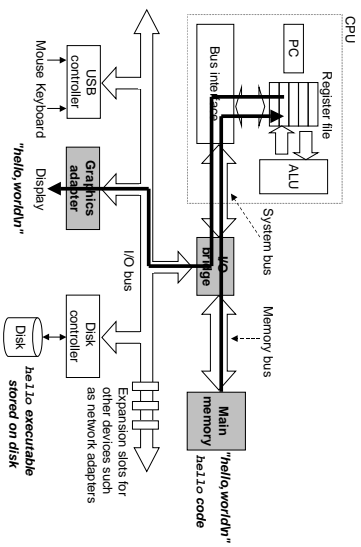
Seite 33
10. Januar 2003

Laden



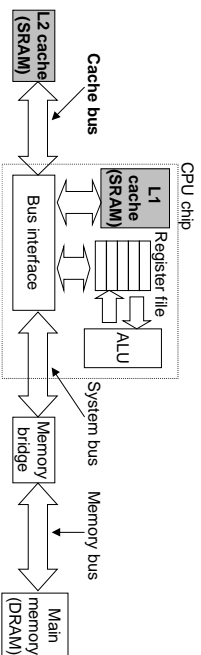
Seite 34
10. Januar 2003

Schreiben



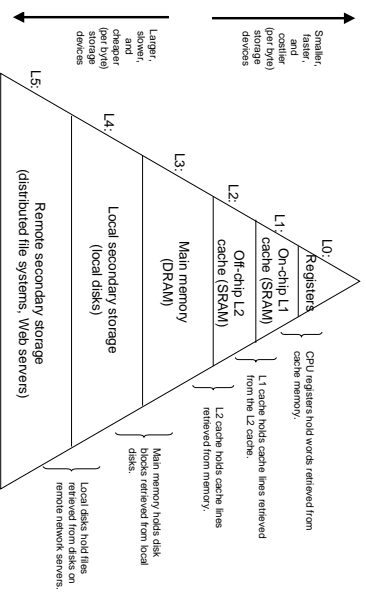
Seite 35
10. Januar 2003

Cache-Speicher



Seite 36
10. Januar 2003

Beispiel einer Speicher-Hierarchie



Seite 37
10. Januar 2003

Der Speicher ist wichtig

- **Der Speicher ist nicht unbegrenzt**
 - ◆ Er muss zugeteilt und verwaltet werden.
 - ◆ Viele Anwendungen werden vom Speicher dominiert.
- **Fehler, die auf den Speicher verweisen, sind besonders gefährlich**
 - ◆ Auswirkungen sind sowohl zeitlich als auch räumlich entfernt
- **Speicherleistung ist nicht gleichbleibend**
 - ◆ Cache und Virtual Memory Auswirkungen können die Programmleistung stark beeinflussen
 - ◆ Die Anpassung des Programms an das Speichersystem kann die Geschwindigkeit bedeutend verbessern

Seite 38
10. Januar 2003

Ergänzende Literatur

Zur Rechnerarchitektur (1. Teil)

Literatur

- [1] Randal E. Bryant and David O'Hallaron. *Computer Systems*. Pearson Education, Inc., New Jersey, 2003.
- [2] David A. Patterson and John L. Hennessy. *Computer Organization and Design: The Hardware / Software Interface*. Morgan Kaufmann Publishers, Inc., San Francisco, 1998.
- [3] Andrew S. Tanenbaum. *Computerarchitektur*. Pearson Studium München, 2006.