

# Rechnerstrukturen

Vorlesung im Sommersemester 2008

Prof. Dr. Wolfgang Karl

Universität Karlsruhe (TH)

Fakultät für Informatik

Institut für Technische Informatik



- Prof. Dr. Wolfgang Karl
  - Professur für Entwurf von Systemen in Hardware/Organisation Innovativer Rechnerarchitekturen,
  - Institut für Technische Informatik der Fakultät für Informatik, Universität Karlsruhe (TH)
    - Büro: Raum 159, Geb. 20.20
    - Tel.: 0721 608 3771
    - Email: [karl@ira.uka.de](mailto:karl@ira.uka.de)
  - Sprechstunde:
    - Dienstag, 16:00 – 17:00 Uhr und nach Vereinbarung

- Leitung:
  - Prof. Dr. Wolfgang Karl
- Sekretariat (Geb. 20.20, 2. Stock):
  - Frau Scheffel
  - Frau Murr-Grobe
- Mitarbeiter (Geb. 20.20, 1. Stock):
  - Dr. Rainer Buchty (Übungsleitung)
  - Dipl.-Inform. David Kramer
  - Dipl.-Inform. Oliver Mattes
  - Dipl.-Inform. Fabian Nowak
  - Dipl.-Inform. martin Schindewolf

- Übungen:
  - Vertiefung des in der Vorlesung behandelten Stoffs an Beispielen und Aufgaben
  - Übungsleiter: Dr. Rainer Buchty
    - [buchty@ira.uka.de](mailto:buchty@ira.uka.de)
    - Raum: 160, Geb. 20.20

- Klausurtermin:
  - 11. August 2008, 13:00 Uhr
    - Stoff: Vorlesung und Übung

- Informationen zur Vorlesung unter:
  - <http://itec.uka.de/capp/teaching/rs>

KW	Vorlesung			Übung	
	Mi	Do		Mi	Do
KW16	16.04.2008	17.04.2008			
KW17	23.04.2008				24.04.2008
KW18	30.04.2008				
KW19	07.05.2008	08.05.2008			
KW20	14.05.2008				15.05.2008
KW21	21.05.2008				
KW22	28.05.2008	29.05.2008			
KW23	04.06.2008				05.06.2008
KW24	11.06.2008	12.06.2008			
KW25	18.06.2008				19.06.2008
KW26	25.06.2008	26.06.2008			
KW27	02.07.2008				03.07.2008
KW28	09.07.2008	10.07.2008			
KW29	16.07.2008				17.07.2008

- Der Begriff „**Rechnerstrukturen**“:
  - Hardwarestruktur eines Rechners auf einer konzeptionellen Darstellungsebene.
  - Anwendersicht und
  - Operationsprinzip eines Rechners.
  
- In der Vorlesung ist „Rechnerstrukturen“ im Sinne von Rechnerkonzepten oder schlicht — **Rechnerarchitektur** — gemeint.

- Rechnerarchitektur

- Allgemeine Strukturlehre mit deren Hilfsmittel
- Ingenieurwissenschaftliche Disziplin, die bestehende und zukünftige Rechenanlagen beschreibt, vergleicht, beurteilt, verbessert und entwirft.
- Betrachtet den Aufbau und die Eigenschaften des Ganzen (Rechenanlage), seiner Teile (Komponenten) und seiner Verbindungen (Globalstruktur, Infrastruktur)

## 1. Grundlagen

- Einführung
- Allgemeine Grundlagen des Entwurfs von Rechenanlagen
- Formen des Parallelismus und Klassifizierungen von Rechnerarchitekturen
- Bewertung von Rechensystemen

## 2. Prozessortechniken

- Von-Neumann-Architektur
- Von RISC zu Superskalar, Superskalartechniken
- VLIW, EPIC
- Multithreading

## 3. Multiprozessoren

- Allgemeine Grundlagen, Verbindungsnetze, Leistungsfähigkeit
- Speichergekoppelte Multiprozessoren
  - SMP und DSM
  - Speicherkonsistenz und Cache-Kohärenz
- Nachrichtengekoppelte Multiprozessoren
- Höchstleistungsrechner und Grid-Computing
- Chip-Multiprozessoren, Multi-core, Many-core

## 4. Weitere Rechnerstrukturen

- Vektorrechner und Feldrechnerprinzip
- SIMD-Verarbeitung in Mikroprozessoren
- Datenflussprinzip

## 5. Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Fehlertoleranz

## 6. Ausblick: Aktuelle Forschungsthemen

- Research areas

- Computer architecture and parallel processing

- Design aspects and organisation

- Chip multiprocessors and multi-core architectures for high-performance and embedded systems
- Reconfigurable architectures
- Focus on self-organization and adaptation

- Methods and tools for parallel and self-organizing systems

- Adaptive monitoring concepts
- Tool environments

- **Research topics**

- Monitorig Infrastructure for parallel and self-organising systems

- Hierarchical and distributed approach

- Sustained System Monitoring

- » HW and SW configurable monitoring components

- Real-time Analysis and Evaluation

- Correlation of (many) Events

- Identification of Problems/Causes

- Semantic Data Compression

- Example: DFG SPP 1183 **DodOrg**

- Well suited for parallel systems with reconfigurable logic

- Observing communication and memory access behaviour

- Research topics
  - Performance Analysis and Evaluation
    - Data acquisition
      - Monitoring, performance counter
      - Data profiling tool
      - Instrumentation
      - Cache and multiprocessor simulator
    - Tools for data locality optimizations
      - Adaptive runtime system
      - Pattern analysis
      - Precompiler for prefetching
      - Visualization
    - Data locality optimizations
      - Cache hierarchies
      - Parallel NUMA systems and multicore architectures

- **Research topics**
  - Vertical migration for multicore and coprocessor accelerators
  - Virtualization of heterogeneous systems
  - Performance analysis and evaluation of heterogeneous systems

- Weitere vom Lehrstuhl angebotene Lehrveranstaltungen:

- Vorlesung:

- Mikroprozessoren

- Dienstag, 9: 45-11: 15 Uhr, Raum -102, Geb. 50.34

- Inhalt:

- » Der Schwerpunkt der Vorlesung liegt auf Mikroprozessoren, die in komplexen mehrbusorientierten Mikroprozessorsystemen (PCs, Arbeitsplatzrechnern und symmetrischen Multiprozessorsystemen mit gemeinsamen Speicher) eingesetzt werden. Die Vorlesung soll den Studierenden detaillierte Kenntnisse über die Architektur, Organisation und Programmierung dieser modernen Mikroprozessoren vermitteln. Dabei werden die grundlegenden Eigenschaften dieser Allzweck-Mikroprozessoren an konkreten Fallbeispielen (Intel quad-core, Intel Itanium, AMD Opteron) dargestellt.
- » Moderne Mikroprozessoren nützen den in Programmen inhärent vorhandenen feinkörnigen Parallelismus aus, weshalb im dritten Teil der Vorlesung die grundlegenden Eigenschaften von parallelen Prozessorarchitekturen erläutert werden. Es werden die in der Literatur diskutierten und bereits in Ankündigungen von Mikroprozessoren genannte Techniken besprochen.
- » In einem Ausblick werden die neuesten Ankündigungen von Mikroprozessoren und Forschungsthemen diskutiert.
- » Die Vorlesung ist so aufgebaut, dass zum einen detaillierte Kenntnisse der Hardware vermittelt werden, zum anderen aber ebenso Hardware-nahe Software-Aspekte (wie z.B. die Unterstützung von Betriebssystemfunktionen) an Fallstudien besprochen werden.

- Weitere vom Lehrstuhl angebotene Lehrveranstaltungen:
  - Praktikum Multicore-Technologie
    - Multicore-Prozessoren durchdringen mehr und mehr den Alltag: Egal ob PC, Spielekonsole oder Handys -- die Leistungsfähigkeit wird durch Verwendung mehrerer, ggf. spezialisierter, Prozessorkerne auf einem Chip erzielt.
    - Das Praktikum betrachtet die Architektur- und Hardware-Aspekte von Multicore-Prozessoren. Ziel des Praktikums ist der Aufbau eines heterogenen Multicore-Systems. Mithilfe von FPGA-Technologie wird zunächst ein Multicore-System in Hardware implementiert und auf dieses in einem zweiten Schritt ein leichtgewichtiges Betriebssystem (Xilkernel) aufgesetzt. Dieses bietet grundlegende Funktionen zur Prozess-, Thread- und Speicherverwaltung sowie Kommunikationsmöglichkeiten. An ausgewählten Anwendungsbeispielen soll die im Praktikum realisierte Lösung evaluiert werden.
    - Es sind noch Plätze frei!
    - Interessenten bitte bei Dr. Rainer Buchty oder Fabian Nowak melden!

- Weitere vom Lehrstuhl angebotene Lehrveranstaltungen:

- Praktikum Multicore-Programmierung

- Multicore-Prozessoren durchdringen mehr und mehr den Alltag: Egal ob PC, Spielekonsole oder Handys -- die Leistungsfähigkeit wird durch Verwendung mehrerer, ggf. spezialisierter, Prozessorkerne auf einem Chip erzielt.
- Das Praktikum betrachtet die Programmieraspekte von Multicore-Prozessoren. Ziel des Praktikums ist die effiziente Programmierung solcher Systeme. Deren Programmierung erfordert andere Denkweisen als bei der traditionellen sequentiellen Programmierung und gestaltet sich im direkten Vergleich zu dieser aufwendiger und fehleranfälliger.
- Im Rahmen des Praktikums werden sequentielle Programme aus dem Bereich der numerischen Mathematik durch verschiedene Programmiermodelle (z.B. OpenMP und MPI) parallelisiert. Anschließend werden diese Implementierungen mithilfe industrieller Werkzeuge hinsichtlich Korrektheit und Leistungsfähigkeit analysiert und entsprechend optimiert.
- Es sind noch Plätze frei!
- Interessenten bitte bei David Kramer, Oliver Mattes melden!

- Weitere vom Lehrstuhl angebotene Lehrveranstaltungen:
  - Seminar High-Performance Reconfigurable Computing
    - Im Bereich des Hoch- und Höchstleistungsrechnen spielt Hardwarebeschleunigung zunehmend eine wichtige Rolle: Neuartige Koprozessoranbindungen ermöglichen die einfache Anbindung von rekonfigurierbaren Hardwarebeschleunigern und damit einhergehend die vertikale Verlagerung von Algorithmen in Hardware. Diese ergänzt nachhaltig die klassischen Optimierungsmethoden wie effiziente Parallelisierung, Optimierung der Datenlokalität und Minimierung des Kommunikationsaufwandes zwischen einzelnen Rechenknoten.
    - Entsprechende Rechnerplattformen werden mittlerweile von einer Reihe von Rechnerherstellern angeboten, welche darüber hinaus auch unterstützende Betriebssystemfunktionen und Werkzeugumgebungen zur Verfügung stellen.
    - Im Seminar werden die unterschiedlichen Aspekte von Hochleistungsrechnern mit rekonfigurierbaren Hardware-Beschleunigern präsentiert. Ausgehend von AMDs Torrenza-Initiative werden zunächst unterschiedliche Plattformen vorgestellt und diskutiert. Hierbei ist insbesondere von Interesse, welche Anwendungsfelder von rekonfigurierbarer Hardware-Beschleunigung profitieren und wie diese im einzelnen umgesetzt wird.
  - Interessenten bitte bei Dr. Rainer Buchty melden!

- Hennessy, J.L., Patterson, D.A.: Computer Architecture: A Quantitative Approach. Morgan Kaufmann, 3.Auflage 2002.
- Patterson, D.A. Hennessy, J.L.: Rechnerorganisation und –entwurf Die Hardware/Software-Schnittstelle. Deutsche Ausgabe herausgegeben von A. Bode, W. Karl, T. Ungerer. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2005
- U. Bringschulte, T. Ungerer: Microcontroller und Mikroprozessoren, Springer, Heidelberg, 2. Auflage 2007
- Theo Ungerer: Parallelrechner und parallele Programmierung, Spektrum-Verlag 1997
- D.Culler, J.P.Singh, A.Gupta: Modern Parallel Computer Architecture, Morgan Kaufmann 1997

## Kapitel 1: Grundlagen

### 1.1 Einführung, Begriffsklärungen

- Der Begriff „Rechnerarchitektur“
  - Definition nach Amdahl, Blaauw, Brooks (1967)

*„ Computer architecture is defined as the attributes and behavior of a computer as seen by a machine-language programmer. This definition includes the instruction set, instruction formats, operation codes, addressing modes, and all registers and memory locations that may be directly manipulated by a machine language programmer. Implementation is defined as the actual hardware structure, logic design, and data path organization of a particular embodiment of the architecture. “*
  - Beschreibung der Attribute und des funktionalen Verhaltens eines Systems, wie es von einem Anwender, der in Maschinensprache programmiert, gesehen wird.

- Der Begriff „Rechnerarchitektur“
  - Definition nach Amdahl, Blaauw, Brooks (1967)
  - Rechnerarchitektur
    - spezifiziert die konzeptionelle Struktur und das funktionale Verhalten
    - und betrifft nicht Details der Hardware und der technischen Ausführung des Rechners
  - Die Definition behandelt nur das äußere Erscheinungsbild des Rechners und klammert die internen Vorgänge ausdrücklich aus.

- Der Begriff „Rechnerarchitektur“
  - Heutige Sichtweise (Hennessy/Patterson, 2003):
    - Rechnerarchitektur umfasst
      - Befehlssatzarchitektur (Instruction Set Architecture)
      - Organisation
      - Hardware

} Implementierung

- Der Begriff „Rechnerarchitektur“
  - Heutige Sichtweise (Hennessy/Patterson, 2003):
    - Befehlssatzarchitektur (Instruction Set Architecture)
      - Beschreibung der Attribute und des funktionellen Verhaltens eines Rechners
      - Sichtweise des Maschinenprogrammierers
      - Schnittstelle zwischen Hardware und Software
      - Spezifikation der Befehlssatzarchitektur
        - » Ausführungsmodell
        - » Datenformate, Datentypen
        - » Adressierungsarten
        - » Befehlsformat und Befehlssatz
        - » Logischer Adressraum
        - » Unterbrechungssystem
        - » ...

- Der Begriff „Rechnerarchitektur“
  - Heutige Sichtweise (Hennessy/Patterson, 2003):
    - Organisation
      - Höhere Aspekte des Rechnerentwurfs:
      - Entwurf der internen CPU
        - » Art und Anzahl der internen Ausführungseinheiten
        - » Art und Stufenzahl der Befehlspipeline
        - » Grad und Verwendung der Superskalartechnik, VLIW, EPIC, Multithreading
      - Speicher- und Cachesystem
      - Busstruktur
      - ...
    - Hardware
      - Betrifft die speziellen Hardware-Eigenschaften des Rechners, einschließlich dem Logik-Entwurf bis hin zur Verpackungstechnik

- Entwurf einer Rechenanlage
  - Ingenieurmäßige Aufgabe der Kompromissfindung zwischen
    - Zielsetzungen
      - Einsatzgebiet, Anwendungsbereich, Leistung, Verfügbarkeit ...
    - Randbedingungen
      - Technologie, Größe, Geld, Energieverbrauch, Umwelt, ...
    - Gestaltungsgrundsätzen
      - Modularität, Sparsamkeit, Fehlertoleranz ...
    - Anforderungen
      - Kompatibilität, Betriebssystemanforderungen, Standards

- Zielsetzungen
  - Einsatzgebiete
    - Desktop Computing
      - PCs bis Workstations (\$1000 - \$10000)
      - Günstiges Preis-/ Leistungsverhältnis
      - Ausgewogene Rechenleistung für ein breites Spektrum von Anwendungen, einschließlich interaktiver Anwendungen (Graphik, Video, Audio) oder WEB-Anwendungen
    - Server
      - Höchstleistungsrechner
        - » Hohe Leistungsfähigkeit bzgl. Gleitkommaverarbeitung, Graphik
      - Server im kommerziellen Bereich
        - » Datenbankanwendungen, Transaktionsverarbeitung
        - » WEB-Server, Unterstützung von WEB-Diensten
      - Rechen- und datenintensive Anwendungen
      - Hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit
      - Skalierbarkeit
      - Große Datei-Systeme, Ein-/Ausgabesysteme

- Zielsetzungen

- Einsatzgebiete

- Eingebettete Systeme (Embedded Systems)

- Mikroprozessorsysteme, eingebettet in Geräten, daher nicht unbedingt sichtbar
    - Beispiele: Automobil, Unterhaltungselektronik, Telekommunikation, Haushaltsgeräte, ...
      - » Rechensysteme sind auf spezielle Aufgabe zugeschnitten
      - » Hohe Leistungsfähigkeit für spezielle Anwendung
      - » Spezialprozessoren, Prozessorkerne mit anwendungsspezifischen Komponenten
    - Breites Preis-/Leistungsspektrum
      - » Von einfachen 8-, 16-Bit Microcontrollern bis komplexe Spezialprozessoren
    - Abwägen der Anforderungen an die Rechenleistung, Speicherbedarf, Kosten, Energieverbrauch
    - Echtzeitanforderungen