
Rechnerstrukturen

Vorlesung im Sommersemester 2007

Prof. Dr. Wolfgang Karl

Universität Karlsruhe (TH)

Fakultät für Informatik

Institut für Technische Informatik



Kapitel 1: Grundlagen

1.2 Einführung, Entwurfsfragen



- 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



- Zielsetzungen

- Anwendungsbereiche:

- Technisch-wissenschaftlichen Bereich

- Strömungsmechanik
 - Materialforschung
 - ...

- Kommerzieller Bereich

- Datenbankanwendungen
 - WEB, Suchmaschinen
 - Optimierung von Geschäftsprozessen,
 - Unterstützung von Geschäftsentscheidungen (Risikoanalyse)
 - ...

- Eingebettete Systeme

- Verarbeitung digitaler Medien
 - Automatisierungstechnik
 - Automobil
 - Telekommunikation
 - ...



- Zielsetzungen

- Benutzerfreundlichkeit

- Beziehung zwischen einem Rechensystem und Nutzer:

- Anwendungsprogrammierer:

- » problemorientierte Erstellung von Anwendungen

- Administration

- » Verwaltung, Wartung verteilter Systemressourcen

- Bedienung durch nicht-technisches Personal, Anwender

- Gestaltung der Schnittstelle zwischen dem Rechensystem und seinem Benutzer

- Ziel der Software-Entwicklung

- Techniken der benutzerfreundlichen Oberfläche erst durch spezielle Hardware-Techniken möglich



- Zielsetzungen
 - Verlässlichkeit / Robustheit
 - Gewährleistung einer minimalen Verfügbarkeit des Systems
 - Bei Ausfällen von Komponenten muss ein betriebsfähiger Kern bereit sein
 - » Vielfach Verwendung redundanter Komponenten
 - Wichtig für sicherheitskritische Anwendungen



- Zielsetzungen

- Erweiterbarkeit / Skalierbarkeit

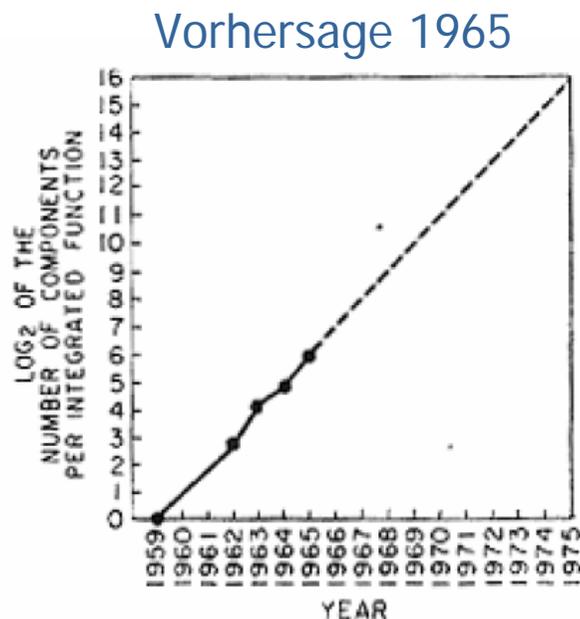
- Charakterisiert ein System, das in jedem Zustand die Erweiterung seiner Fähigkeiten zulässt, aber in jedem Zwischenzustand korrekt funktionsfähig ist
 - Installation weiterer Ausbaustufen durch Hinzufügen von Komponenten



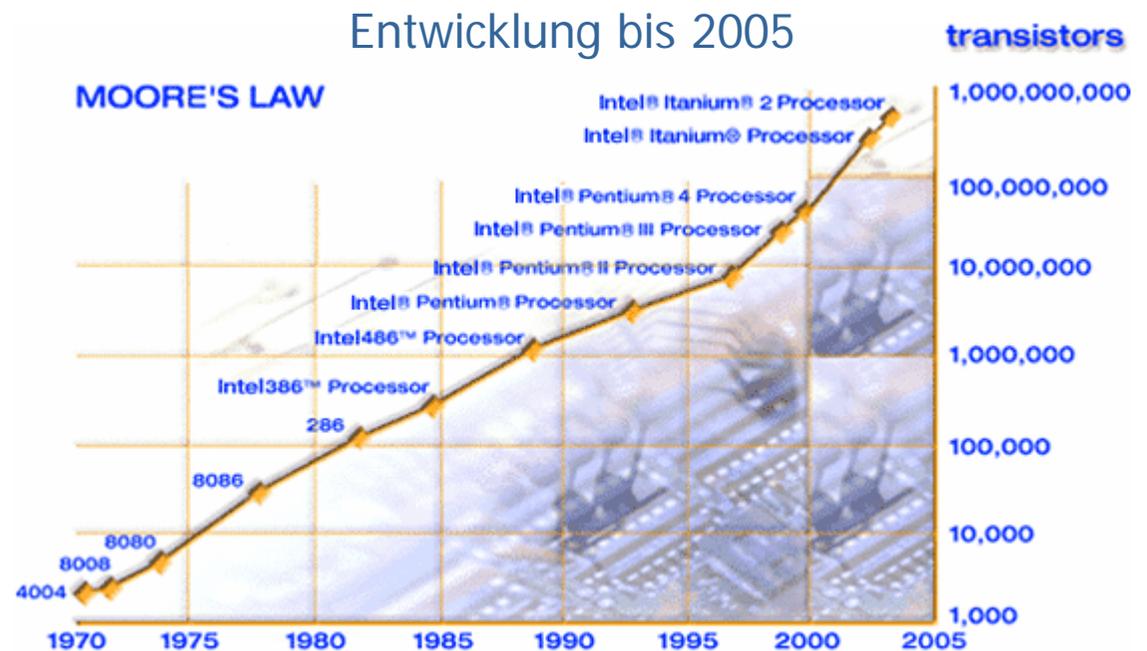
- Randbedingungen
 - Technologische Entwicklungen

- Moore's Law

- Anzahl der Transistoren, die auf einem Chip integriert werden können, verdoppelt sich etwa alle 2 Jahre



Gordon E. Moore: Cramming More Components Onto Integrated Circuits. Electronics, Vol. 38, No.8, April 19, 1965



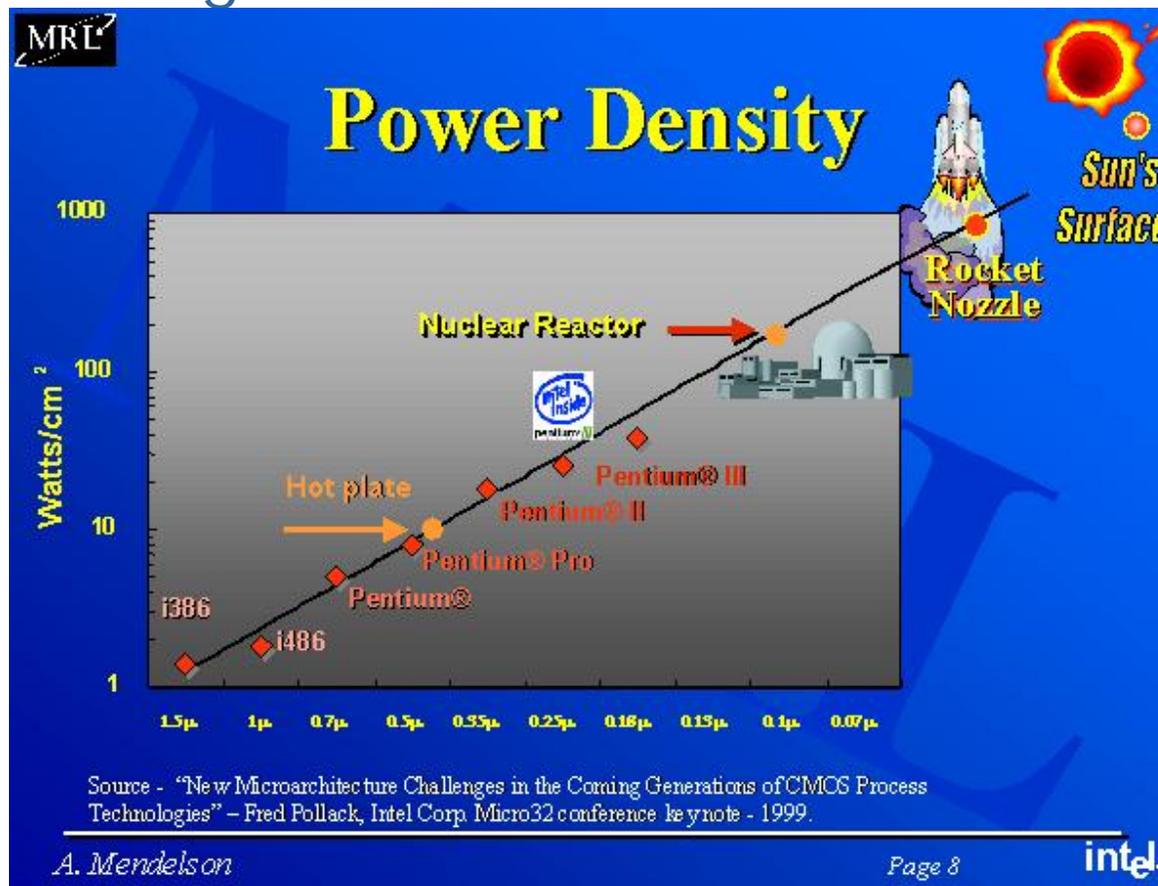
<http://www.intel.com/research/silicon/mooreslaw.htm>



- **Randbedingungen**
 - **Technologische Entwicklungen**
 - **Entwicklung der Halbleitertechnologie (Henn./Patt. ,03)**
 - **Integrationsdichte**
 - » Verbesserung um etwa 35% pro Jahr
 - **Chipfläche**
 - » Erhöhung um etwa 10% – 20% pro Jahr (schwieriger vorherzusagen)
 - **Anzahl der Transistoren auf einem Chip**
 - » Steigerung um etwa 55% pro Jahr
 - **Vorhersagen durch die Semiconductor Industry Association (SIA), (<http://www.sia-online.org>)**
 - » **International Technology Roadmap for Semiconductors 2003 Edition (<http://public.itrs.net>)**
 - » **2004 Update**
 - **Folgerung:**
 - **1 Milliarde Transistoren auf einem Chip in wenigen Jahren**



- Randbedingungen
 - Technologische Entwicklungen
 - Energiedichte



- Randbedingungen

- Technologische Entwicklungen

- Energiedichte: Folgerungen

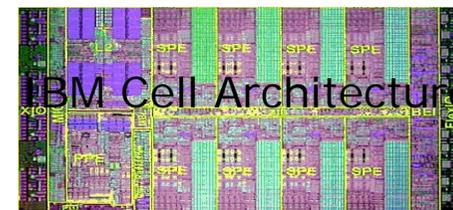
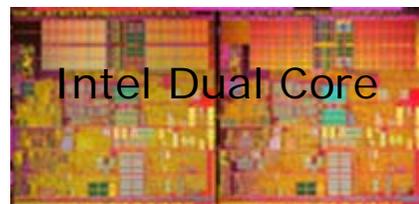
- Leistungssteigerung durch Parallelverarbeitung, auch auf Chip-Ebene:

- » Ausschöpfen der Leistung durch höhere Integration der Chip-, Modul- und Systemebenen

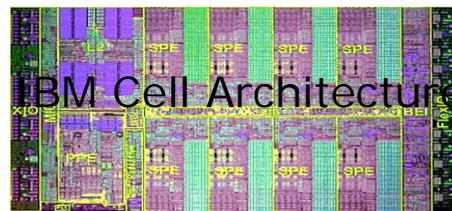
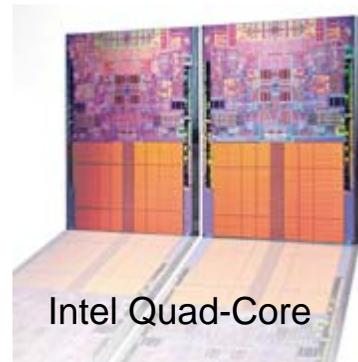
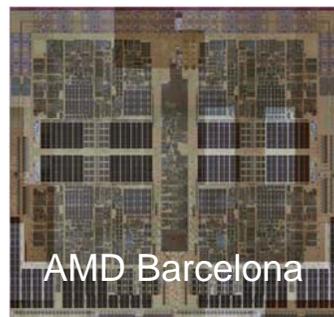
- » Sinnvolles Zusammenwirken von HW/SW

- Chip-Multiprozessoren (CMPs):

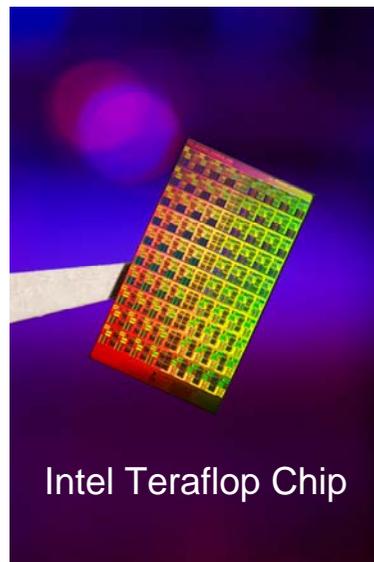
- » Integration mehrerer Prozessorkerne auf einem Chip:



- Randbedingungen
 - Technologische Entwicklungen
 - Chip-Multiprozessoren (CMPs), Multicore:
 - Stand heute: 4-8 Prozessorkerne auf einem Chip



- Randbedingungen
 - Technologische Entwicklungen
 - Chip-Multiprozessoren (CMPs), Multicore:
 - Zukünftige Entwicklung: mehrere hundert Prozessorkerne auf einem Chip



- **Randbedingungen**
 - **Technologische Entwicklungen**
 - **Entwicklung der DRAM-Technologie (Henn./Patt. ,03)**
 - **Integrationsdichte**
 - » Verbesserung um etwa 40% - 60% pro Jahr
 - **Zykluszeit**
 - » Nur langsame Verbesserung: hat in 10 Jahren um etwa 1/3 abgenommen
 - **Bandbreite**
 - » Steigerung doppelt so hoch wie bei der Latenz



- Randbedingungen
 - Technologische Entwicklungen
 - Entwicklung der Magnetplattentechnologie (Henn./Patt. ,03)
 - Speicherdichte
 - » Verbesserung um etwa 100% pro Jahr
 - » Bis 1990 Steigerung um etwa 30% pro Jahr
 - Zugriffszeit
 - » Verbesserung um etwa 1/3 in 10 Jahren



- **Randbedingungen**

- **Technologische Entwicklungen**

- **Entwicklung der Netzwerktechnologie (Henn./Patt. ,03)**

- Leistung des Netzwerks hängt von der Leistung der Switches und der Leistung des Übertragungssystems ab

- **Beobachtungen:**

- Die Anzahl der logischen Netzwerkverbindungen wächst mit der Anzahl N der Internetknoten um $N \times (N-1)/2$ (Matcalfe's Law)

- Steigerung der Bandbreite um den Faktor 1000 in 15 Jahren von 1MB Ethernet – 10GBit Ethernet

- **Folgerung:**

- Leistungsfähigkeit des Netzwerks wächst schneller als die Rechenleistung



- Randbedingungen
 - Technologische Entwicklungen
 - Folgerungen
 - Drastisch steigende Komplexität der Systeme
 - Verteilte Systemressourcen
 - Selbstorganisierende Systeme
 - » Selbst-konfigurierend
 - » Selbst-optimierend
 - » Selbst-heilend
 - » Selbst-schützend
 - » ...



- **Gestaltungsgrundsätze (nach Ungerer, 2000)**

- **Konsistenz:**

- Eigenschaft eines Systems mit folgerichtiger, schlüssiger Aufbau
- Bei Kenntnis eines Teil des Systems muss der Rest vorhersagbar sein
- Beispiel:
 - Bei Erweiterung des Befehlssatzes ist die Realisierung eines neuen Befehls weitgehend durch die bereits vorliegenden Befehle festgelegt

- **Orthogonalität / Modularität**

- Funktional unabhängige Teilelemente sind unabhängig voneinander spezifiziert und realisiert.
- Beispiel:
 - Befehlssatz ist orthogonal, wenn sich jeder arithmetisch-logische Befehl mit jeder Adressierungsart kombinieren lässt



- **Gestaltungsgrundsätze**

- **Symmetrie**

- Eigenschaft eines Systems, mathematisch symmetrische Eigenschaften des Systems auch symmetrisch zu entwerfen
 - Beispiel:
 - Die Verwendung der Subtraktion sollte in gleichartiger Weise erfolgen können, wie die Addition, d.h. mit denselben Daten- und Befehlsformaten

- **Angemessenheit**

- Die Elemente eines Systems sind angemessen, wenn ihre Funktionen bei der Lösung der vorgesehenen Problemstellung ausgeschöpft werden
 - Beispiel:
 - Abstimmung von Prozessor und Speicher



- **Gestaltungsgrundsätze**

- **Sparsamkeit**

- Kosten des Systems möglichst gering halten. Sie ist in Abhängigkeit von der Technologie zu sehen
 - Beispiel:
 - Kosten, Ausbeute bei der Chip-Herstellung

- **Wiederverwendbarkeit**

- Einsatz von Komponenten, die von vorne herein auf allgemeine Verwendbarkeit hin entwickelt wurden
 - Beispiel:
 - Standardisierung von Bussen (PCI-Bus)
 - Einsatz von Standardkomponenten bei der Entwicklung von Höchstleistungsrechnern



- **Gestaltungsgrundsätze**

- **Transparenz**

- Ein System ist transparent, wenn verschiedene Funktionen des Gesamtsystems unsichtbar bleiben
 - Beispiel:
 - Prozesse im Hintergrund

- **Virtualität**

- Eigenschaft eines Systems, Funktionen anzubieten, die real gar nicht vorhanden sind
 - Beispiel:
 - Virtuelle Speicherverwaltung

