

## Vorlesung Parallele Systeme

Wolfgang Blochinger  
Institut für Parallele und Verteilte Systeme  
Universität Stuttgart

PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

### 1. Einleitung

## Parallele Systeme?

PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

### Parallelität in Rechnersystemen

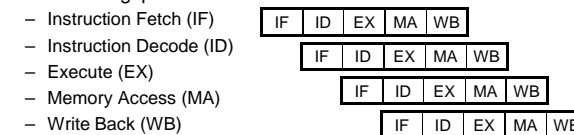
Parallelität tritt auf unterschiedlichen Ebenen auf:

- **Bitebenenparallelität:** Datenbits werden zu Datenworten zusammengefasst und parallel verarbeitet.
- **Befehlsebenenparallelität:** Maschinenbefehle werden **implizit** parallel ausgeführt.
  - **Pipelining:** Überlappung der einzelnen Phasen der Befehlsausführung.
  - **Superskalare Architektur:** Betrieb mehrerer Pipelines.
- **Programmebenenparallelität:**
  - Parallelität wird durch geeignete Programmierkonstrukte oder Tools **explizit** im Programm festgelegt.

PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

### Parallelität auf Befehlsebene

- **Pipeline-Architektur:** Überlappende Ausführung der Verarbeitungsphasen eines Maschinenbefehls:



- **Ziel:** Pro Takt wird ein Befehl abgeschlossen.
- **Superskalare Architektur:** Mehrere Pipelines (bzw. einzelne Stufen einer Pipeline) werden parallel betrieben.
  - **Ziel:** Pro Takt werden mehrere Befehle abgeschlossen.

PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

## Programmebenenparallelität



- Bit- und Befehlsebenenparallelität finden heute breite Verwendung.
- Warum macht Programmebenenparallelität Sinn?
  - **Performance:** Weitere Steigerung der absoluten Rechenleistung durch Verwendung mehrerer Prozessoren wird möglich.
  - **Software-Engineering:** Einfachere Programmerstellung durch Ausnutzung natürlicher Parallelität der Anwendung.
  - **Kostenersparnis:** Schnellste Prozessorgeneration oftmals unverhältnismäßig teuer.
- **Paralleles Rechnen:** Beschleunigung der Berechnung eines Problems durch den Einsatz **mehrerer Prozessoren** und **Programmebenenparallelität**.

PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

## Typische Probleme



- **Grand Challenges:** Probleme, die ohne paralleles Rechnen in „vernünftiger Zeit“ nicht lösbar sind.
  - Klimaforschung
  - Erdbebensimulation
  - Simulation von Galaxien
- Rechenintensive Probleme mit „kurzer“ Deadline
  - Wettervorhersage
  - Simulationen im Entwicklungsprozess eines Produkts, z.B. virtuelle Crash-Tests bei Automobilentwicklung
  - Anwendungen mit Realzeitanforderungen, z.B. virtuelle Realität

PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

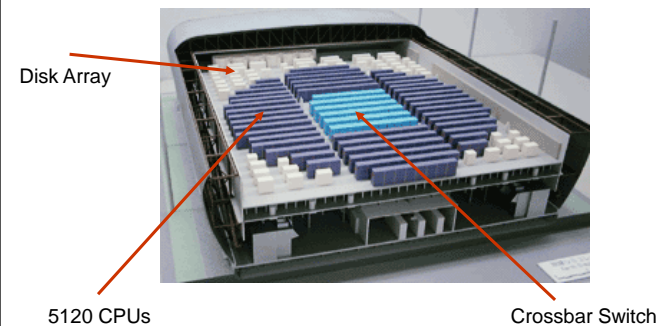
## Beispiel: Globale Klimasimulation



- Atmosphäre wird in Zellen (Würfel) mit 1 Meile Kantenlänge eingeteilt (bis zu einer Höhe von 10 Meilen)
- Man erhält ca.  $5 \times 10^8$  Zellen.
- Zustand einer Zelle (z.B. Temperatur) wird aus Zuständen der benachbarten Zellen errechnet. Dazu werden ca. 200 Floating Point Operationen pro Zelle benötigt.
- Pro Simulationsschritt werden also insgesamt  $10^{11}$  Floating Point Operationen ausgeführt.
- Simulation von 7 Tagen mit Auflösung von 1 Minute ergibt ca.  $10^4$  Simulationsschritte, benötigt also  $10^{15}$  Floating Point Operationen.
- Gesamte Berechnung benötigt auf PC (mit 100 Mflops) ca.  $10^7$  Sekunden (> 100 Tage).

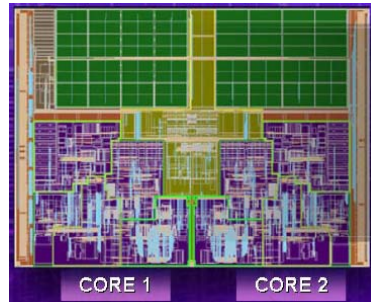
PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

## Earth Simulator



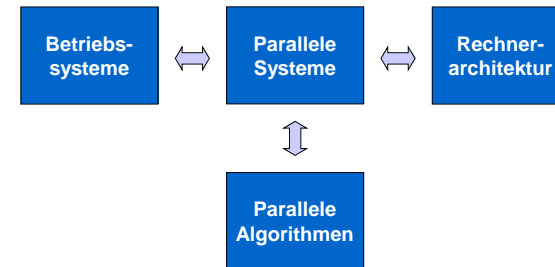
PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

## Multi-Core Chips



PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

## Einordnung der Vorlesung



PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

## Themenübersicht

- Grundlagen von Parallelrechnerarchitekturen
- Klassifizierung und Leistungsbewertung paralleler Hardware
- Verbindungsnetzwerke und grundlegende Kommunikationsoperationen
- Design paralleler Programme
- Parallele Programmiermodelle, z.B.
  - Message Passing mit MPI
  - Gemeinsamer Adressraum mit OpenMP
  - Datenparallele Programmierung mit High Performance Fortran
  - Multithreading mit DOTS
- Analytische Bewertung paralleler Programme
- Grundlegende numerische und symbolische parallele Algorithmen

PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

## Literaturübersicht

### Textbücher

- A. Grama *et. al.*, *Introduction to Parallel Computing*, 2nd Edition, Addison Wesley, 2003, ISBN 0-201-64865-2
- B. Wilkinson and M. Allen: *Parallel Programming*, Prentice Hall, 1998, ISBN 0-136-71710-1
- H. El-Rewini and T. G. Lewis, *Distributed and Parallel Computing*, 1998, ISBN 0-137-95592-8

### Handbücher

- J. Dongarra *et. al.*, *Sourcebook of Parallel Computing*, Morgan Kaufmann, 2003, ISBN 1-55860-871-0
- J. Blazewicz *et.al.*, *Handbook on Parallel and Distributed Processing*, Springer, 2000, ISBN 3-540-66441-6

PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

### Beispiel: Linux Cluster



PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

### Beispiel: Parallele Textilsimulation

Zusammenarbeit mit GRIS



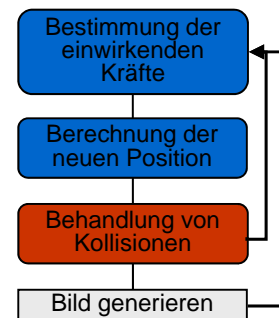
PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

### Grundprinzip: Diskretisierung



PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

### Phasen der Simulation



$$\dot{x}(t) = v(t)$$
$$\dot{v}(t) = M^{-1} f(x(t), v(t))$$

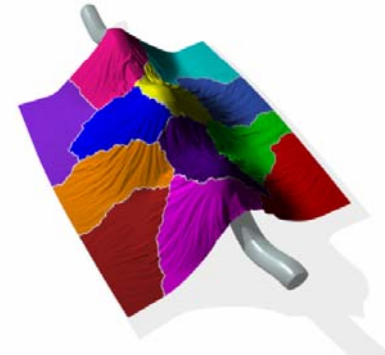
PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

**Parallele physikalische Simulation**  
**Statische Problemdekomposition**



PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

**Parallele physikalische Simulation**  
**Statische Problemdekomposition**

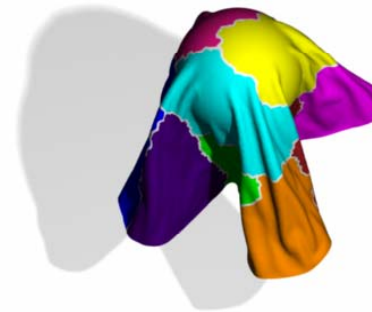


PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

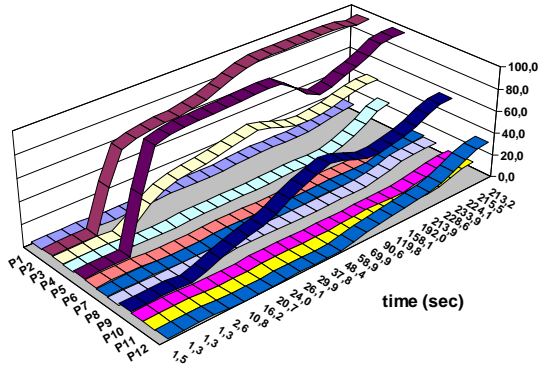
**Parallele physikalische Simulation**  
**Statische Problemdekomposition**



**Parallele physikalische Simulation**  
**Statische Problemdekomposition**

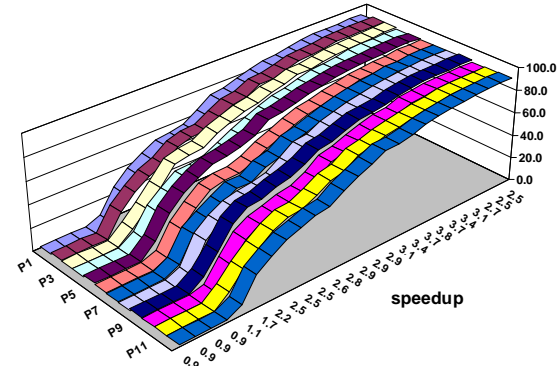


### Parallele Kollisionsbehandlung mit statischer Problemdekomposition



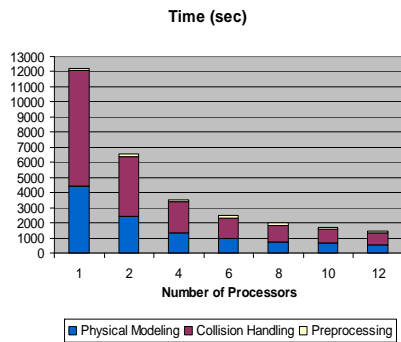
PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

### Parallele Kollisionsbehandlung mit dynamischer Problemdekomposition



PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)

### Leistungsmessung



PD Dr. Wolfgang Blochinger (wolfgang.blochinger@ipvs.uni-stuttgart.de)