

# Übung 10: Parallelisierung

## Einführung in die Rechnerarchitektur

**Niklas Ladurner**

School of Computation, Information and Technology  
Technische Universität München

3. Januar 2025



*TUM Uhrenturm*

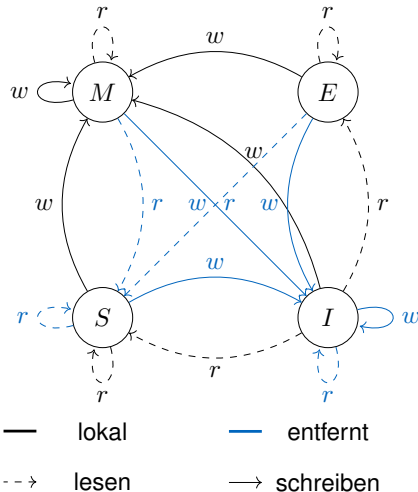
Keine Garantie für die Richtigkeit der Tutorfolien.  
Bei Unklarheiten/Unstimmigkeiten haben VL/ZÜ-Folien recht!

- Single-Threaded Rechenleistung immer weiter durch physikalische Limits eingeschränkt
- Optimierungen: Pipelining, Out-of-Order-Processing, Ausnutzen von Parallelität
- SIMD: Eine Instruktion, die gleichzeitig auf mehrere Daten ausgeführt wird (mehr dazu in GRA)

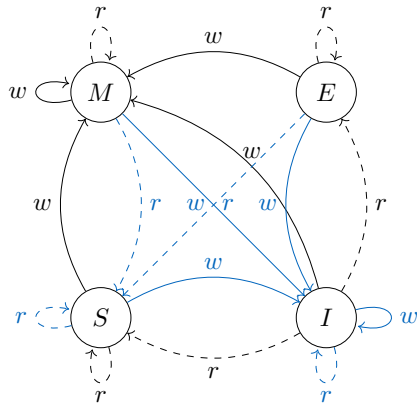
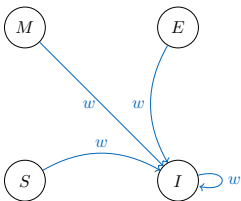
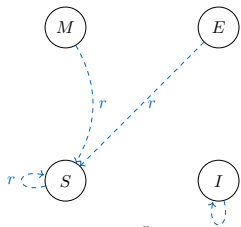
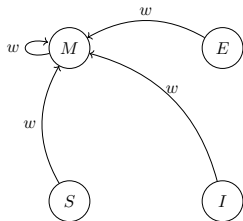
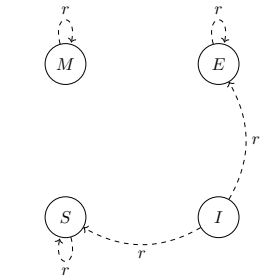
|             |          | Instruction stream |          |
|-------------|----------|--------------------|----------|
|             |          | Single             | Multiple |
| Data stream | Single   | SISD               | MISD     |
|             | Multiple | SIMD               | MIMD     |

Quelle: A Taxonomy of Reconfigurable Single-/Multiprocessor Systems-on-Chip

- Mehrkernsysteme: Was wenn CPU1 und CPU2 beide ein Datum gecached haben und es modifizieren?  
→ Cache-Inkonsistenzen
- Einführung von Zuständen für Cachezeilen
- CPUs hören jeweils die Zugriffe der anderen Kerne ab („Bus Snooping“)
- **M**odified, (**E**xclusive), **S**hared, **I**nvalid
- Exclusive-Bit ermöglicht kleineren Overhead wenn CPUs auf verschiedenen Cache-Blöcken arbeiten



# MESI: Übersicht



|        |       |    |           |
|--------|-------|----|-----------|
| —      | lokal | —  | entfernt  |
| - - -> | lesen | —> | schreiben |

Mit  $t_s$  sequentieller Programmteil,  $t_p$  paralleler Programmteil,  $n$  Anzahl CPU-Kerne,  $T$  Ausführungszeit mit  $n = 1$ :

- Amdahlsches Gesetz: Gleiche Problemgröße, aufgeteilt auf mehrere Kerne → begrenzt durch sequentiellen Anteil

$$S_{\text{Amdahl}}(n) = \frac{T}{t_s + \frac{t_p}{n}}$$

- Gustafsons Gesetz: Mehr Kerne können mehr berechnen: Größeres Problem → paralleler Anteil wächst mit Problemgröße,  $t_s$  proportional kleiner

$$S_{\text{Gustafson}}(n) = \frac{t_s + n \cdot t_p}{T}$$

- Zwei verschiedene Perspektiven, abhängig von Problemszenario verschieden geeignet

$$p = 1$$

|                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| $t_{\text{sequential}}$ | $t_{\text{parallel}}$ |
|-------------------------|-----------------------|

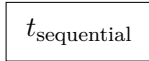
$$p = 3$$

Quelle: Vorlesungsmaterial ERA

$p = 1$



$p = 3$



Quelle: Vorlesungsmaterial ERA



# Amdahlsches Gesetz

$p = 1$

|                         |  |                       |  |
|-------------------------|--|-----------------------|--|
| $t_{\text{sequential}}$ |  | $t_{\text{parallel}}$ |  |
|-------------------------|--|-----------------------|--|

|                         |
|-------------------------|
|                         |
| $t_{\text{sequential}}$ |

$p = 3$

Quelle: Vorlesungsmaterial ERA

# Amdahlsches Gesetz

$p = 1$

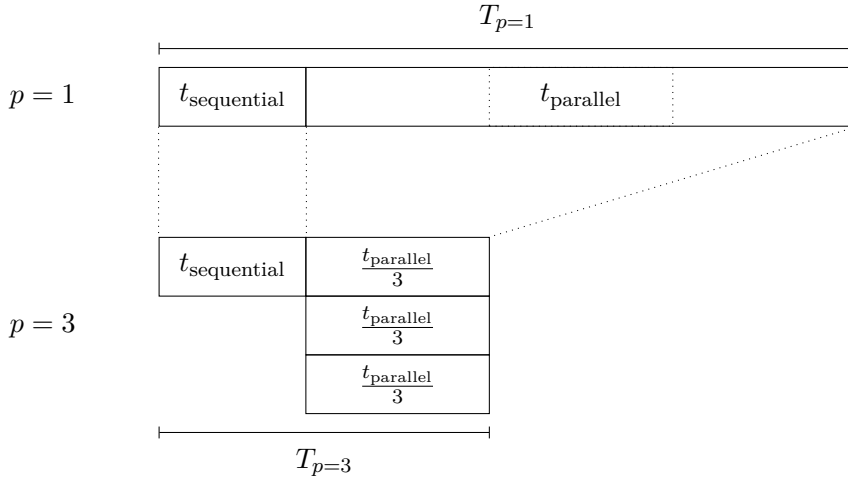
|                         |  |                       |  |
|-------------------------|--|-----------------------|--|
| $t_{\text{sequential}}$ |  | $t_{\text{parallel}}$ |  |
|-------------------------|--|-----------------------|--|

$p = 3$

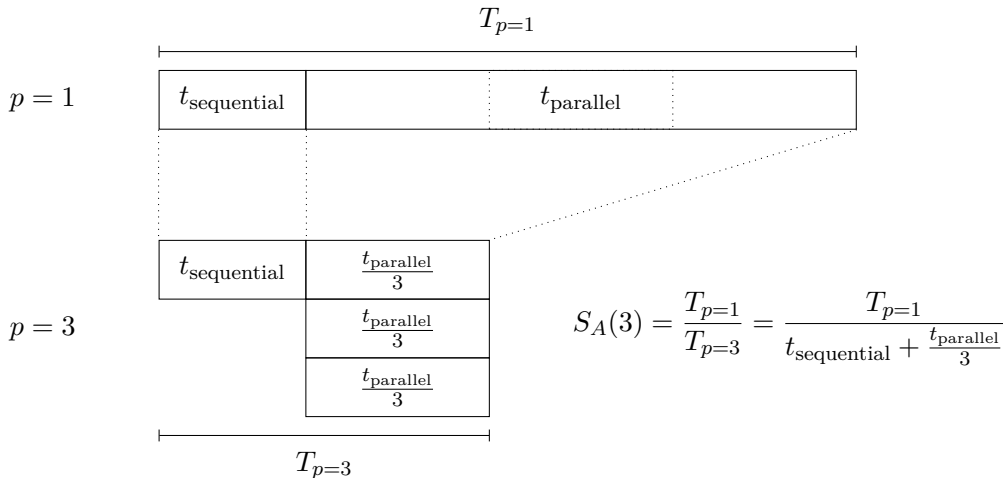
|                         |                                 |
|-------------------------|---------------------------------|
| $t_{\text{sequential}}$ | $\frac{t_{\text{parallel}}}{3}$ |
|                         | $\frac{t_{\text{parallel}}}{3}$ |
|                         | $\frac{t_{\text{parallel}}}{3}$ |

Quelle: Vorlesungsmaterial ERA

# Amdahlsches Gesetz



Quelle: Vorlesungsmaterial ERA



Quelle: Vorlesungsmaterial ERA

$$p = 1$$

|                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| $t_{\text{sequential}}$ | $t_{\text{parallel}}$ |
|-------------------------|-----------------------|

$$p = 3$$

$p = 1$

|                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| $t_{\text{sequential}}$ | $t_{\text{parallel}}$ |
|-------------------------|-----------------------|

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

|                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| $t_{\text{sequential}}$ | $t_{\text{parallel}}$ |
|-------------------------|-----------------------|

$p = 3$

# Gustafsons Gesetz

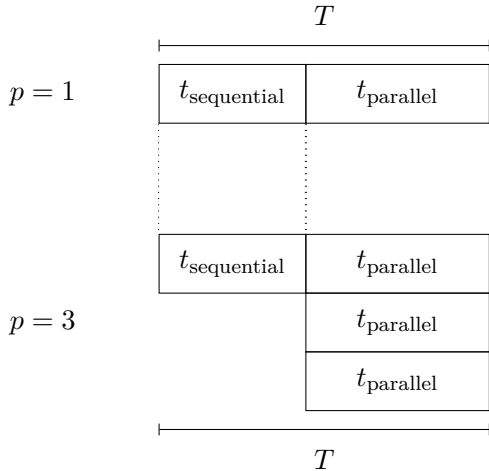
$p = 1$

|                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| $t_{\text{sequential}}$ | $t_{\text{parallel}}$ |
|-------------------------|-----------------------|

$p = 3$

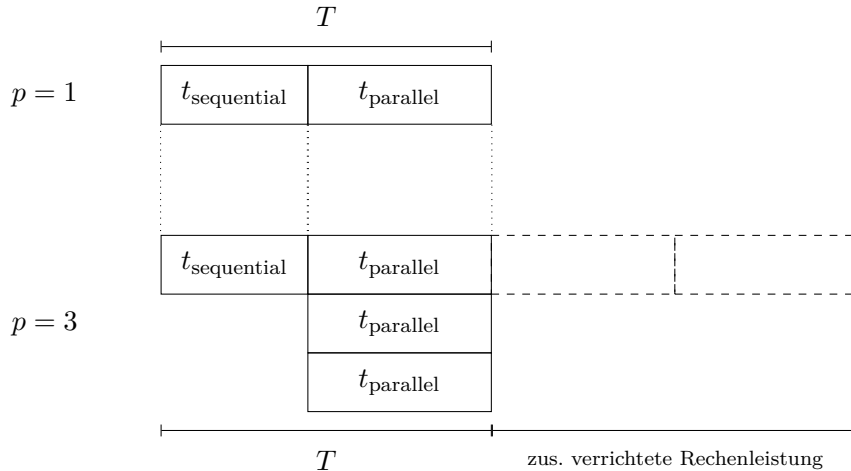
|                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| $t_{\text{sequential}}$ | $t_{\text{parallel}}$ |
|                         | $t_{\text{parallel}}$ |
|                         | $t_{\text{parallel}}$ |

# Gustafsons Gesetz

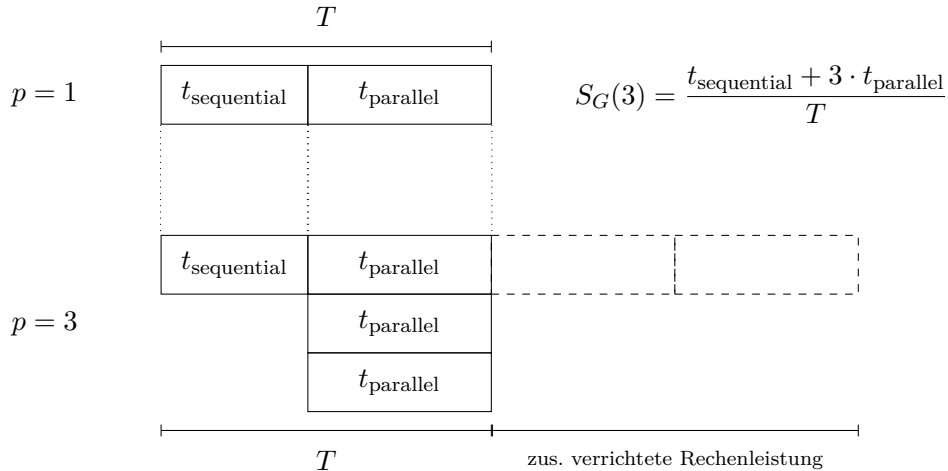




# Gustafsons Gesetz



# Gustafsons Gesetz



- „H10 — MESI“ bis 12.01.2025 23:59 Uhr
- Durchlaufen der MESI-Zustände für 4 parallel arbeitende CPUs
  
- „B01 — RFC 9402“ bis 26.01.2025 23:59 Uhr
- Wiederholungsaufgabe RISC-V Assembly: Strings zusammenkopieren
- Erste (und vsl. letzte) Bonusaufgabe: 10 Punkte Bonuspunkte!

- Zulip: „ERA Tutorium - Do-1600-1“ bzw. „ERA Tutorium - Fr-1500-2“
- ERA-Moodle-Kurs
- ERA-Artemis-Kurs
- Wikipedia zu MESI
- Amdahlsches und Gustafsons Gesetz

# Übung 10: Parallelisierung

## Einführung in die Rechnerarchitektur

**Niklas Ladurner**

School of Computation, Information and Technology  
Technische Universität München

3. Januar 2025



*TUM Uhrenturm*