

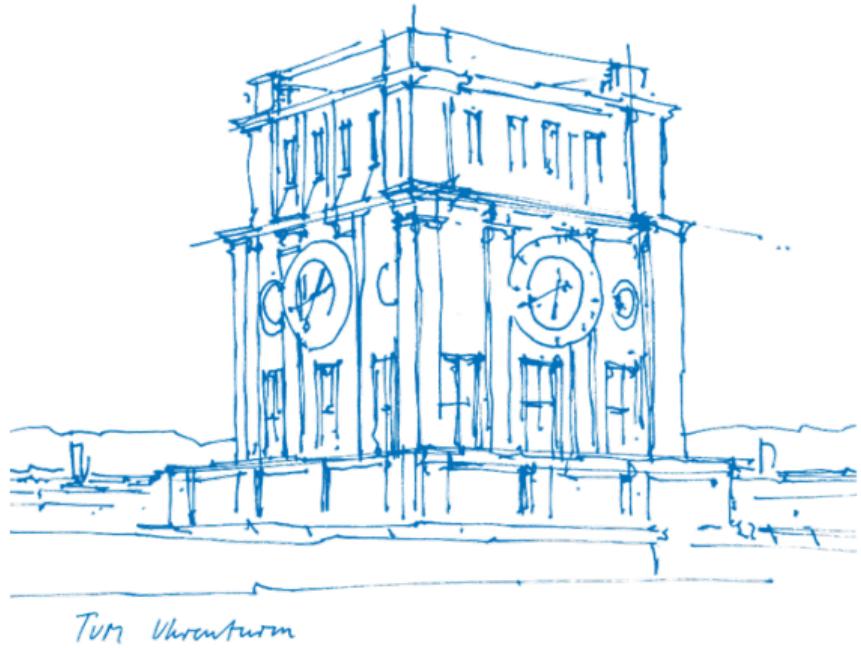
# Übung 11: Parallelisierung

## Einführung in die Rechnerarchitektur

Niklas Ladurner

School of Computation, Information and Technology  
Technische Universität München

9. Januar 2026



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

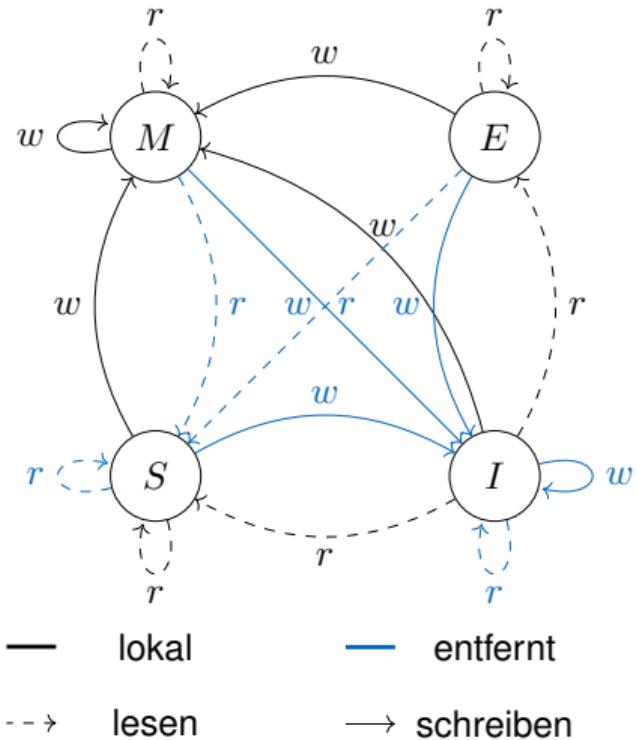
# Parallelisierungstechniken

- 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“)
- Modified, (**E**xclusive), **S**hared, **I**nvalid
- Exclusive-Bit ermöglicht geringeren Overhead falls CPUs auf verschiedenen Cache-Blöcken arbeiten



# Speedup durch Parallelisierung

Mit  $t_s$  sequentieller Programmteil,  $t_p$  paralleler Programmteil,  $n$  CPU-Kerne, Ausführungszeit  $T$  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

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

# Amdahlsches Gesetz

$$p = 1$$

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

$$p = 3$$

Quelle: Vorlesungsmaterial ERA

# Amdahlsches Gesetz

$p = 1$

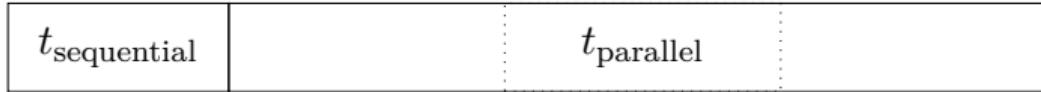


$t_{\text{sequential}}$

$p = 3$

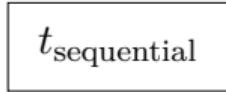
# Amdahlsches Gesetz

$p = 1$



$t_{\text{sequential}}$

$p = 3$



Quelle: Vorlesungsmaterial ERA

# Amdahlsches Gesetz

$$p = 1$$

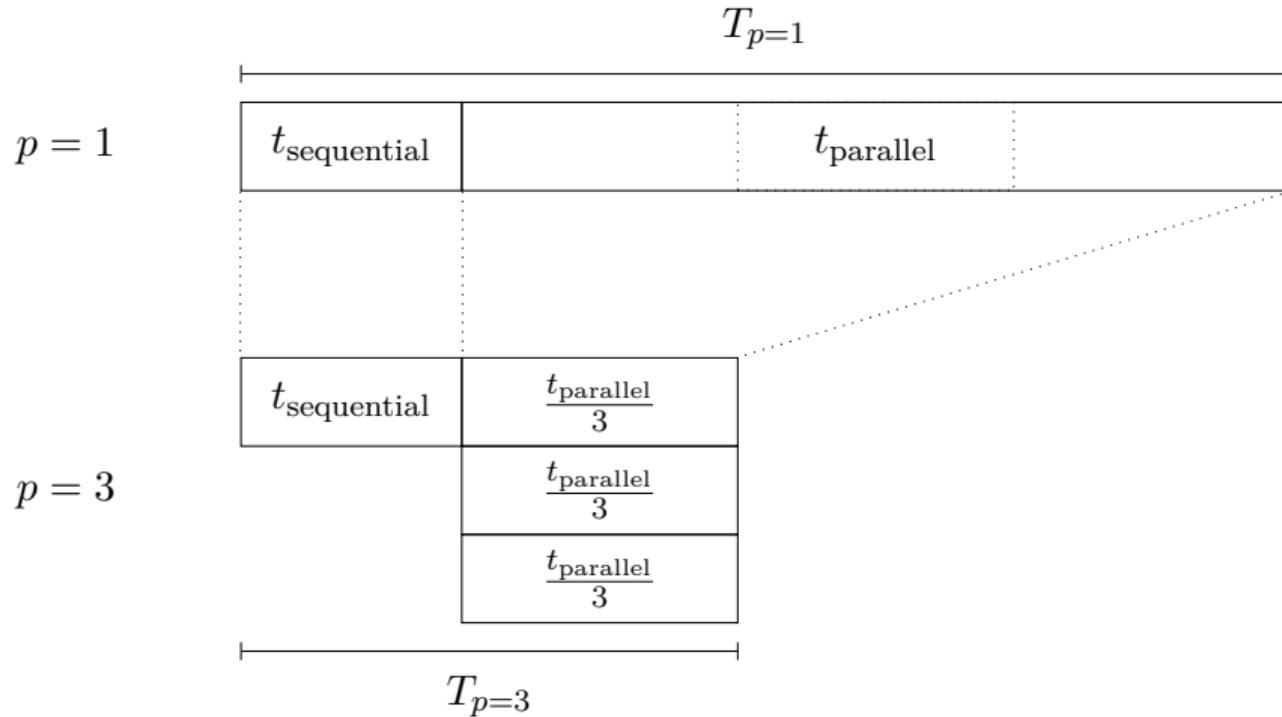
$t_{\text{sequential}}$		$t_{\text{parallel}}$	
-------------------------	--	-----------------------	--

$$p = 3$$

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

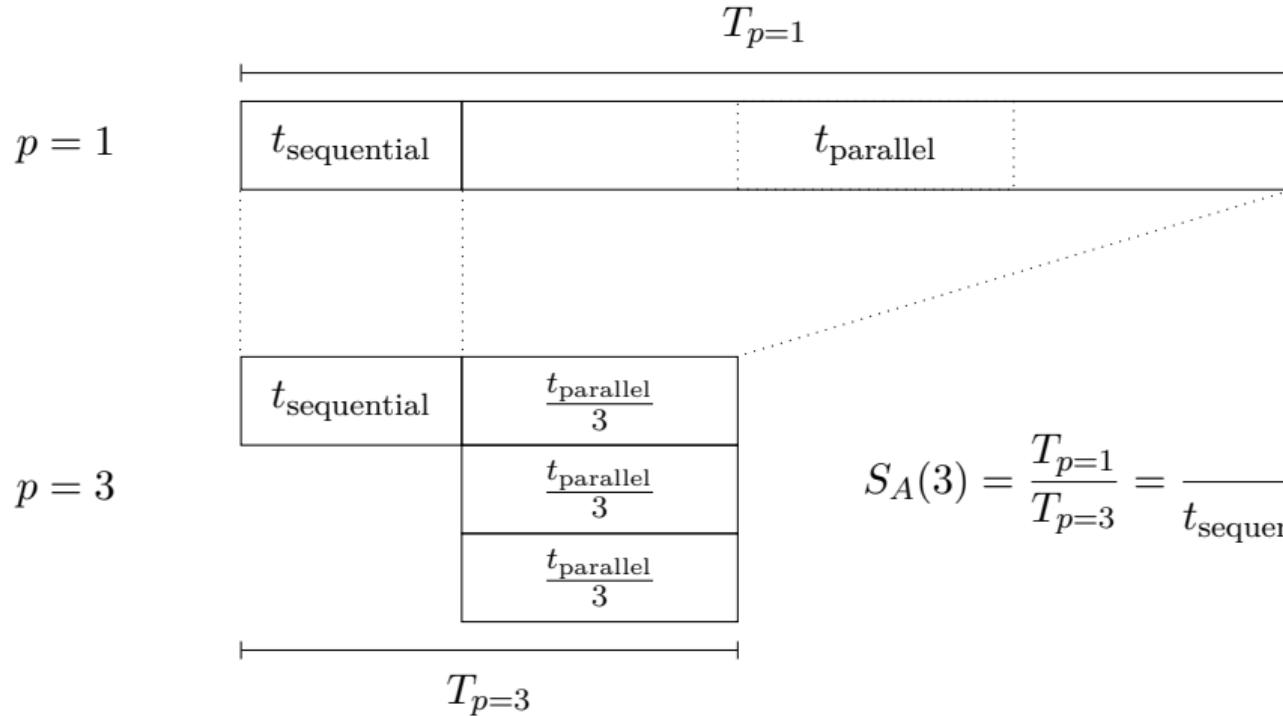
Quelle: Vorlesungsmaterial ERA

# Amdahlsches Gesetz



Quelle: Vorlesungsmaterial ERA

# Amdahlsches Gesetz



$$S_A(3) = \frac{T_{p=1}}{T_{p=3}} = \frac{T_{p=1}}{t_{\text{sequential}} + \frac{t_{\text{parallel}}}{3}}$$

Quelle: Vorlesungsmaterial ERA

# Gustafsons Gesetz

$$p = 1$$

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

$$p = 3$$

# Gustafsons Gesetz

$p = 1$

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

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

$p = 3$

# Gustafsons Gesetz

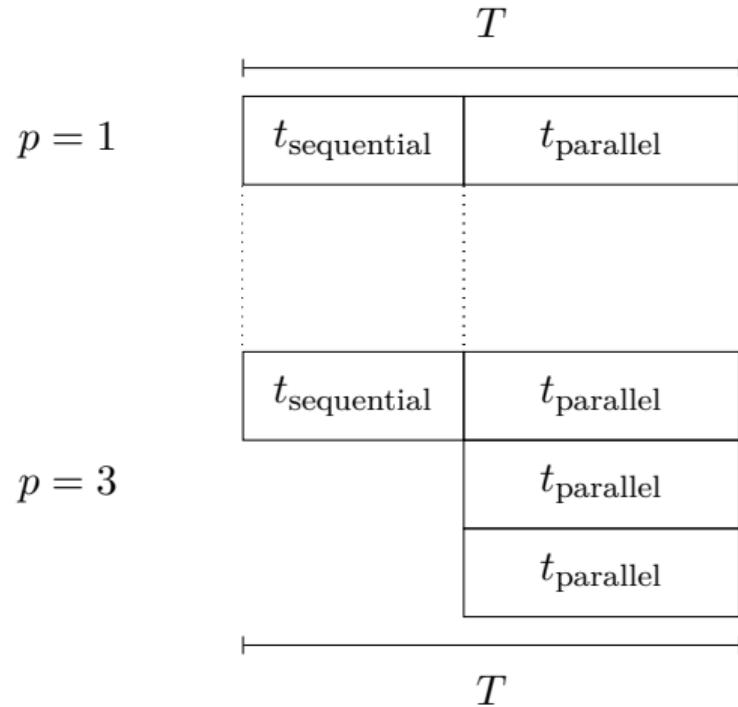
$p = 1$

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

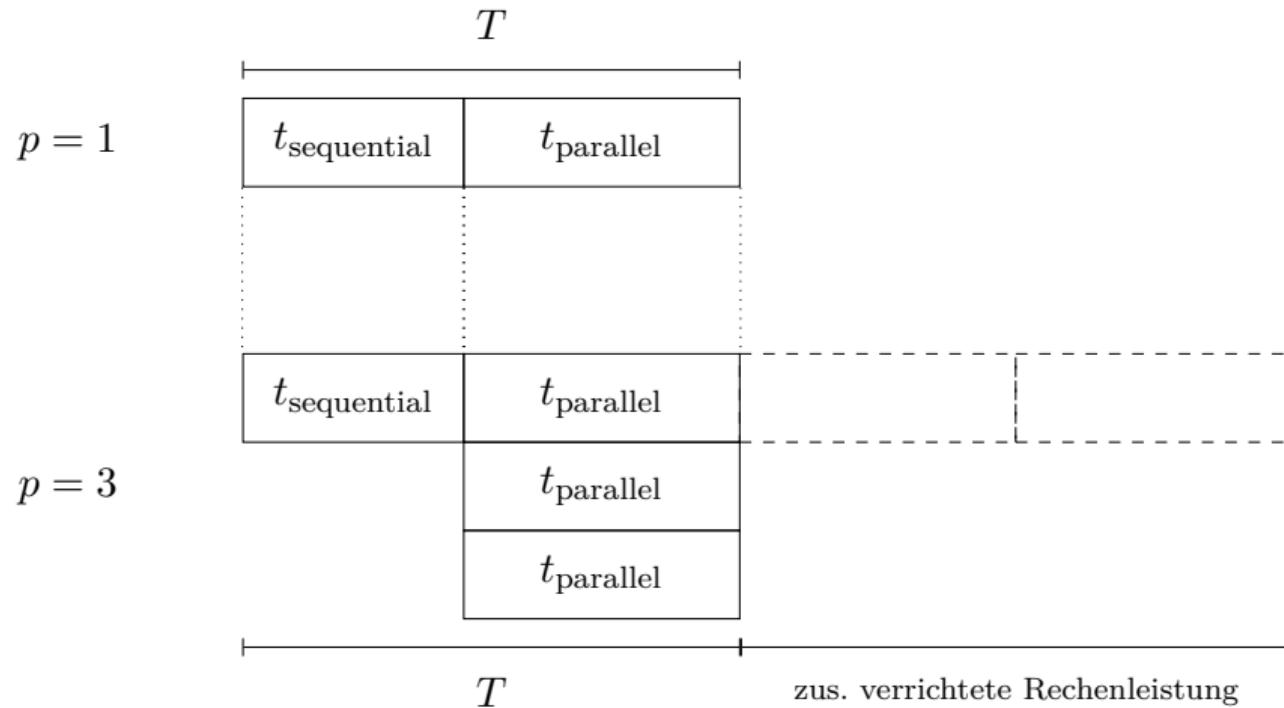
$p = 3$

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

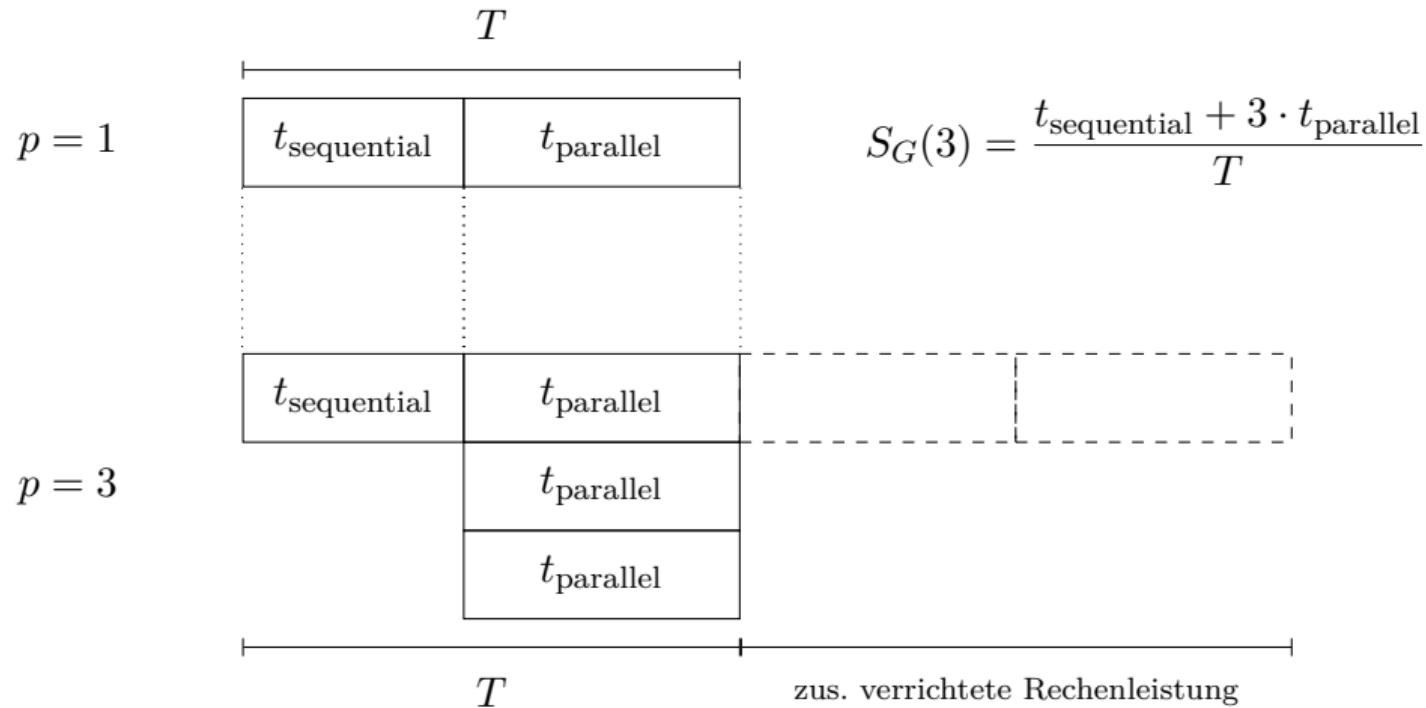
# Gustafsons Gesetz



# Gustafsons Gesetz



# Gustafsons Gesetz



# Links

- Zulip: „ERA Tutorium – Mi-1600-3“ bzw. „ERA Tutorium – Fr-1500-1“
- ERA-Moodle-Kurs
- ERA-Artemis-Kurs
- Wikipedia zu MESI
- Amdahlsches und Gustafsons Gesetz

# Übung 11: Parallelisierung

## Einführung in die Rechnerarchitektur

Niklas Ladurner

School of Computation, Information and Technology  
Technische Universität München

9. Januar 2026

