

# Leistungsbewertung

Was ist Leistung ?

	Sitzplätze	Reichweite	Verbrauch	Geschw.	Durchsatz	Öko
	F	km	V: l/100km	km/h	F·km/h	V/F
Diesel-Pkw	5	850	7	160	640	1,4
S-Klasse	5	600	25	250	1250	5
Formel I	1	150	60	320	320	60
Linienbus	40	1200	30	100	4000	0,75

Andere Leistungsfaktoren:

- Beschleunigung (z.B. bei Dragster-Rennen)
- Zeit/Strecke (km)

Wie schnell muß ein Formel I Wagen fahren, um denselben Durchsatz zu erreichen wie ein Omnibus?



## Leistungsbewertung:

$$P = \frac{1}{T}$$

**P = Leistung (Performance)**  
**T = Ausführungszeit (Execution Time)**

## Vergleich der Leistung zweier Rechner A und B

$$P_A < P_B \Rightarrow \frac{1}{T_A} < \frac{1}{T_B} \Rightarrow T_A > T_B$$

## Verhältnis n der Leistung zweier Rechner A und B

$$\frac{P_A}{P_B} = n = \frac{T_B}{T_A}$$



# Leistungsbewertung:

CPU-(Ausführungs-) Zeit = CPU-User-Zeit + CPU-System-Zeit  
Verbrauchte Zeit (elapsed time) = Antwortzeit für den Benutzer

Beziehungen zwischen verschiedenen Meßgrößen:

CPU- Zeit für ein Programm:	T
CPU- Taktzyklen für ein Programm:	Z
Taktrate = Anzahl derTaktzyklen / Sekunde :	R
Zykluszeit = Sekunde / Anzahl der Taktzyklen:	ZZ

$$T = Z \cdot \frac{1}{R} = Z \cdot ZZ$$

Anzahl der Instruktionen eines Programms: N  
Mittlere Anzahl der Taktzyklen/Instr.: CPI

$$Z = N \cdot \text{CPI} \quad \longrightarrow \quad \text{CPI} = \frac{Z}{N}$$



**Beispiel 1:**

**Maschine A : Zykluszeit= 10 ns, CPI = 2**

**Maschine B : Zykluszeit= 15 ns, CPI = 1,5**

**Beide Maschinen realisieren denselben Instruktionssatz, brauchen also dieselbe Anzahl von Instruktionen, um ein Programm auszuführen.**

**Welche Maschine ist schneller?**

$$Z_A = N \cdot \text{CPI}_A = N \cdot 2$$

$$Z_B = N \cdot \text{CPI}_B = N \cdot 1,5$$

$$T_A = Z_A \cdot \text{ZZ}_A = 2N \cdot 10 \text{ ns} = 20 \cdot N \text{ ns}$$

$$T_B = Z_B \cdot \text{ZZ}_B = 1,5 N \cdot 15 \text{ ns} = 22,5 \cdot N \text{ ns}$$

$$P_A / P_B = T_B / T_A = 22,5 \cdot N \text{ ns} / 20 \cdot N \text{ ns} = 1,125 \rightarrow \text{A ist 12,5\% schneller !}$$



**Beispiel 2:**

**Programm benötigt 10 Sek. auf Rechner A mit einem Takt  $R = 1000$  MHz.**

**Ziel: Entwurf einer Maschine B, die nur 5 Sek. braucht aber deren Anzahl an Zyklen 1,5 mal höher ist.**

**Wie hoch muss die Taktrate  $R$  von B sein?**

**CPU-Zeit:  $T = Z \cdot 1/R$**

$$T_A = 10 = Z_A \cdot 1/1000 \cdot 10^6$$

$$Z_A = 10 \cdot 1000 \cdot 10^6 = 10^{10} \text{ Zyklen}$$

→  $Z_B = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ Zyklen}$

**Ziel ist:  $T_B = 5$**

**CPU-Zeit:  $T = Z \cdot 1/R$**

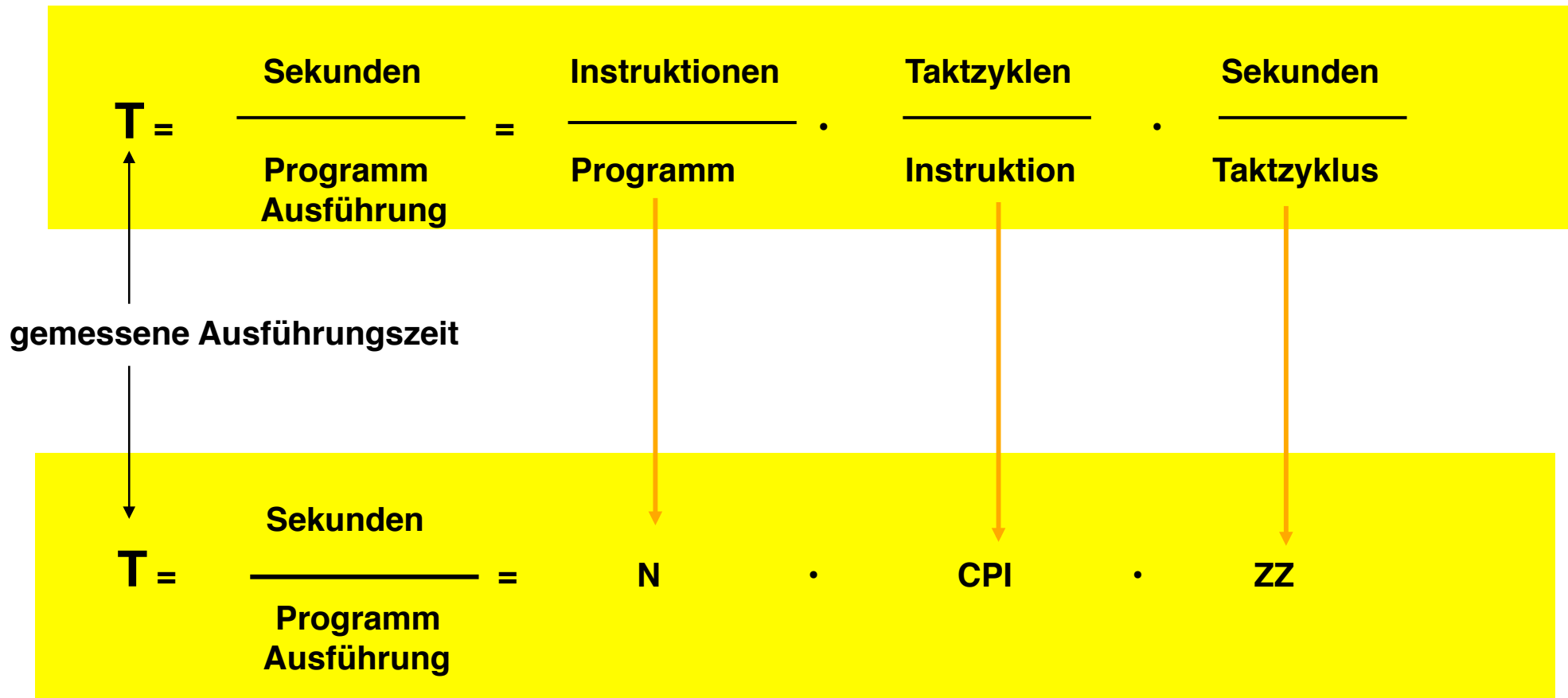
$$T_B = 1,5 \cdot 10^{10} / R_B$$

$$R_B = 1,5 \cdot 10^{10} / T_B = 1,5 \cdot 10^{10} / 5 = 3 \cdot 10^9 = 3000 \text{ MHz}$$



# Leistungsbewertung:

Relation zwischen den wesentlichen Faktoren zur Leistungsbewertung



# Leistungsbewertung:

Das „magische“ Maß : MIPS ( Million Instructions/ Second )

$$T = \frac{N}{\text{IPS}} = \frac{N}{\text{MIPS} \cdot 10^6}$$

MIPS in Relation zur  
Ausführungszeit T

$$\text{MIPS} = \frac{N}{T \cdot 10^6}$$

MIPS in Relation zu  
CPI

$$\text{MIPS} = \frac{R}{\text{CPI} \cdot 10^6}$$



## Ist das Maß MIPS sinnvoll? Ein Beispiel:

Compiler $C_n$ generiert:				
$C_1$ : Anz. der Instruktionen	→	<b>CPI = 1</b>	<b>CPI = 2</b>	<b>CPI = 3</b>
$C_2$ : Anz. der Instruktionen	→	$3 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$
		$7 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$

Die Code-Sequenzen werden beide auf Maschinen mit 100 MHz Takt ausgeführt.

Berechnung der CPI für die beiden Code-Sequenzen:

$$\text{CPI}_1 = Z_1/N_1 = (3 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 3) \cdot 10^6 / (3+1+1) \cdot 10^6 = 8/5 = 1,6$$

$$\text{CPI}_2 = Z_2/N_2 = (7 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 3) \cdot 10^6 / (7+1+1) \cdot 10^6 = 12/9 = 1,3$$

$$\text{MIPS}_1 = R/\text{CPI}_1 \cdot 10^6 = 100 \text{ MHz} / 1,6 \cdot 10^6 = 62,5$$

$$\text{MIPS}_2 = R/\text{CPI}_2 \cdot 10^6 = 100 \text{ MHz} / 1,3 \cdot 10^6 = 77$$

**Der Compiler ist für die unterschiedlichen MIPS verantwortlich ??**





## Ist das Maß MIPS sinnvoll? Ein Beispiel (cont.):

Welcher Rechner ist schneller ?

Berechnung der Zeit für die beiden Code-Sequenzen:

$$\text{MIPS}_1 = 62,5$$

$$\text{MIPS}_2 = 77$$

$$T = N/\text{MIPS} \cdot 10^6$$

$$T_1 = (3+1+1) \cdot 10^6 / 62,7 \cdot 10^6 = 0,08 \text{ Sek.}$$

$$T_2 = (7+1+1) \cdot 10^6 / 77 \cdot 10^6 = 0,117 \text{ Sek.}$$

**Der Rechner mit der höheren MIPS-Zahl braucht länger !**



## Ist das Maß MIPS sinnvoll? Ein Beispiel (cont.):

MIPS berücksichtigt nicht, dass es Instruktionen mit unterschiedlichem CPI gibt. Guter Compiler mit loop unrolling, umsortieren von Befehlen, etc. kann eine niedrigerer MIPS-Rate ausgleichen.

MIPS berücksichtigt nicht, wie viele Instruktionen für ein Programm benötigt werden.

$$\text{MIPS} = R/\text{CPI} \cdot 10^6 = \text{Taktrate/Takte pro Instruktion} \cdot 10^6$$

**Analogie:**  
**MIPS zu Rechenleistung**  
**wie**  
**Umdehungszahl des Motors zu Geschwindigkeit des Fahrzeugs.**



## Das Maß : MIPS

# Peak MIPS vs. Relative MIPS (R-MIPS)

**Peak MIPS:** Höchste erreichbare MIPS-Rate

**R-MIPS:**

$T_{\text{ref}}$  : Ausführungszeit für das Programm auf der Referenzmaschine

$T_{\text{ex}}$  : Ausführungszeit für das Programm auf der zu bewertenden Maschine

$\text{MIPS}_{\text{ref}}$  : anerkannte MIPS-Rate der Referenzmaschine

$$\text{R-Mips} = \frac{T_{\text{ref}}}{T_{\text{ex}}} \cdot \text{MIPS}_{\text{ref}}$$

z.B. VAX 11/780 wurde häufig als 1-MIPS Referenzmaschine benutzt.



## Erhöhung der Rechengeschwindigkeit (Speedup):

$$\text{Speedup} = \frac{P_N}{P_V} = \frac{T_V}{T_N}$$

$P_V$  : Leistung vor der Verbesserung ( $T_V$  : Ausführungszeit vor Verb.)

$P_N$  : Leistung nach der Verbesserung ( $T_N$  : Ausführungszeit nach Verb.)

vgl. Definition des Leistungsverhältnisses zweier Maschinen.

$$T_N = \frac{T_i}{G_i} + T_R$$

$T_i$  : Ausführungszeit der Instr., die von den Verbesserungen betroffen sind

$G_i$  : Größe der Verbesserungen

$T_R$  : Ausführungszeit der Instr., die von den Verbesserungen nicht betroffen sind



## Erhöhung der Rechengeschwindigkeit (Speedup):

**Beispiel 1:** Rechner mit verbesserter Floatingpoint-Einheit. Alle FP-Instruktionen laufen doppelt so schnell wie zuvor. Wie groß ist die Verbesserung, wenn von 20 Sek Rechenzeit 10 Sekunden FP-Instruktionen ausgeführt werden ?

$$T_N = T_i / G_i + T_R = 10/2 + 10 = 15$$

Die Verbesserung beträgt:  $20/15 = 1,3 = 33\%$

**Beispiel 2:** Rechner braucht 100 Sek, 80% der Instruktionen sind Multiplikationen. Um wie viel muss die Geschwindigkeit der Multiplikation erhöht werden, damit das Programm 5 mal schneller wird?

$$T_N = T_i / G_i + T_R = 80 \text{ Sek} / n + 20 \text{ Sek}$$

$T_N$  soll auf ein Fünftel, d.h. 20 Sek reduziert werden.

$$20 \text{ Sek} = 80 \text{ Sek} / n + 20 \text{ Sek}$$

**0 Sek = 80 Sek / n** → Leistungsverbesserung ist nicht in dieser Höhe möglich.

