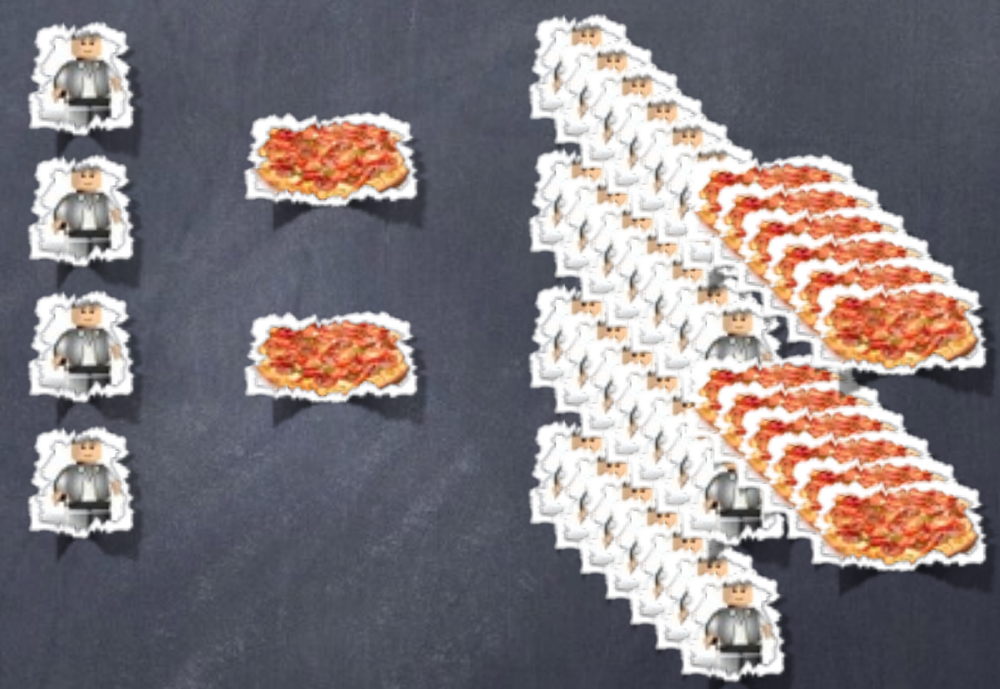
AuD: große Übung
4.12.2014

Christian Scheffer

Analyse von Algorithmen
-> ben. Zeit (Laufzeit)

3 Stunden,
12 Minuten und
53 Sekunden

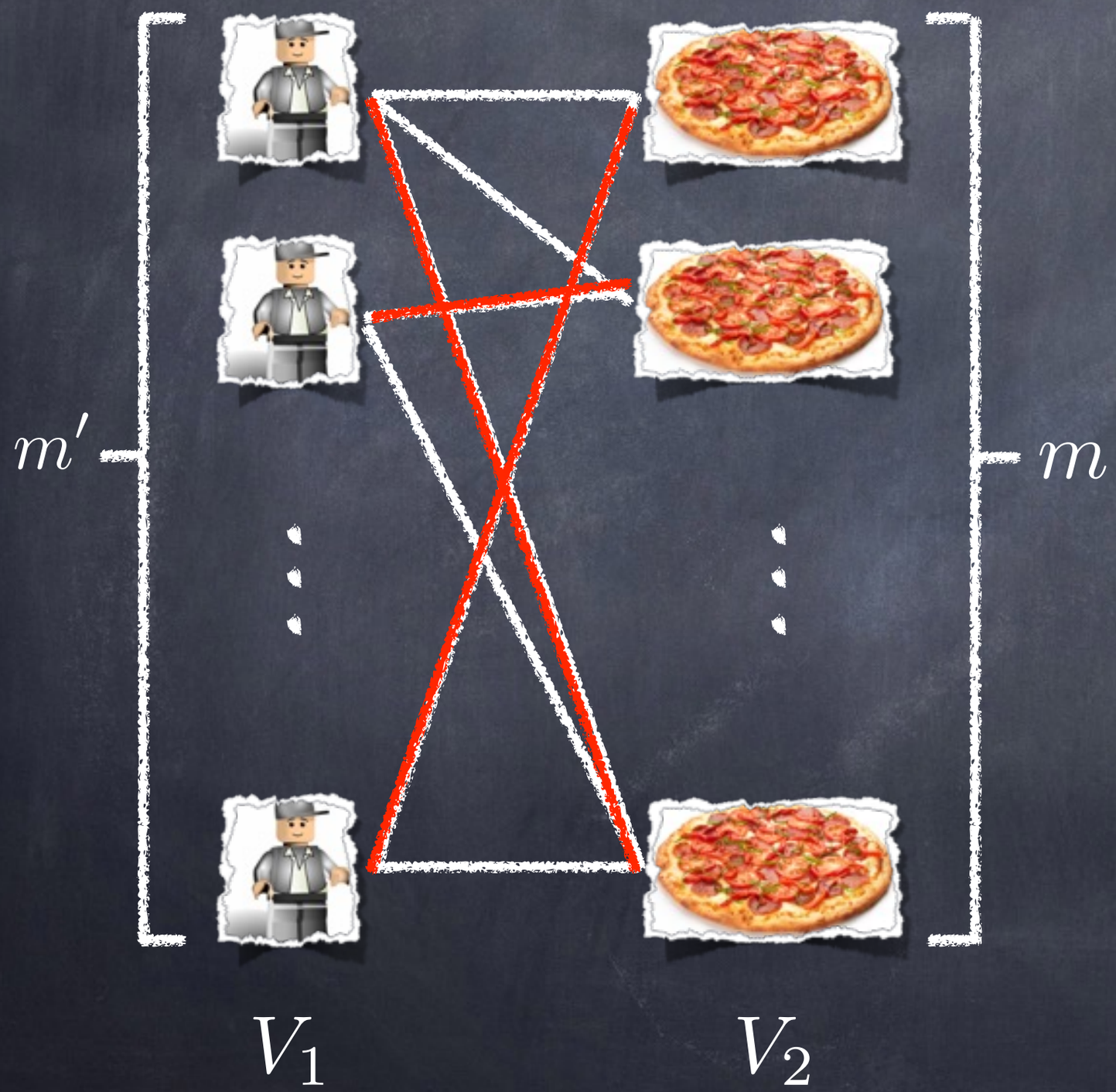


Für welche Eingabe?
(Komplexität)

Womit?
(zeitlos)

Laufzeitanalyse

Abhängig von Eingabegröße



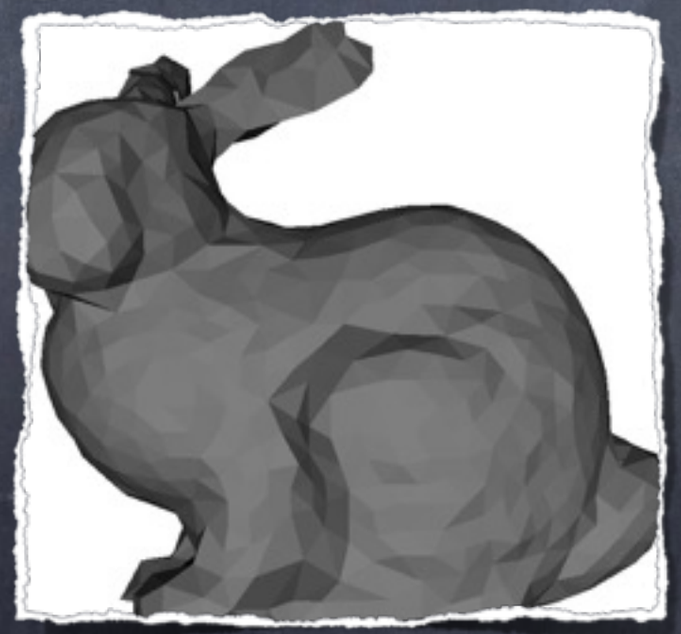
- $G := (V, E)$
- $V := V_1 \cup V_2$

Graphen

$$n := m' + m + |E|$$
$$n := |E|$$
$$\ldots$$

Laufzeitanalyse

Abhängig von Eingabegröße



Punktmenge P

$n := |P|$ (#Punkte)

Graphen

$n := m' + m + |E|$

$n := |E|$

...

Laufzeitanalyse

Abhängig von Eingabegröße

Banane

Banana

Zeichenketten T_1, T_2

$n := |T_1| + |T_2|$

Punkte(wolke) P

$n := |P|$ (#Punkte)

Graphen

$n := m' + m + |E|$

$n := |E|$

...

Laufzeitanalyse

Abhängig von Eingabegröße

Laufzeit als Funktion

$T : \mathbb{N} \to \mathbb{N}$

Eingabegröße n pos.
Laufzeit $T(n)$ pos.

Zeichenketten T_1, T_2

$n := |T_1| + |T_2|$

Punkte(wolke) P

$n := |P|$ (#Punkte)

Graphen

$n := m' + m + |E|$

$n := |E|$

...

Laufzeitanalyse

Zeitlose Aussage

$T_1(n), T_2(n)$ und $T_3(n)$ sollen ähnlich sein

was ist ähnlich ->asymptotisch

bis auf sonst. Vorfaktoren gleich

es ex. globale (pos.) Konstanten c_1, c_2:

$T_2(n)$

$T_1(n)$

$T_3(n)$

$T_2(n) \leq c_1 \cdot T_1(n)$
$T_1(n) \leq T_2(n)$

Rechenschieber ist maximal

c_1 mal langsamer als Amiga 500

Laufzeitanalyse

Zeitlose Aussage

$T_1(n), T_2(n)$ und $T_3(n)$ sollen ähnlich sein

was ist ähnlich ->asymptotisch

bis auf sonst. Vorfaktoren gleich

es ex. globale (pos.) Konstanten c_1, c_2:

$T_2(n)$

$T_1(n)$

$T_3(n)$

Amiga 500 ist maximal

c_2 mal langsamer als PC

$$T_2(n) \leq c_1 \cdot T_1(n)$$
$$T_1(n) \leq T_2(n)$$

$$T_1(n) \leq c_2 \cdot T_3(n)$$
$$T_3(n) \leq T_1(n)$$

Laufzeitanalyse

Zeitlose Aussage

$T_1(n), T_2(n)$ und $T_3(n)$ sollen ähnlich sein

was ist ähnlich ->asymptotisch

bis auf sonst. Vorfaktoren gleich

es ex. globale (pos.) Konstanten c_1, c_2:

$T_2(n)$

$T_1(n)$

$T_3(n)$

$$T_2(n) \leq T_3(n)$$
$$T_3(n) \leq c_2 \cdot c_1 \cdot T_2(n)$$

$$T_2(n) \leq c_1 \cdot T_1(n)$$
$$T_1(n) \leq T_2(n)$$

$$T_1(n) \leq c_2 \cdot T_3(n)$$
$$T_3(n) \leq T_1(n)$$

Laufzeitanalyse

Rechnerlieber ist maximal nicht langsamer

$\Rightarrow T_2(n) \leq c_1 \cdot T_1(n)$

c_1 mal langsamer als Amiga 500

globale Konstante c_1 ->unab. von n

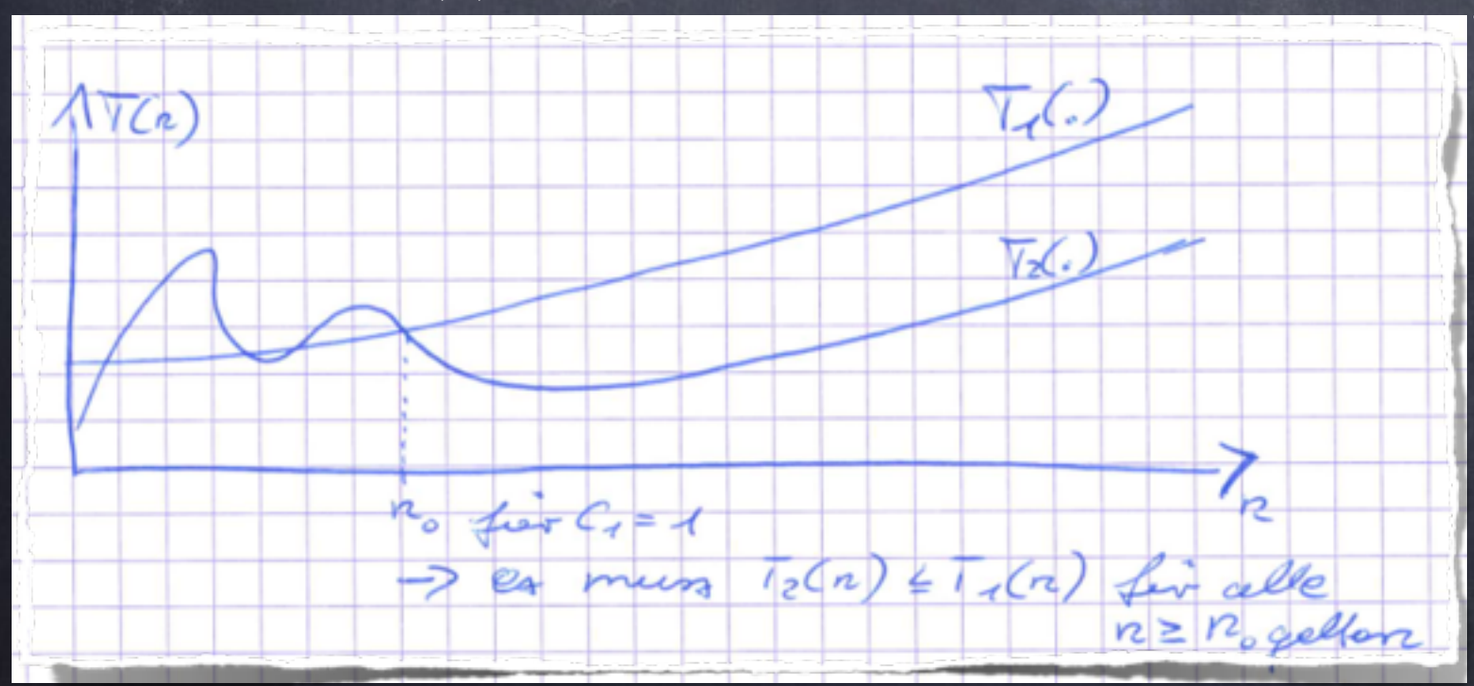
für alle interessanten n: $T_2(n) \leq c_1 \cdot T_1(n)$

-> $\forall n \geq n_0 : T_2(n) \leq c_1 \cdot T_1(n)$

interessant <-> groß genug

-> $\exists c_1, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \leq c_1 \cdot T_1(n)$

$T_2(.)$ ist maximal so groß wie $T_1(.)$



vernachlässigbare Konstanten

$T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$

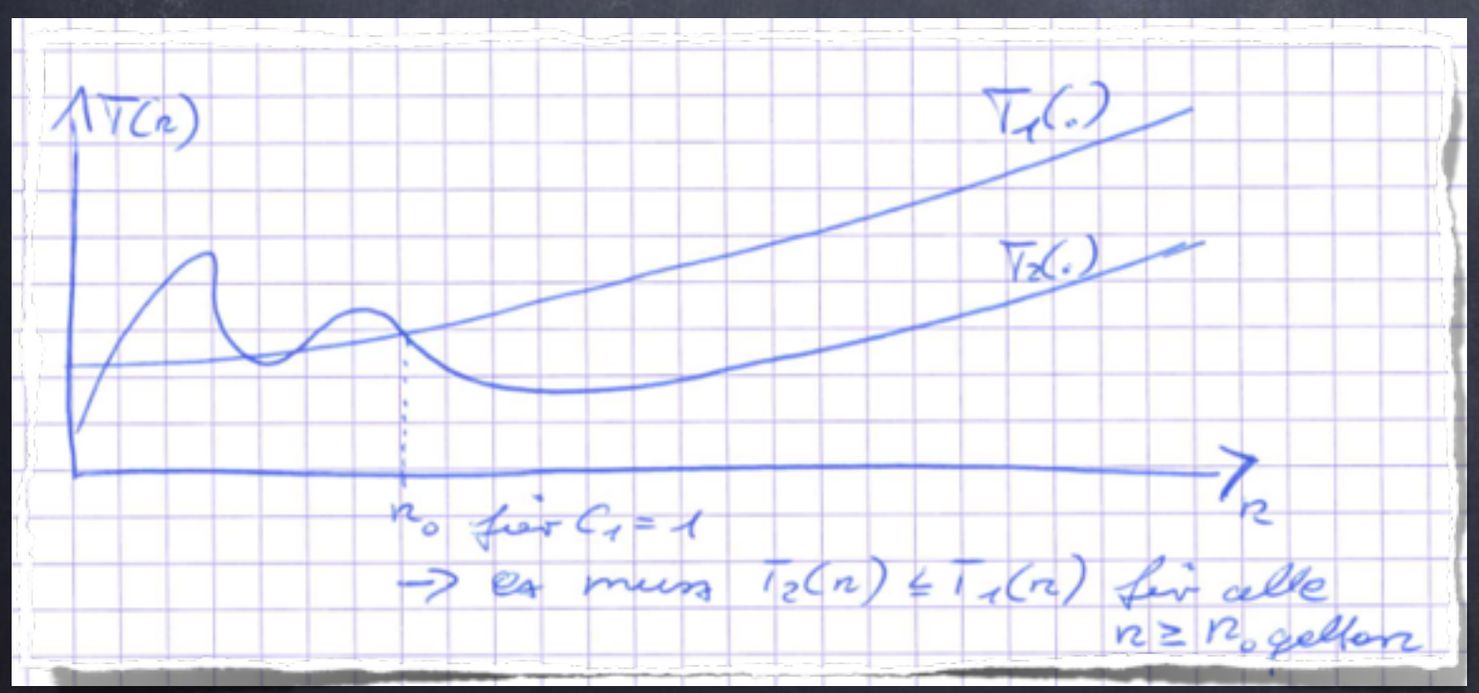
$T_1(n)$ ist obere Schranke für $T_2(n)$

Laufzeitanalyse

-> allg. Vergleich von Funktionen

$$T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \leq c \cdot T_1(n)$$

Menge von Funktionen



$$T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$$

$T_1(n)$ ist obere Schranke für $T_2(n)$

Laufzeitanalyse

-> allg. Vergleich von Funktionen

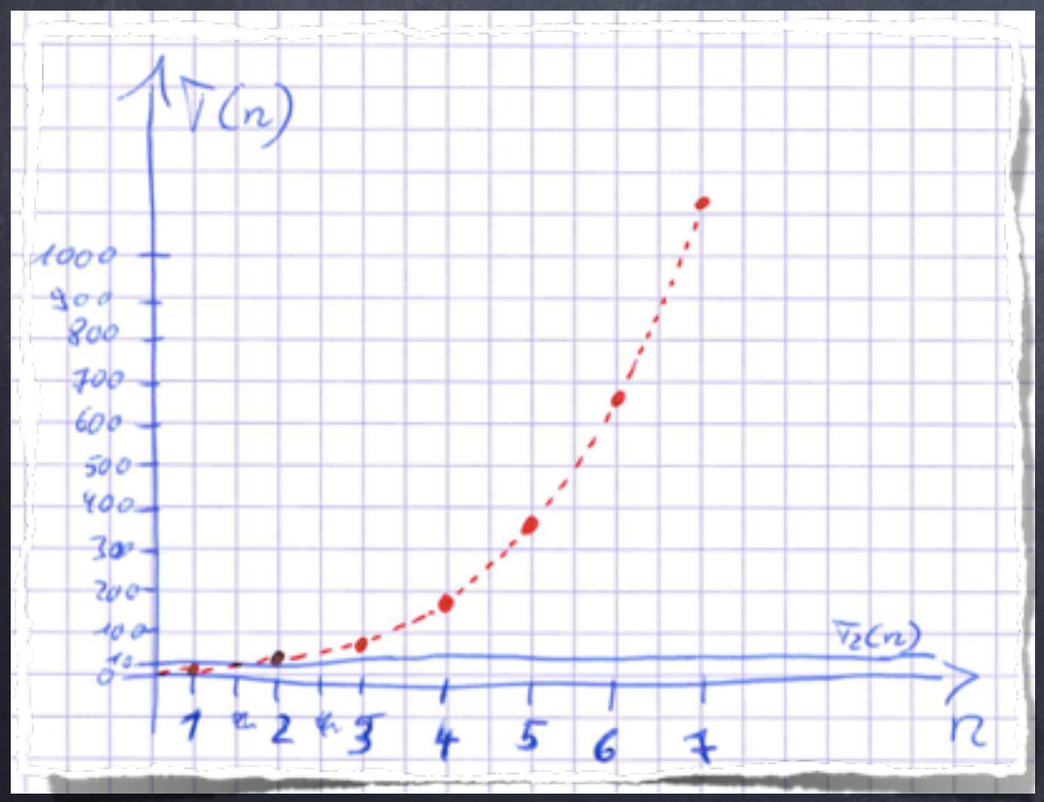
$$T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \leq c \cdot T_1(n)$$

Menge von Funktionen

Bsp.: $T_1(n) := 3 \cdot n^3 + 5$

welche $T_2(n)$s sind "kleiner"

$T_2(n) := 10$



$c = 1, n = 2$

$$T_1(1) := 3 \cdot 1^3 + 5 = 8$$
$$T_1(2) := 3 \cdot 2^3 + 5 = 29$$
$$T_1(3) := 3 \cdot 3^3 + 5 = 86$$
$$T_1(4) := 3 \cdot 4^3 + 5 = 197$$
$$T_1(5) := 3 \cdot 5^3 + 5 = 380$$
$$T_1(6) := 3 \cdot 6^3 + 5 = 653$$
$$T_1(7) := 3 \cdot 7^3 + 5 = 1034$$

...

$$\Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$$

Laufzeitanalyse

-> allg. Vergleich von Funktionen

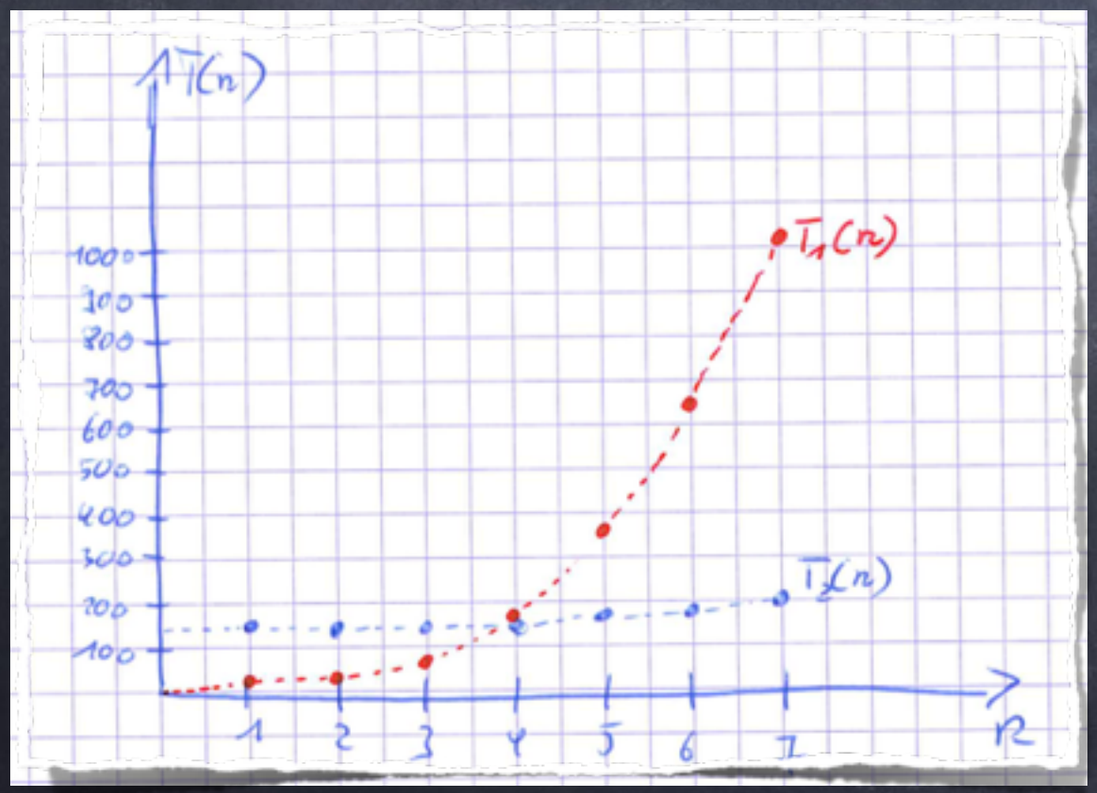
$$T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \leq c \cdot T_1(n)$$

Menge von Funktionen

Bsp.: $T_1(n) := 3 \cdot n^3 + 5$

welche $T_2(n)$s sind "kleiner"

$T_2(n) := n^2 + 150$



$c = 1, n_0 = 4$

$T_2(1) := 151$	$T_1(1) = 8$
$T_2(2) := 154$	$T_1(2) = 29$
$T_2(3) := 159$	$T_1(3) = 86$
$T_2(4) := 164$	$T_1(4) = 197$
$T_2(5) := 175$	$T_1(5) = 380$
$T_2(6) := 186$	$T_1(6) = 653$
$T_2(7) := 199$	$T_1(7) = 1034$
...	...

$$\Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$$

Laufzeitanalyse

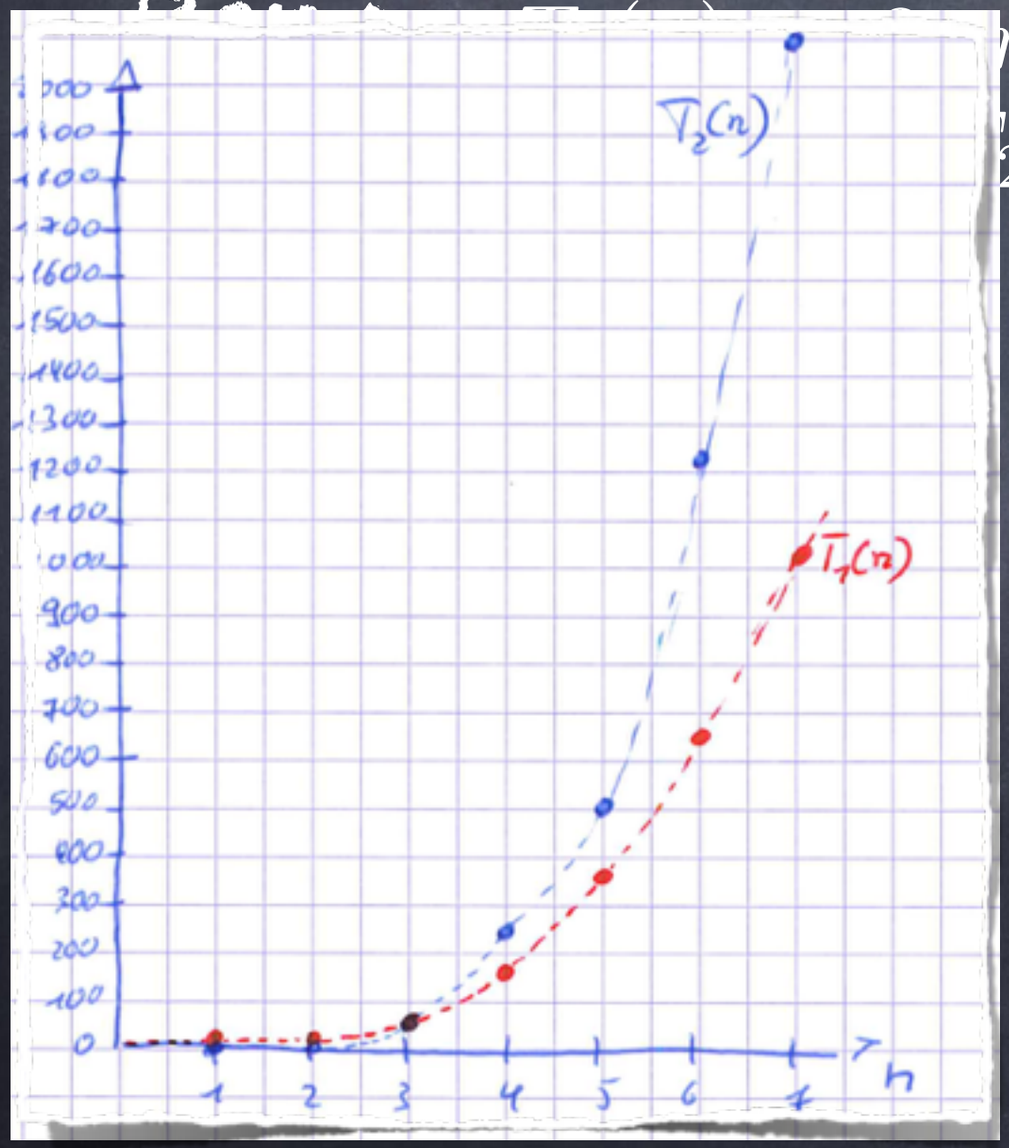
-> allg. Vergleich von Funktionen

$$T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \leq c \cdot T_1(n)$$

Menge von Funktionen

Beispiel: $T_1(n) = 2n^3 + 5$

$T_2(n)$s sind "kleiner"



$c = 1, n_0 = 4$

$T_2(1) := 1$	$T_1(1) = 8$
$T_2(2) := 16$	$T_1(2) = 29$
$T_2(3) := 81$	$T_1(3) = 86$
$T_2(4) := 256$	$T_1(4) = 197$
$T_2(5) := 526$	$T_1(5) = 380$
$T_2(6) := 1296$	$T_1(6) = 653$
$T_2(7) := 2401$	$T_1(7) = 1034$

... ...

$$T_2(n) \notin \mathcal{O}(T_1(n))$$

aber $T_1(n) \in \mathcal{O}(T_2(n))$

Laufzeitanalyse

-> allg. Vergleich von Funktionen

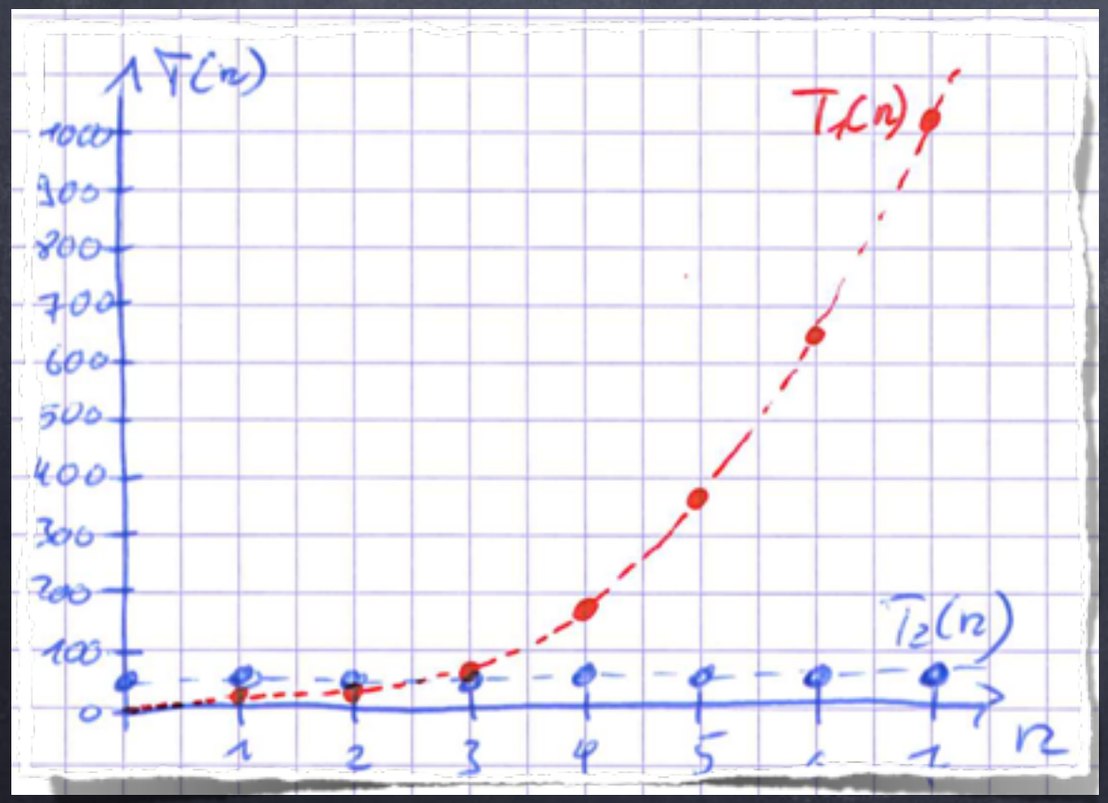
$$T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \leq c \cdot T_1(n)$$

Menge von Funktionen

Bsp.: $T_1(n) := 3 \cdot n^3 + 5$

welche $T_2(n)$s sind "kleiner"

$T_2(n) := \sqrt{n} + 41$



$c = 1, n_0 = 3$

$T_2(1) = 41$	$T_1(1) = 8$
$T_2(2) \approx 42$	$T_1(2) = 29$
$T_2(3) \approx 43$	$T_1(3) = 86$
$T_2(4) = 43$	$T_1(4) = 197$
$T_2(5) \approx 43$	$T_1(5) = 380$
$T_2(6) \approx 43$	$T_1(6) = 653$
$T_2(7) \approx 43$	$T_1(7) = 1034$
...	...

$$\Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$$

Laufzeitanalyse

-> allg. Vergleich von Funktionen

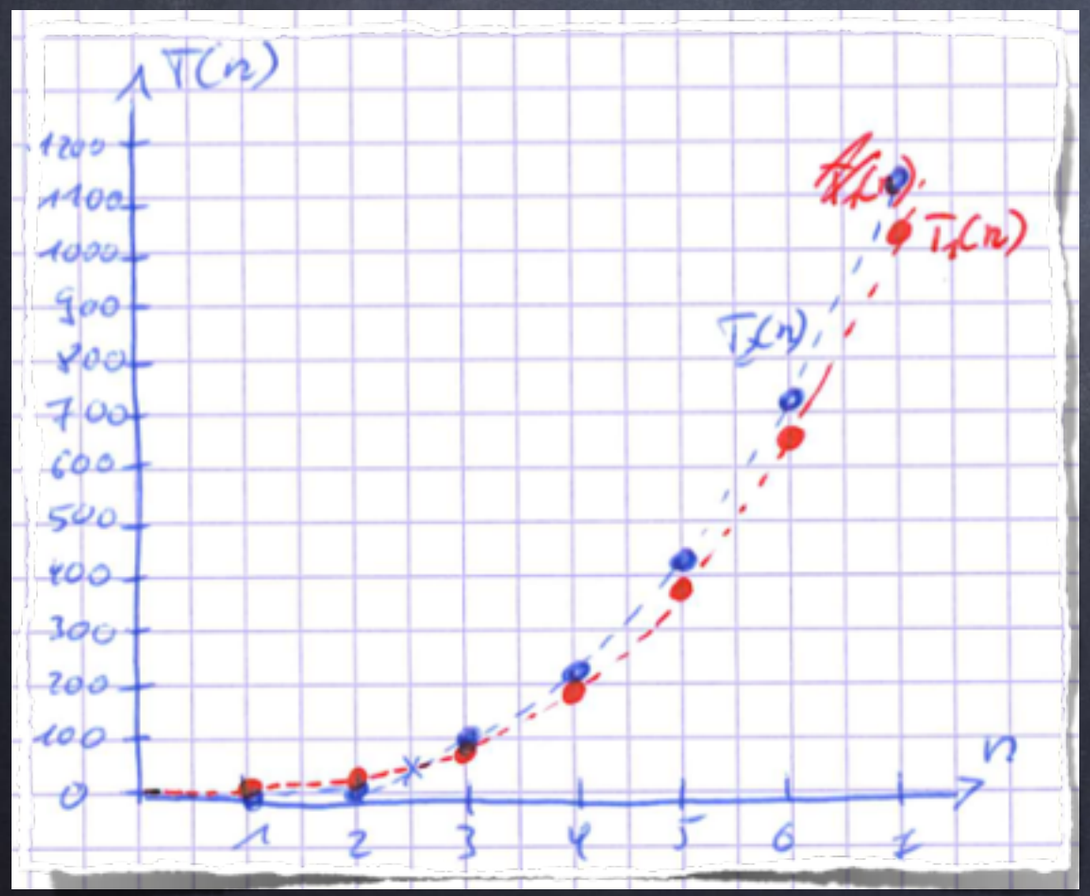
$$T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \leq c \cdot T_1(n)$$

Menge von Funktionen

Bsp.: $T_1(n) := 3 \cdot n^3 + 5$

welche $T_2(n)$s sind "kleiner"

$T_2(n) := \quad 3.3 \cdot n^3 + 1$



$T_2(1) := 4.3$	$T_1(1) = 8$
$T_2(2) := 27,4$	$T_1(2) = 29$
$T_2(3) := 90.1$	$T_1(3) = 86$
$T_2(4) := 212.2$	$T_1(4) = 197$
$T_2(5) := 413.5$	$T_1(5) = 380$
$T_2(6) := 713.8$	$T_1(6) = 653$
$T_2(7) := 1132.9$	$T_1(7) = 1034$
...	...

Laufzeitanalyse

-> allg. Vergleich von Funktionen

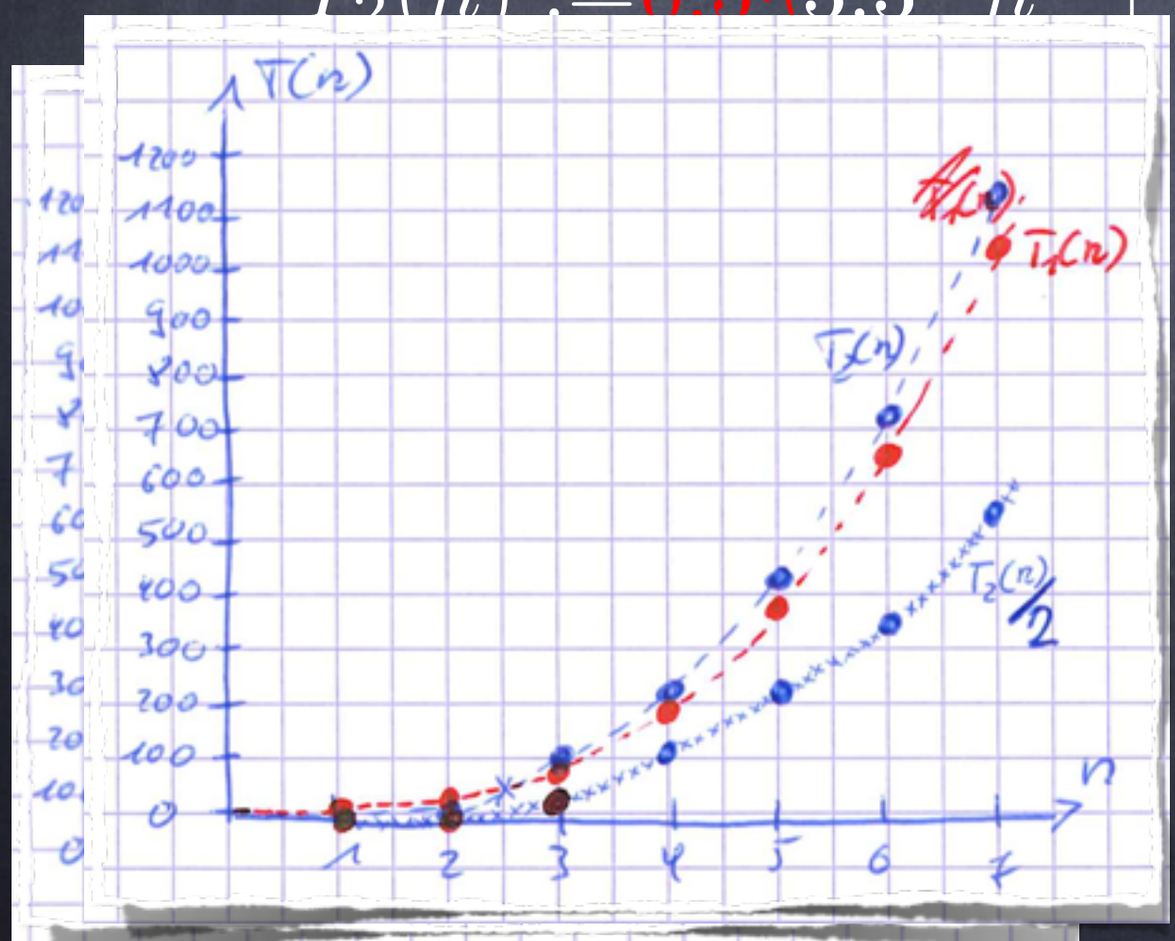
$$T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \leq c \cdot T_1(n)$$

Menge von Funktionen

Bsp.: $T_1(n) := 3 \cdot n^3 + 5$

welche $T_2(n)$s sind "kleiner"

$$T_2(n) := 0.5 \cdot (3.3 \cdot n^3 + 1)$$



$T_2(1)$	$:= 2.15$	$T_1(1)$	$= 8$
$T_2(2)$	$:= 13.7$	$T_1(2)$	$= 29$
$T_2(3)$	$:= 45.05$	$T_1(3)$	$= 86$
$T_2(4)$	$:= 106.1$	$T_1(4)$	$= 197$
$T_2(5)$	$:= 206.75$	$T_1(5)$	$= 380$
$T_2(6)$	$:= 356.9$	$T_1(6)$	$= 653$
$T_2(7)$	$:= 566.45$	$T_1(7)$	$= 1034$
	...		...

$$c = 2, n_0 = 1$$

$$\Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$$

Laufzeitanalyse

-> allg. Vergleich von Funktionen

$$T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \leq c \cdot T_1(n)$$

Menge von Funktionen

Bsp.: $T_1(n) := 3 \cdot n^{3} + 5$

welche $T_2(n)$s sind "kleiner"

$T_2(n) := 10 = 10n^{0}$ $\Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$

$T_2(n) := n^{2} + 150$ $\Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$

$T_2(n) := n^{4}$ $\Rightarrow T_2(n) \notin \mathcal{O}(T_1(n))$

$T_2(n) := \sqrt{n} + 41$ $\Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$

$= n^{0.5} + 41$

größter Exponent entscheidet

$T_2(n) := 3.3 \cdot n^{3} + 1$ $\Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$

$T_2(n) := n(n^{1.5} + 10) \cdot n^{0.1}$

$= n^{1} \cdot n^{1.5} \cdot n^{0.1} + n \cdot 10 \cdot n^{0.1}$

$= n^{2.6} + 10 \cdot n^{1.1}$ $\Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$

Laufzeitanalyse

-> allg. Vergleich von Funktionen

$$T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \leq c \cdot T_1(n)$$

Menge von Funktionen

Bsp.: $T_1(n) := 3 \cdot n^{3} + 5$

$$T_2(n) := n^{2.6} + 10 \cdot n^{1.1}$$
$$\leq n^{2.6} + 10 \cdot n^{2.6} = 11 \cdot n^{2.6}$$

$$T_2'(n) := 11 \cdot n^{2.6}$$

$$\Rightarrow T_2'(n) \in \mathcal{O}(T_2(n))$$
$$\Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$$

$$T_2(n) := 10n^{0.7} + 0.1n^{2.3} + 43n^{0.1} \quad \Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$$

$$T_2(n) := 15 \cdot (n^{1.1} + n^{0.1}) \cdot n^{1.2} + \frac{n^{1.5}}{n^{0.3}}$$
$$= 15 \cdot n^{2.3} + 15 \cdot n^{1.3} + n^{1.2} \quad \Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$$

Laufzeitanalyse

-> allg. Vergleich von Funktionen

$$T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \leq c \cdot T_1(n)$$

Menge von Funktionen

Bsp.: $T_1(n) := 3 \cdot n^{3} + 5$

$$T_2(n) = n^{2.9} + 1001 \qquad \Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$$

$$T_2(n) = n^{1.2} + 123 \qquad \Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$$

$$T_2(n) = n^{4} \qquad \Rightarrow T_2(n) \notin \mathcal{O}(T_1(n))$$

$$T_2(n) = n^{1} + n^{2.4} \qquad \Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$$

$$T_2(n) = n^{1} \cdot n^{2.4} = n^{3.4} \qquad \Rightarrow T_2(n) \notin \mathcal{O}(T_1(n))$$

$$T_2(n) = \frac{n^{1} \cdot n^{2.4}}{n^{1.2}} = n^{2.2} \qquad \Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$$

Laufzeitanalyse

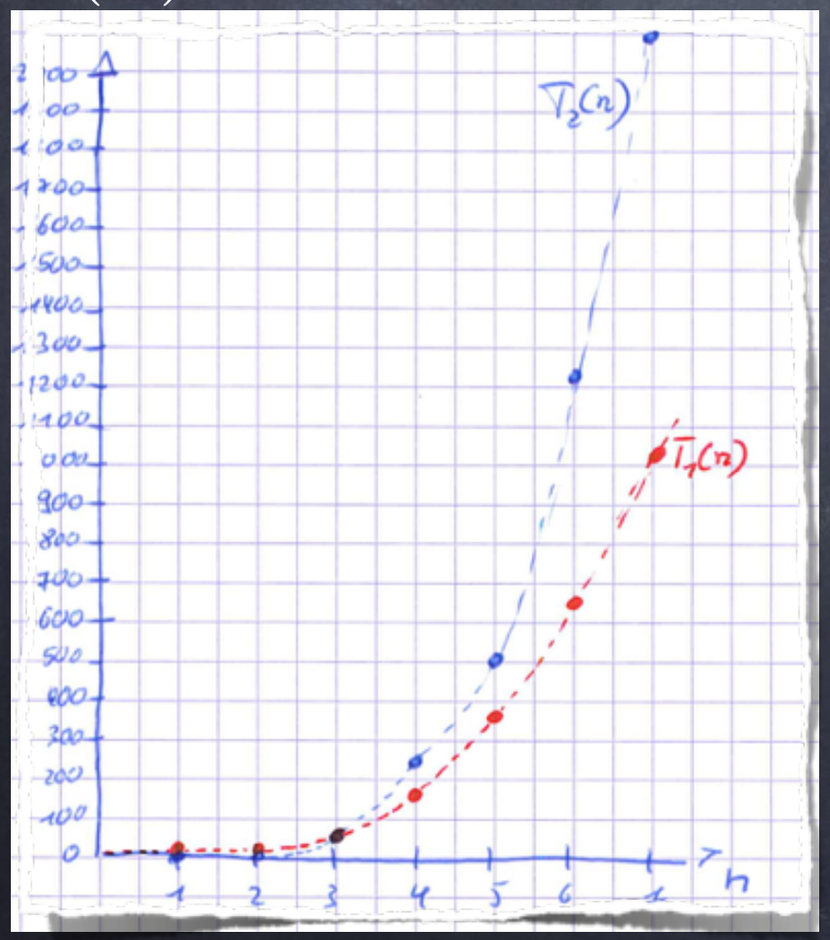
-> allg. Vergleich von Funktionen

$$T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \leq c \cdot T_1(n)$$

$$T_2(n) \in \Omega(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \geq c \cdot T_1(n)$$

Bsp.: $T_1(n) := 3 \cdot n^3 + 5$

$T_2(n) := n^4$ welche $T_2(n)$s sind größer "~~kleiner~~"



$c = 1, n_0 = 4$

$T_2(1) := 1$	$T_1(1) = 8$
$T_2(2) := 16$	$T_1(2) = 29$
$T_2(3) := 81$	$T_1(3) = 86$
$T_2(4) := 256$	$T_1(4) = 197$
$T_2(5) := 526$	$T_1(5) = 380$
$T_2(6) := 1296$	$T_1(6) = 653$
$T_2(7) := 2401$	$T_1(7) = 1034$

... ...

$$T_2(n) \notin \mathcal{O}(T_1(n))$$

aber $\boxed{T_2(n) \in \Omega(T_1(n))}$

Laufzeitanalyse

-> allg. Vergleich von Funktionen

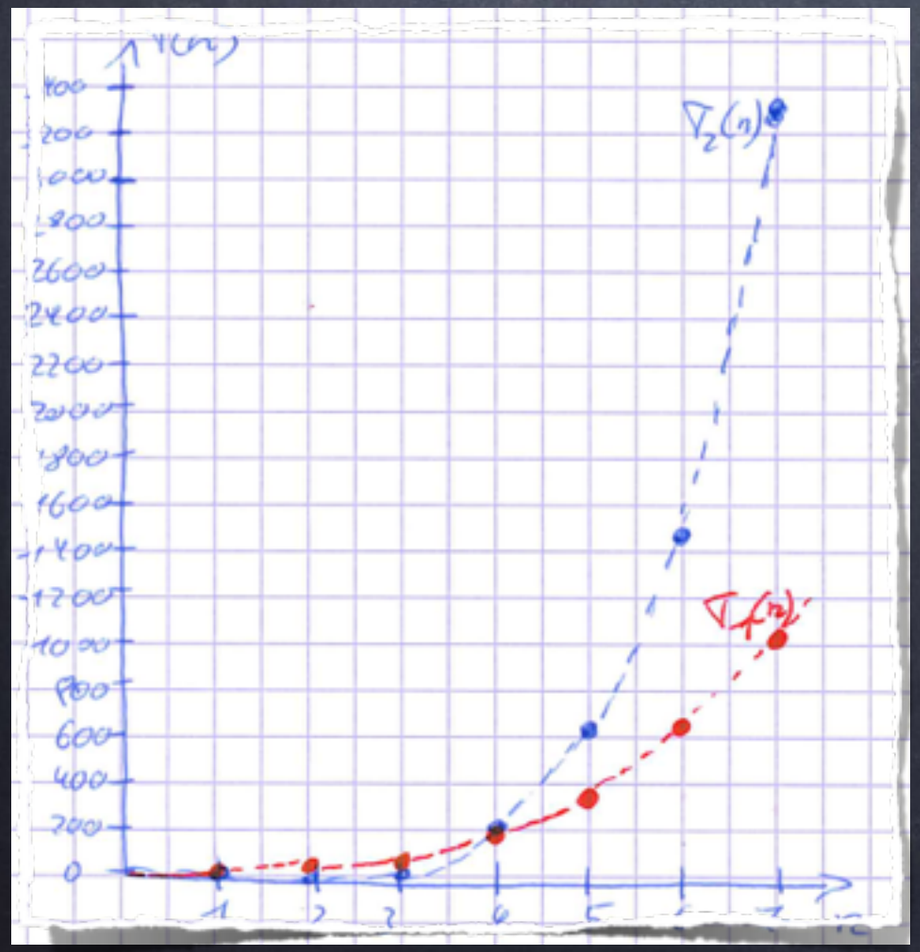
$$T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \leq c \cdot T_1(n)$$

$$T_2(n) \in \Omega(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \geq c \cdot T_1(n)$$

Bsp.: $T_1(n) := 3 \cdot n^3 + 5$

welche $T_2(n)$s sind "~~kleiner~~" größer

$T_2(n) := n^5/5$



$T_2(1) = 1/5$	$T_1(1) = 8$
$T_2(2) = 6.4$	$T_1(2) = 29$
$T_2(3) \approx 49$	$T_1(3) = 86$
$T_2(4) \approx 205$	$T_1(4) = 197$
$T_2(5) = 625$	$T_1(5) = 380$
$T_2(6) \approx 1555$	$T_1(6) = 653$
$T_2(7) \approx 3361$	$T_1(7) = 1034$

...

$$T_2(n) \in \Omega(T_1(n))$$

$$c = 1, n_0 = 4$$

Laufzeitanalyse

-> allg. Vergleich von Funktionen

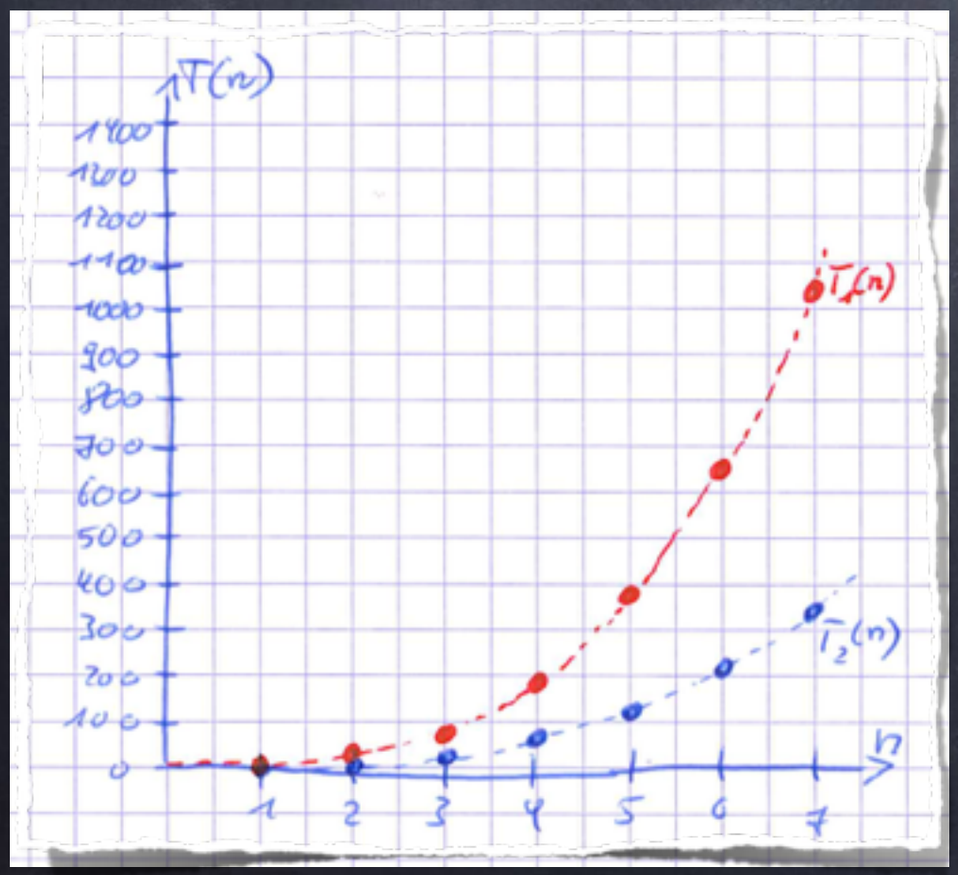
$$T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \leq c \cdot T_1(n)$$

$$T_2(n) \in \Omega(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \geq c \cdot T_1(n)$$

Bsp.: $T_1(n) := 3 \cdot n^3 + 5$

welche $T_2(n)$s sind "~~kleiner~~" größer

$T_2(n) := n^3 + 6$



$T_2(1) = 7$	$T_1(1) = 8$
$T_2(2) = 14$	$T_1(2) = 29$
$T_2(3) = 33$	$T_1(3) = 86$
$T_2(4) = 70$	$T_1(4) = 197$
$T_2(5) = 131$	$T_1(5) = 380$
$T_2(6) = 222$	$T_1(6) = 653$
$T_2(7) = 349$	$T_1(7) = 1034$
...	...

$$T_2(n) \notin \Omega(T_1(n))$$

$c = 1, n_0 = 1$ aber $T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$

Laufzeitanalyse

-> allg. Vergleich von Funktionen

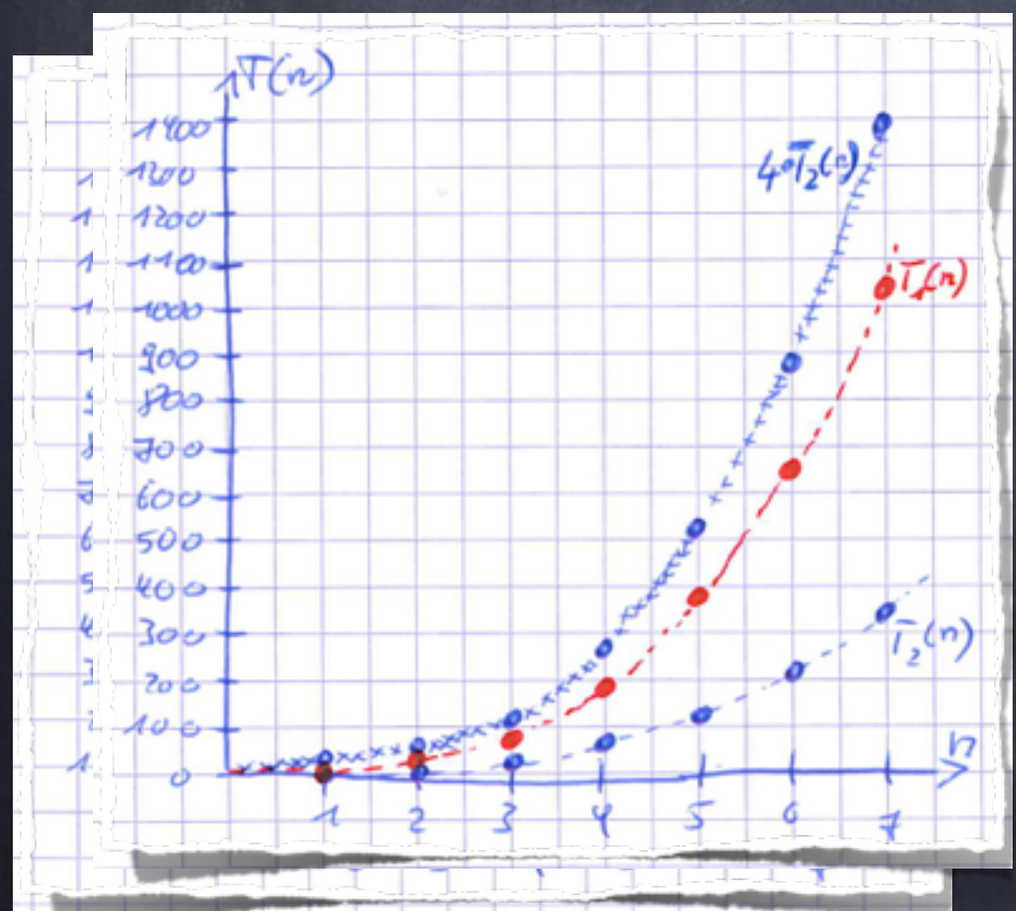
$$T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \leq c \cdot T_1(n)$$

$$T_2(n) \in \Omega(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \geq c \cdot T_1(n)$$

Bsp.: $T_1(n) := 3 \cdot n^3 + 5$

welche $T_2(n)$s sind "~~kleiner~~" größer

$$T_2(n) := 4 \cdot (n^3 + 6)$$



$T_2(1) =$	28	$T_1(1) = 8$
$T_2(2) =$	64	$T_1(2) = 29$
$T_2(3) =$	132	$T_1(3) = 86$
$T_2(4) =$	280	$T_1(4) = 197$
$T_2(5) =$	524	$T_1(5) = 380$
$T_2(6) =$	888	$T_1(6) = 653$
$T_2(7) =$	1396	$T_1(7) = 1034$
	...	...

$c = 1/4$ $\quad T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$

$n_0 = 1$ $\quad \Rightarrow T_2(n) \in \Omega(T_1(n))$

Laufzeitanalyse

-> allg. Vergleich von Funktionen

$$T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \leq c \cdot T_1(n)$$

$$T_2(n) \in \Omega(T_1(n)) :\Leftrightarrow \exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : T_2(n) \geq c \cdot T_1(n)$$

Bsp.: $T_1(n) := 3 \cdot n^3 + 5$

$T_2(n) := 10 = 10n^0$ $\Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$

$T_2(n) := n^2 + 150$ $\Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$

$T_2(n) := n^4$ $\Rightarrow T_2(n) \in \Omega(T_1(n))$

$T_2(n) := n^5/5$ $\Rightarrow T_2(n) \in \Omega(T_1(n))$

$T_2(n) := n^3 + 6$ $\Rightarrow T_2(n) \in \Omega(T_1(n))$

größter Exponent entscheidet

und $\Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$

$$T_2(n) \in \Theta(T_1(n)) :\Leftrightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n)), \Omega(T_1(n))$$

Regel (fast immer anwendbar)

Vergleich der jeweiligen Exponenten

Laufzeitanalyse

-> allg. Vergleich von Funktionen

Regel (fast immer anwendbar)

Vergleich der jeweiligen größten Exponenten

Falls $T_1(n)$ und $T_2(n)$ als Polynome darstellbar

Polynom: Funktion P der Form

$$P(n) = a_0 \cdot n^0 + a_1 \cdot n^1 + \ldots + a_k \cdot n^k$$

$$\begin{aligned} T_1(n) &= 3 \cdot n^3 + 5 \\ &= 5 \cdot n^0 + 0 \cdot n^1 + 0 \cdot n^2 + 3 \cdot n^3 \\ T_2(n) &= n^5/5 \\ &= 0 \cdot n^0 + 0 \cdot n^1 + 0 \cdot n^2 + 0 \cdot n^3 + 0 \cdot n^4 + 1/5 \cdot n^5 \end{aligned}$$

Seien k_1, k_2 die größten Exponenten von T_1, T_2

$$k_2 \leq k_1 \Leftrightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n)) \Leftrightarrow T_1(n) \in \Omega(T_2(n))$$

$$k_2 \geq k_1 \Leftrightarrow T_1(n) \in \mathcal{O}(T_2(n)) \Leftrightarrow T_2(n) \in \Omega(T_1(n))$$

$$k_2 = k_1 \Leftrightarrow T_1(n) \in \Theta(T_2(n)) \Leftrightarrow T_2(n) \in \Theta(T_1(n))$$

$T_1(n)$	$T_2(n)$	$T_1(n) \in \mathcal{O}(T_2(n))$	$T_1(n) \in \Omega(T_2(n))$	$T_1(n) \in \Theta(T_2(n))$
n^1	n^2			
n^2	n^2			
$n^2 + n^4$	n^1			
3	$2 + 3n$			
$5(n + n^2)$	$1 + 2n^4$			
$2 + 3n$	$1 + 2n^4$			
$5(n + n^2)$	n^2			
$\sqrt{n}$	n^1			
n^1	n^1			
$3n + 4n^5 + n^3$	$n(n + 3 + n^3)$			
$7n^4 + n^3$	$7n^4 + n^3 + 3$			
$n^{12323234} + 1$	$n^{1000} + 1$			
$2n(n + n)n(n^3)$	n^6			
13	3934556786			
1	3934556786			
$n^4 + n^3 n7$	$4 + 4 + 4 + n^5$			
$3n^3$	$1000000n^3$			
$\sqrt{n}n$	$\sqrt{n}$			

$T_2(n)$ hat größeren Exp. oder gleichen $\Rightarrow T_1(n) \in \mathcal{O}(T_2(n))$
$T_2(n) \in \Omega(T_1(n))$

$T_1(n)$ hat größeren Exp. oder gleichen $\Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$
$T_1(n) \in \Omega(T_2(n))$

$$k_2 \leq k_1 \Leftrightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n)) \Leftrightarrow T_1(n) \in \Omega(T_2(n))$$
$$k_2 \geq k_1 \Leftrightarrow T_1(n) \in \mathcal{O}(T_2(n)) \Leftrightarrow T_2(n) \in \Omega(T_1(n))$$
$$k_2 = k_1 \Leftrightarrow T_1(n) \in \Theta(T_2(n)) \Leftrightarrow T_2(n) \in \Theta(T_1(n))$$

exp. gleich $\Rightarrow T_1(n) \in \Theta(T_2(n))$
$T_2(n) \in \Theta(T_1(n))$

$T_1(n)$	$T_2(n)$	$T_1(n) \in \mathcal{O}(T_2(n))$	$T_1(n) \in \Omega(T_2(n))$	$T_1(n) \in \Theta(T_2(n))$
n^1	n^2	✓	✗	✗
n^2	n^2	✓	✓	✓
$n^2 + n^4$	n^1	✗	✓	✗
3	$2 + 3n$	✓	✗	✗
$5(n + n^2)$	$1 + 2n^4$	✓	✗	✗
$2 + 3n$	$1 + 2n^4$	✓	✗	✗
$5(n + n^2)$	n^2	✓	✓	✓
$\sqrt{n}$	n^1	✓	✗	✗
n^1	n^1	✓	✓	✓
$3n + 4n^5 + n^3$	$n(n + 3 + n^3)$	✗	✓	✗
$7n^4 + n^3$	$7n^4 + n^3 + 3$	✓	✓	✓
$n^{12323234} + 1$	$n^{1000} + 1$	✗	✓	✗
$2n(n + n)n(n^3)$	n^6	✓	✓	✓
13	3934556786	✓	✓	✓
1	3934556786	✓	✓	✓
$n^4 + n^3 n7$	$4 + 4 + 4 + n^5$	✓	✗	✗
$3n^3$	$1000000n^3$	✓	✓	✓
$\sqrt{n}n$	$\sqrt{n}$	✗	✓	✗

$T_2(n)$ hat größeren Exp. oder gleichen $\Rightarrow$ $T_1(n) \in \mathcal{O}(T_2(n))$, $T_2(n) \in \Omega(T_1(n))$

$T_1(n)$ hat größeren Exp. oder gleichen $\Rightarrow$ $T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$, $T_1(n) \in \Omega(T_2(n))$

exp. gleich $\Rightarrow$ $T_1(n) \in \Theta(T_2(n))$, $T_2(n) \in \Theta(T_1(n))$

$T_1(n)$	$T_2(n)$	$T_1(n) \in \mathcal{O}(T_2(n))$	$T_1(n) \in \Omega(T_2(n))$	$T_1(n) \in \Theta(T_2(n))$
n^1	n^2	✓	✗	✗
			✓	✓
n^2			✓	✗
			✗	✗
$5($			✗	✗
2			✗	✗
$5($			✓	✓
			✗	✗
			✓	✓
$3n$			✓	✗
$7n$			✓	✓
n^1			✓	✗
$2n(n+n)n(n^3)$	n^6	✓	✓	✓
13	3934556786	✓	✓	✓
1	3934556786	✓		✓
$n^4 + n^3 n7$	$4+4+4+n^5$	✓		✗
$3n^3$	$1000000n^3$	✓		✓
$\sqrt{n}n$	$\sqrt{n}$	✗		✗

Ziel:
Tabelle ausfüllen können ohne auf (*),(**) und (***) zu gucken

$T_2(n)$ hat größeren Exp. oder gleichen (*) $\Rightarrow T_1(n) \in \mathcal{O}(T_2(n))$, $T_2(n) \in \Omega(T_1(n))$

$T_1(n)$ hat größeren Exp. oder gleichen (**) $\Rightarrow T_2(n) \in \mathcal{O}(T_1(n))$, $T_1(n) \in \Omega(T_2(n))$

exp. gleich (***) $T_1(n) \in \Theta(T_2(n))$, $T_2(n) \in \Theta(T_1(n))$