

## Hausaufgabe 2

---

### Aufgabe 1

a)

Es sei  $f$  eine gegebene Funktion. Da  $\forall n \in \mathbb{N}_0 : 1 \cdot f(n) = f(n)$  existiert eine konstante  $0 < c = 1 < \infty$  und ein  $n_0 = 0$  sodass gilt:

$$\forall n \in \mathbb{N}_0, n \geq n_0 : f(n) \leq c \cdot f(n)$$

Damit haben wir nach Definition  $f \in \mathcal{O}(f) \iff f \sqsubseteq f$ . Also ist  $\sqsubseteq$  reflexiv.

Ferner seien nun weitere Funktionen  $g, h$  gegeben. Es gilt nach Definition:

$$\begin{aligned} (f \sqsubseteq g) \wedge (g \sqsubseteq h) &\implies (f \in \mathcal{O}(g)) \wedge (g \in \mathcal{O}(h)) \\ &\implies (\exists c, n_0 : \forall n \geq n_0 : f(n) \leq c \cdot g(n)) \wedge (\exists c', n'_0 : \forall n \geq n_0 : g(n) \leq c' \cdot h(n)) \end{aligned}$$

Sei nun  $n' := \max\{n_0, n'_0\}$ . Dann folgt weiter:

$$\begin{aligned} \exists c, c' : \forall n \geq n' : f(n) &\leq c \cdot g(n) \quad \wedge \quad g(n) \leq c' \cdot h(n) \\ \implies \exists c, c' : \forall n \geq n' : f(n) &\leq c \cdot g(n) \leq c \cdot (c' \cdot h(n)) \\ \implies \exists c, c' : \forall n \geq n' : f(n) &\leq (c \cdot c') \cdot h(n) \\ \implies f \in \mathcal{O}(h) &\iff f \sqsubseteq h \end{aligned}$$

Wir haben also gezeigt, dass für beliebige Funktionen  $f, g, h$  gilt:

$$f \sqsubseteq g \wedge g \sqsubseteq h \implies f \sqsubseteq h$$

Damit ist  $\sqsubseteq$  reflexiv und transitiv, also eine Quasiordnung □

b)

Es gilt:

$$0 \sqsubseteq 4 \sqsubseteq 2^{9000} \sqsubseteq \log(n) \sqsubseteq n \cdot \log(n) \sqsubseteq n \cdot \sqrt{n} \sqsubseteq n^2 \sqsubseteq \sum_{i=0}^n \frac{14i^2}{1+i} \sqsubseteq n^2 \cdot \log(n) \sqsubseteq \frac{n^3}{2} \sqsubseteq n^3 \sqsubseteq 2^n \sqsubseteq n! \sqsubseteq n^n$$

## Aufgabe 2

TODO

## Aufgabe 3

a)

Es sei eine Funktion  $g(n)$  gegeben. Wir notieren im Sinne der Lesbarkeit

$$o_1 := o(g(n)) \quad \mathcal{O}_1 := \mathcal{O}(g(n)) \quad \Theta_1 := \Theta(g(n)) \quad \Omega_1 := \Omega(g(n))$$

Behauptung: Es gilt  $o_1 = \mathcal{O}_1 \setminus \Theta_1$  (1)

Beweis:

$$\begin{aligned} o_1 &:= \{f \mid \forall c > 0 : \exists n_0 : \forall n \geq n_0 : 0 \leq f(n) < c \cdot g(n)\} \\ &= \{f \mid \forall c > 0 : \exists n_0 : \forall n \geq n_0 : 0 \leq f(n) < cg(n)\} \\ &\quad \wedge \neg(\exists c_1, c_2 > 0, n_0 : \forall n \geq n_0 : c_1 f(n) \leq g(n) \leq c_2 f(n))\} \\ &= \mathcal{O}_1 \setminus \Theta_1 \end{aligned}$$

□

Nun folgt direkt:

$$o_1 \cap \Theta_1 \stackrel{(1)}{=} (\mathcal{O}_1 \setminus \Theta_1) \cap \Theta_1 = \emptyset$$

□

b) Wir geben ein Gegenbeispiel. Es seien

$$g(n) = 0 \quad f(n) = n \quad h(n) = n^2$$

Damit gilt  $f(n) \in \Omega(g(n))$ , da für  $c = 1 > 0$  und  $n_0 = 1$  stets  $c \cdot g(n) = 0 \leq f(n)$  gilt.

Weiter ist auch  $f(n) \in \mathcal{O}(h(n))$ , da für  $c = 1$  und  $n_0 = 1$  stets  $f(n) \leq c \cdot h(n)$  gilt.

Wir nehmen nun an, es gelte  $g(n) \in \Theta(h(n))$ . Also auch  $g(n) \in \Omega(h(n))$ . Daraus folgt, dass eine Konstante  $c > 0$  existiert, sodass ab einem beliebigem Punkt stets  $c \cdot h(n) = cn^2 \leq 0 = g(n)$  gilt. Dies kann offensichtlich nur für  $c = 0$  gelten, jedoch muss  $c > 0$  erfüllt sein. Damit haben wir einen Widerspruch. Also kann die Aussage nicht stimmen. □

## Aufgabe 4