**Grundbegriffe der Informatik**
**Musterlösung zu Aufgabenblatt 2**

## Aufgabe 2.1 (2+2 Punkte)

Gegeben seien die Mengen $A$, $B$ und eine Relation $R$ von $A$ in $B$.
Geben Sie jeweils eine prädikatenlogische Formel für folgende Aussagen an:

a) $R$ ist eine rechtstotale Relation.
b) $R$ ist eine linkseindeutige Relation.

## Lösung 2.1

a) $\forall b \in B : \exists a \in A : (a, b) \in R$
b) $\forall a_1 \in A : \forall a_2 \in A : \forall b_1 \in B : \forall b_2 \in B :$
$((a_1, b_1) \in R \wedge (a_2, b_2) \in R \wedge a_1 \neq a_2) \Rightarrow b_1 \neq b_2$
oder
$\forall a_1 \in A : \forall a_2 \in A : \forall b \in B : ((a_1, b) \in R \wedge (a_2, b) \in R) \Rightarrow a_1 = a_2$

## Aufgabe 2.2 (3 Punkte)

Sei $A$ ein Alphabet.
Beweisen Sie für alle Wörter $w_1 \in A^*, w_2 \in A^*, w_3 \in A^*$: $(w_1 \cdot w_2) \cdot w_3 = w_1 \cdot (w_2 \cdot w_3)$

## Lösung 2.2

Seien $w_1, w_2, w_3 \in A^*$ beliebige Wörter mit $|w_1| = n, |w_2| = m, |w_3| = k$.

- Zunächst gilt $|w_1 \cdot w_2| = n + m$ und $|w_2 \cdot w_3| = m + k$
- Wir zeigen nun, dass $|(w_1 \cdot w_2) \cdot w_3| = |w_1 \cdot (w_2 \cdot w_3)| = n + m + k$ gilt:

  $|(w_1 \cdot w_2) \cdot w_3| = (n + m) + k = n + m + k$
  $|w_1 \cdot (w_2 \cdot w_3)| = n + (m + k) = n + m + k$

- Schließlich zeigen wir, dass $\forall i \in \mathbb{G}_{n+m+k} : ((w_1 \cdot w_2) \cdot w_3)(i) = (w_1 \cdot (w_2 \cdot w_3))(i)$ ist:

$$
\begin{aligned}
((w_1 \cdot w_2) \cdot w_3)(i) &= \begin{cases} (w_1 \cdot w_2)(i) & \text{falls } 0 \le i < n+m \\ w_3(i-(n+m)) & \text{falls } n+m \le i < n+m+k \end{cases} \\
&= \begin{cases} w_1(i) & \text{falls } 0 \le i < n \\ w_2(i-n) & \text{falls } n \le i < n+m \\ w_3(i-(n+m)) & \text{falls } n+m \le i < n+m+k \end{cases} \\
&= \begin{cases} w_1(i) & \text{falls } 0 \le i < n \\ w_2(i-n) & \text{falls } n \le i < n+m \\ w_3((i-n)-m) & \text{falls } n+m \le i < n+m+k \end{cases} \\
&= \begin{cases} w_1(i) & \text{falls } 0 \le i < n \\ (w_2 \cdot w_3)(i-n) & \text{falls } n \le i < n+m+k \end{cases} \\
&= w_1 \cdot (w_2 \cdot w_3)(i)
\end{aligned}
$$

- Da beide Wörter surjektive Abbildungen sind und für alle Werte aus dem Definitionsbereich den gleichen Wert liefern, sind die Wörter $(w_1 \cdot w_2) \cdot w_3$ und $w_1 \cdot (w_2 \cdot w_3)$ identisch.

**Aufgabe 2.3 (2+2+3 Punkte)**

Gegeben sei folgende induktiv definierte Folge von Zahlen:

$$
\begin{aligned}
x_0 &= 0 \\
\forall n \in \mathbb{N}_0 : x_{n+1} &= x_n + 2n + 1
\end{aligned}
$$

a) Berechnen Sie $x_1, x_2, x_3, x_4$.
b) Geben Sie für $x_n$ eine geschlossene Formel an (d.h. einen arithmetischen Ausdruck, in dem nur Zahlen, $n$ und die Grundrechenarten vorkommen).
c) Beweisen Sie Ihre Aussage aus Teilaufgabe b) durch vollständige Induktion.

**Lösung 2.3**

a) $x_1 = x_{0+1} = x_0 + 2 \cdot 0 + 1 = 0 + 0 + 1 = 1$
$x_2 = x_{1+1} = x_1 + 2 \cdot 1 + 1 = 1 + 2 + 1 = 4$
$x_3 = x_{2+1} = x_2 + 2 \cdot 2 + 1 = 4 + 4 + 1 = 9$
$x_4 = x_{3+1} = x_3 + 2 \cdot 3 + 1 = 9 + 6 + 1 = 16$

b) $x_n = n^2$

c) **Induktionsanfang:** $n = 0$**:** Nach Definition gilt $x_0 = 0 = 0^2$. $\surd$

**Induktionsvoraussetzung:**

Für ein festes, aber beliebiges $n \in \mathbb{N}_+$ gelte $x_n = n^2$.

**Induktionsschluss:** Wir zeigen, dass dann auch $x_{n+1} = (n+1)^2$ gelten muss.

nach Definiton gilt $x_{n+1} = x_n + 2n + 1$.

nach Induktionsvoraussetzung gilt $x_n = n^2$,

also $x_{n+1} = n^2 + 2n + 1 = (n+1)^2$ (ersten binomische Formel)

(Kurz: $x_{n+1} \overset{\text{Def.}}{=} x_n + 2n + 1 \overset{\text{Ind.vor.}}{=} n^2 + 2n + 1 = (n+1)^2$.)

**Aufgabe 2.4 (4 Punkte)**

Gegeben sei eine Menge $M$ und eine Abbildung $f : M \to M$.

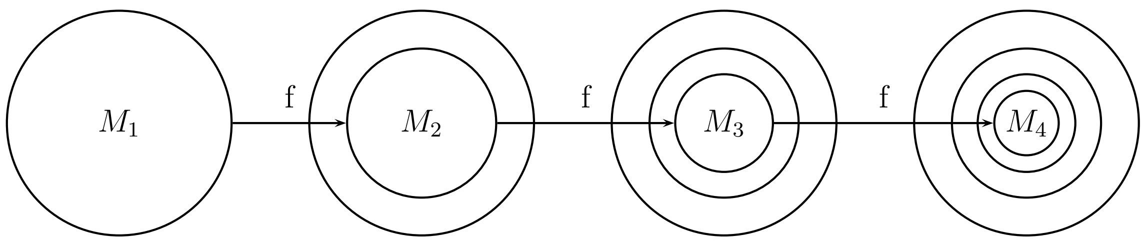
Wir definieren eine Folge von Mengen induktiv wie folgt:

$$M_0 = M$$
$$\forall n \in \mathbb{N}_0 : M_{n+1} = \{f(x) \mid x \in M_n\}$$

Beweisen Sie: $\forall n \in \mathbb{N}_0 : M_{n+1} \subseteq M_n$.

**Lösung 2.4**

Vorbemerkung: Bildlich kann man sich die Aussage folgendermaßen vorstellen:



**Induktionsanfang:** $n = 0$**:** $M_{0+1} = \{f(x) \mid x \in M_0\} \subseteq M$, da der Wertebereich von $f$ die Menge $M$ ist.

Da $M_0 = M$ gilt, folgt $M_{0+1} \subseteq M_0$. $\surd$

**Induktionsvoraussetzung:**
Für ein beliebiges, aber festes $n \in \mathbb{N}_0$ gilt $M_{n+1} \subseteq M_n$.

**Induktionsschluss:** Wir zeigen, dass dann auch $M_{n+2} \subseteq M_{n+1}$ gilt.

Wir wählen ein beliebiges, aber festes Element $x \in M_{n+2}$.

Nach Definition von $M_{n+2}$ gibt es ein Element $y \in M_{n+1}$, so dass $x = f(y)$ gilt.

Nach Induktionsvoraussetzung gilt $M_{n+1} \subseteq M_n$, und es folgt, dass $y \in M_n$ gelten muss.

Damit folgt $x = f(y) \in M_{n+1}$.

Da wir für ein beliebiges $x \in M_{n+2}$ gezeigt haben, dass $x \in M_{n+1}$ gilt, haben wir $M_{n+2} \subseteq M_{n+1}$ gezeigt.