

Aufgabe 1. Mengengrundlagen

- a. Gib die mit gelb gekennzeichnete Menge mit nur zwei Mengenoperationen an:

$$M = (A \setminus B) \Delta C$$

■

- b. Berechne: $((\{1, 3\} \times \{1\})) \cup \{1, 3, 1\} \setminus \{(1, 3), 1, 2\}$

$$\begin{aligned} M &= ((\{1, 3\} \times \{1\})) \cup \{1, 3, 1\} \setminus \{(1, 3), 1, 2\} \\ &\stackrel{\text{Def.}\times}{=} (\{(1, 1), (3, 1)\} \cup \{1, 3, 1\} \setminus \{(1, 3), 1, 2\}) \\ &\stackrel{\text{Def.}\cup}{=} (\{(1, 1), (3, 1), 1, 3\} \setminus \{(1, 3), 1, 2\}) \\ &\stackrel{\text{Def.}\setminus}{=} \{(1, 1), (3, 1), 3\} \end{aligned}$$

■

- c. Berechne: $(\{\emptyset, 2\} \cup \{\{\emptyset\}\}) \cap \mathcal{P}(\{\{\emptyset\}, 2\})$

$$\begin{aligned} M &= (\{\emptyset, 2\} \cup \{\{\emptyset\}\}) \cap \mathcal{P}(\{\{\emptyset\}, 2\}) \\ &\stackrel{\text{Def.}\cup}{=} \{\emptyset, \{\emptyset\}, 2\} \cap \mathcal{P}(\{\{\emptyset\}, 2\}) \\ &\stackrel{\text{Def.}\mathcal{P}}{=} \{\emptyset, \{\emptyset\}, 2\} \cap \{\emptyset, \{\{\emptyset\}\}, \{2\}, \{\{\emptyset\}, 2\}\} \\ &\stackrel{\text{Def.}\cap}{=} \{\emptyset\} \end{aligned}$$

■

Aufgabe 2. Mengenbeweise

- a. Beweise oder widerlege: Für alle Mengen A und B gilt: $(A \cap B) \cap A = B \cap A$

Wir beweisen die Aussage. Seien A, B beliebige Mengen.

$$\begin{aligned}
 & (A \cap B) \cap A = B \cap A \\
 \stackrel{\text{Def.}\cap}{=} & \{x \mid x \in \{y \mid y \in A \wedge y \in B\} \wedge x \in A\} \\
 \stackrel{\text{Komm.}}{=} & \{x \mid x \in \{y \mid y \in B \wedge y \in A\} \wedge x \in A\} \\
 \stackrel{\text{Def.}\in}{=} & \{x \mid (x \in B \wedge x \in A) \wedge x \in A\} \\
 \stackrel{\text{Assoz.}}{=} & \{x \mid x \in B \wedge (x \in A \wedge x \in A)\} \\
 \stackrel{\text{Idem.}}{=} & \{x \mid x \in B \wedge x \in A\} \\
 \stackrel{\text{Def.}\cap}{=} & B \cap A
 \end{aligned}$$

Somit gilt die Aussage.

■

b. Beweise oder widerlege: Für alle Mengen A und B gilt: $A \cup (A \setminus B) = A$

Wir beweisen die Aussage. Seien A, B beliebige Mengen.

$$\begin{aligned}
 & A \cup (A \setminus B) = A \\
 \stackrel{\text{Def.}\cup}{=} & \{x \mid x \in A \vee x \in (A \setminus B)\} \\
 \stackrel{\text{Def.}\setminus}{=} & \{x \mid x \in A \vee x \in \{y \mid y \in A \wedge y \notin B\}\} \\
 \stackrel{\text{Def.}\in}{=} & \{x \mid x \in A \vee (x \in A \wedge x \notin B)\} \\
 \stackrel{\text{Distri.}}{=} & \{x \mid (x \in A \vee x \in B) \wedge (x \in A \wedge x \in A)\} \\
 \stackrel{\text{Idem.oder}}{=} & \{x \mid (x \in A \vee x \in B) \wedge x \in A\} \\
 \stackrel{\text{Absorp.}}{=} & \{x \mid x \in A\} \\
 \stackrel{\text{Def.}\in}{=} & A
 \end{aligned}$$

Somit gilt die Aussage.

■

c. Beweise oder widerlege: Für alle Mengen A und B gilt: $(B \cup A) \cap B = A \cap B$

Wir widerlegen die Aussage durch Angabe eines geeigneten Gegenbeispiels.

Wir wählen $A \triangleq \{1, 2\}, B \triangleq \{2, 3\}$.

$$\begin{aligned}
 & (B \cup A) \cap B \\
 = & (\{2, 3\} \cup \{1, 2\}) \cap \{2, 3\} \\
 \stackrel{\text{Def. } \cup}{=} & \{1, 2, 3\} \cap \{2, 3\} \\
 = & \{2, 3\} \\
 \neq & \{2\} \\
 \stackrel{\text{Def. } \cap}{=} & \{1, 2\} \cap \{2, 3\} \\
 = & A \cap B
 \end{aligned}$$

Somit gilt die Aussage nicht.

■

Aufgabe 3. Wahrheitstabellen

a. Beweise oder widerlege nur mit Hilfe einer Wahrheitstabelle oder eines (Gegen-) Beispiels, dass $\neg q \wedge ((r \leftrightarrow (r \rightarrow \perp)) \vee q)$ kontradiktorisch ist.

q	r	\neg	q	\wedge	$((r \leftrightarrow (r \rightarrow \perp)) \vee q)$
F	F	W	F	F	F
F	W	W	F	F	F
W	F	F	W	F	W
W	W	F	W	F	W

Der Hauptjunktorkomplex wird immer zu F ausgewertet. Also ist die Formel kontradiktorisch.

■

b. Beweise oder widerlege nur mit Hilfe einer Wahrheitstabelle oder eines (Gegen-) Beispiels, dass $((s \wedge \neg q) \rightarrow r) \vee r \equiv r \vee (s \rightarrow q)$.

q	r	s	$((s$	\wedge	\neg	q)	\rightarrow	r)	\downarrow \vee	r	r	\downarrow \vee	(s	\rightarrow	q)
F	F	F	F	F	W	F	W	F	W	F	F	W	F	W	F
F	F	W	W	W	W	F	F	F	F	F	F	F	W	F	F
F	W	F	F	F	W	F	W	W	W	W	W	W	F	W	F
F	W	W	W	W	W	F	W	W	W	W	W	W	W	F	F
W	F	F	F	F	F	W	W	F	W	F	F	W	F	W	W
W	F	W	W	F	F	W	W	F	W	F	F	W	W	W	W
W	W	F	F	F	F	W	W	W	W	W	W	W	F	W	W
W	W	W	W	F	F	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W

Die beiden Hauptjunktoren werden in jeder Zeile zum selben Wert ausgewertet. Also sind die beiden Formeln äquivalent.

■

Aufgabe 4. Logische Äquivalenz

a. Gib an: eine Formel, die logisch äquivalent zu \perp ist und nur \neg und \vee als Operatoren enthält.

$$\neg(q \vee \neg q) \equiv \perp$$

■

b. Beweise nur mit Hilfe von Äquivalenzumformungen, dass $q \wedge (r \rightarrow s)$ und $\neg(r \vee \neg q) \vee (s \wedge q)$ logisch äquivalent sind.

$$\begin{aligned}
& q \wedge (r \rightarrow s) \\
\stackrel{\text{Implikation}}{=} & q \wedge (\neg r \vee s) \\
\stackrel{\text{Distr.von}\wedge\text{über}\vee}{=} & (\neg r \wedge q) \vee (s \wedge q) \\
\stackrel{\text{DeMorganII}}{=} & \neg(r \vee \neg q) \vee (s \wedge q)
\end{aligned}$$

■

Aufgabe 5. Variablenbelegungen

a. Beweise ausschließlich mit Hilfe von Argumenten über eine oder mehrere Variablenbelegungen, dass $q \rightarrow \neg(r \wedge s) \equiv \neg q \vee (r \rightarrow \neg s)$.

$$\begin{aligned}
& \llbracket q \rightarrow \neg(r \wedge s) \rrbracket^\beta = W \\
\stackrel{\text{Def.}\rightarrow}{\Leftrightarrow} & \llbracket q \rrbracket^\beta = F \text{ oder } \llbracket \neg(r \wedge s) \rrbracket^\beta = W \\
\stackrel{\text{Def.DeMorganI}}{\Leftrightarrow} & \llbracket q \rrbracket^\beta = F \text{ oder } \llbracket \neg r \vee \neg s \rrbracket^\beta = W \\
\stackrel{\text{Def.Impl.}}{\Leftrightarrow} & \llbracket q \rrbracket^\beta = F \text{ oder } \llbracket r \rightarrow \neg s \rrbracket^\beta = W \\
\stackrel{\text{Def.}\neg}{\Leftrightarrow} & \llbracket \neg q \rrbracket^\beta = W \text{ oder } \llbracket r \rightarrow \neg s \rrbracket^\beta = W \\
\stackrel{\text{Def.}\vee}{\Leftrightarrow} & \llbracket \neg q \vee r \rightarrow \neg s \rrbracket^\beta = W
\end{aligned}$$

Damit wird $q \rightarrow \neg(r \wedge s)$ genau dann zu W ausgewertet, wenn $\neg q \vee (r \rightarrow \neg s)$ zu W ausgewertet wird. Also sind die beiden Formeln äquivalent.

■

b. Beweise oder widerlege ausschließlich mit Hilfe von Argumenten über eine oder mehrere Variablenbelegungen, dass $\neg(\neg q \vee (s \wedge r)) \vee (q \leftrightarrow (s \wedge r))$ allgemeingültig ist.

Betrachte die Belegung β mit $\beta(q) = F$ und $\beta(r) = \beta(s) = W$. Dann ist

$$\llbracket \neg(\neg q \vee (s \wedge r)) \vee (q \leftrightarrow (s \wedge r)) \rrbracket = F$$

Damit ist die Formel nicht allgemeingültig (da es eine Belegung gibt, unter der die Formel zu F ausgewertet wird).

■

Aufgabe 6. Prädikatenlogik

L. Beweise: $((\exists y.P_1(y) \rightarrow P_2(y)) \wedge (\forall x.P_1(x))) \rightarrow \exists z.P_2(z) \wedge P_1(z)$

Annahme (A1): $((\exists y.P_1(y) \rightarrow P_2(y)) \wedge (\forall x.P_1(x)))$

Zu Zeigen (Z1): $\exists z.P_2(z) \wedge P_1(z)$

Annahme (A2): $\exists y.P_1(y) \rightarrow P_2(y)$

Annahme (A3): $\forall x.P_1(x)$

Wähle $x \triangleq y$ in A3

Annahme (A4): $P_1(y)$

Sei x (beliebig aber fest) in A2

Annahme (A5): $P_1(y) \rightarrow P_2(y)$

Aus A4 und A5 folgt A6

Annahme (A6): $P_2(y)$

Wähle $z \triangleq y$ in Z1

Zu Zeigen (Z2): $P_2(y) \wedge P_1(y)$

Teil 1: Zu Zeigen (Z1.1): $P_2(y)$

Aus A6 folgt Z1.1

Teil 2: Zu Zeigen (Z2.1): $P_1(y)$

Aus A4 folgt Z2.1

■

Aufgabe 7. Widerspruch und Kontraposition

a. Ziehe, durch die schrittweise Anwendung logischer Äquivalenzen, alle Negationen in der folgenden Formel soweit wie möglich nach Innen. Begründe jeden Schritt.

$$\begin{array}{ll}
& \neg(\neg(\exists x.P_1(x)) \rightarrow (\forall y.P_2(y) \wedge P_3(y))) \\
\text{Def. Impl.} & \equiv \neg(\neg\neg(\exists x.P_1(x)) \vee (\forall y.P_2(y) \wedge P_3(y))) \\
\text{Def. dopp. Neg.} & \equiv \neg((\exists x.P_1(x)) \vee (\forall y.P_2(y) \wedge P_3(y))) \\
\text{Def. DeMorgan2} & \equiv \neg(\exists x.P_1(x)) \wedge \neg(\forall y.P_2(y) \wedge P_3(y)) \\
\text{Def. log. Äquivalenz} & \equiv (\forall x.\neg P_1(x)) \wedge \neg(\forall y.P_2(y) \wedge P_3(y)) \\
\text{Def. DeMorgan1} & \equiv (\forall x.\neg P_1(x)) \wedge (\neg(\forall y.P_2(y)) \vee \neg P_3(y)) \\
\text{Def. log. Äquivalenz} & \equiv (\forall x.\neg P_1(x)) \wedge (\exists y.\neg P_2(y) \vee \neg P_3(y))
\end{array}$$

■

b. Gib an: Den ersten Schritt, d.h. die erste Zeile, eines Beweises per Widerspruch für die Aussage $\neg(\exists x.P_1(x)) \rightarrow (\forall y.P_2(y) \wedge P_3(y))$.

Widerspruchs Annahme:

$$\neg(\exists x.P_1(x)) \rightarrow (\forall y.P_2(y) \wedge P_3(y)) \equiv \neg(\neg(\exists x.P_1(x)) \rightarrow (\forall y.P_2(y) \wedge P_3(y))) \rightarrow \perp$$

■

c. Gib an: Den ersten Schritt, d.h. die erste Zeile, eines Beweises per Kontraposition für die Aussage $\neg(\exists x.P_1(x)) \rightarrow (\forall y.P_2(y) \wedge P_3(y))$.

$$\text{Zu Zeigen: } \neg(\forall y.P_2(y) \wedge P_3(y)) \rightarrow \neg\neg(\exists x.P_1(x))$$

■

Aufgabe 8. Induktion

L. Beweise per Induktion $\forall n \in \mathbb{N}_7. n \bmod 2 = 1$.

Hinweis H1: $(n + m) \bmod r = ((n \bmod r)(m \bmod r)) \bmod r$

Sei

$$P(n) \triangleq (n \bmod 2 = 1)$$

Wir verwenden das Induktionsschema:

$$(P(7) \wedge (\forall n \in \mathbb{N}_7. P(n) \rightarrow P(n + 10))) \rightarrow (\forall x \in \mathbb{N}_7. P(x))$$

IA ($P(7)$):

$$7 \bmod 2 = 1$$

Sei $n \in \mathbb{N}_7$.

IV ($P(n)$):

$$n \bmod 2 = 1$$

IS ($P(n+10)$): Zu Zeigen: $(n+10) \bmod 2 = 1$

$$\begin{aligned}(n+10) \bmod 2 &\stackrel{\text{H1}}{=} ((n \bmod 2) + (10 \bmod 2)) \bmod 2 \\ &= ((n \bmod 2) + 0) \bmod 2 \\ &\stackrel{\text{IV}}{=} (1 + 0) \bmod 2 \\ &= 1 \bmod 2 \\ &= 1\end{aligned}$$

Nach unserem Induktionsschema gilt nun $\forall x \in \mathbb{N}_7. P(x)$ was äquivalent zur ursprünglichen Aussage ist. Damit ist die Aussage bewiesen.

■

Aufgabe 9. Eigenschaften von Relationen

L. Gib die Relation R_4, R_5 und R_6 jeweils in Mengenschreibweise an.

$$R_4 \triangleq \{(b, 2), (b, 3), (c, 2), (c, 3), (c, 1)\}$$

$$R_5 \triangleq \{(1, a), (2, a)\}$$

$$R_6 \triangleq \{(a, b), (a, c), (c, a), (b, c)\}$$

■

L. Gib die Relation R_4, R_5 und R_6 jeweils graphisch an.

■

L. Gib für jede der Relationen R_4, R_5 und R_6 an, welche der Eigenschaften links-/rechtstotal und links-/rechtseindeutig erfüllt bzw. nicht erfüllt sind

	linkstotal	rechtstotal	linkseindeutig	rechtseindeutig
R_4	X	✓	X	X
R_5	X	X	X	✓
R_6	X	✓	X	X

■

L. Gib zwei Mengen X, Y so an, dass jede rechtstotale, rechtseindeutige Relation $R : (X, Y)$ linkseindeutig ist.

Wenn $X = \{\emptyset\}$ und $Y = \{\emptyset\}$ ist jede Relation $R : (X, Y)$, die rechtstotal und rechtseindeutig ist, linkseindeutig, da die leere Relation $\emptyset_{X,Y}$ immer linkseindeutig ist.

■

Aufgabe 10. Homogene Relation

$C \triangleq \{a, b, c, d\}$ $R_7(C, C)$ mit
 $R_7 = \{(a, a), (a, c), (c, b), (d, c), (d, d)\}$

L. Berechne $t(R_7)$ schrittweise.

$$\begin{aligned}
 R_7^1 &\stackrel{\text{FS2.1.16}}{=} R_7 \\
 R_7^2 &\stackrel{\text{FS2.1.16}}{=} R_7 R_7 \stackrel{\text{Def.}}{=} \{(a, b), (d, b)\} \\
 R_7^3 &\stackrel{\text{FS2.1.16}}{=} R_7 R_7^2 \stackrel{\text{Def.}}{=} \emptyset \\
 R_7^4 &\stackrel{\text{FS2.1.16}}{=} R_7 R_7^3 \stackrel{\text{Def.}}{=} R_7^3
 \end{aligned}$$

und damit

$$\begin{aligned}
 t(R_7) &\stackrel{\text{Def. } t(\cdot)}{=} \bigcup_{n \in \mathbb{N}^+} R_7^n = R_7 \cup R_7^2 \cup R_7^3 \\
 &\stackrel{\text{Def. } \cup}{=} \{(a, a), (a, b), (a, c), (c, b), (d, b), (d, c), (d, d)\}
 \end{aligned}$$

■

L. Gib für $R_8 \triangleq t(R_7) \cup \Delta_C$ an, welche der Ordnungsbegriffe Quasiordnung, partielle Ordnung und totale Ordnung erfüllt bzw. nicht erfüllt sind.

$\Delta_C = \{(a, a), (b, b), (c, c), (d, d)\}$
 $R_8 = \Delta_C \cup t(R_7) \stackrel{\text{Def. } \cup}{=} \{(a, a), (a, b), (a, c), (b, b), (c, b), (c, c), (d, b), (d, c), (d, d)\}$

reflexiv:

$$\Delta_C \stackrel{\text{Def.}\Delta}{=} \{(a, a), (b, b), (c, c), (d, d)\} \subseteq R_8$$

transitiv:

$$R_8 R_8 \stackrel{\text{Def.};}{=} R_8 \subseteq R_8$$

antisymmetrisch:

$$\begin{aligned} R_8^{-1} \cap R_8 &\stackrel{\text{Def.}^{-1}}{=} \{(a, a), (b, a), (b, b), (c, a), (b, c), (c, c), (b, d), (c, d), (d, d)\} \cap R_8 \\ &\stackrel{\text{Def.}\cap}{=} \{(a, a), (b, b), (c, c), (d, d)\} \stackrel{\text{Def.}\Delta}{=} \Delta_C \subseteq R_8 \end{aligned}$$

linear:

$$\begin{aligned} &\nabla_{C,C} \setminus \Delta_C \\ &\stackrel{\text{Def.}\Delta}{=} \nabla_{C,C} \setminus \{(a, a), (b, b), (c, c), (d, d)\} \\ &\stackrel{\text{Def.}\nabla}{=} \{(a, a), (a, b), (a, c), (a, d), (b, a), (b, b), (b, c), (b, d), (c, a), (c, b), (c, c), \\ &\quad (c, d), (d, a), (d, b), (d, c), (d, d)\} \setminus \{(a, a), (b, b), (c, c), (d, d)\} \\ &\stackrel{\text{Def.}\setminus}{=} \{(a, b), (a, c), (a, d), (b, a), (b, c), (b, d), (c, a), (c, b), (c, d), (d, a), (d, b), (d, c)\} \\ &\stackrel{\text{Def.}\subseteq}{=} \nabla_{C,C} \setminus \Delta_C \subsetneq R_8 \end{aligned}$$

da (a,d) nicht enthalten in R_8

R_8 ist reflexiv, transitiv, antisymmetrisch und nicht linear, und somit ist R_8 eine quasi Ordnung, eine partielle Ordnung aber keine totale Ordnung ■

Aufgabe 11. Abbildungen, Funktionen

a.

Gib an: Welche der Relationen R_1 , R_2 , R_3 und R_4 sind (keine) partiellen bzw. totalen Abbildungen?

Die Relationen R_1 und R_2 sind keine partiellen bzw. totalen Abbildungen. Die Relation R_3 ist eine partielle Abbildung und die Relation R_4 ist eine totale Abbildung.

Gib an: Für jede der Relationen, die keine partielle Abbildung ist, ein Gegenbeispiel, dass das begründet.

Die Relation R_1 ist keine partielle Abbildung, weil die Paare (d, b) und $(d, 5)$ in der Relation

auftreten. Die Relation R_2 ist keine partielle Abbildung, weil die Paare $(5, 5)$ und $(5, d)$ in der Relation auftreten. ■

b.

Gib an: Welche der Eigenschaften injektiv, surjektiv und bijektiv werden durch die Relationen R_1, R_2, R_3 und R_4 (die partielle oder totale Abbildungen sind) erfüllt / nicht erfüllt?

R_3 ist injektiv, surjektiv und bijektiv.

R_4 ist weder injektiv, surjektiv noch bijektiv.

Gib für jede nichterfüllte Eigenschaft ein Gegenbeispiel oder eine Begründung an.

Die Abbildung R_4 ist nicht injektiv, weil die Paare $(5, 5)$ und $(d, 5)$ in der Relation auftreten. Die Abbildung R_4 ist nicht surjektiv, weil das Element 3 aus dem Zielbereich A nicht mit einem anderen Element aus dem Argumentbereich B in Relation steht. Die Abbildung R_4 ist nicht bijektiv, weil sie nicht injektiv und nicht surjektiv ist. ■

c.

Beweise oder widerlege: Für alle Funktionen $f : B \rightarrow C, g : A \rightarrow B$ mit beliebigen Mengen A, B und C gilt, wenn $f \circ g$ surjektiv ist, dann ist g surjektiv.

Wir widerlegen die Aussage durch Angabe eines Gegenbeispiels.

Wir wählen die Mengen A, B und C mit: $A \triangleq \{1, 2\}, B \triangleq \{3, 4\}, C \triangleq \{5\}$.

Wähle $g: A \rightarrow B$ mit $g \triangleq \{(1, 3)\} \triangleq R_1$ und $f: B \rightarrow C$ mit $f \triangleq \{(3, 5)\} \triangleq R_2$.

$(f \circ g) \stackrel{\text{Def. } \circ}{=} \{(1, 5)\}$, wobei gilt, dass $\forall c \in C. \exists a \in A. a R_2 c$. Daraus folgt, dass $(f \circ g)$ surjektiv ist.

Für die gewählte Funktion g gilt aber nicht $\forall b \in B. \exists a \in A. a R_1 b$. Daraus folgt, dass g nicht surjektiv ist.

Somit ist die Aussage widerlegt. ■

Aufgabe 12. Kardinalität

Sei $M \triangleq \{n \in \mathbb{N} | n \bmod 10 = 7\}$

Beweise oder widerlege: $\text{card}(M) = \text{card}(\mathbb{N})$

L. Wir beweisen die Aussage und geben eine Bijektion $f: M \rightarrow \mathbb{N}$ an.

$$f : M \rightarrow \mathbb{N}$$

$$x \mapsto (x - 7) : 10$$

Die Funktion ist für jedes $x \in M$ eindeutig definiert und bildet ausschließlich auf ganze Zahlen ab.

Wir geben eine weitere Funktion $g: \mathbb{N} \rightarrow M$ an.

$$f : \mathbb{N} \rightarrow M$$

$$x \mapsto 10x + 7$$

Zu Zeigen (Z1): Bijektion(f)

Wenn $(f \circ g) = \Delta_{\mathbb{N}}$ und $(g \circ f) = \Delta_M$, dann ist laut Formelsammlung 2.2.8 f eine Bijektion.

Teil 1: Zu Zeigen (Z1.1): $\forall x \in \mathbb{N}. (f \circ g)(x) = \Delta_{\mathbb{N}}(x)$ Sei $x \in \mathbb{N}$ beliebig aber fest.

$$\begin{aligned} & (f \circ g)(x) \\ \stackrel{\text{Def. } \circ}{=} & f(g(x)) \\ \stackrel{\text{Def. } g}{=} & f(10x + 7) \\ \stackrel{\text{Def. } f}{=} & ((10x + 7) - 7) : 10 \\ = & x \\ \stackrel{\text{Def. } \Delta}{=} & \Delta_{\mathbb{N}}(x) \end{aligned}$$

Teil 2: Zu Zeigen (Z2.1): $\forall x \in M. (g \circ f)(x) = \Delta_M(x)$ Sei $x \in M$ beliebig aber fest.

$$\begin{aligned}
 & (g \circ f)(x) \\
 \stackrel{\text{Def. } \circ}{=} & g(f(x)) \\
 \stackrel{\text{Def. } f}{=} & g((x - 7) : 10) \\
 \stackrel{\text{Def. } g}{=} & 10 * ((x - 7) : 10) + 7 \\
 = & x \\
 \stackrel{\text{Def. } \Delta}{=} & \Delta_M(x)
 \end{aligned}$$

Da wir Z1.1 und Z2.1 gezeigt haben, gilt: f ist eine Bijektion. Somit gilt die Aussage. ■