

Übung 7: (M)PCP Reduktionen

Berechenbarkeit und Komplexitätstheorie

Aufgabe 1

$$K \leq \boxed{MPCP} \leq PCP$$

Sei P eine MPCP Instanz mit Alphabet Σ .

→ Erstelle PCP Instanz $f(P)$ mit Alphabet $\Sigma \cap \{\#, \$\}$

$$\text{s.d. } P \in MPCP \iff f(P) \in PCP$$

Für ein Wort $w = a_1a_2\dots a_m$ aus Σ^+ sei

$$w^a := \#a_1\#a_2\#\dots\#a_m\#$$

$$w^b := a_1\#a_2\#\dots\#a_m\#$$

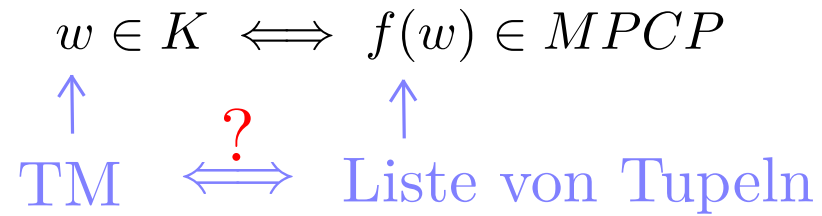
$$w^c := \#a_1\#a_2\#\dots\#a_m$$

$$\text{Aus } P = ((x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_k, y_k))$$

$$\text{erzeuge } f(P) := ((x_1^a, y_1^c), (x_1^b, y_1^c), (x_2^b, y_2^c), \dots, (x_2^b, y_2^c), (\$, \#\$))$$

Aufgabe 1

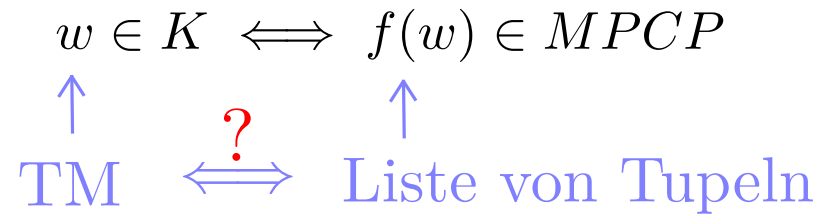
$$\boxed{K \leq MPCP} \leq PCP$$



□ z_0 1 0 1 □ # K_2 # K_3 # ...
□ z_0 1 0 1 □ # K_2 # K_3

Aufgabe 1

$$\boxed{K \leq MPCP} \leq PCP$$



#

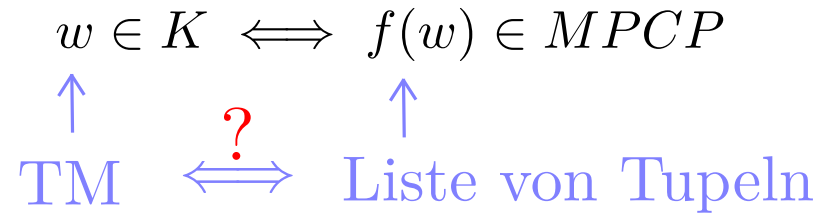
□ z_0 1 0 1 □

Startwortpaar:

(#, # □ z_0 w □ #)

Aufgabe 1

$$\boxed{K \leq MPCP} \leq PCP$$



□
□ z_0 1 0 1 □ # □

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: (a, a) für alle $a \in A \cup \{\#\}$

Aufgabe 1

$$\boxed{K \leq MPCP} \leq PCP$$

$$\begin{array}{ccc} w \in K & \iff & f(w) \in MPCP \\ \uparrow & & \uparrow \\ \text{TM} & \stackrel{?}{\iff} & \text{Liste von Tupeln} \end{array}$$

□ z_0 1

□ z_0 1 0 1 □ # □ z_1 0

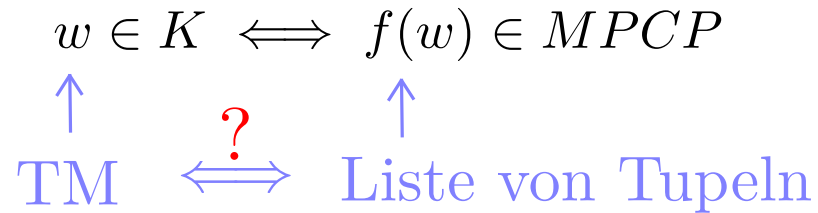
Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: (a, a) für alle $a \in A \cup \{\#\}$

Überführungsregeln: $(sa, s'c)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, N)$

Aufgabe 1

$$\boxed{K \leq MPCP} \leq PCP$$



□ z_0 1

□ z_0 1 0 1 □ # □ 0 z_1

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: (a, a) für alle $a \in A \cup \{\#\}$

Überführungsregeln: $(sa, s'c)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, N)$

(sa, cs') falls $\delta(s, a) = (s', c, R)$

Aufgabe 1

$$\boxed{K \leq MPCP} \leq PCP$$

$$\begin{array}{ccc} w \in K & \iff & f(w) \in MPCP \\ \uparrow & & \uparrow \\ \text{TM} & \stackrel{?}{\iff} & \text{Liste von Tupeln} \end{array}$$

□ z_0 1

□ z_0 1 0 1 □ # z_1 □ 0

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: (a, a) für alle $a \in A \cup \{\#\}$

Überführungsregeln: $(sa, s'c)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, N)$

(sa, cs') falls $\delta(s, a) = (s', c, R)$

$(bsa, s'bc)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, L)$ für alle $b \in A$

Aufgabe 1

□ z_0 1 0 1 □ # z_0 □

□ z_0 1 0 1 □ # z_0 □ 1 0 1 □ # z_0 □ □

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: (a, a) für alle $a \in A \cup \{\#\}$

Überführungsregeln: $(sa, s'c)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, N)$

(sa, cs') falls $\delta(s, a) = (s', c, R)$

$(bsa, s'bc)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, L)$ für alle $b \in A$

$(\#sa, \#s' \square c)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, L)$

Aufgabe 1

□ z_0 1 0 1 □ # z_0 □ 1 0 1 □ # ... # □ 1 0 1 □ z_1 #
□ z_0 1 0 1 □ # z_0 □ 1 0 1 □ # # □ 1 0 1 □ z_1 # □ 1 0 1 □ z_f 1

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: (a, a) für alle $a \in A \cup \{\#\}$

Überführungsregeln: $(sa, s'c)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, N)$
 (sa, cs') falls $\delta(s, a) = (s', c, R)$
 $(bsa, s'bc)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, L)$ für alle $b \in A$
 $(\#sa, \#s' \square c)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, L)$
 $(s\#, s'c\#)$ falls $\delta(s, \square) = (s', c, N)$

Aufgabe 1

□ z_0 1 0 1 □ # z_0 □ 1 0 1 □ # ... # □ 1 0 1 □ z_1 #
□ z_0 1 0 1 □ # z_0 □ 1 0 1 □ # # □ 1 0 1 □ z_1 # □ 1 0 1 □ 1 z_f

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: (a, a) für alle $a \in A \cup \{\#\}$

Überführungsregeln: $(sa, s'c)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, N)$
 (sa, cs') falls $\delta(s, a) = (s', c, R)$
 $(bsa, s'bc)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, L)$ für alle $b \in A$
 $(\#sa, \#s' \square c)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, L)$
 $(s\#, s'c\#)$ falls $\delta(s, \square) = (s', c, N)$
 $(s\#, cs'\#)$ falls $\delta(s, \square) = (s', c, R)$

Aufgabe 1

□ z_0 1 0 1 □ # z_0 □ 1 0 1 □ # ... # □ 1 0 1 □ z_1 #
□ z_0 1 0 1 □ # z_0 □ 1 0 1 □ # # □ 1 0 1 □ z_1 # □ 1 0 1 z_f □ 1

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: (a, a) für alle $a \in A \cup \{\#\}$

Überführungsregeln: $(sa, s'c)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, N)$
 (sa, cs') falls $\delta(s, a) = (s', c, R)$
 $(bsa, s'bc)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, L)$ für alle $b \in A$
 $(\#sa, \#s' \square c)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, L)$
 $(s\#, s'c\#)$ falls $\delta(s, \square) = (s', c, N)$
 $(s\#, cs'\#)$ falls $\delta(s, \square) = (s', c, R)$
 $(bs\#, s'bc\#)$ falls $\delta(s, \square) = (s', c, L)$ für alle $b \in A$

Aufgabe 1

... # □ 1 0 1 □ z_1 # □ 1 0 1 □ z_f □
□ 1 0 1 □ z_1 # □ 1 0 1 □ z_f □ 1 # □ 1 0 1 □ z_f

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: (a, a) für alle $a \in A \cup \{\#\}$

Überführungsregeln: $(sa, s'c)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, N)$
 (sa, cs') falls $\delta(s, a) = (s', c, R)$
 $(bsa, s'bc)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, L)$ für alle $b \in A$
 $(\#sa, \#s' \square c)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, L)$
 $(s\#, s'c\#)$ falls $\delta(s, \square) = (s', c, N)$
 $(s\#, cs'\#)$ falls $\delta(s, \square) = (s', c, R)$
 $(bs\#, s'bc\#)$ falls $\delta(s, \square) = (s', c, L)$ für alle $b \in A$

Löschregeln: $(s_f a, s_f)$ und $(a s_f, s_f)$ für alle $a \in A, s_f \in F$

Aufgabe 1

$\dots \# \square 1 0 1 \square z_1 \# \square 1 0 1 z_f \square 1 \# \square 1 0 1 z_f 1 \# \dots \# z_f \# \#$
 $\# \square 1 0 1 \square z_1 \# \square 1 0 1 z_f \square 1 \# \square 1 0 1 z_f 1 \# \# z_f \# \#$

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: (a, a) für alle $a \in A \cup \{\#\}$

Überführungsregeln:

- $(sa, s'c)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, N)$
- (sa, cs') falls $\delta(s, a) = (s', c, R)$
- $(bsa, s'bc)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, L)$ für alle $b \in A$
- $(\#sa, \#s' \square c)$ falls $\delta(s, a) = (s', c, L)$
- $(s\#, s'c\#)$ falls $\delta(s, \square) = (s', c, N)$
- $(s\#, cs'\#)$ falls $\delta(s, \square) = (s', c, R)$
- $(bs\#, s'bc\#)$ falls $\delta(s, \square) = (s', c, L)$ für alle $b \in A$

Löschregeln: $(s_f a, s_f)$ und $(a s_f, s_f)$ für alle $a \in A, s_f \in F$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

Aufgabe 2

Gegeben: Turingmaschine $M = (\{z_0, z_f\}, \{0, 1\}, \{0, 1, \square\}, \delta, z_0, \square, \{z_f\})$

$\delta(z, w)$	0	1	\square
z_0	$(z_0, 0, R)$	$(z_0, 1, R)$	$(z_f, 0, N)$

a) MPCP Instanz, die sich aus $K \leq MPCP$ ergibt.

$$\Sigma = \Gamma \cup Z \cup \{\#\} = \{0, 1, \square, z_0, z_f, \#\}$$

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0) \quad (1, 1) \quad (\square, \square) \quad (\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0) \quad (z_0 1, 1 z_0) \quad (z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f) \quad (1 z_f, z_f) \quad (\square z_f, z_f) \quad (z_f 0, z_f) \quad (z_f 1, z_f) \quad (z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0) \quad (1, 1) \quad (\square, \square) \quad (\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0) \quad (z_0 1, 1 z_0) \quad (z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f) \quad (1 z_f, z_f) \quad (\square z_f, z_f) \quad (z_f 0, z_f) \quad (z_f 1, z_f) \quad (z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\#$

$\# \square z_0 101 \square \#$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \#\#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square$

$\# \square z_0 101 \square \# \square$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0) \quad (1, 1) \quad (\square, \square) \quad (\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0) \quad (z_0 1, 1 z_0) \quad (z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f) \quad (1 z_f, z_f) \quad (\square z_f, z_f) \quad (z_f 0, z_f) \quad (z_f 1, z_f) \quad (z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1$

$\# \square z_0 101 \square \# \square 1 z_0$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 101$

$\# \square z_0 101 \square \# \square 1 z_0 0 1$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 101 \square$

$\# \square z_0 101 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 1)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 101 \square \#$

$\# \square z_0 101 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \#$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \#\#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 101 \square \# \square$

$\# \square z_0 101 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 101 \square \# \square 1$

$\# \square z_0 101 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0) \quad (1, 1) \quad (\square, \square) \quad (\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0) \quad (z_0 1, 1 z_0) \quad (z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f) \quad (1 z_f, z_f) \quad (\square z_f, z_f) \quad (z_f 0, z_f) \quad (z_f 1, z_f) \quad (z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 101 \square \# \square 1 z_0 0$

$\# \square z_0 101 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \#\#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 101 \square \# \square 1 z_0 0 1$

$\# \square z_0 101 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \#\#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \#\#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \#$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \#$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \#\#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0) \quad (1, 1) \quad (\square, \square) \quad (\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0) \quad (z_0 1, 1 z_0) \quad (z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f) \quad (1 z_f, z_f) \quad (\square z_f, z_f) \quad (z_f 0, z_f) \quad (z_f 1, z_f) \quad (z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \#\#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \#\#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \#$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \#$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \#\#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \#\#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0) \quad (1, 1) \quad (\square, \square) \quad (\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0) \quad (z_0 1, 1 z_0) \quad (z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f) \quad (1 z_f, z_f) \quad (\square z_f, z_f) \quad (z_f 0, z_f) \quad (z_f 1, z_f) \quad (z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \#$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \square \#$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0) \quad (1, 1) \quad (\square, \square) \quad (\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0) \quad (z_0 1, 1 z_0) \quad (z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f) \quad (1 z_f, z_f) \quad (\square z_f, z_f) \quad (z_f 0, z_f) \quad (z_f 1, z_f) \quad (z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0$...
 $\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f$

...
 0

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0) \quad (1, 1) \quad (\square, \square) \quad (\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0) \quad (z_0 1, 1 z_0) \quad (z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f) \quad (1 z_f, z_f) \quad (\square z_f, z_f) \quad (z_f 0, z_f) \quad (z_f 1, z_f) \quad (z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \dots$
 $\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f$

\dots
 $0 \#$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0) \quad (1, 1) \quad (\square, \square) \quad (\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0) \quad (z_0 1, 1 z_0) \quad (z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f) \quad (1 z_f, z_f) \quad (\square z_f, z_f) \quad (z_f 0, z_f) \quad (z_f 1, z_f) \quad (z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square \dots$
 $\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f$

\dots
 $0 \# \square$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1$...
 $\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f$

...
 $0 \# \square 1$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0) \quad (1, 1) \quad (\square, \square) \quad (\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0) \quad (z_0 1, 1 z_0) \quad (z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f) \quad (1 z_f, z_f) \quad (\square z_f, z_f) \quad (z_f 0, z_f) \quad (z_f 1, z_f) \quad (z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f \dots$
 $\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f$

\dots
 $0 \# \square 1 z_f$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \#\#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f \dots$
 $\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f$

... 0
 $0 \# \square 1 z_f 0$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0) \quad (1, 1) \quad (\square, \square) \quad (\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0) \quad (z_0 1, 1 z_0) \quad (z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f) \quad (1 z_f, z_f) \quad (\square z_f, z_f) \quad (z_f 0, z_f) \quad (z_f 1, z_f) \quad (z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \#\#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f \dots$
 $\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f$

... $0 \#$
 $0 \# \square 1 z_f 0 \#$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0) \quad (1, 1) \quad (\square, \square) \quad (\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0) \quad (z_0 1, 1 z_0) \quad (z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f) \quad (1 z_f, z_f) \quad (\square z_f, z_f) \quad (z_f 0, z_f) \quad (z_f 1, z_f) \quad (z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f \dots$
 $\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f$

... $0 \# \square$
 $0 \# \square 1 z_f 0 \# \square$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0) \quad (1, 1) \quad (\square, \square) \quad (\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0) \quad (z_0 1, 1 z_0) \quad (z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f) \quad (1 z_f, z_f) \quad (\square z_f, z_f) \quad (z_f 0, z_f) \quad (z_f 1, z_f) \quad (z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f \dots$
 $\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f$

$\dots \quad 0 \# \square 1 z_f$
 $0 \# \square 1 z_f \quad 0 \# \square z_f$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \#\#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f \dots$
 $\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f$

... $0 \# \square 1 z_f 0$
 $0 \# \square 1 z_f 0 \# \square z_f 0$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \#\#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f \dots$
 $\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f$

\dots $0 \# \square 1 z_f 0 \#$
 $0 \# \square 1 z_f 0 \# \square z_f 0 \#$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \#\#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f \dots$
 $\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f$

\dots $0 \# \square 1 z_f 0 \# \square$
 $0 \# \square 1 z_f 0 \# \square z_f 0 \# \square$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0) \quad (1, 1) \quad (\square, \square) \quad (\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0) \quad (z_0 1, 1 z_0) \quad (z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f) \quad (1 z_f, z_f) \quad (\square z_f, z_f) \quad (z_f 0, z_f) \quad (z_f 1, z_f) \quad (z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f \dots$
 $\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f$

... $0 \# \square 1 z_f 0 \# \square z_f 0$
 $0 \# \square 1 z_f 0 \# \square z_f 0 \# \square z_f$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0)$ $(1, 1)$ (\square, \square) $(\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0)$ $(z_0 1, 1 z_0)$ $(z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f)$ $(1 z_f, z_f)$ $(\square z_f, z_f)$ $(z_f 0, z_f)$ $(z_f 1, z_f)$ $(z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f \dots$
 $\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f$

\dots $0 \# \square 1 z_f 0 \# \square z_f 0 \#$
 $0 \# \square 1 z_f 0 \# \square z_f 0 \# \square z_f \#$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0) \quad (1, 1) \quad (\square, \square) \quad (\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0) \quad (z_0 1, 1 z_0) \quad (z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f) \quad (1 z_f, z_f) \quad (\square z_f, z_f) \quad (z_f 0, z_f) \quad (z_f 1, z_f) \quad (z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f \dots$
 $\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f$

$\dots \quad 0 \# \square 1 z_f 0 \# \square z_f 0 \# \square z_f$
 $0 \# \square 1 z_f 0 \# \square z_f 0 \# \square z_f \# \square z_f$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0) \quad (1, 1) \quad (\square, \square) \quad (\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0) \quad (z_0 1, 1 z_0) \quad (z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f) \quad (1 z_f, z_f) \quad (\square z_f, z_f) \quad (z_f 0, z_f) \quad (z_f 1, z_f) \quad (z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \#\#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f \dots$
 $\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f$

$\dots \quad 0 \# \square 1 z_f 0 \# \square z_f 0 \# \square z_f \#$
 $0 \# \square 1 z_f 0 \# \square z_f 0 \# \square z_f \# z_f \#$

Aufgabe 2

Startwortpaar: $(\#, \# \square z_0 w \square \#)$

Kopierregeln: $(0, 0) \quad (1, 1) \quad (\square, \square) \quad (\#, \#)$

Überführungsregeln: $(z_0 0, 0 z_0) \quad (z_0 1, 1 z_0) \quad (z_0 \square, z_f 0)$

Löschregeln: $(0 z_f, z_f) \quad (1 z_f, z_f) \quad (\square z_f, z_f) \quad (z_f 0, z_f) \quad (z_f 1, z_f) \quad (z_f \square, z_f)$

Abschlussregeln: $(z_f \# \#, \#)$

b) Folge der Tupel für $w = 101$

$\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f \dots$
 $\# \square z_0 1 0 1 \square \# \square 1 z_0 0 1 \square \# \square 1 0 z_0 1 \square \# \square 1 0 1 z_0 \square \# \square 1 0 1 z_f 0 \# \square 1 0 z_f$

$\dots \quad 0 \# \square 1 z_f 0 \# \square z_f 0 \# \square z_f \# \quad z_f \# \#$
 $0 \# \square 1 z_f 0 \# \square z_f 0 \# \square z_f \# \quad z_f \# \#$

Aufgabe 3

Mengen $A, B, C, D \subseteq \Sigma^*$ mit $A \subset B \subset C \subset D$,
 A und C entscheidbar, B und D nicht entscheidbar.

Setze $A = \emptyset \quad \Rightarrow$ entscheidbar

Setze $B = \{(u, u) \in \Sigma^* \times \Sigma^* : M_u(u) \text{ hält}\} \Rightarrow$ nicht entscheidbar
(spezielles Halteproblem)
 $\Rightarrow A \subset B$

Setze $C = \{(u, u) \in \Sigma^* \times \Sigma^* : M_u \text{ ist eine TM}\} \Rightarrow$ entscheidbar
 $\Rightarrow B \subset C$

Setze $D = \{(u, v) \in \Sigma^* \times \Sigma^* : M_u = M_v\} \Rightarrow$ nicht entscheidbar
(Äquivalenzproblem)
 $\Rightarrow C \subset D$