Übung "Grundbegriffe der Informatik"

- Beispiel einer Klausur -

- WICHTIG! Es können auch andere Themen in der echten Klausur drankommen -

Karlsruher Institut für Technologie

Matthias Schulz, Gebäude 50.34, Raum 034

email: schulz@ira.uka.de

O-Kalkül (2+2)

$f : \mathbb{N}_0 \to \mathbb{N}_0$ und $g : \mathbb{N}_0 \to \mathbb{N}_0$ seien zwei Funktionen.

a) Zeigen oder widerlegen Sie:
$f(n) \notin O(g(n)) \Rightarrow \exists n \in \mathbb{N}_0 : f(n) > g(n)$.

b) Zeigen oder widerlegen Sie:
$\exists n \in \mathbb{N}_0 : f(n) > g(n) \Rightarrow f(n) \notin O(g(n))$.

.

O-Kalkül (2+2)

a) Zeigen oder widerlegen Sie:
$f(n) \notin O(g(n)) \Rightarrow \exists n \in \mathbb{N}_0 : f(n) > g(n)$.

$f(n) \notin O(g(n)) \Rightarrow \neg(\exists n_0 \in \mathbb{N}_0 : \exists c > 0 : \forall n \geq n_0 : f(n) \leq cg(n))$

.

O-Kalkül (2+2)

a) Zeigen oder widerlegen Sie:
$f(n) \notin O(g(n)) \Rightarrow \exists n \in \mathbb{N}_0 : f(n) > g(n)$.

$f(n) \notin O(g(n)) \Rightarrow \neg(\exists n_0 \in \mathbb{N}_0 : \exists c > 0 : \forall n \geq n_0 : f(n) \leq cg(n))$
$\Rightarrow \forall n \in \mathbb{N}_0 : \forall c > 0 : \exists n \geq n_0 : f(n) > cg(n)$

.

O-Kalkül (2+2)

a) Zeigen oder widerlegen Sie:
$f(n) \notin O(g(n)) \Rightarrow \exists n \in \mathbb{N}_0 : f(n) > g(n)$.

$f(n) \notin O(g(n)) \Rightarrow \neg(\exists n_0 \in \mathbb{N}_0 : \exists c > 0 : \forall n \geq n_0 : f(n) \leq cg(n))$
$\Rightarrow \forall n \in \mathbb{N}_0 : \forall c > 0 : \exists n \geq n_0 : f(n) > cg(n)$

Wähle $n_0 = 0$ und $c = 1$: $\exists n > 0 : f(n) > g(n)$, also ist die Aussage korrekt.

.

O-Kalkül (2+2)

b) Zeigen oder widerlegen Sie:
$\exists n \in \mathbb{N}_0 : f(n) > g(n) \Rightarrow f(n) \notin O(g(n))$.

Sei $f(n) = 2(n+1)$ und $g(n) = n+1$.

.

O-Kalkül (2+2)

b) Zeigen oder widerlegen Sie:
$\exists n \in \mathbb{N}_0 : f(n) > g(n) \Rightarrow f(n) \notin O(g(n))$.

Sei $f(n) = 2(n+1)$ und $g(n) = n+1$.

Dann gilt $\forall n \in \mathbb{N}_0 : f(n) \leq 2g(n)$ und $\forall n \in \mathbb{N}_0 : f(n) > g(n)$.

.

O-Kalkül (2+2)

b) Zeigen oder widerlegen Sie:
$\exists n \in \mathbb{N}_0 : f(n) > g(n) \Rightarrow f(n) \notin O(g(n))$.

Sei $f(n) = 2(n+1)$ und $g(n) = n+1$.

Dann gilt $\forall n \in \mathbb{N}_0 : f(n) \leq 2g(n)$ und $\forall n \in \mathbb{N}_0 : f(n) > g(n)$.

Es gilt also $f(n) \in O(g(n))$, obwohl $\exists n \in \mathbb{N}_0 : f(n) > g(n)$ gilt. Die Aussage ist somit widerlegt.

.

Endliche Automaten (3+3)

Sei $\mathcal{A}$ die Menge aller endlichen Automaten $A = (Z, z_0, X, f, F)$ mit
$Z = \{0, 1, 2\}, z_0 = 0, X = \{\mathtt{a}, \mathtt{b}\}, F = \{0\}$, für die gilt:
$\mathtt{aa} \notin L(A) \wedge \mathtt{aaa} \in L(A)$.

a) Geben Sie einen Automaten $A \in \mathcal{A}$ an, für den gilt:

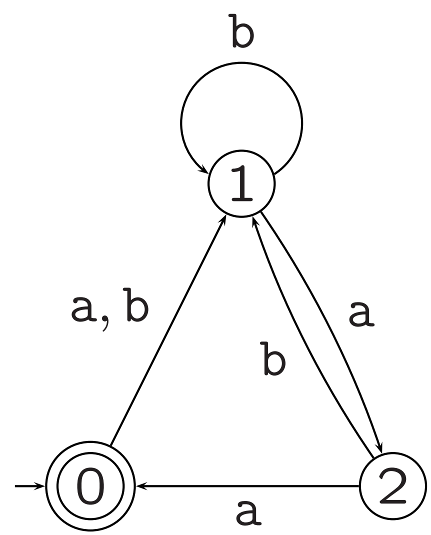
$L(A) = \{\mathtt{a}^{3m} \mid m \in \mathbb{N}_0\} \cup \{w\mathtt{ba}^{3m+2} \mid w \in \{\mathtt{a}, \mathtt{b}\}^* \wedge m \in \mathbb{N}_0\}$.
b) Wie viele Elemente enthält $\mathcal{A}$?

.

Endliche Automaten (3+3)

a) Geben Sie einen Automaten $A \in \mathcal{A}$ an, für den gilt:

$$L(A) = \{\mathtt{a}^{3m} \mid m \in \mathbb{N}_0\} \cup \{w\mathtt{ba}^{3m+2} \mid w \in \{\mathtt{a}, \mathtt{b}\}^* \wedge m \in \mathbb{N}_0\}.$$



Endliche Automaten (3+3)

b) Wie viele Elemente enthält $\mathcal{A}$?

Wäre $f(0, \mathtt{a}) = 0$, würde auch aa akzeptiert werden.

Somit gilt $f(0, \mathtt{a}) \in \{1, 2\}$

.

b) Wie viele Elemente enthält $\mathcal{A}$?

$f(0, \mathtt{a}) = 1$:

Wäre $f(1, \mathtt{a}) = 1$, würde $\mathtt{aaa}$ nicht akzeptiert werden.
Wäre $f(1, \mathtt{a}) = 0$, würde $\mathtt{aa}$ akzeptiert werden.

Somit gilt $f(1, \mathtt{a}) = 2$

.

Endliche Automaten (3+3)

b) Wie viele Elemente enthält $\mathcal{A}$?

$f(0, \mathrm{a}) = 1, f(1, \mathrm{a}) = 2$:

$f(2, \mathrm{a})$ muss akzeptierend sein.

Somit gilt $f(2, \mathrm{a}) = 0$

.

Endliche Automaten (3+3)

b) Wie viele Elemente enthält $\mathcal{A}$?

Es gibt für jeden Zustand bei Eingabe von $\mathtt{b}$ drei Möglichkeiten für den Folgezustand

$\Rightarrow 3^3 = 27$ Möglichkeiten.

.

Endliche Automaten (3+3)

b) Wie viele Elemente enthält $\mathcal{A}$?

Es gibt für jeden Zustand bei Eingabe von $\mathtt{b}$ drei Möglichkeiten für den Folgezustand

$\Rightarrow 3^3 = 27$ Möglichkeiten.

Ebenso viele gibt es für $f(0, \mathtt{a}) = 2$.

Insgesamt gibt es also 54 Autmaten in $\mathcal{A}$.

.

Kontextfreie Grammatiken (1+1+3+2+2)

Sei $A = \{0, 1, \mathtt{K}\}$ und $L_1, L_2 \subseteq A^*$ mit
$L_1 = \{w_1\mathtt{K}w_2 \mid Num_2(R(w_1)) < Num_2(w_2) \wedge |w_1| = |w_2|\}$,
$L_2 = \{w_1\mathtt{K}w_2 \mid Num_2(R(w_1)) < Num_2(w_2)\}$

a) Geben Sie ein Wort der Länge 7 aus L_1 an.
b) Geben Sie ein Wort der Länge 8 aus $L_2 \setminus L_1$ an.
c) Geben Sie eine kontextfreie Grammatik G_1 an, für die gilt: $L(G_1) = L_1$.
d) Geben Sie eine kontextfreie Grammatik G_2 an, für die gilt: $L(G_2) = L_2$.
e) Geben Sie eine Ableitung für das Wort $111\mathtt{K}10011$ in G_2 an.

Kontextfreie Grammatiken (1+1+3+2+2)

a) Geben Sie ein Wort der Länge 7 aus L_1 an.

`110K111`

b) Geben Sie ein Wort der Länge 8 aus $L_2 \setminus L_1$ an.

`0110K111`

.

Kontextfreie Grammatiken (1+1+3+2+2)

c) Geben Sie eine kontextfreie Grammatik G_1 an, für die gilt: $L(G_1) = L_1$.

Idee: Nichtterminal merkt sich, ob links größer, kleiner, gleich als rechts.

.

Kontextfreie Grammatiken (1+1+3+2+2)

c) Geben Sie eine kontextfreie Grammatik G_1 an, für die gilt: $L(G_1) = L_1$.

Idee: Nichtterminal merkt sich, ob links größer, kleiner, gleich als rechts.

$G_1 = (\{X_=, X_<, X_>\}, \{\mathtt{0}, \mathtt{1}, \mathtt{K}\}, X_=,$
$\{X_= \rightarrow \mathtt{0}X_=\mathtt{0} \mid \mathtt{1}X_=\mathtt{1} \mid \mathtt{0}X_<\mathtt{1} \mid \mathtt{1}X_>\mathtt{0},$
$X_< \rightarrow \mathtt{0}X_<\mathtt{0} \mid \mathtt{1}X_<\mathtt{1} \mid \mathtt{0}X_<\mathtt{1} \mid \mathtt{1}X_>\mathtt{0} \mid \mathtt{K},$
$X_> \rightarrow \mathtt{0}X_>\mathtt{0} \mid \mathtt{1}X_>\mathtt{1} \mid \mathtt{0}X_<\mathtt{1} \mid \mathtt{1}X_>\mathtt{0}\}),$

.

Kontextfreie Grammatiken (1+1+3+2+2)

d) Geben Sie eine kontextfreie Grammatik G_2 an, für die gilt: $L(G_2) = L_2$.

Idee: Erst einmal wie G_1.

.

Kontextfreie Grammatiken (1+1+3+2+2)

d) Geben Sie eine kontextfreie Grammatik G_2 an, für die gilt: $L(G_2) = L_2$.

Idee: Erst einmal wie G_1.

Wenn links länger wird, nur Nullen.

.

Kontextfreie Grammatiken (1+1+3+2+2)

d) Geben Sie eine kontextfreie Grammatik G_2 an, für die gilt: $L(G_2) = L_2$.

Idee: Erst einmal wie G_1.

Wenn links länger wird, nur Nullen.

Wenn rechts länger wird und links kleiner als rechts, Nullen und Einsen.

.

Kontextfreie Grammatiken (1+1+3+2+2)

d) Geben Sie eine kontextfreie Grammatik G_2 an, für die gilt: $L(G_2) = L_2$.

Idee: Erst einmal wie G_1.

Wenn links länger wird, nur Nullen.

Wenn rechts länger wird und links kleiner als rechts, Nullen und Einsen.

Wenn rechts länger wird und links größer oder gleich rechts, mindestens eine Eins.

.

Kontextfreie Grammatiken (1+1+3+2+2)

d) Geben Sie eine kontextfreie Grammatik G_2 an, für die gilt: $L(G_2) = L_2$.

$G_2 = (\{X_=, X_<, X_>, R, L, R_1\}, \{0, 1, \mathtt{K}\}, X_=,$
$\{X_= \to 0X_=0 \mid 1X_=1 \mid 0X_<1 \mid 1X_>0 \mid R_1,$
$X_< \to 0X_<0 \mid 1X_<1 \mid 0X_<1 \mid 1X_>0 \mid \mathtt{K} \mid L \mid R,$
$X_> \to 0X_>0 \mid 1X_>1 \mid 0X_<1 \mid 1X_>0 \mid R_1$

.

Kontextfreie Grammatiken (1+1+3+2+2)

d) Geben Sie eine kontextfreie Grammatik G_2 an, für die gilt: $L(G_2) = L_2$.

$G_2 = (\{X_=, X_<, X_>, R, L, R_1\}, \{0, 1, \texttt{K}\}, X_=,$
$\{X_= \to 0X_=0 \mid 1X_=1 \mid 0X_<1 \mid 1X_>0 \mid R_1,$
$X_< \to 0X_<0 \mid 1X_<1 \mid 0X_<1 \mid 1X_>0 \mid \texttt{K} \mid L \mid R,$
$X_> \to 0X_>0 \mid 1X_>1 \mid 0X_<1 \mid 1X_>0 \mid R_1$
$R \to R0 \mid R1 \mid \texttt{K},$
$R_1 \to R_10 \mid R1,$
$L \to 0L \mid \texttt{K}\})$

Kontextfreie Grammatiken (1+1+3+2+2)

e) Geben Sie eine Ableitung für das Wort $111\mathtt{K}10011$ in G_2 an.

$X_= \Rightarrow 1X_=1 \Rightarrow 11X_=11 \Rightarrow 111X_>011 \Rightarrow 111R_1011 \Rightarrow 111R_10011 \Rightarrow 111R10011 \Rightarrow 111\mathtt{K}10011$

.

Graphen (2+2+2+2)

Geben Sie für die folgenden Matrizen jeweils an, ob sie Wegematrix eines Graphen sein können.

Begründen Sie Ihre Antworten! (Insbesondere: Geben Sie für Matrizen M, die Wegematrix sein können, einen Graphen an, dessen Wegematrix M ist.)

.

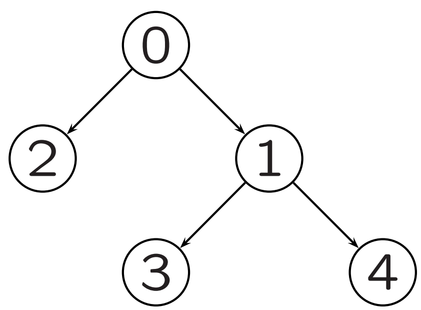
$$a)\begin{pmatrix} 1&1&1&1&1\\ 0&1&0&1&1\\ 0&0&1&0&0\\ 0&0&0&1&0\\ 0&0&0&0&1 \end{pmatrix}, b)\begin{pmatrix} 1&1&1&1&1\\ 1&1&1&1&1\\ 1&1&1&1&1\\ 1&0&1&1&1\\ 1&1&1&1&1 \end{pmatrix}$$

$$c)\begin{pmatrix} 1&1&0&1&1\\ 1&1&0&1&1\\ 1&1&1&1&1\\ 1&1&0&1&1\\ 1&1&0&1&1 \end{pmatrix}, d)\begin{pmatrix} 1&1&1&1&1\\ 0&1&1&1&1\\ 0&0&1&1&1\\ 0&0&0&1&1\\ 1&0&0&1&1 \end{pmatrix}$$

.

a) $\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

Die Matrix ist Wegematrix des foldenden Graphen:



b) $$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Die Matrix kann keine Wegematrix sein:

.

b) $\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$

Die Matrix kann keine Wegematrix sein:

Laut Matrix gäbe es einen Pfad vom vierten Knoten zum ersten Knoten.

.

b) $$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Die Matrix kann keine Wegematrix sein:

Laut Matrix gäbe es einen Pfad vom vierten Knoten zum ersten Knoten.

Laut Matrix gäbe es einen Pfad vom ersten Knoten zum zweiten Knoten.

.

b) $\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$

Die Matrix kann keine Wegematrix sein:

Laut Matrix gäbe es einen Pfad vom vierten Knoten zum ersten Knoten.

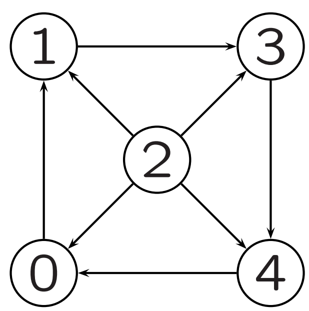
Laut Matrix gäbe es einen Pfad vom ersten Knoten zum zweiten Knoten.

Laut Matrix gibt es aber keinen Pfad vom vierten Knoten zum zweiten Knoten. Widerspruch!

.

c) $\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$

Die Matrix ist Wegematrix des foldenden Graphen:



d) $$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Die Matrix kann keine Wegematrix eines Graphen sein:

Nach Matrix müsste es Pfade vom fünften zum ersten und vom ersten zum zweiten Knoten geben.

Dann müsste es auch Pfad vom fünften zum zweiten Knoten geben. Widerspruch!

.

d) $\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$

Die Matrix kann keine Wegematrix eines Graphen sein:

Nach Matrix müsste es Pfade vom fünften zum ersten und vom ersten zum zweiten Knoten geben.

.

d) $\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$

Die Matrix kann keine Wegematrix eines Graphen sein:

.

Relationen (3)

Die Relation $R \subseteq M \times M$ sei transitiv, reflexiv und antisymmetrisch.

Zeigen Sie, dass auch die Relation $R^{-1} = \{(y,x) \mid (x,y) \in R\}$ transitiv, reflexiv und antisymmetrisch ist.

.

Relationen (3)

Die Relation $R \subseteq M \times M$ sei transitiv, reflexiv und antisymmetrisch.

Zeigen Sie, dass auch die Relation $R^{-1} = \{(y, x) \mid (x, y) \in R\}$ transitiv, reflexiv und antisymmetrisch ist.

Reflexiv: $\forall x \in M : (x, x) \in R \Rightarrow (x, x) \in R^{-1}$. ✓

.

Relationen (3)

Die Relation $R \subseteq M \times M$ sei transitiv, reflexiv und antisymmetrisch.

Zeigen Sie, dass auch die Relation $R^{-1} = \{(y,x) \mid (x,y) \in R\}$ transitiv, reflexiv und antisymmetrisch ist.

Antisymmetrie: $\forall x,y \in M : (x,y) \in R^{-1} \wedge (y,x) \in R^{-1} \Rightarrow (y,x) \in R \wedge (x,y) \in R \Rightarrow x = y$, da R antisymmetrisch ist.

.

Relationen (3)

Die Relation $R \subseteq M \times M$ sei transitiv, reflexiv und antisymmetrisch.

Zeigen Sie, dass auch die Relation $R^{-1} = \{(y,x) \mid (x,y) \in R\}$ transitiv, reflexiv und antisymmetrisch ist.

Transitivität: $\forall x,y,z \in M : (x,y) \in R^{-1} \land (y,z) \in R^{-1} \Rightarrow (y,x) \in R \land (z,y) \in R \overset{R \text{ trans.}}{\Rightarrow} (z,x) \in R \Rightarrow (x,z) \in R^{-1}$ ✓.

.

Turingmaschinen (1+2+2+3+2+2+1)

Die Turingmaschine T mit Bandalphabet $\{0, 1, \square\}^*$ und Anfangszustand r sei gegeben durch folgende Tabelle:

	r	r_0	r_1	d	l
0	$(r_0, 0, 1)$	$(r_0, 0, 1)$	$(r_1, 0, 1)$	$(d, 1, -1)$	$(l, 0, -1)$
1	$(r_1, 1, 1)$	$(r_1, 1, 1)$	$(r_1, 1, 1)$	$(l, 0, -1)$	$(l, 1, -1)$
$\square$	-	-	$(d, \square, -1)$	-	$(r, \square, 1)$

.

Turingmaschinen (1+2+2+3+2+1)

a) Geben Sie die Anfangskonfiguration für die Eingabe $w = 10$ an.
b) Geben Sie die Konfigurationen an, die bei der Berechnung bei Eingabe von $w = 10$ auftreten, bei denen sich der Schreib/Lesekopf auf dem ersten Zeichen des Wortes im Zustand r befindet.
c) Sei $w \in \{0,1\}^+$. Welches Symbol wurde zuletzt vom Schreib/Lesekopf gelesen, bevor die Maschine anhält? In welche Richtung hat sich der Kopf bei seiner letzten Bewegung bewegt?

.

Turingmaschinen (1+2+2+3+2+1)

a) Geben Sie die Anfangskonfiguration für die Eingabe $w = 10$ an.

$$\begin{array}{ll} r & \\ 1 & 0 \end{array}$$

.

Turingmaschinen (1+2+2+3+2+1)

b) Geben Sie die Konfigurationen an, die bei der Berechnung bei Eingabe von $w = 10$ auftreten, bei denen sich der Schreib/Lesekopf auf dem ersten Zeichen des Wortes im Zustand r befindet.

$$\begin{array}{cc} r & \\ 1 & 0 \\ \hline r & \\ 0 & 1 \\ \hline r & \\ 0 & 0 \end{array}$$

.

Turingmaschinen (1+2+2+3+2+1)

c) Sei $w \in \{0,1\}^+$. Welches Symbol wurde zuletzt vom Schreib/Lesekopf gelesen, bevor die Maschine anhält? In welche Richtung hat sich der Kopf bei seiner letzten Bewegung bewegt?

Letztes Symbol: 0
Letzte Richtung: Rechts (1)

.

Turingmaschinen (1+2+2+3+2+2+1)

d) Zu einem Zeitpunkt während der Berechnung stehe das Wort $w \in \{0,1\}^+$ auf dem Band und der Schreib/Lesekopf befinde sich im Zustand r auf dem ersten Zeichen von w. Zum nächsten Zeitpunkt, zu dem sich der Schreib/Lesekopf im Zustand r auf dem ersten Zeichen des auf dem Band stehenden Wortes befindet, stehe das Wort w' auf dem Band.

In welcher Beziehung stehen w und w'?

e) Schätzen Sie ab, wie viele Schritte T bei Eingabe des Wortes $w \in \{0,1\}^+$ macht. Vernachlässigen Sie konstante Faktoren.

f) Schätzen Sie im O-Kalkül möglichst präzise ab, wie viele Schritte T bei Eingabe eines Wortes $w \in \{0,1\}^n$ im schlimmsten Fall ausführen muss.

Turingmaschinen (1+2+2+3+2+2+1)

d) Zu einem Zeitpunkt während der Berechnung stehe das Wort $w \in \{0,1\}^+$ auf dem Band und der Schreib/Lesekopf befinde sich im Zustand r auf dem ersten Zeichen von w. Zum nächsten Zeitpunkt, zu dem sich der Schreib/Lesekopf im Zustand r auf dem ersten Zeichen des auf dem Band stehenden Wortes befindet, stehe das Wort w' auf dem Band.

In welcher Beziehung stehen w und w'?

$Num_2(w') = Num_2(w) - 1$ und $|w| = |w'|$.

.

e) Schätzen Sie ab, wie viele Schritte T bei Eingabe des Wortes $w \in \{0,1\}^+$ macht. Vernachlässigen Sie konstante Faktoren.

$Num_2(w)$ wird $Num_2(w)$ mal um 1 vermindert; jedes Vermindern braucht ungefähr $2|w|$ Schritte.

.

Turingmaschinen (1+2+2+3+2+2+1)

e) Schätzen Sie ab, wie viele Schritte T bei Eingabe des Wortes $w \in \{0, 1\}^+$ macht. Vernachlässigen Sie konstante Faktoren.

$Num_2(w)$ wird $Num_2(w)$ mal um 1 vermindert; jedes Vermindern braucht ungefähr $2|w|$ Schritte.

T macht also abgeschätzt $Num_2(w) \cdot |w|$ Schritte.

.

Turingmaschinen (1+2+2+3+2+2+1)

f) Schätzen Sie im O-Kalkül möglichst präzise ab, wie viele Schritte T bei Eingabe eines Wortes $w \in \{0,1\}^n$ im schlimmsten Fall ausführen muss.

T macht im schlimmsten Fall ($w \in \{1\}^*$) $\Theta(n2^n)$ Schritte.

.