

Algorithmen und Berechnungskomplexität II

Prof. Dr. Anne Driemel
Institut für Informatik
Abteilung V



Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen
- 3 Berechenbarkeitstheorie
- 4 Komplexitätstheorie
- 5 Approximationsalgorithmen
- 6 Lineare Programmierung
- 7 Exponentialzeitalgorithmen

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

2 Grundlagen

3 Berechenbarkeitstheorie

4 Komplexitätstheorie

5 Approximationsalgorithmen

6 Lineare Programmierung

7 Exponentialzeitalgorithmen

1 Einleitung



2 Grundlagen

2.1 Probleme und Funktionen

2.2 Rechnermodelle

2.2.1 Turingmaschinen

2.2.2 Registermaschinen

2.2.3 Die Church-Turing-These

2 Grundlagen

2.1 Probleme und Funktionen

2.2 Rechnermodelle

2.2.1 Turingmaschinen

2.2.2 Registermaschinen

2.2.3 Die Church-Turing-These

2.1 Probleme und Funktionen

Algorithmus

Handlungsvorschrift zur **Transformation von Eingaben in Ausgaben**, die so präzise beschrieben ist, dass sie von einem Computer ausgeführt werden kann.

2.1 Probleme und Funktionen

Algorithmus

Handlungsvorschrift zur **Transformation von Eingaben in Ausgaben**, die so präzise beschrieben ist, dass sie von einem Computer ausgeführt werden kann.

Problem

Unter einem Problem verstehen wir den **gewünschten Zusammenhang zwischen der Eingabe und der Ausgabe**.

2.1 Probleme und Funktionen

Algorithmus

Handlungsvorschrift zur **Transformation von Eingaben in Ausgaben**, die so präzise beschrieben ist, dass sie von einem Computer ausgeführt werden kann.

Problem

Unter einem Problem verstehen wir den **gewünschten Zusammenhang zwischen der Eingabe und der Ausgabe**.

Beispiel Sortierproblem

Eingabe: Menge von Zahlen

Ausgabe: Sortierte Permutation der Zahlen

Beispiel Primfaktor

Eingabe: eine natürliche Zahl n

Ausgabe: ein Primfaktor von n

2.1 Probleme und Funktionen

Algorithmus

Handlungsvorschrift zur **Transformation von Eingaben in Ausgaben**, die so präzise beschrieben ist, dass sie von einem Computer ausgeführt werden kann.

Problem

Unter einem Problem verstehen wir den **gewünschten Zusammenhang zwischen der Eingabe und der Ausgabe**.

Beispiel Sortierproblem

Eingabe: Menge von Zahlen

Ausgabe: Sortierte Permutation der Zahlen

Beispiel Primfaktor

Eingabe: eine natürliche Zahl n

Ausgabe: ein Primfaktor von n

Lösen eines Problems

Ein **Algorithmus löst ein Problem**, wenn er für jede Eingabe eine für das Problem gewünschte Ausgabe berechnet.

2.1 Probleme und Funktionen

Notation:

Für eine Menge Σ bezeichne Σ^* die **Menge aller endlichen Zeichenketten** über Σ .

Dabei sei ε das **leere Wort**, d. h. das Wort der Länge 0.

Beispiel: Für $\Sigma = \{0, 1\}$ gilt $\Sigma^* = \{\varepsilon, 0, 1, 00, 01, 10, 11, 000, \dots\}$.

2.1 Probleme und Funktionen

Notation:

Für eine Menge Σ bezeichne Σ^* die **Menge aller endlichen Zeichenketten** über Σ .

Dabei sei ε das **leere Wort**, d. h. das Wort der Länge 0.

Beispiel: Für $\Sigma = \{0, 1\}$ gilt $\Sigma^* = \{\varepsilon, 0, 1, 00, 01, 10, 11, 000, \dots\}$.

Für ein Wort $w \in \Sigma^*$ bezeichnen wir mit $|w|$ seine Länge. Außerdem bezeichne w^R das gespiegelte Wort, das heißt für $w = w_1 \dots w_n$ ist $w^R = w_n \dots w_1$.

2.1 Probleme und Funktionen

Notation:

Für eine Menge Σ bezeichne Σ^* die **Menge aller endlichen Zeichenketten** über Σ .

Dabei sei ε das **leere Wort**, d. h. das Wort der Länge 0.

Beispiel: Für $\Sigma = \{0, 1\}$ gilt $\Sigma^* = \{\varepsilon, 0, 1, 00, 01, 10, 11, 000, \dots\}$.

Für ein Wort $w \in \Sigma^*$ bezeichnen wir mit $|w|$ seine Länge. Außerdem bezeichne w^R das gespiegelte Wort, das heißt für $w = w_1 \dots w_n$ ist $w^R = w_n \dots w_1$.

Definition (Problem)

Unter einem **Problem** verstehen wir eine Relation $R \subseteq \Sigma^* \times \Sigma^*$ mit der Eigenschaft, dass es für jede Eingabe $x \in \Sigma^*$ mindestens eine Ausgabe $y \in \Sigma^*$ mit $(x, y) \in R$ gibt.

Gibt es zu jeder Eingabe eine eindeutige Ausgabe, so können wir das Problem auch als Funktion $f: \Sigma^* \rightarrow \Sigma^*$ beschreiben, die jeder Eingabe $x \in \Sigma^*$ ihre Ausgabe $f(x) \in \Sigma^*$ zuweist.

2.1 Probleme und Funktionen

Definition

Ein **Algorithmus löst ein Problem**, das durch eine Relation R beschrieben wird, wenn er zu jeder Eingabe $x \in \Sigma^*$ eine Ausgabe $y \in \Sigma^*$ mit $(x, y) \in R$ produziert.

2.1 Probleme und Funktionen

Definition

Ein **Algorithmus löst ein Problem**, das durch eine Relation R beschrieben wird, wenn er zu jeder Eingabe $x \in \Sigma^*$ eine Ausgabe $y \in \Sigma^*$ mit $(x, y) \in R$ produziert.

Ein Algorithmus löst ein Problem, das durch eine Funktion f beschrieben wird, wenn er zu jeder Eingabe $x \in \Sigma^*$ die Ausgabe $f(x)$ produziert. Wir sagen dann auch, dass der Algorithmus die Funktion f **berechnet**.

2.1 Probleme und Funktionen

Definition

Ein **Algorithmus löst ein Problem**, das durch eine Relation R beschrieben wird, wenn er zu jeder Eingabe $x \in \Sigma^*$ eine Ausgabe $y \in \Sigma^*$ mit $(x, y) \in R$ produziert.

Ein Algorithmus löst ein Problem, das durch eine Funktion f beschrieben wird, wenn er zu jeder Eingabe $x \in \Sigma^*$ die Ausgabe $f(x)$ produziert. Wir sagen dann auch, dass der Algorithmus die Funktion f **berechnet**.

Beispiel Sortierproblem

QuickSort, MergeSort, etc.

Beispiel Primfaktor

Für $n \geq 2$ gib

$\min\{i \in \{2, \dots, n\} \mid i \text{ teilt } n\}$ aus.

2.1 Probleme und Funktionen

Definition

Eine Funktion der Form $f: \Sigma^* \rightarrow \{0, 1\}$ beschreibt ein **Entscheidungsproblem**.

2.1 Probleme und Funktionen

Definition

Eine Funktion der Form $f: \Sigma^* \rightarrow \{0, 1\}$ beschreibt ein **Entscheidungsproblem**.

Eine **Sprache** über dem Alphabet Σ ist eine Teilmenge von Σ^* .

2.1 Probleme und Funktionen

Definition

Eine Funktion der Form $f: \Sigma^* \rightarrow \{0, 1\}$ beschreibt ein **Entscheidungsproblem**.

Eine **Sprache** über dem Alphabet Σ ist eine Teilmenge von Σ^* .

Jedes Entscheidungsproblem $f: \Sigma^* \rightarrow \{0, 1\}$ kann als

Sprache $L_f = \{x \in \Sigma^* \mid f(x) = 1\}$ aufgefasst werden.

Ebenso kann jede Sprache $L \subseteq \Sigma^*$ als Funktion $f_L: \Sigma^* \rightarrow \{0, 1\}$ mit

$$f_L(x) = \begin{cases} 1 & \text{falls } x \in L \\ 0 & \text{falls } x \notin L \end{cases}$$

aufgefasst werden. Die Funktion f_L heißt die **charakteristische Funktion** der Sprache L .

2.1 Probleme und Funktionen

Für $n \in \mathbb{N}_0$ sei $\text{bin}(n)$ die Binärdarstellung von $n \in \mathbb{N}_0$ ohne führende Nullen.

Für $x \in \{0, 1\}^*$ sei $\text{val}(x) \in \mathbb{N}_0$ die durch $x \in \{0, 1\}^*$ binär codierte Zahl.

2.1 Probleme und Funktionen

Für $n \in \mathbb{N}_0$ sei $\text{bin}(n)$ die Binärdarstellung von $n \in \mathbb{N}_0$ ohne führende Nullen.

Für $x \in \{0, 1\}^*$ sei $\text{val}(x) \in \mathbb{N}_0$ die durch $x \in \{0, 1\}^*$ binär codierte Zahl.

Beispiele:

- **Quadrieren einer natürlichen Zahl in Binärdarstellung:**

Funktion $f: \{0, 1\}^* \rightarrow \{0, 1\}^*$ mit $f(x) = \text{bin}(\text{val}(x)^2)$

2.1 Probleme und Funktionen

Für $n \in \mathbb{N}_0$ sei $\text{bin}(n)$ die Binärdarstellung von $n \in \mathbb{N}_0$ ohne führende Nullen.

Für $x \in \{0, 1\}^*$ sei $\text{val}(x) \in \mathbb{N}_0$ die durch $x \in \{0, 1\}^*$ binär codierte Zahl.

Beispiele:

- **Quadrieren einer natürlichen Zahl in Binärdarstellung:**

Funktion $f: \{0, 1\}^* \rightarrow \{0, 1\}^*$ mit $f(x) = \text{bin}(\text{val}(x)^2)$

Relation $R = \{(x, y) \mid \text{val}(y) = \text{val}(x)^2\} \subseteq \Sigma^* \times \Sigma^*$

2.1 Probleme und Funktionen

Für $n \in \mathbb{N}_0$ sei $\text{bin}(n)$ die Binärdarstellung von $n \in \mathbb{N}_0$ ohne führende Nullen.

Für $x \in \{0, 1\}^*$ sei $\text{val}(x) \in \mathbb{N}_0$ die durch $x \in \{0, 1\}^*$ binär codierte Zahl.

Beispiele:

- **Quadrieren einer natürlichen Zahl in Binärdarstellung:**

Funktion $f: \{0, 1\}^* \rightarrow \{0, 1\}^*$ mit $f(x) = \text{bin}(\text{val}(x)^2)$

Relation $R = \{(x, y) \mid \text{val}(y) = \text{val}(x)^2\} \subseteq \Sigma^* \times \Sigma^*$

- **Primfaktorproblem:**

$R = \{(x, y) \mid \text{val}(y) \text{ ist eine Primzahl, die } \text{val}(x) \text{ teilt}\} \subseteq \Sigma^* \times \Sigma^*$

2.1 Probleme und Funktionen

Beispiele:

- **Zusammenhangsproblem für ungerichteten Graphen $G = (V, E)$:**

Codierung von G als Adjazenzmatrix. Schreibe Zeilen dieser Matrix nacheinander.

Für einen Graphen mit n Knoten besitzt diese Darstellung eine Länge von n^2 .

2.1 Probleme und Funktionen

Beispiele:

- **Zusammenhangsproblem für ungerichteten Graphen $G = (V, E)$:**
Codierung von G als Adjazenzmatrix. Schreibe Zeilen dieser Matrix nacheinander.
Für einen Graphen mit n Knoten besitzt diese Darstellung eine Länge von n^2 .
Ist $|x|$ eine Quadratzahl, so bezeichnen wir mit $G(x)$ den durch x codierten Graphen.

2.1 Probleme und Funktionen

Beispiele:

- **Zusammenhangsproblem für ungerichteten Graphen $G = (V, E)$:**

Codierung von G als Adjazenzmatrix. Schreibe Zeilen dieser Matrix nacheinander.

Für einen Graphen mit n Knoten besitzt diese Darstellung eine Länge von n^2 .

Ist $|x|$ eine Quadratzahl, so bezeichnen wir mit $G(x)$ den durch x codierten Graphen.

Wir können das Zusammenhangsproblem als Funktion $f: \{0, 1\}^* \rightarrow \{0, 1\}$ mit

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{falls } |x| = n^2 \text{ für ein } n \in \mathbb{N} \text{ und } G(x) \text{ ist zusammenhängend} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

modellieren

2.1 Probleme und Funktionen

Beispiele:

- **Zusammenhangsproblem für ungerichteten Graphen $G = (V, E)$:**

Codierung von G als Adjazenzmatrix. Schreibe Zeilen dieser Matrix nacheinander.

Für einen Graphen mit n Knoten besitzt diese Darstellung eine Länge von n^2 .

Ist $|x|$ eine Quadratzahl, so bezeichnen wir mit $G(x)$ den durch x codierten Graphen.

Wir können das Zusammenhangsproblem als Funktion $f: \{0, 1\}^* \rightarrow \{0, 1\}$ mit

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{falls } |x| = n^2 \text{ für ein } n \in \mathbb{N} \text{ und } G(x) \text{ ist zusammenhängend} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

modellieren oder als Sprache

$$L = \{x \in \{0, 1\}^* \mid |x| = n^2 \text{ für ein } n \in \mathbb{N} \text{ und } G(x) \text{ ist zusammenhängend}\}.$$

2 Grundlagen

2.1 Probleme und Funktionen

2.2 Rechnermodelle

2.2.1 Turingmaschinen

2.2.2 Registermaschinen

2.2.3 Die Church-Turing-These

2 Grundlagen

2.1 Probleme und Funktionen

2.2 Rechnermodelle

2.2.1 Turingmaschinen

2.2.2 Registermaschinen

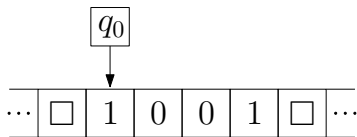
2.2.3 Die Church-Turing-These

2.2.1 Turingmaschinen

Turingmaschine (TM) \approx endlicher Automat mit Band mit unendlich vielen Speicherzellen

2.2.1 Turingmaschinen

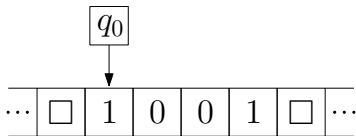
Turingmaschine (TM) \approx endlicher Automat mit Band mit unendlich vielen Speicherzellen



- Es gibt **Lese-/Schreibkopf**, der zu jedem Zeitpunkt auf einer Zelle steht.

2.2.1 Turingmaschinen

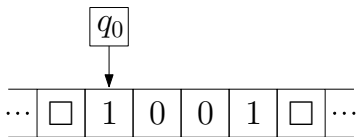
Turingmaschine (TM) \approx endlicher Automat mit Band mit unendlich vielen Speicherzellen



- Es gibt **Lese-/Schreibkopf**, der zu jedem Zeitpunkt auf einer Zelle steht.
- In jeder Zelle steht ein Zeichen aus endlichem **Bandalphabet** Γ .

2.2.1 Turingmaschinen

Turingmaschine (TM) \approx endlicher Automat mit Band mit unendlich vielen Speicherzellen

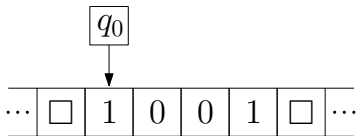


- Es gibt **Lese-/Schreibkopf**, der zu jedem Zeitpunkt auf einer Zelle steht.
- In jeder Zelle steht ein Zeichen aus endlichem **Bandalphabet Γ** .
- Zu jedem Zeitpunkt ist die TM in einem Zustand aus endlicher **Zustandsmenge Q** .

2.2.1 Turingmaschinen

Turingmaschine (TM) \approx endlicher Automat mit Band mit unendlich vielen Speicherzellen

$$\delta(q_0, 1) = (q_2, 0, R)$$

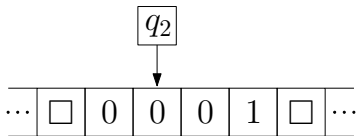


- Es gibt **Lese-/Schreibkopf**, der zu jedem Zeitpunkt auf einer Zelle steht.
- In jeder Zelle steht ein Zeichen aus endlichem **Bandalphabet Γ** .
- Zu jedem Zeitpunkt ist die TM in einem Zustand aus endlicher **Zustandsmenge Q** .
- Abhängig vom Zustand und dem gelesenen Zeichen
 - (1) ändert die TM ihren Zustand,
 - (2) schreibt ein Zeichen
 - (3) und bewegt den Kopf.

2.2.1 Turingmaschinen

Turingmaschine (TM) \approx endlicher Automat mit Band mit unendlich vielen Speicherzellen

$$\delta(q_0, 1) = (q_2, 0, R)$$



- Es gibt **Lese-/Schreibkopf**, der zu jedem Zeitpunkt auf einer Zelle steht.
- In jeder Zelle steht ein Zeichen aus endlichem **Bandalphabet** Γ .
- Zu jedem Zeitpunkt ist die TM in einem Zustand aus endlicher **Zustandsmenge** Q .
- Abhängig vom Zustand und dem gelesenen Zeichen
 - (1) ändert die TM ihren Zustand,
 - (2) schreibt ein Zeichen
 - (3) und bewegt den Kopf.

2.2.1 Turingmaschinen

Definition 2.1

Eine **Turingmaschine (TM)** M ist ein 7-Tupel $(Q, \Sigma, \Gamma, \square, q_0, \bar{q}, \delta)$, das aus den folgenden Komponenten besteht.

- Q , die **Zustandsmenge**, ist eine endliche Menge von **Zuständen**.
- $\Sigma \supseteq \{0, 1\}$, das **Eingabealphabet**, ist eine endliche Menge von Zeichen.
- $\Gamma \supseteq \Sigma$, das **Bandalphabet**, ist eine endliche Menge von Zeichen.
- $\square \in \Gamma \setminus \Sigma$ ist das **Leerzeichen**.
- $q_0 \in Q$ ist der **Startzustand**.
- \bar{q} ist der **Endzustand**.
- $\delta: (Q \setminus \{\bar{q}\}) \times \Gamma \rightarrow Q \times \Gamma \times \{L, N, R\}$ ist die **Zustandsüberföhrungsfunktion**.



2.2.1 Turingmaschinen

Definition 2.1

Eine **Turingmaschine (TM)** M ist ein 7-Tupel $(Q, \Sigma, \Gamma, \square, q_0, \bar{q}, \delta)$, das aus den folgenden Komponenten besteht.

- Q , die **Zustandsmenge**, ist eine endliche Menge von **Zuständen**.
- $\Sigma \supseteq \{0, 1\}$, das **Eingabealphabet**, ist eine endliche Menge von Zeichen.
- $\Gamma \supseteq \Sigma$, das **Bandalphabet**, ist eine endliche Menge von Zeichen.
- $\square \in \Gamma \setminus \Sigma$ ist das **Leerzeichen**.
- $q_0 \in Q$ ist der **Startzustand**.
- \bar{q} ist der **Endzustand**.
- $\delta: (Q \setminus \{\bar{q}\}) \times \Gamma \rightarrow Q \times \Gamma \times \{L, N, R\}$ ist die **Zustandsüberföhrungsfunktion**.



2.2.1 Turingmaschinen

Definition 2.1

Eine **Turingmaschine (TM)** M ist ein 7-Tupel $(Q, \Sigma, \Gamma, \square, q_0, \bar{q}, \delta)$, das aus den folgenden Komponenten besteht.

- Q , die **Zustandsmenge**, ist eine endliche Menge von **Zuständen**.
- $\Sigma \supseteq \{0, 1\}$, das **Eingabealphabet**, ist eine endliche Menge von Zeichen.
- $\Gamma \supseteq \Sigma$, das **Bandalphabet**, ist eine endliche Menge von Zeichen.
- $\square \in \Gamma \setminus \Sigma$ ist das **Leerzeichen**.
- $q_0 \in Q$ ist der **Startzustand**.
- \bar{q} ist der **Endzustand**.
- $\delta: (Q \setminus \{\bar{q}\}) \times \Gamma \rightarrow Q \times \Gamma \times \{L, N, R\}$ ist die **Zustandsüberföhrungsfunktion**.

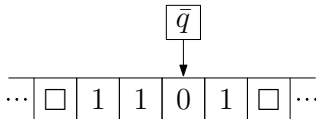


2.2.1 Turingmaschinen

Definition 2.1

Eine **Turingmaschine (TM)** M ist ein 7-Tupel $(Q, \Sigma, \Gamma, \square, q_0, \bar{q}, \delta)$, das aus den folgenden Komponenten besteht.

- Q , die **Zustandsmenge**, ist eine endliche Menge von **Zuständen**.
- $\Sigma \supseteq \{0, 1\}$, das **Eingabealphabet**, ist eine endliche Menge von Zeichen.
- $\Gamma \supseteq \Sigma$, das **Bandalphabet**, ist eine endliche Menge von Zeichen.
- $\square \in \Gamma \setminus \Sigma$ ist das **Leerzeichen**.
- $q_0 \in Q$ ist der **Startzustand**.
- \bar{q} ist der **Endzustand**.
- $\delta: (Q \setminus \{\bar{q}\}) \times \Gamma \rightarrow Q \times \Gamma \times \{L, N, R\}$ ist die **Zustandsüberföhrungsfunktion**.



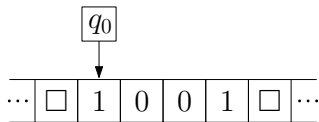
2.2.1 Turingmaschinen

Initialisierung:

- Eingabe $w = w_1 \dots w_n \in \Sigma^*$ steht auf dem Band
- links und rechts von der Eingabe nur Leerzeichen
- Kopf steht auf erstem Zeichen der Eingabe
- Zustand q_0

Beispiel

Eingabe: 1001



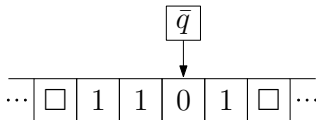
2.2.1 Turingmaschinen

Ausgabe:

- Wenn Zustand \bar{q} erreicht wird, produziert TM eine Ausgabe.
- Ausgabe beginnt an Kopfposition.
- Ausgabe endet direkt vor dem ersten Zeichen aus $\Gamma \setminus \Sigma$

Beispiel

Ausgabe: 01



2.2.1 Turingmaschinen

Definition (Funktion einer Turingmaschine)

Mit jeder TM M kann man Funktion $f_M: \Sigma^* \rightarrow \Sigma^* \cup \{\perp\}$ assoziieren, die für jede Eingabe $w \in \Sigma^*$ angibt, welche Ausgabe $f_M(w)$ die TM bei dieser Eingabe produziert.

2.2.1 Turingmaschinen

Definition (Funktion einer Turingmaschine)

Mit jeder TM M kann man Funktion $f_M: \Sigma^* \rightarrow \Sigma^* \cup \{\perp\}$ assoziieren, die für jede Eingabe $w \in \Sigma^*$ angibt, welche Ausgabe $f_M(w)$ die TM bei dieser Eingabe produziert.

Erreicht die Turingmaschine M bei einer Eingabe w den Endzustand \bar{q} nicht nach endlich vielen Schritten, so sagen wir, dass sie bei Eingabe w **nicht hält** (oder **nicht terminiert**), und wir definieren $f_M(w) = \perp$.

2.2.1 Turingmaschinen

Definition (Funktion einer Turingmaschine)

Mit jeder TM M kann man Funktion $f_M: \Sigma^* \rightarrow \Sigma^* \cup \{\perp\}$ assoziieren, die für jede Eingabe $w \in \Sigma^*$ angibt, welche Ausgabe $f_M(w)$ die TM bei dieser Eingabe produziert.

Erreicht die Turingmaschine M bei einer Eingabe w den Endzustand \bar{q} nicht nach endlich vielen Schritten, so sagen wir, dass sie bei Eingabe w **nicht hält** (oder **nicht terminiert**), und wir definieren $f_M(w) = \perp$.

Wir sagen, dass **die Turingmaschine M die Funktion f_M berechnet**.

2.2.1 Turingmaschinen

Definition (Funktion einer Turingmaschine)

Mit jeder TM M kann man Funktion $f_M: \Sigma^* \rightarrow \Sigma^* \cup \{\perp\}$ assoziieren, die für jede Eingabe $w \in \Sigma^*$ angibt, welche Ausgabe $f_M(w)$ die TM bei dieser Eingabe produziert.

Erreicht die Turingmaschine M bei einer Eingabe w den Endzustand \bar{q} nicht nach endlich vielen Schritten, so sagen wir, dass sie bei Eingabe w **nicht hält** (oder **nicht terminiert**), und wir definieren $f_M(w) = \perp$.

Wir sagen, dass **die Turingmaschine M die Funktion f_M berechnet**.

Definition 2.2

Eine Funktion $f: \Sigma^* \rightarrow \Sigma^*$ heißt **berechenbar** (oder **rekursiv**), wenn es eine Turingmaschine M mit $f_M = f$ gibt. Eine solche Turingmaschine terminiert insbesondere auf jeder Eingabe.

2.2.1 Turingmaschinen

Beispiel für eine Turingmaschine:

$$M = (Q, \Sigma, \Gamma, \square, q_0, \bar{q}, \delta)$$

$$Q = \{q_0, q_1, \dots, q_5, \bar{q}\} \quad \Sigma = \{0, 1\} \quad \Gamma = \{0, 1, \#, \square\}$$

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_0

☐ 1 0 1 1 0 ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_0

$\square \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_0

$\square \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_0

$\square \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_0

$\square \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_0

$\square \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1
 $\square \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ \# \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_2
 $\square \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ \# \ \# \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_2
 $\square \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ \# \ \# \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_2
 $\square \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ \# \ \# \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_4
 $\square \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ \# \ \# \ 0 \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_4
 $\square \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ \# \ \# \ 0 \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1
 $\square \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ \# \ \# \ 0 \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1
 $\square \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ \# \ \# \ 0 \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_3
 $\square \ 1 \ 0 \ 1 \ \# \ \# \ \# \ 0 \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_3

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_3
 $\square \ 1 \ 0 \ 1 \ \# \ \# \ \# \ 0 \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_3
 $\square \ 1 \ 0 \ 1 \ \# \ \# \ \# \ 0 \ \square \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

\square 1 0 1 # # # 0 q_3 \square \square \square \square \square

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

\square 1 0 1 # # # 0 ^{q_4} 1 \square \square \square \square

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_4
 $\square \ 1 \ 0 \ 1 \ \# \ \# \ \# \ 0 \ 1 \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_4

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1
 $\square \ 1 \ 0 \ 1 \ \# \ \# \ \# \ 0 \ 1 \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1
 $\square \ 1 \ 0 \ 1 \ \# \ \# \ \# \ 0 \ 1 \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_3
 $\square \ 1 \ 0 \ \# \ \# \ \# \ \# \ 0 \ 1 \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_3
 $\square \ 1 \ 0 \ \# \ \# \ \# \ \# \ 0 \ 1 \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_3
 $\square \ 1 \ 0 \ \# \ \# \ \# \ \# \ 0 \ 1 \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_3
 $\square \ 1 \ 0 \ \# \ \# \ \# \ \# \ 0 \ 1 \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_3
 $\square \ 1 \ 0 \ \# \ \# \ \# \ \# \ 0 \ 1 \ \square \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

\square 1 0 # # # # 0 ^{q_3} 1 \square \square \square \square

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

\square 1 0 # # # # 0 1 q_3 \square \square \square \square

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

\square 1 0 # # # # 0 1 ^{q_4} 1 \square \square \square

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

\square 1 0 # # # # 0 ^{q_4} 1 1 \square \square \square

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_4
 $\square \ 1 \ 0 \ \# \ \# \ \# \ \# \ 0 \ 1 \ 1 \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_4

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1
 $\square \ 1 \ 0 \ \# \ \# \ \# \ \# \ 0 \ 1 \ 1 \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_2

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_2

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_2

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_2

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_2

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_2
 $\square \ 1 \ \# \ \# \ \# \ \# \ \# \ 0 \ 1 \ 1 \ \square \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

\square 1 # # # # # 0 ^{q_2} 1 1 \square \square \square

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

\square 1 # # # # # 0 1 ^{q_2} 1 \square \square \square

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

\square 1 # # # # # 0 1 1 $\overset{q_2}{\square}$ \square \square

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

\square 1 # # # # # 0 1 1 0 \square \square

q_4

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

\square 1 # # # # # 0 1 ^{q_4} 1 0 \square \square

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

\square 1 # # # # # 0 ^{q_4} 1 1 0 \square \square

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_4
 $\square \ 1 \ \# \ \# \ \# \ \# \ \# \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_4

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1
 $\square \ 1 \ \# \ \# \ \# \ \# \ \# \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1

\square 1 # # # # # 0 1 1 0 \square \square

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_3

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_3

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_3
 $\square \# \# \# \# \# \# 0 1 1 0 \square \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_3
 $\square \# \# \# \# \# \# 0 1 1 0 \square \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_3

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_3

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_3
 $\square \# \# \# \# \# \# 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ \square \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_3
 $\square \# \# \# \# \# \# 0 \overset{q_3}{1} 1 0 \square \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

$\square \# \# \# \# \# \# \# 0 1 \overset{q_3}{1} 0 \square \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

$\square \# \# \# \# \# \# \# 0 1 1 0 \square \square$
 q_3

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

$\square \# \# \# \# \# \# \# 0 1 1 0 \overset{q_3}{\square} \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

$\square \# \# \# \# \# \# \# 0 1 1 0 1 \square$
 q_4

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

$$\square \# \# \# \# \# \# 0 1 1 \overset{q_4}{0} 1 \square$$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

$\square \# \# \# \# \# \# \# 0 1 \overset{q_4}{1} 0 1 \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_4
 $\square \# \# \# \# \# \# 0 \overset{q_4}{1} 1 0 1 \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_4
 $\square \# \# \# \# \# \# 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_4

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1
 $\square \# \# \# \# \# \# 0 1 1 0 1 \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1
 $\square \# \# \# \# \# \# 0 1 1 0 1 \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_1

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_5

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_5
 $\square \square \# \# \# \# \# 0 1 1 0 1 \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_5
 $\square \square \square \# \# \# \# 0 1 1 0 1 \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_5
 $\square \square \square \square \# \# \# 0 1 1 0 1 \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_5

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

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_5
 $\square \square \square \square \square \square \# 0 1 1 0 1 \square$

2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

q_5
 $\square \square \square \square \square \square \square 0 1 1 0 1 \square$

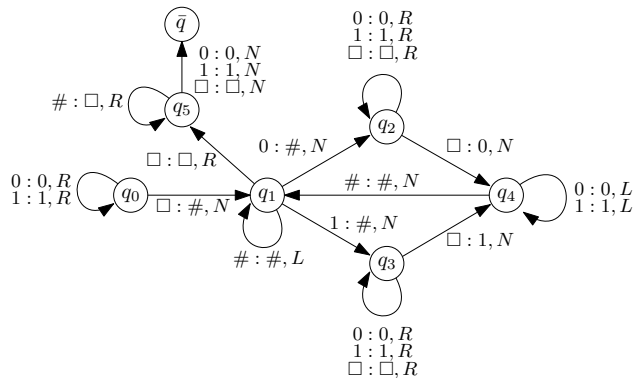
2.2.1 Turingmaschinen

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
0	$(q_0, 0, R)$	$(q_2, \#, N)$	$(q_2, 0, R)$	$(q_3, 0, R)$	$(q_4, 0, L)$	$(\bar{q}, 0, N)$
1	$(q_0, 1, R)$	$(q_3, \#, N)$	$(q_2, 1, R)$	$(q_3, 1, R)$	$(q_4, 1, L)$	$(\bar{q}, 1, N)$
#	—	$(q_1, \#, L)$	$(q_2, \#, R)$	$(q_3, \#, R)$	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)
\square	$(q_1, \#, N)$	(q_5, \square, R)	$(q_4, 0, N)$	$(q_4, 1, N)$	—	(\bar{q}, \square, N)

\bar{q}
 $\square \square \square \square \square \square \square 0 1 1 0 1 \square$

2.2.1 Turingmaschinen

Automatennotation:



2.2.1 Turingmaschinen

Definition 2.3

Eine Turingmaschine M **akzeptiert** eine Eingabe $w \in \Sigma^*$, wenn sie bei Eingabe w terminiert und ein Wort ausgibt, das mit 1 beginnt. Sie **verwirft** eine Eingabe $w \in \Sigma^*$, wenn sie bei Eingabe w terminiert und ein Wort ausgibt, das nicht mit 1 beginnt.

2.2.1 Turingmaschinen

Definition 2.3

Eine Turingmaschine M **akzeptiert** eine Eingabe $w \in \Sigma^*$, wenn sie bei Eingabe w terminiert und ein Wort ausgibt, das mit 1 beginnt. Sie **verwirft** eine Eingabe $w \in \Sigma^*$, wenn sie bei Eingabe w terminiert und ein Wort ausgibt, das nicht mit 1 beginnt.

Eine Turingmaschine M **entscheidet** eine Sprache $L \subseteq \Sigma^*$, wenn sie jedes Wort $w \in L$ akzeptiert und jedes Wort $w \in \Sigma^* \setminus L$ verwirft.

2.2.1 Turingmaschinen

Definition 2.3

Eine Turingmaschine M **akzeptiert** eine Eingabe $w \in \Sigma^*$, wenn sie bei Eingabe w terminiert und ein Wort ausgibt, das mit 1 beginnt. Sie **verwirft** eine Eingabe $w \in \Sigma^*$, wenn sie bei Eingabe w terminiert und ein Wort ausgibt, das nicht mit 1 beginnt.

Eine Turingmaschine M **entscheidet** eine Sprache $L \subseteq \Sigma^*$, wenn sie jedes Wort $w \in L$ akzeptiert und jedes Wort $w \in \Sigma^* \setminus L$ verwirft.

Eine Sprache $L \subseteq \{0, 1\}^*$ heißt **entscheidbar** oder **rekursiv**, wenn es eine Turingmaschine M gibt, die L entscheidet. Wir sagen dann, dass **M eine Turingmaschine für die Sprache L ist**. Eine solche Turingmaschine terminiert insbesondere auf jeder Eingabe.