Informatik I: Einführung in die Programmierung

18. Automaten, Zustandsmodellierung mit abstrakten und generischen Klassen

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

UNI FREIBURG

Prof. Dr. Peter Thiemann

24. Januar 2023

UNI FREIBURG

Deterministische endliche Automaten

Deterministische endliche Automaten
- Motivierendes Beispiel
- Formale Grundlagen
- Verhalten eines DEAs
- Teilwort-Erkennung

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Vorweg . . .

UNI FREIBURG

Vor kurzem fand ich auf dem Dachboden eines Kollegen einen Würfel und einen Brief.

Deterministische endliche Automaten

Motivierendes Beispiel

Formale Grundlagen

Verhalten eines DEAs

Teilwort-Erkennung

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Vorweg . . .

Vor kurzem fand ich auf dem Dachboden eines Kollegen einen Würfel und einen Brief.

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Vorweg . . .

Vor kurzem fand ich auf dem Dachboden eines Kollegen einen Würfel und einen Brief.

Lieber Finder dieses Briefes,

der Würfel ist gefallen:
5-1-5-6 ergibt x,
5-4-2-5 ergibt y.

Bei N 48° 00,x' O 7° 50,y' in 15 Meter Tiefe wirst du einen sagenhaften Schatz finden, der das Bernsteinzimmer wie eine Studentenbude aussehen läßt. Ich wünsche Dir viel Glück bei deiner Suche !

Emil Nebel
Freiburg, 1980

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Was steckt in dem Würfel?

UNI FREIBURG

- In dem Würfel gibt es einen Mechanismus, der die Abfolge der nach oben gerichteten Würfelseiten erkennt.

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Was steckt in dem Würfel?

UNI FREIBURG

- In dem Würfel gibt es einen Mechanismus, der die Abfolge der nach oben gerichteten Würfelseiten erkennt.
- Nachdem die richtige Folge „gewürfelt“ wurde, klopft von innen ein Hämmerchen die Koordinaten.

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Was steckt in dem Würfel?

UNI FREIBURG

- In dem Würfel gibt es einen Mechanismus, der die Abfolge der nach oben gerichteten Würfelseiten erkennt.
- Nachdem die richtige Folge „gewürfelt“ wurde, klopft von innen ein Hämmerchen die Koordinaten.
- Wie erkennt der Würfel solche Folgen von Ereignissen?

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Was steckt in dem Würfel?

UNI FREIBURG

- In dem Würfel gibt es einen Mechanismus, der die Abfolge der nach oben gerichteten Würfelseiten erkennt.
- Nachdem die richtige Folge „gewürfelt“ wurde, klopft von innen ein Hämmerchen die Koordinaten.
- Wie erkennt der Würfel solche Folgen von Ereignissen?
- Hierfür ist ein endlicher Automat geeignet.

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Was steckt in dem Würfel?

UNI FREIBURG

- In dem Würfel gibt es einen Mechanismus, der die Abfolge der nach oben gerichteten Würfelseiten erkennt.
- Nachdem die richtige Folge „gewürfelt“ wurde, klopft von innen ein Hämmerchen die Koordinaten.
- Wie erkennt der Würfel solche Folgen von Ereignissen?
- Hierfür ist ein endlicher Automat geeignet.
- Ein endliche Automat ist ein sehr einfaches und eingeschränktes Berechnungsmodell, das aber oft adäquat ist.

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Alphabete, Wörter und Sprachen

UNI FREIBURG

- Ein Alphabet Σ ist eine endliche, nicht-leere Menge von Symbolen.

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Alphabete, Wörter und Sprachen

UNI FREIBURG

- Ein Alphabet Σ ist eine endliche, nicht-leere Menge von Symbolen.
- Ein Wort über einem Alphabet Σ ist eine Folge von Zeichen aus Σ.

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Alphabete, Wörter und Sprachen

UNI FREIBURG

- Ein Alphabet Σ ist eine endliche, nicht-leere Menge von Symbolen.
- Ein Wort über einem Alphabet Σ ist eine Folge von Zeichen aus Σ.
- Σ^* ist die Menge aller Worte über Σ.

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Alphabete, Wörter und Sprachen

- Ein Alphabet Σ ist eine endliche, nicht-leere Menge von Symbolen.
- Ein Wort über einem Alphabet Σ ist eine Folge von Zeichen aus Σ.
- Σ^* ist die Menge aller Worte über Σ.
- Eine (formale) Sprache $L \subseteq \Sigma^*$ ist eine beliebige (endliche oder unendliche) Menge von Worten.

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Alphabete, Wörter und Sprachen

UNI FREIBURG

- Ein Alphabet Σ ist eine endliche, nicht-leere Menge von Symbolen.
- Ein Wort über einem Alphabet Σ ist eine Folge von Zeichen aus Σ.
- Σ^* ist die Menge aller Worte über Σ.
- Eine (formale) Sprache $L \subseteq \Sigma^*$ ist eine beliebige (endliche oder unendliche) Menge von Worten.

Beispiel

- Alphabet $\Sigma = \{1,2,3,4,5,6\}$, die Würfelseiten.
- Beispielworte: 5156, 4611, usw.

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Automaten akzeptieren Sprachen

UNI FREIBURG

Ein deterministischer Automat ist ein Quintupel $A = \langle Q, \Sigma, \delta, q_0, F \rangle$. Dabei ist

- Q eine Menge von Zuständen,

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Automaten akzeptieren Sprachen

UNI FREIBURG

Ein deterministischer Automat ist ein Quintupel $A = \langle Q, \Sigma, \delta, q_0, F \rangle$. Dabei ist

- Q eine Menge von Zuständen,
- Σ das Eingabealphabet,

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Automaten akzeptieren Sprachen

UNI FREIBURG

Ein deterministischer Automat ist ein Quintupel $A = \langle Q, \Sigma, \delta, q_0, F \rangle$. Dabei ist

- Q eine Menge von Zuständen,
- Σ das Eingabealphabet,
- $\delta : Q \times \Sigma \to Q$ die Übergangsfunktion,

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Automaten akzeptieren Sprachen

UNI FREIBURG

Ein deterministischer Automat ist ein Quintupel $A = \langle Q, \Sigma, \delta, q_0, F \rangle$. Dabei ist

- Q eine Menge von Zuständen,
- Σ das Eingabealphabet,
- $\delta : Q \times \Sigma \to Q$ die Übergangsfunktion,
- $q_0 \in Q$ der Anfangszustand,

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Automaten akzeptieren Sprachen

UNI FREIBURG

Ein deterministischer Automat ist ein Quintupel $A = \langle Q, \Sigma, \delta, q_0, F \rangle$. Dabei ist

- Q eine Menge von Zuständen,
- Σ das Eingabealphabet,
- $\delta : Q \times \Sigma \to Q$ die Übergangsfunktion,
- $q_0 \in Q$ der Anfangszustand,
- $F \subseteq Q$ die Menge der (akzeptierenden) Endzustände.

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Automaten akzeptieren Sprachen

UNI FREIBURG

Ein deterministischer Automat ist ein Quintupel $A = \langle Q, \Sigma, \delta, q_0, F \rangle$. Dabei ist

- Q eine Menge von Zuständen,
- Σ das Eingabealphabet,
- $\delta : Q \times \Sigma \to Q$ die Übergangsfunktion,
- $q_0 \in Q$ der Anfangszustand,
- $F \subseteq Q$ die Menge der (akzeptierenden) Endzustände.

Bemerkung

Falls Q endlich ist, so ist A ein deterministischer endlicher Automat (DEA).

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Übergangsfunktion

UNI FREIBURG

Die Übergangsfunktion eines DEA wird entweder durch eine Übergangstabelle oder durch ein Übergangsdiagramm (Transitionsdiagramm) angegeben.

Beispiel: Übergangsfunktion zur Erkennung von 5156

(q_e bezeichnet einen Fehlerzustand und $F = \{q_f\}$).

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Übergangsfunktion

UNI FREIBURG

Die Übergangsfunktion eines DEA wird entweder durch eine Übergangstabelle oder durch ein Übergangsdiagramm (Transitionsdiagramm) angegeben.

Beispiel: Übergangsfunktion zur Erkennung von 5156

(q_e bezeichnet einen Fehlerzustand und $F = \{q_f\}$).

	1	2	3	4	5	6
q_0	q_e	q_e	q_e	q_e	q_1	q_e
q_1	q_2	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e
q_2	q_e	q_e	q_e	q_e	q_3	q_e
q_3	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e	q_f
q_f	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e
q_e	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

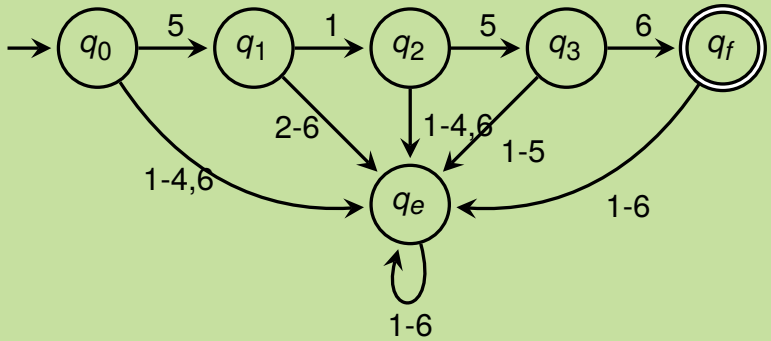
Übergangsfunktion

Die Übergangsfunktion eines DEA wird entweder durch eine Übergangstabelle oder durch ein Übergangsdiagramm (Transitionsdiagramm) angegeben.

Beispiel: Übergangsfunktion zur Erkennung von 5156

(q_e bezeichnet einen Fehlerzustand und $F = \{q_f\}$).

	1	2	3	4	5	6
q_0	q_e	q_e	q_e	q_e	q_1	q_e
q_1	q_2	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e
q_2	q_e	q_e	q_e	q_e	q_3	q_e
q_3	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e	q_f
q_f	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e
q_e	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e



Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Übergangsfunktion

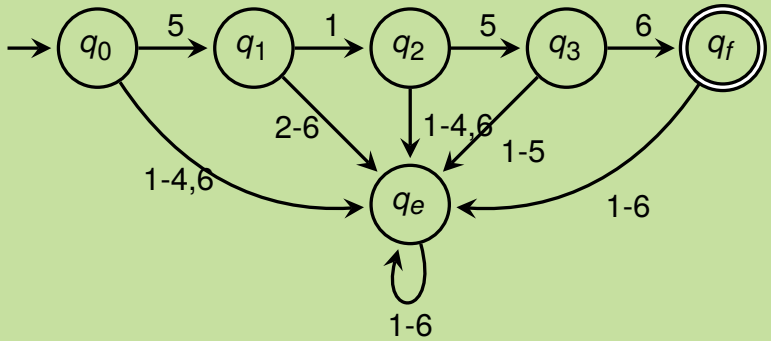
UNI FREIBURG

Die Übergangsfunktion eines DEA wird entweder durch eine Übergangstabelle oder durch ein Übergangsdiagramm (Transitionsdiagramm) angegeben.

Beispiel: Übergangsfunktion zur Erkennung von 5156

(q_e bezeichnet einen Fehlerzustand und $F = \{q_f\}$).

	1	2	3	4	5	6
q_0	q_e	q_e	q_e	q_e	q_1	q_e
q_1	q_2	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e
q_2	q_e	q_e	q_e	q_e	q_3	q_e
q_3	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e	q_f
q_f	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e
q_e	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e



Beachte: Im Übergangsdiagramm wird der absorbierende Fehlerzustand q_e mit allen Übergängen dorthin in der Regel nicht angegeben.

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Übergangsfunktion

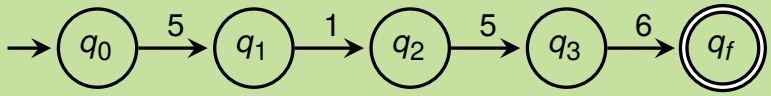
UNI FREIBURG

Die Übergangsfunktion eines DEA wird entweder durch eine Übergangstabelle oder durch ein Übergangsdiagramm (Transitionsdiagramm) angegeben.

Beispiel: Übergangsfunktion zur Erkennung von 5156

(q_e bezeichnet einen Fehlerzustand und $F = \{q_f\}$).

	1	2	3	4	5	6
q_0	q_e	q_e	q_e	q_e	q_1	q_e
q_1	q_2	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e
q_2	q_e	q_e	q_e	q_e	q_3	q_e
q_3	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e	q_f
q_f	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e
q_e	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e	q_e



Beachte: Im Übergangsdiagramm wird der absorbierende Fehlerzustand q_e mit allen Übergängen dorthin in der Regel nicht angegeben.

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Verhalten eines Automaten

UNI FREIBURG

- Anfänglich befindet sich der Automat im Startzustand q_0.

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Verhalten eines Automaten

UNI FREIBURG

- Anfänglich befindet sich der Automat im Startzustand q_0.
- Der Automat erhält ein Wort $w = a_1 a_2 \ldots a_n$ über Σ als Eingabe (darf auch leer sein, d.h. $n \geq 0$).

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Verhalten eines Automaten

UNI FREIBURG

- Anfänglich befindet sich der Automat im Startzustand q_0.
- Der Automat erhält ein Wort $w = a_1 a_2 \ldots a_n$ über Σ als Eingabe (darf auch leer sein, d.h. $n \geq 0$).
- Der Automat liest im Zustand q_i das Eingabesymbol a_{i+1} und wechselt in den Folgezustand $q_{i+1} = \delta(q_i, a_{i+1})$.

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Verhalten eines Automaten

UNI FREIBURG

- Anfänglich befindet sich der Automat im Startzustand q_0.
- Der Automat erhält ein Wort $w = a_1 a_2 \ldots a_n$ über Σ als Eingabe (darf auch leer sein, d.h. $n \geq 0$).
- Der Automat liest im Zustand q_i das Eingabesymbol a_{i+1} und wechselt in den Folgezustand $q_{i+1} = \delta(q_i, a_{i+1})$.
- Das macht der Automat, so lange Eingabezeichen gelesen werden können, das heißt für $i \in \{0, 1, \ldots, n-1\}$.

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Verhalten eines Automaten

UNI FREIBURG

- Anfänglich befindet sich der Automat im Startzustand q_0.
- Der Automat erhält ein Wort $w = a_1 a_2 \ldots a_n$ über Σ als Eingabe (darf auch leer sein, d.h. $n \geq 0$).
- Der Automat liest im Zustand q_i das Eingabesymbol a_{i+1} und wechselt in den Folgezustand $q_{i+1} = \delta(q_i, a_{i+1})$.
- Das macht der Automat, so lange Eingabezeichen gelesen werden können, das heißt für $i \in \{0, 1, \ldots, n-1\}$.
- Am Ende der Eingabe befindet sich der Automat in einem Zustand q_n. Das Eingabewort w wird genau dann akzeptiert, wenn $q_n \in F$ ein Endzustand ist.

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Verhalten eines Automaten

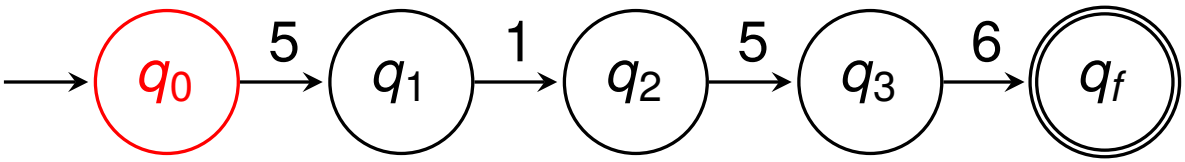
UNI FREIBURG

- Anfänglich befindet sich der Automat im Startzustand q_0.
- Der Automat erhält ein Wort $w = a_1 a_2 \ldots a_n$ über Σ als Eingabe (darf auch leer sein, d.h. $n \geq 0$).
- Der Automat liest im Zustand q_i das Eingabesymbol a_{i+1} und wechselt in den Folgezustand $q_{i+1} = \delta(q_i, a_{i+1})$.
- Das macht der Automat, so lange Eingabezeichen gelesen werden können, das heißt für $i \in \{0, 1, \ldots, n-1\}$.
- Am Ende der Eingabe befindet sich der Automat in einem Zustand q_n. Das Eingabewort w wird genau dann akzeptiert, wenn $q_n \in F$ ein Endzustand ist.
- Die Sprache von A, $\mathscr{L}(A)$, ist die Menge aller von A akzeptierten Worte.

Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiele

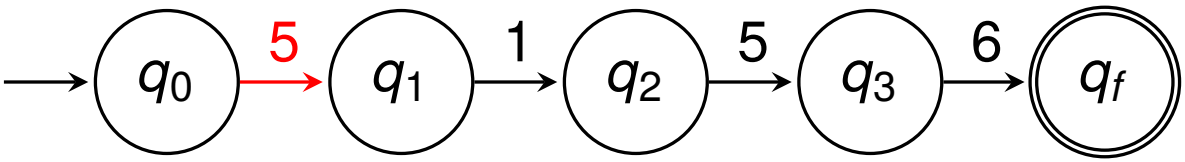
Eingabe: 5156



Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiele

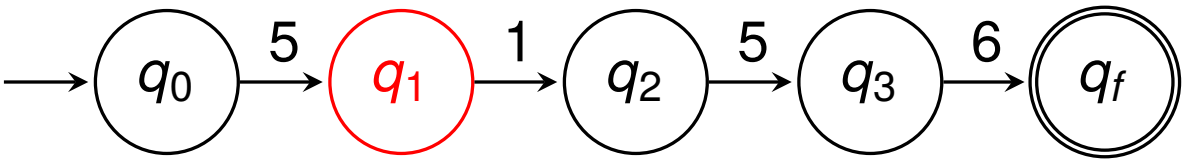
Eingabe: 5156



Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiele

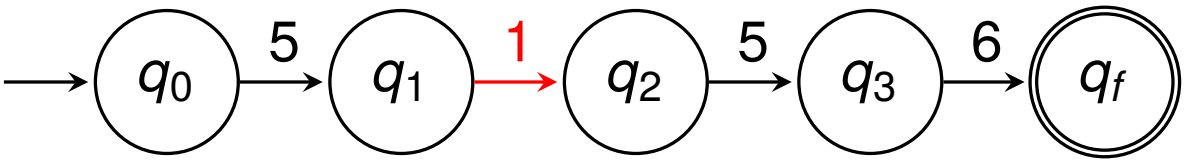
Resteingabe: 156



Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiele

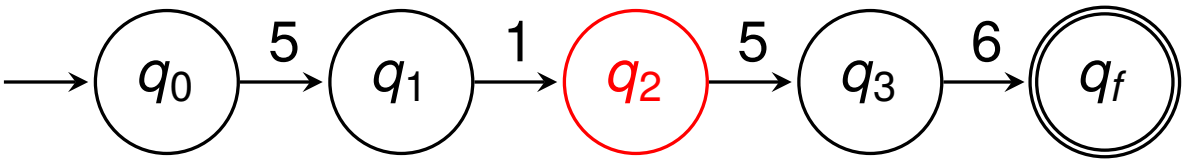
Resteingabe: 156



Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiele

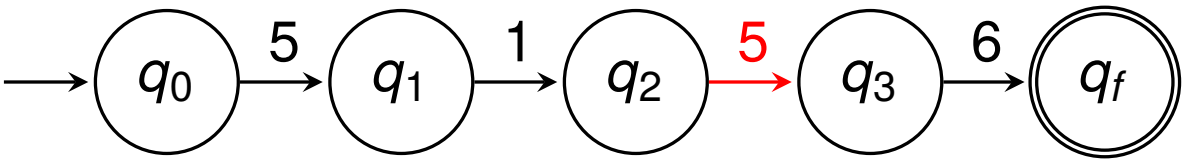
Resteingabe: 56



Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiele

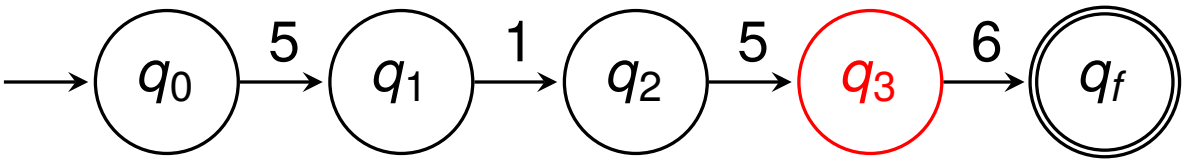
Resteingabe: 56



Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiele

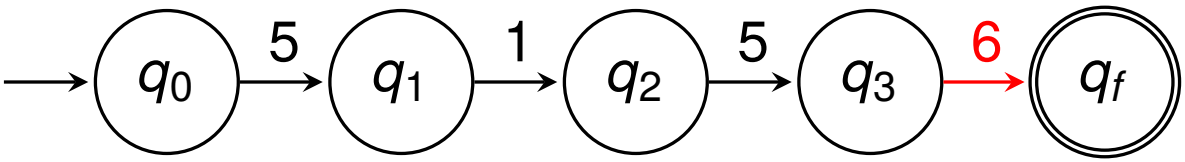
Resteingabe: 6



Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiele

Resteingabe: 6

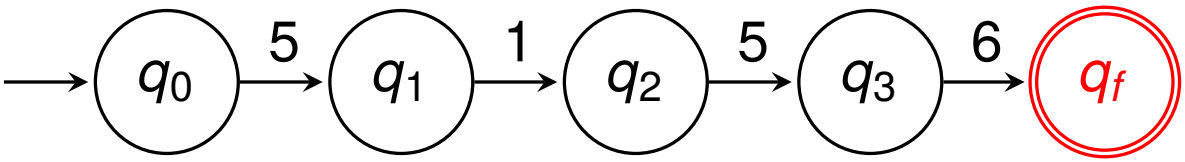


Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiele

Resteingabe:

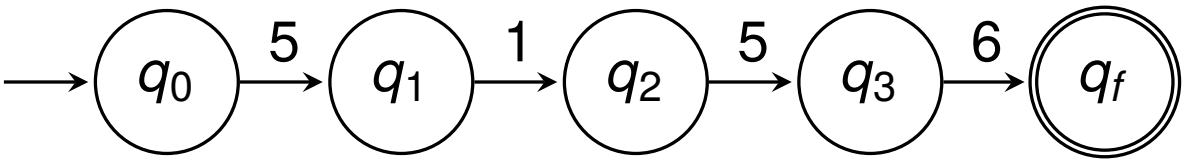
Eingabe akzeptiert



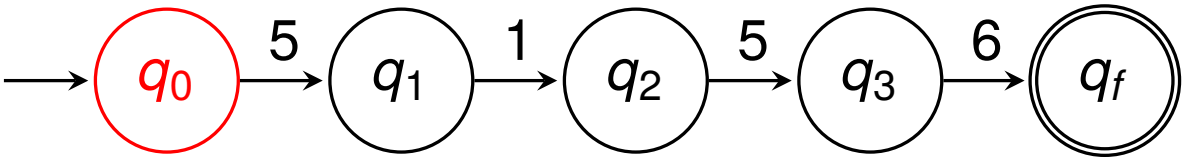
Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiele

Resteingabe:
Eingabe akzeptiert



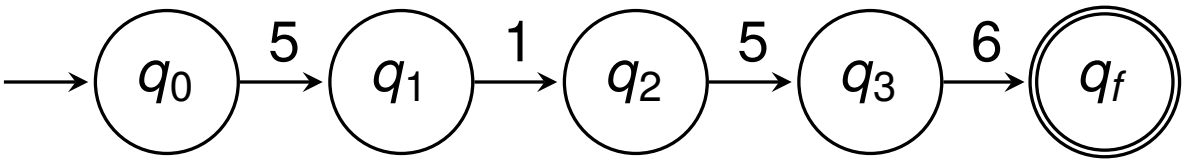
Eingabe: 515156



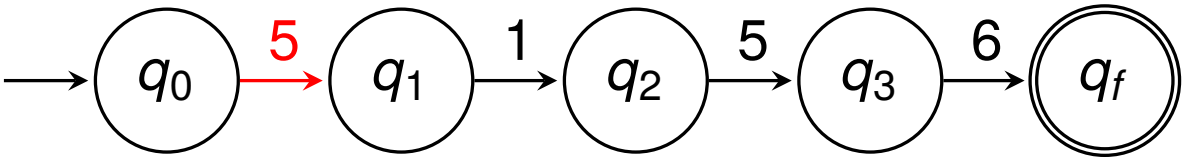
Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiele

Resteingabe:
Eingabe akzeptiert



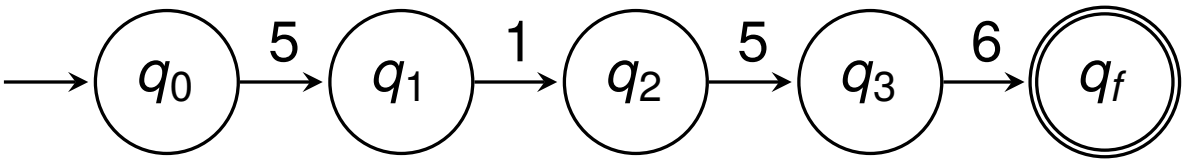
Eingabe: 515156



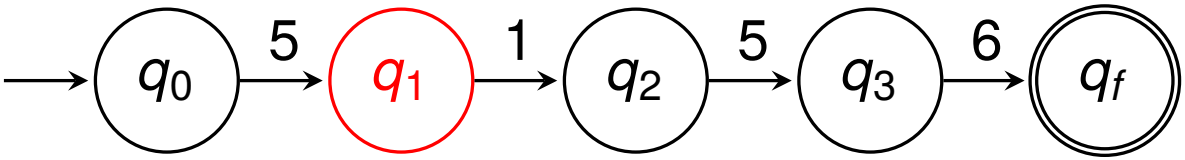
Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiele

Resteingabe:
Eingabe akzeptiert



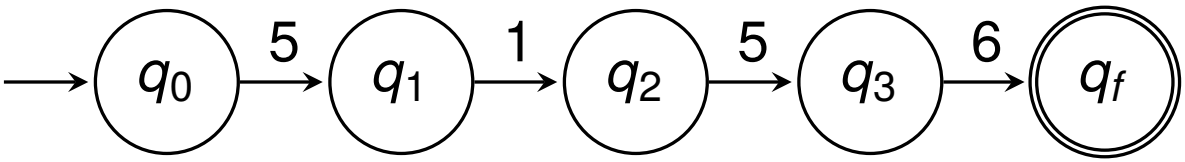
Resteingabe: 15156



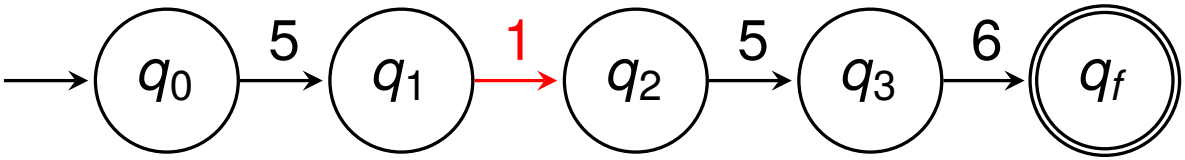
Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiele

Resteingabe:
Eingabe akzeptiert



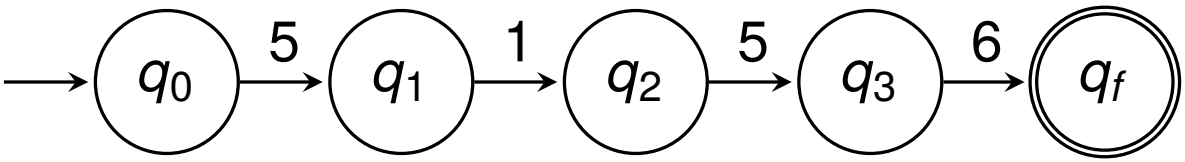
Resteingabe: 15156



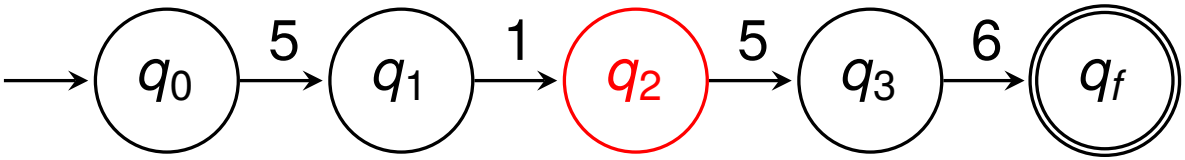
Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiele

Resteingabe:
Eingabe akzeptiert



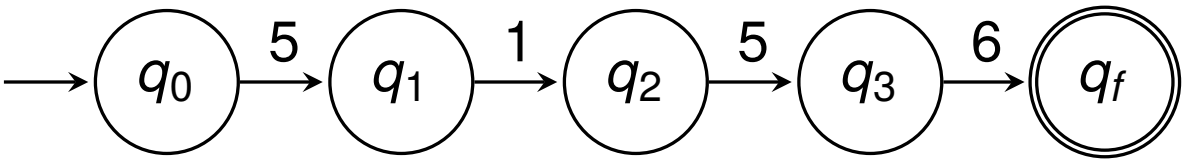
Resteingabe: 5156



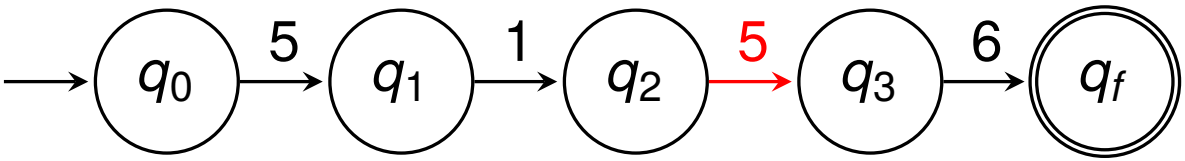
Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiele

Resteingabe:
Eingabe akzeptiert



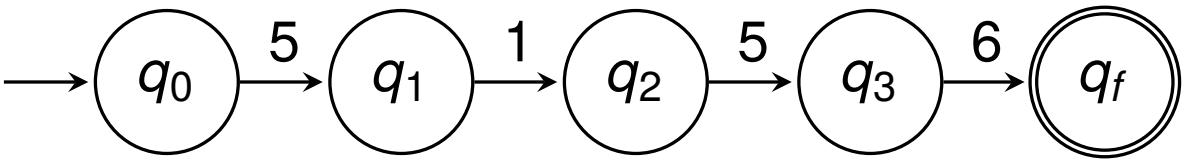
Resteingabe: 5156



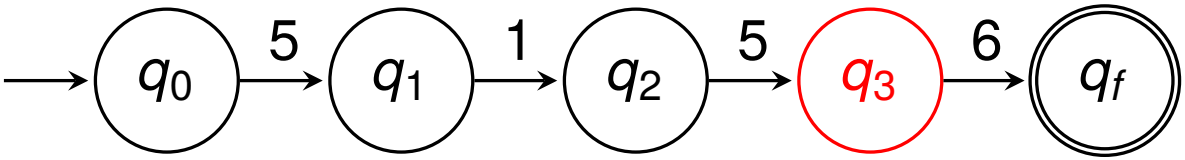
Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiele

Resteingabe:
Eingabe akzeptiert



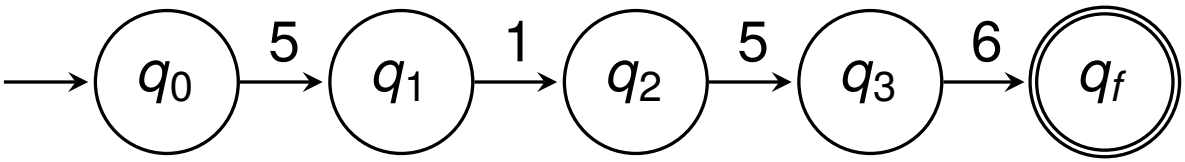
Resteingabe: 156



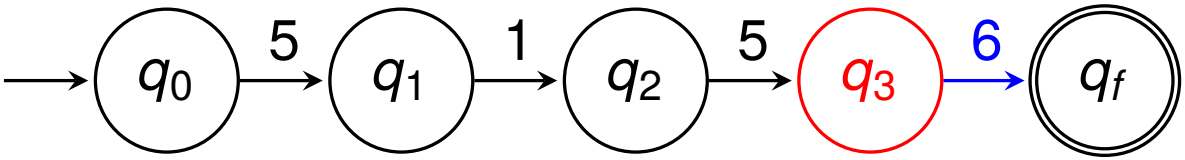
Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiele

Resteingabe:
Eingabe akzeptiert



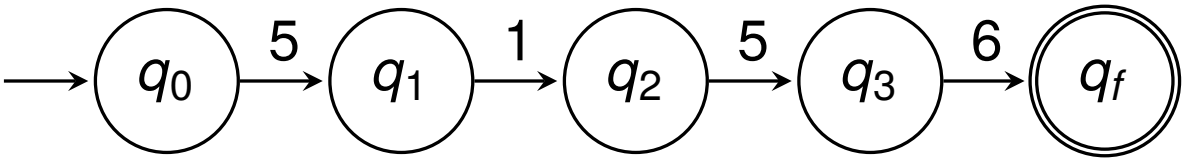
Resteingabe: 156



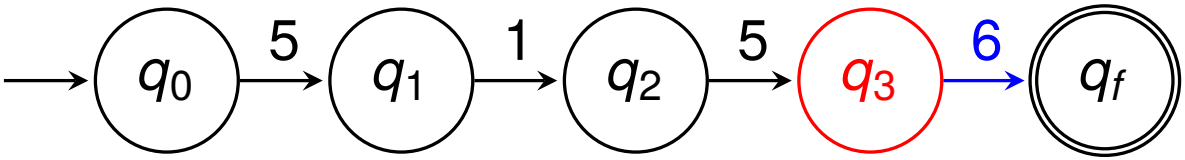
Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiele

Resteingabe:
Eingabe akzeptiert



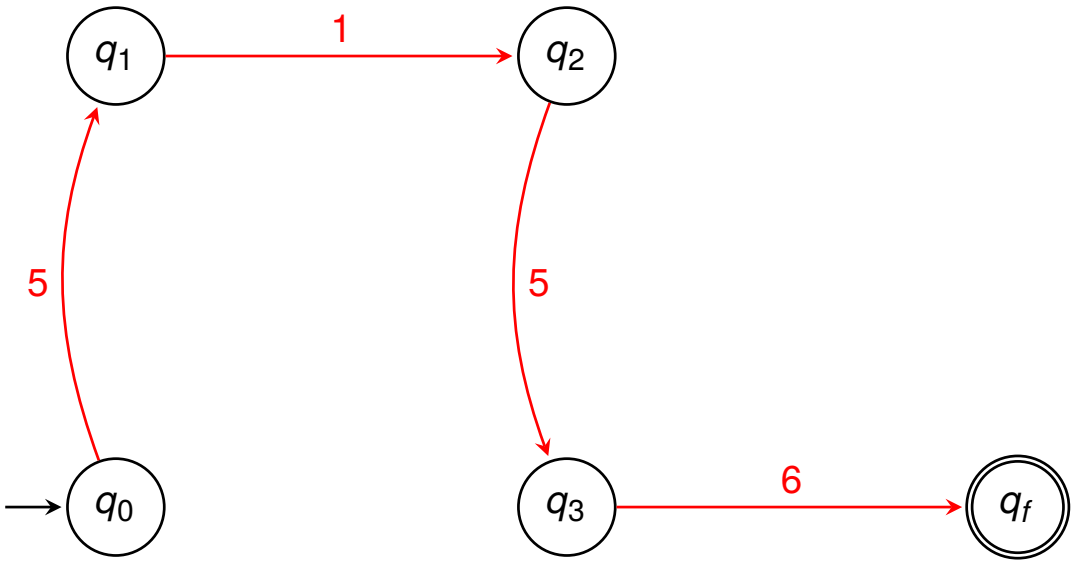
Resteingabe: 156
Kein Übergang von q_3 aus möglich! Eingabe nicht akzeptiert.



Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Teilwort-Erkennung

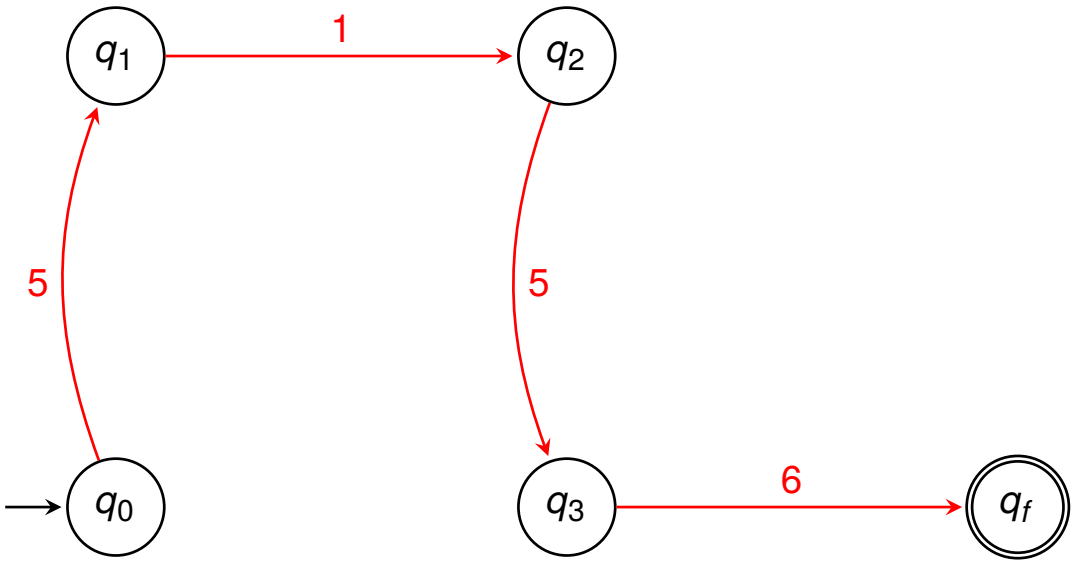
Der Würfel soll letztlich alle Folgen akzeptieren, die 5156 als Teilwort enthalten



Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Teilwort-Erkennung

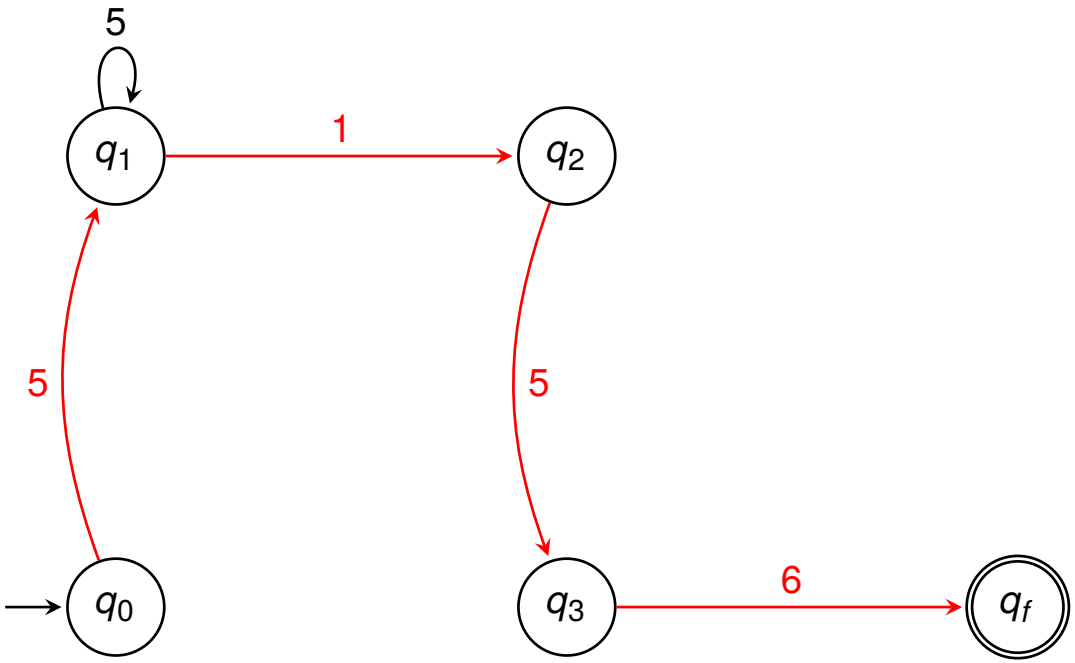
Der Würfel soll letztlich alle Folgen akzeptieren, die 5156 als Teilwort enthalten, z.B. auch 55156



Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Teilwort-Erkennung

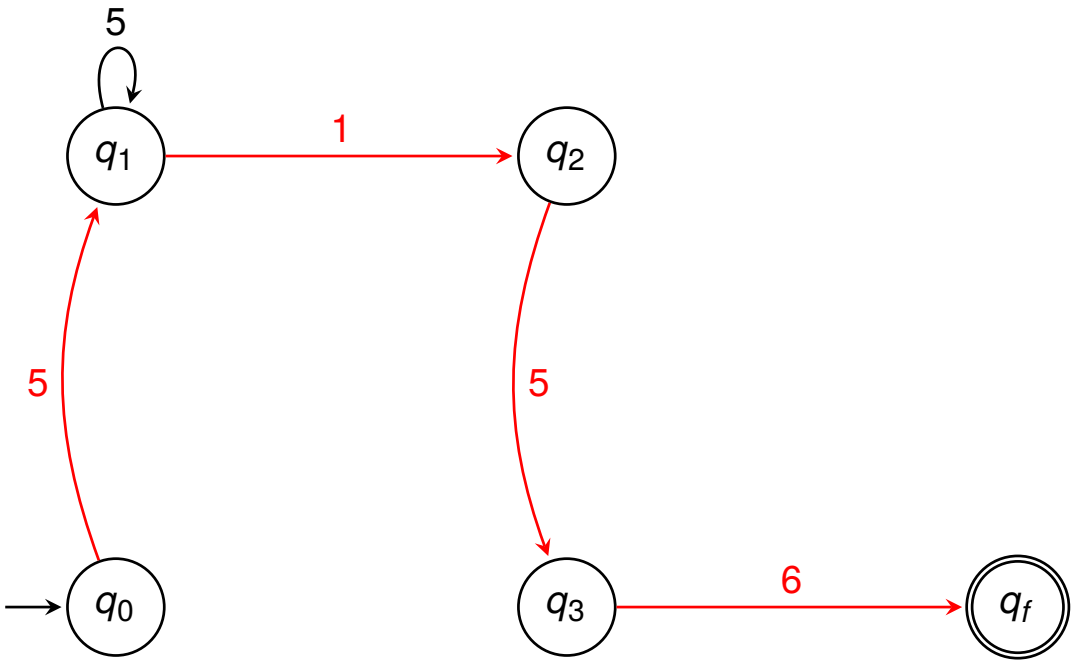
Der Würfel soll letztlich alle Folgen akzeptieren, die 5156 als Teilwort enthalten, z.B. auch 55156



Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Teilwort-Erkennung

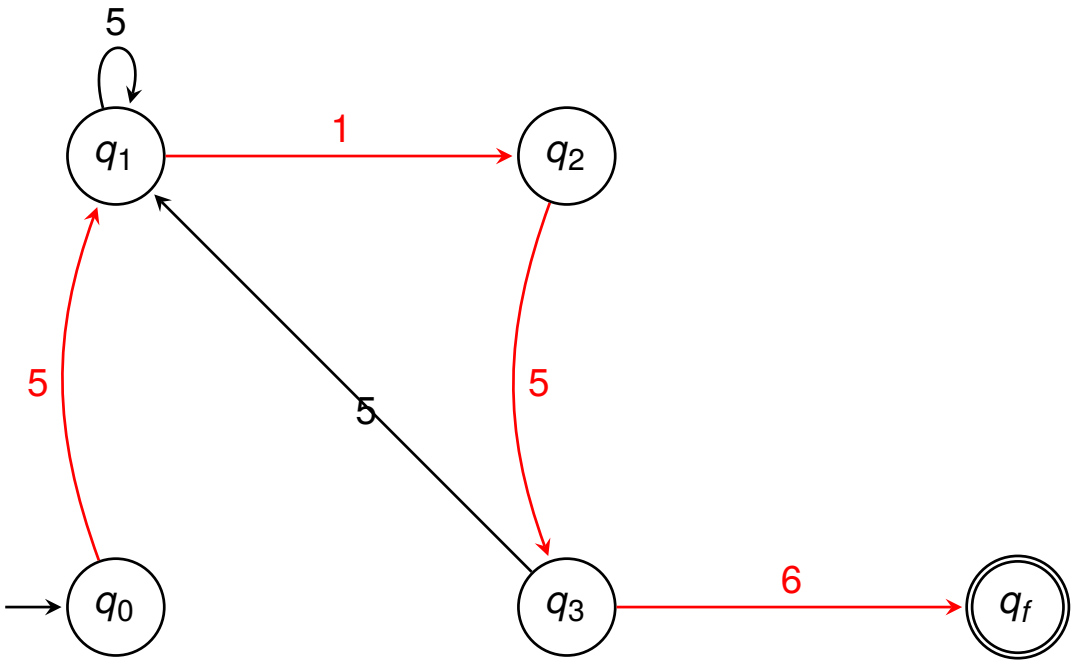
Der Würfel soll letztlich alle Folgen akzeptieren, die 5156 als Teilwort enthalten, z.B. auch 55156, oder 5155156



Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Teilwort-Erkennung

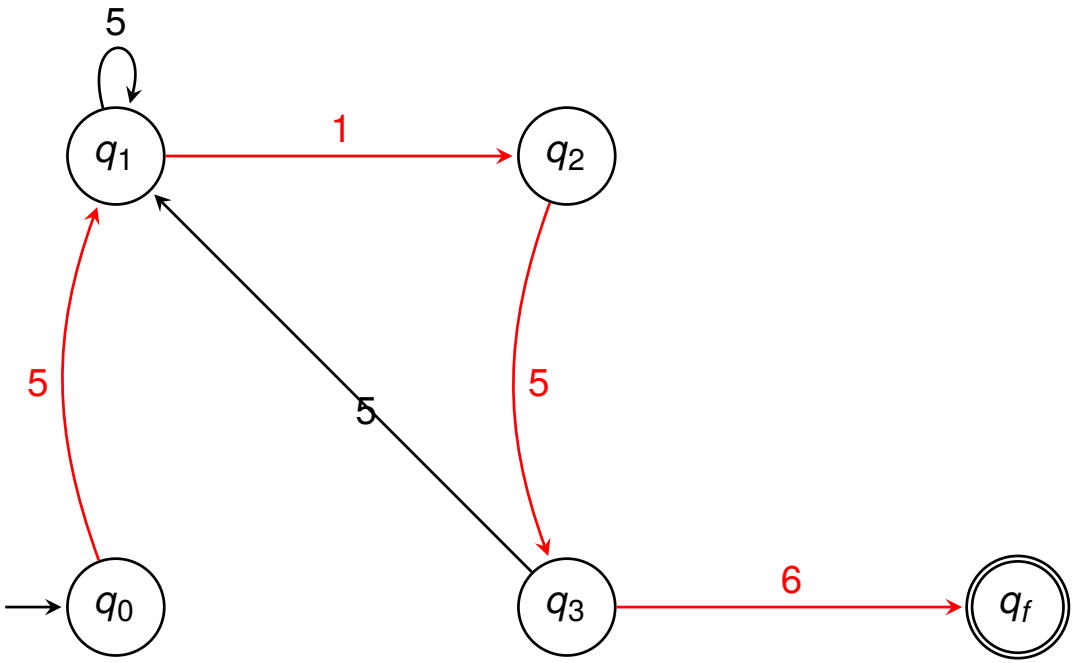
Der Würfel soll letztlich alle Folgen akzeptieren, die 5156 als Teilwort enthalten, z.B. auch 55156, oder 5155156



Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Teilwort-Erkennung

Der Würfel soll letztlich alle Folgen akzeptieren, die 5156 als Teilwort enthalten, z.B. auch 55156, oder 5155156, oder 515156

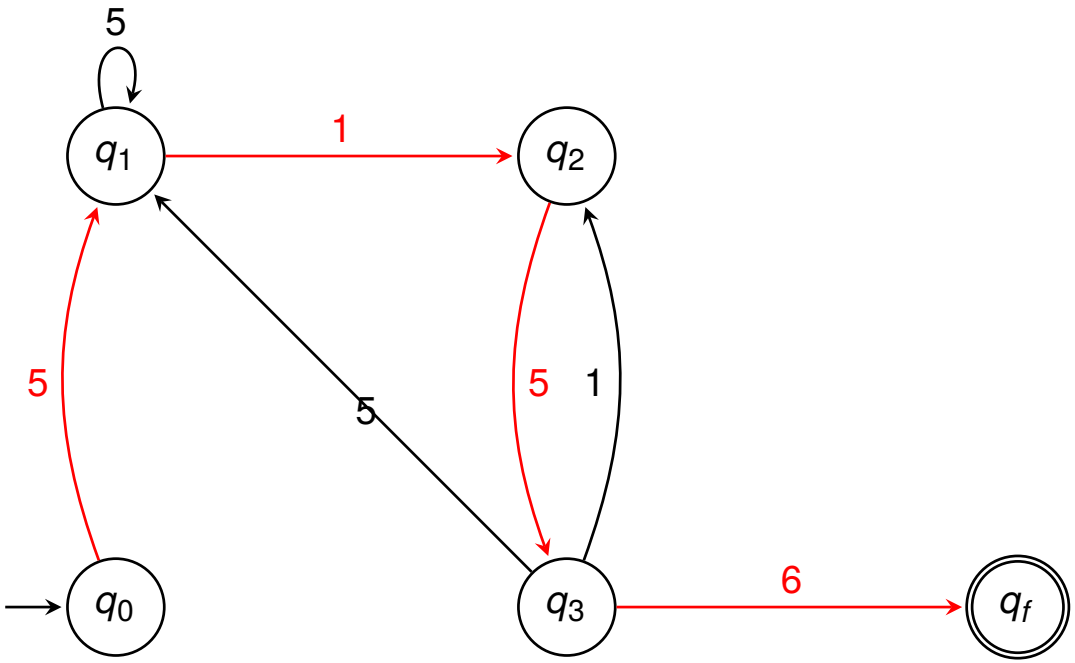


Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Teilwort-Erkennung

UNI FREIBURG

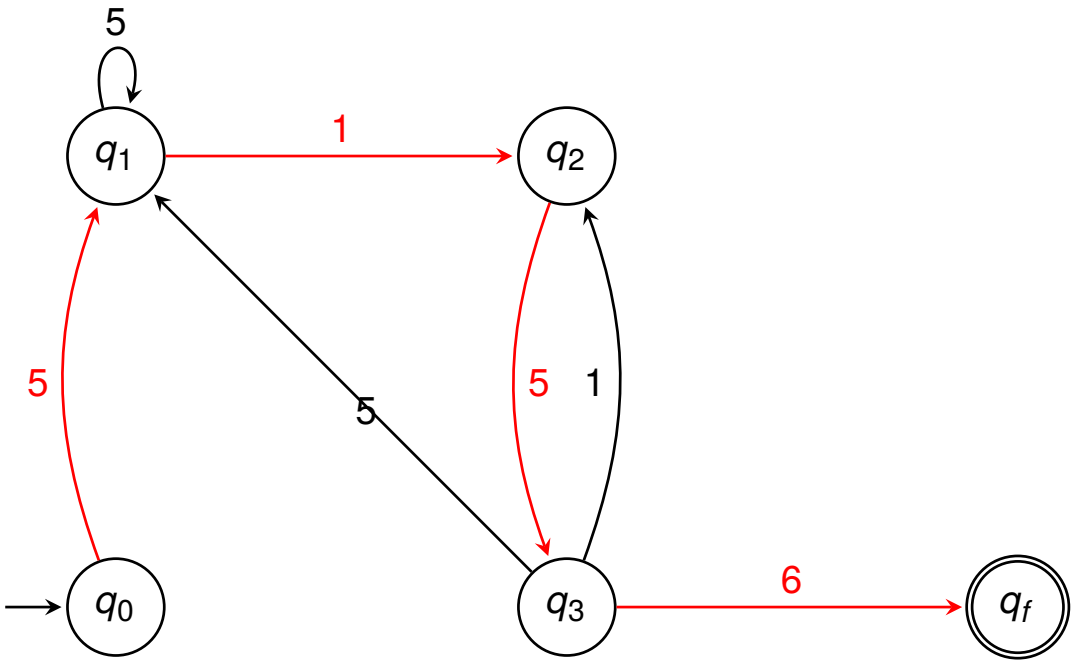
Der Würfel soll letztlich alle Folgen akzeptieren, die 5156 als Teilwort enthalten, z.B. auch 55156, oder 5155156, oder 515156



Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Teilwort-Erkennung

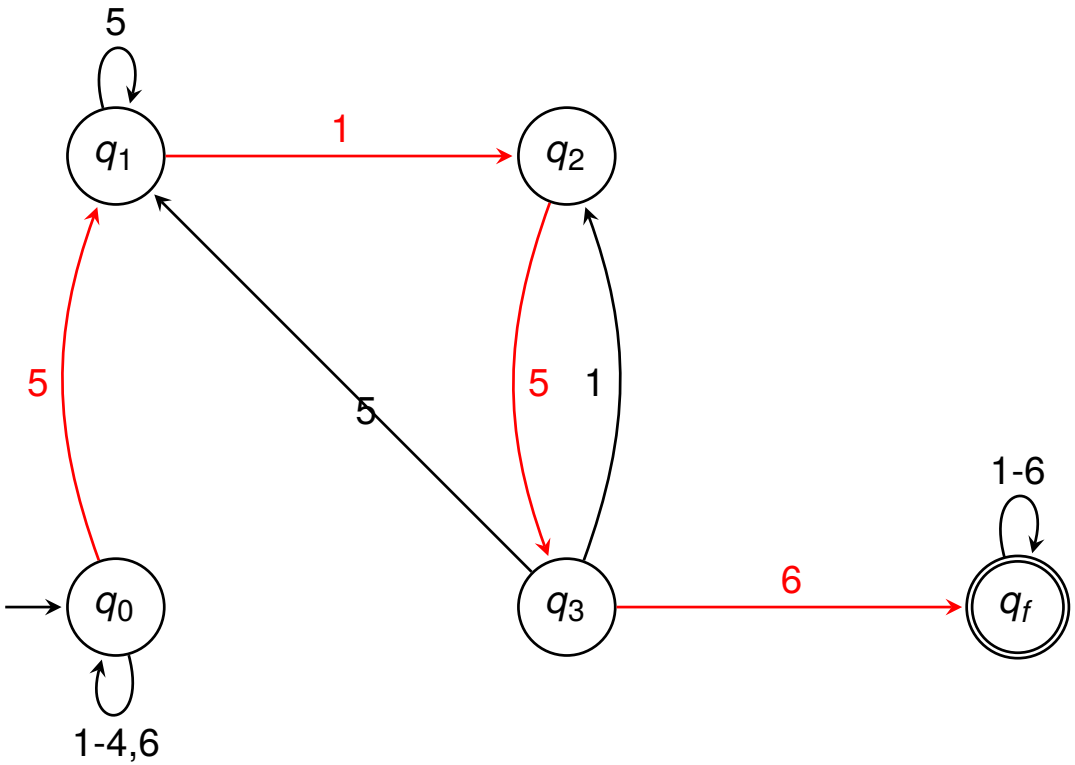
Der Würfel soll letztlich alle Folgen akzeptieren, die 5156 als Teilwort enthalten, z.B. auch 55156, oder 5155156, oder 515156 oder . . . 5156. . .



Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Teilwort-Erkennung

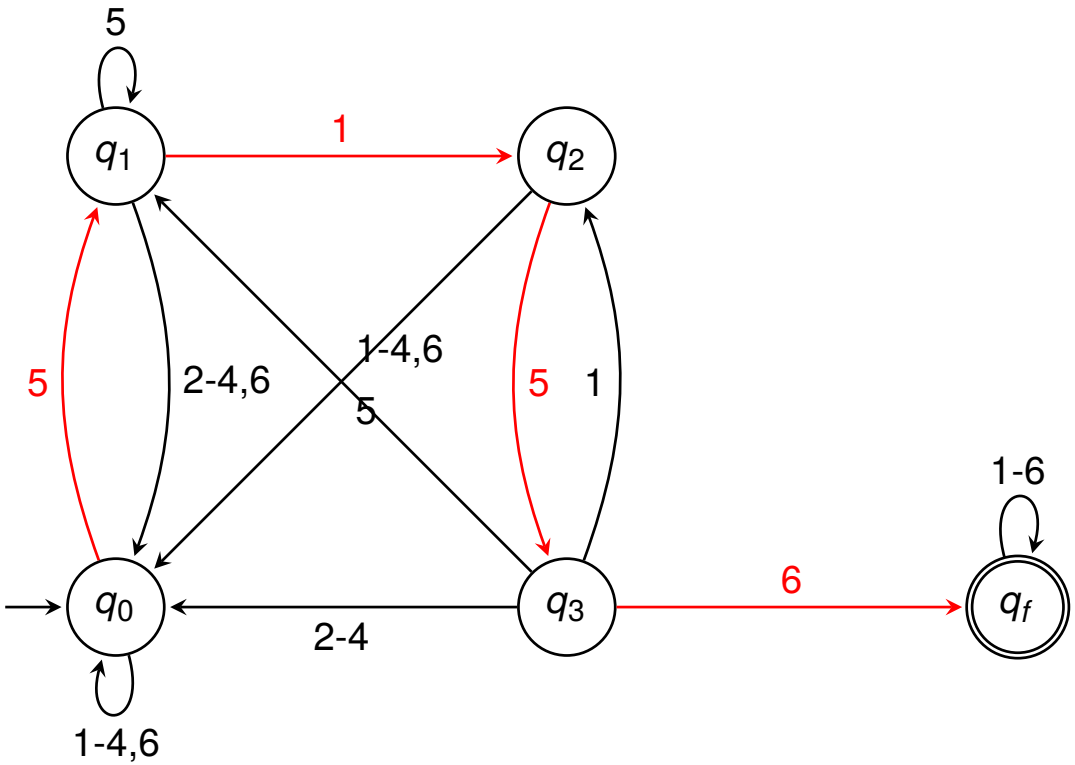
Der Würfel soll letztlich alle Folgen akzeptieren, die 5156 als Teilwort enthalten, z.B. auch 55156, oder 5155156, oder 515156 oder . . . 5156. . .



Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Teilwort-Erkennung

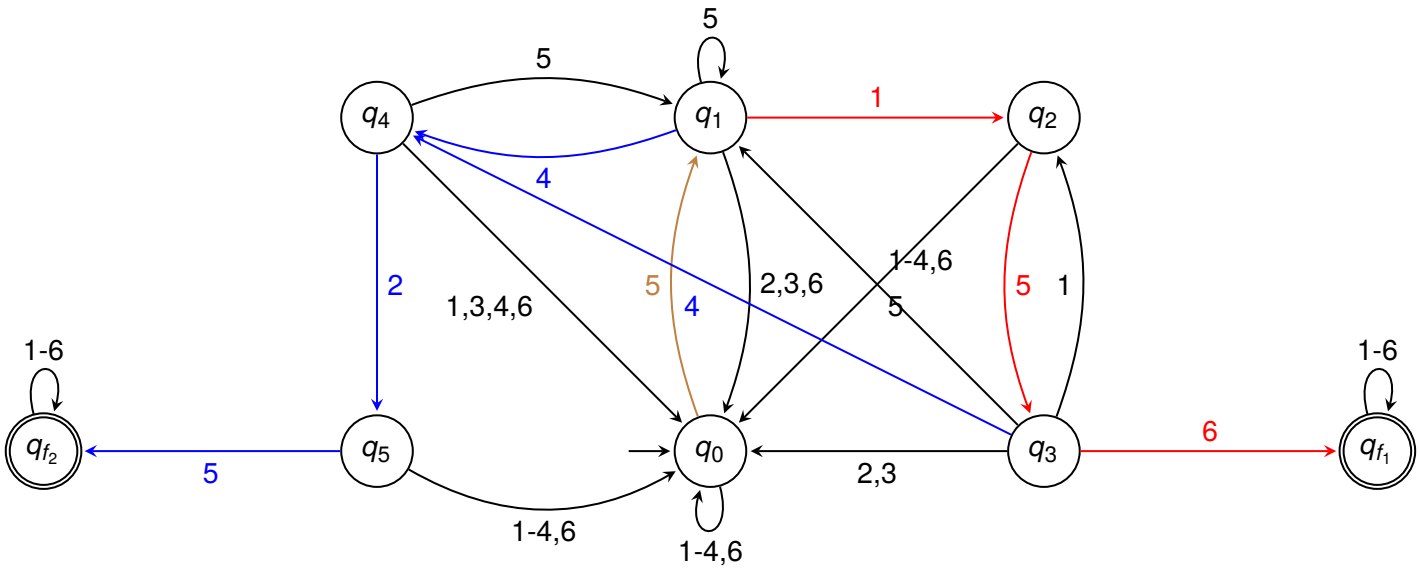
Der Würfel soll letztlich alle Folgen akzeptieren, die 5156 als Teilwort enthalten, z.B. auch 55156, oder 5155156, oder 515156 oder . . . 5156. . .



Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Nord- und Ostkode integrieren

Zusätzlich muss der Würfel noch 5425 als Teilstring erkennen!
Der Automat ändert sich wie folgt:



Deterministische endliche Automaten
Motivierendes Beispiel
Formale Grundlagen
Verhalten eines DEAs
Teilwort-Erkennung
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

UNI FREIBURG

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Moore-Automat

Umsetzung

Python-Skript für Beispiel

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Transduktoren

Nach der Akzeptanz ist vor der Akzeptanz!

UNI FREIBURG

- Der bisher konstruierte Automat akzeptiert alle Wörter, die 5156 oder 5425 als Teilwort enthalten.

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Moore-Automat

Umsetzung

Python-Skript für Beispiel

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Nach der Akzeptanz ist vor der Akzeptanz!

UNI FREIBURG

- Der bisher konstruierte Automat akzeptiert alle Wörter, die 5156 oder 5425 als Teilwort enthalten.
- Eigentlich ist eine Maschine gesucht, die „ewig“ läuft und die jeweils nach einem akzeptierten Teilwort eine Ausgabe macht.

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Moore-Automat

Umsetzung

Python-Skript für Beispiel

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Nach der Akzeptanz ist vor der Akzeptanz!

UNI FREIBURG

- Der bisher konstruierte Automat akzeptiert alle Wörter, die 5156 oder 5425 als Teilwort enthalten.
- Eigentlich ist eine Maschine gesucht, die „ewig“ läuft und die jeweils nach einem akzeptierten Teilwort eine Ausgabe macht.
- Eine solche Maschine heißt Transduktor, das ist ein Automat, der auch Ausgaben macht.

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Moore-Automat

Umsetzung

Python-Skript für Beispiel

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Nach der Akzeptanz ist vor der Akzeptanz!

UNI FREIBURG

- Der bisher konstruierte Automat akzeptiert alle Wörter, die 5156 oder 5425 als Teilwort enthalten.
- Eigentlich ist eine Maschine gesucht, die „ewig“ läuft und die jeweils nach einem akzeptierten Teilwort eine Ausgabe macht.
- Eine solche Maschine heißt Transduktor, das ist ein Automat, der auch Ausgaben macht.
- Transduktoren werden oft verwendet um das Verhalten eingebetteter Systeme zu beschreiben.

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Moore-Automat

Umsetzung

Python-Skript für Beispiel

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Moore-Automaten

UNI FREIBURG

Ein Moore-Automat (nach Edward F. Moore) ist ein endlicher Automat, der in jedem Zustand ein Zeichen ausgeben kann. Es ist ein 6-Tupel $A = \langle Q, \Sigma, \Lambda, \delta, \lambda, q_0 \rangle$, wobei

- Q ist eine endliche Zustandsmenge,

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Moore-Automat

Umsetzung

Python-Skript für Beispiel

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Moore-Automaten

UNI FREIBURG

Ein Moore-Automat (nach Edward F. Moore) ist ein endlicher Automat, der in jedem Zustand ein Zeichen ausgeben kann. Es ist ein 6-Tupel $A = \langle Q, \Sigma, \Lambda, \delta, \lambda, q_0 \rangle$, wobei

- Q ist eine endliche Zustandsmenge,
- Σ ist das Eingabealphabet,

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Moore-Automat

Umsetzung

Python-Skript für Beispiel

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Moore-Automaten

UNI FREIBURG

Ein Moore-Automat (nach Edward F. Moore) ist ein endlicher Automat, der in jedem Zustand ein Zeichen ausgeben kann. Es ist ein 6-Tupel $A = \langle Q, \Sigma, \Lambda, \delta, \lambda, q_0 \rangle$, wobei

- Q ist eine endliche Zustandsmenge,
- Σ ist das Eingabealphabet,
- Λ ist das Ausgabealphabet,

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Moore-Automaten

UNI FREIBURG

Ein Moore-Automat (nach Edward F. Moore) ist ein endlicher Automat, der in jedem Zustand ein Zeichen ausgeben kann. Es ist ein 6-Tupel $A = \langle Q, \Sigma, \Lambda, \delta, \lambda, q_0 \rangle$, wobei

- Q ist eine endliche Zustandsmenge,
- Σ ist das Eingabealphabet,
- Λ ist das Ausgabealphabet,
- $\delta : Q \times \Sigma \to Q$ ist die Übergangsfunktion,

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Moore-Automaten

UNI FREIBURG

Ein Moore-Automat (nach Edward F. Moore) ist ein endlicher Automat, der in jedem Zustand ein Zeichen ausgeben kann.
Es ist ein 6-Tupel $A = \langle Q, \Sigma, \Lambda, \delta, \lambda, q_0 \rangle$, wobei

- Q ist eine endliche Zustandsmenge,
- Σ ist das Eingabealphabet,
- Λ ist das Ausgabealphabet,
- $\delta : Q \times \Sigma \to Q$ ist die Übergangsfunktion,
- $\lambda : Q \to \Lambda$ ist die Ausgabefunktion.

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Moore-Automaten

UNI FREIBURG

Ein Moore-Automat (nach Edward F. Moore) ist ein endlicher Automat, der in jedem Zustand ein Zeichen ausgeben kann. Es ist ein 6-Tupel $A = \langle Q, \Sigma, \Lambda, \delta, \lambda, q_0 \rangle$, wobei

- Q ist eine endliche Zustandsmenge,
- Σ ist das Eingabealphabet,
- Λ ist das Ausgabealphabet,
- $\delta : Q \times \Sigma \to Q$ ist die Übergangsfunktion,
- $\lambda : Q \to \Lambda$ ist die Ausgabefunktion.
- q_0 ist der Startzustand.

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Moore-Automaten

UNI FREIBURG

Ein Moore-Automat (nach Edward F. Moore) ist ein endlicher Automat, der in jedem Zustand ein Zeichen ausgeben kann. Es ist ein 6-Tupel $A = \langle Q, \Sigma, \Lambda, \delta, \lambda, q_0 \rangle$, wobei

- Q ist eine endliche Zustandsmenge,
- Σ ist das Eingabealphabet,
- Λ ist das Ausgabealphabet,
- $\delta : Q \times \Sigma \to Q$ ist die Übergangsfunktion,
- $\lambda : Q \to \Lambda$ ist die Ausgabefunktion.
- q_0 ist der Startzustand.

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Moore-Automaten

UNI FREIBURG

Ein Moore-Automat (nach Edward F. Moore) ist ein endlicher Automat, der in jedem Zustand ein Zeichen ausgeben kann. Es ist ein 6-Tupel $A = \langle Q, \Sigma, \Lambda, \delta, \lambda, q_0 \rangle$, wobei

- Q ist eine endliche Zustandsmenge,
- Σ ist das Eingabealphabet,
- Λ ist das Ausgabealphabet,
- $\delta : Q \times \Sigma \to Q$ ist die Übergangsfunktion,
- $\lambda : Q \to \Lambda$ ist die Ausgabefunktion.
- q_0 ist der Startzustand.

Kommt der Automat in einen Zustand q, dann gibt er das Zeichen $\lambda(q)$ aus.

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Moore-Automaten

UNI FREIBURG

Ein Moore-Automat (nach Edward F. Moore) ist ein endlicher Automat, der in jedem Zustand ein Zeichen ausgeben kann. Es ist ein 6-Tupel $A = \langle Q, \Sigma, \Lambda, \delta, \lambda, q_0 \rangle$, wobei

- Q ist eine endliche Zustandsmenge,
- Σ ist das Eingabealphabet,
- Λ ist das Ausgabealphabet,
- $\delta : Q \times \Sigma \to Q$ ist die Übergangsfunktion,
- $\lambda : Q \to \Lambda$ ist die Ausgabefunktion.
- q_0 ist der Startzustand.

Kommt der Automat in einen Zustand q, dann gibt er das Zeichen $\lambda(q)$ aus. Oft werden diese Ausgabezeichen als Aktionen verstanden (oder sind Eingaben für andere Automaten).

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Verhalten des Moore-Automaten

- Im Startzustand q_0 gibt der Automat $\lambda(q_0)$ aus.

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Verhalten des Moore-Automaten

- Im Startzustand q_0 gibt der Automat $\lambda(q_0)$ aus.
- Der Automat erhält ein Wort $w = a_1 a_2 \ldots$ über Σ als Eingabe.

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Moore-Automat

Umsetzung

Python-Skript für Beispiel

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Verhalten des Moore-Automaten

- Im Startzustand q_0 gibt der Automat $\lambda(q_0)$ aus.
- Der Automat erhält ein Wort $w = a_1 a_2 \ldots$ über Σ als Eingabe.
- Der Automat liest im Zustand q_i das Eingabesymbol a_{i+1}, wechselt in den Folgezustand $q_{i+1} = \delta(q_i, a_{i+1})$ und gibt dann $\lambda(q_{i+1})$ aus.

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Verhalten des Moore-Automaten

- Im Startzustand q_0 gibt der Automat $\lambda(q_0)$ aus.
- Der Automat erhält ein Wort $w = a_1 a_2 \ldots$ über Σ als Eingabe.
- Der Automat liest im Zustand q_i das Eingabesymbol a_{i+1}, wechselt in den Folgezustand $q_{i+1} = \delta(q_i, a_{i+1})$ und gibt dann $\lambda(q_{i+1})$ aus.
- Das macht der Automat, so lange wie Eingabezeichen verfügbar sind. (Ggf. mit offenem Ende.)

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Verhalten des Moore-Automaten

UNI FREIBURG

- Im Startzustand q_0 gibt der Automat $\lambda(q_0)$ aus.
- Der Automat erhält ein Wort $w = a_1 a_2 \ldots$ über Σ als Eingabe.
- Der Automat liest im Zustand q_i das Eingabesymbol a_{i+1}, wechselt in den Folgezustand $q_{i+1} = \delta(q_i, a_{i+1})$ und gibt dann $\lambda(q_{i+1})$ aus.
- Das macht der Automat, so lange wie Eingabezeichen verfügbar sind. (Ggf. mit offenem Ende.)
- Dabei wird das Eingabewort w in das Ausgabewort $\lambda(q_0)\lambda(q_1)\ldots$ übersetzt. Daher auch der Name Transduktor.

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiel: Ein hypothetische Motorsteuerung

UNI FREIBURG

$\Sigma = \{e, a, g, b, n\}$, wobei e für „ein“, a für „aus“, g für „Gas geben“, b für „bremsen“, n für „nicht drehende Räder“ steht.
$\Lambda = \{\text{off}, \text{low}, \text{full}\}$.

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Moore-Automat

Umsetzung

Python-Skript für Beispiel

Modellierung von Automaten

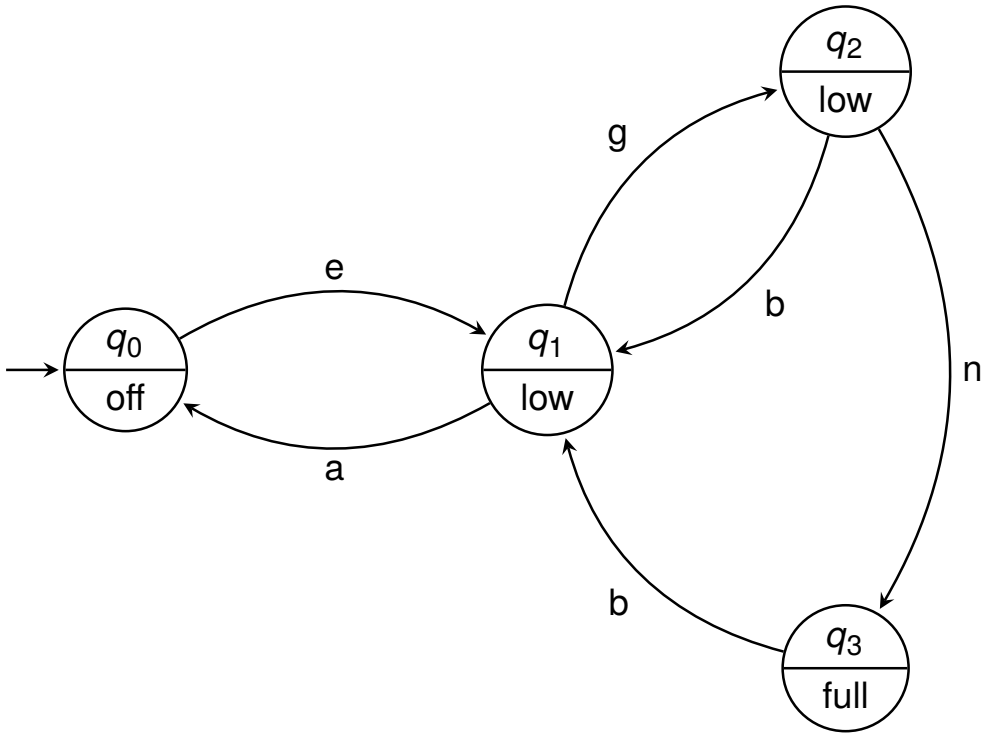
Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Beispiel: Ein hypothetische Motorsteuerung

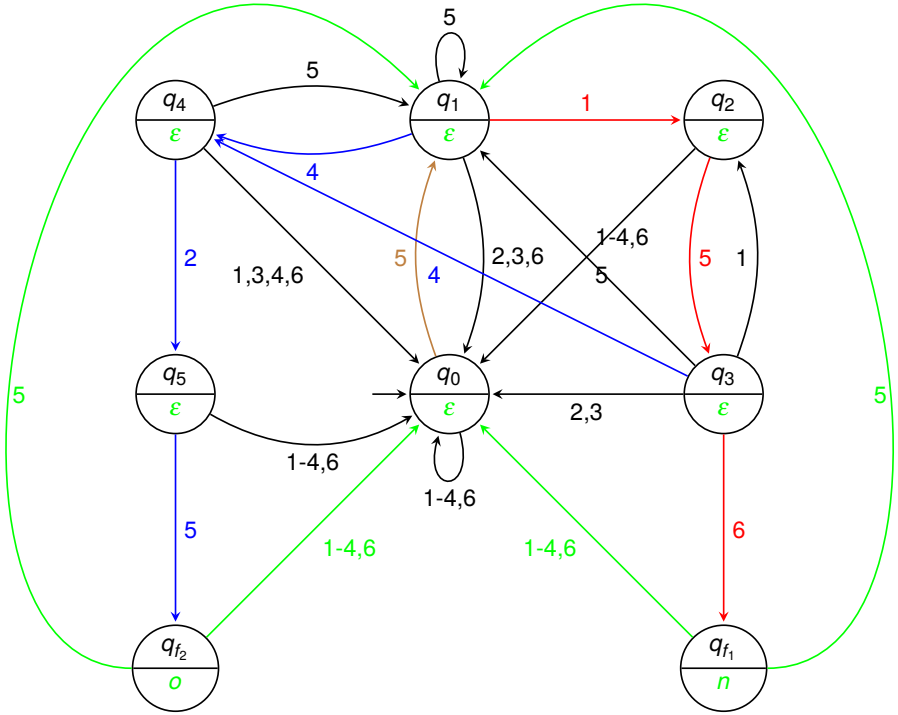
$\Sigma = \{e, a, g, b, n\}$, wobei e für „ein“, a für „aus“, g für „Gas geben“, b für „bremsen“, n für „nicht drehende Räder“ steht.
$\Lambda = \{\text{off}, \text{low}, \text{full}\}$.



Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Beispiel: Der Würfel-Moore-Automat

Sei $\Lambda = \{n, o, \varepsilon\}$, dann könnte der Würfelautomat so ausschauen (die grünen Teile sind neu):



Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Die Innereien des Würfels

UNI FREIBURG

- Wie sieht die Implementierung eines solchen abstrakten Automaten aus?

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Moore-Automat

Umsetzung

Python-Skript für Beispiel

Modellierung von Automaten

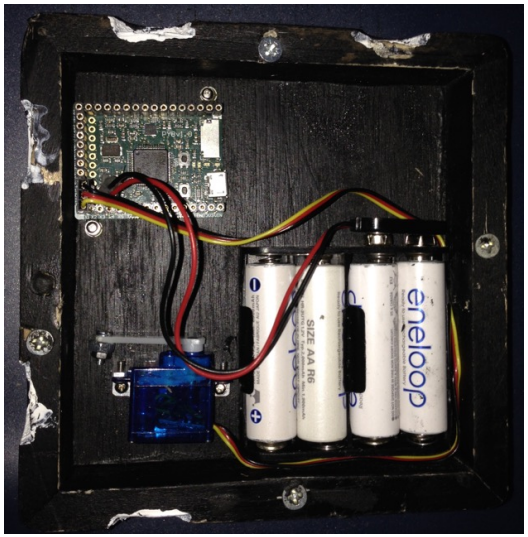
Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Die Innereien des Würfels

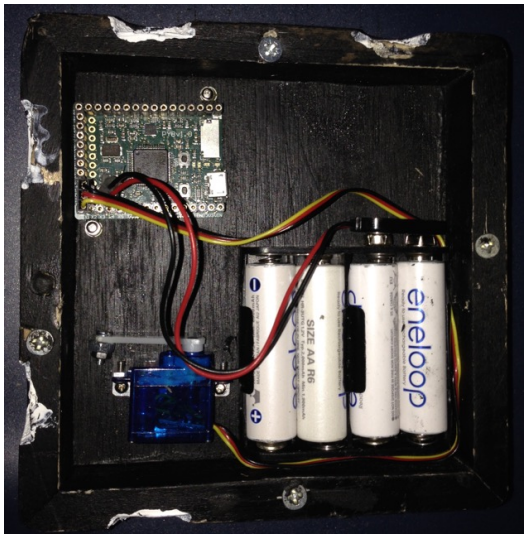
- Wie sieht die Implementierung eines solchen abstrakten Automaten aus?
- Das Innere des Würfels:



Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Die Innereien des Würfels

- Wie sieht die Implementierung eines solchen abstrakten Automaten aus?
- Das Innere des Würfels:

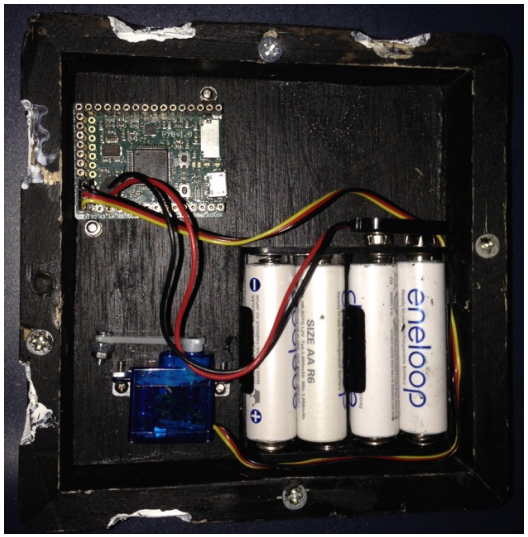


  - Batterien (4$\times$AA-Akkus, also 4,5-6 Volt),

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Die Innereien des Würfels

- Wie sieht die Implementierung eines solchen abstrakten Automaten aus?
- Das Innere des Würfels:

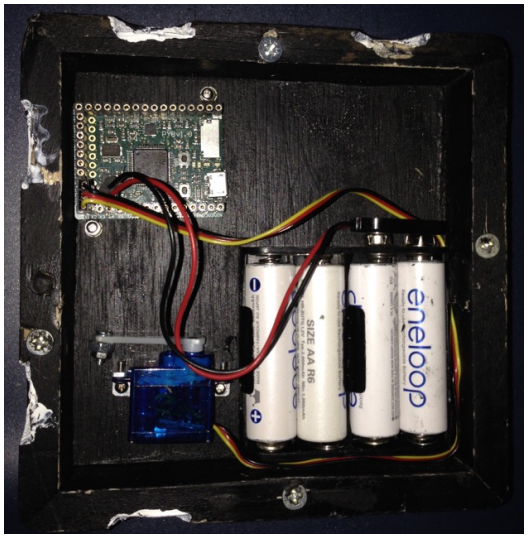


  - Batterien (4×AA-Akkus, also 4,5-6 Volt),
  - Servomotor,

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Die Innereien des Würfels

- Wie sieht die Implementierung eines solchen abstrakten Automaten aus?
- Das Innere des Würfels:



  - Batterien (4×AA-Akkus, also 4,5-6 Volt),
  - Servomotor,
  - pyboard (mit einem ARM-5 Prozessor, Beschleunigungsmesser, usw.), auf dem Micropython läuft

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Das Würfel-Programm

- `side_up()`:
  Bestimmt mit Hilfe des Beschleunigsmessers, welche Seite oben liegt. Bei unklaren Werten wartet die Funktion, bis eine stabile Lage eingetreten ist.

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Moore-Automat

Umsetzung

Python-Skript für Beispiel

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Das Würfel-Programm

UNI FREIBURG

- `side_up()`:
  Bestimmt mit Hilfe des Beschleunigsmessers, welche Seite oben liegt. Bei unklaren Werten wartet die Funktion, bis eine stabile Lage eingetreten ist.
- `new_input()`:
  Erzeugt ein neues Eingabesymbol (Zahl zwischen 1 und 6), wenn der Würfel 500 Millisekunden stabil lag.

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Das Würfel-Programm

UNI FREIBURG

- `side_up()`:
  Bestimmt mit Hilfe des Beschleunigsmessers, welche Seite oben liegt. Bei unklaren Werten wartet die Funktion, bis eine stabile Lage eingetreten ist.
- `new_input()`:
  Erzeugt ein neues Eingabesymbol (Zahl zwischen 1 und 6), wenn der Würfel 500 Millisekunden stabil lag.
- `next_state(state, input)`:
  Die Übergangsfunktion.

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Moore-Automat

Umsetzung

Python-Skript für Beispiel

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Das Würfel-Programm

UNI FREIBURG

- `side_up()`:
  Bestimmt mit Hilfe des Beschleunigsmessers, welche Seite oben liegt. Bei unklaren Werten wartet die Funktion, bis eine stabile Lage eingetreten ist.
- `new_input()`:
  Erzeugt ein neues Eingabesymbol (Zahl zwischen 1 und 6), wenn der Würfel 500 Millisekunden stabil lag.
- `next_state(state, input)`:
  Die Übergangsfunktion.
- `output_symbol(state)`:
  Berechnet das zum Zustand gehörige Ausgabesymbol.

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Das Würfel-Programm

UNI FREIBURG

- `side_up()`:
  Bestimmt mit Hilfe des Beschleunigsmessers, welche Seite oben liegt. Bei unklaren Werten wartet die Funktion, bis eine stabile Lage eingetreten ist.
- `new_input()`:
  Erzeugt ein neues Eingabesymbol (Zahl zwischen 1 und 6), wenn der Würfel 500 Millisekunden stabil lag.
- `next_state(state, input)`:
  Die Übergangsfunktion.
- `output_symbol(state)`:
  Berechnet das zum Zustand gehörige Ausgabesymbol.
- `automaton()`:
  Die Endlosschleife zur Ausführung des Automaten.

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Das Würfel-Programm

UNI FREIBURG

- `side_up()`:
  Bestimmt mit Hilfe des Beschleunigsmessers, welche Seite oben liegt. Bei unklaren Werten wartet die Funktion, bis eine stabile Lage eingetreten ist.
- `new_input()`:
  Erzeugt ein neues Eingabesymbol (Zahl zwischen 1 und 6), wenn der Würfel 500 Millisekunden stabil lag.
- `next_state(state, input)`:
  Die Übergangsfunktion.
- `output_symbol(state)`:
  Berechnet das zum Zustand gehörige Ausgabesymbol.
- `automaton()`:
  Die Endlosschleife zur Ausführung des Automaten.
- `code_knock(code)`:
  Klopft entsprechend dem angeforderten Code.

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Moore-Automat
Umsetzung
Python-Skript für Beispiel
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Der Seitenerkenner mittels Beschleunigungssensor

UNI FREIBURG

Die Erdbeschleunigung von 1g entspricht einem Messwert von rund 20.

Seitenerkenner

```
thres = 12
def side_up():
    while True:
        x = acc.x(); y = acc.y(); z = acc.z()
        if x > thres: return 5 #x up
        if x < -thres: return 2 #x down
        if y > thres: return 6 #y up
        if y < -thres: return 1 #y down
        if z > thres: return 3 #z up
        if z < -thres: return 4 #z down
        # no stable situation yet
```


Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Moore-Automat

Umsetzung

Python-Skript für Beispiel

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Symbolerzeugung

UNI FREIBURG

Symbolerzeugung

```
def new_input():
    while True:
        curr = side_up()
        new = curr
        start = pyb.millis()
        while (curr == new and
               pyb.elapsed_millis(start) <= 500):
            new = side_up()
        if curr == new:
            return curr
```

Erzeugt ca. alle 0,5 Sekunden ein neues Eingabesymbol. Nicht nur, wenn die Seite gewechselt wird. Daher muss der Automat etwas anders aussehen!

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Moore-Automat

Umsetzung

Python-Skript für Beispiel

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Die Übergangsfunktion

UNI FREIBURG

Übergangsfunktion

```
def next_state(state, input):
    if state == 0: # intial state
        if input == 5: return 1
        return 0
    elif state == 1: # '5' read
        if input == 5: return 1
        if input == 1: return 2
        if input == 4: return 4
        return 0
    elif state == 2: # '51' read
        if input == 1: return 2 # repetition!
        if input == 5: return 3
        return 0
    elif ...
```

Beachte: Jeder Zustand hat eine Schleife für das Zeichen, das dafür notwendig war, in den Zustand zu kommen.

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Moore-Automat

Umsetzung

Python-Skript für Beispiel

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Der Automat & die Ausgabefunktion

UNI FREIBURG

Der Automat & die Ausgabefunktion

```
def automaton():
    state = 0
    while True:
        if sw(): return # if switch is pressed, exit
        state = next_state(state, new_input())
        code_knock(output_symbol(state))

def output_symbol(state):
    if state == 10:
        return "north"
    elif state == 11:
        return "east"
    else:
        return None
```


Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Moore-Automat

Umsetzung

Python-Skript für Beispiel

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

UNI FREIBURG

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Modellierung von Automaten

Verbesserte Modellierung von Automaten

UNI FREIBURG

- Im Vergleich zu Standard-Python hat Micropython einige Einschränkungen.
- Die Modellierung der Zustände durch Zahlen ist kompakt und effizient, aber fehleranfällig.
- Besserer Ansatz: Verwende Aufzählungstypen.

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Zustandstyp

UNI FREIBURG

```
from enum import Enum, auto

class State(Enum):
    INIT = auto()
    AFTER_5 = auto()
    AFTER_51 = auto()
    AFTER_515 = auto()
    AFTER_5156 = auto()
    AFTER_54 = auto()
    AFTER_542 = auto()
    AFTER_5425 = auto()
```

- Bessere Dokumentation für die Zustände.
- `enum.auto()` erzeugt automatisch einen neuen internen Code, sodass die Zustände durchnummeriert werden.

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Transitionsfunktion

```
S = State
def next_state(q: State, i: int) -> State:
    match (q, i):
        case (S.INIT,      5): return S.AFTER_5
        case (S.AFTER_5,   1): return S.AFTER_51
        case (S.AFTER_5,   4): return S.AFTER_54
        case (S.AFTER_5,   5): return S.AFTER_5
        case (S.AFTER_51,  5): return S.AFTER_515
        case (S.AFTER_515, 6): return S.AFTER_5156
        case (S.AFTER_515, 1): return S.AFTER_51
        case (S.AFTER_515, 4): return S.AFTER_54
        case (S.AFTER_54,  2): return S.AFTER_542
        case (S.AFTER_542, 5): return S.AFTER_5425
    return S.INIT
```

- Hier ist ein Fehler!

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Allgemeiner Ansatz: Das Zustandsmuster

UNI FREIBURG

- Falls die Zustände selbst noch weitere Information beinhalten, können sie als “richtige” Objekte betrachtet werden.
- Die Zustandsfunktion wird nun als Methode implementiert.
- So ist auch die Menge der Zustände einfach erweiterbar.
- Wegen des Speicherbedarfs allerdings für eingebettete Systeme weniger geeignet.
- Das Zustandsmuster ist ein sogenanntes design pattern.
- Siehe *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software* von der “Gang of Four” (Gamma, Helm, Johnson, Vlissides).

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Zustandsmuster: Basisklasse

UNI FREIBURG

```python
# base class for all states
@dataclass
class State:
    def next(self, input: int) -> 'State':
        return self
    def output(self) -> str:
        return ""
```

- Die Basisklasse `State` dient nur als Superklasse, von der konkrete Zustandsklassen erben.
- Sie soll nicht instanziert werden, d.h. `State()` soll nicht verwendet werden.
- Auch die Methoden sollen eigentlich nicht verwendet werden, sondern nur anzeigen, was in den Subklassen implementiert werden soll.
- Eine solche Klasse heißt abstrakte Klasse und die Methoden abstrakte Methoden.

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Zustandsmuster: Startzustand

UNI FREIBURG

```python
@dataclass
class S_Init(State):
    def next(self, input: int) -> State:
        match input:
            case 5:
                return S_After([5])
        return self
```

- Subklasse von `State`.
- Methode `next()` wird überschrieben.
- Methode `output()` wird aus der Superklasse übernommen (keine Ausgabe).

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Zustandsmuster: Prefixzustände

UNI FREIBURG

```
@dataclass
class S_After(State):
    prefix: list[int]
    def next(self, input: int) -> State:
        self.prefix = self.prefix + [input]
        match self.prefix:
            case ([5, 1] | [5, 1, 5] | [5, 1, 5, 6] |
                  [5, 4] | [5, 4, 2] | [5, 4, 2, 5]):
                return self
        match self.prefix[-1:]:
            case [5]:
                return S_After(self.prefix[-1:])
        match self.prefix[-2:]:
            case [5, 1] | [5, 2]:
                return S_After(self.prefix[-2:])
        return S_Init()
```


Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Zustandsmuster: Prefixzustände (2)

```
def output(self) -> str:
    match self.prefix:
        case [5, 1, 5, 6]:
            return "north"
        case [5, 4, 2, 5]:
            return "east"
        case _:
            return ""
```

- Die Klasse `S_After` verwaltet das bisher gelesene Präfix der Eingabe im Feld `prefix`.
- Zustandsübergang durch Änderung des Präfixes (soweit möglich).

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

UNI FREIBURG

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Modellierung mit abstrakter, generischer Klasse

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Abstrakte und generische Klassen

Modellierung mit abstrakter, generischer Klasse

UNI FREIBURG

Die Basisklasse `State` hat einige Nachteile, die dazu führen, dass der Code schlecht wiederverwendbar ist.

Zu konkret

- Die Klasse sollte abstrakt sein, aber wir konnten das nicht ausdrücken.
- D.h., direkte Instanzen von `State` sind nicht erwünscht und jede Subklasse muss die Methoden `next` und `output` überschreiben.

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Modellierung mit abstrakter, generischer Klasse

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Modellierung mit abstrakter, generischer Klasse

UNI FREIBURG

Die Basisklasse `State` hat einige Nachteile, die dazu führen, dass der Code schlecht wiederverwendbar ist.

Zu konkret

- Die Klasse sollte abstrakt sein, aber wir konnten das nicht ausdrücken.
- D.h., direkte Instanzen von `State` sind nicht erwünscht und jede Subklasse muss die Methoden `next` und `output` überschreiben.

Zu spezifisch

- Die Klasse legt die Typen von Eingabe und Ausgabe bereits fest, obwohl diese Typen den Code nicht beeinflussen.
- Sie muss quasi kopiert werden um einen Automatenzustand in einem anderen Automaten zu verwenden.

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Modellierung mit abstrakter, generischer Klasse

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Abstrakte Klassen und generische Klassen

UNI FREIBURG

Abstrakte Klasse

- Eine abstrakte Klasse besitzt keine eigenen Instanzen, sondern dient nur als Muster für Subklassen.
- Sie kann abstrakte Methoden definieren. Jede Subklasse muss alle abstrakten Methoden implementieren.

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Modellierung mit abstrakter, generischer Klasse

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Abstrakte Klassen und generische Klassen

UNI FREIBURG

Abstrakte Klasse

- Eine abstrakte Klasse besitzt keine eigenen Instanzen, sondern dient nur als Muster für Subklassen.
- Sie kann abstrakte Methoden definieren. Jede Subklasse muss alle abstrakten Methoden implementieren.

Generische Klasse

- Eine generische Klasse besitzt einen oder mehrere Typparameter, angezeigt durch Typvariablen.
- Die Typparameter können als Typen von Feldern sowie Parametern und Ergebnissen von Methoden verwendet werden.
- Bei Verwendung einer generischen Klasse müssen die Typparameter in eckigen Klammeren angegeben werden.
- Beispiel: `list` ist generische Klasse mit einem Parameter; Verwendung als `list[int]`, `list[str]` usw.

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Modellierung mit abstrakter, generischer Klasse

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Eine abstrakte Klasse

UNI FREIBURG

```python
from abc import ABC, abstractmethod
@dataclass
class State(ABC):
    def next(self, input: int) -> 'State':
        return self
    @abstractmethod
    def output(self) -> str:
        ...
```

Um `State` zur abstrakten Klasse zu machen...

- Zur Subklasse von `abc.ABC` (ABC = abstract base class) machen.
- Abstrakte Methoden mit `@abstractmethod` dekorieren.
- Als Rumpf einer abstrakten Methode dient die Ellipse `...`, da unter Umständen kein sinnvoller Code möglich ist.

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Modellierung mit abstrakter, generischer Klasse

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Eine generische Klasse

UNI FREIBURG

```python
from abc import ABC, abstractmethod
from typing import Generic, TypeVar
INP = TypeVar ('INP')
OUT = TypeVar ('OUT')
@dataclass
class State(Generic[INP,OUT], ABC):
    def next(self, input: INP) -> 'State':
        return self
    @abstractmethod
    def output(self) -> OUT:
        ...
```


Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Modellierung mit abstrakter, generischer Klasse

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Generische Klassen

- Definiere Typvariablen zur Spezifikation von Typparametern:

```
INP = TypeVar ('INP')
OUT = TypeVar ('OUT')
```

  Der deklarierte Name muss jeweils mit dem Argumentstring übereinstimmen.

- Erben von `typing.Generic` mit der gewünschten Zahl von Typparametern, hier zwei.

```
class State(Generic[INP,OUT], ABC):
```

- Verwenden der Typparameter in einer Methodensignatur.

```
    def output(self) -> OUT:
```


Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Modellierung mit abstrakter, generischer Klasse

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Verwendung von generischen Klassen

```
@dataclass
class S_Init(State[int,str]):
    def next(self, input: int) -> State[int,str]:
        match input:
            case 5:
                return S_After([5])
        return self
    def output(self) -> str:
        return ""
```

- Erbt von `State[int,str]`. Dadurch wird `INP = int` und `OUT = str` eingesetzt.
- Methodensignaturen werden entsprechend eingesetzt.
- Der restliche Code der Implementierung ändert sich nicht.

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Modellierung mit abstrakter, generischer Klasse

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

UNI FREIBURG

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

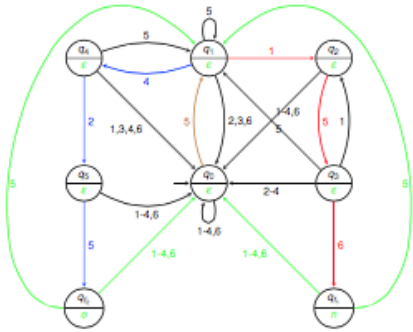
Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Welt & Modell

Die reale Welt & formale Modelle



Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

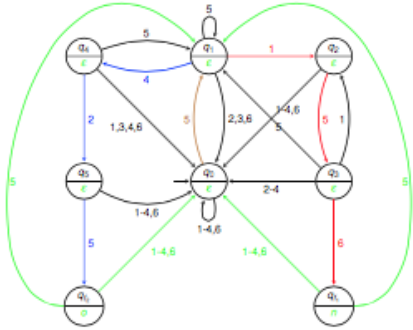
Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Die reale Welt & formale Modelle



Vor dem Einsatz formaler Modelle (wie Moore-Automaten) müssen die Messwerte/Eingaben interpretiert und in Symbole umgesetzt werden. Die Interpretation und das Modell beeinflussen sich dabei gegenseitig (Beispiel: Würfelseitenerkennung und Automat).

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

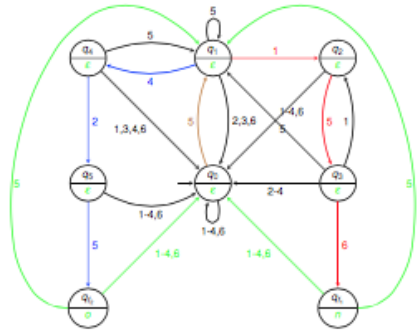
Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Die reale Welt & formale Modelle

Interpretation



Aktion

Vor dem Einsatz formaler Modelle (wie Moore-Automaten) müssen die Messwerte/Eingaben interpretiert und in Symbole umgesetzt werden. Die Interpretation und das Modell beeinflussen sich dabei gegenseitig (Beispiel: Würfelseitenerkennung und Automat).

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

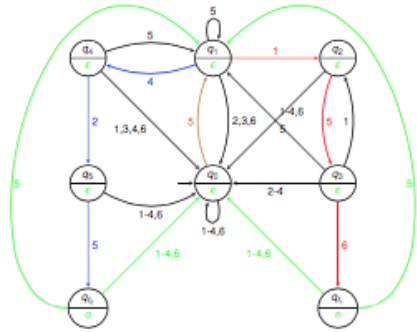
Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Die reale Welt & formale Modelle

Interpretation



Aktion

Vor dem Einsatz formaler Modelle (wie Moore-Automaten) müssen die Messwerte/Eingaben interpretiert und in Symbole umgesetzt werden. Die Interpretation und das Modell beeinflussen sich dabei gegenseitig (Beispiel: Würfelseitenerkennung und Automat).

$\Rightarrow$ Siehe Vorlesung Embedded Systems.

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

UNI FREIBURG

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Zusammenfassung & Ausblick

Zusammenfassung

- Eine formale Sprache ist eine Menge von Wörtern.

Deterministische endliche Automaten

Transduktoren

Modellierung von Automaten

Abstrakte und generische Klassen

Welt & Modell

Zusammenfassung & Ausblick

Zusammenfassung

UNI FREIBURG

- Eine formale Sprache ist eine Menge von Wörtern.
- Automaten sind ein einfaches Berechnungsmodell.

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Zusammenfassung

UNI FREIBURG

- Eine formale Sprache ist eine Menge von Wörtern.
- Automaten sind ein einfaches Berechnungsmodell.
- Sie können Sprachen erkennen (Akzeptoren) und übersetzen (Transduktoren).

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Zusammenfassung

UNI FREIBURG

- Eine formale Sprache ist eine Menge von Wörtern.
- Automaten sind ein einfaches Berechnungsmodell.
- Sie können Sprachen erkennen (Akzeptoren) und übersetzen (Transduktoren).
- Determinstische endliche Automaten (DEAs) und Transduktoren (Moore-Automaten) werden zur Beschreibung von eingebetteten Systemen verwendet.

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Zusammenfassung

UNI FREIBURG

- Eine formale Sprache ist eine Menge von Wörtern.
- Automaten sind ein einfaches Berechnungsmodell.
- Sie können Sprachen erkennen (Akzeptoren) und übersetzen (Transduktoren).
- Determinstische endliche Automaten (DEAs) und Transduktoren (Moore-Automaten) werden zur Beschreibung von eingebetteten Systemen verwendet.
- Einfache Implementierung.

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick

Zusammenfassung

UNI FREIBURG

- Eine formale Sprache ist eine Menge von Wörtern.
- Automaten sind ein einfaches Berechnungsmodell.
- Sie können Sprachen erkennen (Akzeptoren) und übersetzen (Transduktoren).
- Determinstische endliche Automaten (DEAs) und Transduktoren (Moore-Automaten) werden zur Beschreibung von eingebetteten Systemen verwendet.
- Einfache Implementierung.
- Abstrakte und generische Klassen helfen bei der Strukturierung.

Deterministische endliche Automaten
Transduktoren
Modellierung von Automaten
Abstrakte und generische Klassen
Welt & Modell
Zusammenfassung & Ausblick