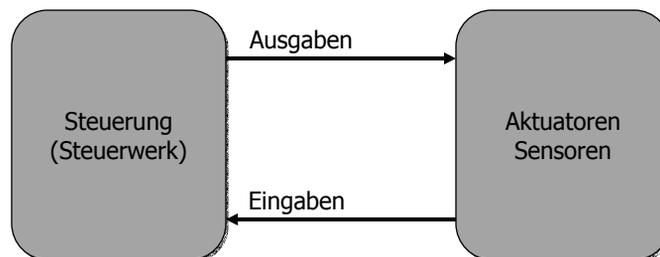


# Rechnerstrukturen

## 3b. Endliche Automaten

## Ziele

- Modellierung und Realisierung von Steuerungen
- Beispiele
  - Autoelektronik: ABS-System
  - Consumer: Kamera, Waschmaschine, CD-Player, ...
  - Steuerung technischer Anlagen



3b.2

## Zustandsautomaten

- Endliche Automaten

$$FSM = (\Theta, \sigma_0, f, E, A)$$

$$f: \Theta \times E \rightarrow \Theta \times A$$

$$(\sigma', a) = f(\sigma, e)$$

- Endliche Zustandsmenge  $\Theta$
- Ausgezeichneter Anfangszustand  $\sigma_0$
- Übergangsfunktion  $f$
- Eingabealphabet  $E$
- Ausgabealphabet  $A$



3b.3

## Zustandsdiagramme

- Graph
  - Knoten: Zustände
  - Kanten: Eingaben und Zustandsübergänge
- Ausgaben?
- Beispiel: Aufzugsteuerung
  - Eingaben
  - Ausgaben
  - Zustände
- Ziel: Komfortsteuerung?



3b.4

## Aufzugsteuerung

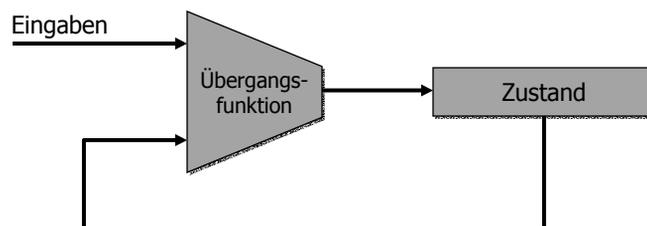
---

3b.5

## Automaten

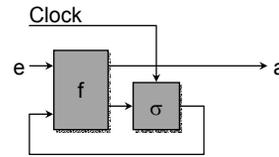
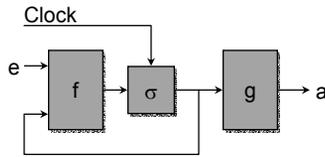
---

- Umsetzung von Zustandsdiagrammen
  - Zustand: Bitvektor (Register)
  - Übergangsfunktion: Schaltnetz
- Zwei Varianten bzgl. Ausgabe
  - Moore-Automaten
  - Mealy-Automaten



3b.6

## Moore- und Mealy-Automaten



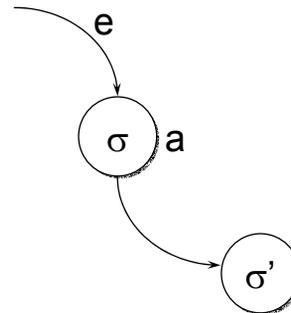
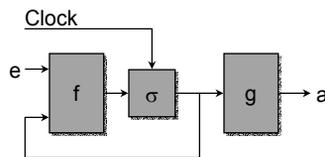
- Moore  
 $FSM = (\Theta, \sigma_0, f, g, E, A)$   
 $f: \Theta \times E \rightarrow \Theta, \quad \sigma' = f(\sigma, e)$   
 $g: \Theta \rightarrow A, \quad a = g(\sigma)$

- Mealy  
 $FSM = (\Theta, \sigma_0, f, E, A)$   
 $f: \Theta \times E \rightarrow \Theta \times A$   
 $(\sigma', a) = f(\sigma, e)$

3b.7

## Moore-Automaten

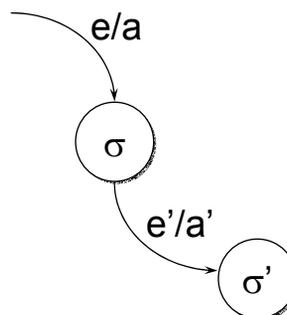
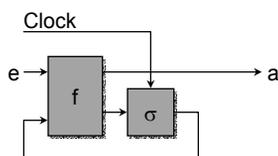
- Synchrone Ausgabe
- Ausgaben werden nur durch den Zustand bestimmt
  - Ausgaben im Zustandsdiagramm neben den Zuständen



3b.8

## Mealy-Automaten

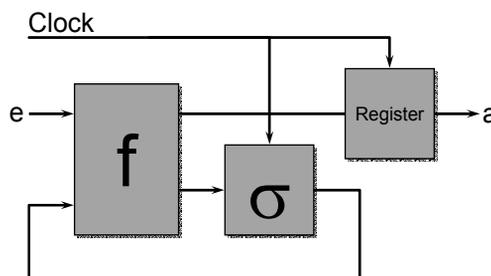
- Asynchrone Ausgabe
- Ausgaben werden durch Zustand und Eingaben bestimmt
  - Ausgaben im Zustandsdiagramm neben den Zustandsübergängen
- Benötigt häufig weniger Zustände als Moore-Automat
  - Warum?



3b.9

## Synchrone Mealy-Automaten

- Vorteil
  - Weniger Zustände im Vergleich zu Moore-Automaten
- Nachteil
  - Asynchrone Ausgaben
- Lösung
  - Taktung der Ausgabe



3b.10

## Übergangsfunktion

- Beschreibung durch Wahrheitstabelle
  - Mealy

$$(a, \sigma') = f(e, \sigma)$$

- Moore

$$\sigma' = f(e, \sigma)$$

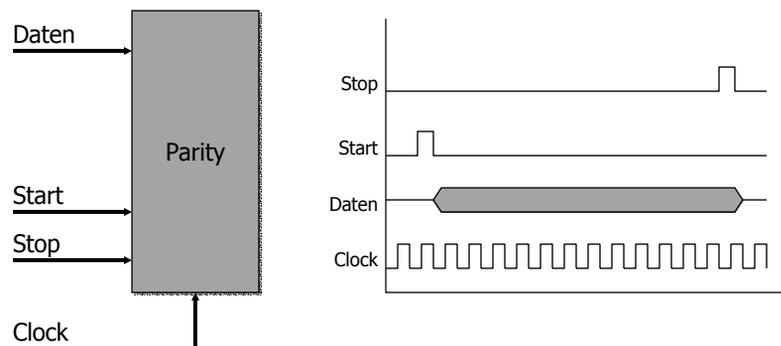
$$a = g(\sigma)$$

- Zustände minimieren
  - Hilfsautomaten
  - Systematisch
- Flip-Flop-Typ wählen
- Ansteuerungsfunktionen bestimmen und minimieren

3b.11

## Paritätsprüfung

- Eingabe: Sequentieller Datenstrom
- Ausgabe: EVEN-Parity



3b.12

## Zustandsdiagramm: Moore

---

3b.13

## Übergangsfunktion

---

3b.14

## Ansteuerung D-Flip-Flop

---

3b.15

## Ansteuerung JK-Flip-Flop

---

3b.16

## Projekt TVMUL: Iterative 8-Bit Multiplikation

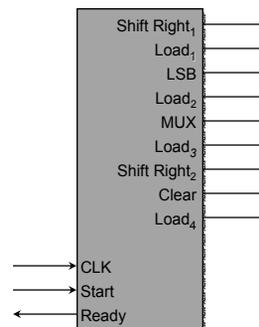
- Sequentielle Berechnung der partiellen Summen
- Steuerung der Abläufe
  - Steuerwerk
- Geringer Hardwareaufwand
- Höherer Zeitbedarf
- Bausteininventar:
  - 1 8-Bit Register
  - 1 8-Bit Schieberegister (parallel Ein- und Ausgabe)
  - 1 16-Bit Schieberegister (parallel Ein- und Ausgabe)
  - 1 8-Bit Addierer
  - 1 Flip-Flop
  - 1 1-Bit Halbaddierer



3b.17

## TVMUL: Steuerwerk

- Übergeordnete Steuerung
  - Start (Eingang)
    - Argumente A und B liegen an
    - Multiplikation beginnen
  - Ready (Ausgang)
    - Resultat M verfügbar
  - CLK (Eingang)
    - Grundtakt
- Taktversorgung
  - Eigener Takt (intern)
  - Ein Grundtakt
    - Kleinster betrachteter Schritt
    - Kürzere Schritte nicht nutzbar
  - Mehrere Grundtakte
    - Komplizierte Versorgung
- Beschreibungs- und Realisierungstechniken?



3b.21

## TVMUL: Moore-Zustandsdiagramm?

---

3b.22

## TVMUL: Mealy-Zustandsdiagramm?

---

3b.24

## Minimierung der Zustandsanzahl

---

3b.26

## TVMUL: Minimierung der WAIT-Zustände?

---

3b.27

## TVMUL: Zusammenfassung der Iterationszustände?

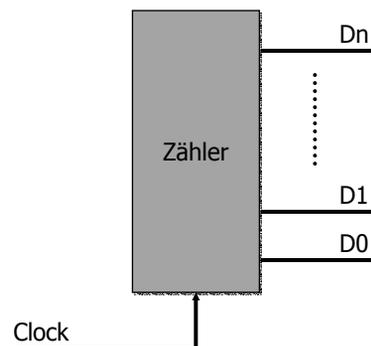
---

3b.29

## Zähler

---

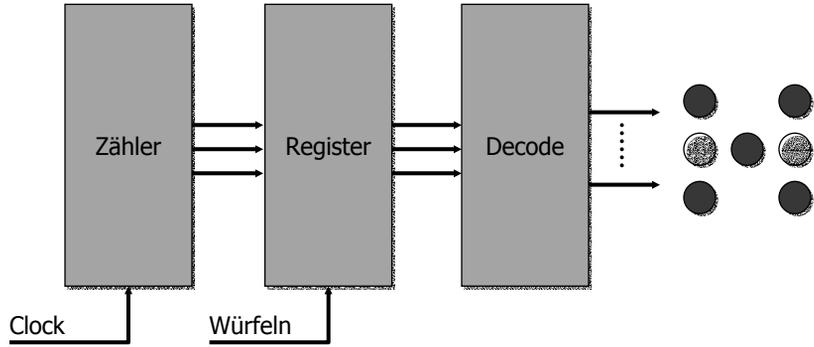
- Zustandsautomaten ohne zusätzliche Eingänge
  - Binärzähler (modulo  $k$ )
  - Excess-3-Code
  - Cray-Code
  - ...
- Optional asynchrones Reset



3b.31

# Weihnachtsaufgabe

- Elektronischer Würfel



3b.32