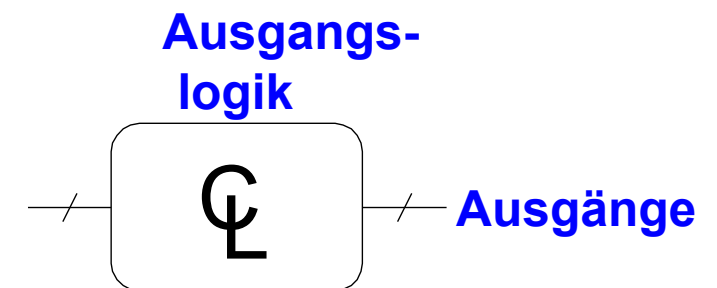
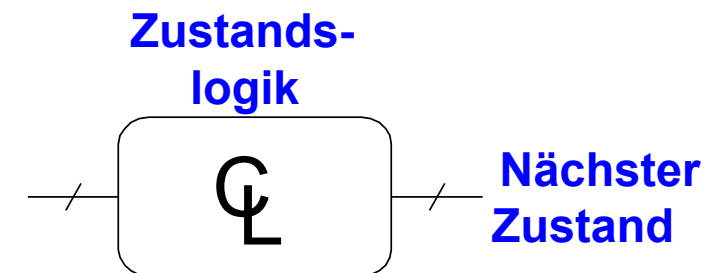
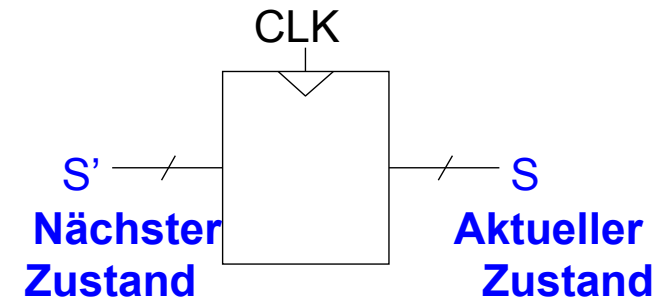


Endliche Zustandsautomaten (FSM)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Bestehen aus:
 - Zustandsregister**
 - Speichert **aktuellen** Zustand
 - Übernimmt **nächsten** Zustand bei Taktflanke
 - Kombinatorische Logik**
 - Berechnet **nächsten** Zustand
 - Berechnet **Ausgänge**



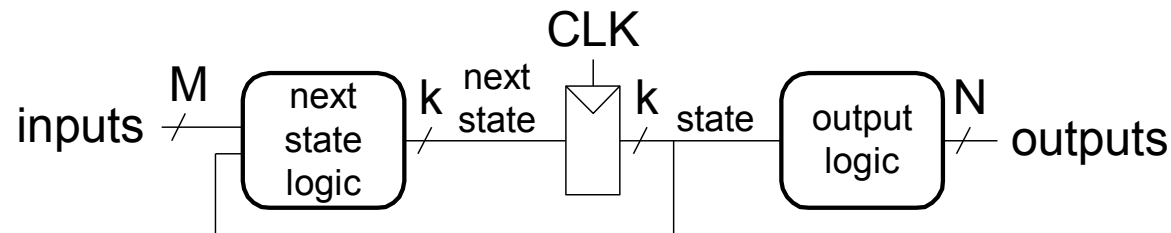
Endliche Zustandsautomaten (FSM)



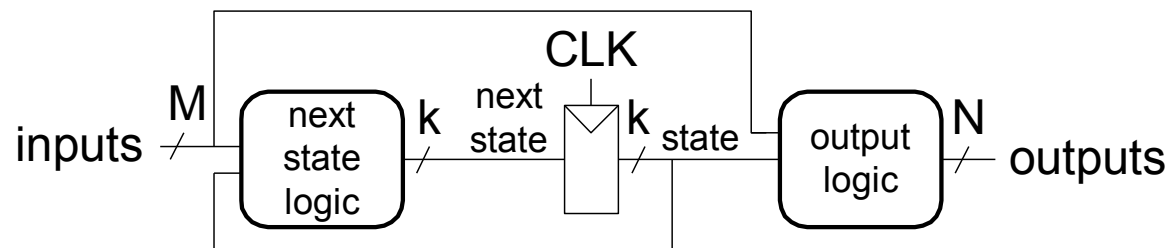
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Nächster Zustand hängt ab von **aktuellem** Zustand und **Eingangswerten**
- Ausgangswerte werden üblicherweise auf eine von zwei Arten bestimmt:
 - **Moore FSM**: Ausgänge hängen **nur** vom aktuellen Zustand ab
 - **Mealy FSM**: Ausgänge hängen vom aktuellen Zustand **und** den Eingangswerten ab

Moore FSM



Mealy FSM

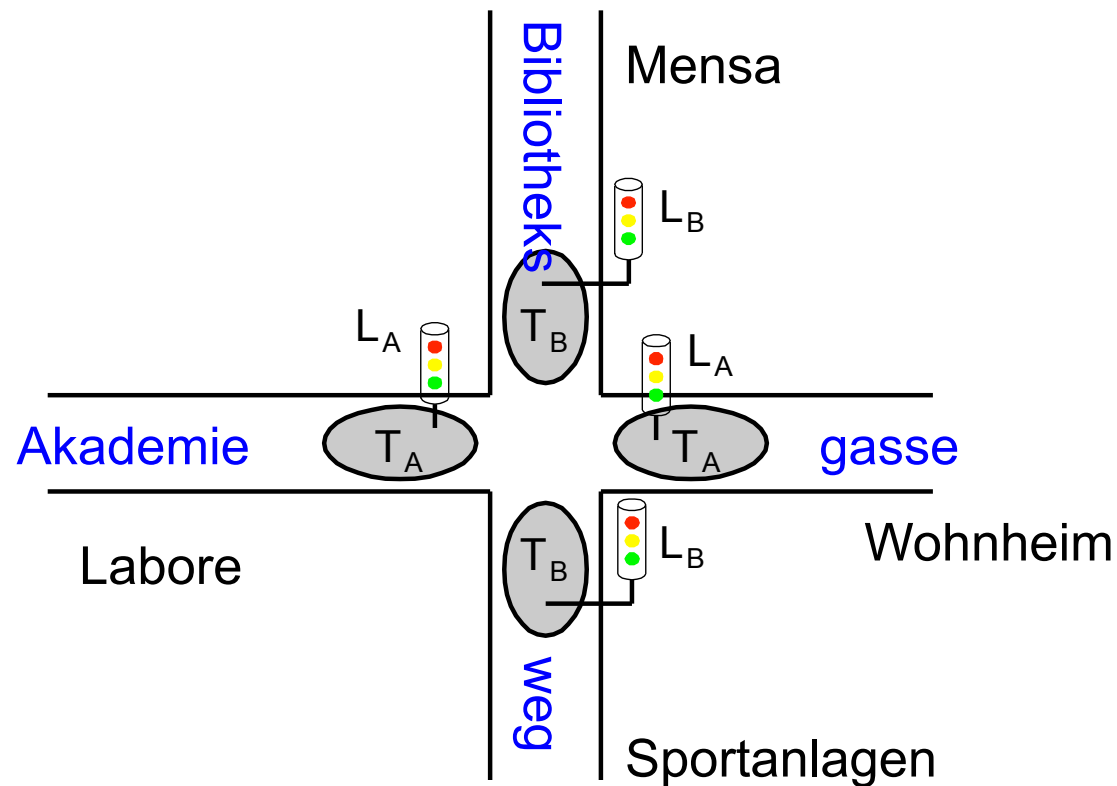


Beispiel für endlichen Zustandsautomaten



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Ampelsteuerung
 - Induktionsschleifen: T_A , T_B (TRUE wenn Autos detektiert werden)
 - Ampeln: L_A , L_B

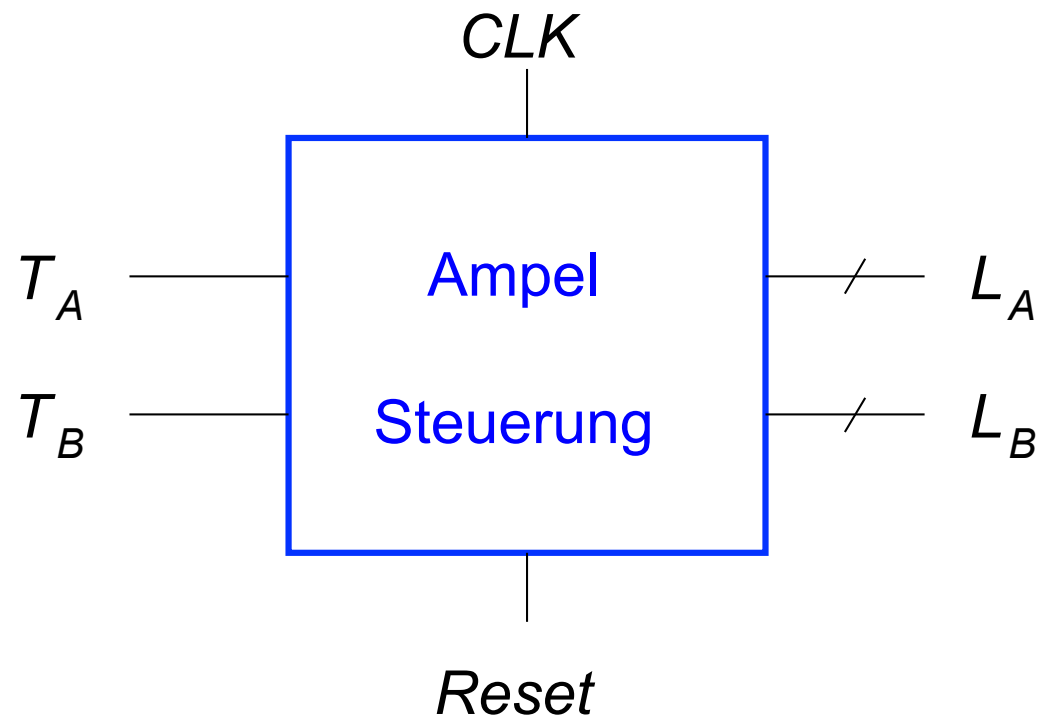


Endlicher Automat: Außenansicht (*black box*)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Eingänge: CLK , $Reset$, T_A , T_B
- Ausgänge: L_A , L_B

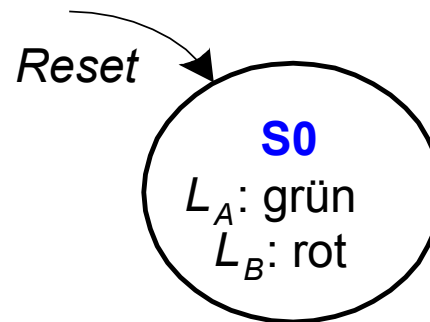


Zustandsübergangsdiagramm der FSM



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Moore FSM: Ausgangswerte den Zuständen zuordnen
- Zustände: Kreise
- Übergänge: Pfeile

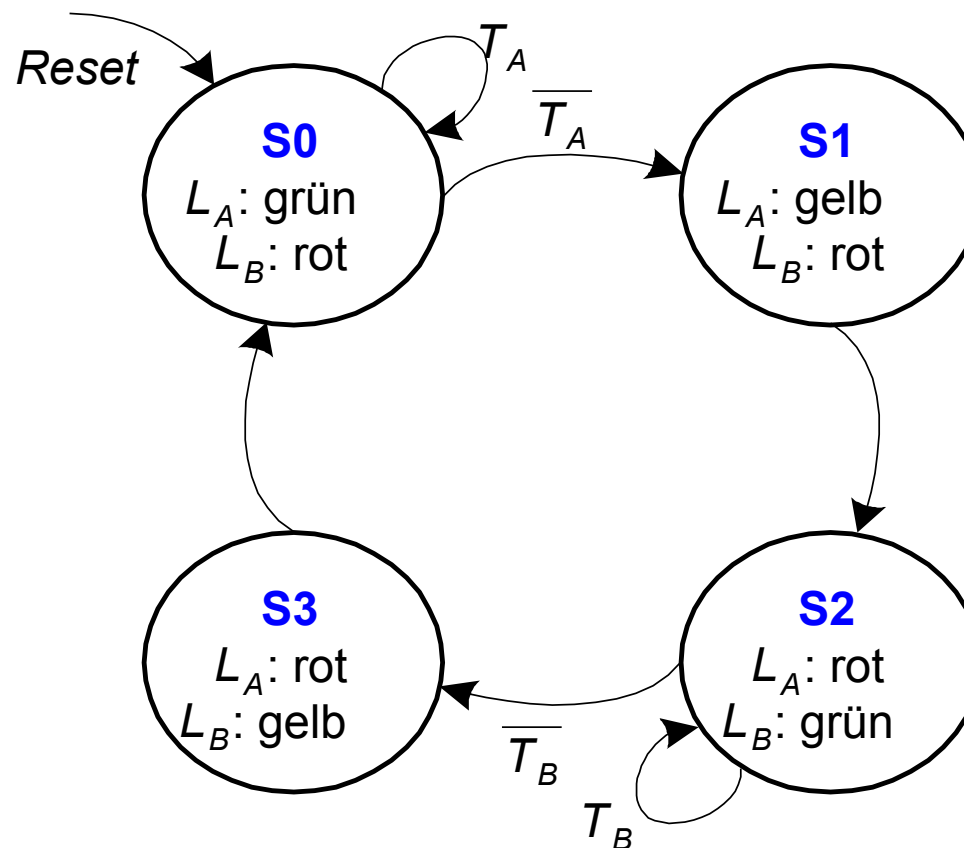


Zustandsübergangsdiagramm der FSM



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Moore FSM: Ausgangswerte den Zuständen zuordnen
- Zustände: Kreise
- Übergänge: Pfeile

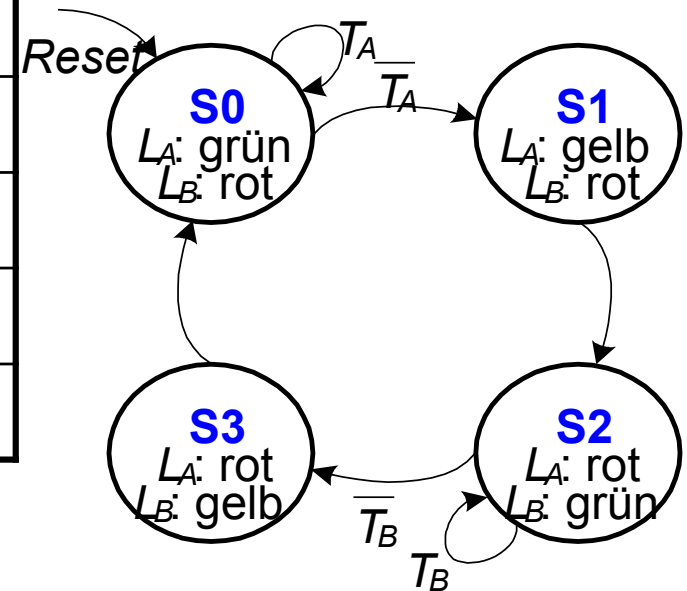


Zustandsübergangstabelle



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Aktueller Zustand	Eingänge		Nächster Zustand
S	T_A	T_B	S'
S0	0	X	
S0	1	X	
S1	X	X	
S2	X	0	
S2	X	1	
S3	X	X	



Zustandsübergangstabelle



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Aktueller Zustand	Eingänge		Nächster Zustand
	T_A	T_B	
S0	0	X	S1
S0	1	X	S0
S1	X	X	S2
S2	X	0	S3
S2	X	1	S2
S3	X	X	S0

Zustandsübergangstabelle mit binärkodierten Zuständen



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Zustand	Kodierung
S0	00
S1	01
S2	10
S3	11

Aktueller Zustand		Eingänge		Nächster Zustand	
S_1	S_0	T_A	T_B	S'_1	S'_0
0	0	0	X		
0	0	1	X		
0	1	X	X		
1	0	X	0		
1	0	X	1		
1	1	X	X		

Zustandsübergangstabelle mit binärkodierten Zuständen



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Zustand	Kodierung
S0	00
S1	01
S2	10
S3	11

Aktueller Zustand		Eingänge		Nächster Zustand	
S_1	S_0	T_A	T_B	S'_1	S'_0
0	0	0	X	0	1
0	0	1	X	0	0
0	1	X	X	1	0
1	0	X	0	1	1
1	0	X	1	1	0
1	1	X	X	0	0

$$S'_1 = S_1 \dot{\wedge} S_0$$

$$S'_0 = \overline{S_1} \overline{S_0} \overline{T_A} + S_1 \overline{S_0} \overline{T_B}$$

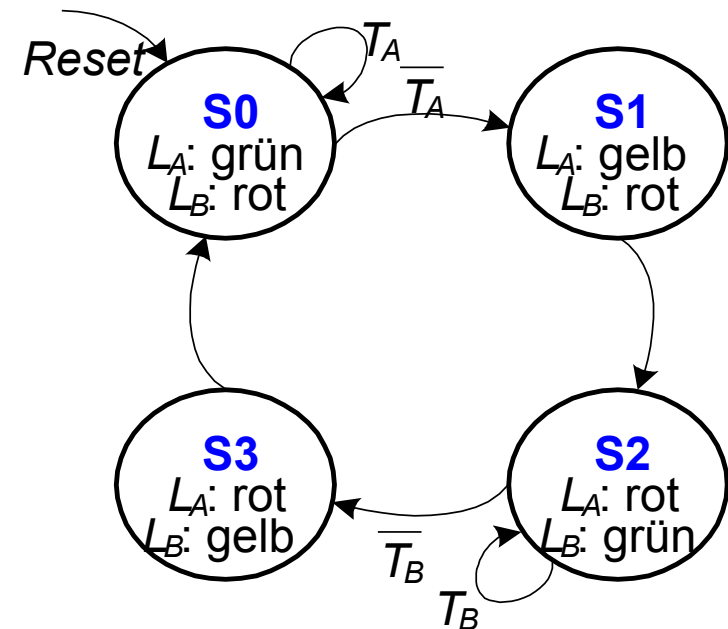
FSM Ausgangstabelle



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Aktueller Zustand		Ausgänge			
S_1	S_0	L_{A1}	L_{A0}	L_{B1}	L_{B0}
0	0				
0	1				
1	0				
1	1				

Ausgangswert	Kodierung
grün	00
gelb	01
rot	10



FSM Ausgangstabelle



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Aktueller Zustand		Ausgänge			
S_1	S_0	L_{A1}	L_{A0}	L_{B1}	L_{B0}
0	0	0	0	1	0
0	1	0	1	1	0
1	0	1	0	0	0
1	1	1	0	0	1

Ausgangs wert	Kodierung
grün	00
gelb	01
rot	10

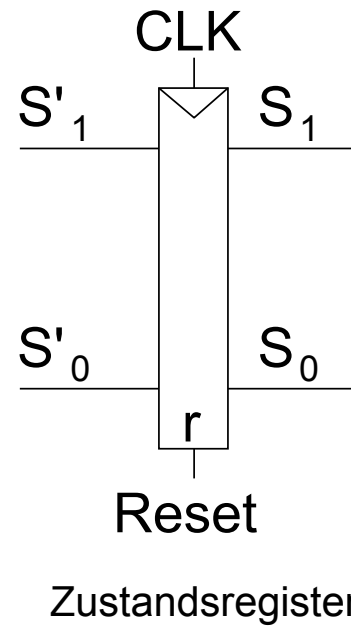
$$\begin{aligned}
 L_{A1} &= S_1 \\
 L_{A0} &= \overline{S_1} S_0 \\
 L_{B1} &= \overline{S_1} \\
 L_{B0} &= S_1 S_0
 \end{aligned}$$



FSM Schaltplan: Zustandsregister



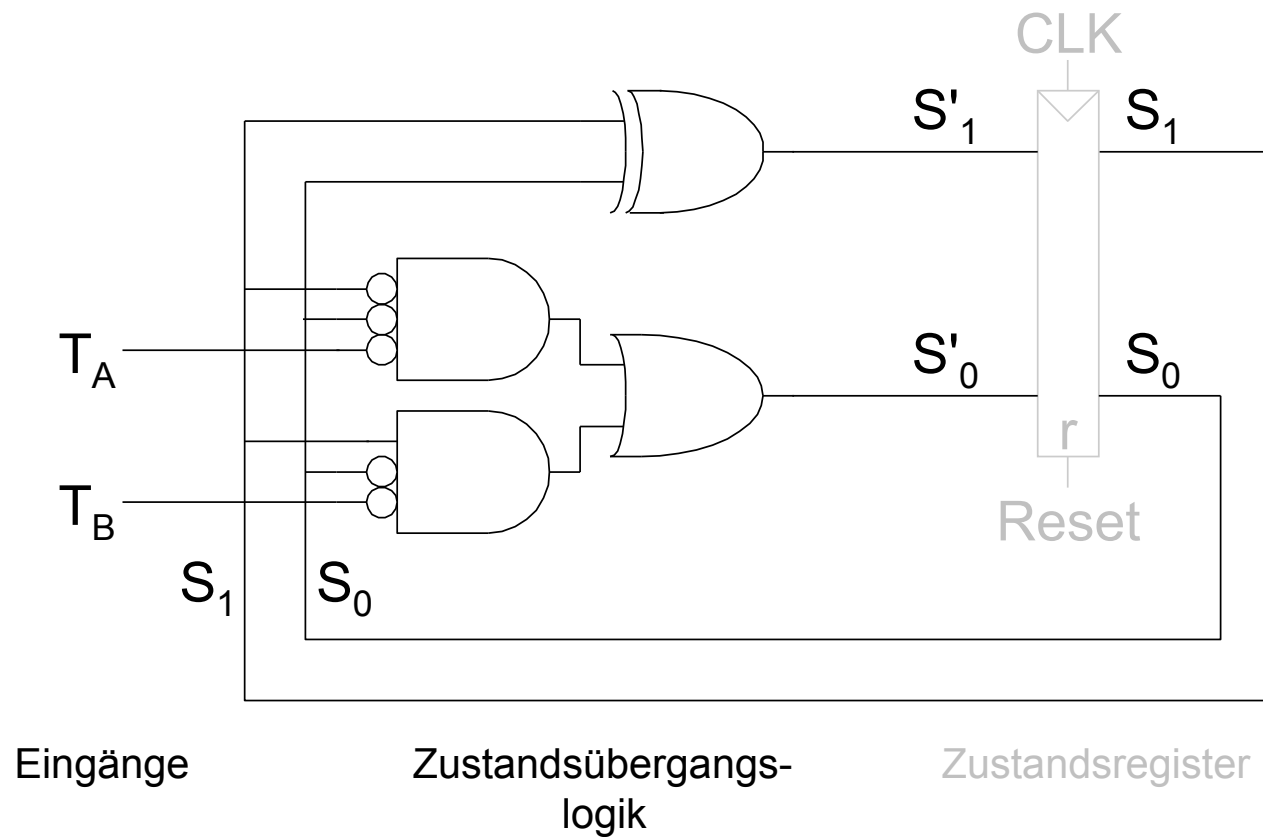
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



FSM Schaltplan: Zustandsübergangslogik



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



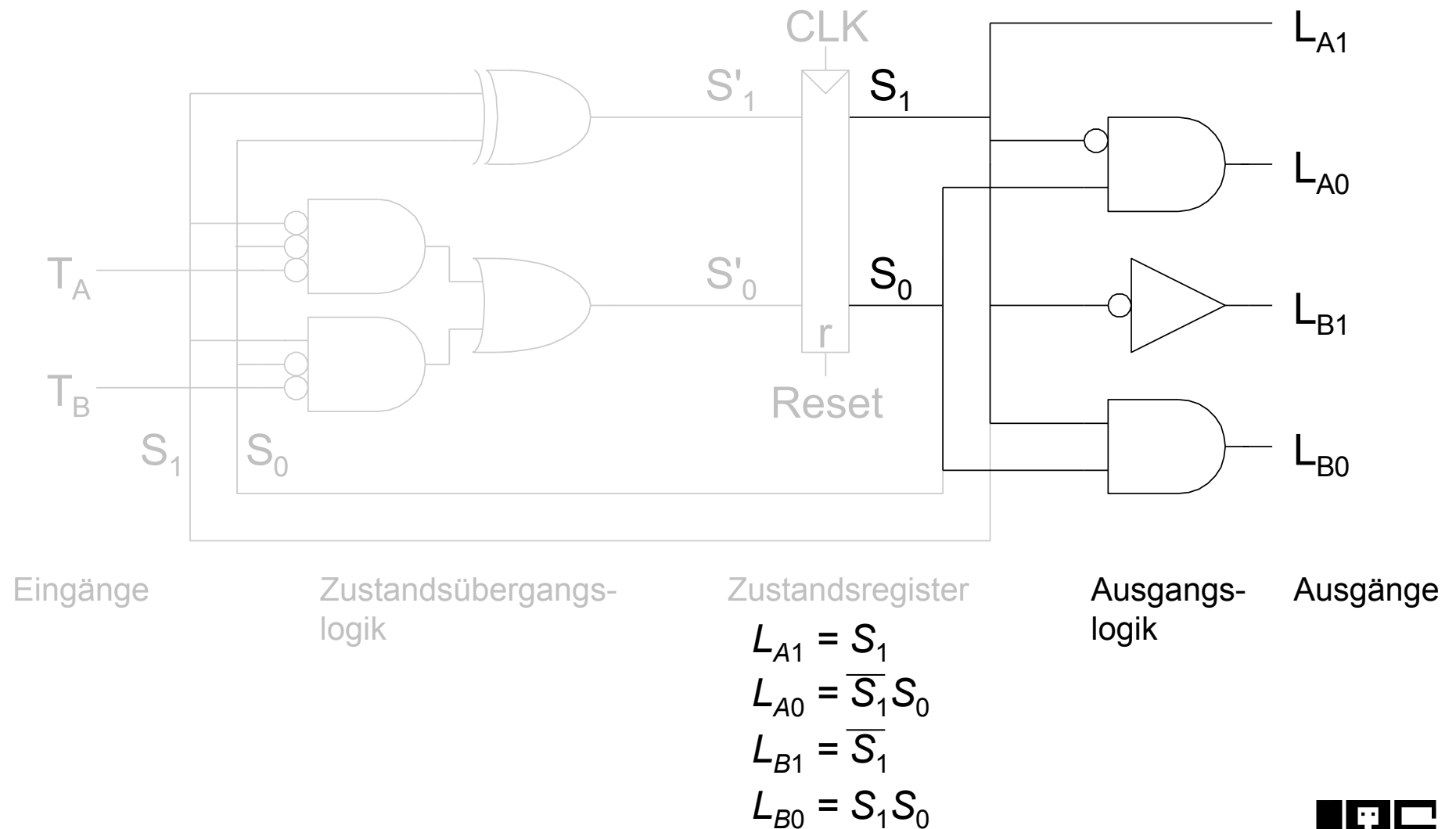
$$S'_1 = S_1 \dot{\wedge} S_0$$
$$S'_0 = \overline{S_1} \overline{S_0} T_A + S_1 \overline{S_0} \overline{T_B}$$



FSM Schaltplan: Ausgangslogik



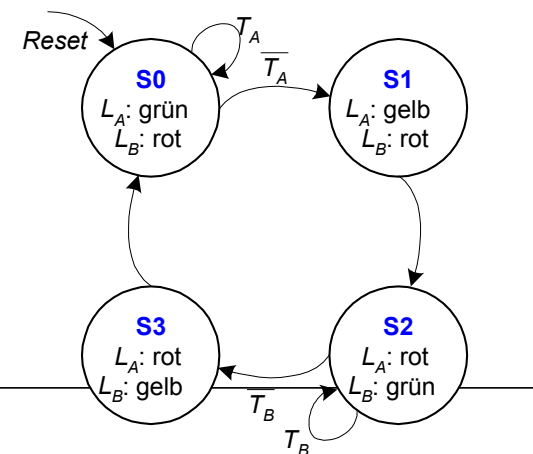
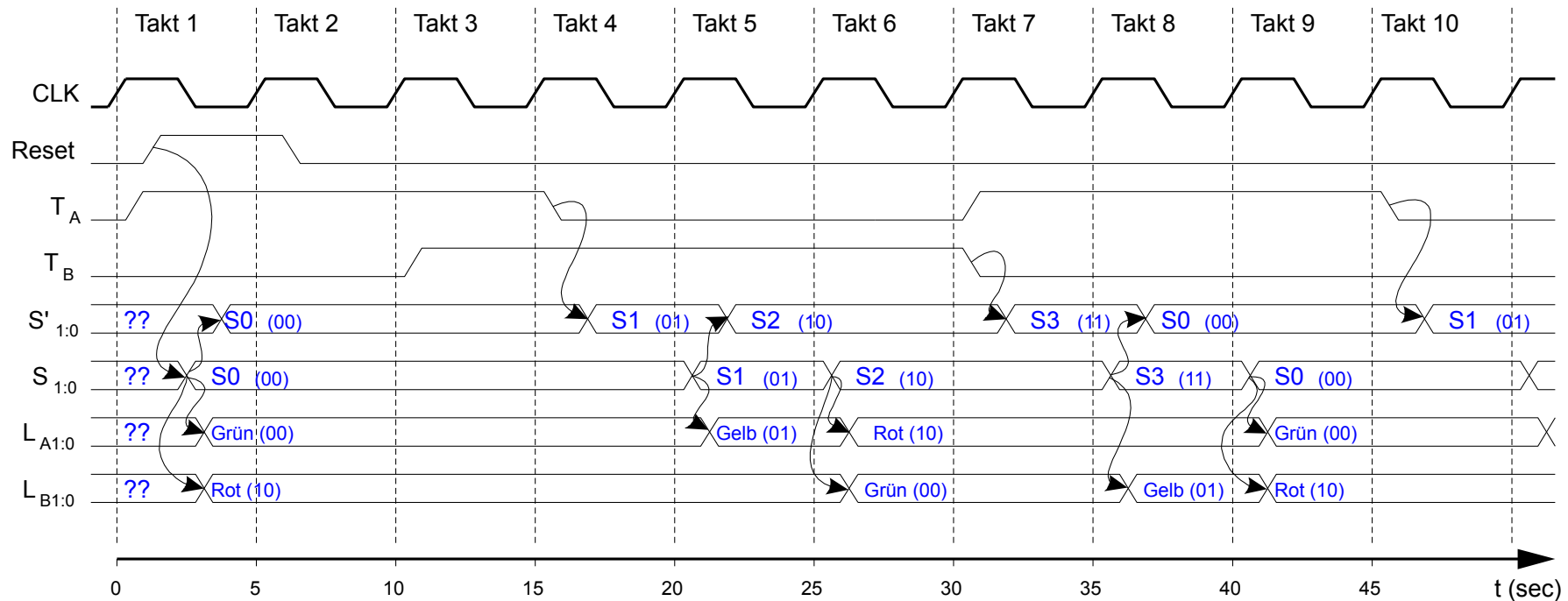
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



FSM Zeitverhalten: Timing-Diagramm



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Zustandskodierung in endlichen Automaten



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Binär
 - z.B. für vier Zustände 00, 01, 10, 11
- 1-aus-N Code (*One-hot encoding*)
 - Ein Zustandsbit **pro** Zustand
 - Zu jedem Zeitpunkt ist **genau** ein Zustandsbit gesetzt
 - z.B. für vier Zustände 0001, 0010, 0100, 1000
 - Benötigt zwar **mehr** Flip-Flops
 - ... aber Zustandsübergangs- und Ausgangslogiken sind häufig **kleiner**
 - ... und **schneller**

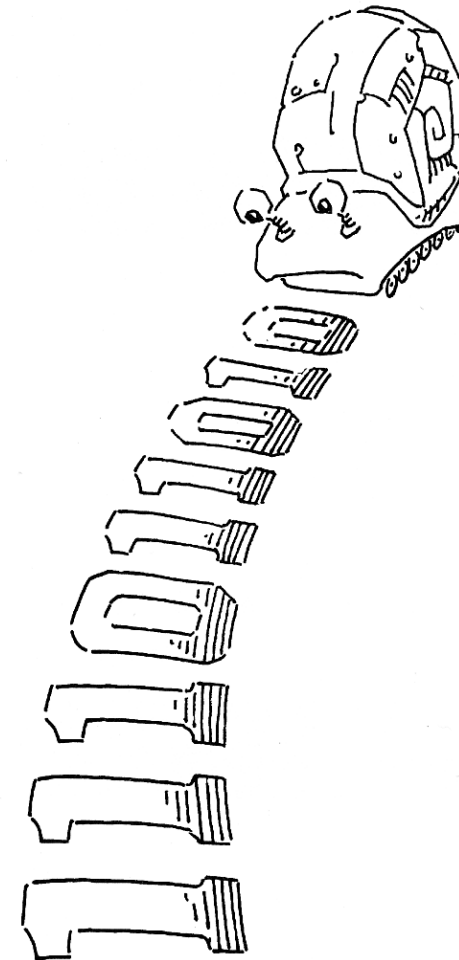


Vergleich Moore- und Mealy-Automaten



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Erkenne Bitfolge 1101 auf Lochstreifen

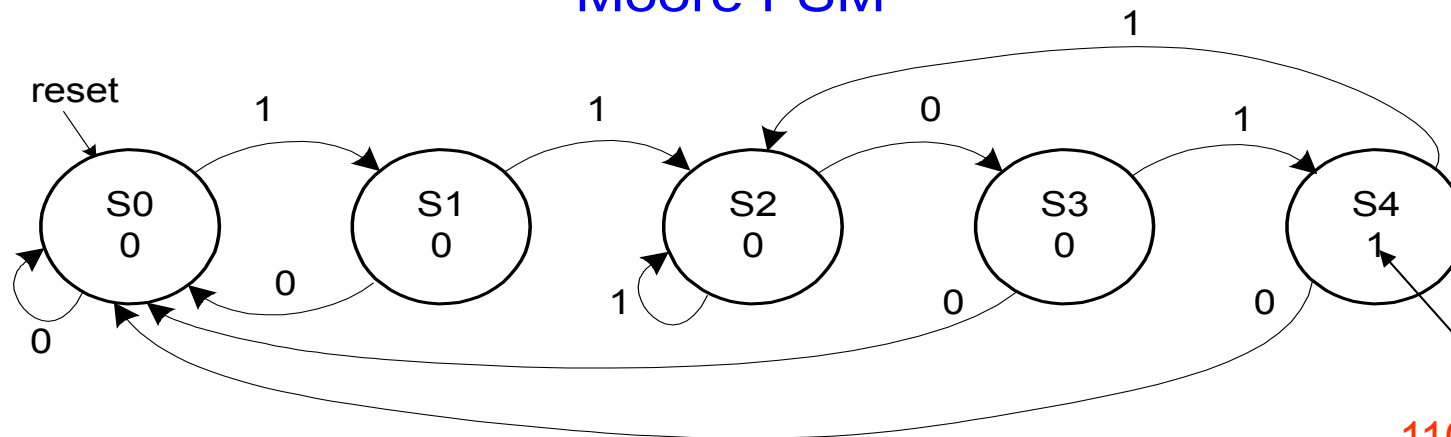


Zustandsübergangsdiagramme



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

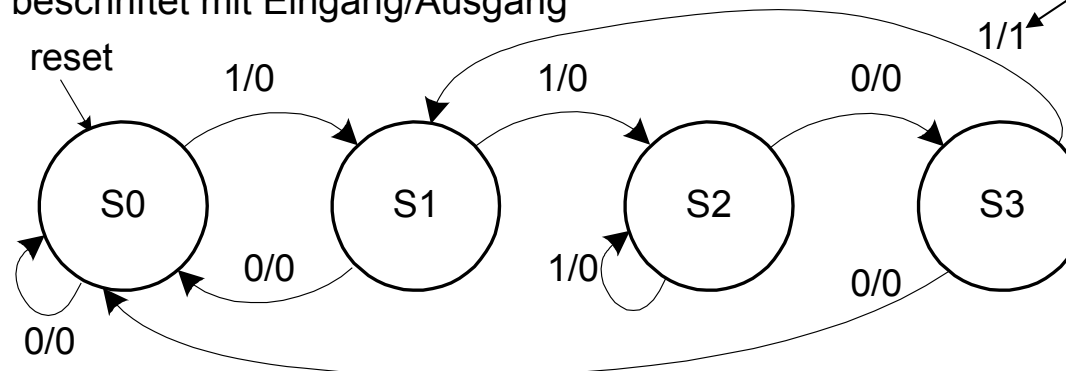
Moore FSM



1101 erkannt

Mealy FSM

Mealy FSM: Pfeile beschriftet mit Eingang/Ausgang



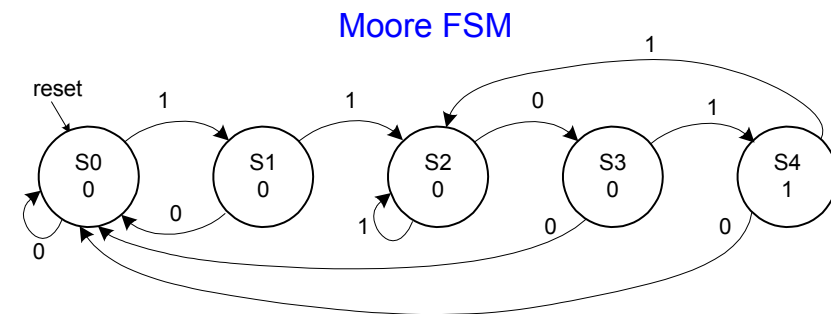
Moore-Automat: Zustandsübergangstabelle



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Aktueller Zustand			Eingänge A	Nächster Zustand		
S_2	S_1	S_0		S'_2	S'_1	S'_0
0	0	0	0			
0	0	0	1			
0	0	1	0			
0	0	1	1			
0	1	0	0			
0	1	0	1			
0	1	1	0			
0	1	1	1			
1	0	0	0			
1	0	0	1			

Zustand	Kodierung
S0	000
S1	001
S2	010
S3	011
S4	100



Moore-Automat: Zustandsübergangstabelle



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Aktueller Zustand			Eingang	Nächster Zustand		
S_2	S_1	S_0		S'_2	S'_1	S'_0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	1	0	1	0
0	1	0	0	0	1	1
0	1	0	1	0	1	0
0	1	1	0	0	0	0
0	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	1	0

Zustand	Kodierung
S0	000
S1	001
S2	010
S3	011
S4	100



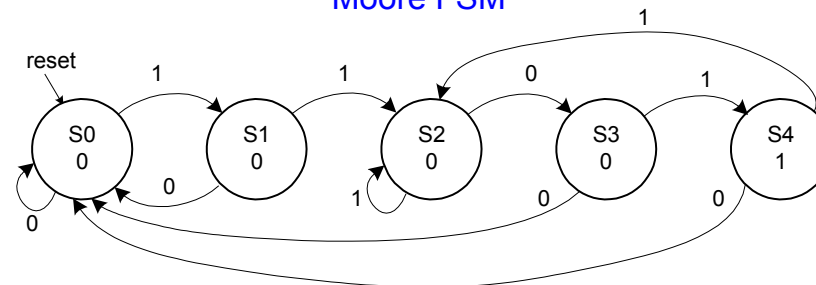
Moore-Automat: Ausgangstabelle



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Aktueller Zustand			Ausgang
S_2	S_1	S_0	Y
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	

Moore FSM



Moore-Automat: Ausgangstabelle



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Aktueller Zustand			Ausgang
S_2	S_1	S_0	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1

$$Y = S_2$$

Mealy-Automat: Zustandsübergangs- und Ausgangstabelle

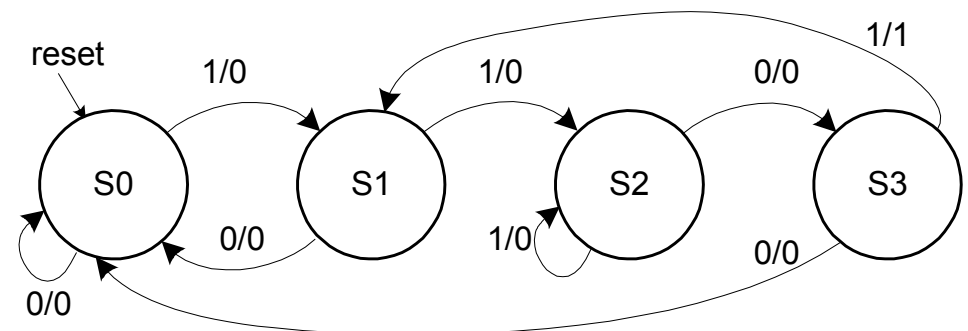


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Aktueller Zustand		Eingang	Nächster Zustand		Ausgang
S_1	S_0	A	S'_1	S'_0	Y
0	0	0			
0	0	1			
0	1	0			
0	1	1			
1	0	0			
1	0	1			
1	1	0			
1	1	1			

Zustand	Kodierung
S0	00
S1	01
S2	10
S3	11

Mealy FSM



Mealy-Automat: Zustandsübergangs- und Ausgangstabelle



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Aktueller Zustand		Eingang	Nächster Zustand		Ausgang
S_1	S_0	A	S'_1	S'_0	Y
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0
1	0	0	1	1	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	0
1	1	1	0	1	1

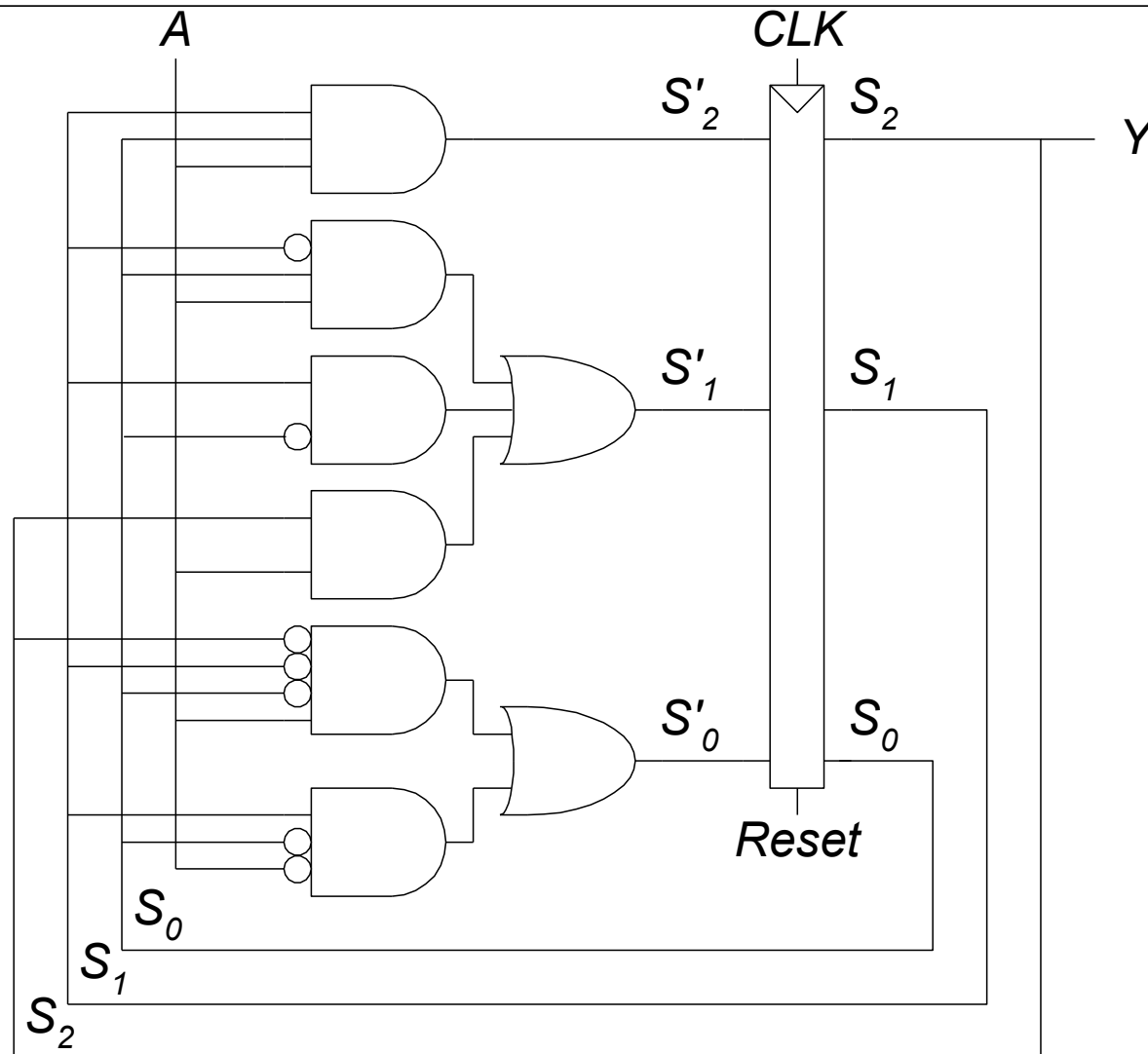
Zustand	Kodierung
S0	00
S1	01
S2	10
S3	11



Moore-Automat: Schaltplan



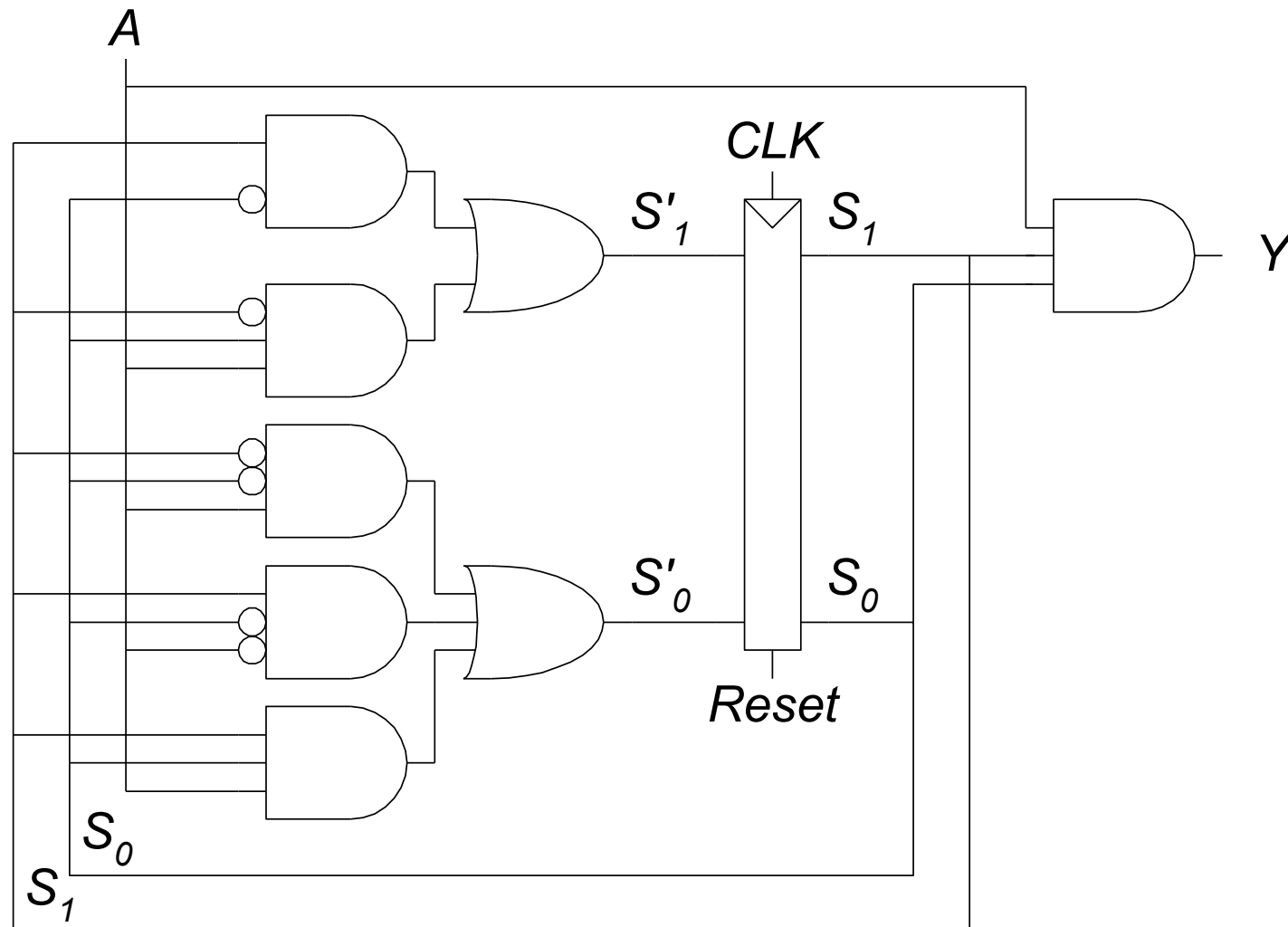
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Mealy-Automat: Schaltplan



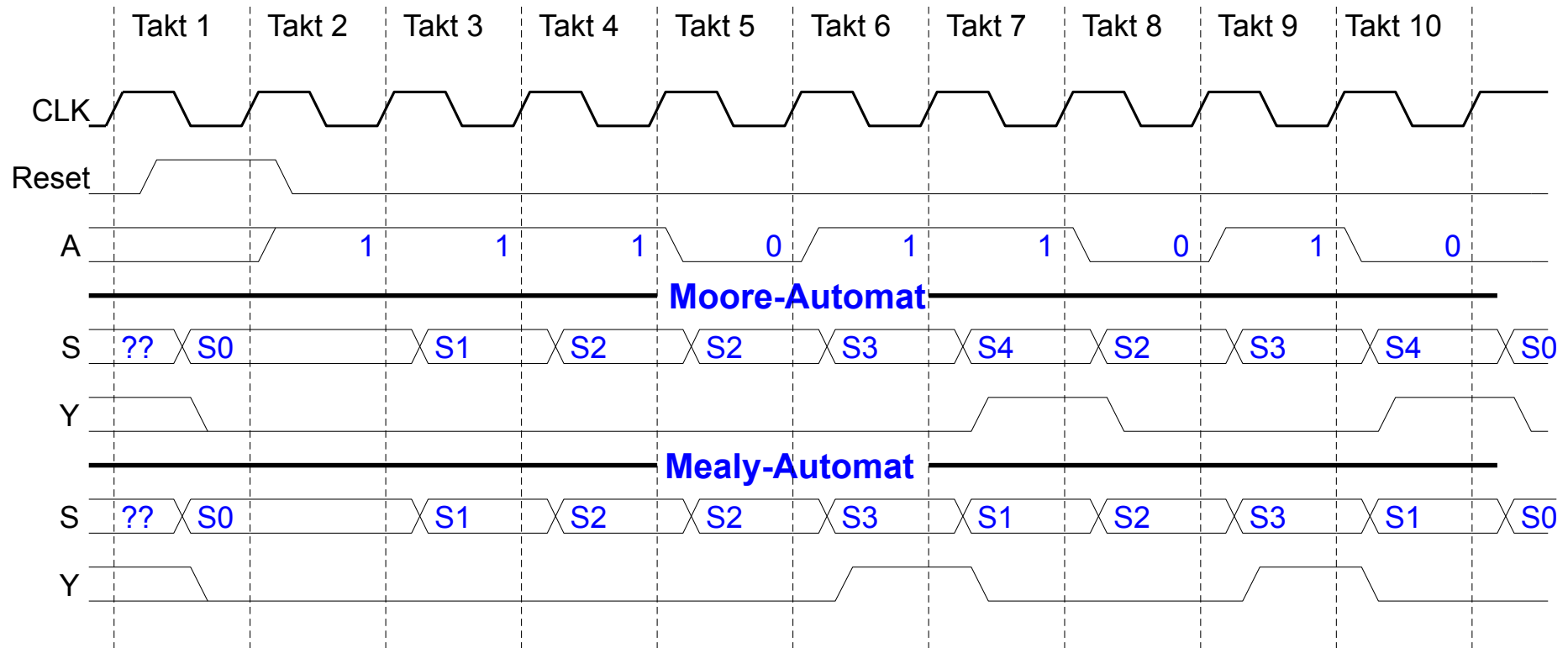
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



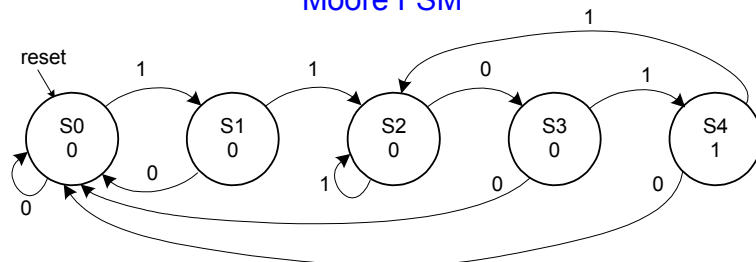
Moore- und Mealy-Automaten: Zeitverhalten



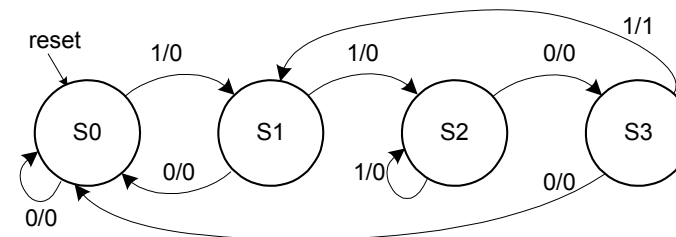
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Moore FSM



Mealy FSM

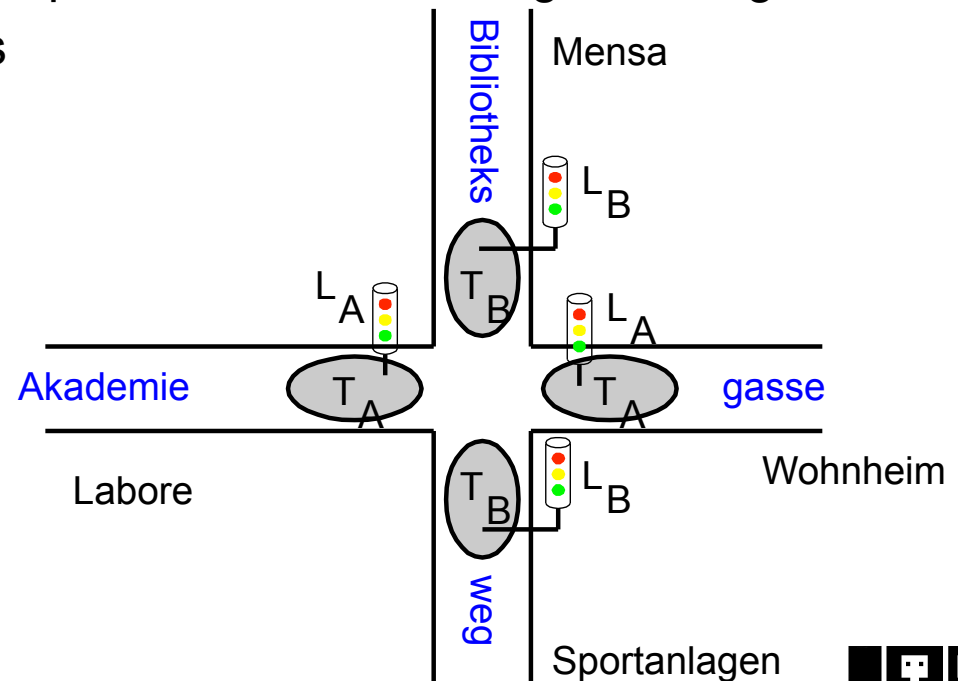


Zerlegen von Zustandsautomaten



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Aufteilen **komplexer** FSMs in **einfachere interagierende** FSMs
 - Manchmal auch Dekomposition genannt
- Beispiel: Erweitere Ampelsteuerung um Modus für **Festumzüge**
 - FSM bekommt zwei weitere Eingänge: F , R
 - $F = 1$ **aktiviert** Festumzugsmodus: Ampeln für Bibliotheksweg bleiben grün
 - $R = 1$ **deaktiviert** Festumzugsmodus



FSM mit Festumzugsmodus

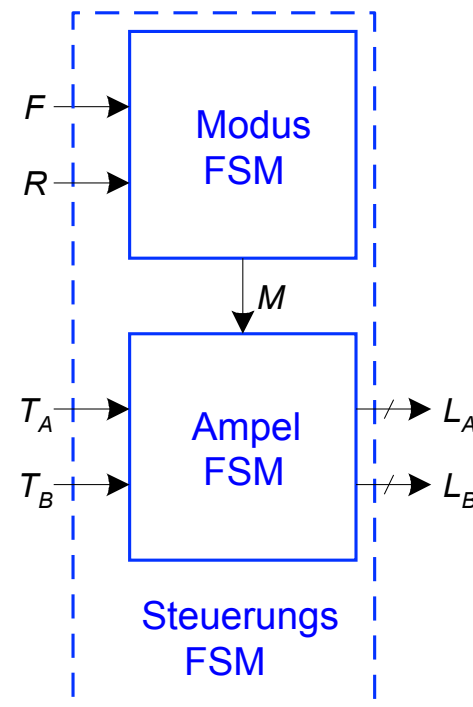


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Unzerlegte FSM



Zerlegte FSM

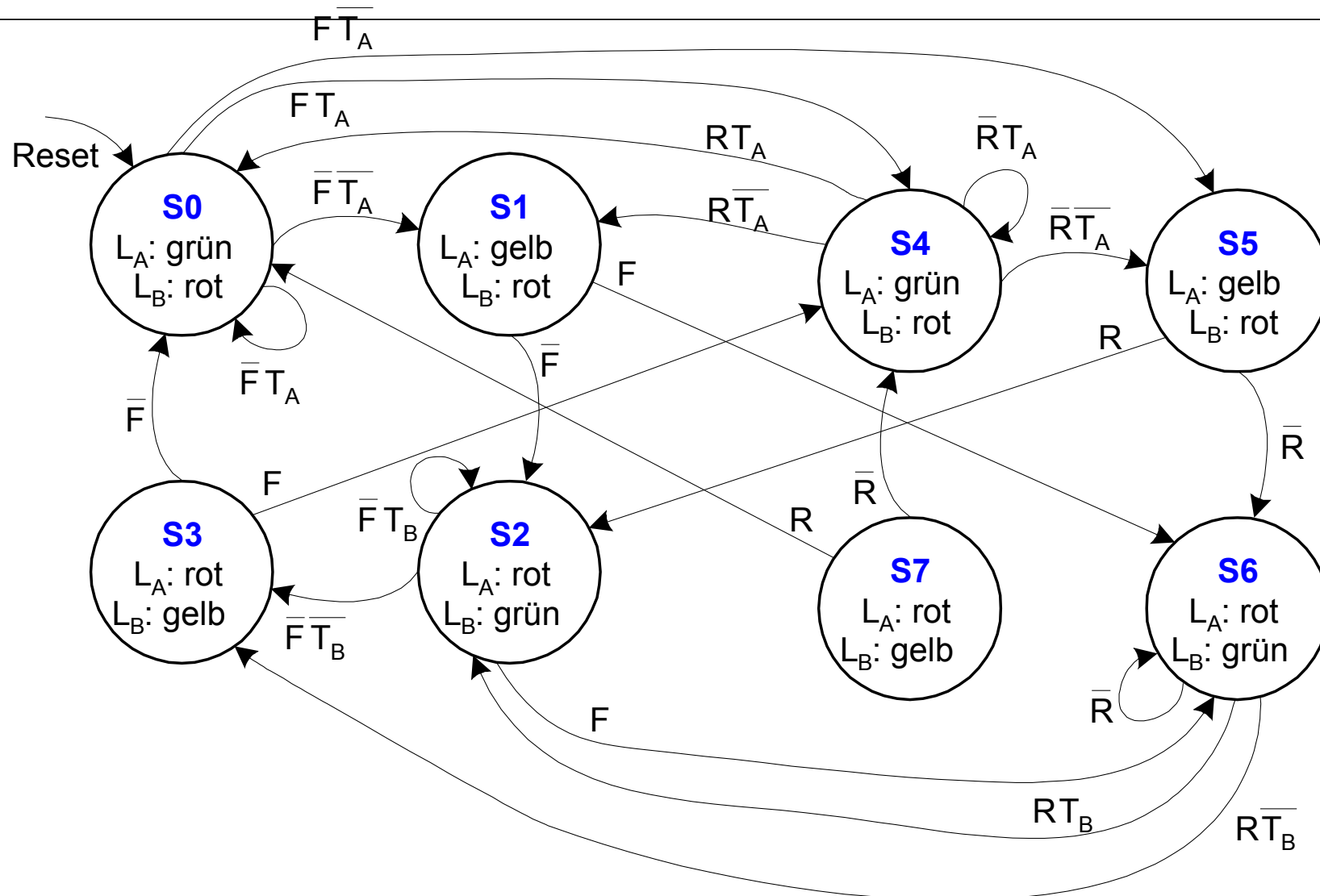


LEHRE WIKI
TEST IN
DREI
FOLIEN

Zustandsübergangsdiagramm für unzerlegte FSM



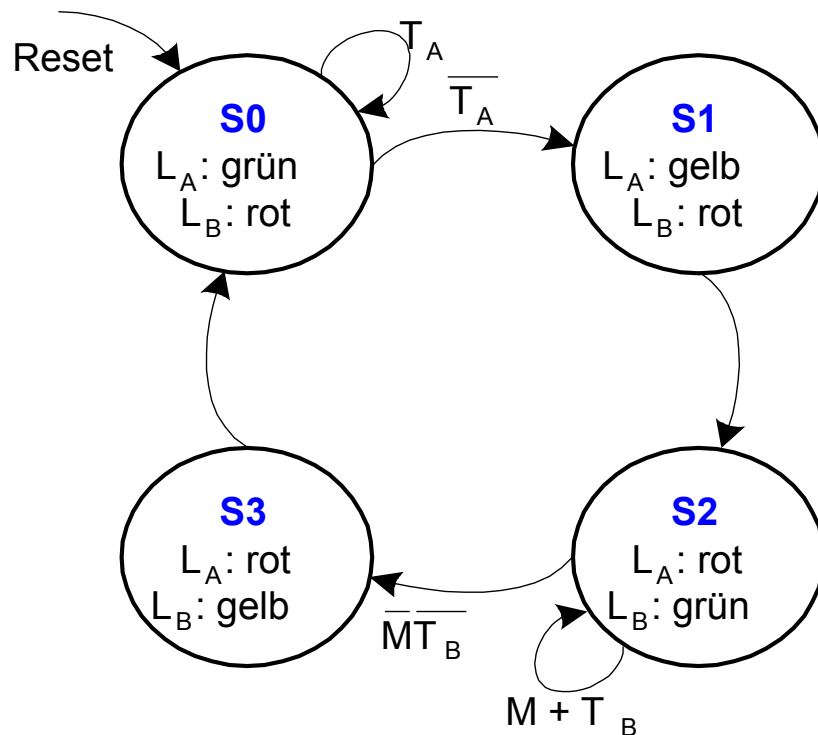
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



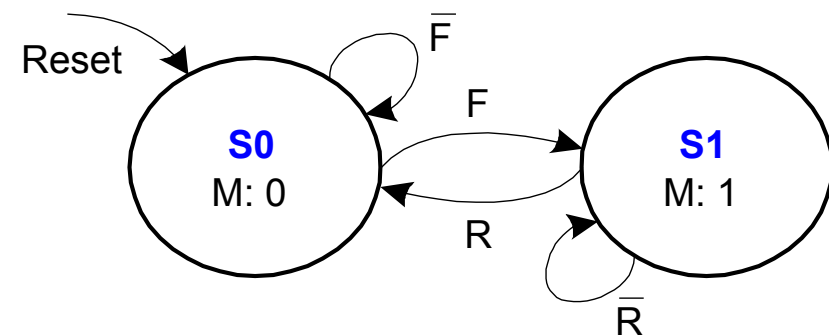
Zustandsübergangsdiagramm für zerlegte FSM



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Ampelsteuerungs FSM



Modus FSM



Entwurfsv Verfahren für endliche Automaten



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Definiere Ein- und Ausgänge
- Zeichne Zustandsdiagramm
- Stelle Zustandsübergangstabelle auf
- Kodiere Zustände (binär, one-hot, ...)
- Für Moore-Automat:
 - Verwende kodierte Zustände in Zustandsübergangstabelle
 - Stelle Ausgangstabelle auf
- Für Mealy-Automat
 - Erweitere Zustandsübergangstabelle um Ausgänge und verwende kodierte Zustände
- Stelle Boole'sche Gleichungen für Zustandsübergangs- und Ausgangslogiken auf
- Entwerfe Schaltplan
 - Gatter, Register





- Bitte jetzt auf LEHRE WIKI eine Frage beantworten!