Universität Bielefeld
Technische Fakultät

RVS
Rechnernetze und Verteilte Systeme

Technische Informatik I

Schaltnetze und Schaltwerke II

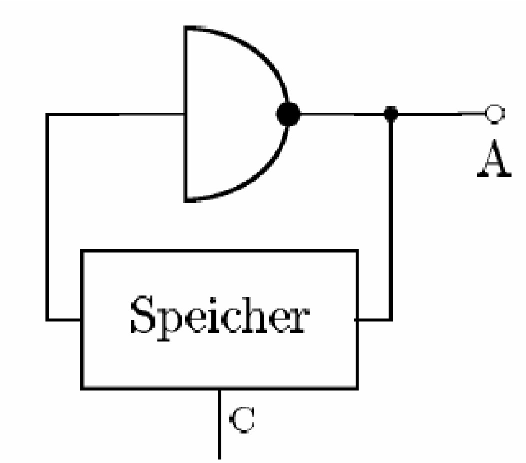
Tim Köhler
tkoehler@techfak.uni-bielefeld.de

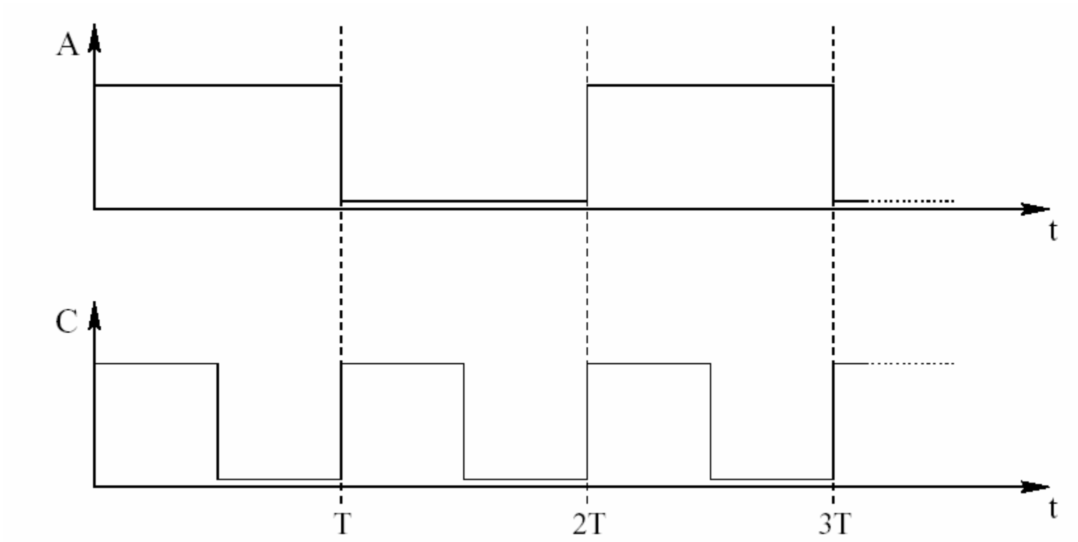
Übersicht

- Beispielschaltwerke
- Allgemeines zu sequentiellen Automaten
- Mealy- und Moore-Automat
- Beispielschaltwerk zur Steuerung einer Ampelanlage

Beispielschaltwerk 1

- Schaltwerk: Schaltnetz und Speicher
- Einfachstes Beispiel:

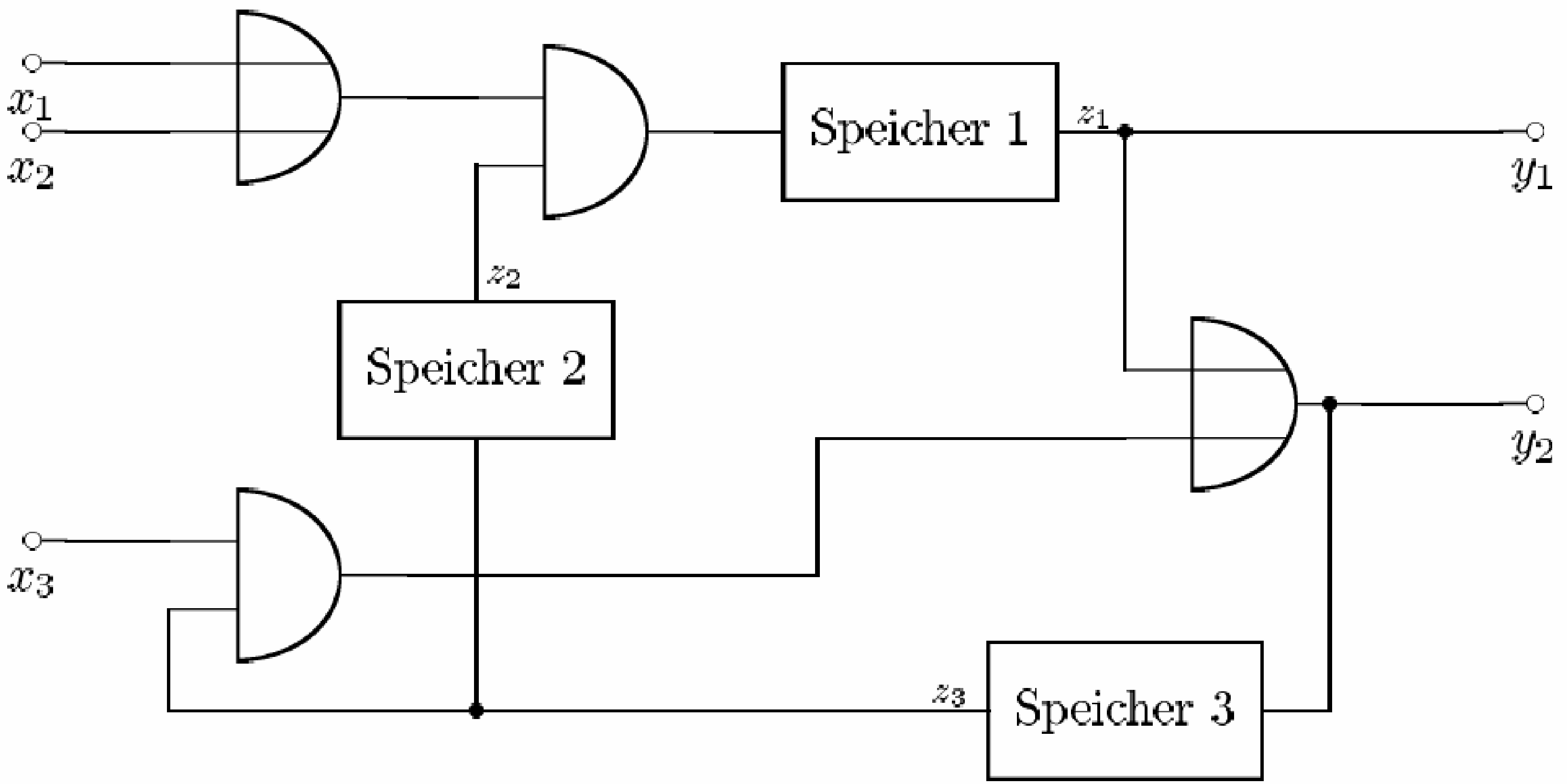




- Bemerkung: Direkter Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgang im allgemeinen nicht sofort zu erkennen/anzugeben

Beispielschaltwerk 2 - 1/3

- Bestimmung des Ausgangswortes :



Beispielschaltwerk 2 - 2/3

- Eingabewort x = (x_1, x_2, x_3)
- Ausgabewort y = (y_1, y_2)
- Zustandswort y = (z_1, z_2, z_3)
- 1.Schritt: z (in Zeitindexschreibweise) analysieren:

$$z_1(k+1) = (x_1(k) \vee x_2(k)) \wedge z_2(k)$$
$$z_2(k+1) = z_3(k)$$
$$z_3(k+1) = z_1(k) \vee (x_3(k) \wedge z_3(k))$$

- 2.Schritt: y (in Zeitindexschreibweise) analysieren:

$$y_1(k) = z_1(k)$$
$$y_2(k) = z_1(k) \vee (x_3(k) \wedge z_3(k))$$

- Fertig! Jetzt konkrete Belegungen einsetzen:

Beispielschaltwerk 2 - 3/3

- Zum Beispiel: Zustand für k=0 sei z=(0,1,0)
- Eingabefolge: (1,1,0,) (0,0,1) (0,1,1)
- Aus dem Gleichungssystemen für z und y folgt dann:

k =	0
x_1	1
x_2	1
x_3	0
z_1	0
z_2	1
z_3	0
y_1	
y_2	

k =	0	1
x_1	1	
x_2	1	
x_3	0	
z_1	0	
z_2	1	
z_3	0	
y_1	0	
y_2	0	

k =	0	1
x_1	1	0
x_2	1	0
x_3	0	1
z_1	0	1
z_2	1	0
z_3	0	0
y_1	0	
y_2	0	

k =	0	1	2	3
x_1	1	0	0	...
x_2	1	0	1	...
x_3	0	1	1	...
z_1	0	1	0	...
z_2	1	0	0	...
z_3	0	0	1	...
y_1	0	1	0	...
y_2	0	1	1	...

Allgemeiner sequentieller Automat

- n Eingänge, m Ausgänge, q Speicher
- Beschreibbar durch Gleichungssystem:

$$
\begin{aligned}
z_1(k+1) &= f_1(z_1(k), \dots, z_q(k), x_1(k), \dots, x_n(k)) \\
&\dots \\
z_q(k+1) &= f_q(z_1(k), \dots, z_q(k), x_1(k), \dots, x_n(k)) \\
y_1(k) &= g_1(z_1(k), \dots, z_q(k), x_1(k), \dots, x_n(k)) \\
&\dots \\
y_m(k) &= g_m(z_1(k), \dots, z_q(k), x_1(k), \dots, x_n(k))
\end{aligned}
$$

Allgemeiner sequentieller Automat 1

- Damit ist die vollständige Angabe des Folgezustands und der Ausgabe eines endlichen binären Zustandsautomaten, d. h. eines Automaten mit endlich vielen Zuständen (2^q Zustände), möglich durch die Angabe:

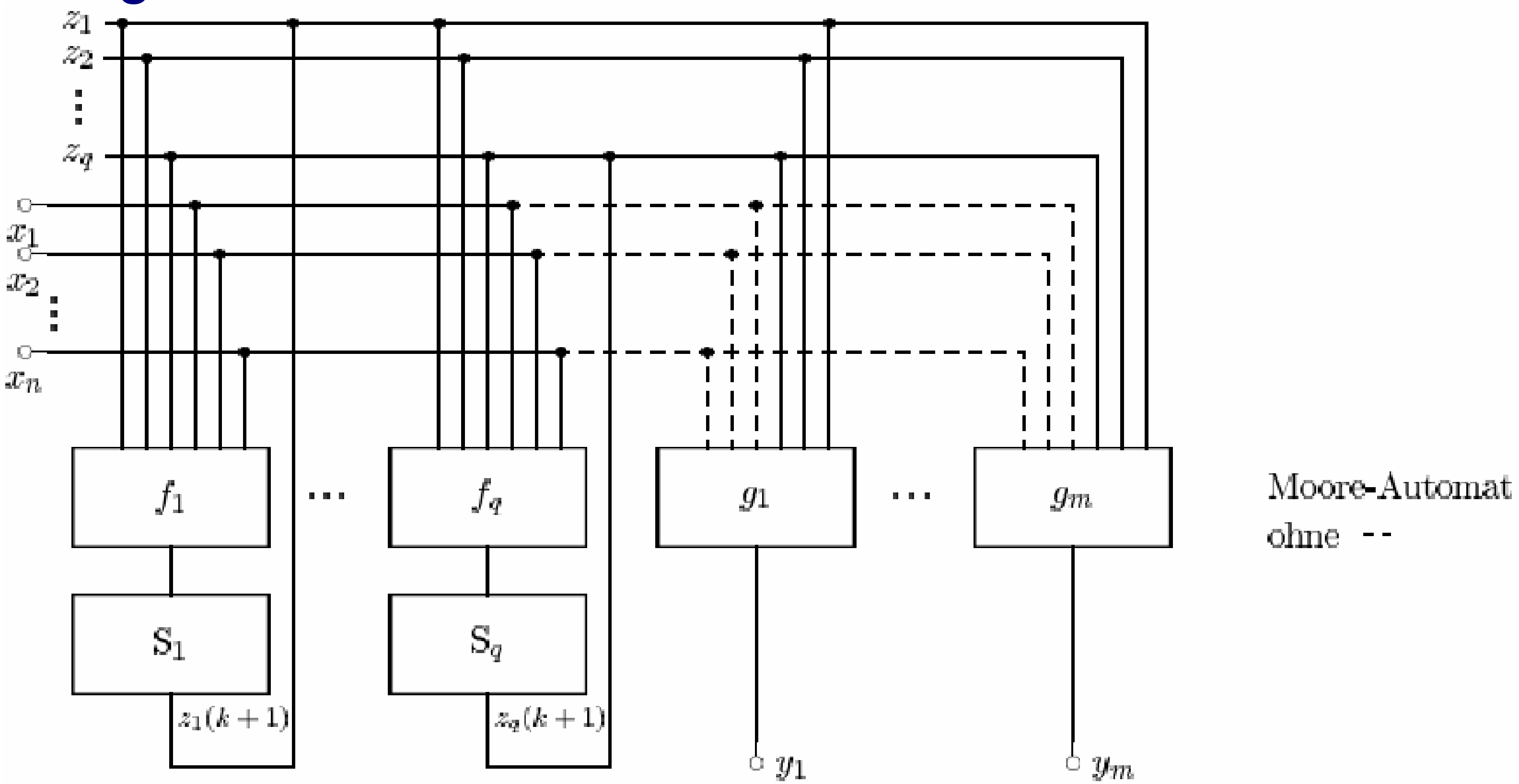
- seines Zustandswortes $z(k) = (z_1(k),...,z_q(k)) \in \{0,1\}^q$
- seines Eingabewortes $x(k) = (x_1(k),...,x_n(k)) \in \{0,1\}^n$
- seiner Ausgabefunktion $g_j : B^q \times B^n \rightarrow B$
  mit endlich vielen $g_j(x, z) = y_j$ und $j = 1...m$
- seiner Übergangsfunktion $f_i : B^q \times B^n \rightarrow B$, $z_i' = f_i(z,x)$, $i = 1...q$
  mit $z_i' = z_i(k+1)$

Allgemeiner sequentieller Automat 2

- **Binärer endlicher Zustandsautomat** (auch **Mealy-Automat**) A = (X,Y,Z,f,g) mit
- Eingabealphabet $X = B^n$
- Ausgabealphabet $Y= B^m$
- Zustandsalphabet $Z=B^q$
- Übergangsfunktion $f=(f_1,f_2,\ldots,f_q)$
  mit den Abbildungen $f_i : Z \times X \rightarrow B$ mit $f_i(x,z)=z_i'$
- Ausgabefunktion $g=(g_1,g_2,\ldots,g_m)$
  mit den Abbildungen $g_i : Z \times X \rightarrow B$ mit $g_i(x,z)=y_i$
- **Realisierung:** Speicher und Schaltnetze
- f und g : Kombinatorische Automaten aus q, bzw. m Schaltfunktionen $\rightarrow$ 2 Schaltnetze und q Speicher

Moore-Automat

- Spezialfall des (allgemeinen) binären endlichen Zustandsautomat (Mealy-Automat)
- Ausgabe hängt nur von Z, nicht von der momentanen Eingabe ab



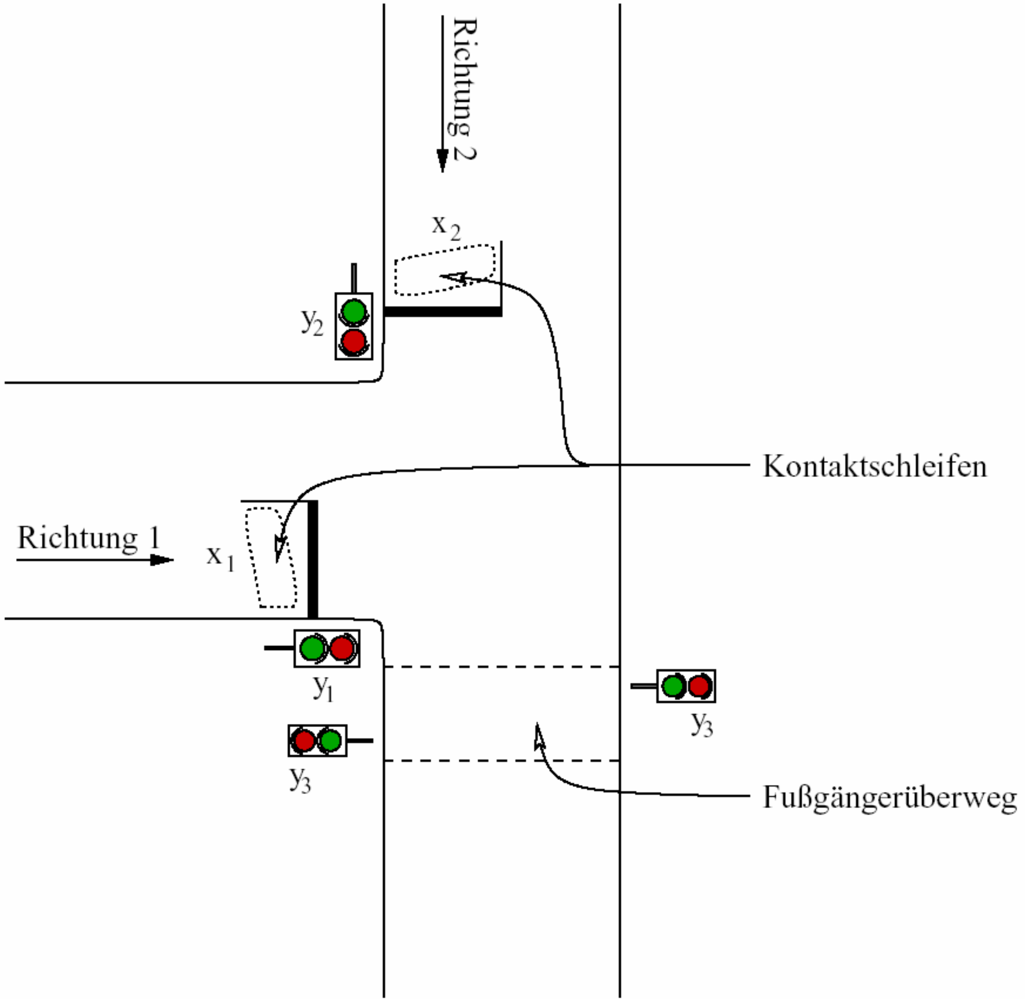
Wertetabellen

- Wertetabellen dienen bei den Schaltwerken - ähnlich wie bei den Schaltnetzen - zur Darstellung und Entwicklung des Verhaltens
- Neben x und y jetzt auch Eingabespalte für z und Ausgabespalte für z‘
- Für vollständiges Design für jeden der 2^q Zustände 2^n Zeilen (für jede Eingabekombination)

z	x	y	z'
0	0	$y_1(z,x), \dots, y_m(z,x)$	$f_1(z,x), \dots, f_q(z,x)$
0	1		
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
0	$2^n - 1$		
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$2^q - 1$	0		
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$2^q - 1$	$2^n - 1$		

Beispiel: Ampelschaltung 1/5

- Aufgabe: Design eines sequentiellen Automaten mit q(=?) Zustandsspeichern für folgende Situation:



Beispiel: Ampelschaltung 2/5

- Verhaltensspezifikation:
  - Normalerweise sind beide Fahrtrichtungen blockiert und Fußgänger haben grün
  - Wird ein Fahrzeug auf einer der beiden Kontaktschleifen erkannt, so wird die entsprechende Ampel für eine Taktphase auf grün, danach wieder auf rot geschaltet

Beispiel: Ampelschaltung 3/5

- Eingabe $x = (x_1,x_2)$ mit x_i : Fahrzeug auf Schleife i
- Ausgabe $y = (y_1,y_2,y_3)$ mit y_i : Ampel i grün
- Zustände $z = (z_1,z_2)$ mit z_i : Richtung i frei. N.B.: Zustand (1,1) sei aus Sicherheitsgründen verboten

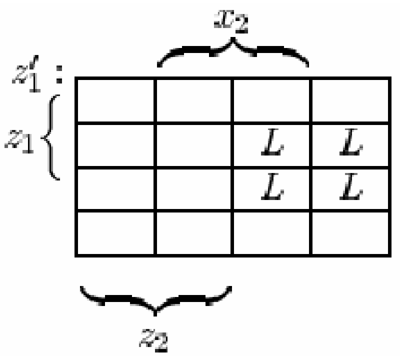
z1	z2	x1	x2	y1	y2	y3	z1‘	z2‘
0	0	0	0					
0	0	0	1					
0	0	1	0					
0	0	1	1					
0	1	0	0					
0	1	0	1					
0	1	1	0					
0	1	1	1					
1	0	0	0					
1	0	0	1					
1	0	1	0					
1	0	1	1					

y1	y2	y3	z1‘	z2‘
0	0	1	0	0
0	0	0	0	1
0	0	0	1	0
0	0	0	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	0	1
0	1	0	0	0
0	1	0	0	1
1	0	0	0	0
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	0	1	0

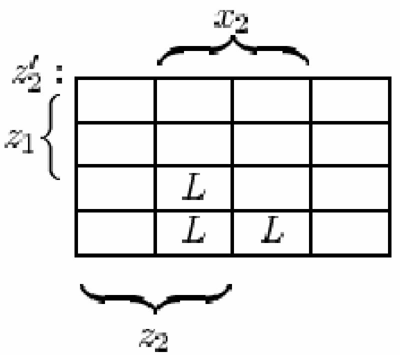
Beispiel: Ampelschaltung 4/5

- Ergebnisse für das Schaltungs-Design:
  - 2 Speicher
  - y_1, y_2 entsprechenden den momentanen Speicherzuständen z_1, z_2, d.h. g ist „id“
  - Das zweite Schaltnetz (Übergangsfunktion f) ist durch die Tabelle beschrieben. Jetzt noch vereinfachen:

z_1	z_2	x_1	x_2	z_1'	z_2'
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1
0	0	1	0	1	0
0	0	1	1	1	0
0	1	0	0	0	0
0	1	0	1	0	1
0	1	1	0	0	0
0	1	1	1	0	1
1	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0
1	0	1	0	1	0
1	0	1	1	1	0



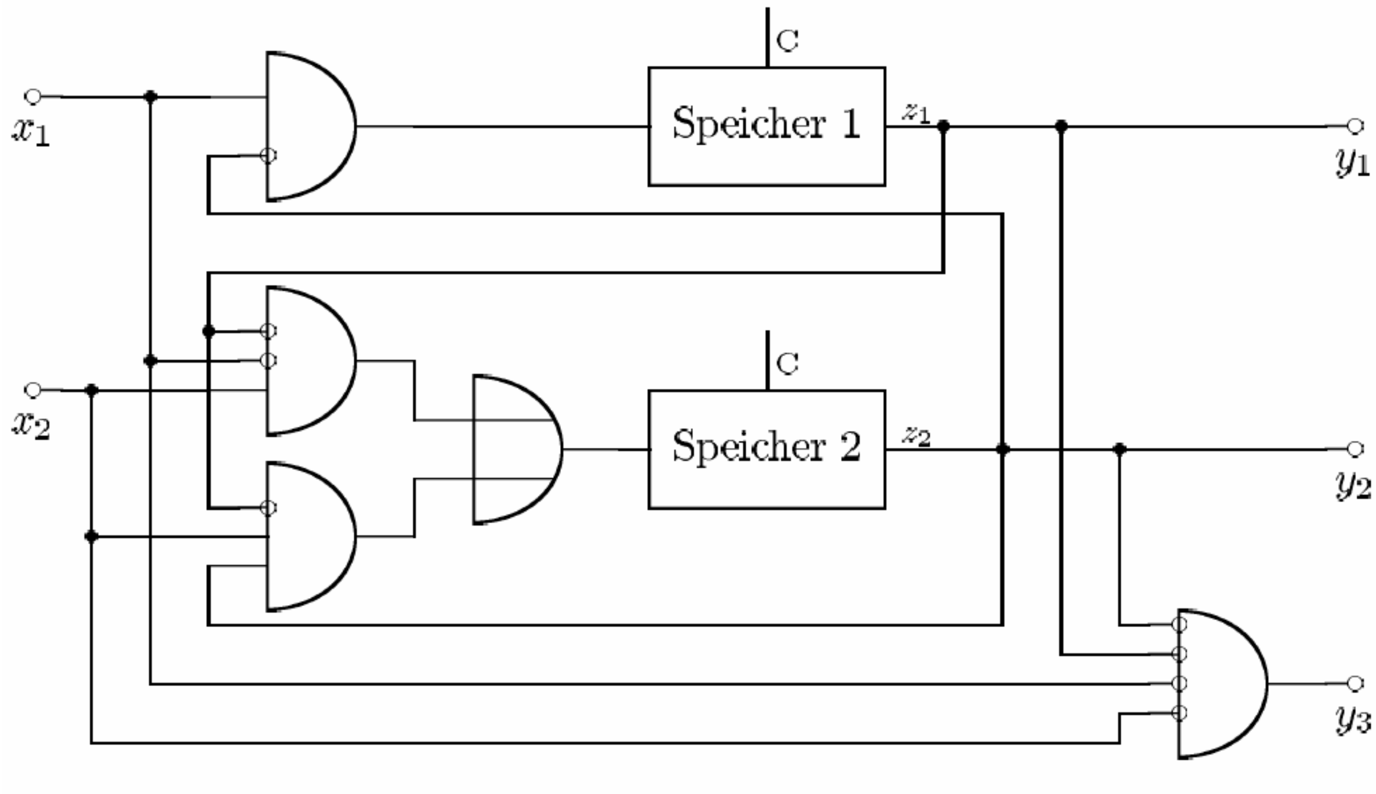
$$\Rightarrow z_1' = x_1 \wedge \overline{z_2}$$



$$\Rightarrow z_2' = (\overline{x_1} \wedge x_2 \wedge \overline{z_1}) \vee (x_2 \wedge \overline{z_1} \wedge z_2)$$

Beispiel: Ampelschaltung 5/5

- Somit : $y_1 = z_1$, $y_2 = z_2$,
  $z_1' = x_1 \wedge (\neg z_2)$, $z_2' = ((\neg x_1) \wedge x_2 \wedge (\neg z_2)) \vee (x_2 \wedge (\neg z_1) \wedge z_2)$
- Und $y_3 = (\neg x_1) \wedge (\neg x_2) \wedge (\neg z_1) \wedge (\neg z_2)$
- Das Schaltwerk sieht also so aus:



Nächste Vorlesung:

- Wie werden die Speicher realisiert?
- Was sind „Flip-Flop‘s“? Welche Arten gibt es?
- Hazard/Fehler
- Metastabilität