

Sequentielle Schaltungen

Aufgabe

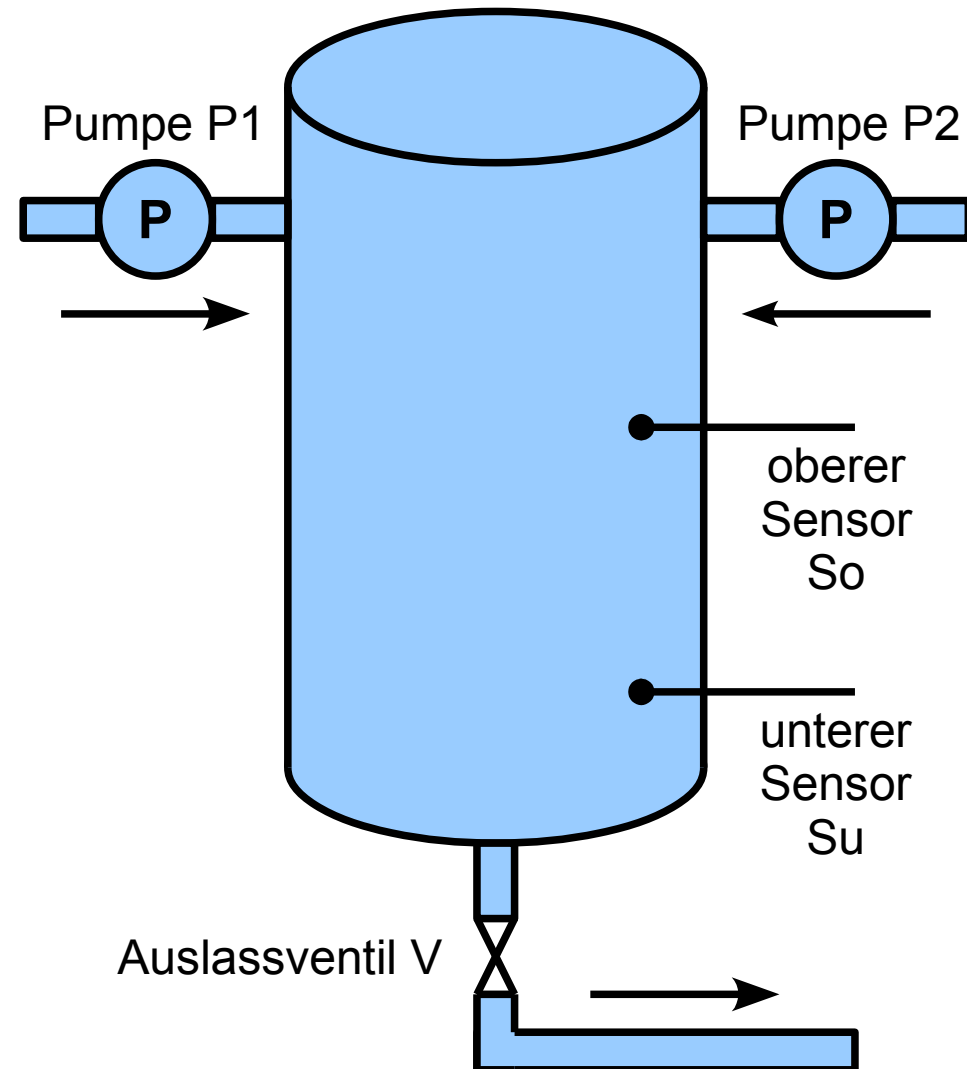
Ein Behälter hat einen unteren und einen oberen Füllstandssensor, zwei Pumpen, die Flüssigkeit in den Behälter pumpen, und ein Auslassventil.

Wenn der Füllstand unter den oberen Füllstandssensor fällt, soll eine Pumpe zugeschaltet werden, wenn der Füllstand unter den unteren Füllstandssensor fällt, soll die zweite Pumpe zugeschaltet werden.

Wenn der Füllstand über den unteren Füllstandssensor steigt, soll die Pumpe, die zuerst eingeschaltet wurde, abgeschaltet werden. Wenn der Füllstand über den oberen Füllstandssensor steigt, soll die zweite Pumpe abgeschaltet werden.

Das Auslassventil wird von einem anderen Prozess gesteuert. Die zu entwerfende Schaltung hat also keine Möglichkeit, das Auslassventil zu beeinflussen.

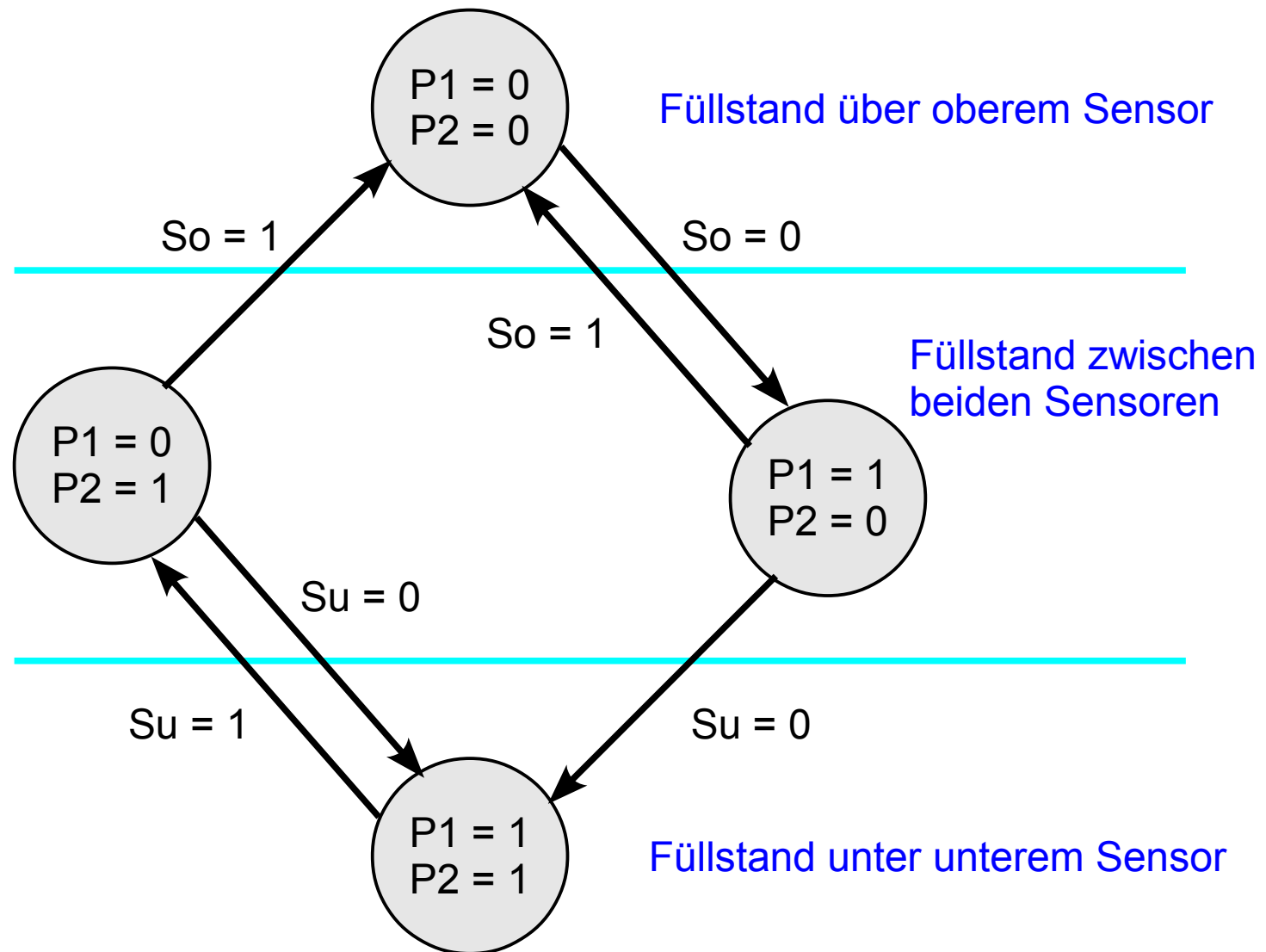
Gesucht: Schaltung der Pumpen



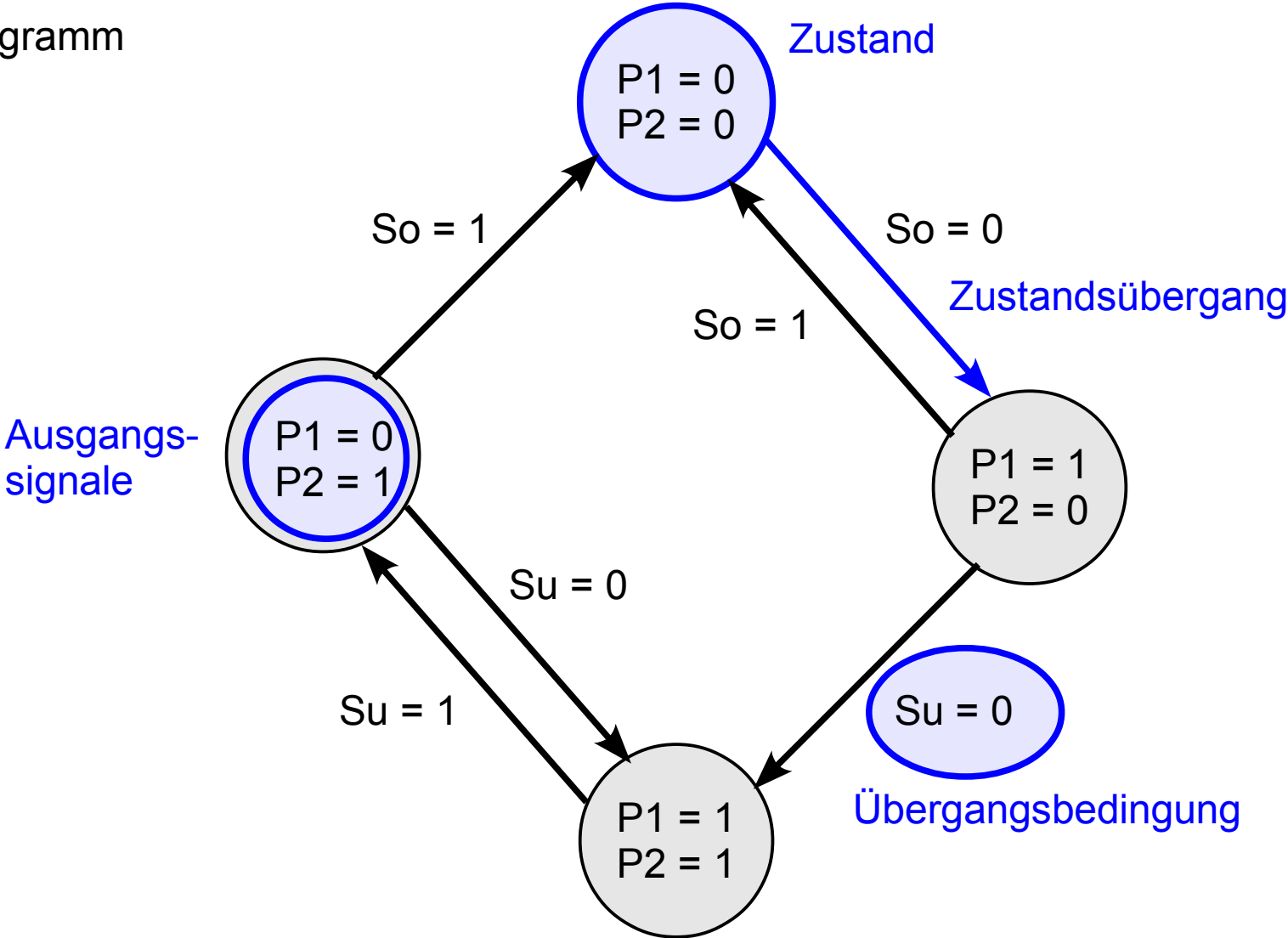
So	Su	P1	P2	Kommentar
0	0			Behälter leer
0	1			Behälter halbvoll
1	0	-	-	Kombination nicht möglich
1	1			Behälter voll

Neuer Ansatz

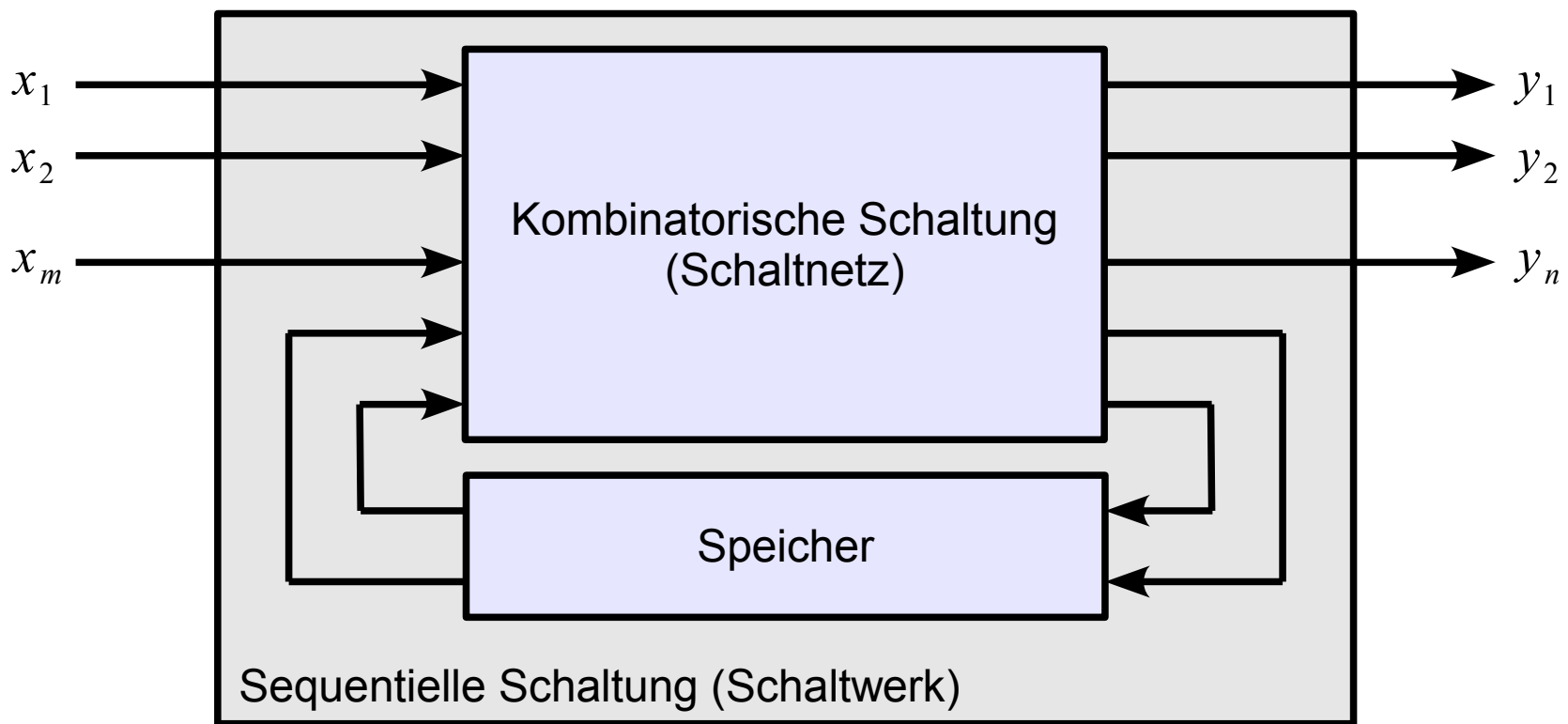
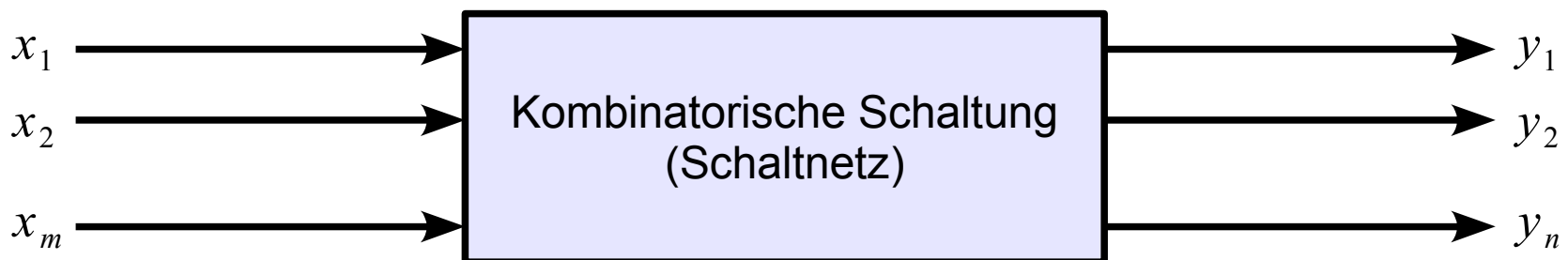
Beschreibung mittels
Zuständen und
Zustandsübergängen



Zustandsdiagramm



Schaltungstypen



Sequentielle Schaltungen

Sequentielle Schaltungen werden auch als **Schaltwerke** oder **Automaten** bezeichnet.

Eine sequentielle Schaltung ist:

eine digitale Schaltung zum Verarbeiten von Eingangssignalen, wobei die Ausgangssignale nicht nur von den Eingangssignalen sondern auch von den vorherigen Zuständen (Vorgeschichte) abhängt.

Eine sequentielle Schaltung besteht aus einer **kombinatorischen Schaltung** und **Speichern**.

Binäre Speicher, also Speicher, die eine Binärvariable speichern können (= 1 Bit) werden als Flip-Flops bezeichnet.

RS-Flipflop

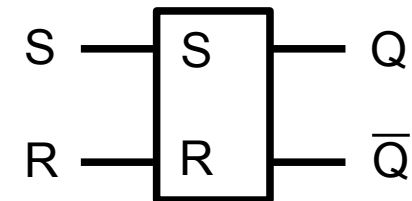
Wahrheitstabelle

S	R	Q^m	Q^{m+1}
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	*
1	1	1	*

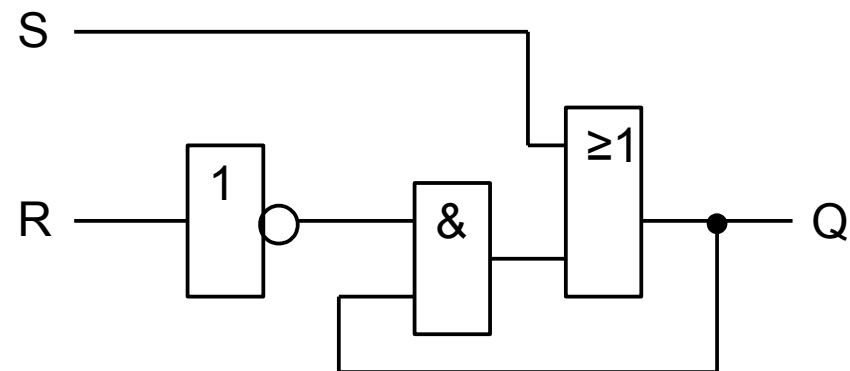
Boolesche Gleichung

$$Q^{m+1} = S \vee \bar{R} Q^m$$

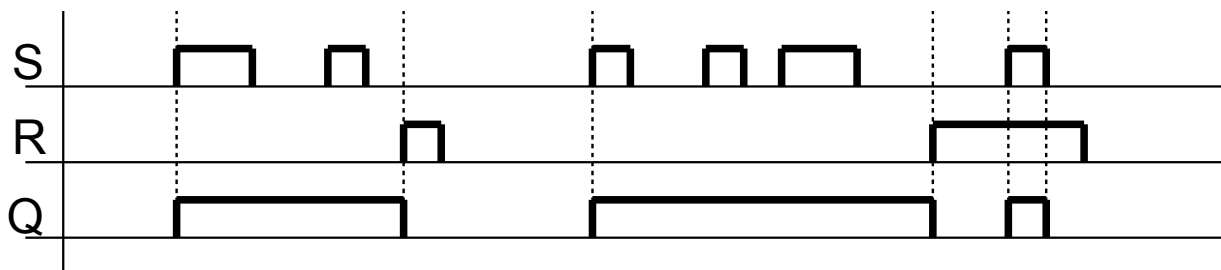
Schaltsymbol



Schaltung:



Signalzeitplan, Pulsfolgediagramm:



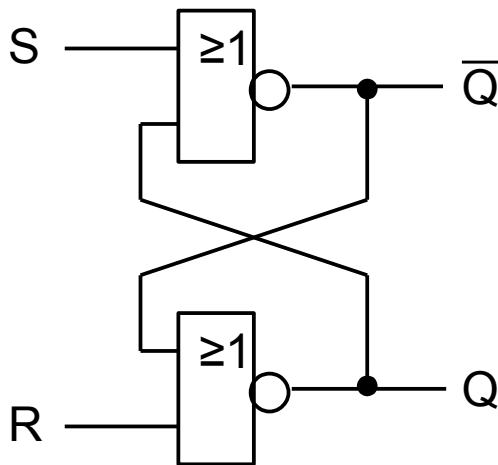
* bedeutet eine unzulässige Eingangskombination

RS-Flipflop

Weitere Schaltungen:

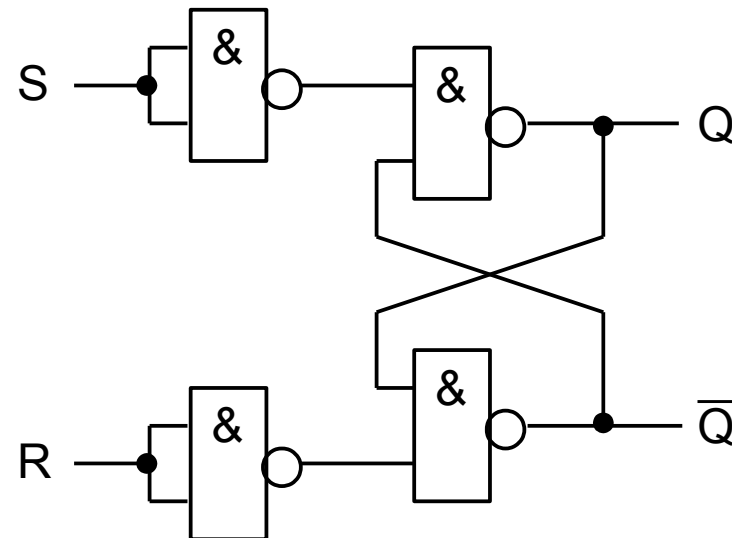
mittels **NOR**

$$\overline{Q^{m+1}} = \overline{S \vee R \vee \overline{Q^m}}$$

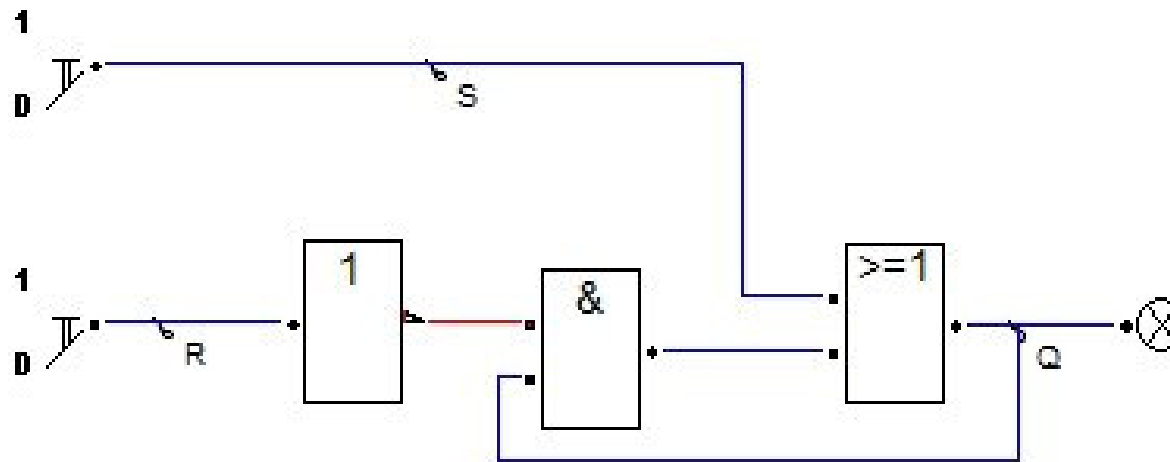


mittels **NAND**

$$Q^{m+1} = \overline{\overline{S} \wedge \overline{R} \wedge Q^m}$$



Demo mit dem Simulator



RS-FF mit dominierenden Setzen

Flipflops (FF)

Es gibt verschiedene Typen von Flipflops mit unterschiedlichen Verhalten. Zwei der gängigsten Flip-Flops sind D-FF und T-FF:

- Beim **D-Flipflop** wird zum Zeitpunkt der Taktflanke der gerade am Dateneingang anliegende Datenwert D in den Zustand Z übernommen. **D** steht für "delay", was soviel bedeutet wie den Eingangswert um einen Takt zu verzögern.
- Beim **T-Flipflop** wird bei der Taktflanke der Zustand geändert, wenn am Dateneingang "1" anliegt und nicht geändert, wenn "0" anliegt. **T** steht für "to toggle" was soviel bedeutet wie umschalten zwischen zwei möglichen Werten.

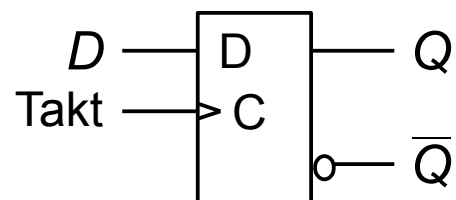
D- und T-Flipflops sind in Gegensatz zum bisher vorgestellten RS-Flipflop sogenannte taktgesteuerte Flipflops, d.h., die Daten am Eingang werden in Abhängigkeit von einem Takt übernommen.

Flipflops (FF)

Data-Flipflop (D-FF)

D	Q^m	Q^{m+1}
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1

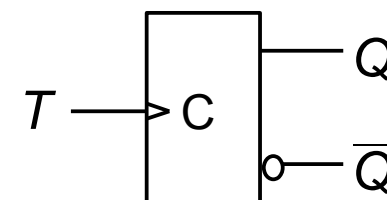
$$Q^{m+1} = [D]^m$$



Toggle-Flipflop (T-FF)

T	Q^m	Q^{m+1}
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$$Q^{m+1} = [\bar{T} Q \vee T \bar{Q}]^m$$



Entwurf eines Zweibitzählers

Definition der Eingangsgrößen:

- $E = 0$ Zählerinhalt soll unverändert bleiben
- $E = 1$ Zählerinhalt soll bei jedem Takt um eins erhöht werden

Zweibitzähler

Zwei Zustandsvariablen sind notwendig

D-FF

D	Q^m	Q^{m+1}
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1

E	z_1^n	z_0^n	z_1^{n+1}	z_0^{n+1}	D_1	D_0
0						
0						
0						
0						
1						
1						
1						
1						

Entwurf eines Zweibitzählers

Bestimmung der Flipflop-Ansteuersignale:

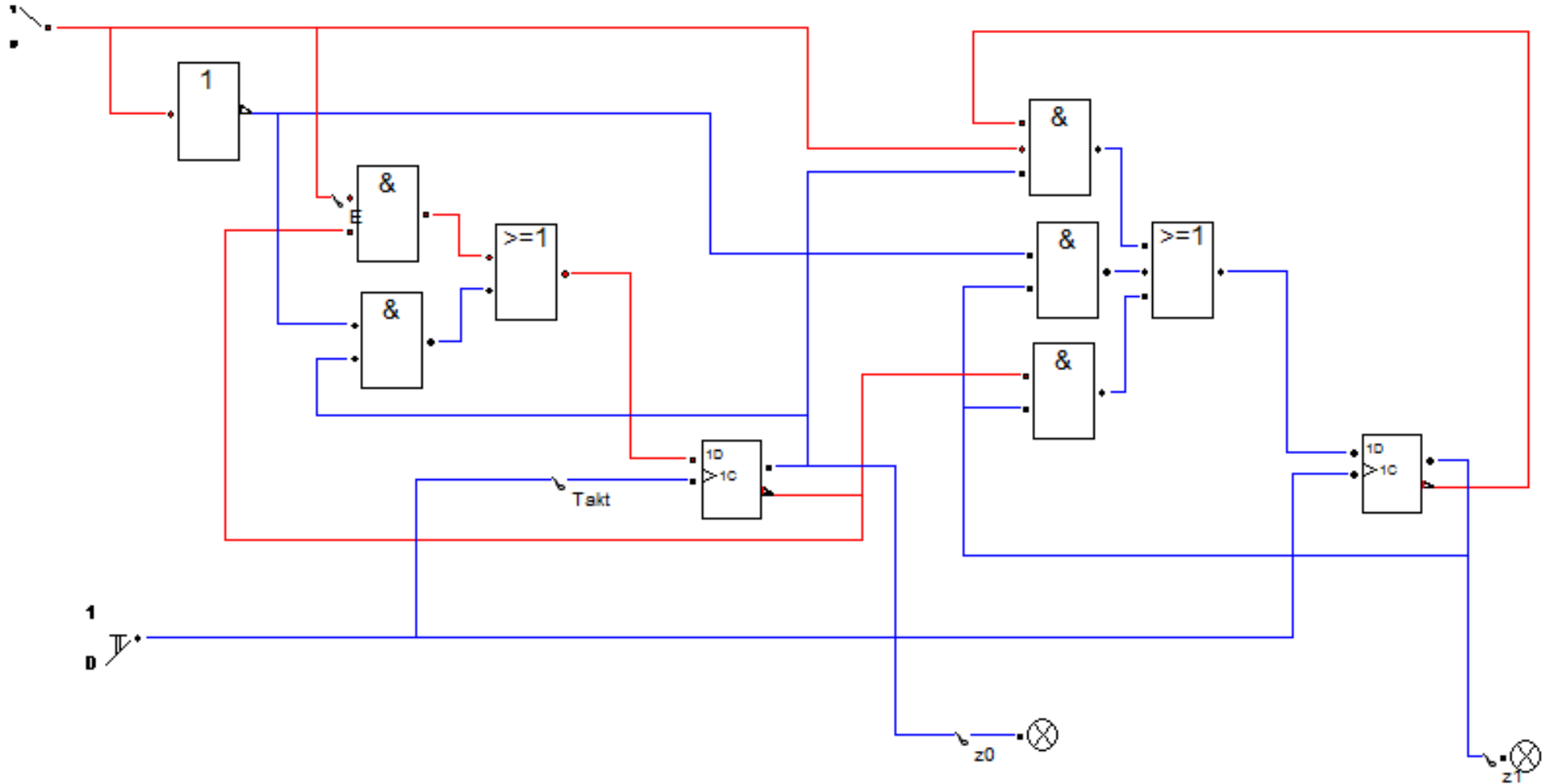
	$\overline{z_1}\overline{z_0}$	$\overline{z_1}z_0$	z_1z_0	$z_1\overline{z_0}$
\overline{E}				
E				

D_1

	$\overline{z_1}\overline{z_0}$	$\overline{z_1}z_0$	z_1z_0	$z_1\overline{z_0}$
\overline{E}				
E				

D_0

Entwurf eines Zweibitzählers



Datei: Zweibitzaehler_D-FF.dsim

Entwurf eines Zweibitzählers

Definition der Eingangsgrößen:

- $E = 0$ Zählerinhalt soll unverändert bleiben
- $E = 1$ Zählerinhalt soll bei jedem Takt um eins erhöht werden

Zweibitzähler

Zwei Zustandsvariablen sind notwendig

T-FF

T	Q^m	Q^{m+1}
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

E	z_1^n	z_0^n	z_1^{n+1}	z_0^{n+1}	T_1	T_0
0						
0						
0						
0						
1						
1						
1						
1						

Entwurf eines Zweibitzählers

Bestimmung der Flipflop-Ansteuersignale:

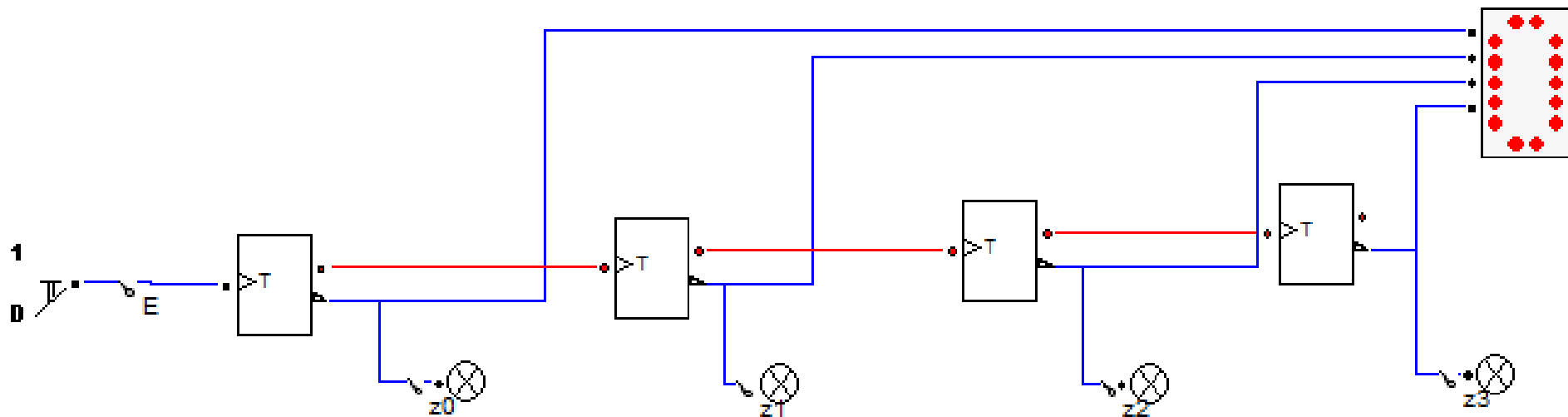
	$\overline{z_1} \overline{z_0}$	$\overline{z_1} z_0$	$z_1 z_0$	$z_1 \overline{z_0}$
\overline{E}				
E				

T_1

	$\overline{z_1} \overline{z_0}$	$\overline{z_1} z_0$	$z_1 z_0$	$z_1 \overline{z_0}$
\overline{E}				
E				

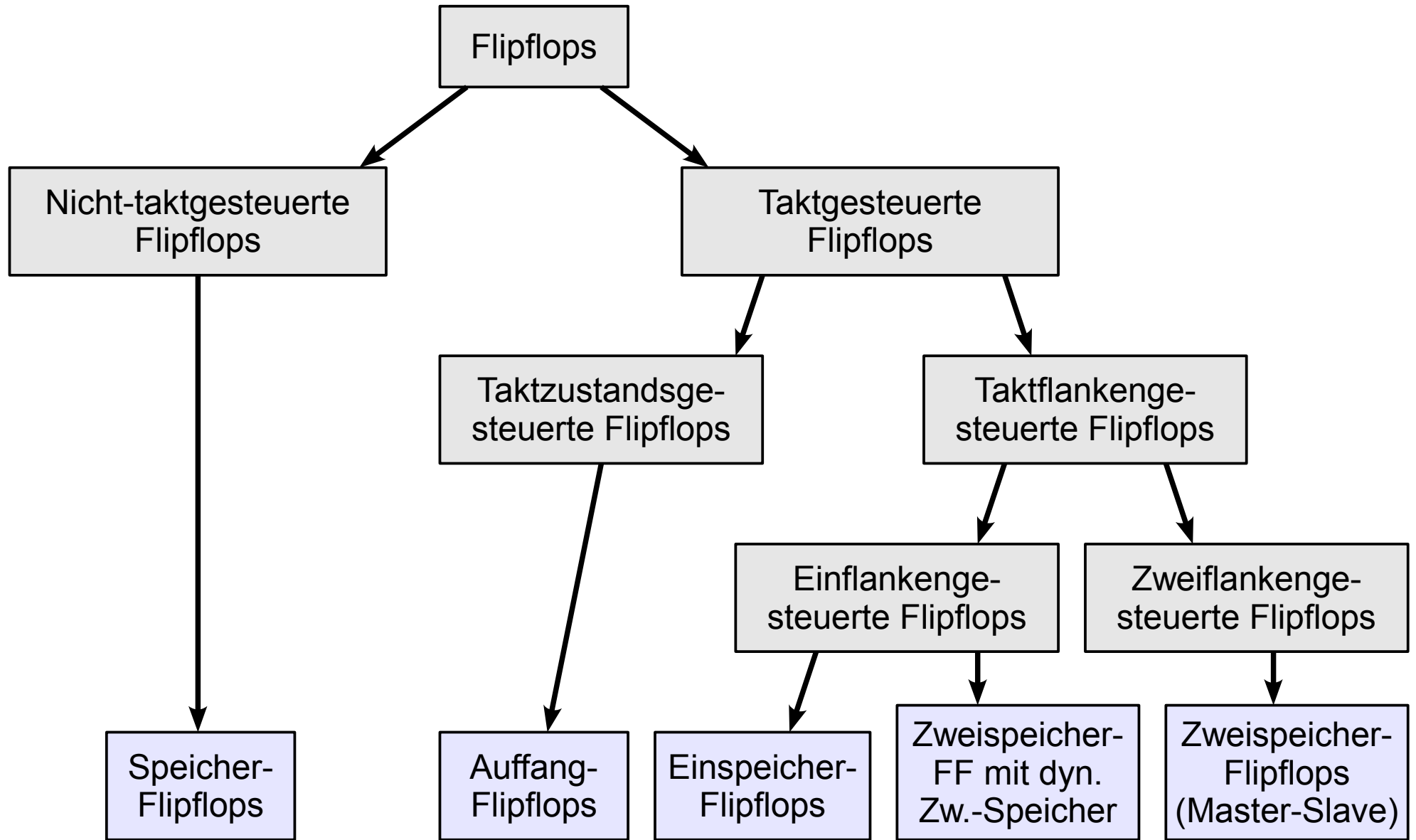
T_0

Beispiel: Vierbitzähler mit T-FF



Datei: Vierbitzaehler_T-FF.dsim

Übersicht über Flipflop-Typen



Taktsteuerungsvarianten bei Flipflops

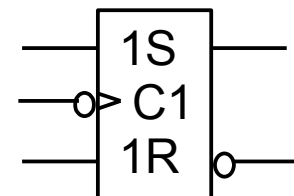
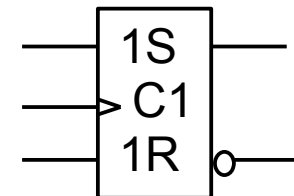
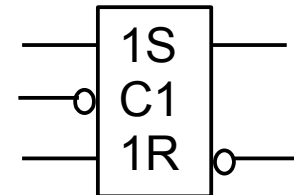
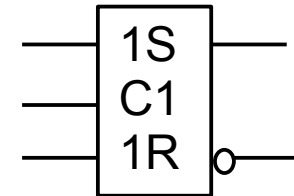
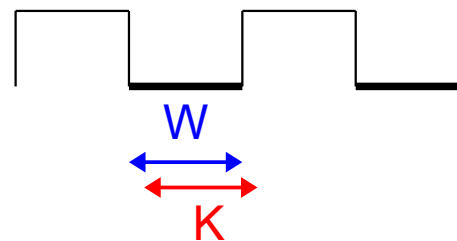
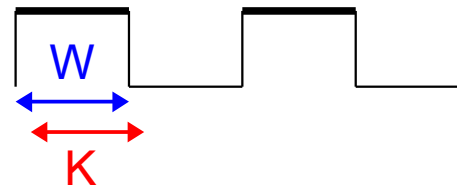
Bezeichnung

positive

Zustandssteuerung

negative

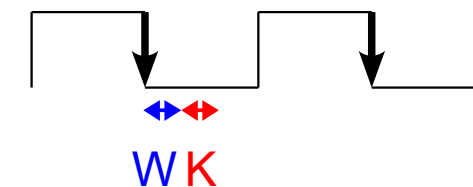
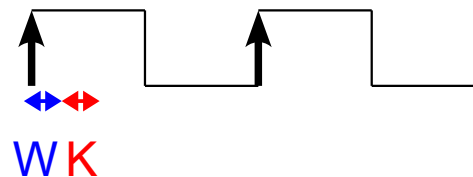
Taktsignal



positive

Flankensteuerung

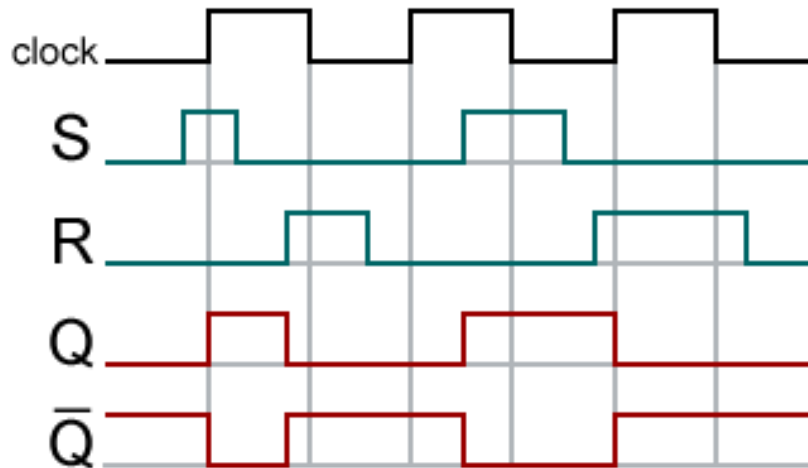
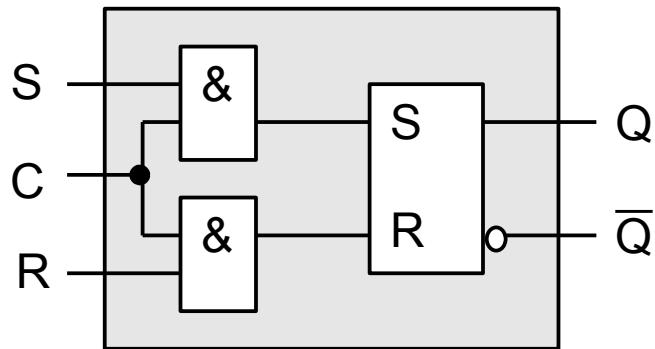
negative



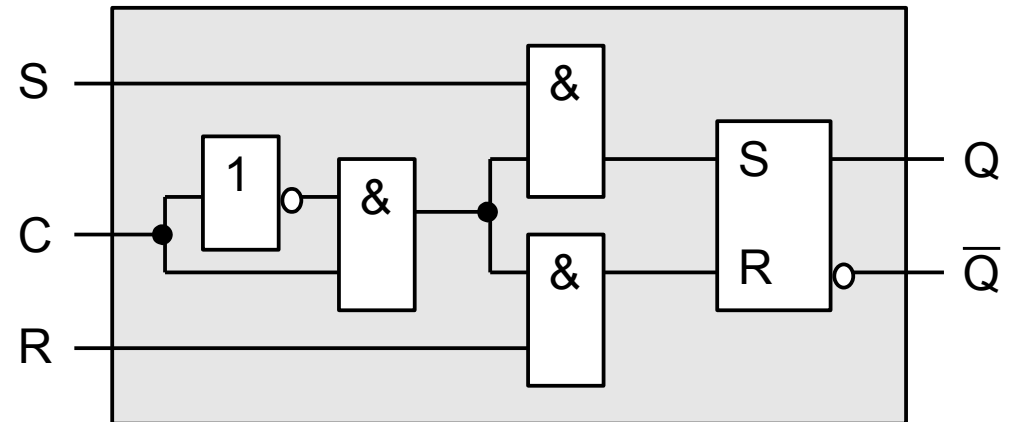
W = Wirkintervall
K = Kippintervall

Realisierung getakteter Flipflops

**Positive Zustandssteuerung
(Taktpegelsteuerung)**



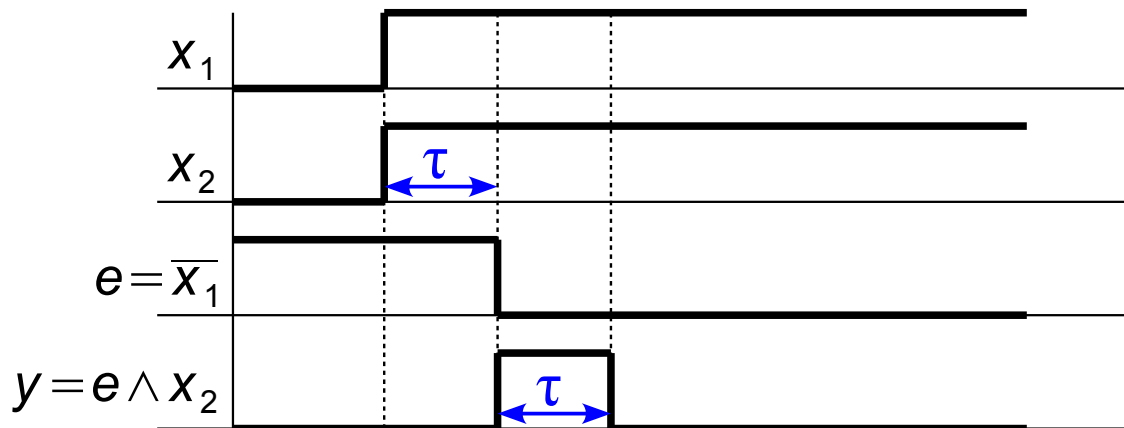
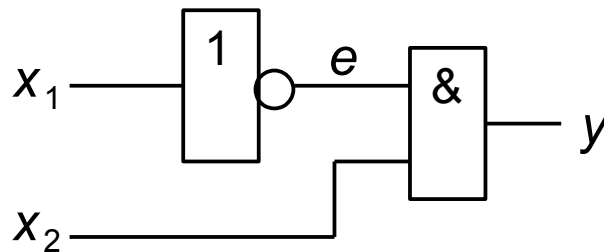
**Positive Flankensteuerung
(Taktflankensteuerung)**



Getaktete Flipflops

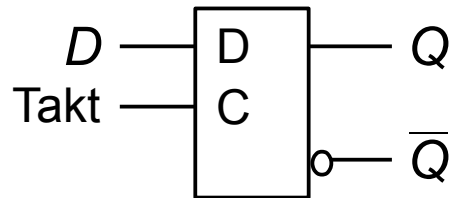
Schaltung, sodass nur die Taktflanke zur Zustandsänderung führt:

Die Funktion $y = \overline{x_1} \wedge x_2$ liefert sowohl für $x_1 = x_2 = 0$ als auch für $x_1 = x_2 = 1$ den Wert 0. Bei einer realen Schaltung tritt jedoch beim Umschalten von $x_1 = x_2 = 0$ nach $x_1 = x_2 = 1$ kurzzeitig der Wert 1 auf.

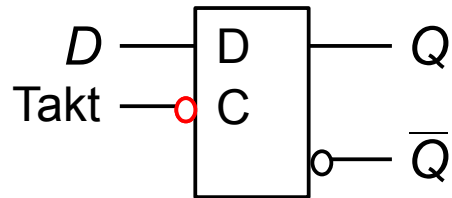


τ = Gatterlaufzeit

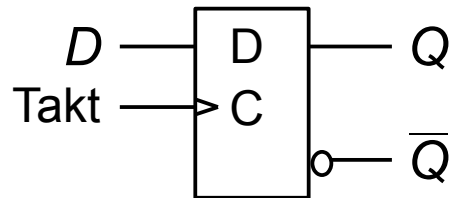
Schaltzeichen für Flipflops



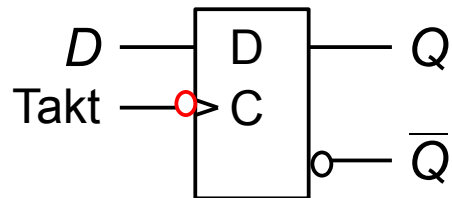
Taktzustandsgesteuertes Flipflop
mit positiver Zustandssteuerung



Taktzustandsgesteuertes Flipflop
mit **negativer** Zustandssteuerung

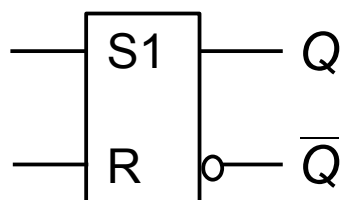


Taktflankengesteuertes Flipflop
mit positiver Flankensteuerung



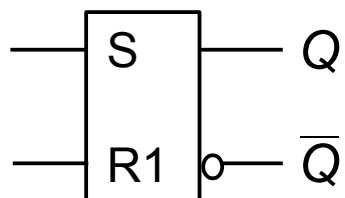
Taktflankengesteuertes Flipflop
mit **negativer** Flankensteuerung

Schaltzeichen für Flipflops



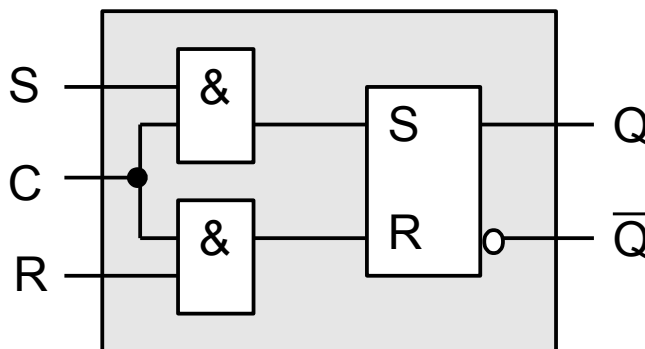
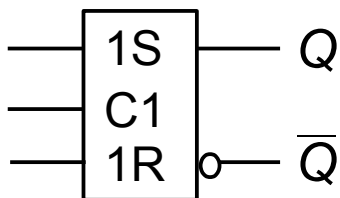
RS-Flipflop
mit dominierendem Setzen

Die Ziffer (hier „1“) im Schaltzeichen nach dem Buchstaben kennzeichnet den dominierenden Eingang.



RS-Flipflop
mit dominierendem Rücksetzen

Abhängigkeitsnotation:



Die „1“ im Schaltzeichen vor den Eingängen „S“ und „R“ kennzeichnet, dass die Eingänge „S“ und „R“ über UND-Gatter mit dem Steuereingang verknüpft sind.

Flipflops

Data-Flipflop (D-FF)

D	Q^m	Q^{m+1}
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1

$$Q^{m+1} = [D]^m$$

Toggle-Flipflop (T-FF)

T	Q^m	Q^{m+1}
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$$Q^{m+1} = [\bar{T} Q \vee T \bar{Q}]^m$$

Master-Slave-Flipflop JK-Flipflop

J	K	Q^m	Q^{m+1}
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

$$Q^{m+1} = [J \bar{Q} \vee \bar{K} Q]^m$$

Mehr zu Flipflops inklusive Animation:





- Schaltung
- Zustandsdiagramm
- Taktfolgediagramm

unter:

http://www-ihs.theoinf.tu-ilmenau.de/~sane/projekte/flipflop/embed_flipflop.html









Flipflops

Data-Flipflop (D-FF)

	D	Q^m	Q^{m+1}
	0	0	0
	0	1	0
	1	0	1
	1	1	1

$$Q^{m+1} = [D]^m$$

Master-Slave-Flipflop
JK-Flipflop

	J	K	Q^m	Q^{m+1}
	0	0	0	0
	0	0	1	1
	0	1	0	0
	0	1	1	0
	1	0	0	1
	1	0	1	1
	1	1	0	1
	1	1	1	0

$$Q^{m+1} = [J\bar{Q} \vee \bar{K}Q]^m$$

Wie mache ich aus einem JK-FF ein D-FF?

Ein JK-FF wird zu einem D-FF, wenn $J = \bar{K} = D$.

$$Q^{m+1} = [J\bar{Q} \vee \bar{K}Q]^m = [D\bar{Q} \vee DQ]^m = [D]^m$$

Flipflops

Toggle-Flipflop (T-FF)

T	Q^m	Q^{m+1}
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$$Q^{m+1} = [\bar{T} Q \vee T \bar{Q}]^m$$

Master-Slave-Flipflop JK-Flipflop

J	K	Q^m	Q^{m+1}
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

$$Q^{m+1} = [J \bar{Q} \vee \bar{K} Q]^m$$

Wie mache ich aus einem JK-FF ein T-FF?

Kontrollfragen

- Was ist eine kombinatorische Schaltung, was eine sequentielle Schaltung?
- Was ist der Unterschied zwischen einer kombinatorischen und einer sequentiellen Schaltung?
- Was ist ein Flipflop?
- Welche Arten von Flipflop gibt es?
- Was ist ein flankengesteuertes Flipflop?
- Was ist der Unterschied zwischen einem zustands- und einem flankengesteuerten Flipflop?
- Welche Vorteile hat ein flankengesteuertes Flipflop?
- Geben Sie die Funktion eines D-FFs an (Tabelle und Gleichung).
- Geben Sie die Funktion eines T-FFs an (Tabelle und Gleichung).
- Was versteht man unter einem Master-Slave-Flipflop?
- Was für ein Flipflop beschreibt die folgende Gleichung: $Q^{n+1} = [(J \wedge \overline{Q}) \vee (\overline{K} \wedge Q)]^n$
- Was für Eigenschaften haben die folgenden Flipflops?

