Aufbau und Funktionsweise eines Computers - II

Schaltwerke

Schaltwerke

Bei Schaltnetzen:
Ausgabe hängt nur von der aktuellen Eingabe ab.

Bei Schaltwerken:
Ausgabe hängt zusätzlich von endlich vielen vorausgegangenen Eingaben ab.

Dafür notwendig: „Gedächtnis“ in Form sogenannter innerer **Zustände**.
(→ „endliche Automaten“, siehe Informatik III)

Definition:

Ein **Schaltwerk** F ist die technische Realisierung zweier Abbildungen:

$f : IB^n \times IB^r \to IB^m$

$(a, z) \to f(a, z) = (f_1(a, z), f_2(a, z), ..., f_m(a, z))$

mit $a := (a_1, a_2, ..., a_n)$ und $z := (z_1, z_2, ..., z_r)$

und

$g : IB^n \times IB^r \to IB^r$

$(a, z) \to g(a, z) = (g_1(a, z), g_2(a, z), ..., g_r(a, z))$

mit

Definition:

mit

a_i : Schaltzustände an Eingängen von F (**Eingaben**)

z_j : innere **Zustände**

f_k, g_j : Schaltfunktionen (**Ausgabe-/Übergangs**funktion)

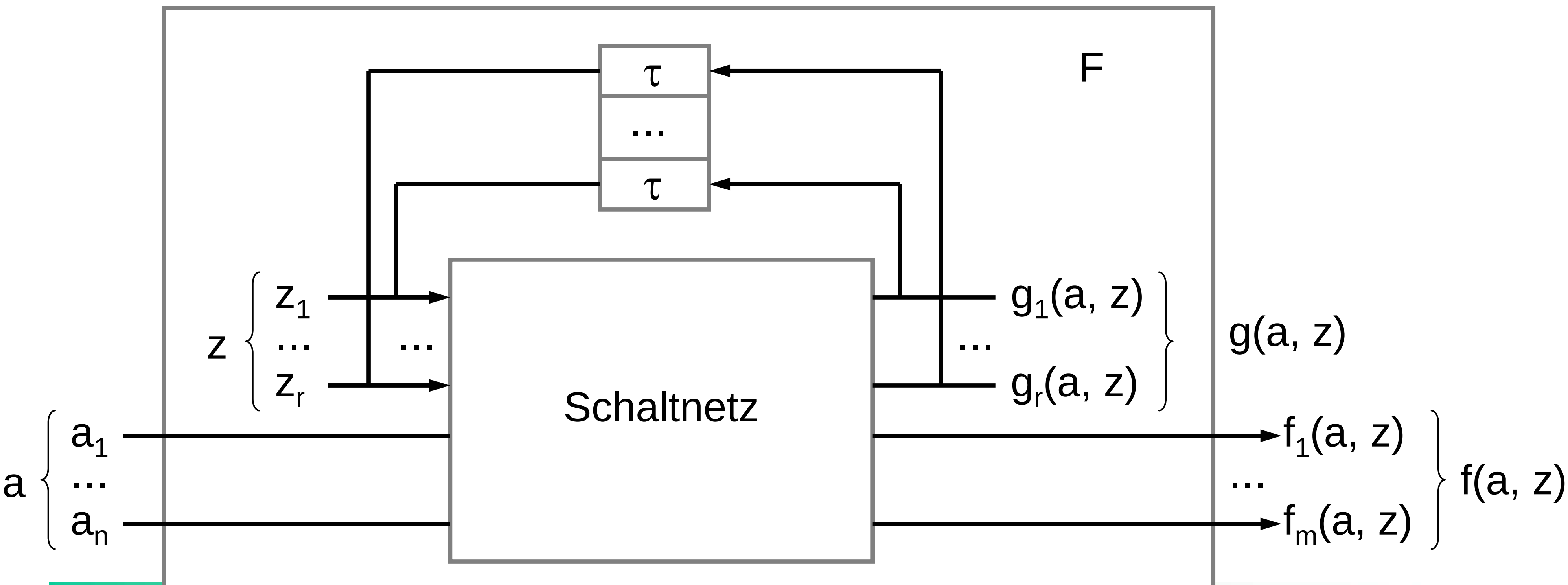
$f_k(a, z)$: Schaltzustände an den Ausgängen von F (**Ausgaben**)

$g_j(a, z)$: neue (rückzuführende) innere Zustände

(i = 1, ... ,n; j = 1, ... ,r; k = 1, ... ,m)

Grundeinheiten eines Schaltwerks:

- Schaltnetz
- Verzögerungsglieder τ (zur Rückführung spezieller, den inneren Zustand darstellender Schaltnetzausgänge; Verzögerung um Zeit τ)
- **Anschaulich**:



Bemerkung:

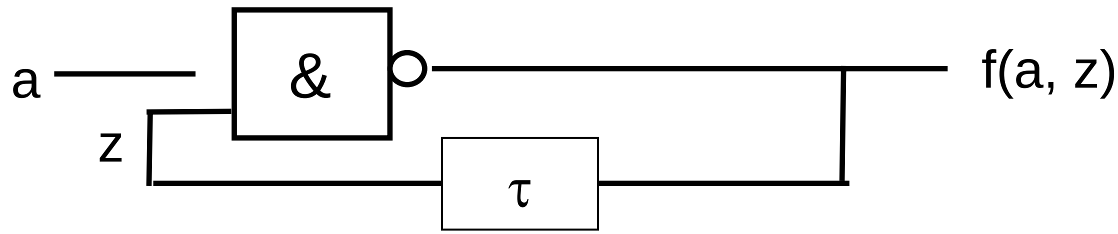
- Schaltverhalten „sequentiell“
- Den Zustand eines Schaltwerkes bezeichnet man als

  - stabil, falls $g(a, z) = z$
  (dann: Rückführung ohne Verzögerungsglieder möglich)

  - instabil, falls $g(a, z) \neq z$

- τ wird (bei Rückführungen) nicht immer eingezeichnet

Beispiele: (für einfache Schaltwerke)

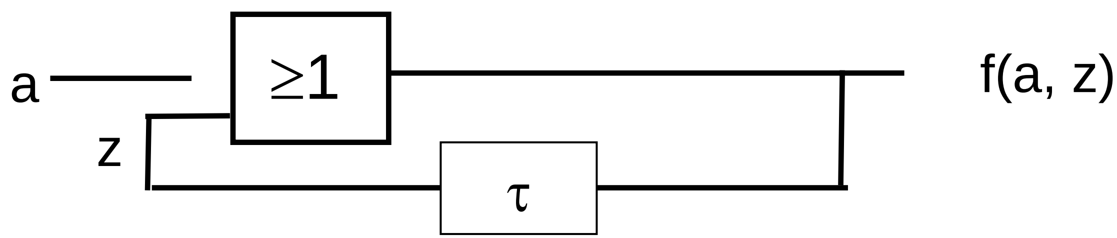
- 

Eingabe a = 1 (ständig): f(a, z) = ... | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | .... ;

$\Rightarrow$ Zustand des Schaltwerkes instabil

Eingabe a = 0 (ständig): f(a, z) = 1 (immer);

$\Rightarrow$ Zustand des Schaltwerkes stabil

- 

Falls *einmal* a = 1, dann immer f(a, z) = 1, d.h.
Schaltung merkt sich: „einmal 1 gewesen“

Schwierigkeit insbesondere bei größeren Schaltwerken:

Beschreibung und Verfolgung des **zeitlichen** Signalverlaufs,

- abhängig von

    - τ

    - Laufzeit der Signale

    - Wechsel „0“ $\rightarrow$ „1“, „1“ $\rightarrow$ „0“ (nicht schlagartig möglich)

$\Rightarrow$ Wann beobachtet man einen Schaltwerkszustand?

- Ausweg:

Dem Schaltwerk **zeitlichen Rhythmus** von außen vorgeben
(→ synchrone Schaltwerke)

Synchrone Schaltwerke

Merkmale synchroner, d.h. getakteter Schaltwerke:

- Es werden nur **diskrete Zeitpunkte** $t \cdot \tau$ mit $t \in IN_0$ betrachtet.
- Solch einen diskreten Zeitpunkt nennt man **Taktzeitpunkt**, die Zeitspanne τ **Taktzeit**.
- Die Schaltzeit τ_s gibt an, wie lange ein Schaltnetz braucht, um aus einer Eingangsinformation a den Wert f(a) zu bestimmen. Beträgt τ_s höchstens τ_{max} Zeiteinheiten, so wählt man $\tau \geq \tau_{max}$.
- τ_s braucht dann weiter nicht berücksichtigt zu werden.
- Zustandsänderungen erfolgen nur während der Taktzeiten.
- Auslösendes Moment für „Beobachtung“ von Zustandsänderungen: Taktsignal oder einfach **Takt**.

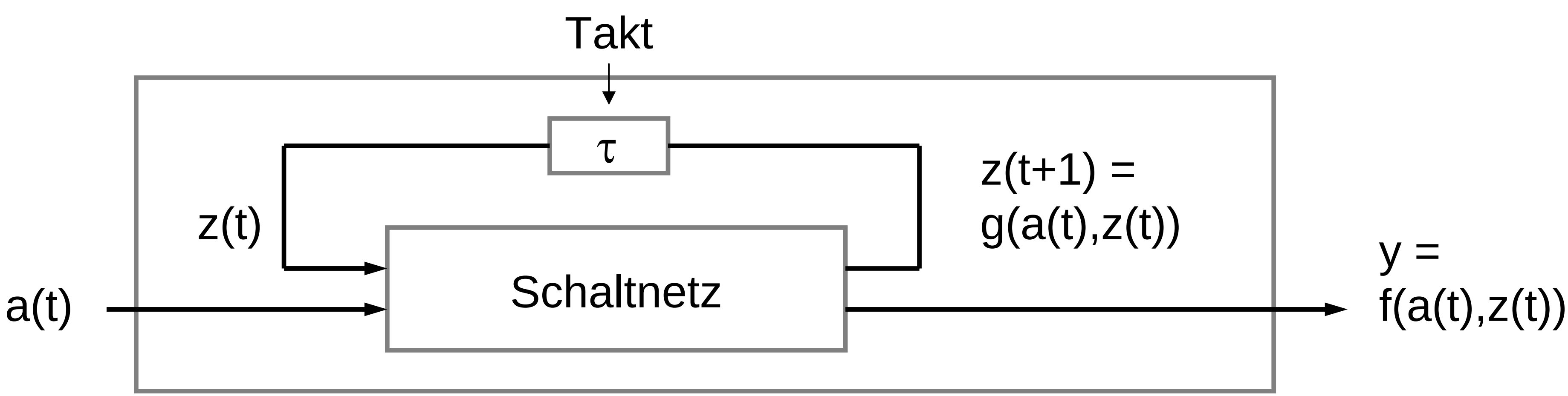
Vereinfachend spricht man meist von Taktzeitpunkten t anstatt

von $t \cdot \tau$, d.h. von Taktzeitpunkten

	0,	1,	2,	..., t,	t+1,...
anstatt von	$0 \cdot \tau$,	$1 \cdot \tau$,	$2 \cdot \tau$,	..., $t \cdot \tau$,	$(t+1) \cdot \tau$, ...

Es liegt somit folgende Situation vor (t = 0, 1, 2, ...):

einfaches Schema:



Erst beim Takt „erscheint“ das neue z(t) = g(a(t-1), z(t-1)) am Ausgang des Verzögerungsgliedes.

⇒ Der **Takt** wirkt wie eine „**Schleuse**“, muss also aus **zwei** verschiedenen (**komplementären**) **Signalen** (oder Ereignissen) bestehen, damit das Verzögerungsglied stets nur nach einer Seite geöffnet sein kann.

Andernfalls wäre das Verzögerungsglied „transparent“ und der gewünschte Effekt wäre nicht erzielbar.

- Eingaben: a(t) frei wählbar
- Zustände: z(0) abhängig von Entwurf des Schaltnetzes
  - beliebig (d.h. unbekannt) oder
  - fest installiert

  z(t+1) = g(a(t),z(t))
- Ausgaben: y(t) = f(a(t),z(t))

Schaltwerke zur Speicherung: Flipflops und Register

(A) Forderungen an ein Schaltwerk zur Speicherung einer Schaltvariablen

- (FF1) **Speicherung**:

  Schaltwerk muss mindestens zwei stabile Zustände haben.

- (FF2) **Einschreiben** in den Speicher:

  Schaltwerk muss definierte Einstellung durch Eingangssignale gestatten.

- (FF3) **Auslesen** aus dem Speicher:

  Speicherinhalt muss in negierter oder nichtnegierter Form an den Schaltwerksausgängen zur Verfügung stehen.

Ein Schaltwerk mit den Eigenschaften (FF1), (FF2) und (FF3)

wird auch als Flipflop bezeichnet:

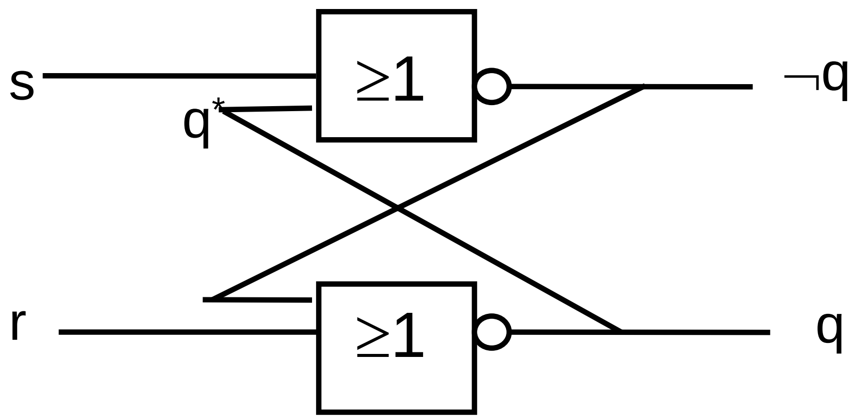
Flipflop verharrt in stabilem Zustand, bis durch Anstoß von außen in anderen stabilen Zustand umgeschaltet wird.

(Flip $\rightarrow$ Flop $\rightarrow$ Flip $\rightarrow$ Flop $\rightarrow$ Flip $\rightarrow$ Flop)

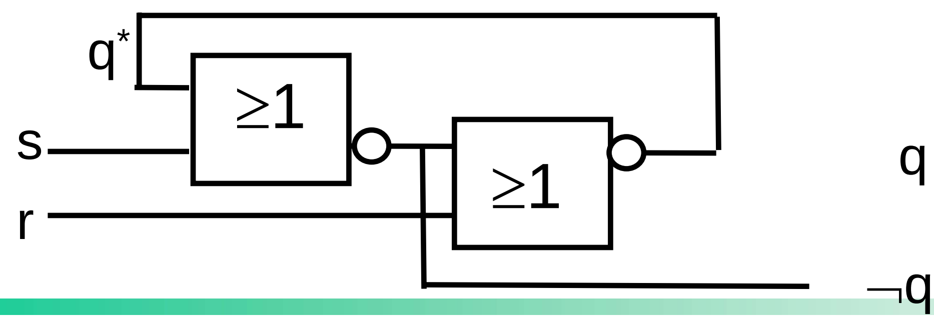
Das asynchrone (also ungetaktete) RS-Flipflop

RS: **R**ücksetzen (reset), **S**etzen (set)

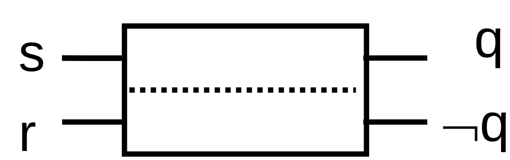
- **Schaltbild:**



1 innerer Zustand: q^* (rückgeführtes q)



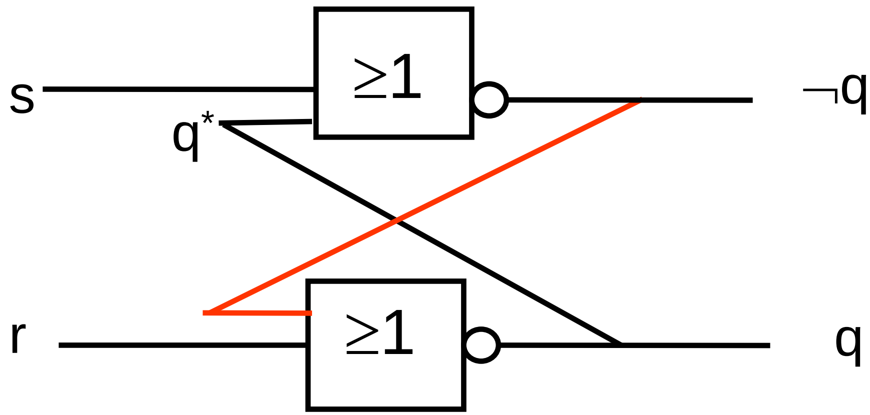
Schaltsymbol:



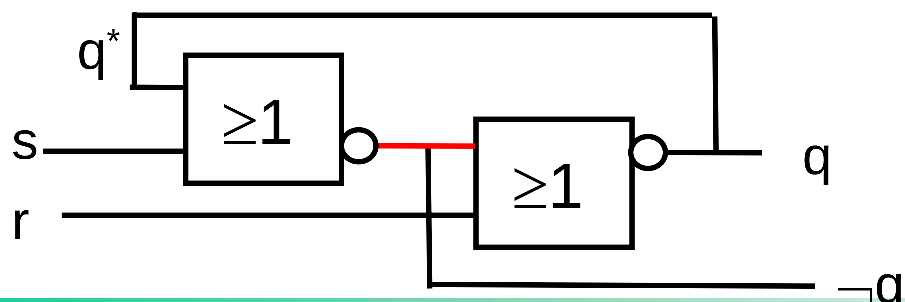
(B) Das asynchrone (also ungetaktete) RS-Flipflop

RS: **R**ücksetzen (reset), **S**etzen (set)

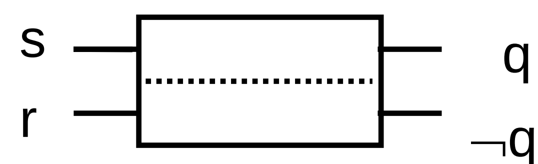
- **Schaltbild:**



1 innerer Zustand: q^* (rückgeführtes q)



Schaltsymbol:



S. Staab, Informatik für IM II; Folien nach Gabriel Juhás, KU Eichstätt, nach R. Richter / P. Sander / W. Stucky: Der Rechner als System: Organisation, Daten, Programme. B. G. Teubner Stuttgart, 1997.

- **Schalttabelle:**

r	s	q^*	q	Zustand	
0	0	0	0	stabil	(„0" gespeichert)
0	0	1	1	stabil	(„1" gespeichert)
0	1	0	1	instabil	(„1" setzen)
0	1	1	1	stabil	
1	0	0	0	stabil	(„0" rücksetzen)
1	0	1	0	instabil	
1	1	0	-	unzulässig	
1	1	1	-	unzulässig	

Diese Schalttabelle erfüllt (FF1), (FF2), (FF3).

s – Eingang: Setzleitung;

r – Eingang: Rücksetzleitung

- **Schaltfunktion:**

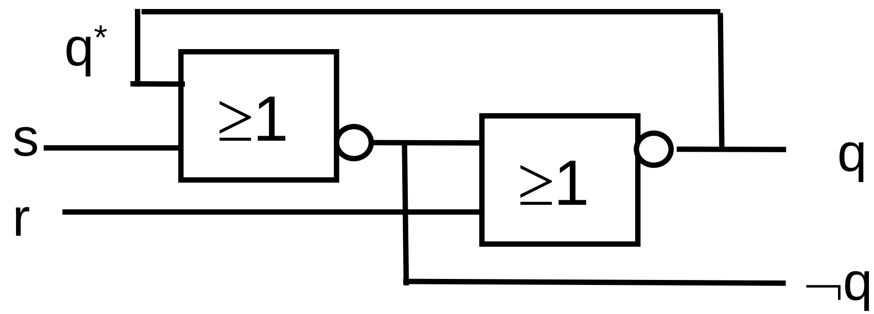
$q = \neg(\neg(s \vee q^*) \vee r) = (s \vee q^*) \wedge \neg r = \neg r \wedge s \vee \neg r \wedge q^*$,

und damit $q = s \vee \neg r \wedge q^*$, da $r = s = 1$ unzulässig

- **Schalttabelle:**

r	**s**	**q^***	**q**	**Zustand**
1	0	1	0	instabil

(„0“ rücksetzen)



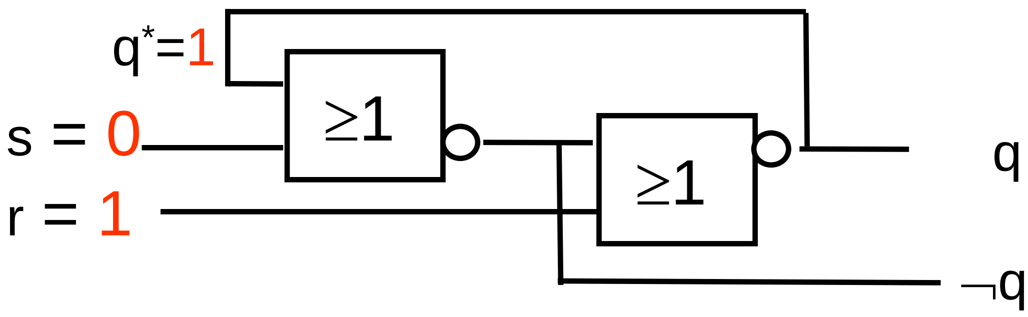
- **Schaltfunktion:**

$q = \neg(\neg(s \vee q^*) \vee r)$

$\neg q = \neg(s \vee q^*) = \neg(0 \vee 1) = 0$???

- **Schalttabelle:**

r	**s**	**q^***	**q_{neu}**	**Zustand**	
1	0	1	0	instabil	(„0“ rücksetzen)



Zustand in Zeit t1

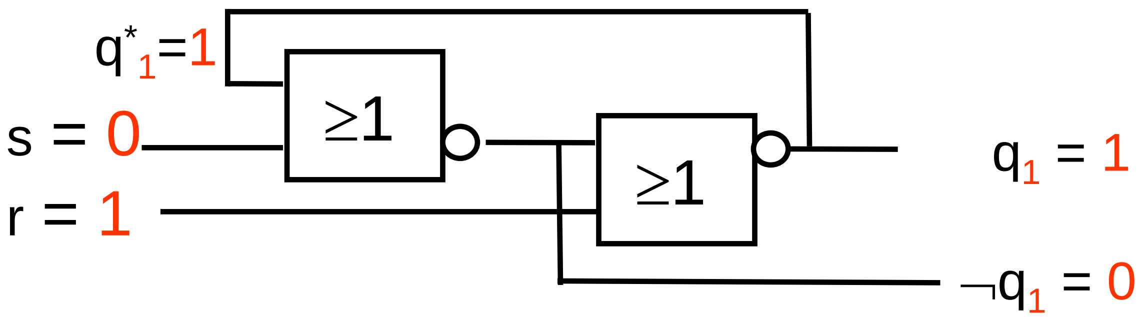
- **Schaltfunktion:**

$q = \neg(\neg(s \vee q^*) \vee r)$

$\neg q = \neg(s \vee q^*) = \neg(0 \vee 1) = 0$???

- **Schalttabelle:**

r	s	q^*	q_{neu}	Zustand	
1	0	1	0	instabil	(„0“ rücksetzen)



Zustand
in Zeit t1

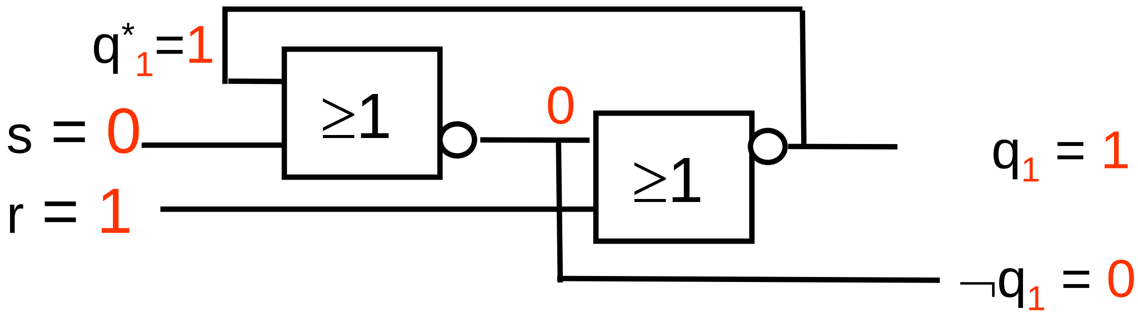
- **Schaltfunktion:**

$q = \neg(\neg(s \vee q^*) \vee r)$

$\neg q = \neg(s \vee q^*) = \neg(0 \vee 1) = 0$???

- **Schalttabelle:**

r	**s**	**q^***	**q_{neu}**	**Zustand**	
1	0	1	0	instabil	(„0“ rücksetzen)



Zustand
in Zeit t1

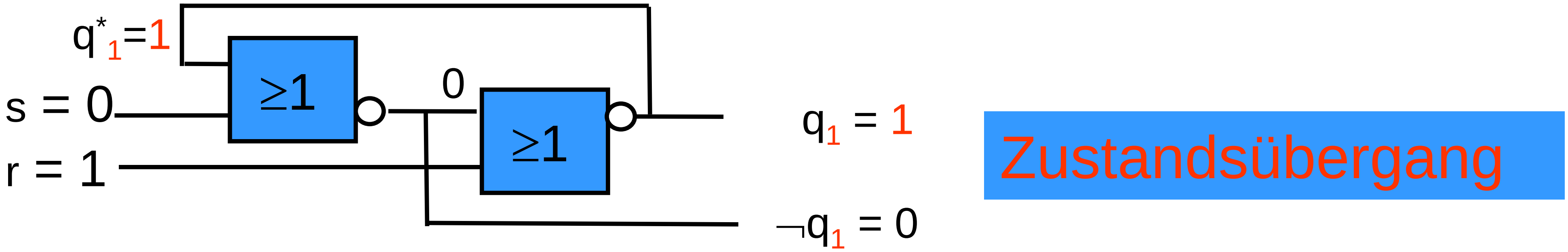
- **Schaltfunktion:**

$q = \neg(\neg(s \vee q^*) \vee r)$

$\neg q = \neg(s \vee q^*) = \neg(0 \vee 1) = 0$???

- **Schalttabelle:**

r	**s**	**q^***	**q**	**Zustand**	
1	0	1	0	instabil	(„0“ rücksetzen)



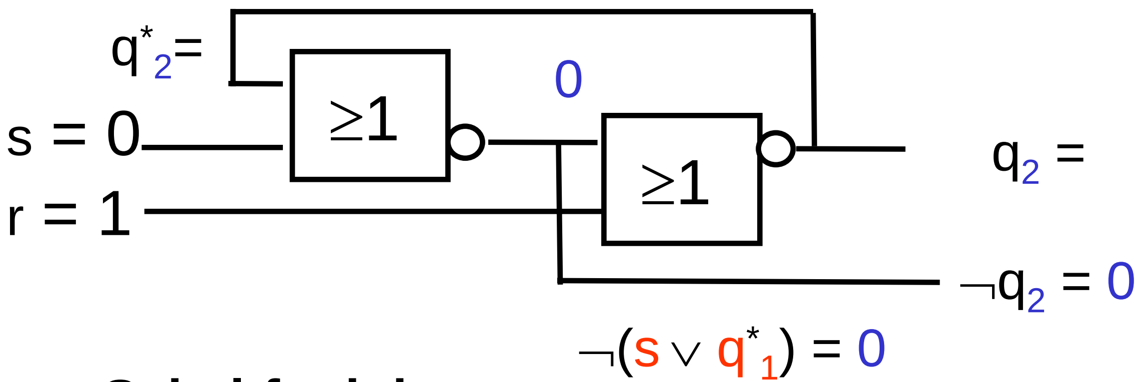
- **Schaltfunktion:**

$q = \neg(\neg(s \vee q^*) \vee r)$

$\neg q = \neg(s \vee q^*) = \neg(0 \vee 1) = 0$???

- **Schalttabelle:**

r	**s**	**q^***	**q**	**Zustand**	
1	0	1	0	instabil	(„0“ rücksetzen)



Zustand
in Zeit t2

- **Schaltfunktion:**

$q = \neg(\neg(s \vee q^*) \vee r)$

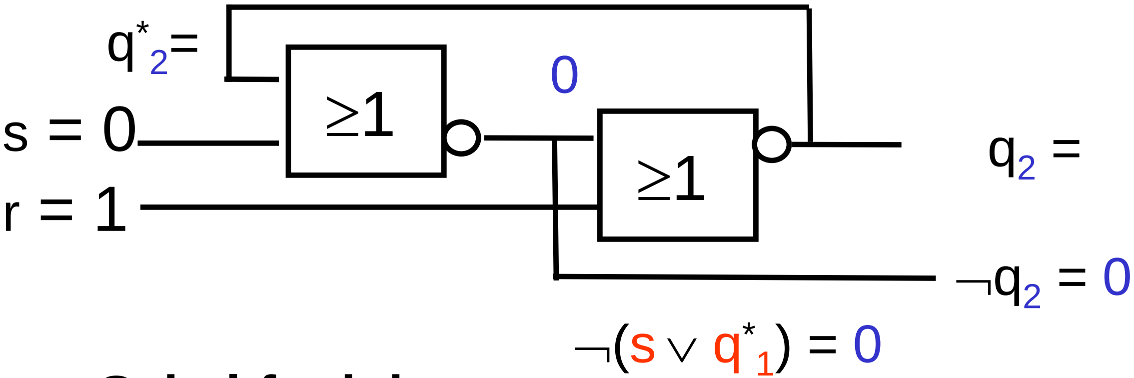
$\neg q = \neg(s \vee q^*) = \neg(0 \vee 1) = 0$???

Zustand in Zeit t1

$q^*_1=1,\ q_1 = 1,\ \neg q_1 = 0$

- **Schalttabelle:**

r	**s**	**q^***	**q**	**Zustand**	
1	0	1	0	instabil	(„0“ rücksetzen)



Zustand in Zeit t2

- **Schaltfunktion:**

$q = \neg(\neg(s \vee q^*) \vee r)$

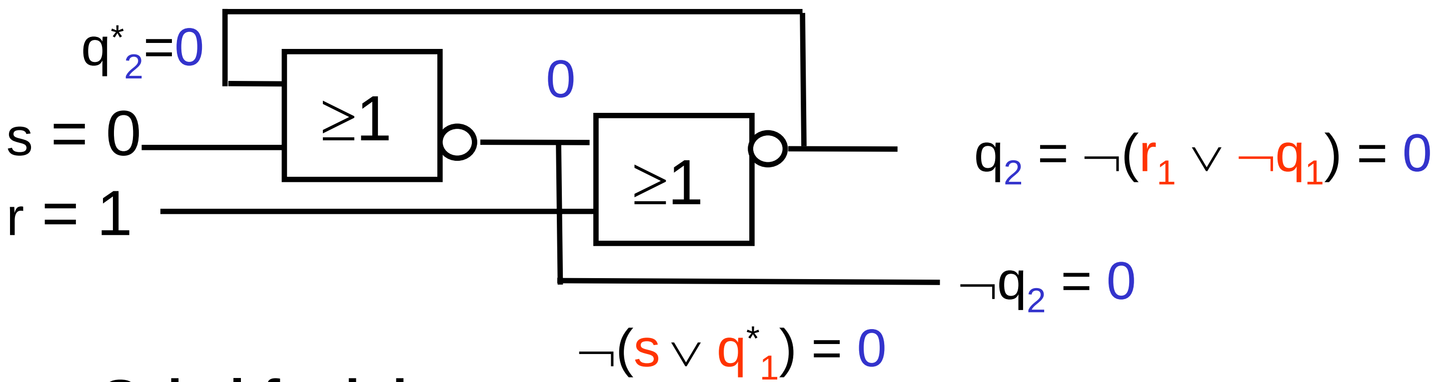
$\neg q = \neg(s \vee q^*) = \neg(0 \vee 1) = 0$ JA

Zustand in Zeit t1

$q^*_1=1,\ q_1 = 1,\ \neg q_1 = 0$

- **Schalttabelle:**

r	**s**	**q^***	**q**	**Zustand**	
1	0	1	0	instabil	(„0“ rücksetzen)



Zustand in Zeit t2

- **Schaltfunktion:**

$q = \neg(\neg(s \vee q^*) \vee r)$

$\neg q = \neg(s \vee q^*) = \neg(0 \vee 1) = 0$ Ja

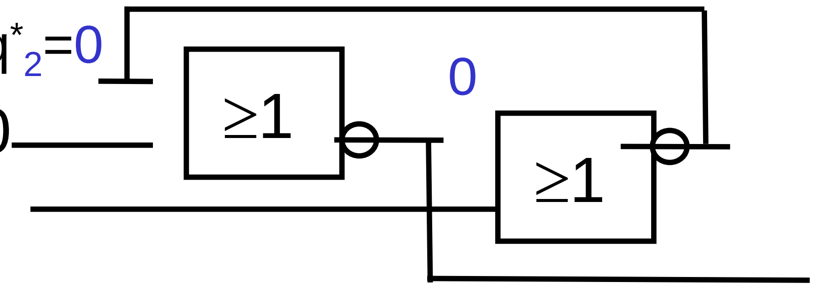
Zustand in Zeit t1

$q^*_1=1,\ q_1 = 1,\ \neg q_1 = 0$

- **Schalttabelle:**

r	**s**	**q^***	**q**	**Zustand**
1	0	1	0	instabil

(„0“ rücksetzen)



$q_2 = \neg(r_1 \vee \neg q_1) = 0$

$\neg q_2 = 0$

$\neg(s \vee q^*_1) = 0$

Zustand in Zeit t2

- **Schaltfunktion:**

$q = \neg(\neg(s \vee q^*) \vee r)$

$\neg q = \neg(s \vee q^*) = \neg(0 \vee 1) = 0$ Ja

Noch nicht Ende!!!

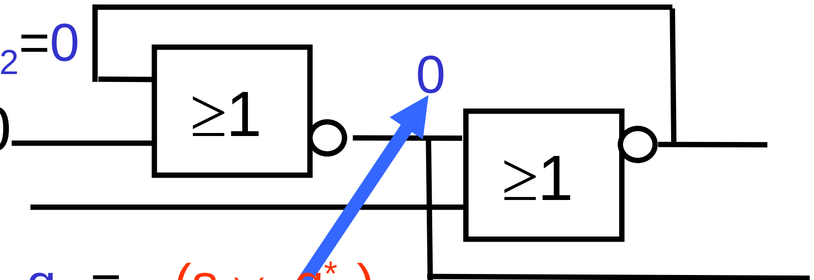
Zustand in Zeit t1

$q^*_1=1,\ q_1 = 1,\ \neg q_1 = 0$

- **Schalttabelle:**

r	**s**	**q^***	**q**	**Zustand**
1	0	1	0	instabil

(„0“ rücksetzen)



$q_2 = \neg(r_1 \vee \neg q_1) = 0$

$\neg q_2 = \neg(s \vee q^*_1)$

$\neg q_2 = 0$

$\neg(s \vee q^*_1) = 0$

Zustand in Zeit t2

- **Schaltfunktion:**

$q = \neg(\neg(s \vee q^*) \vee r)$

$\neg q = \neg(s \vee q^*) = \neg(0 \vee 1) = 0$ Ja

Noch nicht Ende!!!

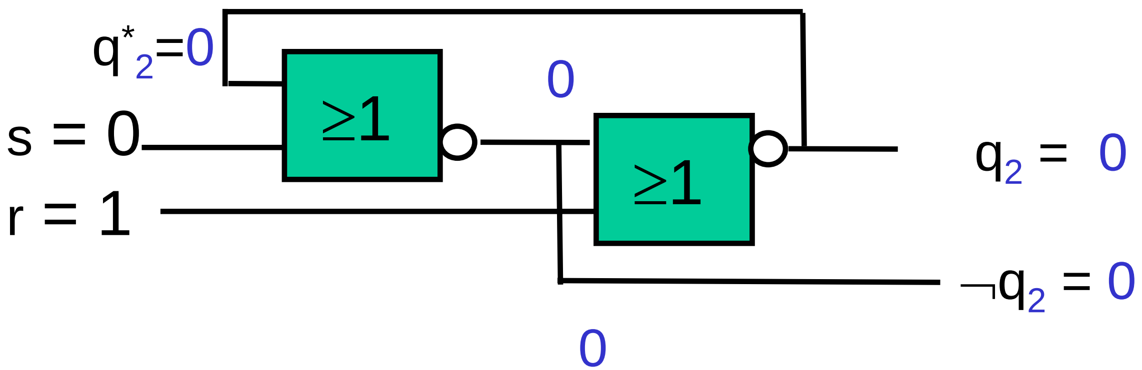
Zustand in Zeit t1

$q^*_1=1,\ q_1 = 1,\ \neg q_1 = 0$

- **Schalttabelle:**

r	**s**	**q^***	**q**	**Zustand**
1	0	1	0	instabil

(„0“ rücksetzen)



Zustandsübergang

- **Schaltfunktion:**

$q = \neg(\neg(s \vee q^*) \vee r)$

$\neg q = \neg(s \vee q^*) = \neg(0 \vee 1) = 0$ Ja

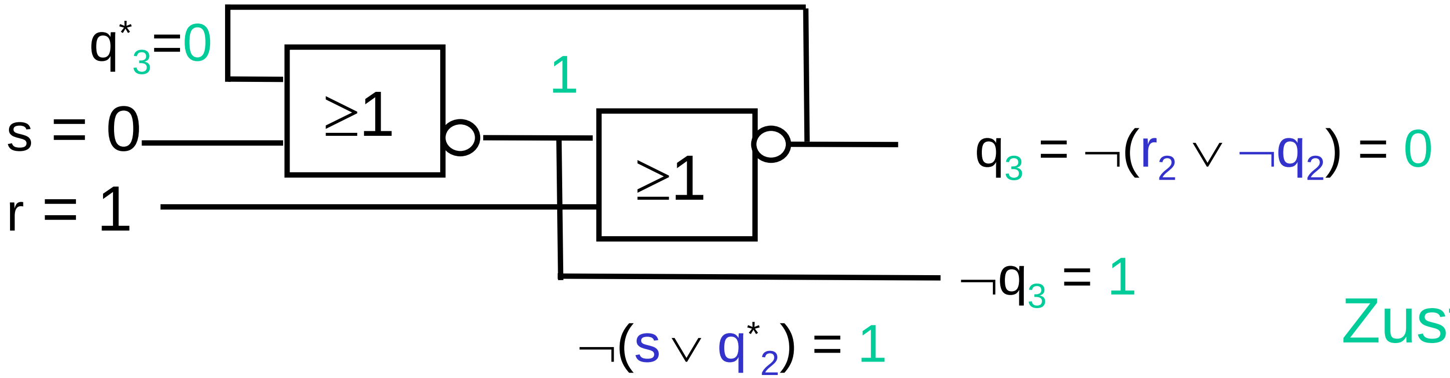
Noch nicht Ende!!!

Zustand in Zeit t1

$q^*_1=1,\ q_1 = 1,\ \neg q_1 = 0$

- **Schalttabelle:**

r	**s**	**q^***	**q**	**Zustand**	
1	0	1	0	instabil	(„0“ rücksetzen)



Zustand in Zeit t3

- **Schaltfunktion:**

$q = \neg(\neg(s \vee q^*) \vee r)$

$\neg q = \neg(s \vee q^*) = \neg(0 \vee 0) = 1$ OK

Zustand in Zeit t1

$q^*_1=1,\ q_1 = 1,\ \neg q_1 = 0$

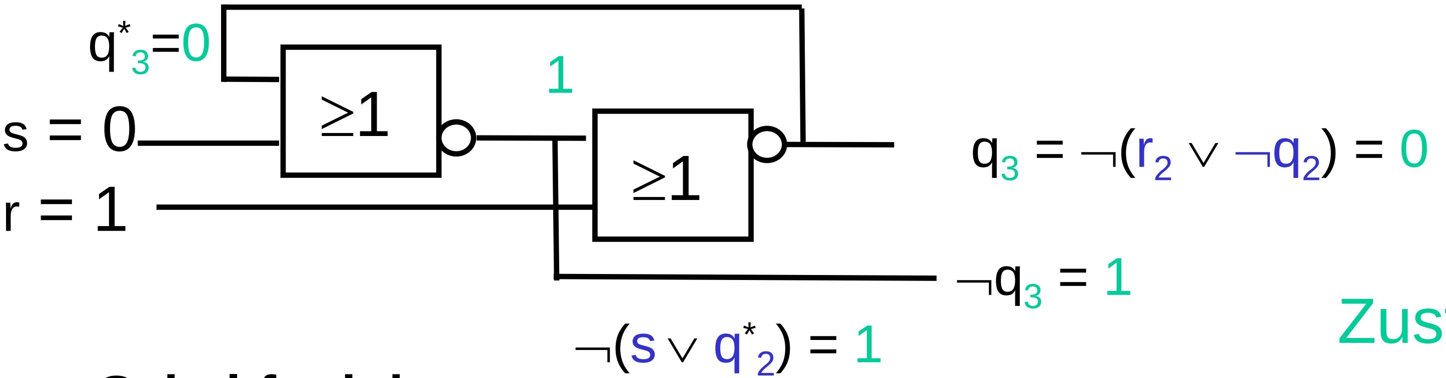
Zustand in Zeit t2

$q^*_2=0,\ q_2 = 0,\ \neg q_2 = 0$

S. Staab, Informatik für IM II; Folien nach Gabriel Juhás, KU Eichstätt, nach R. Richter / P. Sander / W. Stucky: Der Rechner als System: Organisation, Daten, Programme. B. G. Teubner Stuttgart, 1997.

- **Schalttabelle:**

r	**s**	q^*_1	q_3	**Zustand**	
1	0	1	0	instabil	(„0“ rücksetzen)



Zustand in Zeit t3

- **Schaltfunktion:**

$q = \neg(\neg(s \vee q^*_1) \vee r) =$

$\neg q_3 = \neg(s \vee q^*_2) = \neg(0 \vee 0) = 1$ OK

Zustand in Zeit t1

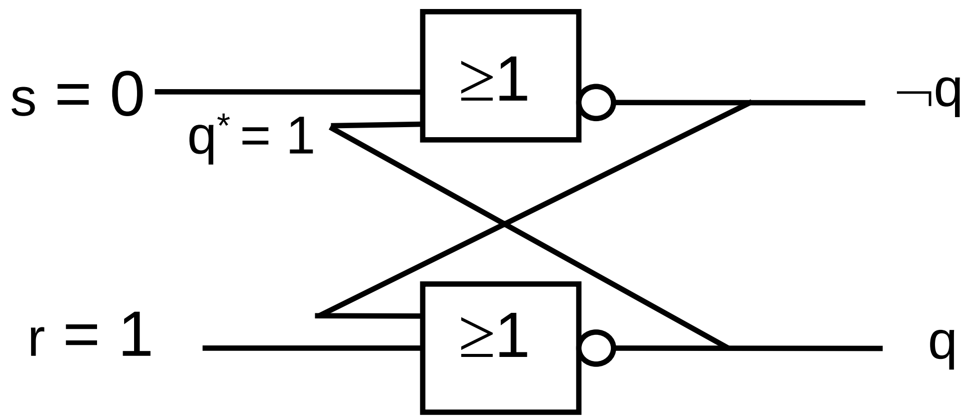
$q^*_1=1,\ q_1 = 1,\ \neg q_1 = 0$

Zustand in Zeit t2

$q^*_2=0,\ q_2 = 0,\ \neg q_2 = 0$

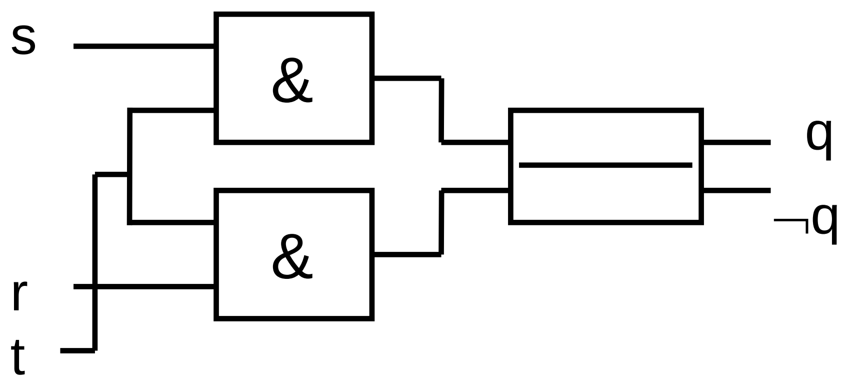
Zustand in Zeit t3

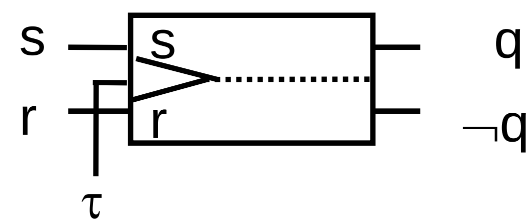
$q^*_3=0,\ q_3 = 0,\ \neg q_3 = 1$


s = 0
q* = 1
≥1
¬q
r = 1
≥1
q

Das synchrone RS-Flipflop

- Übernahme einer Information in den Speicher zu frei bestimmbaren Zeitpunkten
- Hinzunahme eines Taktes t: Einschreiben in den Speicher nur möglich, wenn t = 1
- **Schaltbild** **Schaltsymbol:**

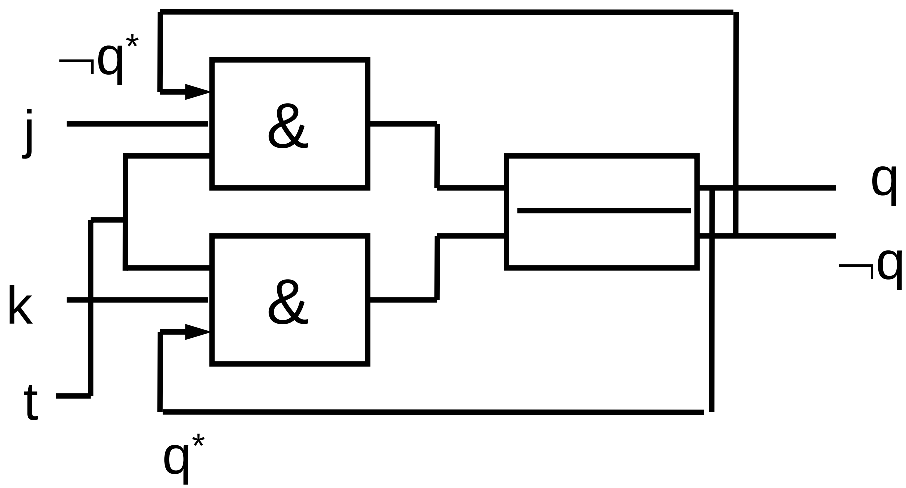


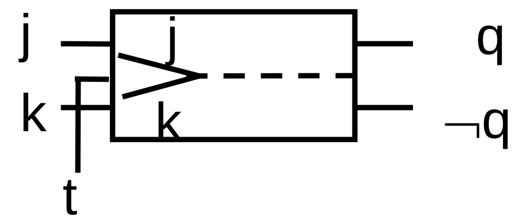


Das synchrone JK-Flipflop

- Ähnlich RS-Flipflop; hier aber Eingangskombination j=k=1 erlaubt

- **Schaltbild:** **Schaltsymbol:**





- **Schaltfunktion:**

  $q = (j \vee q^{*}) \wedge (\neg k \vee \neg q^{*})$;

  $j = k = t = 1 \Rightarrow$ q erhält Wert von $\neg q$ und umgekehrt;
  (Beweis über Schalttabelle)

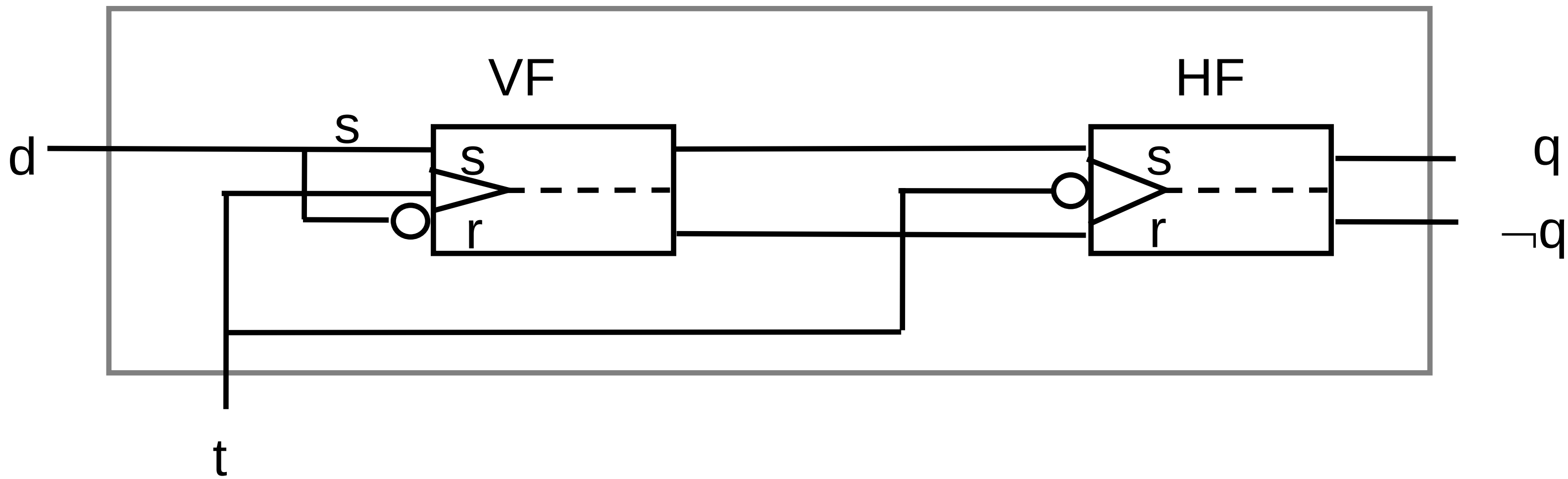
Das RS-MS-Flipflop

MS: **M**aster **S**lave

- Zusammenschalten von 2 synchronen RS-Flipflops mit demselben t

  VF: Vorspeicher-Flipflop („Master“)

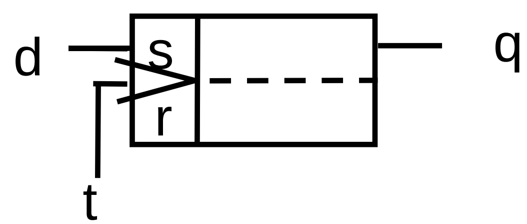
  HF: Hauptspeicher-Flipflop („Slave“)



t = 1: Eingänge von HF gesperrt
Übernahme von d in VF (solange wie t = 1)

t = 0: Eingänge von VF gesperrt
HF übernimmt Schaltzustand von VF

- Einschreiben in den Speicher nur möglich, wenn t = 1; Speicher erst auslesbar, wenn anschließend t = 0
- Oft: MS-Flipflop nur mit q-Ausgang
- **Schaltsymbol** (für Flipflops mit dieser Eigenschaft):



(d: delay; Verzögerung)

Register

- Eine geordnete Menge von synchronen Flipflops mit derselben Taktleitung bezeichnet man als **Register**.
- Operationen mit einem Register bestehend aus n Flipflops

  a) Auf-0-setzen; einzelner / aller Flipflops

  b) Auf-1-setzen; einzelner / aller Flipflops

  c) Invertieren; einzelner / aller Flipflops

Realisierung von (a) – (c)

- Parallel, d.h. gleichzeitiges Ansprechen der entsprechenden Flipflops;

  Nachteil: Anzahl der Anschlüsse (pins) hoch
- Seriell, unter Verwendung von **Schiebeoperationen**

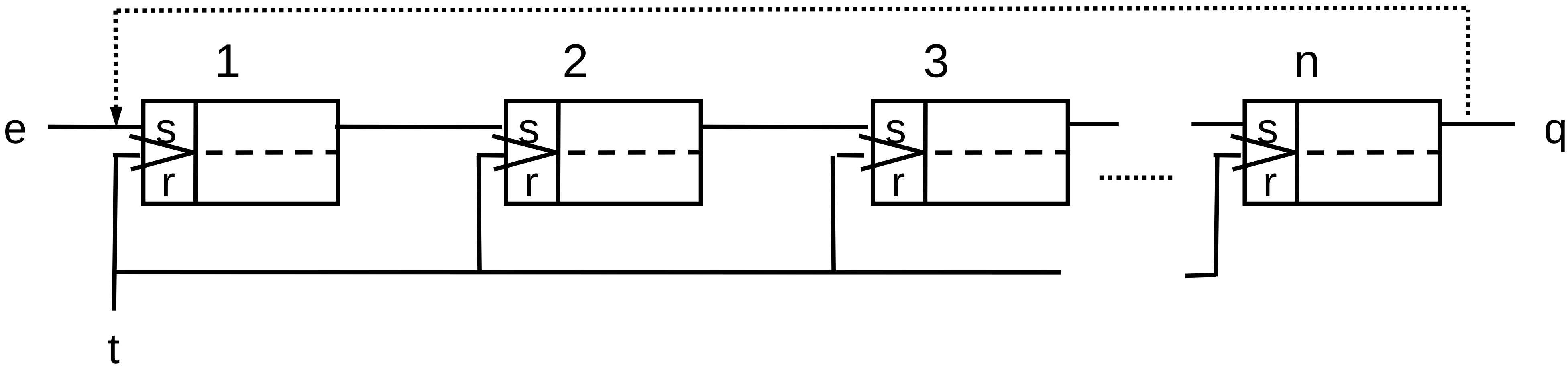
Schieben (shift);

$q_i := q_{i-1}$ $(i = 2, ..., n)$	**Rechtsshift**
falls zusätzlich $q_1 := q_n$	**zyklischer Rechtsshift**
$q_i := q_{i+1}$ $(i = 1, ..., n-1)$	**Linksshift**
falls zusätzlich $q_n := q_1$	**zyklischer Linksshift**

Beispiel 1: Schieberegister

Zusammenschalten von n RS-MS-Flipflops zu einem Schieberegister

Schieberichtung:



• Zyklisches Schieberegister, falls „Rückpfeil“ vorhanden

• Jedes Flipflop des Registers kann auch einzeln eine q-Leitung nach außen haben („Schieberegister mit **Parallelausgabe**“)

• Taktleitung wird häufig nicht eingezeichnet (innerhalb eines Schaltwerks wird meist mit demselben Takt gearbeitet)

• (Zyklisches) Schieberegister kurz auch in folgender Darstellung