

# Aufbau und Funktionsweise eines Computers - II

## Schaltwerke

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.

### 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)

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.

### Definition:

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

$$f : \text{IB}^n \times \text{IB}^r \rightarrow \text{IB}^m$$

$$(a, z) \rightarrow f(a, z) = (f_1(a, z), f_2(a, z), \dots, f_m(a, z))$$

$$\text{mit } a := (a_1, a_2, \dots, a_n) \text{ und } z := (z_1, z_2, \dots, z_r)$$

und

$$g : \text{IB}^n \times \text{IB}^r \rightarrow \text{IB}^r$$

$$(a, z) \rightarrow g(a, z) = (g_1(a, z), g_2(a, z), \dots, g_r(a, z))$$

mit

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.

### Definition:

mit

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

$z_j$  : innere **Zustände**

$f_k, g_j$  : Schaltfunktionen (**Ausgabe-/Übergangsfunktion**)

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

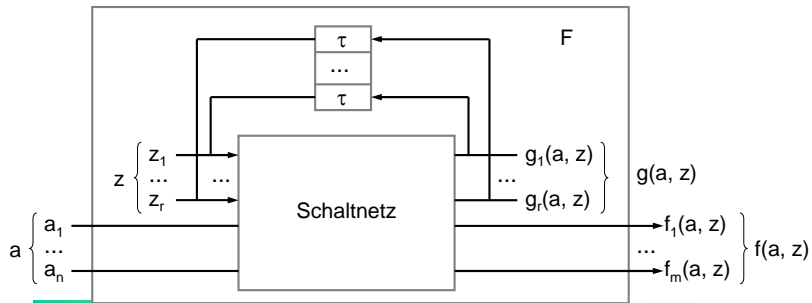
$g_j(a, z)$  : neue (rückzuführende) innere Zustände

$$(i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, r; k = 1, \dots, m)$$

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.

### Grundeinheiten eines Schaltwerks:

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



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.

### Bemerkung:

- Schaltverhalten „sequentiell“
- Den Zustand eines Schaltwerkes bezeichnet man als
  - stabil, falls  $g(a, z) = z$   
(dann: Rückführung ohne Verzögerungsglieder möglich)
  - instabil, falls  $g(a, z) \neq z$
- $\tau$  wird (bei Rückführungen) nicht immer eingezeichnet

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.

### Beispiele: (für einfache Schaltwerke)

- Eingabe  $a = 1$  (ständig):  $f(a, z) = \dots | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | \dots$  ;  
 $\Rightarrow$  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“

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.

### Schwierigkeit insbesondere bei größeren Schaltwerken:

Beschreibung und Verfolgung des **zeitlichen** Signalverlaufs,

- abhängig von
  - $\tau$
  - 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  
 ( $\rightarrow$  synchrone Schaltwerke)

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.

## Synchrone Schaltwerke

Merkmale synchroner, d.h. getakteter Schaltwerke:

- Es werden nur **diskrete Zeitpunkte**  $t \cdot \tau$  mit  $t \in \mathbb{N}_0$  betrachtet.
- Solch einen diskreten Zeitpunkt nennt man **Taktzeitpunkt**, die Zeitspanne  $\tau$  **Taktzeit**.
- Die Schaltzeit  $\tau_s$  gibt an, wie lange ein Schaltnetz braucht, um aus einer Eingangsinformation  $a$  den Wert  $f(a)$  zu bestimmen. Beträgt  $\tau_s$  höchstens  $\tau_{\max}$  Zeiteinheiten, so wählt man  $\tau \geq \tau_{\max}$ .
- $\tau_s$  braucht dann weiter nicht berücksichtigt zu werden.
- Zustandsänderungen erfolgen nur während der Taktzeiten.
- Auslösendes Moment für „Beobachtung“ von Zustandsänderungen: Taktsignal oder einfach **Takt**.

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.

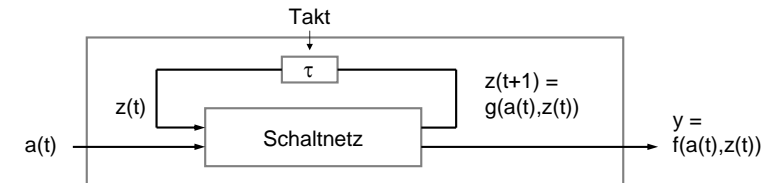
Vereinfachend spricht man meist von Taktzeitpunkten  $t$  anstatt von  $t \cdot \tau$ , d.h. von Taktzeitpunkten

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 ( $t = 0, 1, 2, \dots$ ):

einfaches Schema:



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.

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:  $y(t) = f(a(t), z(t))$

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.

## 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.

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.

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.

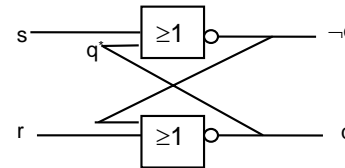
(Flip → Flop → Flip → Flop → Flip → Flop)

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.

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

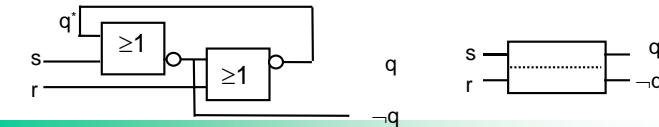
RS: Rücksetzen (reset), Setzen (set)

• **Schaltbild:**



1 innerer Zustand:  $q^*$  (rückgeführtes q)

**Schaltsymbol:**

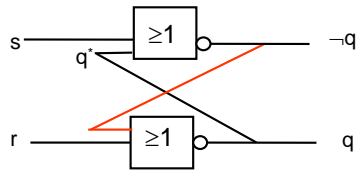


S. Staab, Informatik für IM II; Folien nach Gabriel Juhás, KU Eichstätt, nach R. Richter / P. Sander / W. Stucky: Der Rechner als System: Organisation, Daten, Programme, B. G. Teubner Stuttgart, 1997.

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

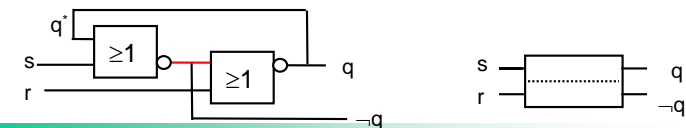
RS: Rücksetzen (reset), Setzen (set)

• **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	
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:**

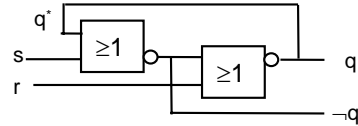
$$q = \neg(\neg(s \vee q^*) \vee r) = (s \vee q^*) \wedge \neg r = \neg r \wedge s \vee \neg r \wedge q^*$$

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

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.

• **Schaltabelle:**

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



• **Schaltfunktion:**

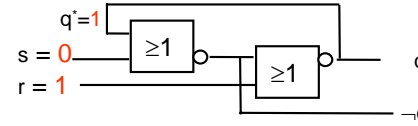
$$q = \neg(\neg(s \vee q^*) \vee r)$$

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

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.

• **Schaltabelle:**

r	s	q*	q <sub>neu</sub>	Zustand	
1	0	1	0	instabil	(„0“ rücksetzen)



• **Schaltfunktion:**

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

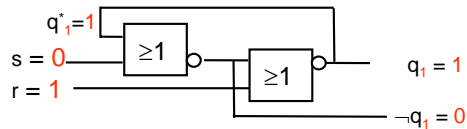
$$\neg q = \neg(s \vee q^*) = \neg(0 \vee 1) = 0 ???$$

Zustand  
in Zeit t1

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.

• **Schaltabelle:**

r	s	q*	q <sub>neu</sub>	Zustand	
1	0	1	0	instabil	(„0“ rücksetzen)



Zustand  
in Zeit t1

• **Schaltfunktion:**

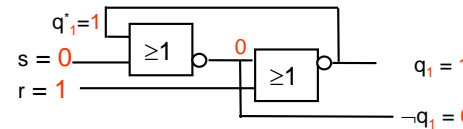
$$q = \neg(\neg(s \vee q^*) \vee r)$$

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

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.

• **Schaltabelle:**

r	s	q*	q <sub>neu</sub>	Zustand	
1	0	1	0	instabil	(„0“ rücksetzen)



Zustand  
in Zeit t1

• **Schaltfunktion:**

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

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

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.

• **Schaltabelle:**

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

**Zustandsübergang**

• **Schaltfunktion:**

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

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

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.

• **Schaltabelle:**

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

**Zustand in Zeit t2**

• **Schaltfunktion:**

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

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

**Zustand in Zeit t1**

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

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.

• **Schaltabelle:**

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

**Zustand in Zeit t2**

• **Schaltfunktion:**

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

$$\neg q = \neg(s \vee q^*) = \neg(0 \vee 1) = 0 \quad \text{JA}$$

**Zustand in Zeit t1**

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

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.

• **Schaltabelle:**

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

**Zustand in Zeit t2**

• **Schaltfunktion:**

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

$$\neg q = \neg(s \vee q^*) = \neg(0 \vee 1) = 0 \quad \text{Ja}$$

**Zustand in Zeit t1**

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

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.

• **Schaltabelle:**

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

$q_2^* = 0$   
 $s = 0$   
 $r = 1$

$q_2 = -(r_1 \vee -q_1) = 0$   
 $-q_2 = 0$   
 $-(s \vee q_1^*) = 0$

**Zustand in Zeit t2**

• **Schaltfunktion:**  
 $q = -((s \vee q_1^*) \vee r)$

$-q = -(s \vee q^*) = -(0 \vee 1) = 0$  **Ja** **Noch nicht Ende!!!**  
**Zustand in Zeit t1**  
 $q_1^* = 1, q_1 = 1, -q_1 = 0$

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.

• **Schaltabelle:**

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

$q_2^* = 0$   
 $s = 0$   
 $r = 1$

$q_2 = -(r_1 \vee -q_1) = 0$   
 $-q_2 = 0$   
 $-(s \vee q_1^*) = 0$

**Zustand in Zeit t2**

• **Schaltfunktion:**  
 $q = -((s \vee q^*) \vee r)$

$-q = -(s \vee q^*) = -(0 \vee 1) = 0$  **Ja** **Noch nicht Ende!!!**  
**Zustand in Zeit t1**  
 $q_1^* = 1, q_1 = 1, -q_1 = 0$

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.

• **Schaltabelle:**

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

$q_2^* = 0$   
 $s = 0$   
 $r = 1$

$q_2 = 0$   
 $-q_2 = 0$

**Zustandsübergang**

• **Schaltfunktion:**  
 $q = -((s \vee q^*) \vee r)$

$-q = -(s \vee q^*) = -(0 \vee 1) = 0$  **Ja** **Noch nicht Ende!!!**  
**Zustand in Zeit t1**  
 $q_1^* = 1, q_1 = 1, -q_1 = 0$

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.

• **Schaltabelle:**

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

$q_3^* = 0$   
 $s = 0$   
 $r = 1$

$q_3 = -(r_2 \vee -q_2) = 0$   
 $-q_3 = 1$   
 $-(s \vee q_2^*) = 1$

**Zustand in Zeit t3**

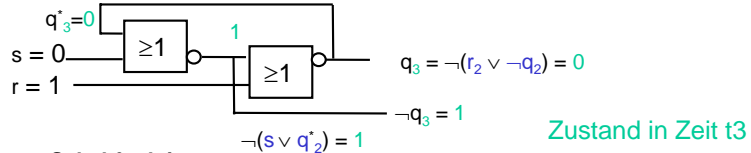
• **Schaltfunktion:**  
 $q = -((s \vee q^*) \vee r)$

$-q = -(s \vee q^*) = -(0 \vee 0) = 1$  **OK**  
**Zustand in Zeit t1** **Zustand in Zeit t2**  
 $q_1^* = 1, q_1 = 1, -q_1 = 0$   $q_2^* = 0, q_2 = 0, -q_2 = 0$

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 <sup>*</sup> <sub>1</sub>	q <sub>3</sub>	Zustand	(„0“ rücksetzen)
1	0	1	0	instabil	



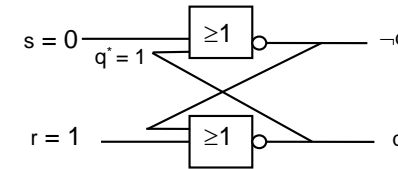
• **Schaltfunktion:**

$$q = \neg(\neg(s \vee q_1^*) \vee r) =$$

$$\neg q_3 = \neg(s \vee q_2^*) = \neg(0 \vee 0) = 1 \quad \text{OK}$$

Zustand in Zeit t1      Zustand in Zeit t2      Zustand in Zeit t3  
 q<sup>\*</sup><sub>1</sub>=1, q<sub>1</sub>=1, -q<sub>1</sub>=0      q<sup>\*</sup><sub>2</sub>=0, q<sub>2</sub>=0, -q<sub>2</sub>=0      q<sup>\*</sup><sub>3</sub>=0, q<sub>3</sub>=0, -q<sub>3</sub>=1

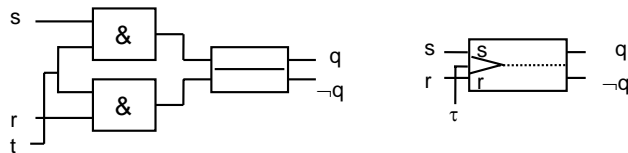
S. Staab, Informatik für IM II; Folien nach Gabriel Juhás, KU Eichstätt, nach R. Richter / P. Sander / W. Stucky: Der Rechner als System: Organisation, Daten, Programme, B. G. Teubner Stuttgart, 1997.



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.

**Das synchrone RS-Flipflop**

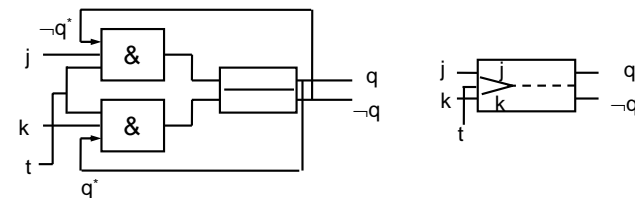
- Übernahme einer Information in den Speicher zu frei bestimmbar Zeitpunkten
- Hinzunahme eines Taktes t: Einschreiben in den Speicher nur möglich, wenn t = 1
- **Schaltbild**      **Schaltsymbol:**



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.

**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 ⇒ q erhält Wert von -q und umgekehrt;  
 (Beweis über Schalttabelle)

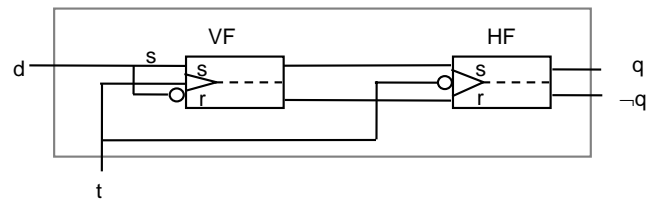
S. Staab, Informatik für IM II; Folien nach Gabriel Juhás, KU Eichstätt, nach R. Richter / P. Sander / W. Stucky: Der Rechner als System: Organisation, Daten, Programme, B. G. Teubner Stuttgart, 1997.



## Das RS-MS-Flipflop

MS: **Master Slave**

- Zusammenschalten von 2 synchronen RS-Flipflops mit demselben t
- VF: Vorspeicher-Flipflop („Master“)
- HF: Hauptspeicher-Flipflop („Slave“)

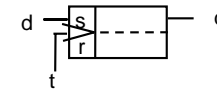


S. Staab, Informatik für IM II; Folien nach Gabriel Juhás, KU Eichstätt, nach R. Richter / P. Sander / W. Stucky: Der Rechner als System: Organisation, Daten, Programme, B. G. Teubner Stuttgart, 1997.

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
- Schaltymbol** (für Flipflops mit dieser Eigenschaft):



(d: delay; Verzögerung)

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.

## Register

- Eine geordnete Menge von synchronen Flipflops mit derselben Taktleitung bezeichnet man als **Register**.
- Operationen mit einem Register bestehend aus n Flipflops
  - Auf-0-setzen; einzelner / aller Flipflops
  - Auf-1-setzen; einzelner / aller Flipflops
  - 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**

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.

**Schieben** (shift);

$$q_i := q_{i-1} \quad (i = 2, \dots, n)$$

$$\text{falls zusätzlich } q_1 := q_n$$

$$q_i := q_{i+1} \quad (i = 1, \dots, n-1)$$

$$\text{falls zusätzlich } q_n := q_1$$

**Rechtssshift**

**zyklischer Rechtssshift**

**Linkssshift**

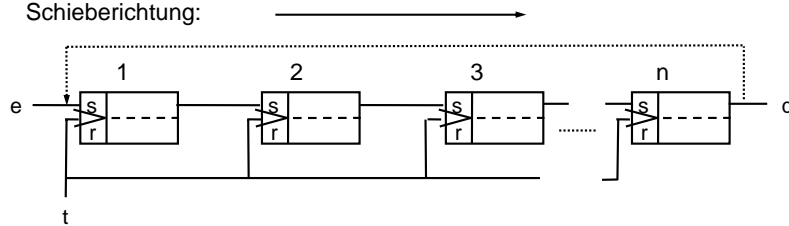
**zyklischer Linkssshift**

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.

### Beispiel 1: Schieberegister

Zusammenschalten von n RS-MS-Flipflops zu einem Schieberegister

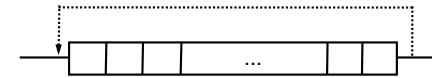
Schieberichtung:



- Zyklisches Schieberegister, falls „Rückpfeil“ vorhanden
- Jedes Flipflop des Registers kann auch einzeln eine q-Leitung nach außen haben („Schieberegister mit **Parallelausgabe**“)

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.

- Taktleitung wird häufig nicht eingezeichnet (innerhalb eines Schaltwerks wird meist mit demselben Takt gearbeitet)
- (Zyklisches) Schieberegister kurz auch in folgender Darstellung



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.