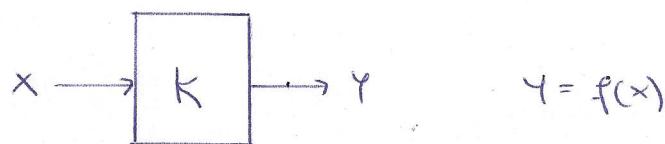


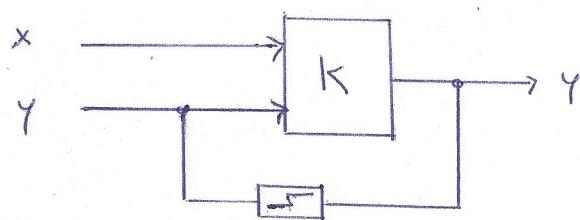
## 2. Sequentielle Schaltungen, Schaltwerke, Automaten

### 2.1. Begriffsbestimmung – Schaltnetze und Schaltwerke

Schaltnetz



Schaltwerk



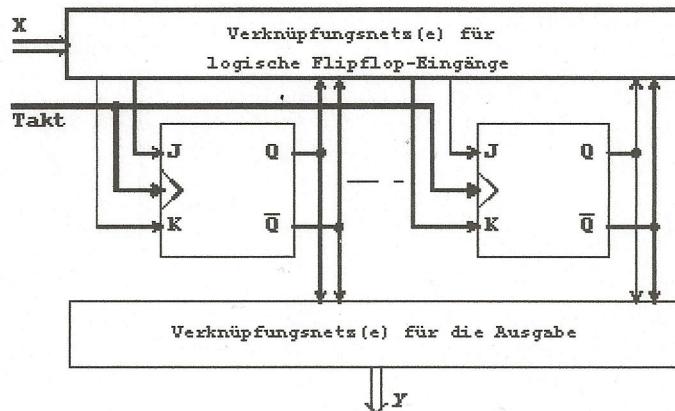
Für einen Eingangszustand sind mehrere Ausgangszustände möglich, d.h der Ausgangszustand hängt von allen bisherigen Eingangszuständen ab.

## 2.2. Zähler

Aufgaben für Zählerschaltungen:

- Umwandlung einer Anzahl von Zählimpulsen in einen vorgegebenen Code
- Erzeugung spezieller Zählfolgen, z.B. zur Steuerung von Abläufen
- Generierung von Zeitverzögerungen von vorgebbarer Dauer

### 2.2.1. Entwurf synchroner Zähler



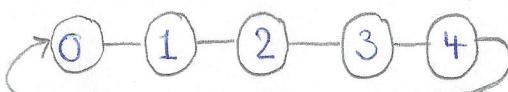
Synchron:

Zählimpulse werden den Takteingängen aller FFs zugeführt (gemeinsames Taktsignal).

- Zähler sind einfacher und übersichtlicher aufgebaut und leichter erweiterbar,
- Es treten keine Laufzeitprobleme auf.

#### 2.2.1.1. Mod-5-Vorwärtzzähler mit RS-FF

Zustandsgraph



Zustandstabelle

Dez. Zählerstand	$Y_2$	$Y_1$	$Y_0$	$\Sigma$
0	0	0	0	
1	0	0	1	
2	0	1	0	
3	0	1	1	
4	1	0	0	1

(restliche Werte: don't care)

Division mit Rest

$$n = a \cdot m + r$$

$$n, m \neq 0$$

$$0 \leq r < |m|$$

m: Ganzahlquotient  
r: Rest

Anzahl der FFs

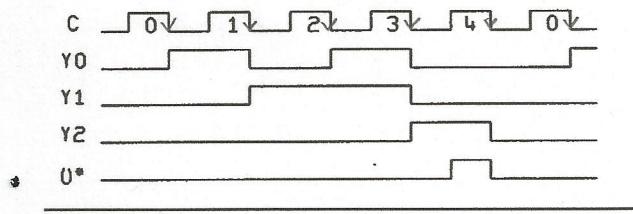
RE  $\{0, 1, 2, 3, 4\}$

E

← Beim Zählerhöchsstand  
„Überlauf“

$$Z = Y_2 \cdot 2^2 + Y_1 \cdot 2^1 + Y_0 \cdot 2^0$$

### Impulsdiagramm



### Entwurf des Übergangsnetzes

#### Zustandsfolgetabelle des Übergangsnetzes

Dez. Zählerstand	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>0</sub>	<sup>1</sup> Q <sub>2</sub>	<sup>1</sup> Q <sub>1</sub>	<sup>1</sup> Q <sub>0</sub>	S <sub>2</sub>	R <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>	R <sub>0</sub>
0	0	0	0	0	0	1	0	x	0	x	1	0
1	0	0	1	0	1	0	0	x	1	0	0	1
2	0	1	0	0	1	1	0	x	x	0	1	0
3	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1
4	1	0	0	0	0	0	0	1	0	x	0	x
5	1	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x
6	1	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x
7	1	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x

$S_2 = Q_0 Q_1$			
	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	
	Q <sub>0</sub>		
Q <sub>1</sub>	0	0	x
	0	1	x
Q <sub>0</sub>	0	x	x
	1	x	x

$R_2 = Q_2$			
	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	
	Q <sub>0</sub>		
Q <sub>1</sub>	x	x	x
	x	0	x
Q <sub>0</sub>	x	x	x
	1	x	x

$S_1 = Q_0 \bar{Q}_1$			
	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	
	Q <sub>0</sub>		
Q <sub>1</sub>	0	1	x
	x	0	x
Q <sub>0</sub>	0	x	x
	x	x	x

$R_1 = Q_0 Q_1$			
	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	
	Q <sub>0</sub>		
Q <sub>1</sub>	x	0	x
	0	1	x
Q <sub>0</sub>	x	x	x
	1	x	x

$S_0 = \bar{Q}_0 \bar{Q}_2$			
	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	
	Q <sub>0</sub>		
Q <sub>1</sub>	1	0	x
	1	0	x
Q <sub>0</sub>	1	x	x
	0	x	x

$R_0 = Q_0$			
	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	
	Q <sub>0</sub>		
Q <sub>1</sub>	0	1	x
	0	1	x
Q <sub>0</sub>	1	x	x
	0	x	x

#### Kontrolle der Nebenbedingung

Wegen RS=0 dürfen Blöcke von R<sub>i</sub> und S<sub>i</sub> nicht das gleiche x-Feld enthalten.

$$S_2 R_2 = Q_0 Q_1 Q_2 = Q_0 Q_1 \bar{Q}_1 = 0 \quad \checkmark$$

$$S_1 R_1 = Q_0 \bar{Q}_1 Q_0 Q_1 = 0 \quad \checkmark$$

$$S_0 R_0 = \bar{Q}_0 \bar{Q}_2 Q_0 = 0 \quad \checkmark$$

## Entwurf des Ausgangsnetzes

Dez. Zählerstand	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$	$\ddot{U}$
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	0
4	1	0	0	1

 $\ddot{U}$  = „Überlauf“

$\ddot{U} = Q_2$		$Q_0$	$Q_2$
	$Q_1$	0	1
	0	0	X
	0	0	X

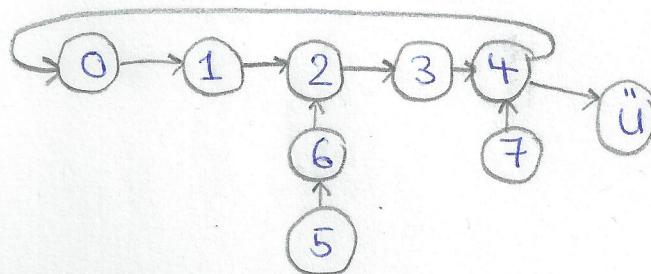
Untersuchung der Pseudozustände:

Mit dem Folgeverhalten der Pseudozustände kann man überprüfen ob der Zähler sich etwa in den Pseudozuständen fängt.

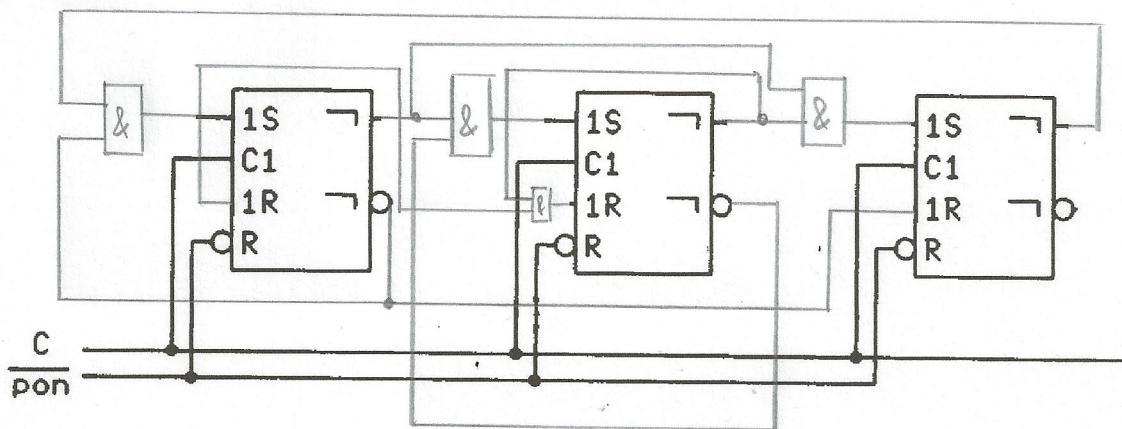
	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$	$S_2$	$R_2$	$S_1$	$R_1$	$S_0$	$R_0$	${}^1Q_2$	${}^1Q_1$	${}^1Q_0$	${}^2Q_2$
5	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1
6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
7	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1
5	1	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	1	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$
1	1	0
0	1	0
1	0	0

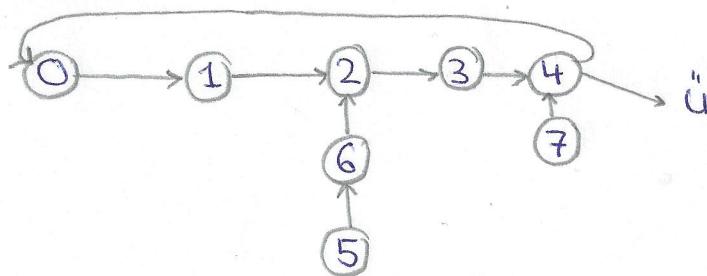
## Zustandsgraph



## Schaltung



## Zustandsgraph

Zusammenfassung der Entwurfsschritte:

- Bestimmung der Anzahl der FFs
- Auswahl des FF-Typs
- Aufstellen der Zustandstabelle (Automatentabelle)
- Entwurf des Übergangsnetzes
- Entwurf des Ausgangsnetzes
- Überprüfung der Psuedozustände
- Erstellung der Schaltung

**Aufgabe 1:** Entwerfen Sie den Mod-5-Vorwärtszähler mit D-FFsa) Entwurf des Übergangsnetzes

Charakteristische Gleichung:  ${}^1Q = D$

Zustandsfolgetabelle des Übergangsnetzes

aus FF-Funktionalität

Dez. Zählerstand	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$	${}^1Q_2$	${}^1Q_1$	${}^1Q_0$	$D_2$	$D_1$	$D_0$
0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
2	0	1	0	0	1	1	0	1	1
3	0	1	1	1	0	0	1	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	1	x	x	x	x	x	x
6	1	1	0	x	x	x	x	x	x
7	1	1	1	x	x	x	x	x	x

$D_2$		$Q_0$	$Q_2$
		$Q_0$	
0	1	x	1
Q <sub>1</sub>	0	0	x

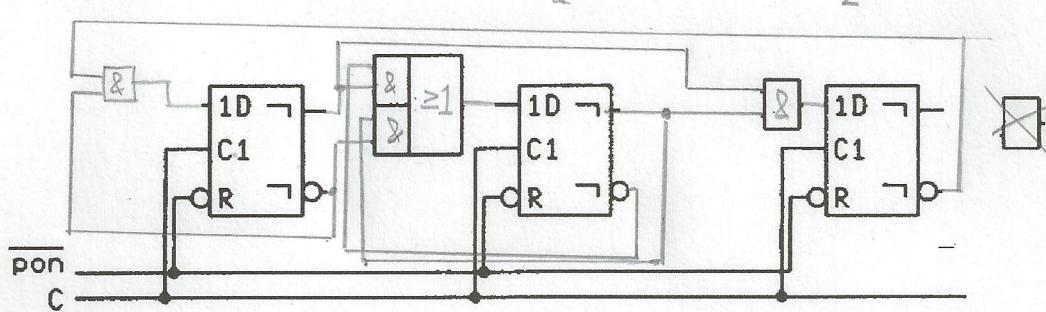
$D_1$		$Q_0$	$Q_2$
		$Q_0$	
0	0	x	1
Q <sub>1</sub>	0	x	x

$D_0$		$Q_0$	$Q_2$
		$Q_0$	
1	0	x	0
Q <sub>1</sub>	1	0	x

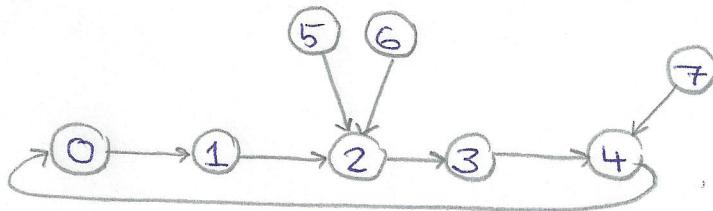
## b) Untersuchung der Pseudozustände

	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$	$D_2$	$D_1$	$D_0$	${}^1Q_2$	${}^1Q_1$	${}^1Q_0$	deq
5	1	0	1	0	1	0	0	1	0	2
6	1	1	0	0	1	0	0	1	0	2
7	1	1	1	1	0	0	1	0	0	4

## c) Schaltung



## d) Zustandsgraph



## 4.5.1.3 Mod-5-Rückwärtzähler mit JK-FF

Zustandsgraph

Entwurf des Übergangsnetzes

Charakteristische Gleichung:  ${}^4Q = J\bar{Q} + KQ$

$$(Q=0 : {}^4Q = J)$$

$$(Q=1 : {}^4Q = \bar{K})$$

$J$	$K$	${}^4Q$	$Q$	${}^4Q$	$J$	$K$
0	0	0	0	0	0	x
0	1	0	0	0	0	1
1	0	1	1	1	1	0
1	1	Q	Q	1	x	1

## Zustandsfolgetabelle des Übergangsnetzes

Dez. Zählerstand	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$	${}^1Q_2$	${}^1Q_1$	${}^1Q_0$	$J_2$	$K_2$	$J_1$	$K_1$	$J_0$	$K_0$
4	1	0	0	0	1	1	x	1	1	x	1	x
3	0	1	1	0	1	0	0	x	x	0	x	1
2	0	1	0	0	0	1	0	x	x	1	1	x
1	0	0	1	0	0	0	0	x	0	x	x	1
0	0	0	0	1	0	0	1	x	0	x	0	x

${}^1Q_2$	$Q_2$			
	$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	
$Q_1$	1	0	x	0
	0	0	x	x

$$( \text{für } J_2 : Q_2 = 0 \quad J_2 = \bar{Q}_0 \bar{Q}_1 )$$

$$( \text{für } K_2 : Q_2 = 1 \quad K_2 = 1 )$$

${}^1Q_1$				$Q_2$		
		$Q_0$				
{		0	0	X	1	
$Q_1 = 0$		0	1	X	X	
$Q_1 = 1$		1	X	X		

$Q_1 = 0 \rightarrow 1\text{-Felder} \quad J_1 = Q_2$   
 $Q_1 = 1 \rightarrow 0\text{-Felder} \quad K_1 = \overline{Q}_0$

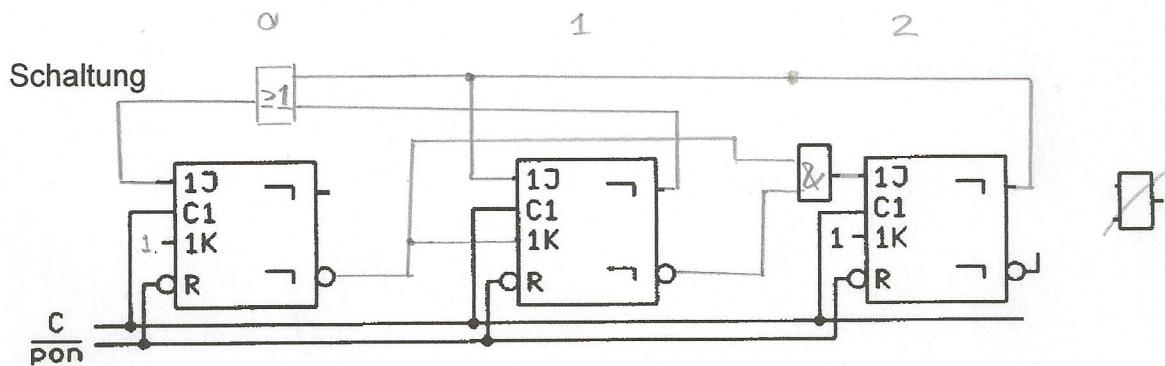
${}^1Q_0$				$Q_2$		
		$Q_0$				
{		0	0	X	1	
$Q_0 = 0$		0	1	X	X	
$Q_0 = 1$		1	0	X	X	

$Q_0 = 0 \rightarrow 1\text{-Felder} \quad J_0 = Q_1 + Q_2$   
 $Q_0 = 1 \rightarrow 0\text{-Felder} \quad K_0 = 1$

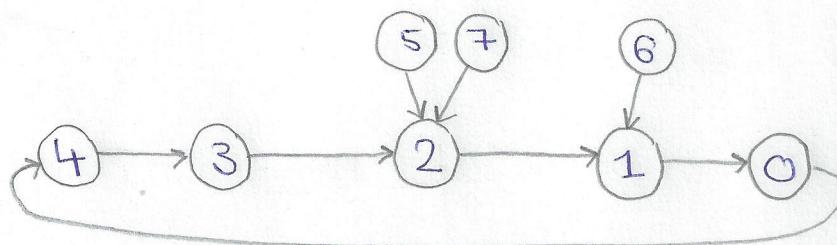
### Untersuchung der Pseudozustände

	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$	$J_2$	$K_2$	$J_1$	$K_1$	$J_0$	$K_0$	${}^1Q_2$	${}^1Q_1$	${}^1Q_0$	dez.
5	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	2
6	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1
7	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	2

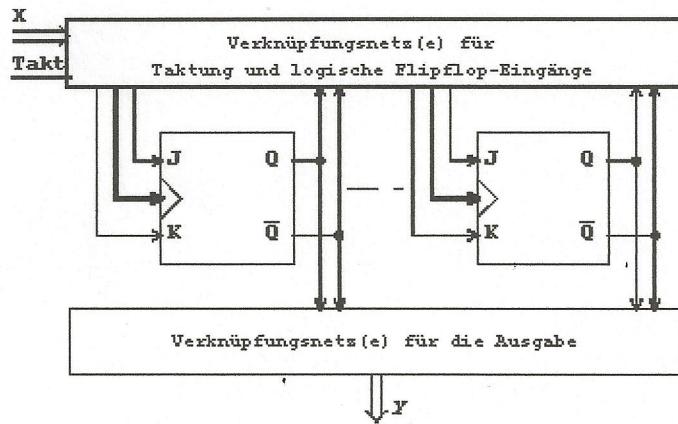
$J$	$K$	${}^1Q$
0	0	Q
0	1	$\overline{Q}$
1	0	$\overline{Q}$
1	1	Q



### Zustandsgraph



## 2.2.2. Asynchrone Zähler



Min. ein FF wird nicht durch das Taktsignal, sondern durch im Zähler selbst erzeugten Impulse angesteuert.

Vorteil:

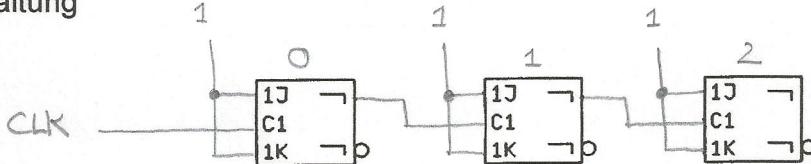
Nicht alle FFs müssen für die max. Frequenz des Eingangstaktes ausgelegt sein  
Der Gatteraufwand ist geringer.

Nachteil:

Es können fehlerhafte Zwischenzustände beim Umschalten auftreten – Laufzeitprobleme.

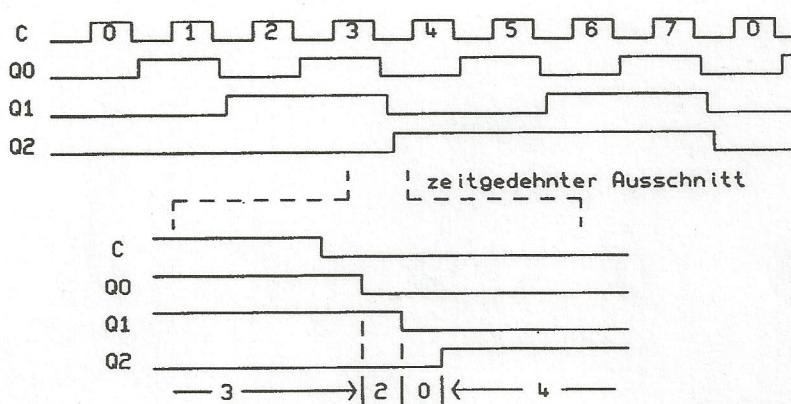
### Asynchroner mod-8-Vorwärtszähler

Schaltung



JK	K	+Q
0	0	Q0 1 0
0	0	Q1 0 1
1	1	Q2 1 1
1	0	Q0 1 0
1	0	Q1 0 1
1	1	Q2 1 1
1	0	Q0 1 0

Impulsdiagramm



$\approx 10 \text{ ns}$

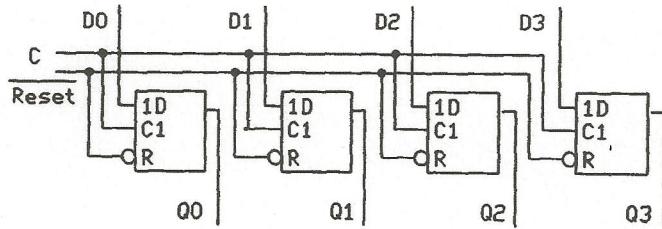
zwischenzustände  
beim Umschalten

0	0	0	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	0	2
0	1	1	1	3
0	1	1	0	4
1	0	0	0	5
1	0	1	1	5
1	1	0	0	6
1	1	1	1	7

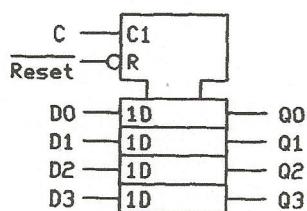
## 2.3. Registerschaltungen

### 2.3.1. Auffangregister (Latch)

Schaltung

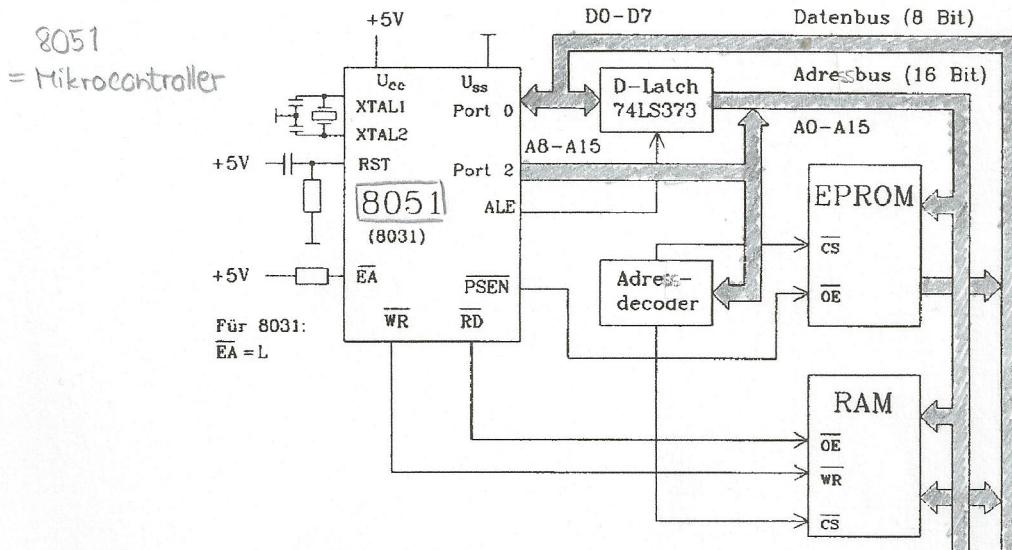


Schalsymbol



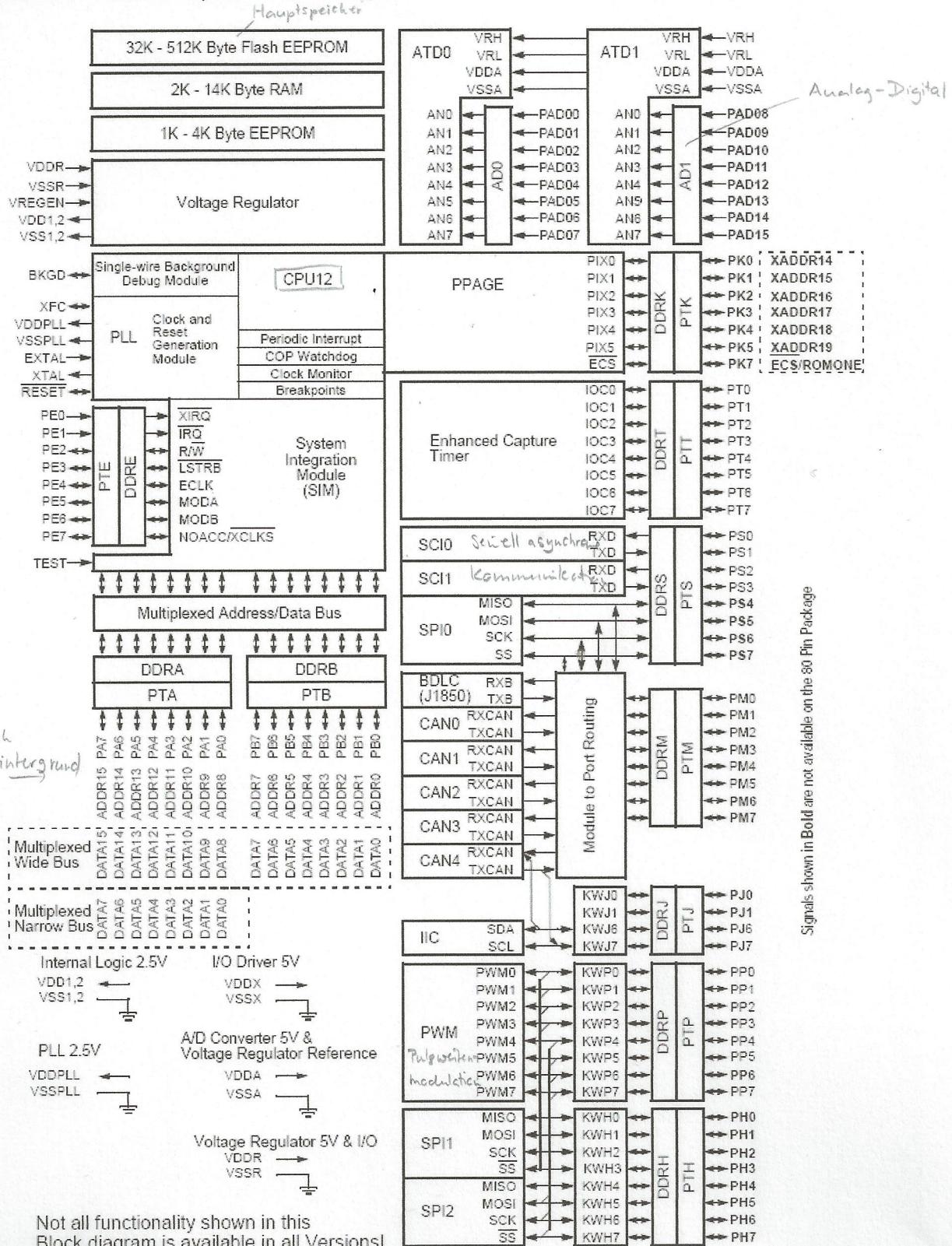
Mit dem Takt wird der jeweilige Eingang in den Speicher übernommen.

#### 2.3.1.1. Anwendungen

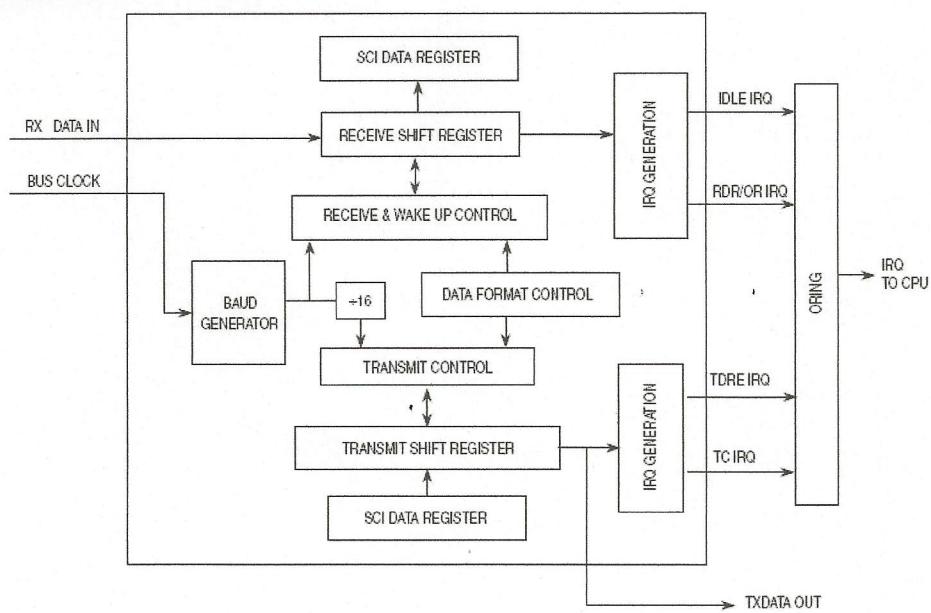


Mikrocontroller 8051 mit externem RAM und EPROM

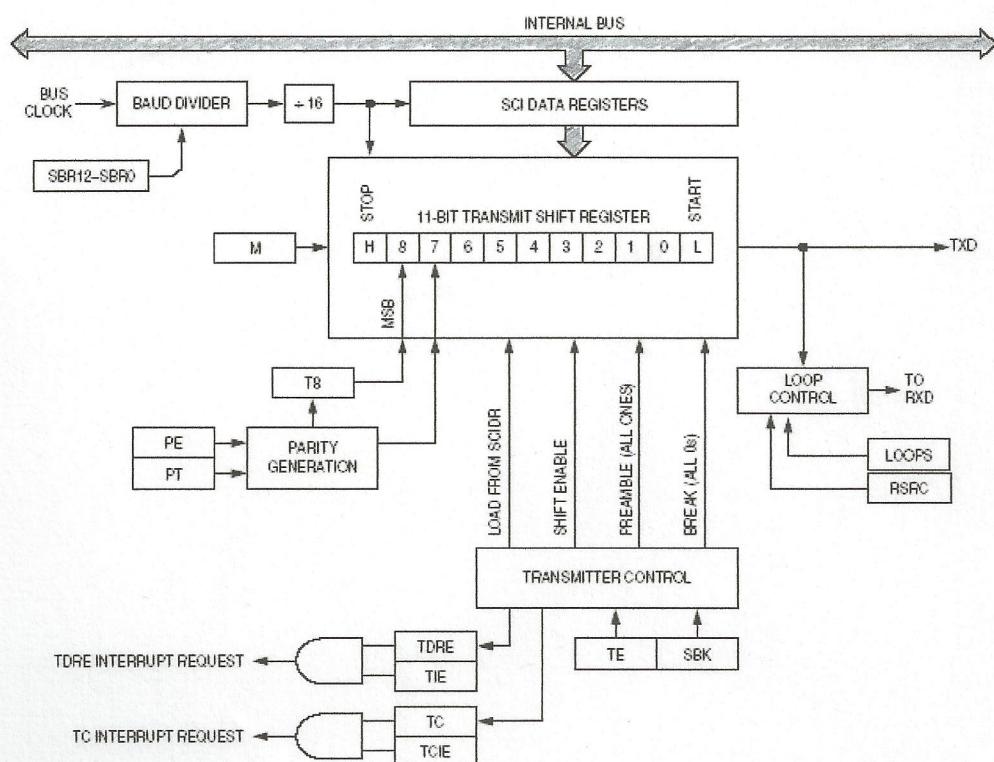
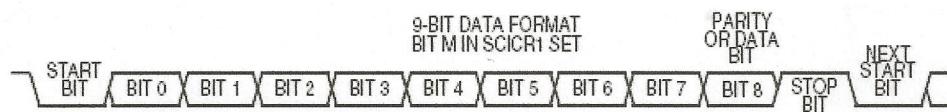
## HC12 von Freescale (früher Motorola)



## Blockschaltbild der SCI des HC12



## Datenformat SCI (mit Paritätsbit)

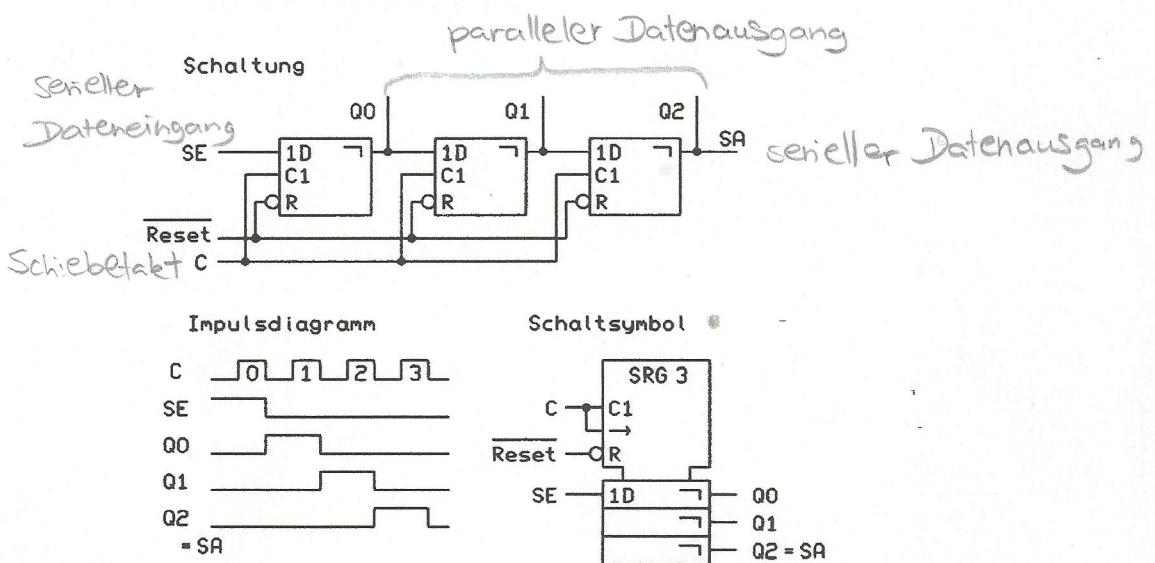


## 2.3.2. Schieberegister (= SRG)

### Schieberegister- Klassen

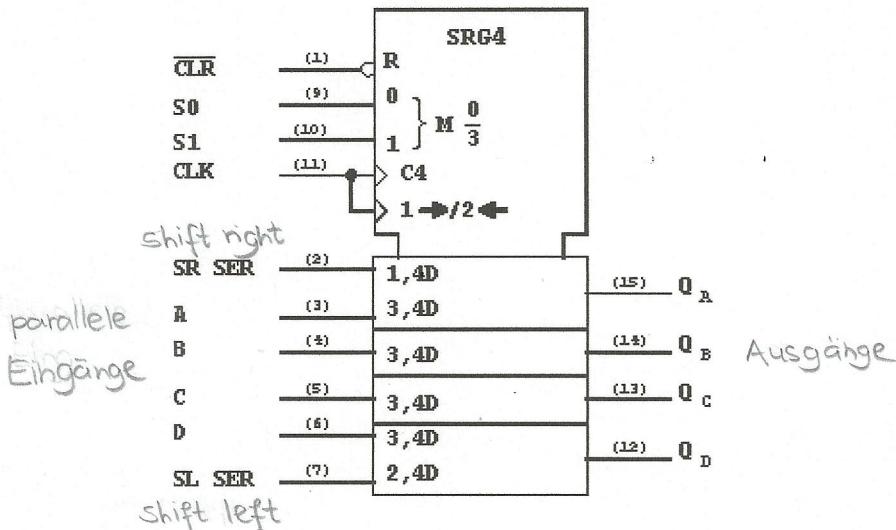
Dateneingang	Datenausgang	Funktion	Beispiel (8Bit)
seriell	seriell	SISO	
seriell	parallel	SIPO	
parallel	seriell	PISO	
parallel	parallel	PIPO	

### 2.3.2.1. Seriell-Parallel-Umsetzer



## Der Baustein 74194

74LS194:  
4-Bit Bidirectional Universal Shift Register



Funktionstabelle

Clear	Mode		Clock	Serial		Parallel				Outputs			
	S <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>		Left	Right	A	B	C	D	Q <sub>A</sub>	Q <sub>B</sub>	Q <sub>C</sub>	Q <sub>D</sub>
L	x	x	x	x	x	x	x	x	x	L	L	L	L
H	x	x	L	x	x	x	x	x	x	Q <sub>A0</sub>	Q <sub>B0</sub>	Q <sub>C0</sub>	Q <sub>D0</sub>
H	H	H		x	x	a	b	c	d	a	b	c	d
H	L	H		x	H	x	x	x	x	H	Q <sub>An</sub>	Q <sub>Bn</sub>	Q <sub>Cn</sub>
H	L	H		x	L	x	x	x	x	L	Q <sub>An</sub>	Q <sub>Bn</sub>	Q <sub>Cn</sub>
H	H	L		H	x	x	x	x	x	Q <sub>Bn</sub>	Q <sub>Cn</sub>	Q <sub>Dn</sub>	H
H	H	L		L	x	x	x	x	x	Q <sub>Bn</sub>	Q <sub>Cn</sub>	Q <sub>Dn</sub>	L
H	L	L	x	x	x	x	x	x	x	Q <sub>A0</sub>	Q <sub>B0</sub>	Q <sub>C0</sub>	Q <sub>D0</sub>

Betriebszustände:

- Für S<sub>1</sub> = S<sub>0</sub> = L (Mode 0) wird weder geschoben noch geladen. Die gespeicherten Daten liegen unverändert an den Ausgängen.
- Für S<sub>1</sub> = S<sub>0</sub> = H (Mode 3) werden mit der nächsten ansteigenden Taktflanke die an den Eingängen D0, ..., D3 anliegenden Daten parallel geladen.  
*A, B, ..., D*
- S<sub>1</sub> = H und S<sub>0</sub> = L (Mode 2) gibt Schieben in Richtung von Q3 nach Q0 frei. Ein am seriellen Eingang für 'Linksschieben' (SE L) anliegender Wert wird dabei in Q3 übernommen.
- S<sub>1</sub> = L und S<sub>0</sub> = H (Mode 1) gibt Schieben in Richtung von Q0 nach Q3 frei. Ein am seriellen Eingang für 'Rechtsschieben' (SE R) anliegender Wert wird dabei in Q0 übernommen.

Endliche Automaten stellen Zustände dar, um die Ausgabe abhängig vom Zustand des Systems zu beschreiben.

### Mealy-Automat

asynchron: die Ausgabe kann sich unabhängig vom Takt ändern.

- \* Die Ausgabe hängt vom aktuellen Zustand und der aktuellen Eingabe ab.  $\leftarrow$  allgemeinster Fall

$$A = F_{\text{Mealy}}(E, Z)$$

A: Ausgabe, Ausgang  
F: Funktion  
E: Eingabe, Eingang  
Z: Zustand

$$+ Z = F_{\text{Mealy}}(E, Z)$$



Wird im Zustand  $z_i$  der Eingabewert  $E_k$  gelesen, gibt der Automat den Ausgangswert  $A_k$  aus und geht in den Zustand  $z_j$ .

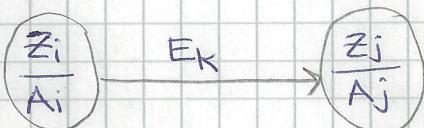
### Moore-Automat

Synchron: die Ausgabe ändert sich mit der Taktflanke

Die Ausgabe hängt nur vom aktuellen Zustand ab.  
Der Moore-Automat ist ein Spezialfall des Mealy-Automaten.

$$A = F_{\text{Moore}}(Z)$$

$$+ Z = F_{\text{Moore}}(E, Z)$$



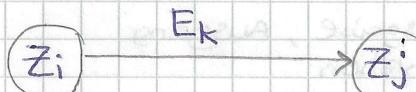
Befindet sich der Automat im Zustand  $z_i$ , gibt er den Ausgangswert  $a_i$  aus. Wird dann der Eingabewert  $e_k$  gelesen, geht er in den Zustand  $z_j$  und gibt den Ausgabewert  $a_j$  aus.

### Medwedew-Automat

$$A = Z$$

Spezialfall des Moore-Automaten

$$^+z = \text{Medwedew } (E, z)$$



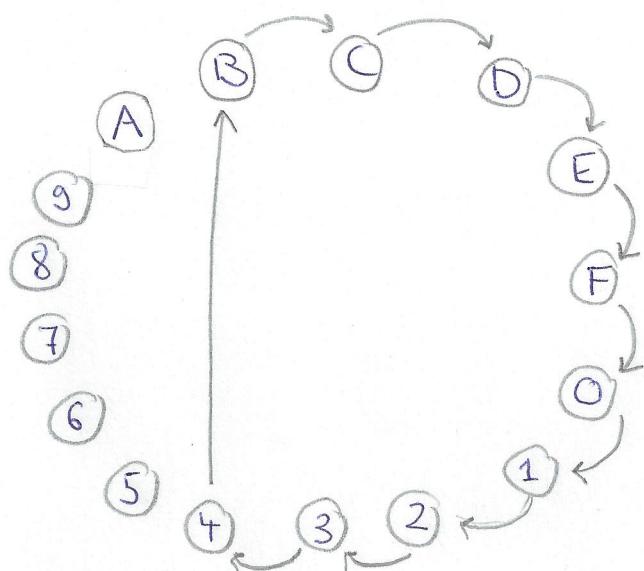
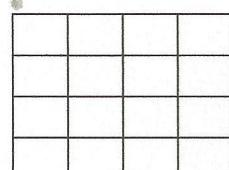
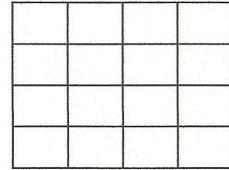
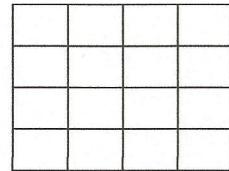
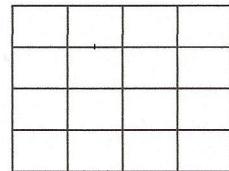
Befindet sich der Automat im Zustand  $z_i$ , gibt er den Ausgangswert  $z_i$  aus. Wird dann der Eingabewert  $E_k$  gelesen, geht er in den Zustand  $z_j$  und gibt den Ausgabewert  $z_j$  aus. Der Zustand ist auch gleichzeitig die Ausgabe.

**Aufgabe 2**

Entwerfen Sie einen Aikenzähler (2-4-2-1 Code) mit JK-FFs als synchronen Vorwärtszähler.

$\epsilon$	Q3	Q2	Q1	Q0	${}^1\!Q_3$	${}^1\!Q_2$	${}^1\!Q_1$	${}^1\!Q_0$
0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0	0	1	1
3	0	0	1	1	0	1	0	0
4	0	1	0	0	1	0	1	1
(5) B	1	1	0	1	1	1	0	0
(6) C	1	1	0	0	1	1	0	1
(7) D	1	1	0	1	1	1	1	0
(8) E	1	1	1	0	1	1	1	1
(9) F	1	1	1	1	0	0	0	0

Karnaugh-Plan



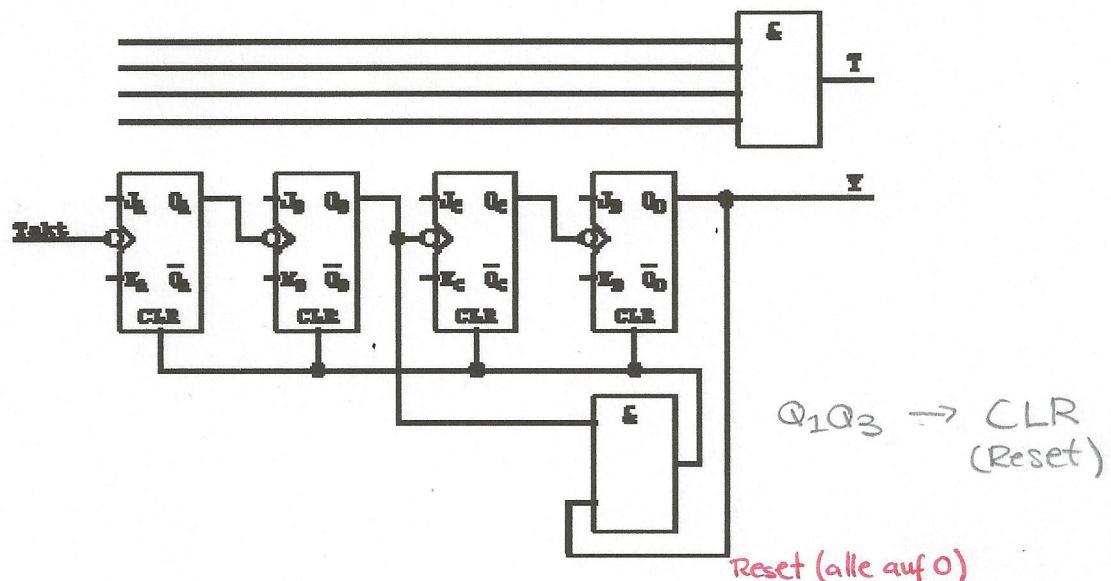
Bits	3.	2.	1.	0.
Aiken	2	4	2	1
BCD	8	4	2	1

↑

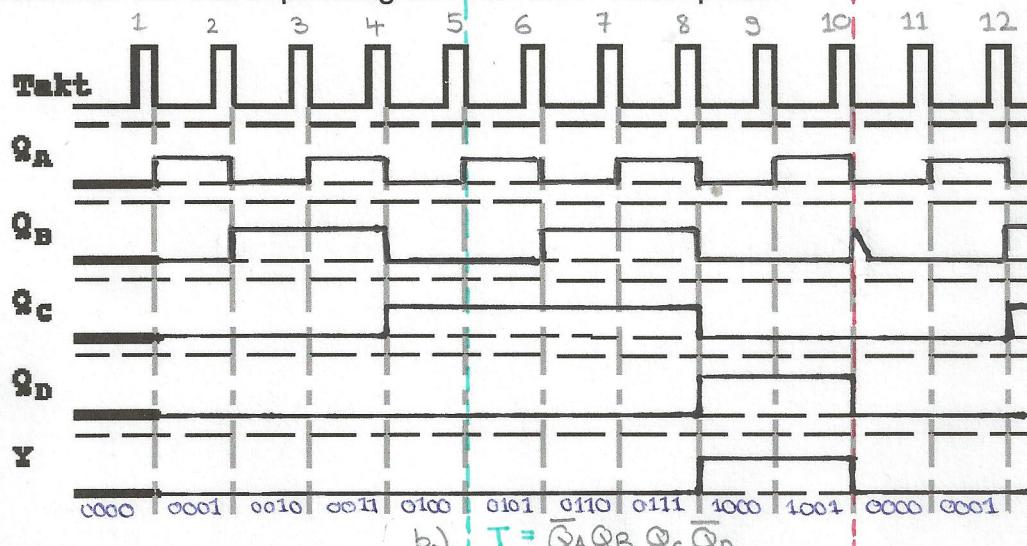
4. Stelle mit 2 gewichtet  
statt mit 8

**Aufgabe 3**

Der folgende asynchrone Zähler wird aus JK-Flipflops aufgebaut:



a) Bestimmen Sie das Impulsdiagramm für zehn Taktimpulse.



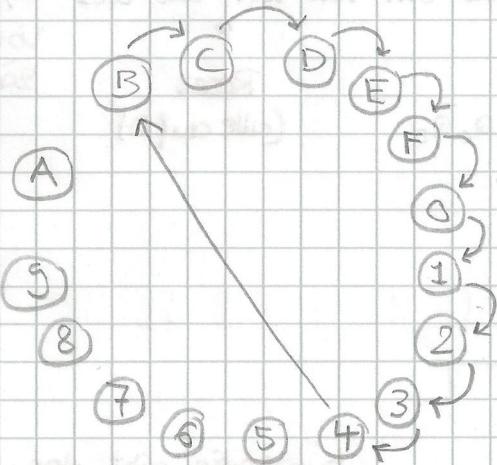
b) Welche Flipflop-Ausgänge müssen mit den vier Eingängen des zusätzlichen UND-Gatters verbunden werden, damit der Ausgang dieses Gatters nach sechs Clock-Impulsen auf "high" geht?

Hinweis:

Die nicht verbundenen JK-Eingänge entsprechen auf "high" liegenden Eingangssignalen (bei TTL-Logik). Alle Q-Ausgänge liegen zu Beginn der Taktung auf "0" ( $Q_A = Q_B = Q_C = Q_D = 0$ ).

Aufgabe 2:

$\Sigma$	$Q_3$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$	${}^1Q_3$	${}^1Q_2$	${}^1Q_1$	${}^1Q_0$
0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0	0	1	1
3	0	0	1	1	0	1	0	0
4	0	1	0	0	1	0	1	1
(5)	3	11	1	0	1	1	0	0
(6)	C	12	1	1	0	1	1	0
(7)	D	13	1	1	0	1	1	0
(8)	E	14	1	1	1	0	1	1
(9)	F	15	1	1	1	0	0	0

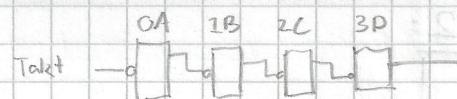


Bits	3.	2.	1.	0.
Aiken	2	4	2	1
BCD	8	4	2	1

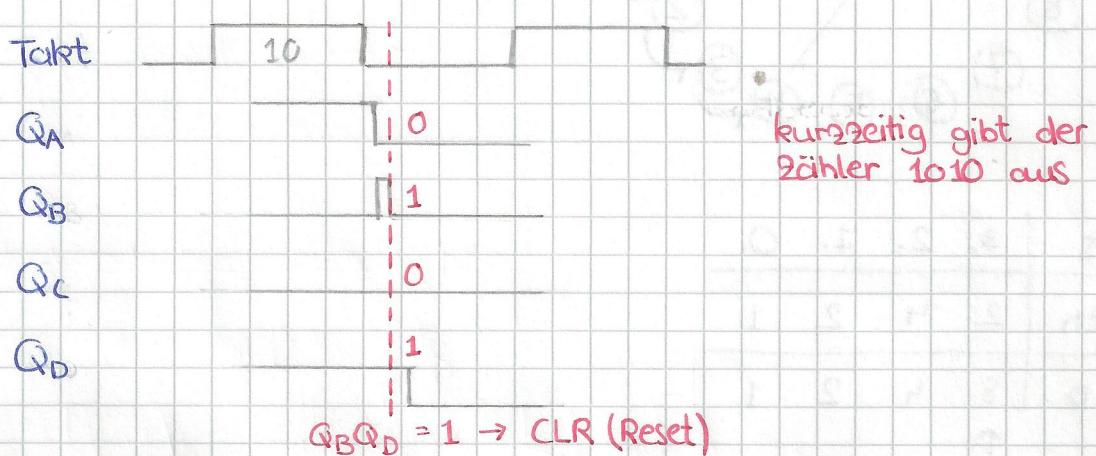
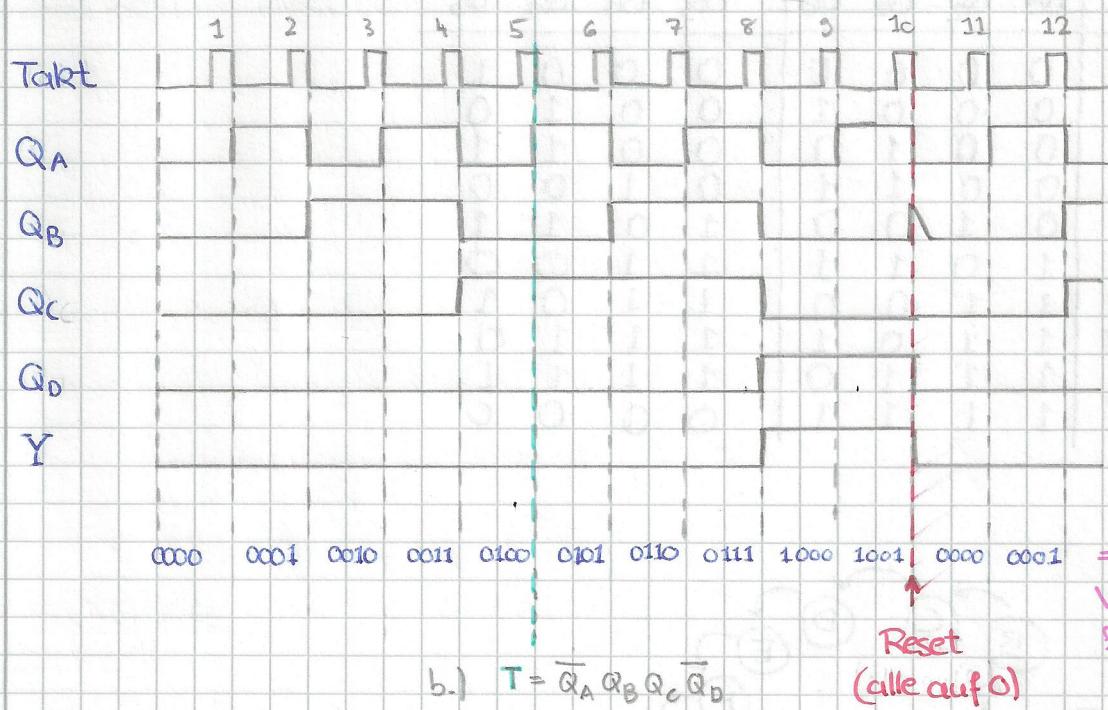
↑

4. Stelle mit 2 gewichtet  
statt mit 8

Zu Aufgabe 3:



$Q_1 Q_3 \rightarrow \text{CLR (Reset)}$



1.  $J = K = 1$   
toggle

2.  $Q_A$  einzeichnen

3.  $Q_A$  int Takt für  
 $Q_B$   
⋮

4. Und-Gatter Auswirkung

5. Impulsdiagramm  
vervollständigen

6. Zählerzustände identifizieren  $\Rightarrow$  Zählerart / Typ

4.  $Q_1 Q_3 \rightarrow \text{CLR (Reset)}$   
 $Q_2 Q_0$

$Q_0$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_3$	de2
1	0	1	0	10
2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	

## 2.4. Beschreibung und Entwurf von Schaltwerken (am Beispiel eines Geldwechselautomaten)

### 2.4.1. Zustandsdiagramm

- Wechselt 1€ und 2€-Münzen in 10ct-Münzen
- Pro Wechselvorgang sind max. 2€ möglich
- Die Wechselgeldausgabe erfolgt nach dem Drücken der Wechseltaste

#### Mögliche Eingaben

1€ Münze einwerfen : 1E

2€ Münze einwerfen : 2E

Wechseltaste drücken : WT

keine Eingabe : KE

#### Mögliche Ausgaben

10 × 10 ct ausgeben : 10A

20 × 10 ct ausgeben : 20A

1€ zurückgeben : 1R

2€ zurückgeben : 2R

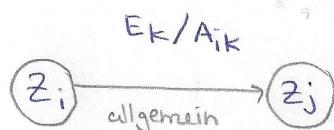
keine Ausgabe : KA

#### Zustände

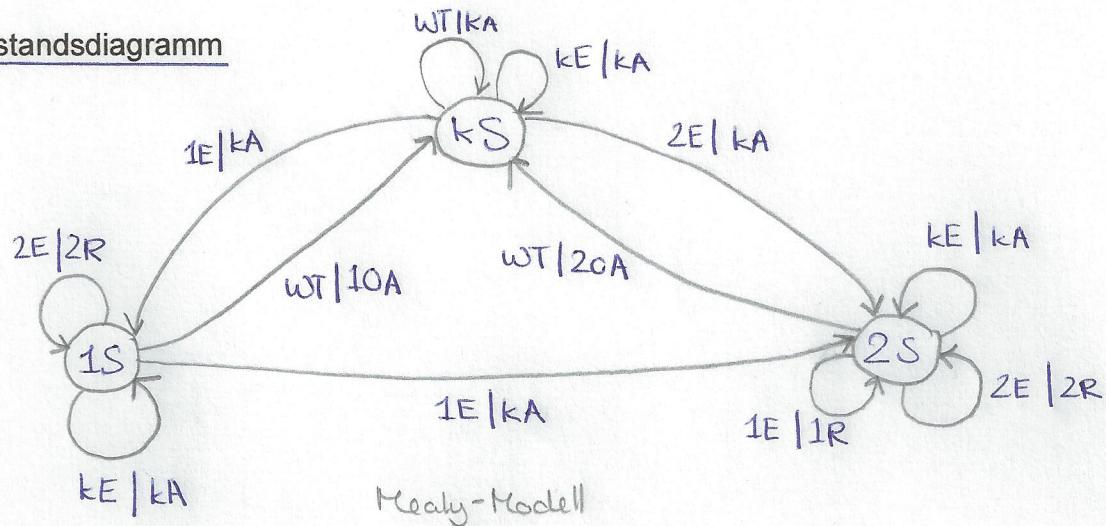
keine Schulden : KS

1€ - II - : 1S

2€ - II - : 2S



#### Zustandsdiagramm



### 2.4.2. Zustandsfolgetabelle

Zustand	Eingabe	Folgezustand	Ausgabe
KS	KE	KS	KA
	1E	1S	KA
	2E	2S	KA
	WT	KS	KA
1S	KE	1S	KA
	1E	2S	KA
	2E	1S	2R
	WT	KS	10A
2S	KE	2S	KA
	1E	2S	1R
	2E	2S	2R
	WT	KS	20A

Kodierung

4 Eingabewerte  $\rightarrow 2^4 = 16$  Bits

Eingabe	E <sub>1</sub>	E <sub>0</sub>
KE	0	0
1E	0	1
2E	1	0
WT	1	1

Ausgabe	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>0</sub>
KA	0	0	0
10A	0	0	1
20A	0	1	0
1R	0	1	1
2R	1	0	0

5 Ausgabewerte  $\rightarrow 5 > 2^2 \rightarrow 2^3$