

# Kapitel 4 - Zähler

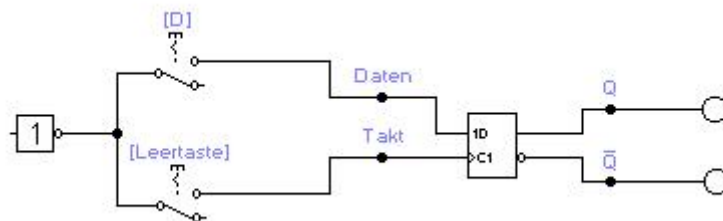
## Versuch 400 D-Flipflop

Ein D-Flipflop besitzt nur einen Eingang D. Es hat nur zwei Betriebszustände:

Bei  $T = 0$  behält es seinen bisherigen Zustand, es speichert. Bei  $T = 1$  übernimmt es den an D anliegenden Wert, also bei  $D = 0$  wird  $Q = 0$  und bei  $D = 1$  wird  $Q = 1$ .

Das D-Flipflop aus der Datei v330 soll nun durch ein fertiges D-Flipflop aus der Schaltungsbibliothek ersetzt werden. Betrachten Sie dazu v400 und überprüfen Sie die korrekte Funktionsweise.

Handelt es sich um ein taktzustands- oder taktflankengesteuertes D-Flipflop?



## Versuch 410 T-Flipflop

Flipflops, die mit jeder steigenden oder mit jeder fallenden Taktflanke in den entgegengesetzten Zustand kippen, heißen T-Flipflops („Toggle-Flipflops“). T-Flipflops können aus anderen Flipflops aufgebaut werden. In der ersten Zeile sind einfache T-Flipflops dargestellt (ohne Enable-Eingang). Sie besitzen nur einen Takteingang. Das (linke) D-FF toggelt, wenn man den  $\bar{Q}$ -Ausgang auf den D-Eingang rückkoppelt. Rechts ist ein kombiniertes RS-JK-Flipflop abgebildet. Das JK-Flipflop toggelt, wenn man  $J = K = 1$  setzt. Die S und R Eingänge bleiben unbeschaltet, was beim EWB-Simulator einer logischen 0 entspricht.

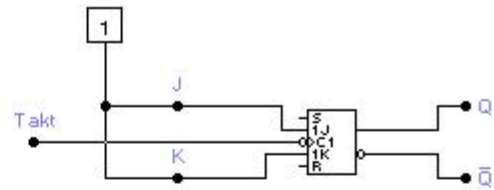
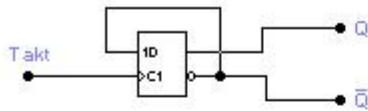
### Makro erzeugen:

Erzeugen Sie in der Datei aus den Schaltungen der 2. Zeile zwei Makros D-FF und JK-FF. Markieren Sie dazu die Schaltung (Maus) und drücken Sie dann „F5“ und „kopiere aus Schaltung“. Das erzeugte Makro findet man bei den Schaltelementen unter dem linken Reiter (der mit „A“ bezeichnet ist) wieder. Um das Makro in der Schaltung anschließen zu können ziehen Sie im Makro eine Anschlussleitung über den Rand des Makros nach außen. Dann entsteht automatisch ein Anschlusspunkt der mit dem Rest der Schaltung wie gewohnt verbunden werden kann. Einen unbenutzten Anschlusspunkt kann man entfernen, indem man ihn aus dem Makro herauszieht.

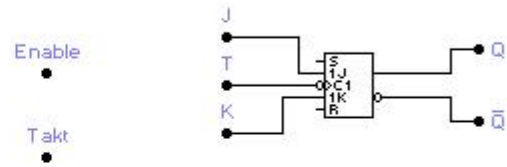
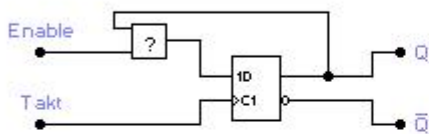
Überlegen Sie, welches Gatter beim D-Flipflop eingesetzt werden muss bzw. wie J und K mit Enable verbunden werden müssen. Das fertige Makro-Flipflop soll bei einer aufsteigenden Flanke und bei Enable = 1 toggeln.

In der zweiten Zeile sind Entwürfe für T-Flipflops mit Enable-Eingang dargestellt. Der Enable-Eingang legt fest, ob das Flipflop toggelt (seinen Zustand ändert) oder speichert (seinen Zustand nicht verändert).

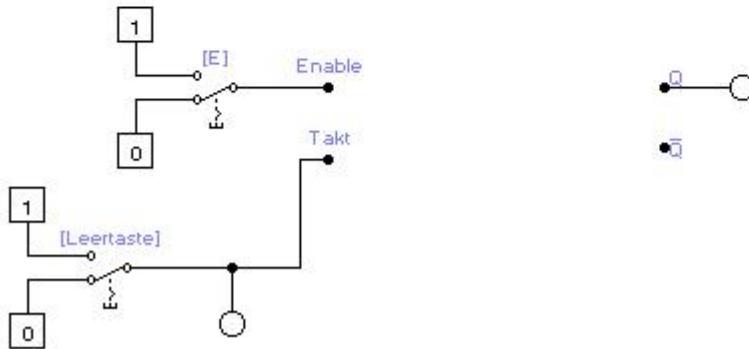
Erste Zeile:



Zweite Zeile:



Hier sollen die Makros D-FF und JK-FF eingebaut und getestet werden:

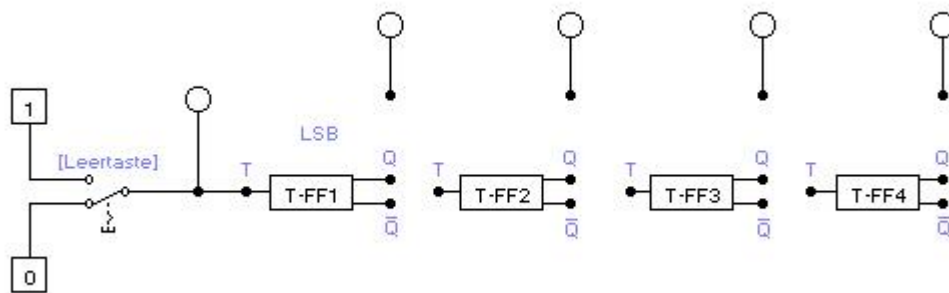


## Versuch 420 Einfacher asynchroner Zähler

In dem aufzubauenden Zähler sollen die T-Flipflops nacheinander mit einer aufsteigenden Flanke toggeln. Das Flipflop 1 bei jedem Takt, das FF2 bei jedem zweiten, das FF3 bei jedem vierten usw.

Vervollständigen Sie die Schaltung in der Datei v420, um das geforderte Verhalten zu erreichen. Der Zähler soll nach dem Einschalten 0000 anzeigen und dann hochzählen. Beachten Sie, dass das niederwertigste Bit (LSB) links steht. (LSB = Least Signifikant Bit)

Welcher Anschluss liefert das Taktsignal für die Flipflops 2 bis 4?



## Versuch 430 Synchroner Zähler

Bei einem synchronen Zähler werden alle Flipflops gleichzeitig getaktet. In der Datei v430 finden Sie die Grundschialtung eines synchronen 4-Bit Zählers mit T-Flipflops.

### Für alle Zähler gilt:

Das Flipflop 1 an der niederwertigsten Stelle soll jeden Takt zählen (toggeln).

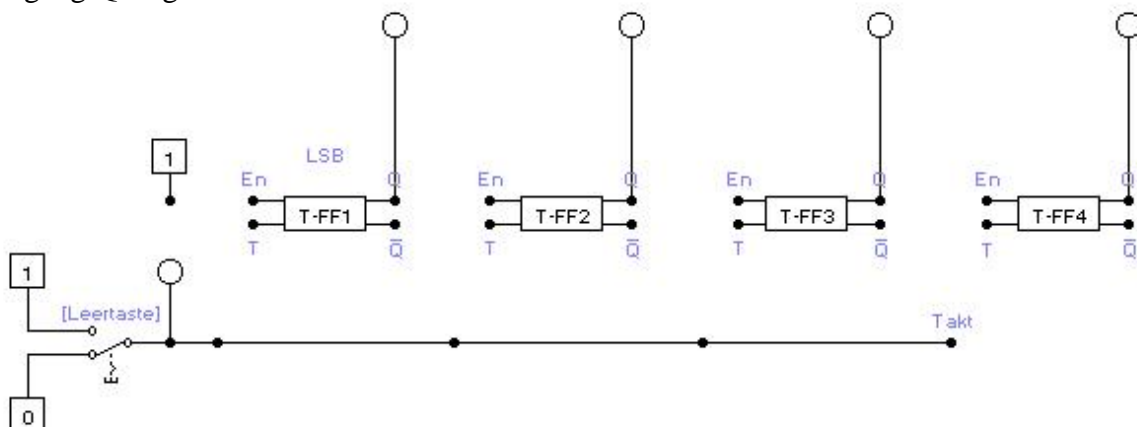
Das Flipflop 2 an der zweit-niederwertigsten Stelle soll jeden zweiten Takt zählen.

Das Flipflop 3 an der dritt-niederwertigsten Stelle soll jeden vierten Takt zählen.

Das Flipflop 4 an der höchsten Stelle soll jeden achten Takt zählen.

**Allgemein:** Das Flipflop an der n-ten Stelle (beginnend mit  $n=0$  für die erste niederwertigste Stelle) soll jeden  $2^n$ -ten Takt zählen.

Das Flipflop 1 soll jeden Takt (Leertaste) zählen. Das erreichen wir, indem wir den Enable-Eingang konstant auf 1 legen. Das zweite Flipflop soll zählen, wenn das erste Flipflop den Zustand 1 hat. Das erreichen wir, indem wir den Enable-Eingang mit dem Ausgang des ersten Flipflops verbinden. Das dritte Flipflop soll nur dann zählen, wenn die ersten beiden Flipflops 1 anzeigen. Das vierte Flipflop schaltet, wenn die Flipflops T-FF1 bis T-FF3 eine 1 am Ausgang Q zeigen.



Ergänzen Sie obige Schaltung zu einem voll funktionsfähigen synchronen Zähler.

## Versuch 440 Asynchroner Zähler modulo n

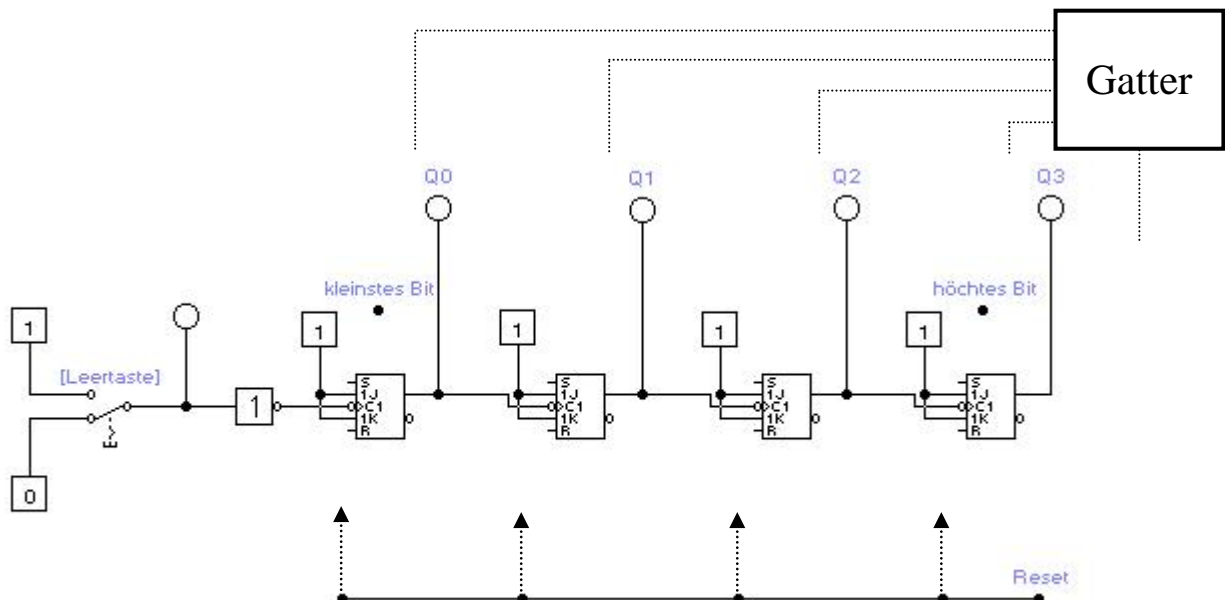
Sie finden in der Datei v440 eine Schaltung, die einen aus vier T-Flipflops aufgebauten asynchronen Zähler bis 15 zählen lässt.

Es soll ein asynchroner Zähler modulo n gebaut werden, der nach einer festgelegten Anzahl Zählschritten (n-1) wieder auf Null springt. Das wird mit einer zusätzlichen Gatterschaltung erreicht. Der Zählvorgang beginnt dann von neuem.

### Aufgabe:

Bauen Sie eine Reset-Gatterschaltung ein, die den Zähler genau (und nur) beim Zählerstand 12 synchron auf  $Q_0=Q_1=Q_2=Q_3=0$  setzt. Der R-Eingang der Flipflops ist taktunabhängig und soll für den Reset benutzt werden.

Die Schaltung soll intuitiv, d.h. ohne algorithmisches Entwurfsverfahren, gefunden werden. Beim Einschalten kann es sein, dass sich der Zähler in irgendeinem Binärzustand (z.B. 13) befindet. Dann soll er beim Takten weiterzählen und erst beim Zustand 12 zurückgesetzt werden.



Erklären Sie das Verhalten an der „kritischen“ Stelle, also kurz vor und beim Zurücksetzen.

### Hinweis:

Dasselbe Verfahren für einen synchronen Reset kann man ebenso bei synchronen Zählern anwenden.

## Theorie zu v450 Definition und Realisierung eines endlichen Automaten

Ein abstrakter Automat ist definiert als Tupel der folgenden Form:

$$(E, A, Z, \delta, \lambda)$$

Wiederholen Sie anhand ihrer Unterlagen zu der Vorlesung „Rechnerstrukturen“ das Kapitel Automaten. Erklären Sie mit eigenen Worten die oben angegebenen fünf Komponenten und ihr Zusammenspiel. Machen Sie sich den Unterschied zwischen einem Mealy- und einem Moore-Automaten klar.

Vollziehen Sie den Schaltwerkentwurf vom Automatenmodell bis zur Gatterschaltung nach.

Die nachfolgende Schaltung stellt eine Realisierung eines Automaten auf Gatterebene dar.

Analysieren Sie die Schaltung und beantworten Sie dabei die folgenden Fragen:

1. Wo in der Schaltung sind die einzelnen 5 Komponenten des Automaten dargestellt?
2. Wie groß sind die Kardinalitäten der Mengen des Automaten maximal? Die Kardinalität einer Menge  $M$  ist die Anzahl der Elemente der Menge  $M$ .

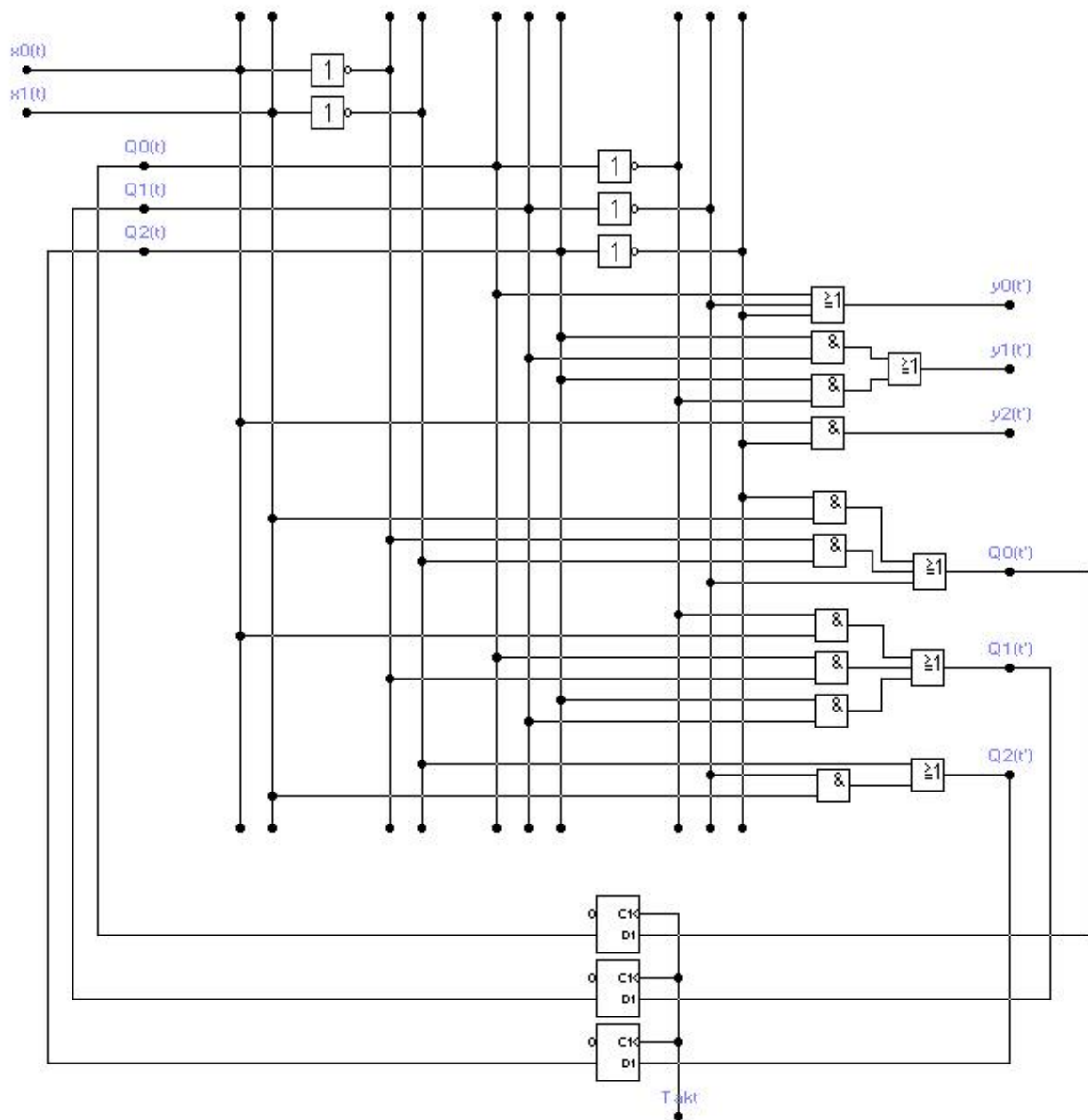
<b>E</b>	
<b>A</b>	
<b>Z</b>	

3. Um welchen Automatentyp handelt es sich? Woran erkennt man das?

<b>Mealy</b>	
<b>Moore</b>	

4. Erklären Sie die Arbeitsweise des Automaten? Wie wurde dies in der Schaltung umgesetzt? Welche Laufzeiten und Verzögerungen sind zu beachten?

## Realisierung eines Automaten auf Gatterebene:



Der Unterschied vom Zeitpunkt  $t$  und  $t'$  besteht darin, dass es eine kleine Verzögerung durch die Gatterlaufzeiten gibt.

## Versuch 450 Entwurf eines synchronen Vorwärts-Rückwärts-Zählers

In diesem Versuch sollen Sie einen synchronen Vorwärts-Rückwärts-Zähler entwerfen. Der Zähler soll vier Eingänge und zwei Ausgänge haben:

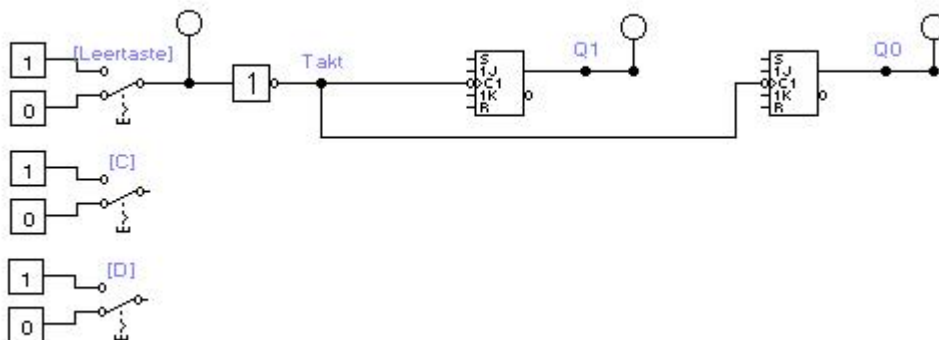
- einen Reseteingang „Reset“,
- einen Takteingang „Takt“,
- einen Steuereingang „Count“,
- einen Steuereingang „Down“,
- zwei Ausgänge „Q<sub>1</sub>“ und „Q<sub>0</sub>“ (Q<sub>1</sub> ist der höherwertige)

Die Schaltung soll mit jeder positiven Taktflanke zählen und den Zählerstand als Binärzahl an den Ausgängen Q<sub>1</sub> und Q<sub>0</sub> ausgeben. Im Grundzustand, d.h. vor dem Einschalten des Taktes, soll die Schaltung sich im Zählerstand Q<sub>1</sub>Q<sub>0</sub> = 00 befinden.

- Wenn am Steuereingang Count = 0 anliegt, soll die Schaltung nicht zählen.
  - Wenn am Steuereingang Count = 1 anliegt, soll die Schaltung zählen.
  - Wenn am Steuereingang Down = 0 anliegt, soll die Schaltung vorwärts zählen. (Count=1)
  - Wenn am Steuereingang Down = 1 anliegt, soll die Schaltung rückwärts zählen. (Count=1)
- [Q<sub>1</sub>, Q<sub>0</sub>] = [0, 0], [1, 1], [1, 0], [0, 1], [0, 0], [1, 1], ...

Die Schaltung soll mit zwei JK-Flipflops realisiert werden. Die miteinander verbundenen Takteingänge der beiden Flipflops bilden den Takteingang der gesamten Schaltung. Die Eingänge R und S werden zunächst nicht benötigt.

**Ihre Aufgabe ist es, die JK-Eingänge nach den weiter unten berechneten Gleichungen an die beiden Eingaben (Schalter verwenden) „Count“ und „Down“ korrekt anzuschließen.**



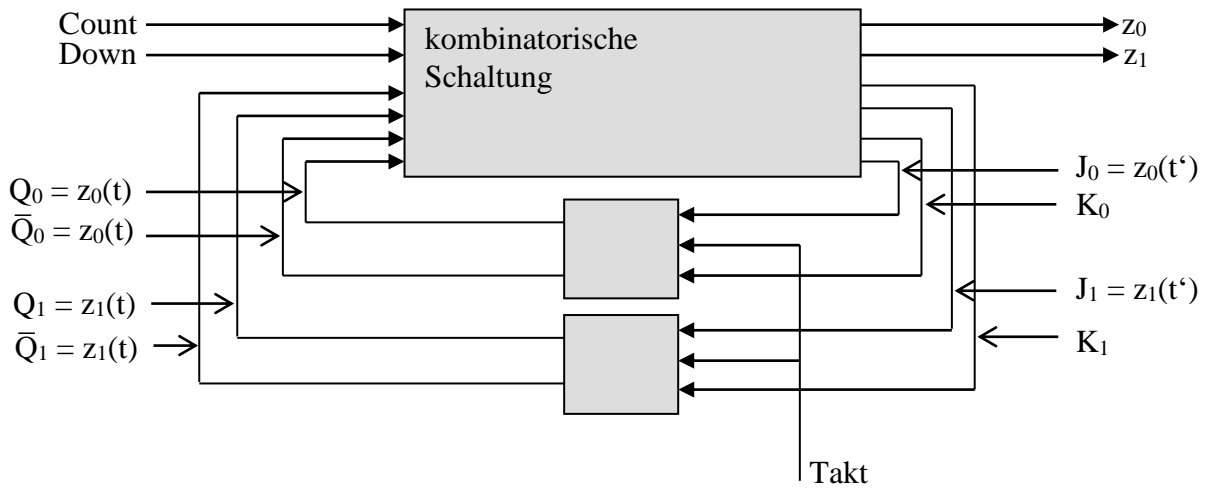
Das verwendete JK-Flipflop hat die folgende Zustandsübergangstabelle:

Q(t)	→	Q(t + 1)	J	K
0	→	0	0	-
0	→	1	1	-
1	→	0	-	1
1	→	1	-	0

Die Versuchsbeschreibung wird auf den nächsten Seiten fortgesetzt.



Die zu entwerfende Schaltung soll folgende Form haben:



Die Zustände des zu entwerfenden Automaten sind identisch mit den Ausgangszuständen, d.h. die Ausgabefunktion ist die identische Abbildung.

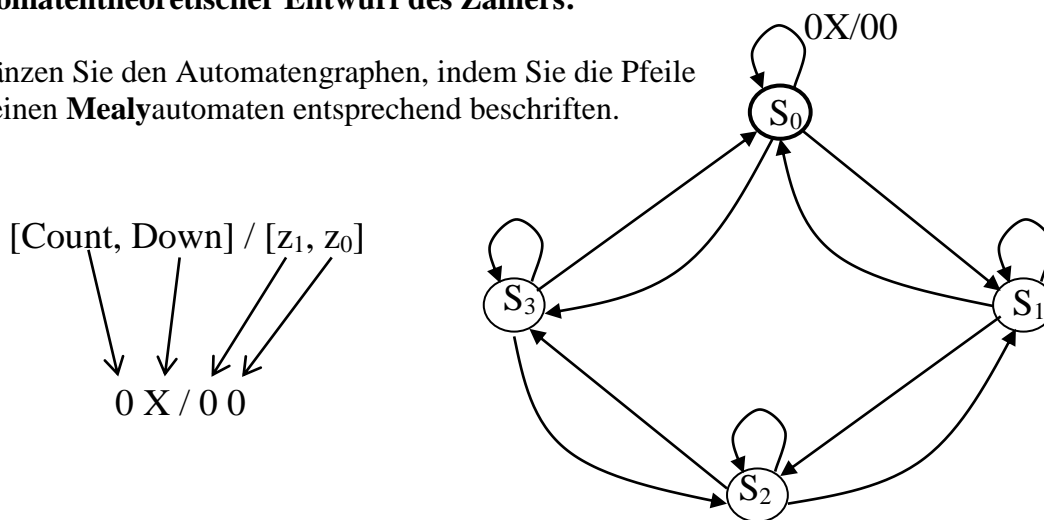
[0,0], [0,1], [1,0], und [1,1] sind die vier möglichen Zählerzustände des Automaten.

Es gilt:

- [0,0] =  $S_0$
- [0,1] =  $S_1$
- [1,0] =  $S_2$
- [1,1] =  $S_3$

### Automatentheoretischer Entwurf des Zählers:

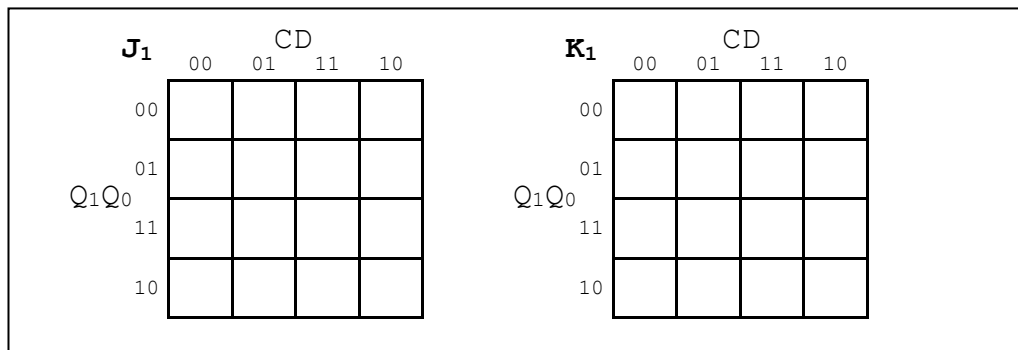
Ergänzen Sie den Automatengraphen, indem Sie die Pfeile für einen **Mealy**automaten entsprechend beschriften.



Man kann in diesem Fall die Zustandsübergangstabelle des gesamten zu entwerfenden Automaten sofort hinschreiben (vervollständigen Sie die Tabelle.):

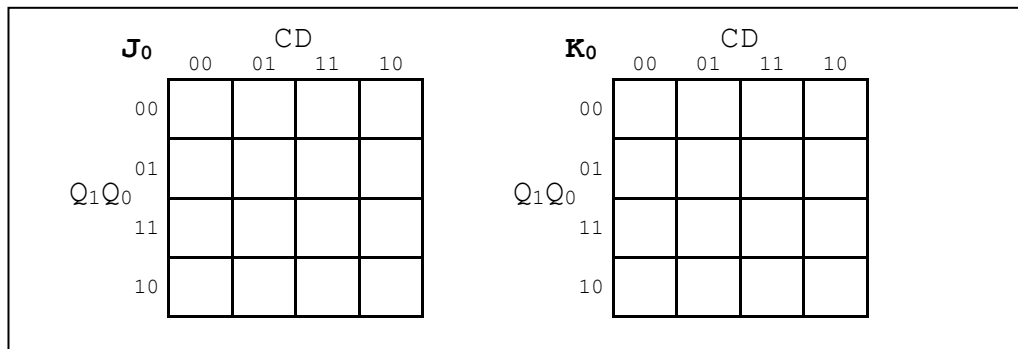
Count Down		Zustände $S(t) \rightarrow S(t+1)$	Codiert $Q_1(t) Q_0(t) \rightarrow Q_1(t+1) Q_0(t+1)$	$J_1$ $K_1$	$J_0$ $K_0$
0	0	$S_0 \rightarrow S_0$	00 $\rightarrow$ 00	0 -	0 -
0	0	$S_1 \rightarrow S_1$	01 $\rightarrow$ 01	0 -	- 0
0	0	$S_2 \rightarrow S_2$	10 $\rightarrow$ 10		
0	0	$S_3 \rightarrow S_3$	11 $\rightarrow$ 11		
0	1	$\rightarrow$	$\rightarrow$		
0	1	$\rightarrow$	$\rightarrow$		
0	1	$\rightarrow$	$\rightarrow$		
0	1	$\rightarrow$	$\rightarrow$		
1	0	$\rightarrow$	$\rightarrow$		
1	0	$\rightarrow$	$\rightarrow$		
1	0	$\rightarrow$	$\rightarrow$		
1	0	$\rightarrow$	$\rightarrow$		
1	1	$\rightarrow$	$\rightarrow$		
1	1	$\rightarrow$	$\rightarrow$		
1	1	$\rightarrow$	$\rightarrow$		
1	1	$\rightarrow$	$\rightarrow$		

Entwerfen und minimieren Sie die JK-Ansteuerungen der Flipflops mit Hilfe von KV-Diagrammen. ( $Q_1Q_0$  zum Zeitpunkt  $t$  betrachten!)



$J_1 =$

$K_1 =$



$J_0 =$

$K_0 =$

Lassen Sie die Tabellen von einem Betreuer überprüfen und bauen Sie dann ihren Schaltungsentwurf für die JK-Eingänge in der Datei v450 auf.

**Kleine Erweiterung der Schaltung:**

Ergänzen Sie Ihre Schaltung durch einen synchronen „Reset“ (Schalter mit R), der es ermöglicht, den Grundzustand  $Q_1 = Q_0 = 0$  **jederzeit** einzustellen. Dies soll ohne eine Taktflanke geschehen.

**Hinweis:** Die R- und S-Eingänge des JK-Flipflops haben höhere Priorität gegenüber den J- und K-Eingängen und sind taktunabhängig.