

## Digitaltechnik und Entwurfsverfahren im Sommersemester 2024

Aufgaben zu den Tutorien in der Woche  
vom 08. bis 12. Juli 2024

Prof. Dr.-Ing. Uwe D. Hanebeck  
Geb. 50.20, Rm. 140

Roman Lehmann, M. Sc.  
Geb. 07.21, Rm. B2-314.1

Email: roman.lehmann@kit.edu

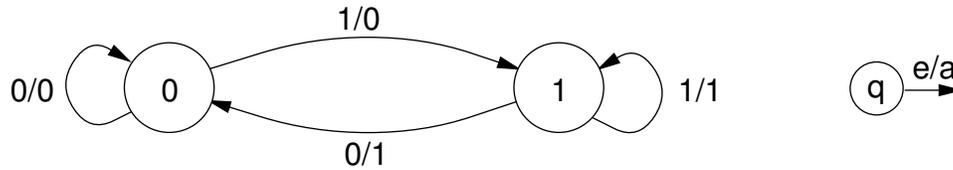
### Lernziele:

- Einführung in den Entwurf und Analyse von Schaltwerken
- Flipflops: Arten, Ansteuertabelle
  - Was muss man beim RS-Flipflop beachten? ( $r = s = 1$  verboten)
  - Was muss man beim T-Flipflop beachten? (Anfangszustand)
  - Werden die Ansteuertabellen in der Klausur angegeben? **Nein**
  - Wie sehen die Automatengraphen der einzelnen Flipflops aus?
- Entwurf synchroner Schaltwerke: Grundsätzliche Vorgehensweise
  - Ausgangsbasis: verbale Aufgabenstellung
  - Zusammenstellung der Ein- und Ausgabevariablen
  - Festlegung der Zustände
  - Entwerfen des Automatengraphen
  - Aufstellen einer Automatentafel
  - Wahl der Zustandskodierung
  - Erzeugung der kodierten Ablaufabelle
  - Erweiterung der Ablaufabelle um Flipflops
  - Minimierung der Ausgangs- und Ansteuernetze der Flipflops
  - Schaltwerk zeichnen
- Nicht alle unten stehenden Aufgaben müssen in dieser Woche bearbeitet werden. Übrig gebliebene Aufgaben können in Tutoriums-Woche 11 (15. bis 19. Juli 2024) noch im Tutorium besprochen werden.

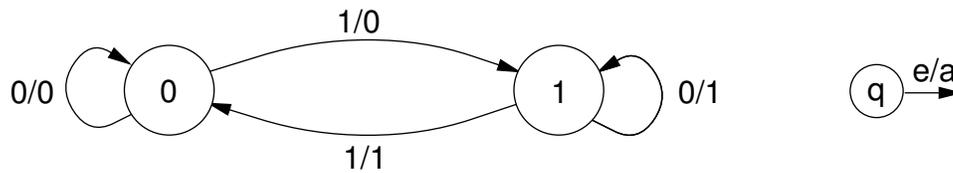
Aufgabe 1

In den Aufgabenteilen 1, 2 und 3 sind drei einfache Übergangsdiagramme gegeben. Entwerfen Sie für jeden Aufgabenteil 1 Schaltwerk, indem Sie nacheinander ein D-Flipflop, ein T-Flipflop und ein JK-Flipflop als Zustandsspeicher verwenden. Verwenden Sie falls notwendig zusätzliche UND-/ODER-/NICHT-Gatter.

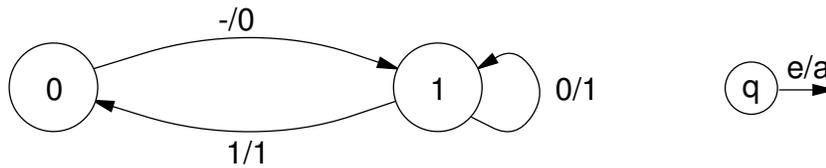
1.



2.



3.



Vergleichen Sie in allen Aufgabenteilen den Aufwand für zusätzlich zu den Flipflops notwendig werdende UND-/ODER-/NICHT-Gatter.

Lösung 1

1.

$q^t$	$e$	$q^{t+1}$	$a$	$d$	$t$	$j$	$k$
0	0	0	0	0	0	0	-
0	1	1	0	1	1	1	-
1	0	0	1	0	1	-	1
1	1	1	1	1	0	-	0

$$D^t = e^t$$

$$e_{FF}^t = e^t \bar{q}^t \vee \bar{e}^t q^t$$

$$J^t = e^t$$

$$K^t = \bar{e}^t$$

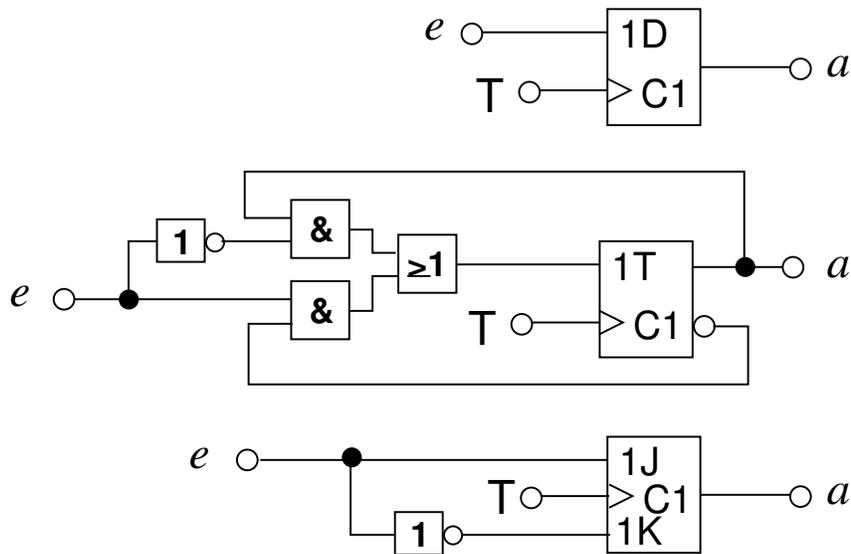


Abbildung 1: Aufwand(D) < Aufwand(JK) < Aufwand(T)

2.

$q^t$	$e$	$q^{t+1}$	$a$	$d$	$t$	$j$	$k$
0	0	0	0	0	0	0	-
0	1	1	0	1	1	1	-
1	0	1	1	1	0	-	0
1	1	0	1	0	1	-	1

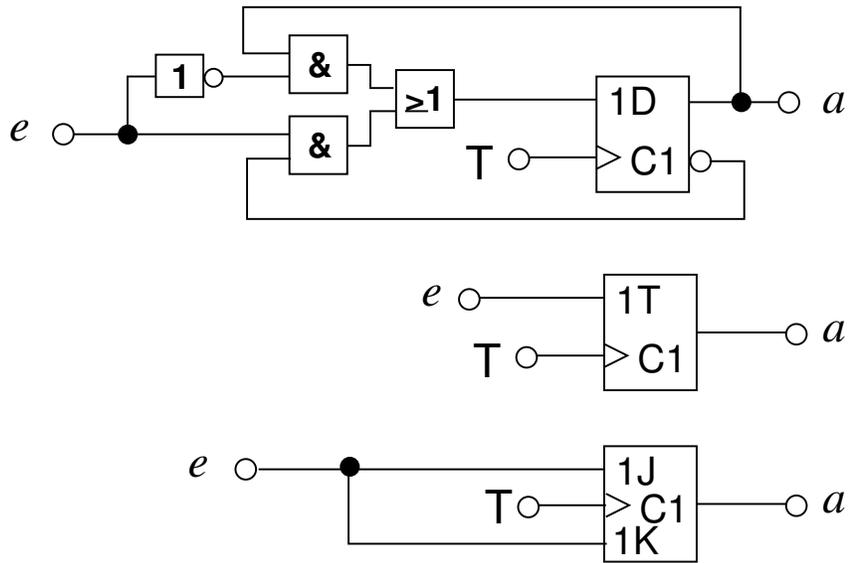


Abbildung 2: Aufwand(T) < Aufwand(JK) < Aufwand(D)

3.

$q^t$	$e$	$q^{t+1}$	$a$	$d$	$t$	$j$	$k$
0	0	1	0	1	1	1	-
0	1	1	0	1	1	1	-
1	0	1	1	1	0	-	0
1	1	0	1	0	1	-	1

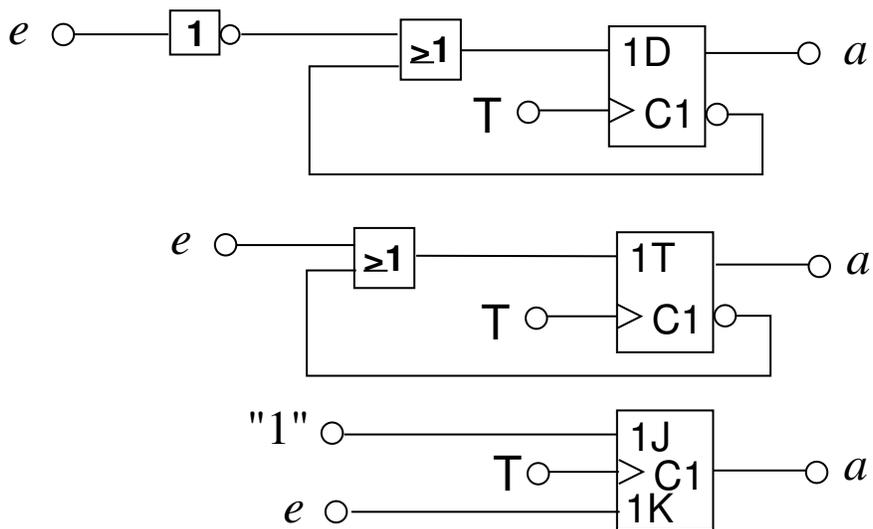
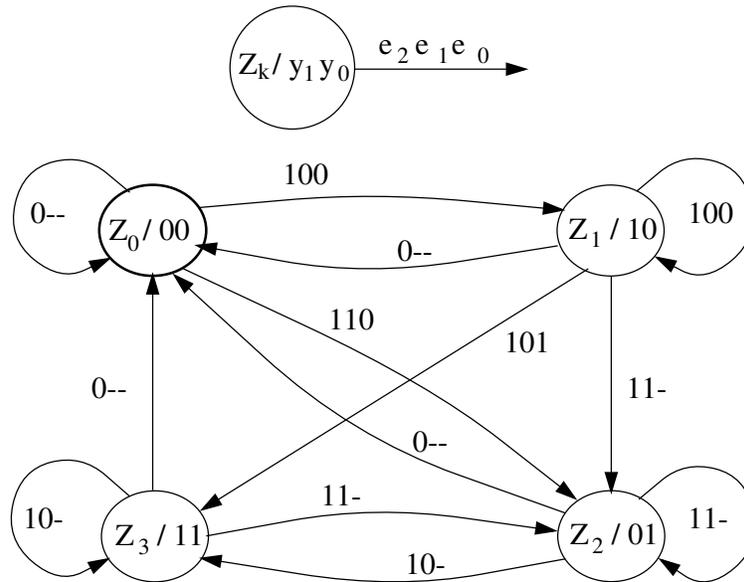


Abbildung 3: Aufwand(JK) < Aufwand(T) < Aufwand(D)

Aufgabe 2

Gegeben sei das im Bild abgebildete Automatengraphen mit den vier Zuständen  $Z_0, Z_1, Z_2$  und  $Z_3$ . Ein entsprechendes synchrones Schaltwerk soll mit Hilfe von D-Flipflops implementieren werden. Die Zustände sind gemäß der unten stehenden Tabelle dual kodiert.



Zustand $Z_k$	$q_1$	$q_0$
$Z_0$	0	0
$Z_1$	0	1
$Z_2$	1	0
$Z_3$	1	1

1. Handelt es sich um einen Mealy- oder einen Moore-Automaten?  
Begründen Sie Ihre Antwort.
2. Wieviele Flipflops sind zur Realisierung des Schaltwerks notwendig?  
Begründen Sie Ihre Antwort.
3. Erstellen Sie die kodierte Ablaufabelle des gegebenen Automaten für eine Realisierung des Schaltwerks mit D-Flipflops und unter Verwendung der angegebenen Zustandskodierung.

In Tabelle 1 ist die kodierte Ablaufabelle eines weiteren Automaten dargestellt, der durch ein Schaltwerk mit T-Flipflops realisiert werden soll. Das Schaltwerk hat vier Zuständen, zwei Eingangsvariablen  $e_1$ ,  $e_0$  und zwei Ausgangsvariablen  $y_1$ ,  $y_0$ . Die Zustände sind mit den Zustandsvariablen  $q_1$ ,  $q_0$  dual kodiert.

Zustand	$q_1^t$	$q_0^t$	$e_1^t$	$e_0^t$	$T_1^t$	$T_0^t$	$q_1^{t+1}$	$q_0^{t+1}$	$y_1^t$	$y_0^t$
$Z_0$	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1
	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1
$Z_1$	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0
	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0
	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
$Z_2$	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1
	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1
	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1
	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
$Z_3$	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0
	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0
	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0
	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0

Tabelle 1: Kodierte Ablaufabelle

- Ermitteln Sie graphisch mit Hilfe der im Lösungsblatt vorgegebenen KV-Diagrammen die disjunktiven Minimalformen (DMFs) der Ansteuerfunktionen  $T_1$  und  $T_0$ .
- Personalisieren Sie mit Hilfe der in Aufgabenteil 4 ermittelten DMFen für  $T_1$  und  $T_0$  das im Lösungsblatt vorgegebene PAL-Schaltwerk. Ergänzen Sie dazu die Beschaltung des PAL im Lösungsblatt und markieren Sie geeignete Leitungskreuzungen der UND- und der ODER-Matrix durch Verbindungsknoten.

Lösung 2

1. Automatentyp: Moore-Automat

Begründung: Die Ausgabe  $\underline{y} = (y_1, y_0)^T$  hängt nur vom Zustand  $Z = (q_1, q_0)$  ab.

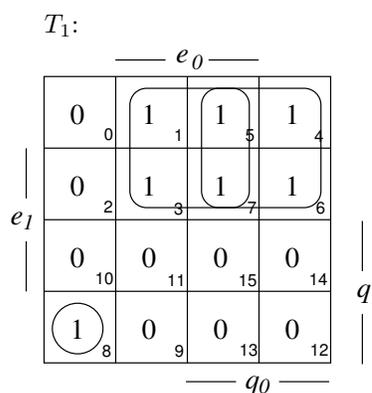
2. Anzahl der Flipflops: 2 Flipflops

Begründung: Es gilt allgemein: Zustände =  $2^{\text{Flipflops}} \Rightarrow$  Anzahl der Flipflops = 2

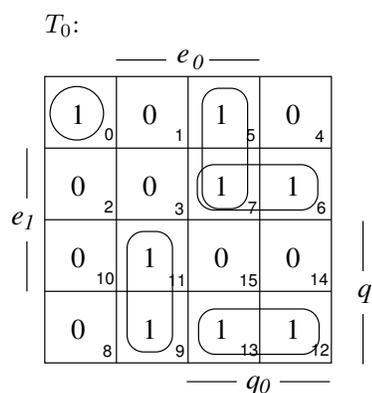
3. Kodierte Ablauftabelle:

Zustand	$q_1^t$	$q_0^t$	$e_2^t$	$e_1^t$	$e_0^t$	$D_1^t$	$D_0^t$	$q_1^{t+1}$	$q_0^{t+1}$	$y_1^t$	$y_0^t$
$Z_0$	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0
	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0
	0	0	1	-	1	-	-	-	-	0	0
$Z_1$	0	1	0	-	-	0	0	0	0	1	0
	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0
	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0
	0	1	1	1	-	1	0	1	0	1	0
$Z_2$	1	0	0	-	-	0	0	0	0	0	1
	1	0	1	1	-	1	0	1	0	0	1
	1	0	1	0	-	1	1	1	1	0	1
$Z_3$	1	1	0	-	-	0	0	0	0	1	1
	1	1	1	0	-	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	-	1	0	1	0	1	1

4. Disjunktive Minimalformen der Ansteuerfunktionen :

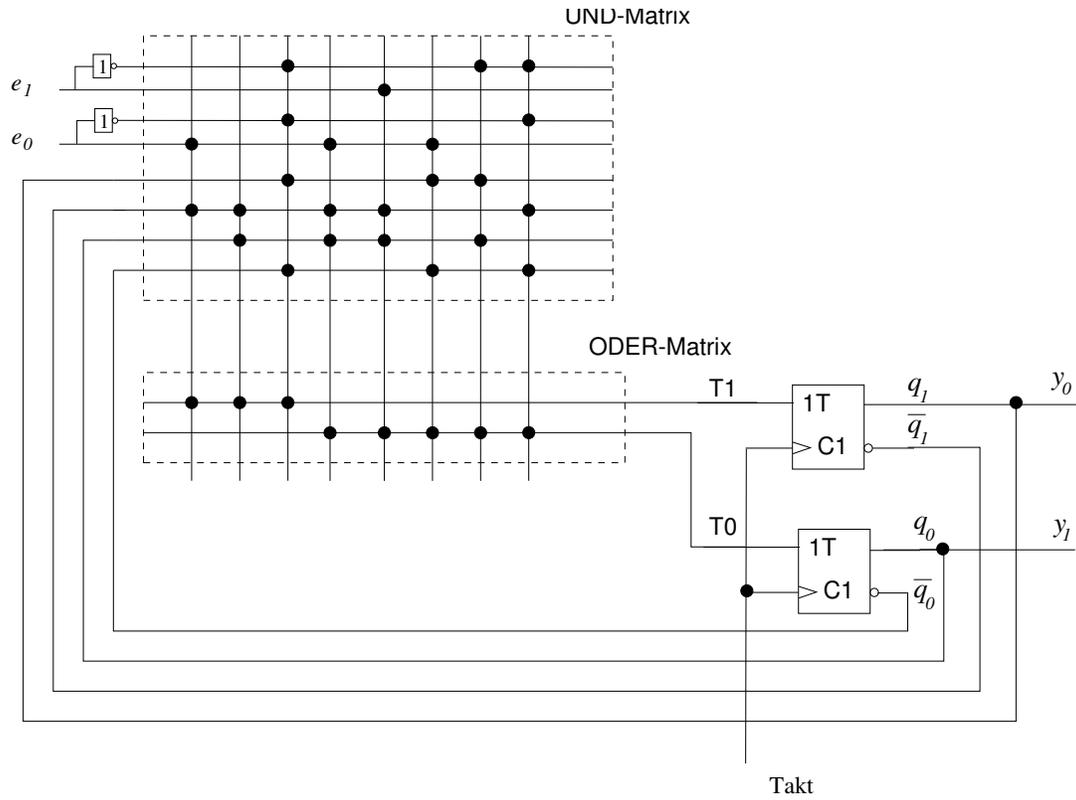


$$T_1 = \bar{q}_1 e_0 \vee \bar{q}_1 q_0 \vee q_1 \bar{q}_0 \bar{e}_1 \bar{e}_0$$



$$T_0 = \bar{q}_1 q_0 e_0 \vee \bar{q}_1 q_0 e_1 \vee q_1 \bar{q}_0 e_0 \vee q_1 q_0 \bar{e}_1 \vee \bar{q}_1 \bar{q}_0 \bar{e}_1 \bar{e}_0$$

5. PAL-Personalisierung:



## Aufgabe 3

1. Gegeben ist das in Bild 4 dargestellte Schaltwerk.

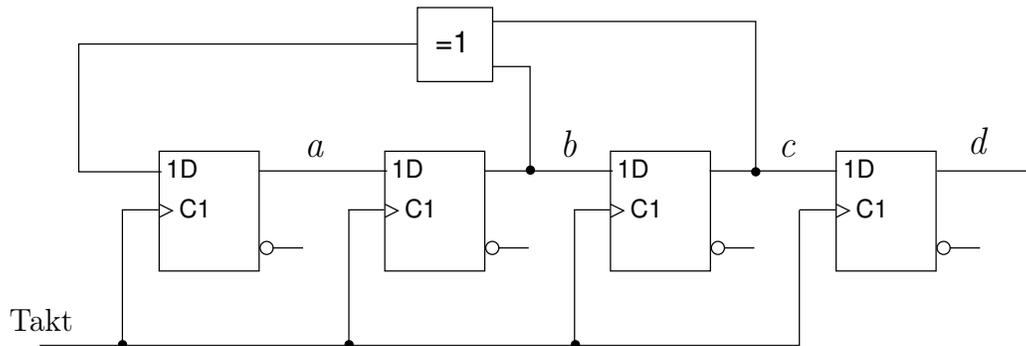
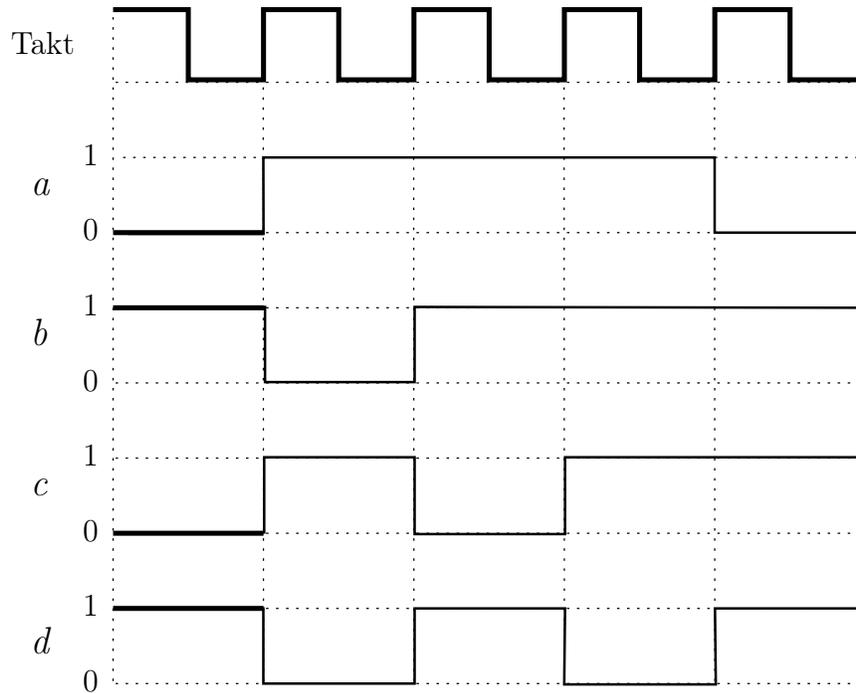


Abbildung 4: Schaltwerk

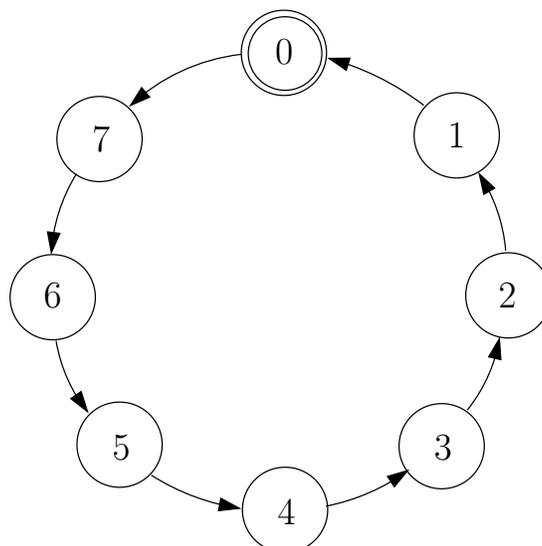
- i.) Ist das Schaltwerk synchron oder asynchron?
  - ii.) Wie viele Zustände kann das Schaltwerk maximal annehmen?
  - iii.) Vervollständigen Sie die Verläufe der Signale  $a$ ,  $b$ ,  $c$  und  $d$ .
2. Es soll ein synchroner modulo-8-Rückwärtszähler mit flankengesteuerten T-Flipflops entworfen werden.
- i.) Geben Sie den Automatengraphen des Zählers an.
  - ii.) Stellen Sie die kodierte Ablaufabelle des Zählers auf. Verwenden Sie hierzu die im Lösungsblatt vorbereitete Tabelle. Die Zustände des Zählers seien mit Hilfe der Zustandsvariablen  $q_2$ ,  $q_1$  und  $q_0$  dual kodiert.
  - iii.) Geben Sie die Ansteuerfunktionen der verwendeten Flipflops in minimaler Form an.
  - iv.) Zeichnen Sie das Schaltbild des Zählers.

Lösung 3

1. i.) Das Schaltwerk ist *synchron*
- ii.) Maximale Anzahl der Zustände ist:  $2^4 = 16$  Zustände
- iii.) Verläufe der Signale *a, b, c* und *d*:



2. i.) Automatengraph:



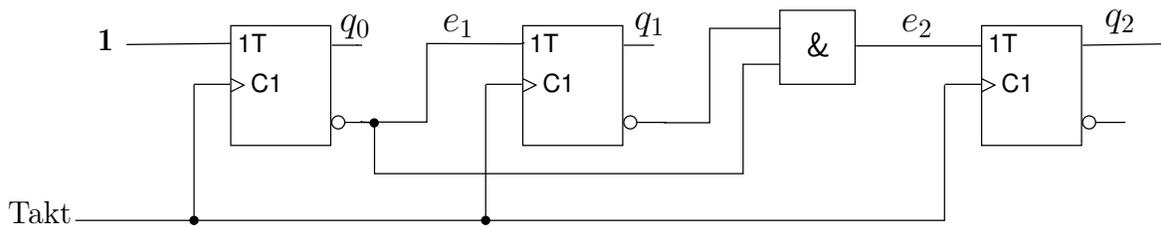
ii.) Kodierte Ablaufabelle:

$q_2^t$	$q_1^t$	$q_0^t$	$q_2^{t+1}$	$q_1^{t+1}$	$q_0^{t+1}$	$e_2^t$	$e_1^t$	$e_0^t$
0	0	0	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	1	0	1	1
0	1	1	0	1	0	0	0	1
1	0	0	0	1	1	1	1	1
1	0	1	1	0	0	0	0	1
1	1	0	1	0	1	0	1	1
1	1	1	1	1	0	0	0	1

iii.) Minimalformen der Ansteuerfunktionen der Flipflops: Aus der Ablaufabelle ablesbar.

$$\begin{aligned}
 e_2^t &= \bar{q}_2^t \bar{q}_1^t \bar{q}_0^t \vee q_2^t \bar{q}_1^t \bar{q}_0^t = \bar{q}_1^t \bar{q}_0^t \\
 e_1^t &= \bar{q}_0^t \\
 e_0^t &= 1
 \end{aligned}$$

iv.) Schaltbild des Zählers:



Aufgabe 4

1. In Bild 5 ist ein flankengesteuertes JK-Flipflop mit einem asynchronen „low“-aktiven Rücksetzeingang dargestellt.

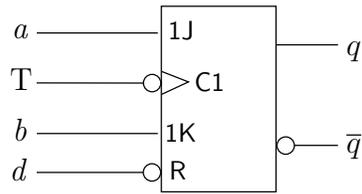


Abbildung 5: Das JK-Flipflop

Vervollständigen Sie das in Abbildung 6 angegebene Zeitdiagramm, indem Sie den Verlauf von  $q$  angeben.

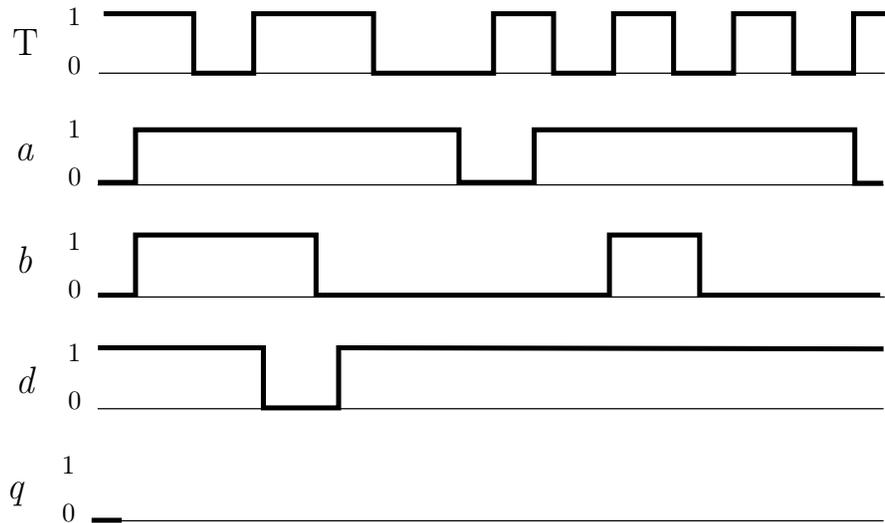


Abbildung 6: Das Zeitdiagramm

2. Gegeben ist das in Bild 7 dargestellte Schaltwerk. Das Schaltwerk ist mit flankengesteuerten D-Flipflops realisiert. Es besitzt den Eingang  $x$  und den Ausgang  $y$ .

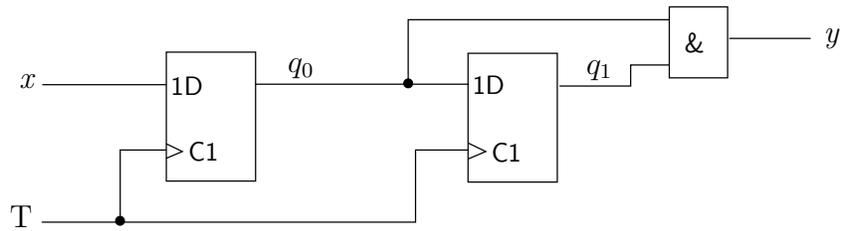


Abbildung 7: Das Schaltwerk

Vervollständigen Sie die Verläufe der Signale  $q_0$ ,  $q_1$  und  $y$  für den in Abbildung 8 angegebenen Verlauf von  $x$ .

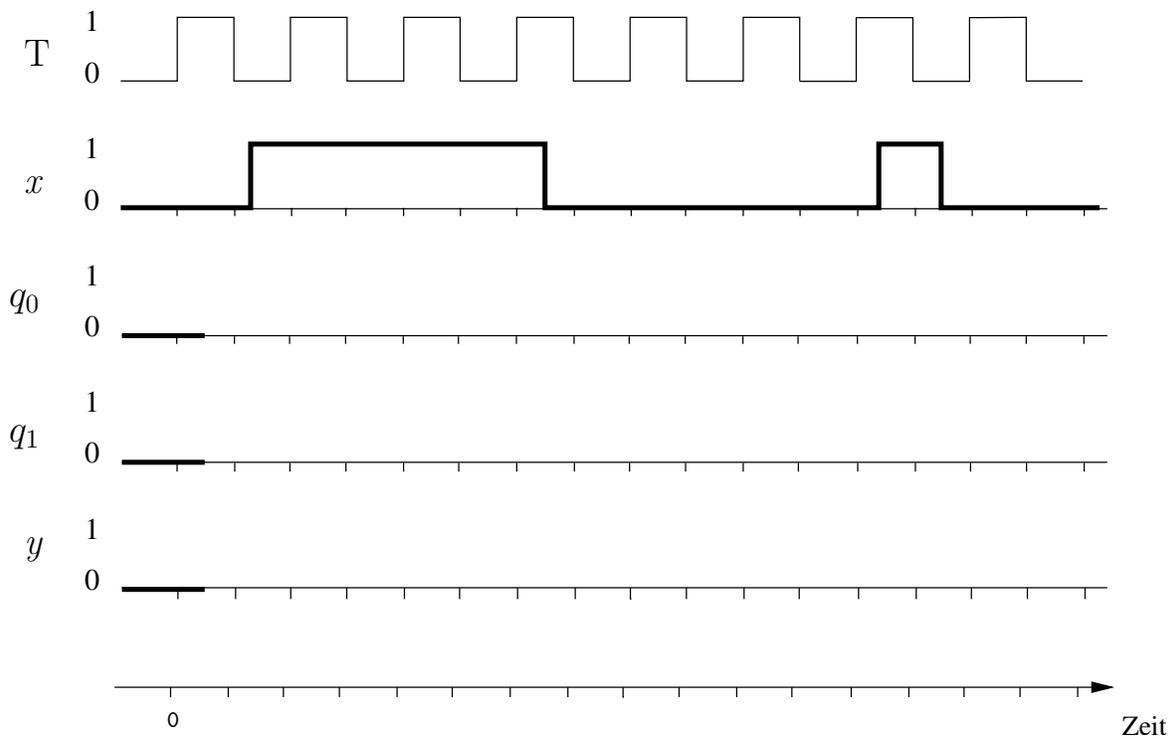


Abbildung 8: Der Verlauf von  $x$

3. Ein weiteres Schaltwerk ist in Bild 9 dargestellt.

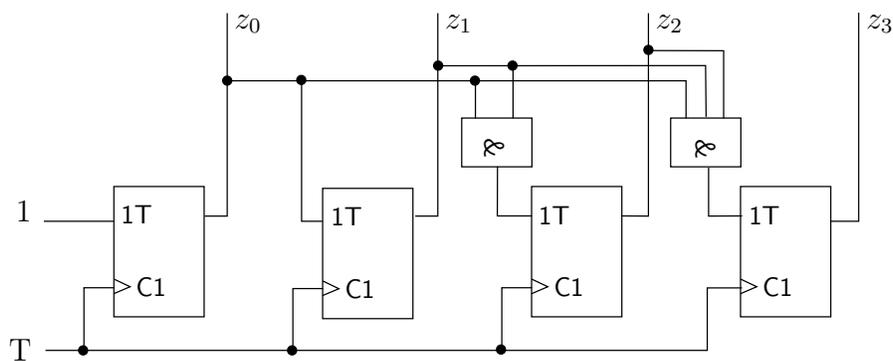


Abbildung 9: Das Schaltwerk II

Vervollständigen Sie das in Abbildung 10 angegebene Zeitdiagramm, indem Sie die Verläufe der Signale  $z_0$ ,  $z_1$ ,  $z_2$  und  $z_3$  einzeichnen.

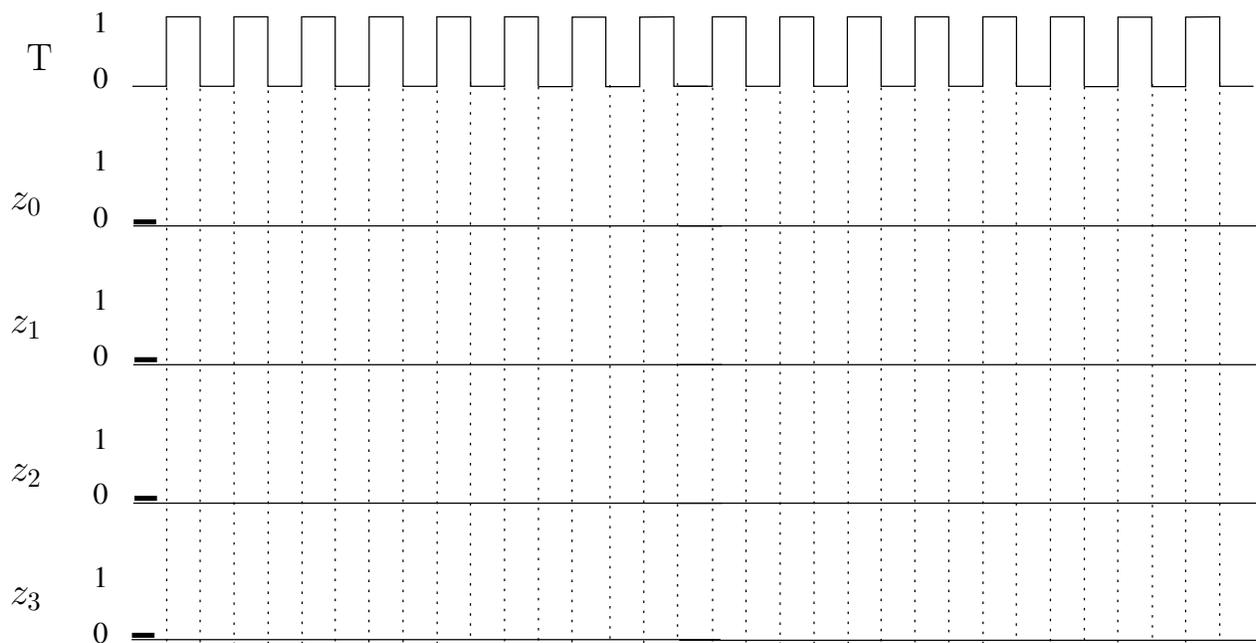
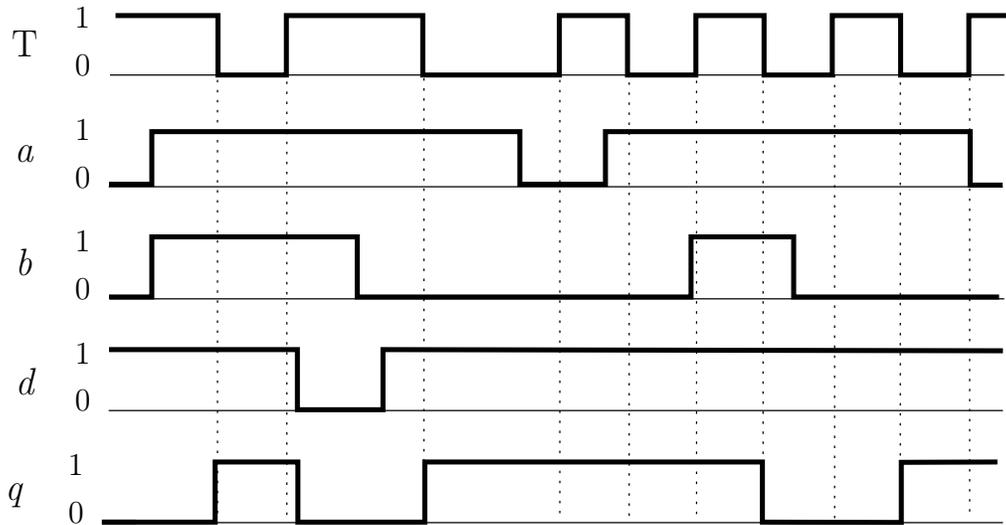


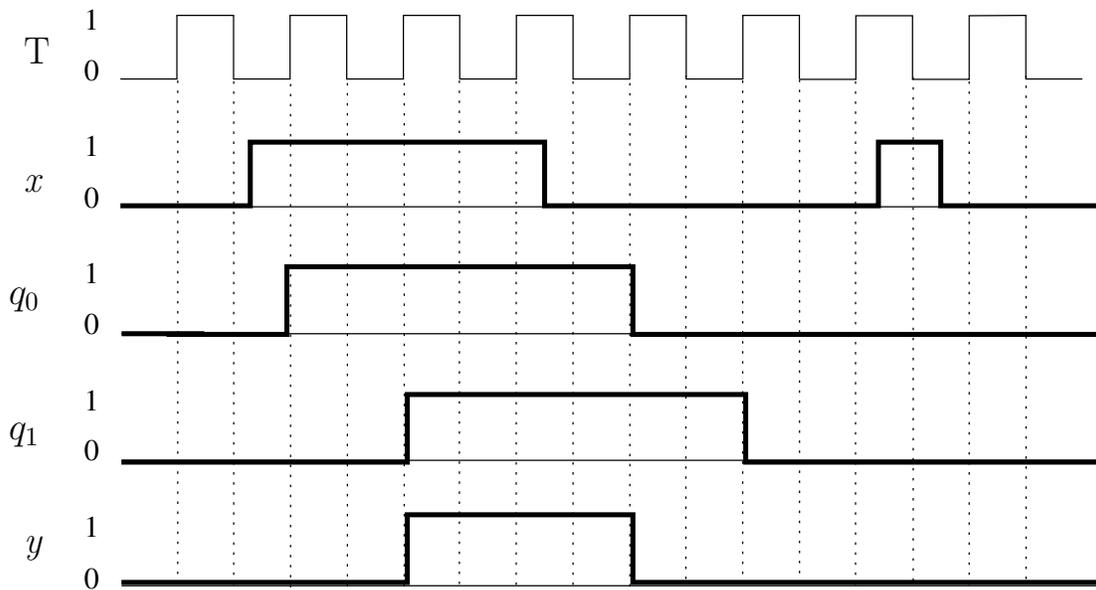
Abbildung 10: Der Verlauf von  $T$

Lösung 4

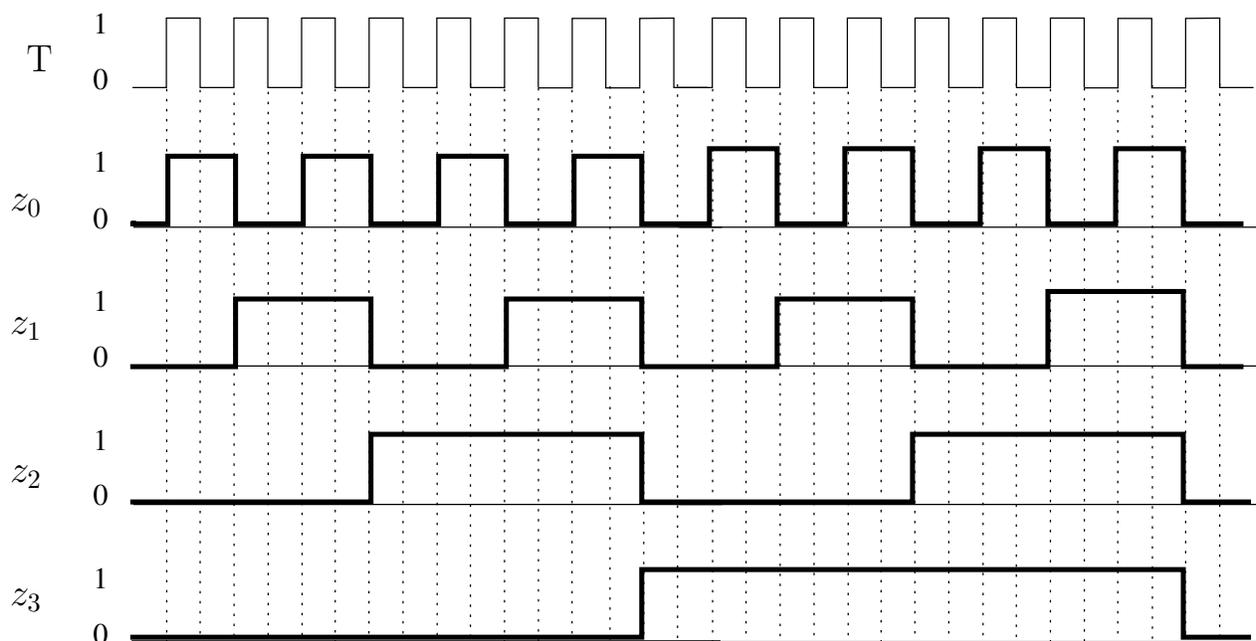
1.



2.



3.



Aufgabe 5

Sie entwerfen ein Schaltwerk und stellen kurz vor Fertigungsbeginn fest, dass im Lager nur noch D-Flipflops, UND-, ODER- und Inverter-Gatter vorhanden sind. Ihre Aufgabe ist es jetzt, ein Schaltnetz zu entwerfen, das sich in Verbindung mit dem D-Flipflop wie ein T-Flipflop verhält.

Lösung 5

T-Flipflop aus einem D-Flipflop:

$e^t$	$q^t$	$q^{t+1}$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$$q^{t+1} = e^t \bar{q}^t \vee \bar{e}^t q^t$$

$$q^{t+1} = d^t$$
