



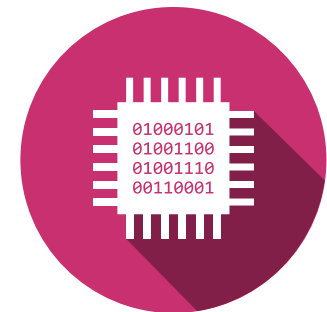
Digitales Design (DiD)

Zustandsmaschinen

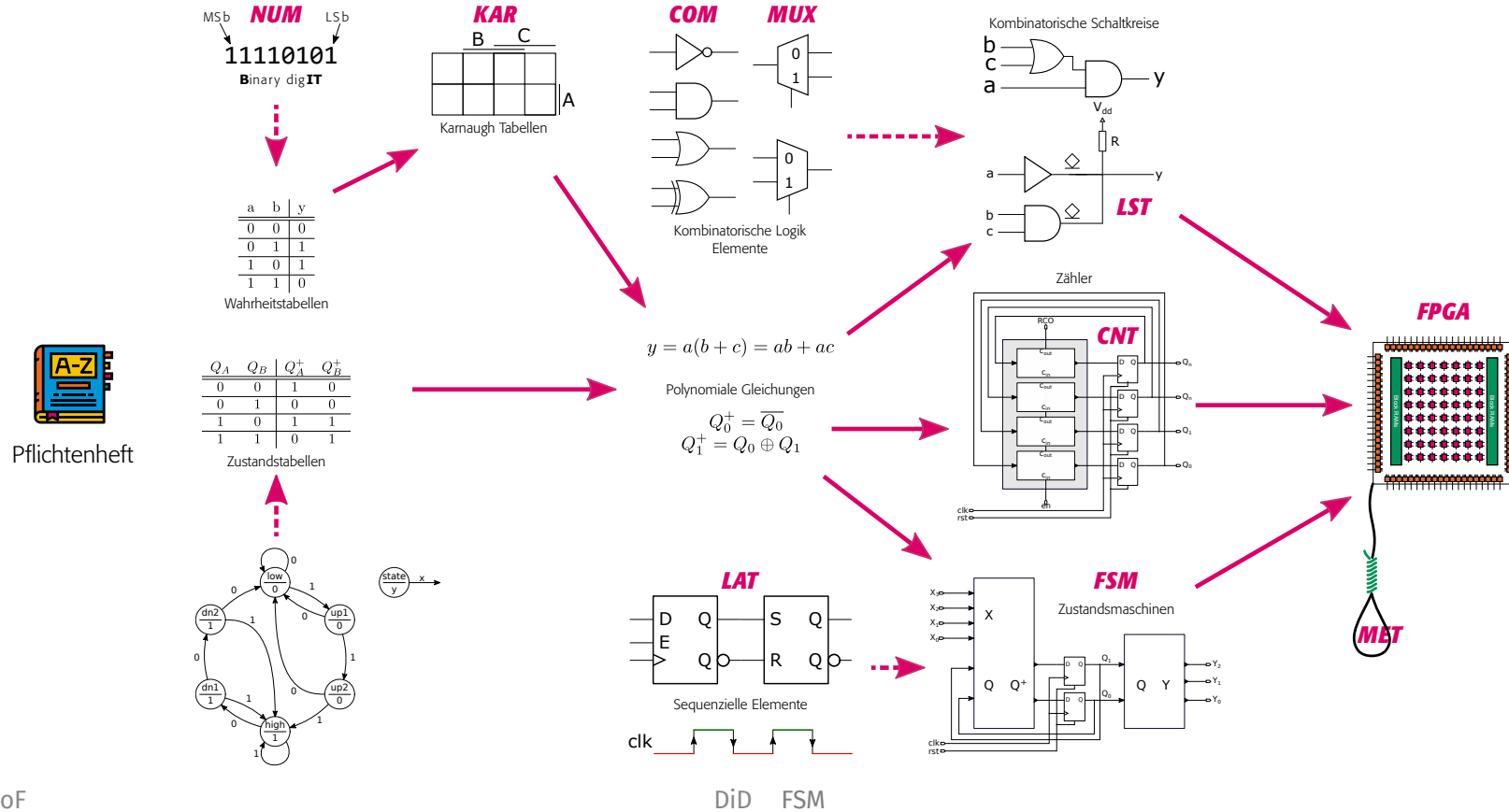
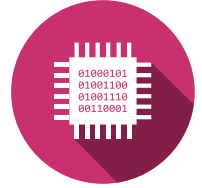
FSM

Studiengang Systemtechnik
Studiengang Energie und Umwelttechnik
Studiengang Informatik und Kommunikationssysteme

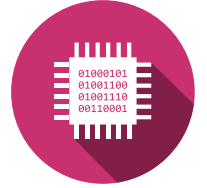
Silvan Zahno silvan.zahno@hevs.ch
Christophe Bianchi christophe.bianchi@hevs.ch
François Corthay francois.corthay@hevs.ch



Aktueller Inhalt des Themas im Kurs

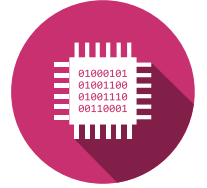


Inhalt



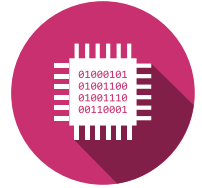
- **Logische Synchronsysteme**
 - Taktsignal
 - Nullsetzung beim unter Spannung setzen (Power-on Reset)
- Moore-Maschinen
- Mealy-Maschinen
- Erstellen des Zustandsgraphen
- Graphenvereinfachung
- Kodierung der Zustände

Zustandsmaschinen



- In einem logischen Synchronsystem besitzen alle FlipFlops:
 - das selben Taktsignal: ck, clk, clock, ...
 - Das selbe asynchrone Initialisationssignal: rst, nrst, reset, ...
- Nur so können wir unsere Chancen auf ein funktionales Design wahren!

Zustandsmaschinen



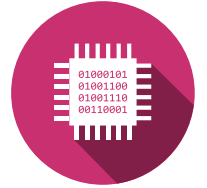
Clock signal

- Das Taktsignal kommt direkt von einem Oszillator...
 - Blockieren Sie ihn nicht mit Logikgattern, auch nicht, um die Schaltung zu stoppen (verwenden Sie E-FlipFlop).
 - Hat in der Regel eine viel höhere Frequenz als die der Schaltungseingänge.

Reset signal

- Das asynchrone Reset-Signal kommt direkt von einer dedizierten Schaltung (Power-On-Reset).
 - In Form eines Impulses beim Einschalten der Schaltung
 - Danach bleibt ist das Reset-Signal für immer auf `0`
 - Nicht zum Nullsetzen eines Teils einer Schaltung zu verwenden

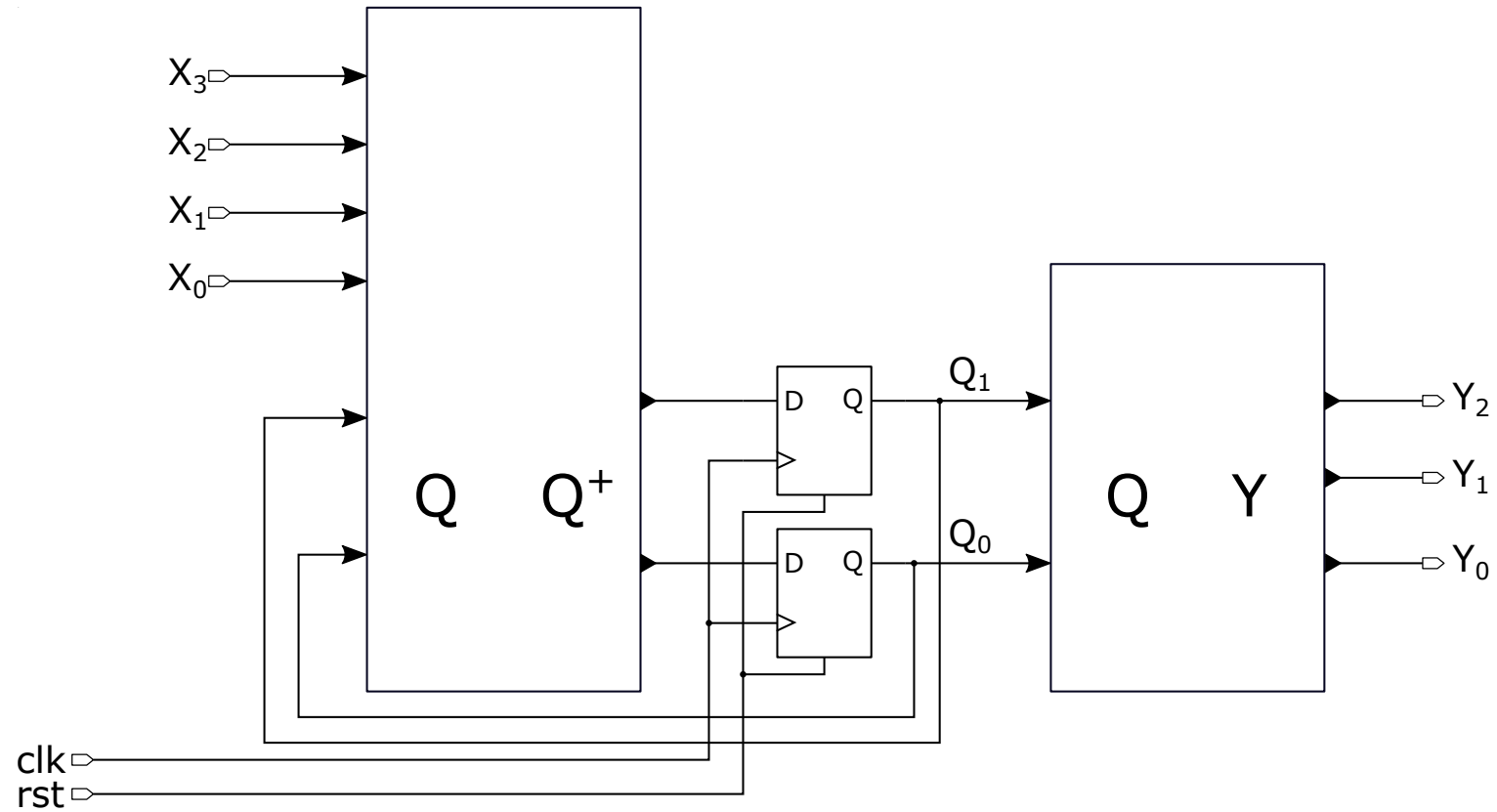
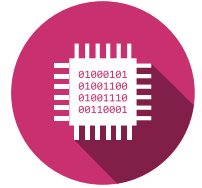
Inhalt



- Logische Synchronsysteme
- **Moore-Maschinen**
 - Architektur
 - Zustandgraph
- Mealy-Maschinen
- Erstellen des Zustandsgraphen
- Graphenvereinfachung
- Kodierung der Zustände

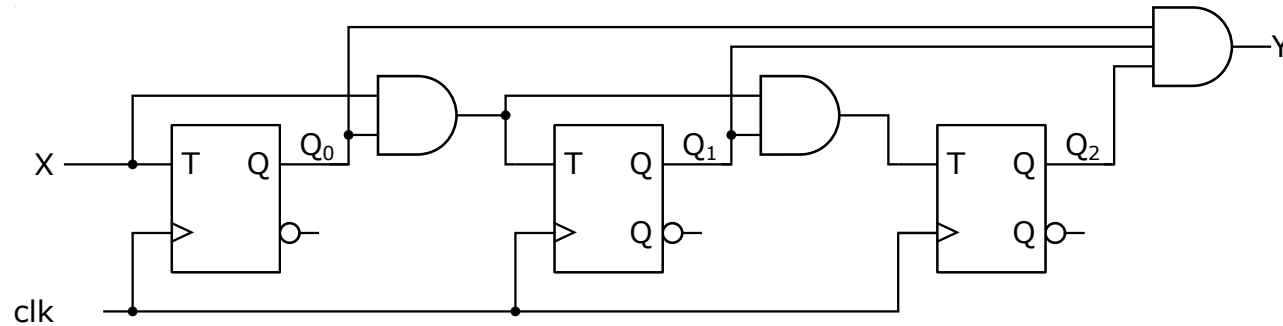
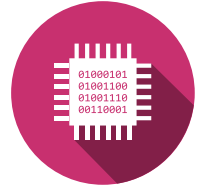
Zustandsmaschinen

Moore-Maschine



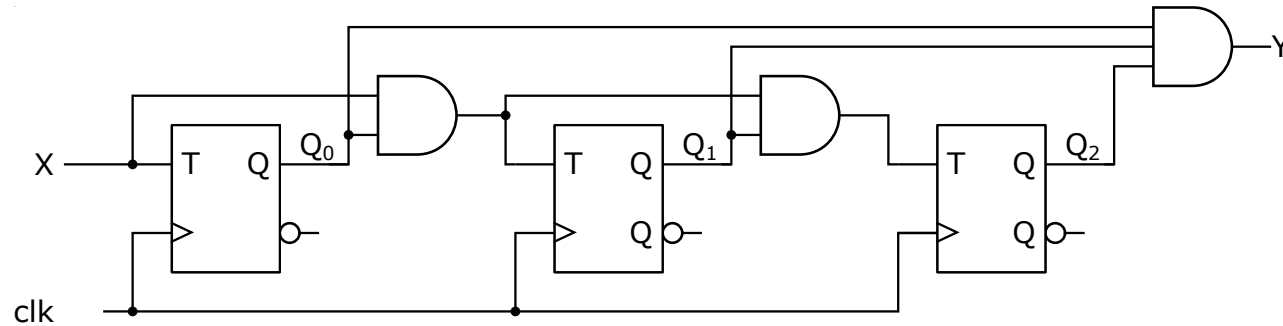
Zustandsmaschinen

Moore-Maschine - Zustandsgraph



Zustandsmaschinen

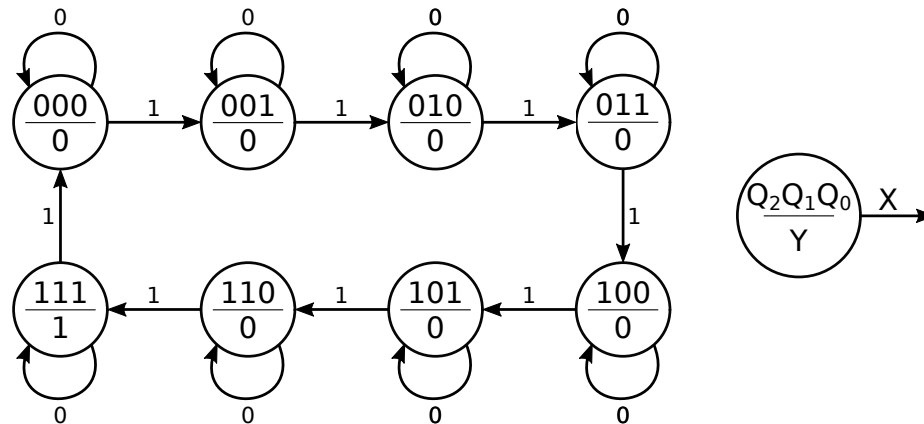
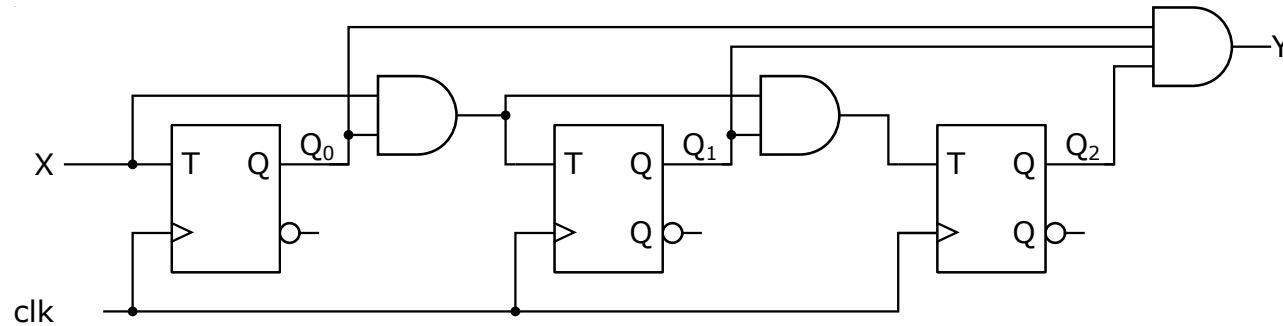
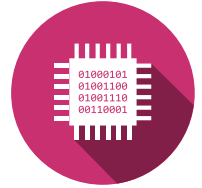
Moore-Maschine - Zustandsgraph



X	Q	T	Q*	Y
0	000	000	000	0
0	001	000	001	0
0	010	000	010	0
0	011	000	011	0
0	100	000	100	0
0	101	000	101	0
0	110	000	110	0
0	111	000	111	1
1	000	001	001	0
1	001	011	010	0
1	010	001	011	0
1	011	111	100	0
1	100	001	101	0
1	101	011	110	0
1	110	001	111	0
1	111	111	000	1

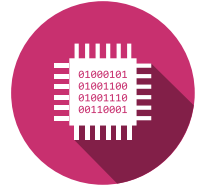
Zustandsmaschinen

Moore-Maschine - Zustandsgraph

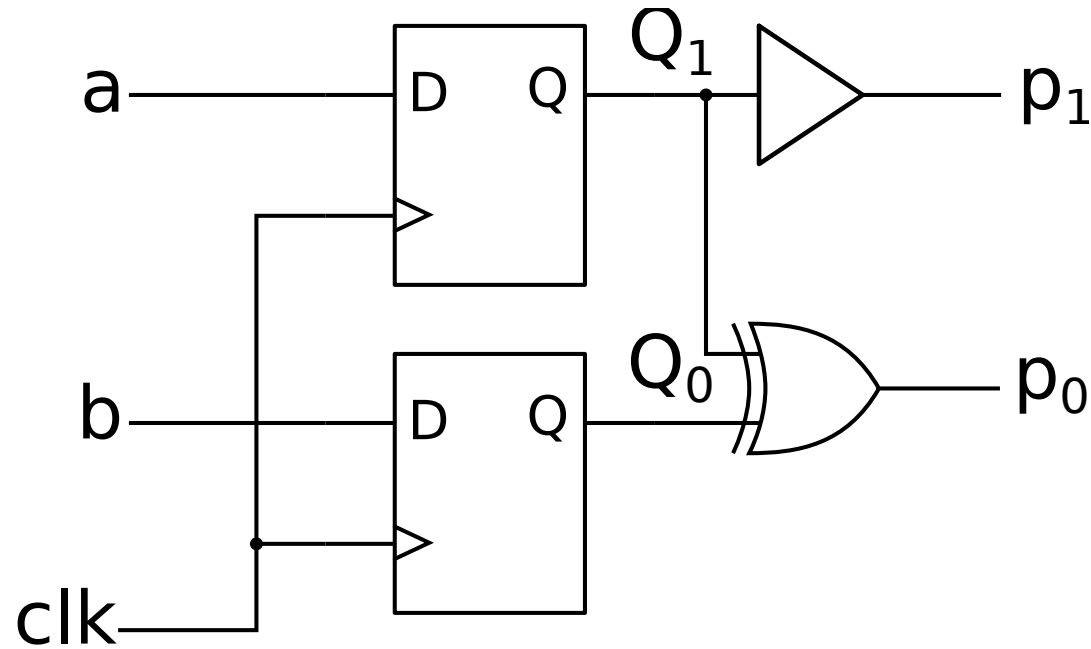


X	Q	T	Q*	Y
0	000	000	000	0
0	001	000	001	0
0	010	000	010	0
0	011	000	011	0
0	100	000	100	0
0	101	000	101	0
0	110	000	110	0
0	111	000	111	1
1	000	001	001	0
1	001	011	010	0
1	010	001	011	0
1	011	111	100	0
1	100	001	101	0
1	101	011	110	0
1	110	001	111	0
1	111	111	000	1

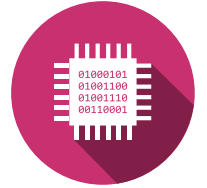
Aufgabe 1.2 (fsm/moore-02)



Zeichnen Sie den Graph der Zustandsmaschine der folgenden Abbildung



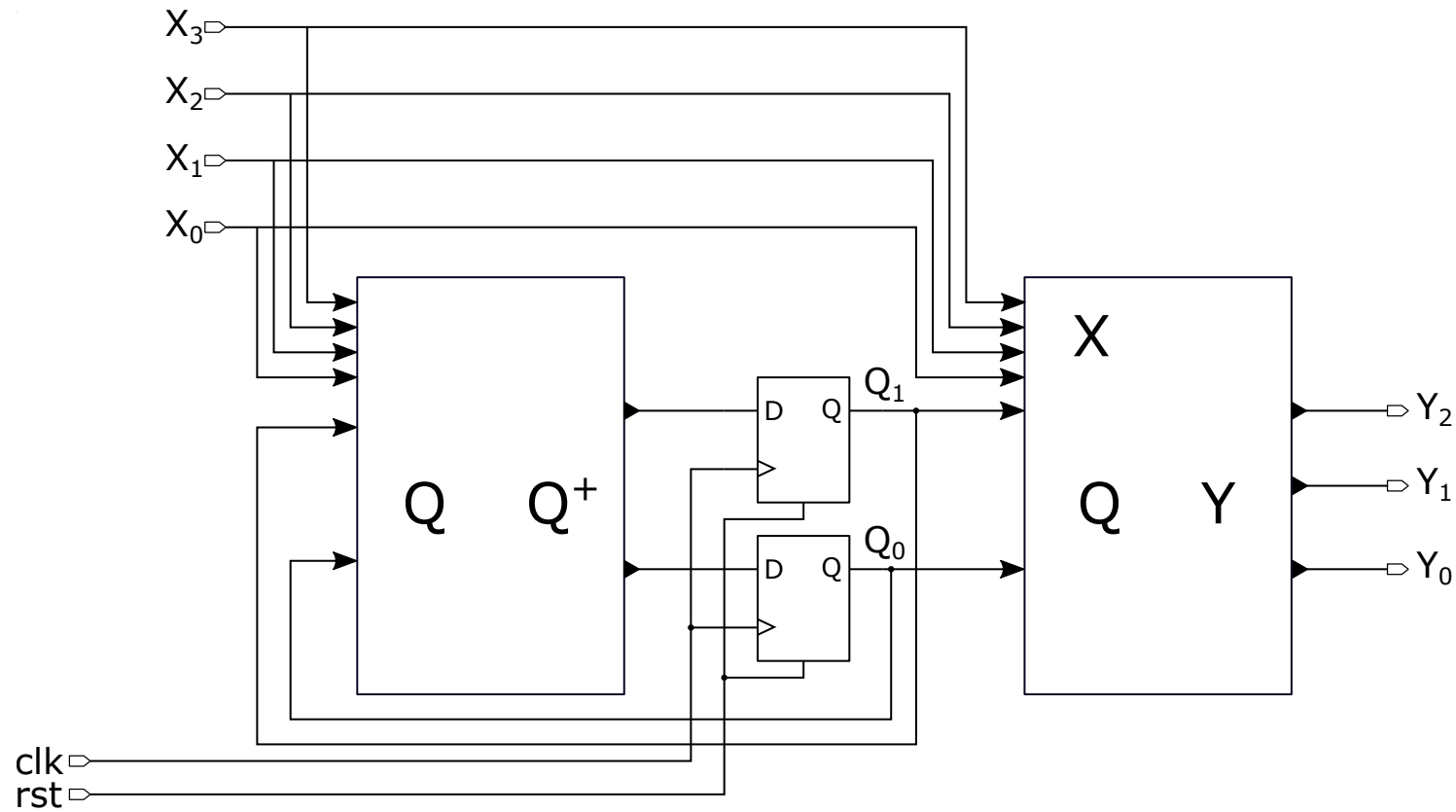
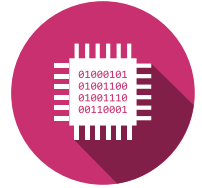
Inhalt



- Logische Synchronsysteme
- Moore-Maschinen
- **Mealy-Maschinen**
 - Architektur
 - Zeitliches Verhalten
 - Zustandsgraph
- Erstellen des Zustandsgraphen
- Graphenvereinfachung
- Kodierung der Zustände

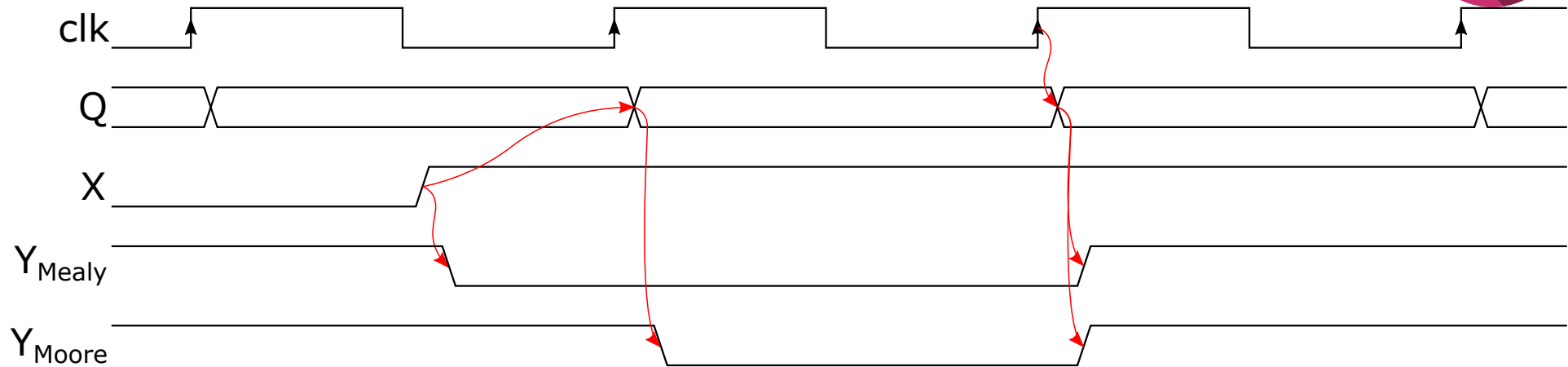
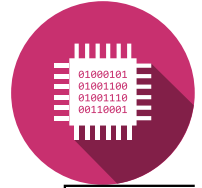
Zustandsmaschinen

Mealy-Maschine



Zustandsmaschinen

Zeitliches Verhalten: Mealy vs. Moore

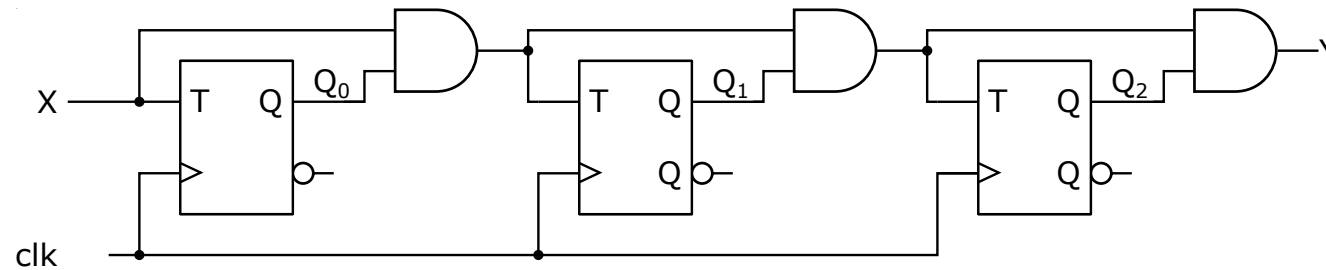


Zeitliches Verhalten:

- Die Ausgänge können direkt auf eine Änderung eines Einganges reagieren (muss nicht)
- Eine Moore-Maschine muss auf die nächste Taktflanke warten, um einen Ausgang zu ändern

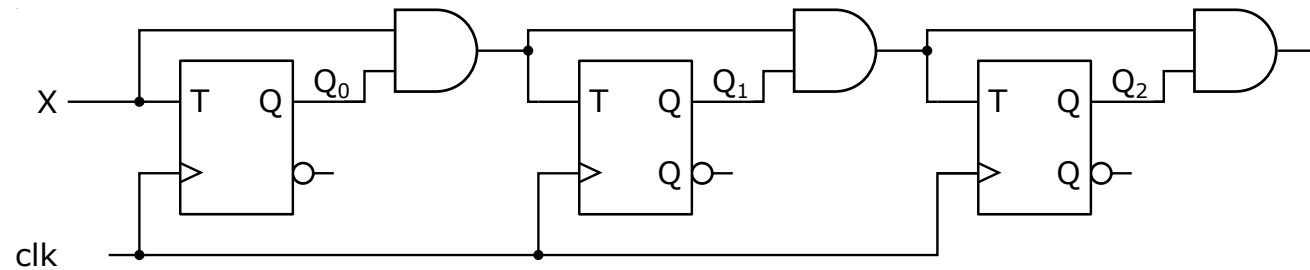
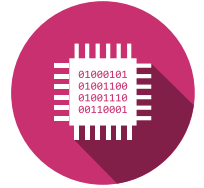
Zustandsmaschinen

Mealy-Maschine - Zustandsgraph



Zustandsmaschinen

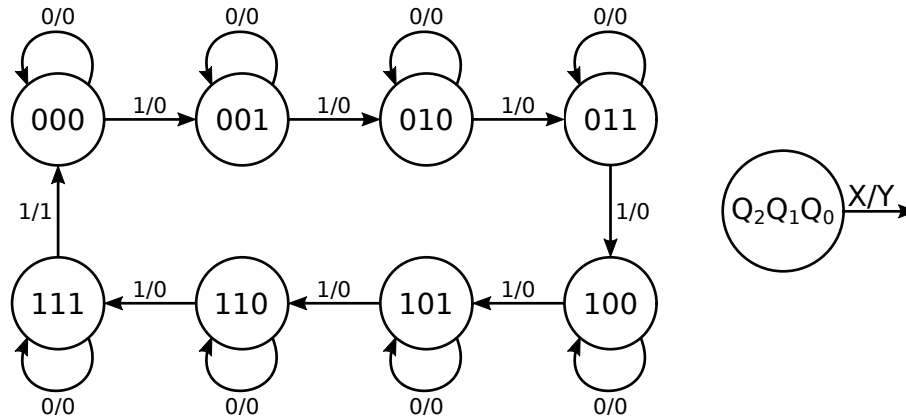
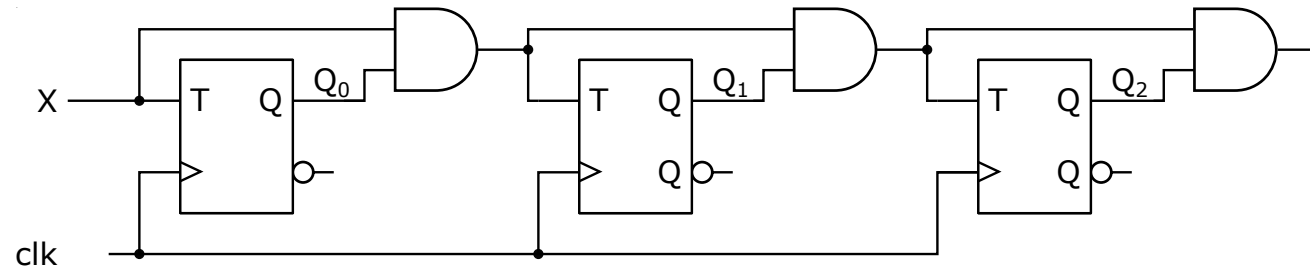
Mealy-Maschine - Zustandsgraph



X	Q	T	Q*	Y
0	000	000	000	0
0	001	000	001	0
0	010	000	010	0
0	011	000	011	0
0	100	000	100	0
0	101	000	101	0
0	110	000	110	0
0	111	000	111	0
1	000	001	001	0
1	001	011	010	0
1	010	001	011	0
1	011	111	100	0
1	100	001	101	0
1	101	011	110	0
1	110	001	111	0
1	111	111	000	1

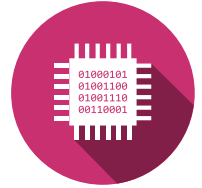
Zustandsmaschinen

Mealy-Maschine - Zustandsgraph

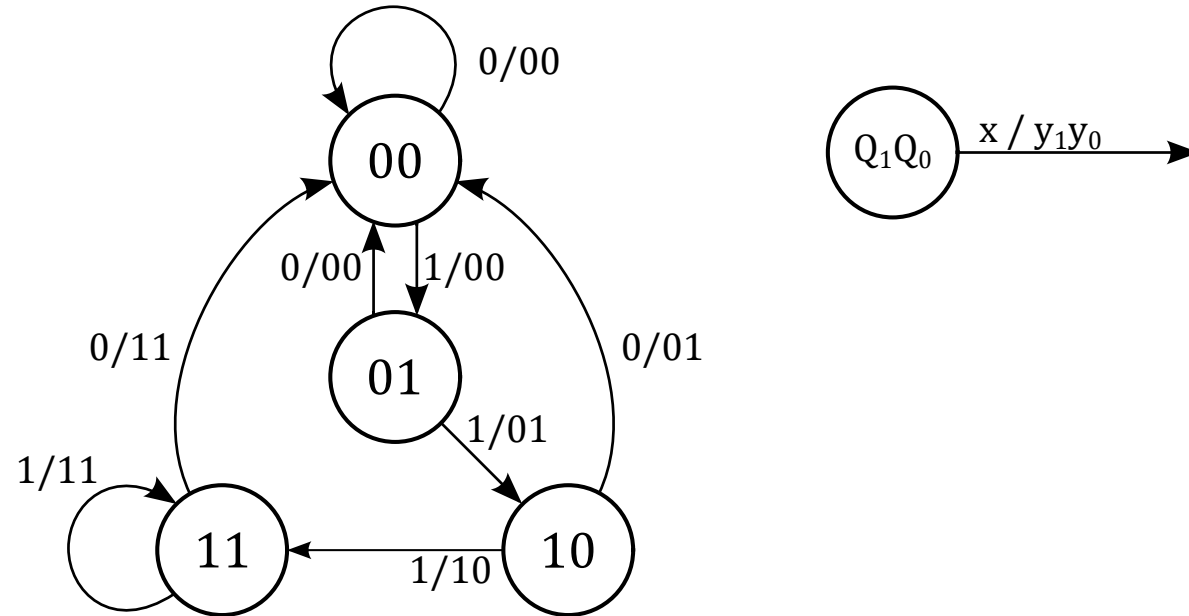


X	Q	T	Q*	Y
0	000	000	000	0
0	001	000	001	0
0	010	000	010	0
0	011	000	011	0
0	100	000	100	0
0	101	000	101	0
0	110	000	110	0
0	111	000	111	0
1	000	001	001	0
1	001	011	010	0
1	010	001	011	0
1	011	111	100	0
1	100	001	101	0
1	101	011	110	0
1	110	001	111	0
1	111	111	000	1

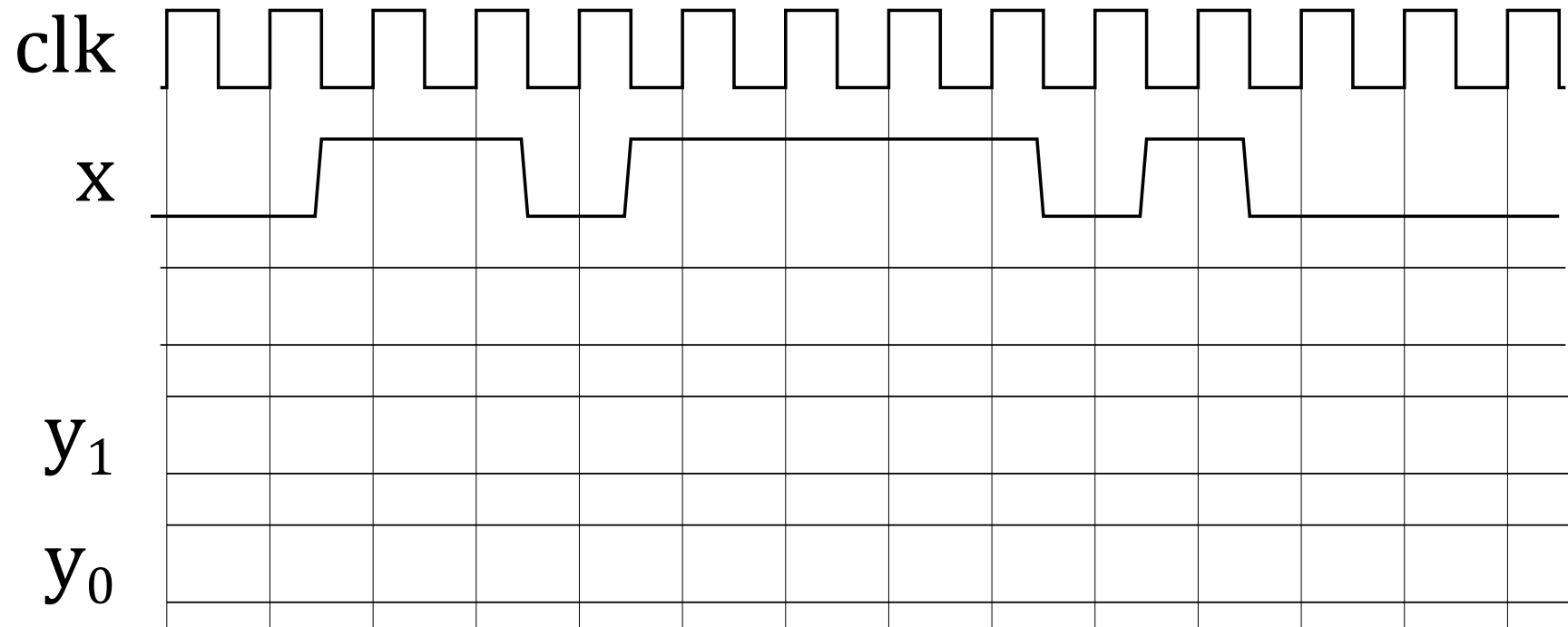
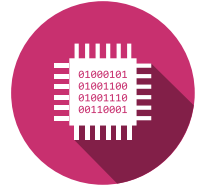
Aufgabe 2.3 (fsm/mealy-03)



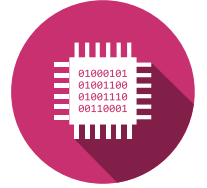
Für das System, welches durch den folgenden Zustandsgraphen bestimmt wird, geben Sie das zeitliche Verhalten der Ausgangssignale.



Aufgabe 2.3 (fsm/mealy-03)



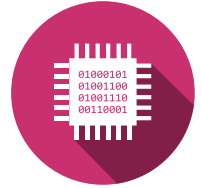
Inhalt



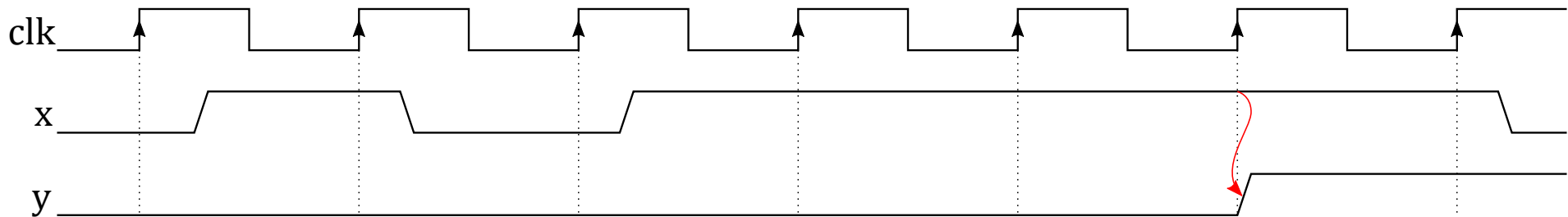
- Logische Synchronsysteme
- Moore-Maschinen
- Mealy-Maschinen
- **Erstellen des Zustandsgraphen**
 - Entwicklung von einem beliebigen Zustand aus
 - Entwicklung von einem Szenario aus
 - Entwicklung von einer Zustandsliste aus
- Graphenvereinfachung
- Kodierung der Zustände

Zustandsmaschinen

Entwicklung - Aufgabe

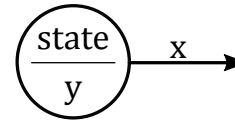
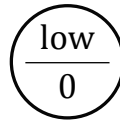
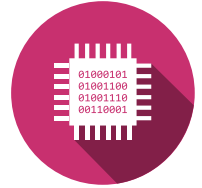


Erstelle eine Zustandsmaschine bei welchem ein Ausgangssignal nur dann den Wert des Eingangssignal es annimmt, sofern das Eingangssignal während 3 hintereinanderfolgenden Clockperioden stabil war.



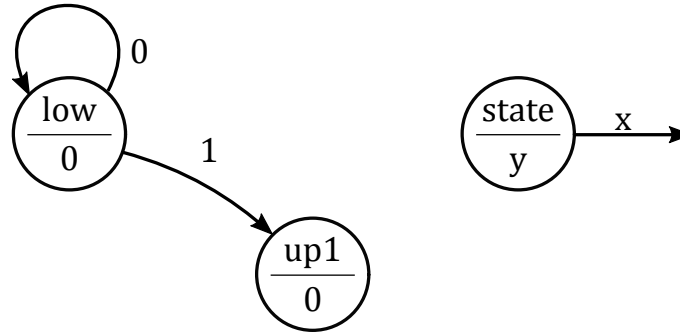
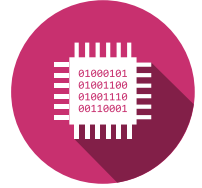
Zustandsmaschinen

Entwicklung von einem beliebigen Zustand aus



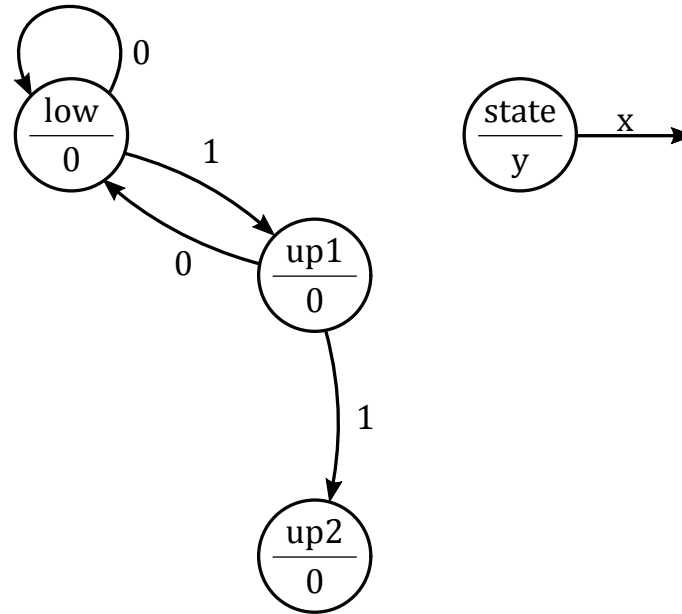
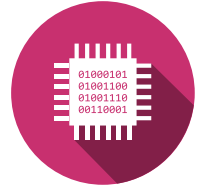
Zustandsmaschinen

Entwicklung von einem beliebigen Zustand aus



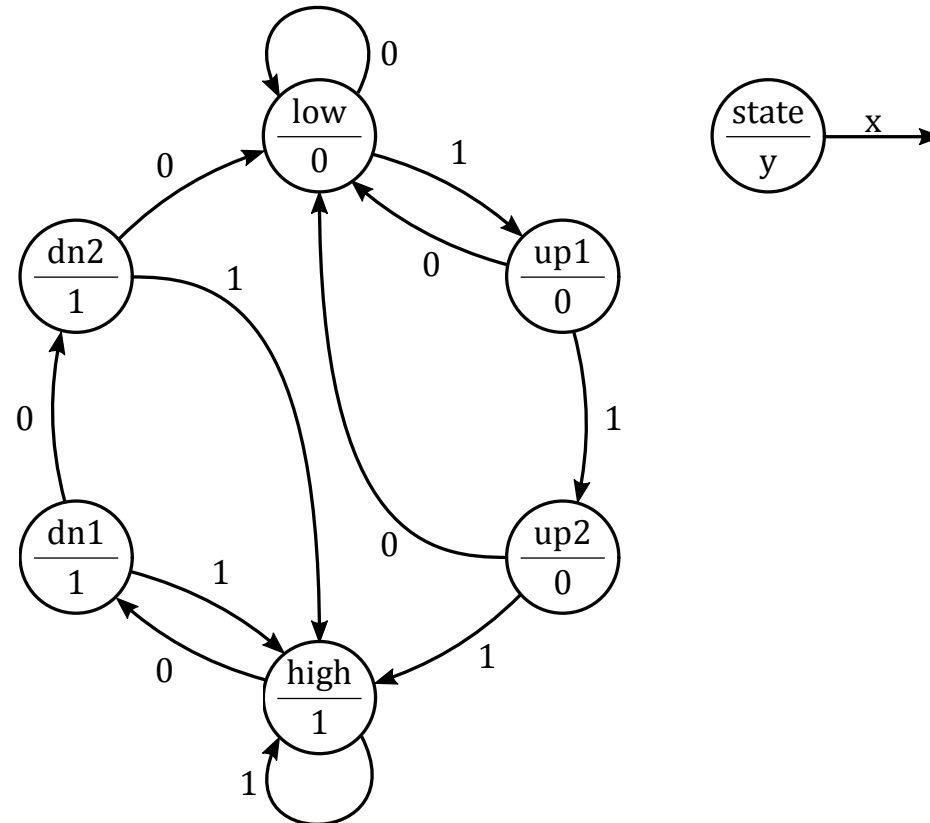
Zustandsmaschinen

Entwicklung von einem beliebigen Zustand aus



Zustandsmaschinen

Entwicklung von einem beliebigen Zustand aus

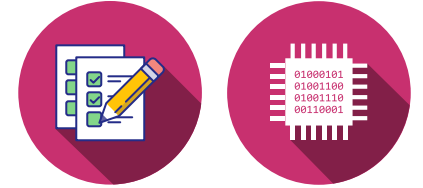


Aufgabe 3.4 (fsm/fsm-04)

Steuerung der Beleuchtung

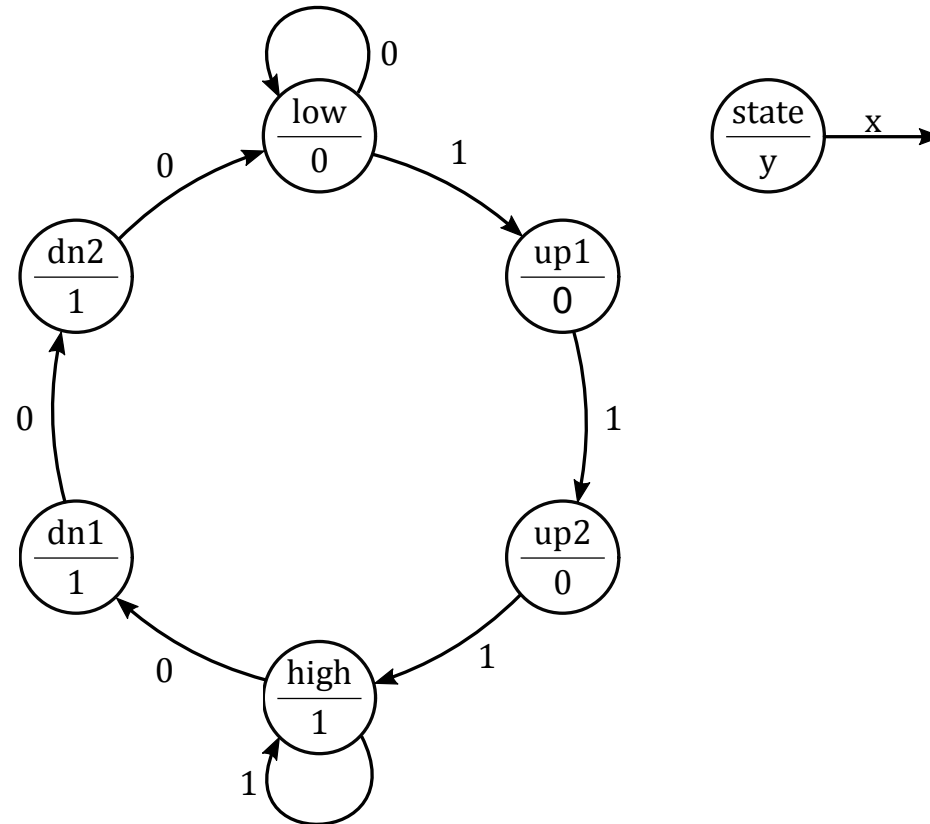
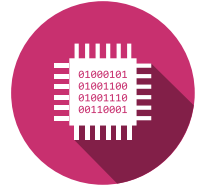
Mit einem Druckknopf wird die Beleuchtung eines Raums bedient. Drückt man einmal auf den Knopf, so geht das Licht an. Drückt man ihn noch einmal geht das Licht wieder aus.

Zeichnen Sie den Zustandsgraphen dieses Systems.



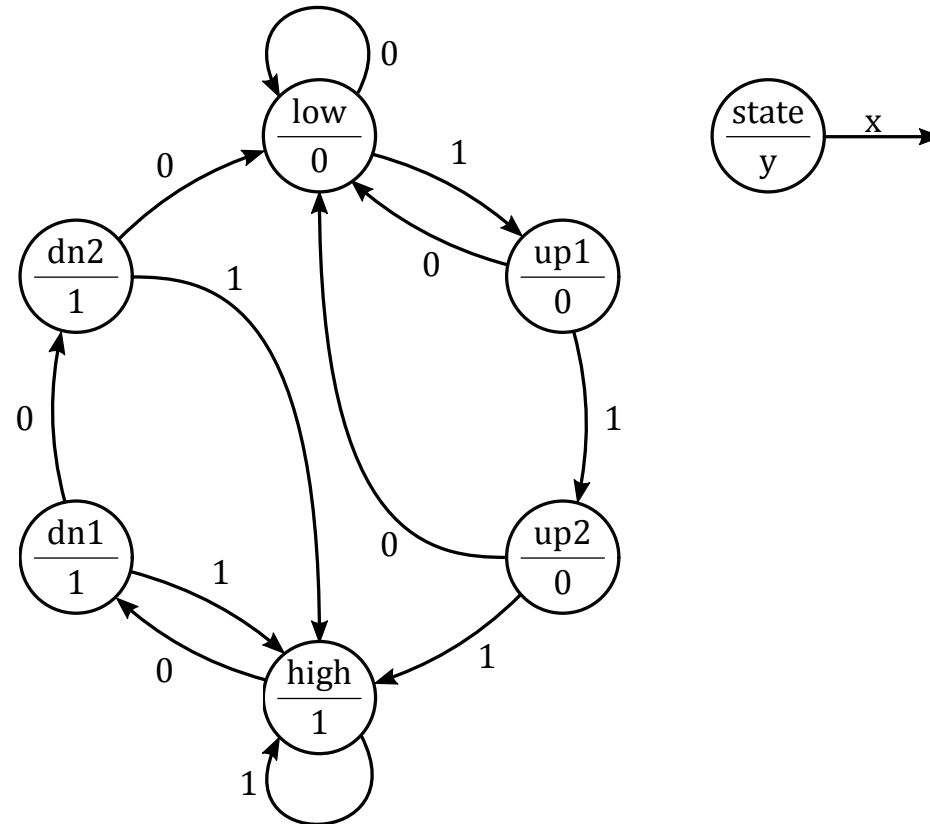
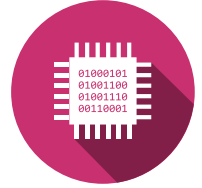
Zustandsmaschinen

Entwicklung von einem Szenario aus

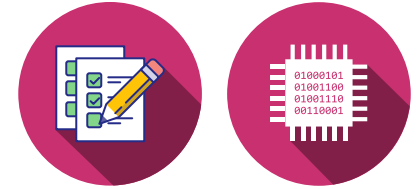


Zustandsmaschinen

Entwicklung von einem Szenario aus



Aufgabe 3.6 (fsm/fsm-06)



Erkennung von Zeichenketten

Eine Schaltung muss in einem Text alle Wörter erkennen, die mit der Zeichenkette "er" enden. Im Textanalysesystem kommt ihr eine andere Schaltung voraus, die mit demselben Taktsignal gesteuert ist und die Zeichen wie folgt mit je 2 Bit codiert:

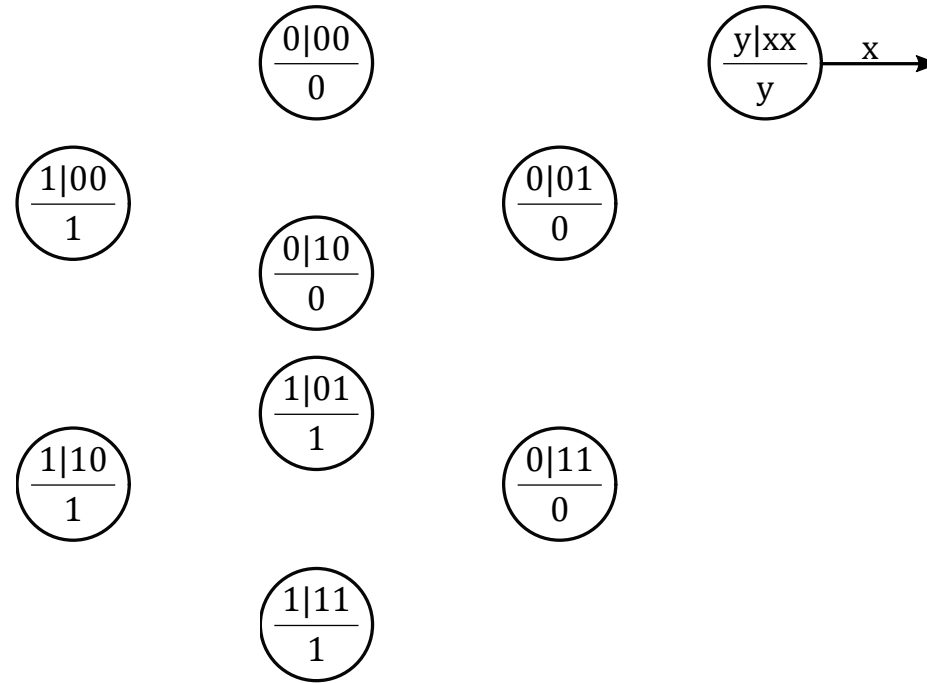
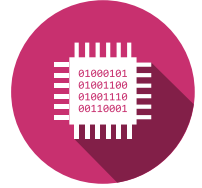
- "00" für den Buchstaben 'e',
- "01" für den Buchstaben 'r',
- "10" für ein Trennungszeichen (Leerschlag, Interpunktionszeichen),
- "11" für jedes andere Zeichen.

Bei jeder Taktperiode wird ein neues Zeichen codiert und übertragen.

Zeichnen Sie den Graphen, der die Erkennung eines Wortes angibt, welches mit der Zeichenkette "er" endet. Dies soll unmittelbar nach der Übertragung des Trennungszeichens angegeben sein.

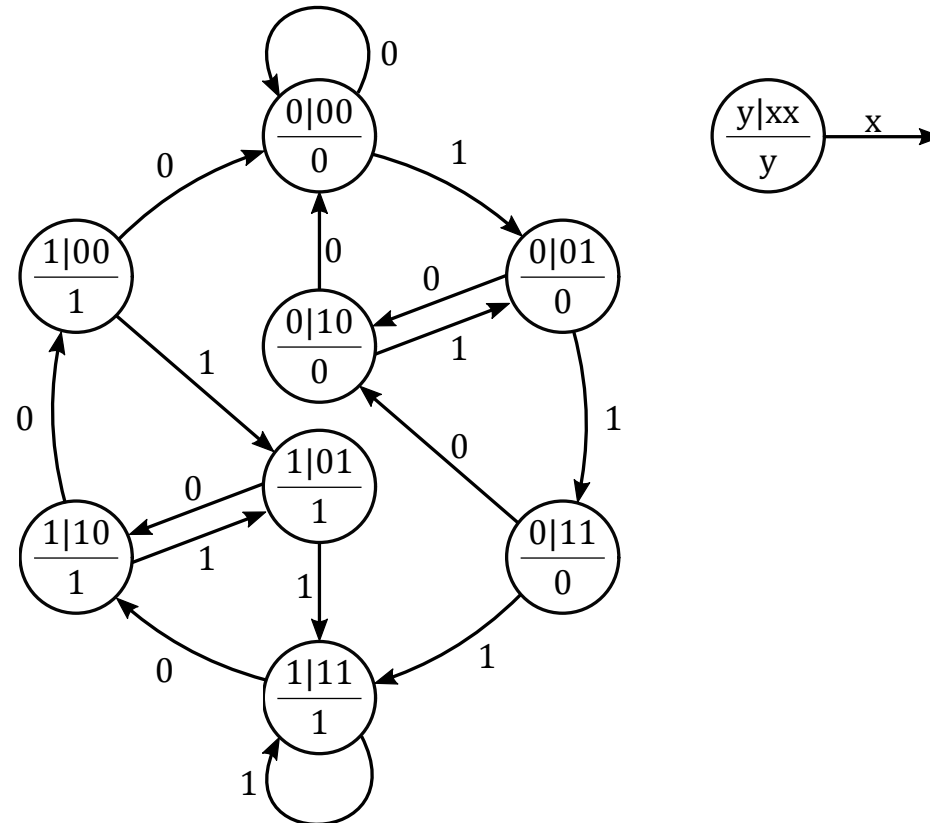
Zustandsmaschinen

Entwicklung von einer Zustandsliste aus

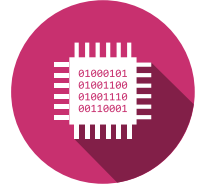


Zustandsmaschinen

Entwicklung von einer Zustandsliste aus



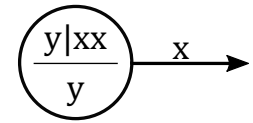
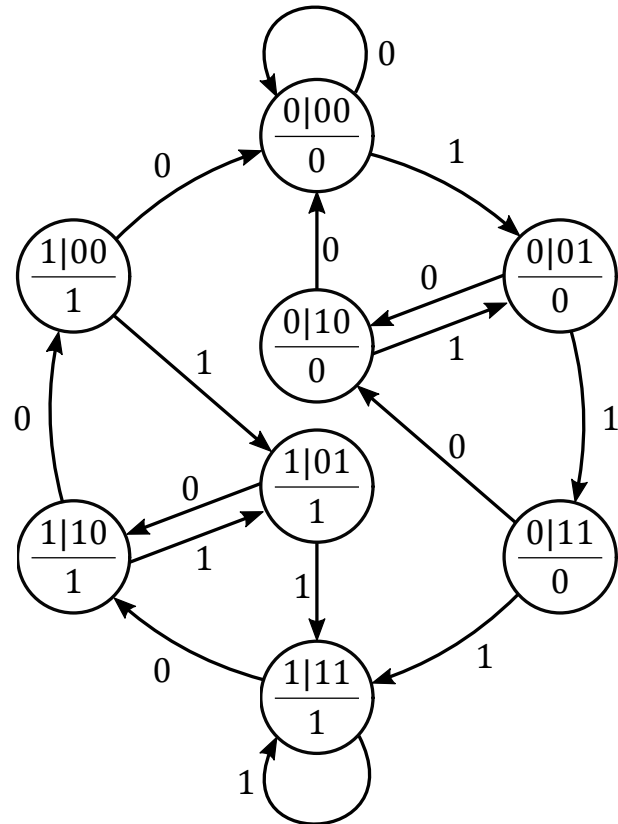
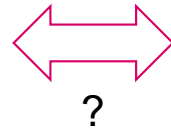
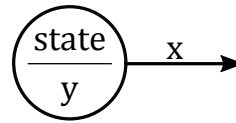
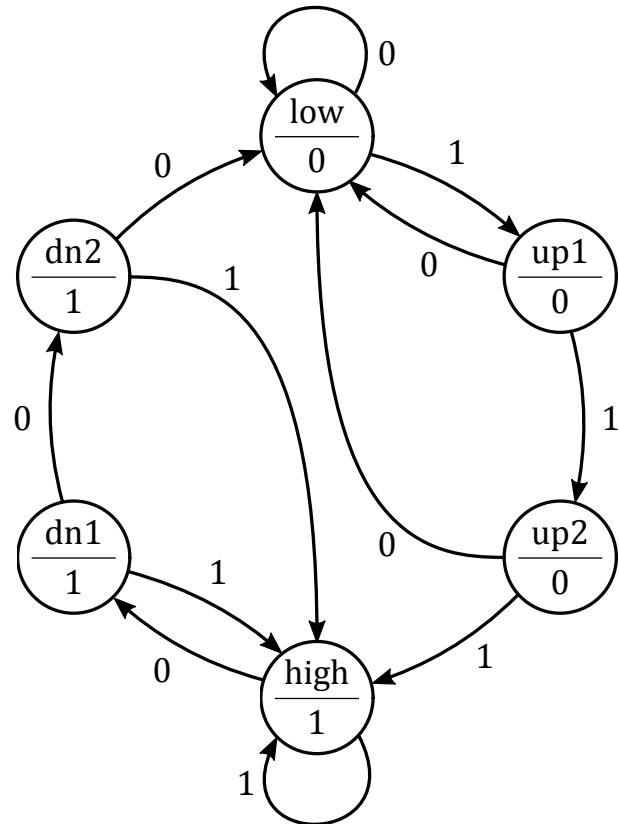
Inhalt



- Logische Synchronsysteme
- Moore-Maschinen
- Mealy-Maschinen
- Erstellen des Zustandsgraphen
- **Graphenvereinfachung**
 - Äquivalente Zustandsgraphen
 - Zustandstabelle
 - Reduktionsmethode
- Kodierung der Zustände

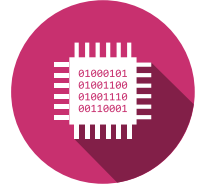
Zustandsmaschinen

Äquivalente Zustandsgraphen

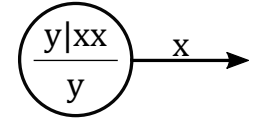
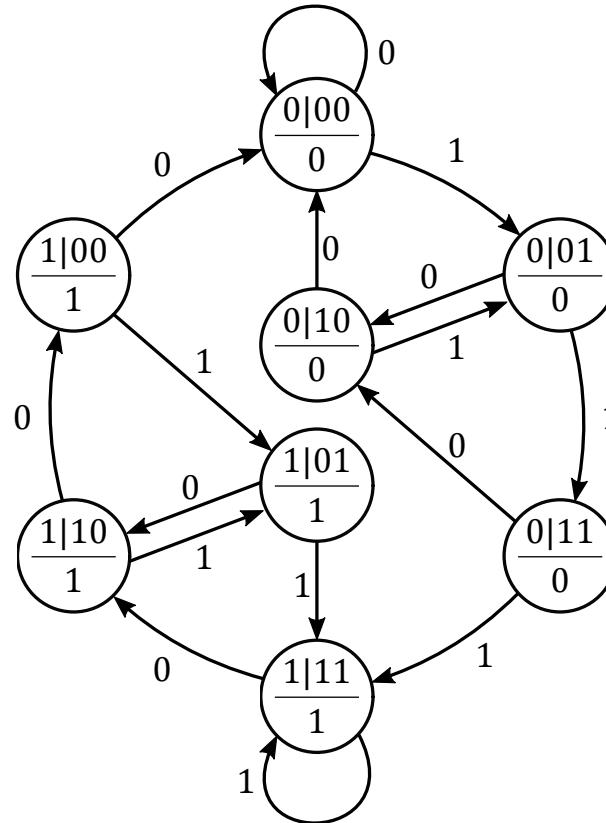
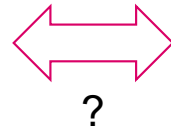


Zustandsmaschinen

Äquivalente Zustandsgraphen - Zustandstabelle

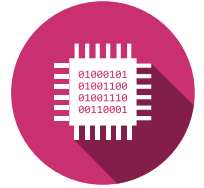


Q \ x	0	1
0 00	0 00 / 0	0 01 / 0
0 01	0 10 / 0	0 11 / 0
0 10	0 00 / 0	0 01 / 0
0 11	0 10 / 0	1 11 / 0
1 00	0 00 / 1	1 01 / 1
1 01	1 10 / 1	1 11 / 1
1 10	1 00 / 1	1 01 / 1
1 11	1 10 / 1	1 11 / 1



Zustandsmaschinen

Äquivalente Zustandsgraphen - Reduktionsmethode



Es werden die Zustände vereinfacht, die die gleiche Funktionsweise haben.

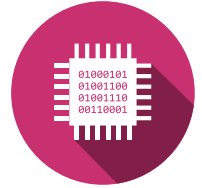
Q \ x	0	1
0 00	0 00 / 0	0 01 / 0
0 01	0 10 / 0	0 11 / 0
0 10	0 00 / 0	0 01 / 0
0 11	0 10 / 0	1 11 / 0
1 00	0 00 / 1	1 01 / 1
1 01	1 10 / 1	1 11 / 1
1 10	1 00 / 1	1 01 / 1
1 11	1 10 / 1	1 11 / 1

Q \ x	0	1
low	low / 0	up1 / 0
high	dn1 / 1	high / 1

Diagram illustrating the reduction of states in a state machine. The left table shows the original 8 states (0-11). The right table shows the reduced states (low, high, dn1, up1). Arrows indicate the mapping: states 0-3 map to 'low', states 4-7 map to 'high', and states 8-11 map to 'dn1' and 'up1'.

Zustandsmaschinen

Äquivalente Zustandsgraphen - Reduktionsmethode



Es werden die Zustände vereinfacht, die die gleiche Funktionsweise haben.

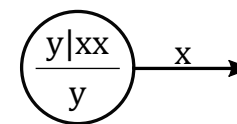
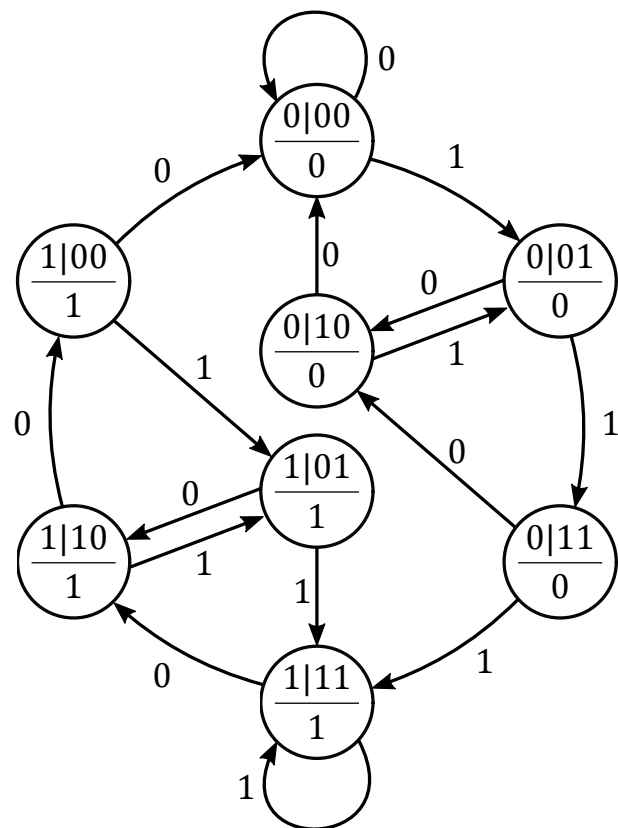
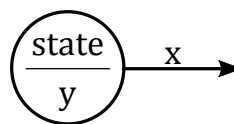
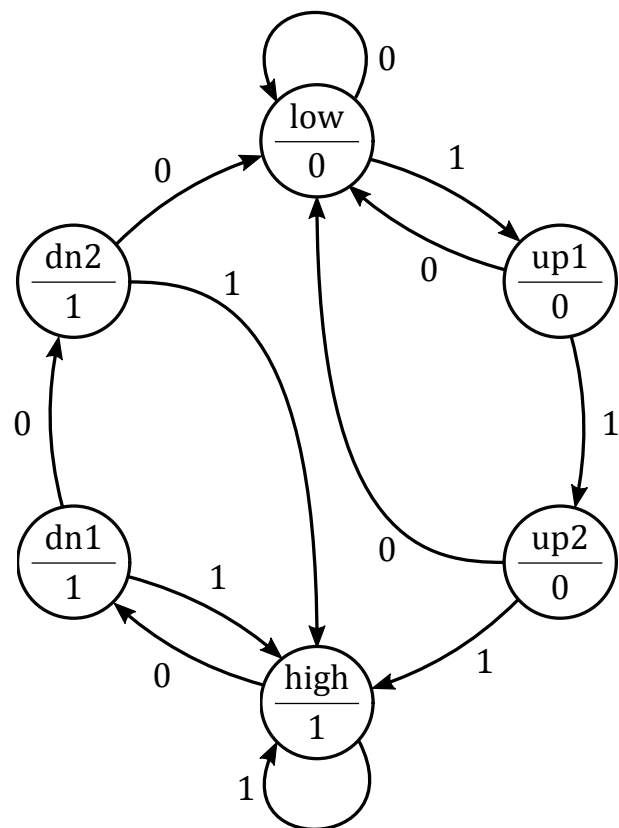
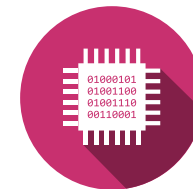
Q \ x	0	1
0 00	0 00 / 0	0 01 / 0
0 01	0 10 / 0	0 11 / 0
0 10	0 00 / 0	0 01 / 0
0 11	0 10 / 0	1 11 / 0
1 00	0 00 / 1	1 01 / 1
1 01	1 10 / 1	1 11 / 1
1 10	1 00 / 1	1 01 / 1
1 11	1 10 / 1	1 11 / 1

Q \ x	0	1
low	low / 0	up1 / 0
up1	low / 0	up2 / 0
up2	low / 0	high / 0
high	dn1 / 1	high / 1
dn1	dn2 / 1	high / 1
dn2	low / 1	high / 1

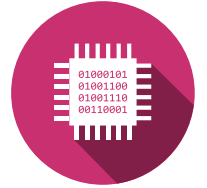
Diagram illustrating the reduction of states in a finite state machine. The left table shows the original 8 states (0-11). The right table shows the reduced 6 states (low, up1, up2, high, dn1, dn2). Arrows indicate the mapping: 0 | 00 maps to low; 0 | 01, 0 | 10, and 0 | 11 map to up1; 0 | 11 maps to up2; 1 | 00, 1 | 01, and 1 | 10 map to dn1; 1 | 01 maps to dn2; and 1 | 11 maps to high.

Zustandsmaschinen

Graphenreduktion



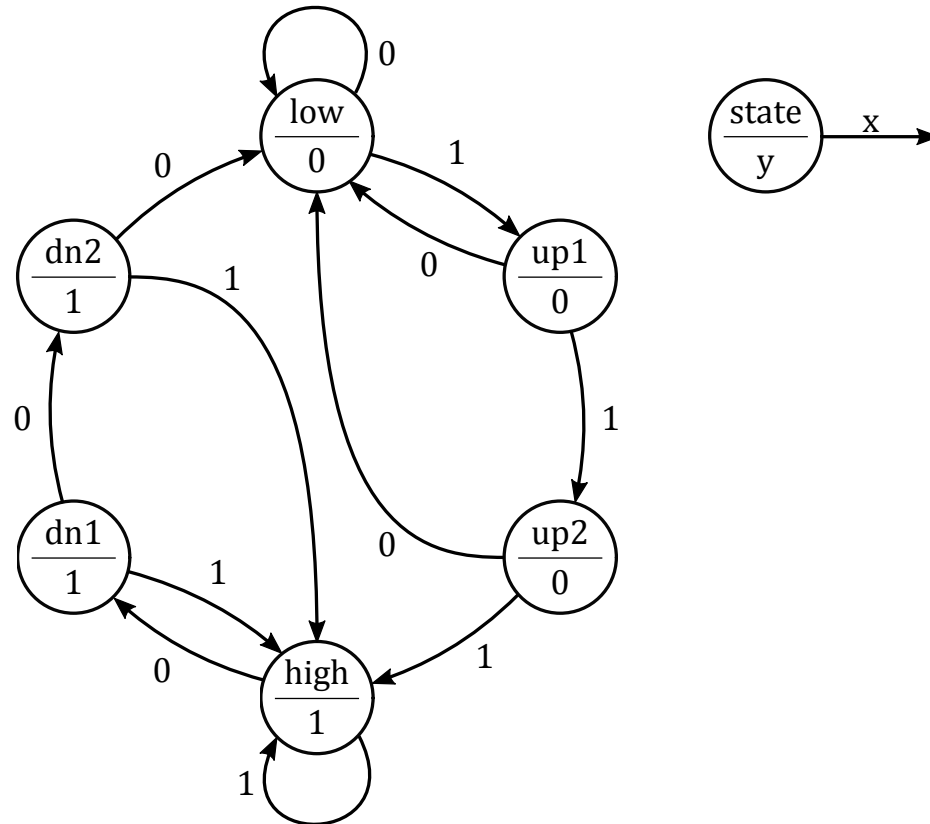
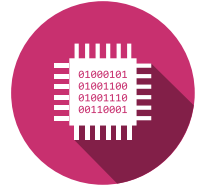
Inhalt



- Logische Synchronsysteme
- Moore-Maschinen
- Mealy-Maschinen
- Erstellen des Zustandsgraphen
- Graphenvereinfachung
- **Kodierung der Zustände**
 - Binäre Kodierung
 - One-Hot Kodierung

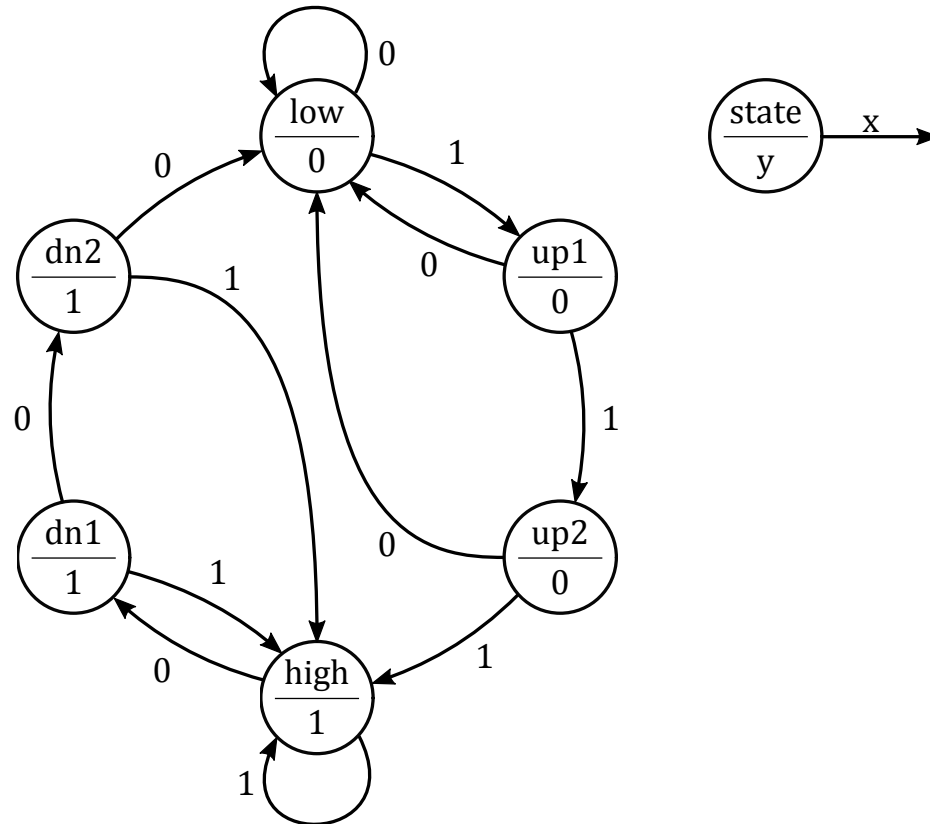
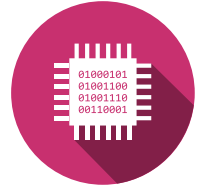
Zustandsmaschinen

Binäre Kodierung der Zustände



Zustandsmaschinen

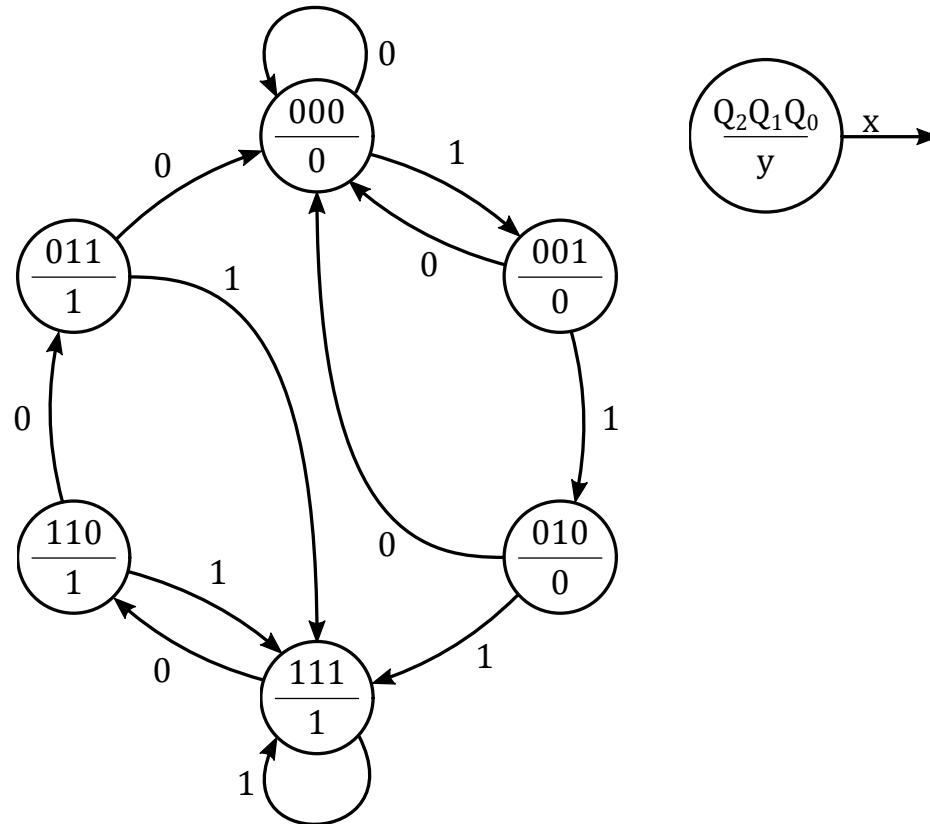
Binäre Kodierung der Zustände



State	Q ₂ Q ₁ Q ₀
low	000
up1	001
up2	010
high	111
dn1	110
dn2	011

Zustandsmaschinen

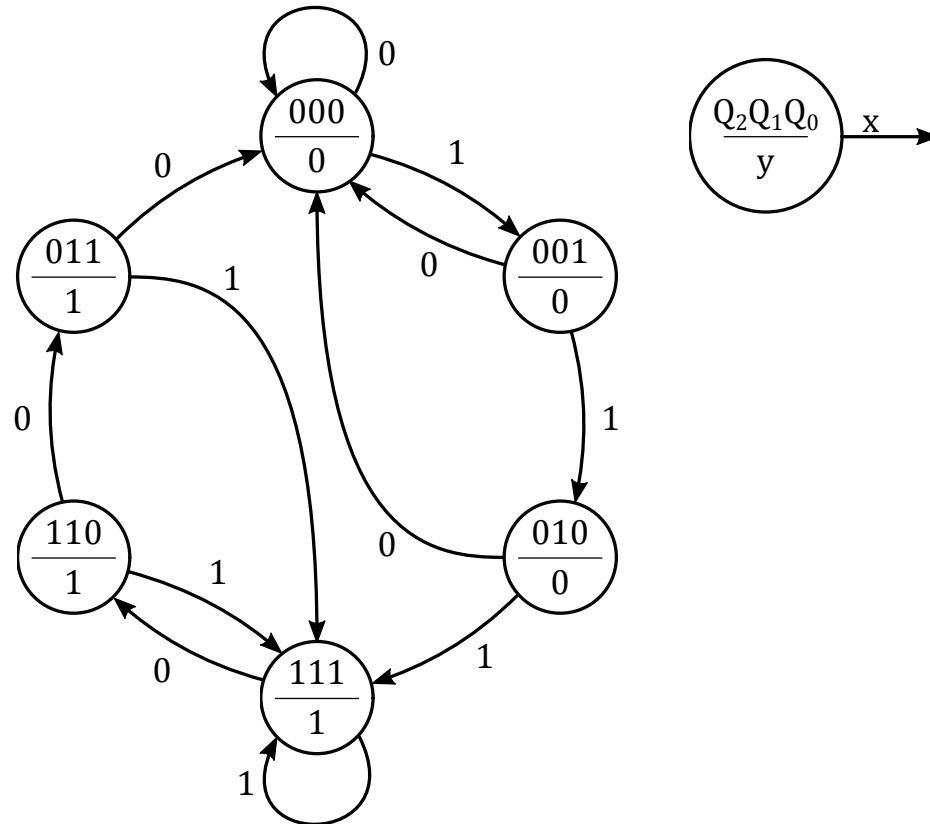
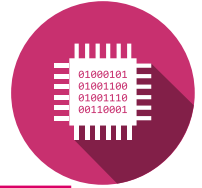
Binäre Kodierung der Zustände



State	$Q_2Q_1Q_0$
low	000
up1	001
up2	010
high	111
dn1	110
dn2	011

Zustandsmaschinen

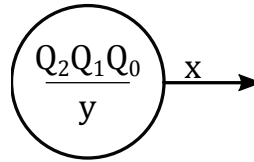
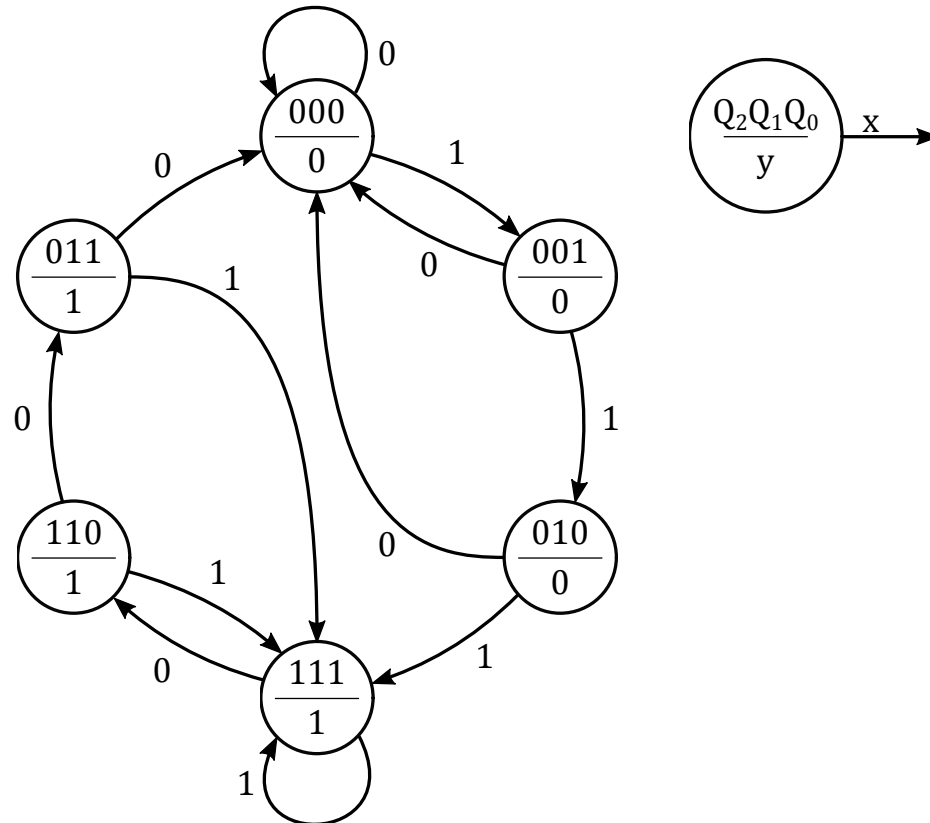
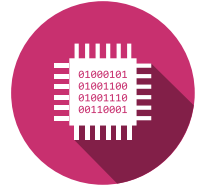
Binäre Kodierung der Zustände



x	$Q_2Q_1Q_0$	$Q_2^+Q_1^+Q_0^+$	y
0	000	000	0
0	001	000	0
0	010	000	0
0	011	000	1
0	100	---	-
0	101	---	-
0	110	011	1
0	111	110	1
1	000	001	0
1	001	010	0
1	010	111	0
1	011	111	1
1	100	---	-
1	101	---	-
1	110	111	1
1	111	111	1

Zustandsmaschinen

Binäre Kodierung der Zustände



$$D_2 = xQ_1 + Q_2Q_0$$

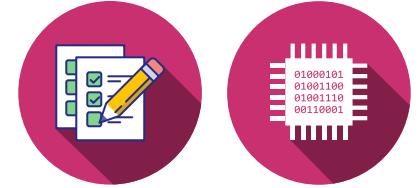
$$D_1 = xQ_1 + x\overline{Q_0} + Q_2\overline{}$$

$$D_0 = xQ_1 + x\overline{Q_0} + Q_2\overline{Q_0}$$

$$y = Q_2 + Q_1Q_0$$

Aufgabe 5.5 (fsm/coding-05)

Detektieren einer fallenden Flanke



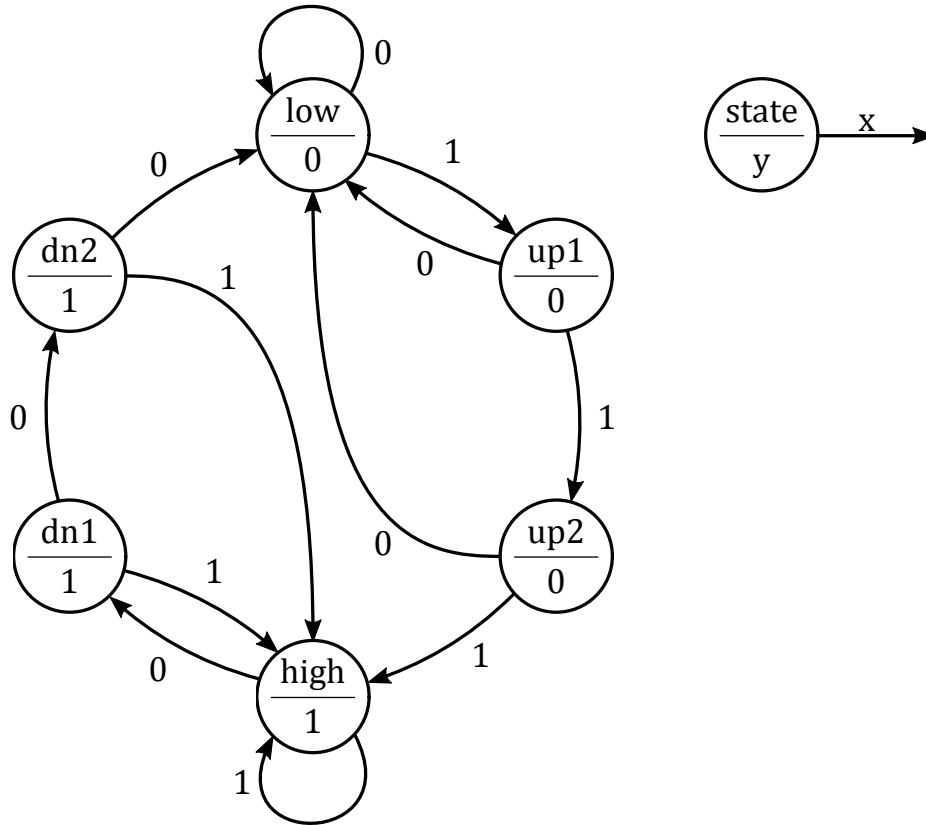
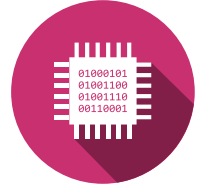
Zeichnen Sie das Schema einer Moore-Maschine, die eine absteigende Flanke eines Eingangssignals aufspürt.

Gehen Sie davon aus, dass die Pulse des Eingangssignals immer mehr als eine Taktperiode dauern.

Schlagen Sie eine Kodierung vor und zeichnen Sie den entsprechenden Schaltplan.

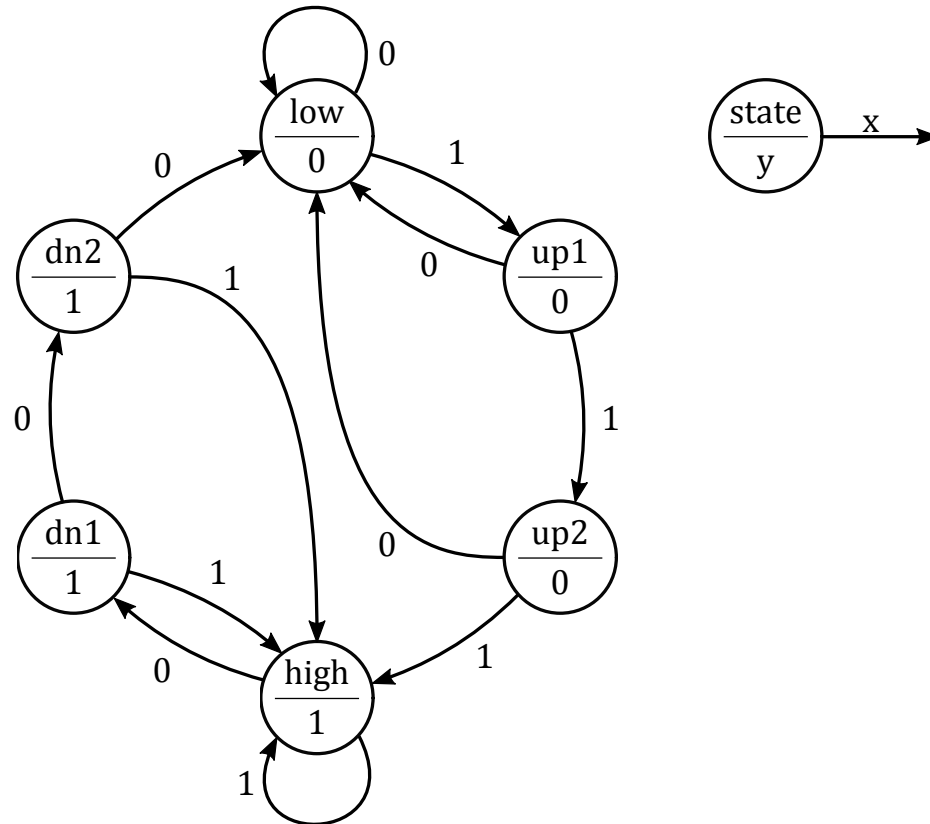
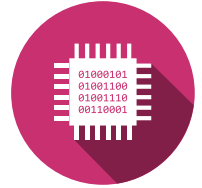
Zustandsmaschinen

One-Hot Kodierung



Zustandsmaschinen

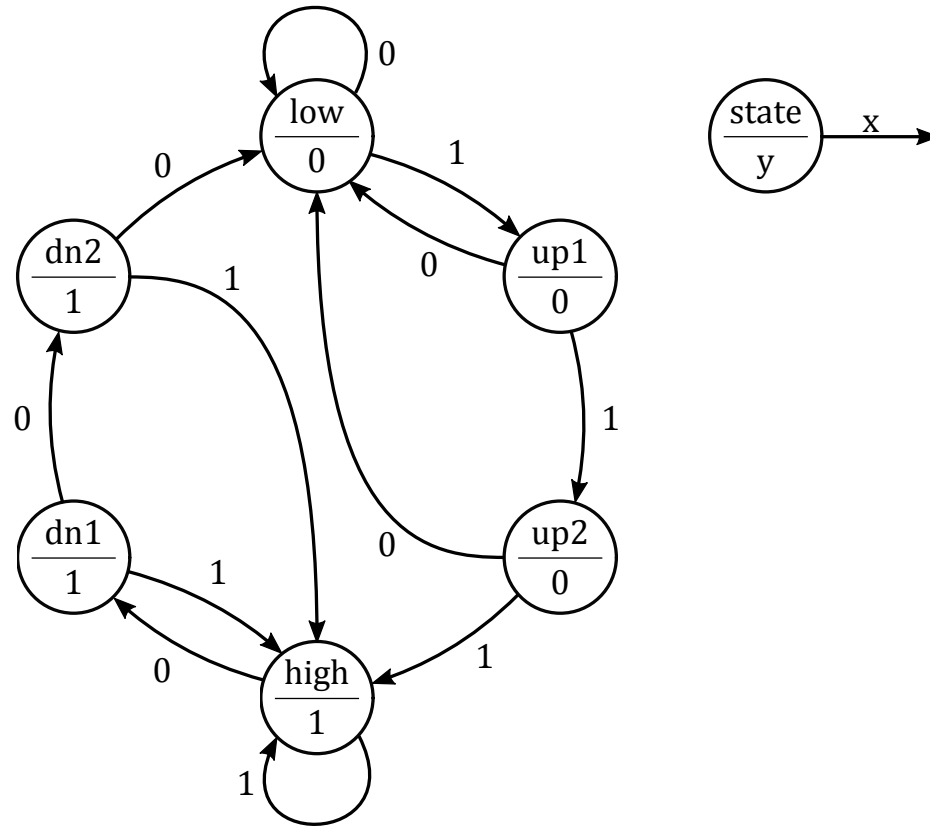
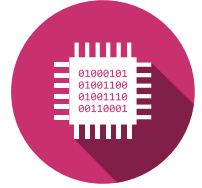
One-Hot Kodierung



State	$Q_5 Q_4 Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$
low	000001
up1	000010
up2	000100
high	001000
dn1	010000
dn2	100000

Zustandsmaschinen

One-Hot Kodierung



State	$Q_5 Q_4 Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$
low	000001
up1	000010
up2	000100
high	001000
dn1	010000
dn2	100000

$$D_0 = \bar{x}Q_0 + \bar{x}Q_1 + \bar{x}Q_2 + \bar{x}Q_5$$

$$D_1 = xQ_0$$

$$D_2 = xQ_1$$

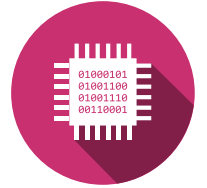
$$D_3 = xQ_2 + xQ_3 + xQ_4 + xQ_5$$

$$D_4 = \bar{x}Q_3$$

$$D_5 = \bar{x}Q_4$$

$$y = Q_3 + Q_4 + Q_5$$

Referenzen



- [Alm89] (Englisch) Reduktion der Anzahl der Zustände
- [Man78] (Französisch) Vollständige Präsentation, Aufgaben mit Lösungen
- [Wak00] (Englisch) Vollständige Präsentation, interessante Aufgaben
- [Lew82] (Englisch) Reduktion der Anzahl der Zustände

WHY ARE THERE MIRRORS ABOVE BEDS

WHY DO I SAY UH

WHY IS SEA SALT BETTER

WHY ARE THERE TREES IN THE MIDDLE OF FIELDS

WHY IS THERE NOT A POKEMON MMO

WHY IS THERE LAUGHING IN TV SHOWS

WHY ARE THERE DOORS ON THE FREEWAY

WHY ARE THERE SO MANY SUCHOST-EXE RUNNING

WHY AREN'T ANY COUNTRIES IN ANTARCTICA

WHY ARE THERE SCARY SOUNDS IN MINECRAFT

WHY IS THERE KICKING IN MY STOMACH

WHY ARE THERE TWO SLASHES AFTER HTTP

WHY ARE THERE CELEBRITIES

WHY DO SNAKES EXIST

WHY DO OYSTERS HAVE PEARLS

WHY ARE DUCKS CALLED DUCKS

WHY DO THEY CALL IT THE CLAP

WHY ARE KYLE AND CARTMAN FRIENDS

WHY IS THERE AN ARROW ON AANG'S HEAD

WHY ARE TEXT MESSAGES BLUE

WHY ARE THERE MUSTACHES ON CLOTHES

WHY WUBA LUBBA DUB DUB MEANING

WHY IS THERE A WHALE AND A POT FALLING

WHY ARE THERE SO MANY BIRDS IN SWISS

WHY IS THERE SO LITTLE RAIN IN WALLIS

WHY IS WALLIS WEATHER FORECAST ALWAYS WRONG

WHY ARE THERE MALE AND FEMALE BIKES

WHY ARE THERE BRIDESMAIDS

WHY DO DYING PEOPLE REACH UP

HOW FAST IS LIGHTSPEED

WHY ARE OLD KLINGONS DIFFERENT

WHY ARE THERE SQUIRRELS

WHY ARE THERE TINY SPIDERS IN MY HOUSE

WHY DO SPIDERS COME INSIDE

WHY ARE THERE HUGE SPIDERS IN MY HOUSE

WHY ARE THERE LOTS OF SPIDERS IN MY HOUSE

WHY ARE THERE SPIDERS IN MY ROOM

WHY ARE THERE SO MANY SPIDERS IN MY ROOM

WHY DO SPYDER BITES ITCH

WHY IS DYING SO SCARY

WHY IS THERE NO GPS IN LAPTOPS

WHY DO KNEES CLICK

WHY IS THERE CAFFEINE IN MY SHAMPOO

WHY HAVE DINOSAURS NO FUR

WHY DO IGUANAS DIE

WHY AREN'T ECONOMISTS RICH

WHY DO AMERICANS CALL IT SOCCER

WHY ARE MY EARS RINGING

WHY IS 42 THE ANSWER TO EVERYTHING

WHY CAN'T NOBODY ELSE LIFT THORS HAMMER

WHY IS MARVIN ALWAYS SO SAD

WHY ARE THERE ANTS IN MY LAPTOP

WHY IS EARTH TILTED

WHY IS SPACE BLACK

WHY IS OUTER SPACE SO COLD

WHY ARE THERE PYRAMIDS ON THE MOON

WHY IS NASA SHUTTING DOWN

WHY ARE THERE GHOSTS

WHY IS THERE AN OWL IN MY BACKYARD

WHY IS THERE AN OWL OUTSIDE MY WINDOW

WHY IS THERE AN OWL ON THE DOLLAR BILL

WHY DO OWLS ATTACK PEOPLE

WHY ARE FPGA's EVERYWHERE

WHY ARE THERE HELICOPTERS CIRCLING MY HOUSE

WHY ARE THERE GODS

WHY ARE THERE TWO SPOCKS

WHY ARE MY BOOBS ITCHY

WHY ARE CIGARETTES LEGAL

WHY ARE THERE DUCKS IN MY POOL

WHY IS JESUS WHITE

WHY IS THERE LIQUID IN MY EAR

WHY DO Q TIPS FEEL GOOD

WHY DO PEOPLE DIE

WHY AREN'T THERE GUNS IN

WHY ARE THERE DOGS AFRAID OF FIRE

WHY IS THERE NO KING IN E

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

QUESTIONS

CAN BE ASKED BY ANYONE ANYTIME

WHY AREN'T MY
ARMS GROWING



WHY ARE THERE
GHOSTS



WHY IS THERE AN OWL IN MY BACKYARD

WHY IS THERE AN OWL OUTSIDE MY WINDOW

WHY IS THERE AN OWL ON THE DOLLAR BILL

WHY DO OWLS ATTACK PEOPLE

WHY ARE FPGA's EVERYWHERE

WHY ARE THERE HELICOPTERS CIRCLING MY HOUSE

WHY ARE THERE GODS

WHY ARE THERE TWO SPOCKS

WHY ARE MY BOOBS ITCHY

WHY ARE CIGARETTES LEGAL

WHY ARE THERE DUCKS IN MY POOL

WHY IS JESUS WHITE

WHY IS THERE LIQUID IN MY EAR

WHY DO Q TIPS FEEL GOOD

WHY DO PEOPLE DIE

WHY AREN'T
THERE GUNS IN

WHAT IS <https://xkcd.com/1256/>

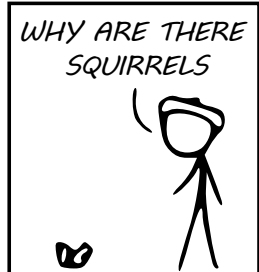
WHY DO THEY SAY T-MINUS

WHY ARE THERE OBELISKS

WHY ARE WRESTLERS ALWAYS WET

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE



WHY IS THERE HELL IF

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

WHY ARE THERE

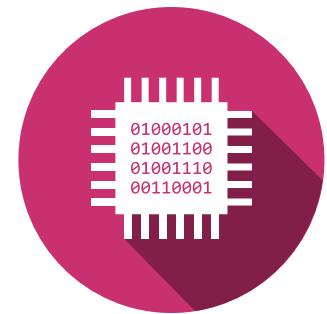
WHY ARE THERE



Hes·so  **VALAIS
WALLIS**



Haute Ecole d'Ingénierie
Hochschule für Ingenieurwissenschaften



Silvan Zahno silvan.zahno@hevs.ch
Christophe Bianchi christophe.bianchi@hevs.ch
François Corthay francois.corthay@hevs.ch