

Prof. Dr.-Ing. J. Becker
becker@kit.edu

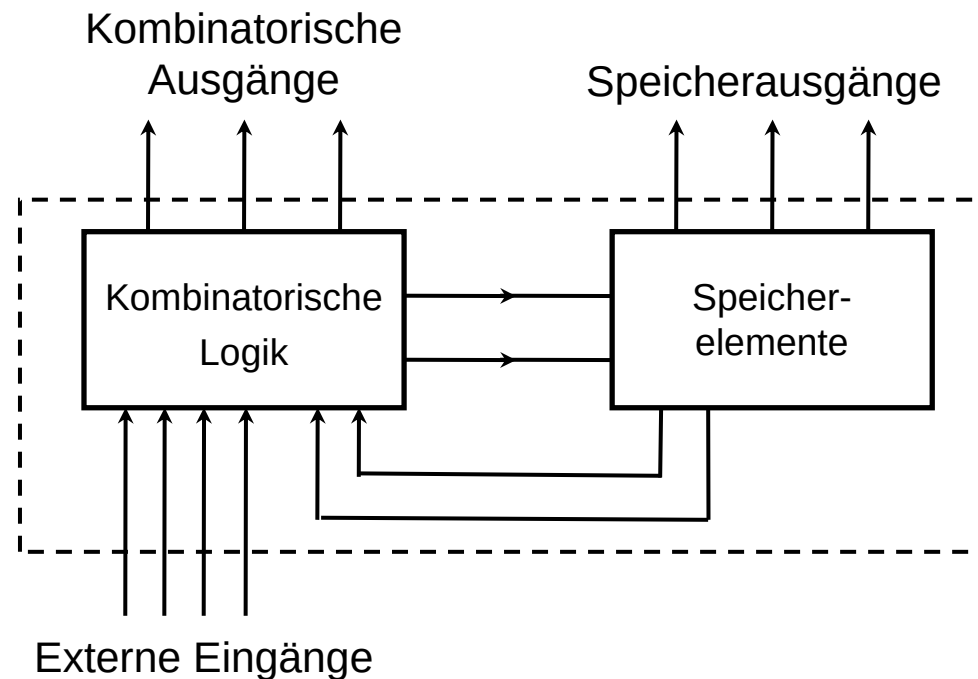
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Digitaltechnik

Digitale Speicherbausteine (FlipFlop-Schaltungen)

Sequentielle Logik

- Sequentielle Schaltkreise bestehen meist aus einem oder mehreren **Rückkopplungspfaden** in Kombination mit **Speicherelementen**



Sequentieller Schaltkreis = Kombinatorische Logik + Speicherelemente

Sequentielle Logik

- Es existieren **zwei Typen** von **sequentiellen Schaltkreisen**:
 - **synchron**: Ausgänge ändern sich zu **festgelegten** Zeitpunkten
→ **Takt**
 - **asynchron**: Ausgänge ändern sich zu **beliebigen** Zeitpunkten
- Man unterscheidet zwei bistabile logische Speicherkomponenten:
 - pegel- und
 - flankengesteuerte **FlipFlops**
- **FlipFlops**: unterscheiden sich in der Art und Weise wie ihre **Zustände** **geändert** werden
 - in Abhängigkeit der **Eingangssignale** sowie des **Taktsignals**

Speicherelemente

- **Speicherelement:** ein Gerät oder Modul, welches einen zuvor-angelegten Wert unbegrenzt Speichern und auf Wunsch wieder ändern kann



Charakteristische Tabelle:

Befehl (zum Zeitpunkt t)	$Q(t)$	$Q(t+1)$
Set	-	1
Reset	-	0
Speichern / keine Änderung	0	0
	1	1

$Q(t)$: aktueller Zustand

$Q(t+1)$: nächster Zustand

Speicherelemente

- Zwei **Typen** der **Trigger-/Aktivierungsmechanismen**
 - **pegelgesteuert**
 - **flankengesteuert**

- **Typ 1:** **pegelgesteuerte Speicherelemente** (FlipFlops) werden auch als **Latches** bezeichnet -> mit **Pegeln** von Signalen angesteuert
 - **Pegel auf high** -> das Speicherelement ist **aktiviert**
 - **Pegel auf low** -> das Speicherelement ist **deaktiviert**

- **Typ 2:** **flankengesteuerte Speicherelemente** (FlipFlops) werden mit steigender oder fallender **Flanke** angesteuert
 - **positive Flankensteuerung:**
 - aktiviert wenn Übergang von **0 nach 1**
 - deaktiviert sonst
 - **negative Flankensteuerung:**
 - aktiviert wenn Übergang von **1 nach 0**
 - deaktiviert sonst

Pegelgesteuerte Speicherelemente

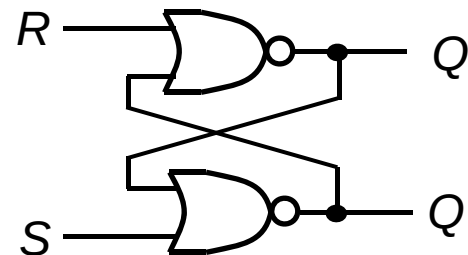
RS-FlipFlop (Latch):

- Komplementäre Ausgänge Q und Q',
- 2 Steuereingänge R, S:
 - Latch im Zustand SET → Q auf HIGH
 - Latch im Zustand RESET → Q auf LOW
- Für ein **active-HIGH RS-Latch** (realisiert mit NOR-Gattern) gilt:
 - R = HIGH (und S = LOW) ⇒ RESET-Zustand
 - S = HIGH (und R = LOW) ⇒ SET-Zustand
 - S = LOW und R = LOW ⇒ keine Zustandsänderung
 - S = HIGH und R = HIGH ⇒ Q und Q', sind auf LOW (**nicht zulässig!!!**)
- Für ein **active-LOW RS-Latch** (realisiert mit NAND-Gattern) gilt:
 - R = LOW (und S = HIGH) ⇒ RESET-Zustand
 - S = LOW (und R = HIGH) ⇒ SET-Zustand
 - S = HIGH und R = HIGH ⇒ keine Zustandsänderung
 - S = LOW und R = LOW ⇒ Q und Q', sind auf LOW (nicht zulässig!!!)
- **Nachteil der RS-Latches:** ungültige Eingangskombination existiert!!!
 - diese muss in der Praxis verhindert werden

Pegelgesteuerte Speicherelemente

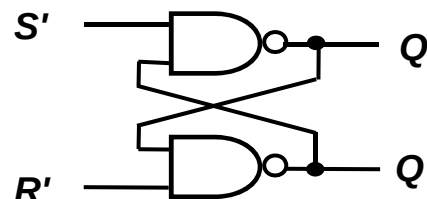
RS-FlipFlop (RS-Latch):

■ Active-HIGH RS-Latch:



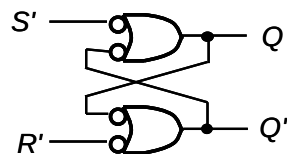
S	R	Q	Q'	
1	0	1	0	Initialzustand
0	0	1	0	(nach S=1, R=0)
0	1	0	1	
0	0	0	1	(nach S=0, R=1)
1	1	0	0	ungültig!

■ Active-Low RS-Latch:



S'	R'	Q	Q'	
1	0	0	1	Initialzustand
1	1	0	1	(nach S'=1, R'=0)
0	1	1	0	
1	1	1	0	(nach S'=0, R'=1)
0	0	1	1	ungültig!

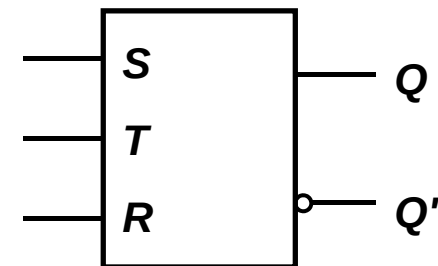
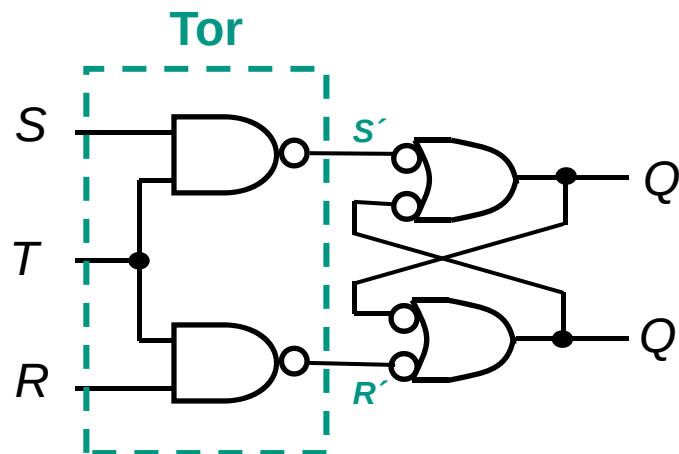
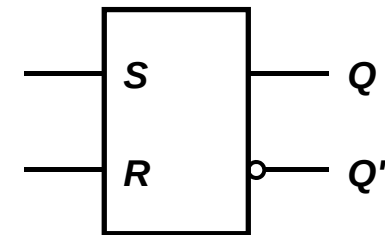
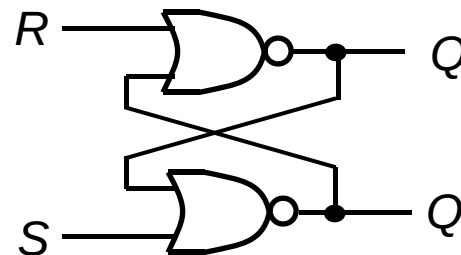
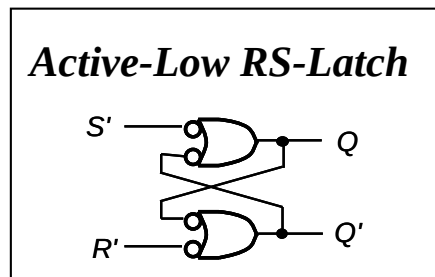
Alternative:



Pegelgesteuerte Speicherelemente

Getaktetes RS-Latch (active-high):

- RS-Latch + **Takt-Eingang T** und 2 NAND-Gatter -> **getaktetes RS-Latch**:



Pegelgesteuerte Speicherelemente

Getaktetes RS-Latch:

- Ausgang verändert sich nur wenn $T = HIGH$ ist
- Unter welchen Bedingungen wechseln die Zustände?

Charakteristische Tabelle:

$T=1$:

$Q(t)$	S	R	$Q(t+1)$
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	undefiniert
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	undefiniert

S	R	$Q(t+1)$	
0	0	$Q(t)$	Kein Wechsel
0	1	0	Reset
1	0	1	Set
1	1	undefiniert	

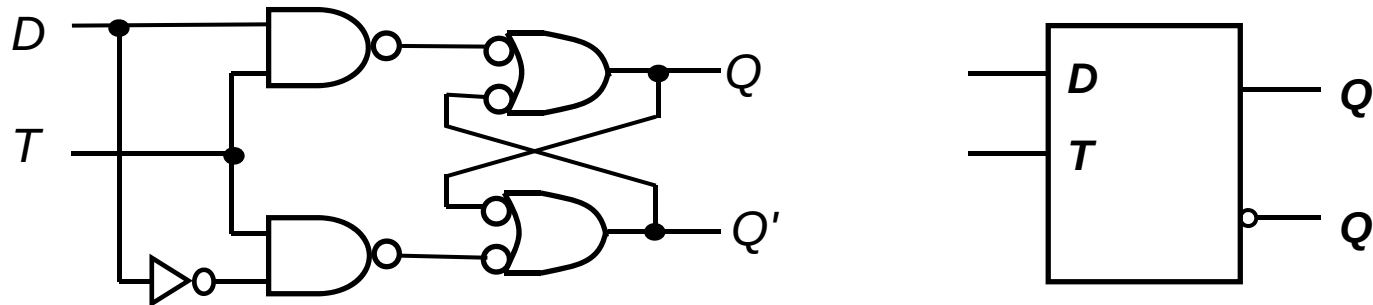
$$Q(t+1) = S \text{ or } (\bar{R} \text{ and } Q)$$

$S \text{ and } R = 0 !$

Pegelgesteuerte Speicherelemente

Getaktetes D-FlipFlop (D-Latch):

- S invertiert an R zugeführt -> man erhält das **getaktete D-FlipFlop (D-Latch)**
- **Vorteil:** **D-Latch** eliminiert die ungültige Eingangskombination: $S \text{ and } R = 0$!



Charakteristische Tabelle:

- Wenn $T = \text{HIGH}$:
-> $Q = D$

T	D	$Q(t+1)$	
1	0	0	Reset
1	1	1	Set
0	-	$Q(t)$	Kein Wechsel

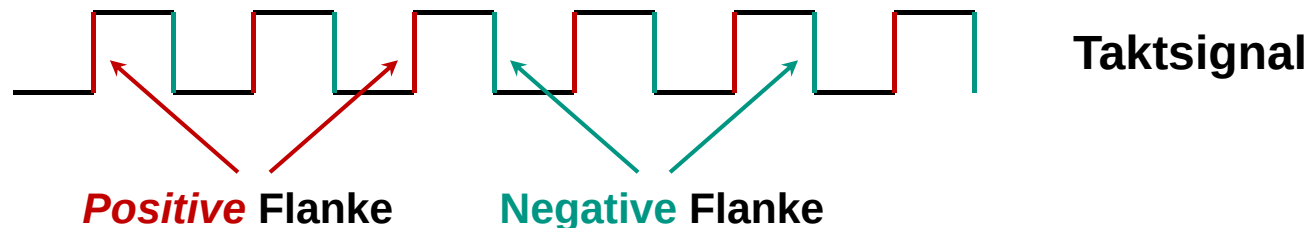
wenn $T=1$, $Q(t+1) = D$

Flankengesteuerte Speicherelemente

Flankengesteuerte FlipFlops:

- FlipFlops sind **bistabile Speicherelemente**
- **Ausgang ändert** seinen Zustand zu **synchronen Zeitpunkten**, die durch den **Takt** vorgegeben werden
- Dies geschieht entweder zur **positiven** oder **negativen** Taktflanke
- Anliegender Wert wird in einem **“kleineren Zeitfenster“** vom Eingang auf den Ausgang geschaltet

-> **geringere “Rückkopplungsgefahr“**



Flankengesteuerte Speicherelemente

Flankengesteuertes RS-FlipFlop:

- **RS-Flipflop** an getriggelter **Flanke** des **Taktsignals**:
 - $S = \text{HIGH}$ (und $R = \text{LOW}$) $\Rightarrow$ **SET-Zustand**
 - $R = \text{HIGH}$ (und $S = \text{LOW}$) $\Rightarrow$ **RESET-Zustand**
 - **beide Eingänge auf LOW** $\Rightarrow$ **keine Änderung der Ausgänge**
 - **beide Eingänge auf HIGH** $\Rightarrow$ **ungültig**

Charakteristische Tabelle:

für ein auf **positive Flanke** triggerndes **RS-Flipflop**:

S	R	CLK	$Q(t+1)$	Zustand
0	0	X	$Q(t)$	Kein Wechsel
0	1	$\uparrow$	0	Reset
1	0	$\uparrow$	1	Set
1	1	$\uparrow$	?	ungültig

X = irrelevant ("don't care")

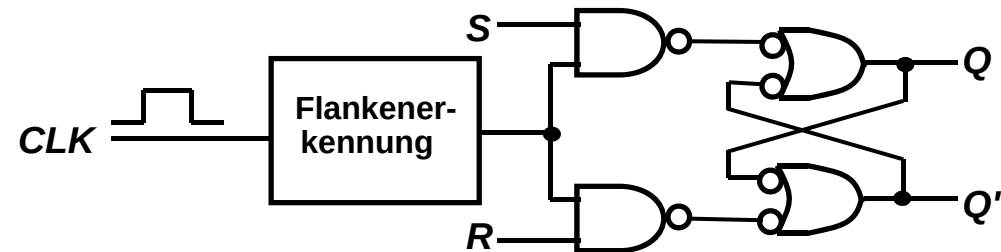
$\uparrow$ = Taktübergang von LOW auf HIGH

Flankengesteuerte Speicherelemente

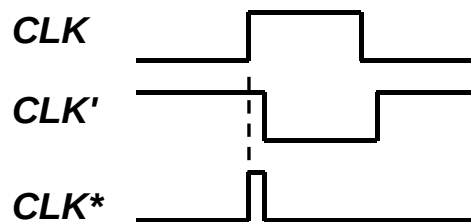
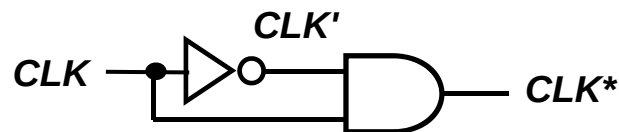
Flankengesteuertes RS-Flipflop:

- Impulsgesteuerter Schaltkreis (NAND-Gatter)
- Flankenerkennungsschaltkreis
- Der **Flankenerkennungsschaltkreis** erkennt positiven (oder negativen) Flankenübergang und generiert einen **Impuls** von **kurzer Dauer**

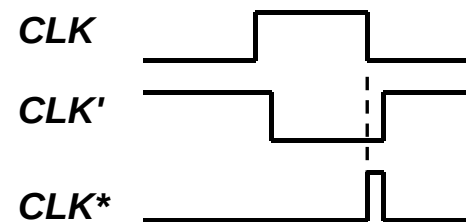
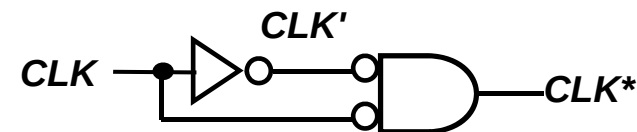
Flankengesteuertes RS-FlipFlop



Flankenerkennungsschaltkreis:



Positive Flanke (rising edge)

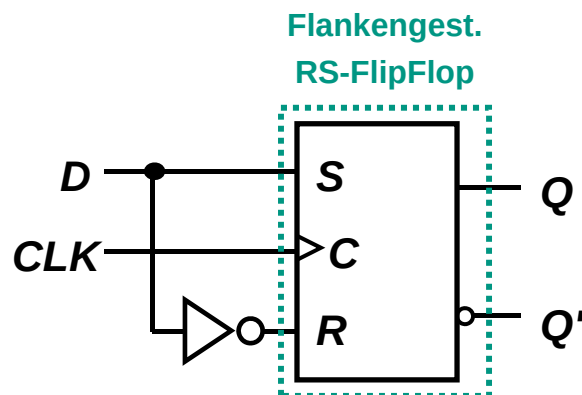


Negative Flanke (falling edge)

Flankengesteuerte Speicherelemente

Flankengesteuertes D-Flipflop:

- Ein Eingang **D** (Data)
 - **D = HIGH** $\Rightarrow$ **SET-Zustand**
 - **D = LOW** $\Rightarrow$ **RESET-Zustand**
- **Q** wird bei **steigender Flanke** des Taktsignals **CLK** auf **D** gesetzt



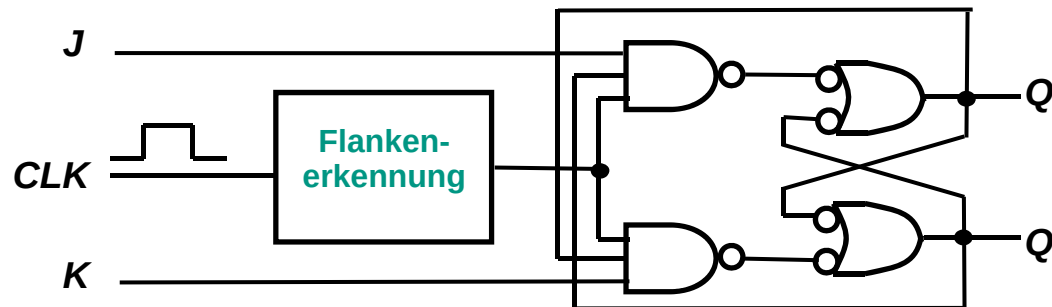
<i>D</i>	<i>CLK</i>	<i>Q(t+1)</i>	Zustand
1	↑	1	Set
0	↑	0	Reset

↑ = Taktübergang von *LOW* auf *HIGH*

Ein auf **positive Flanke** triggerndes
D-Flipflop aus einem **RS-FlipFlop** gebildet

Flankengesteuerte Speicherelemente

Flankengesteuertes JK-FlipFlop:



Charakteristische Tabelle:

J	K	Takt	Q(t+1)	Zustand
0	0	↑	Q(t)	halten
0	1	↑	0	Reset
1	0	↑	1	Set
1	1	↑	Q(t)'	wechseln

$$Q(t+1) = (J \cdot Q') + (K' \cdot Q)$$

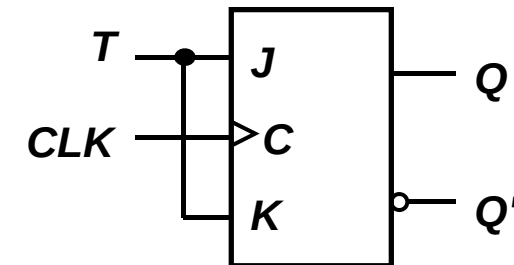
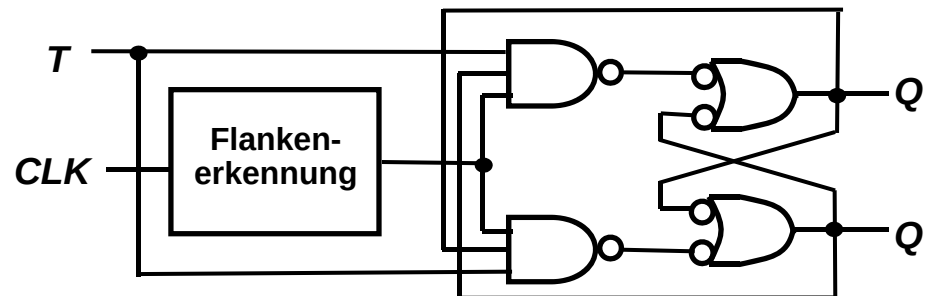
- Q und Q' -> rückgekoppelt auf impulsgesteuerte **NAND-Gatter**
- **Keine ungültigen Zustände!**
- Beinhaltet einen **Wechselzustand**:
 - **J = HIGH** (und K = LOW)
⇒ **SET-Zustand**
 - **K = HIGH** (und J = LOW)
⇒ **RESET-Zustand**
 - **beide Eingänge** sind auf **LOW**
⇒ **keine Änderung**
 - **beide Eingänge** sind auf **HIGH**
⇒ **Q = Q'**

Flankengesteuerte Speicherelemente

Toggle-Flipflop (T-FlipFlop):

■ 1-Eingang-Version der JK-Flipflops

-> gebildet durch **zusammenschalten** der **J-** und **K-Eingänge**



Charakteristische Tabelle:

T	CLK	$Q(t+1)$	Zustand
0	↑	$Q(t)$	halten
1	↑	$Q(t)'$	wechseln

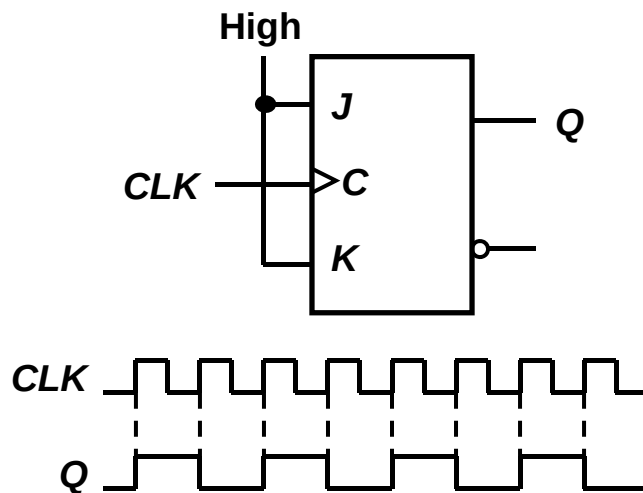
Q	T	$Q(t+1)$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$$Q(t+1) = (T \cdot Q') + (T' \cdot Q)$$

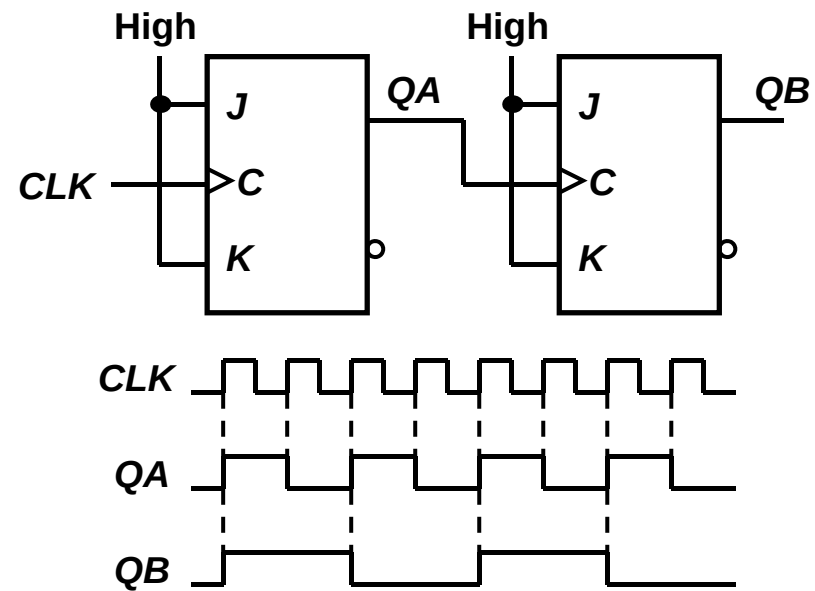
Flankengesteuerte Speicherelemente

T-Flipflop:

- Applikation: Frequenzteiler



Taktfrequenz geteilt durch 2.



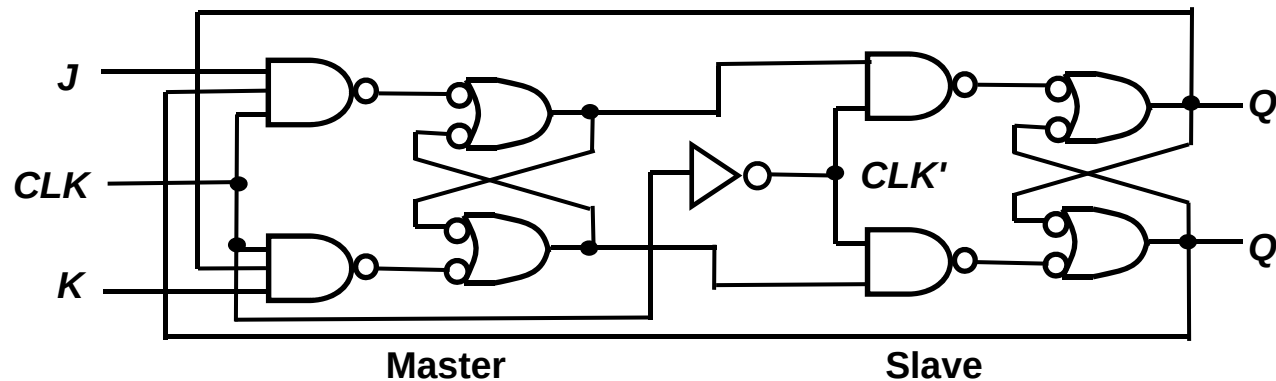
Taktfrequenz geteilt durch 4.

Flankengesteuertes Master-Slave-FlipFlop

Flankengesteuertes Master-Slave-FlipFlop:

- *Master* ist **aktiviert** bei **steigender Flanke**, *Slave* ist **aktiviert** bei **fallender Flanke**
-> **vollständige Entkopplung** des **Ausgangs** vom **Eingang**

Master-Slave-JK-FlipFlop:



J	K	CLK	$Q(t+1)$	Zustand
0	0		$Q(t)$	Halten
0	1		0	Reset
1	0		1	Set
1	1		$Q(t)'$	invertieren