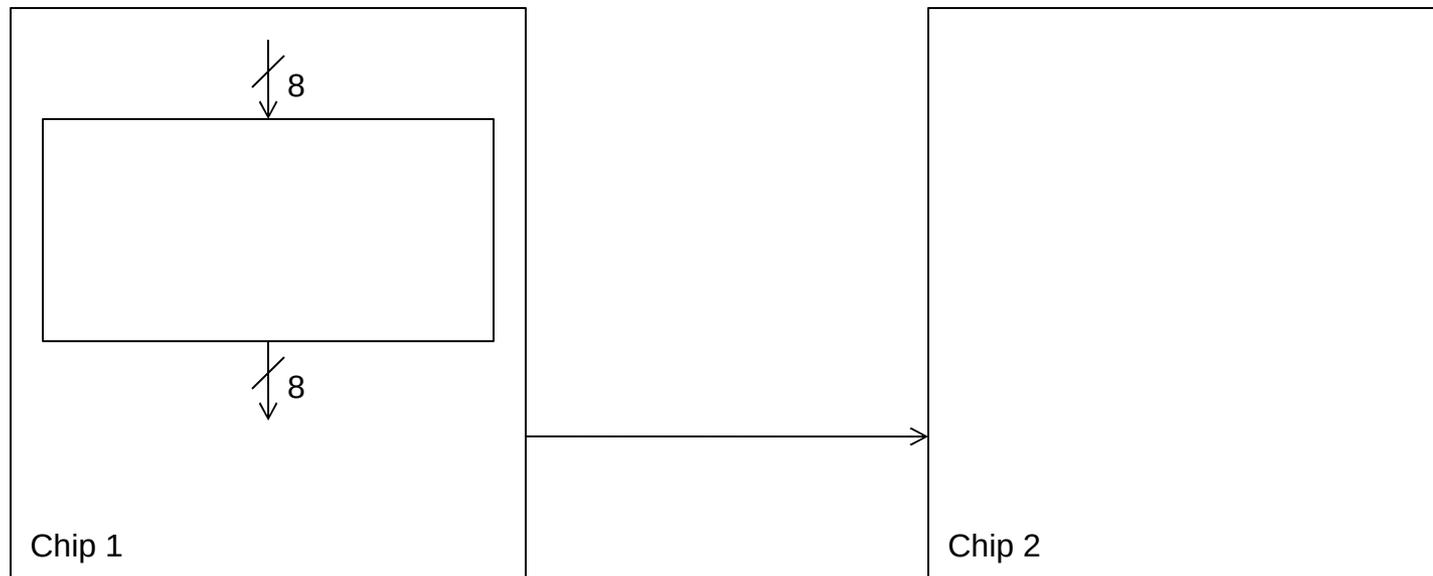


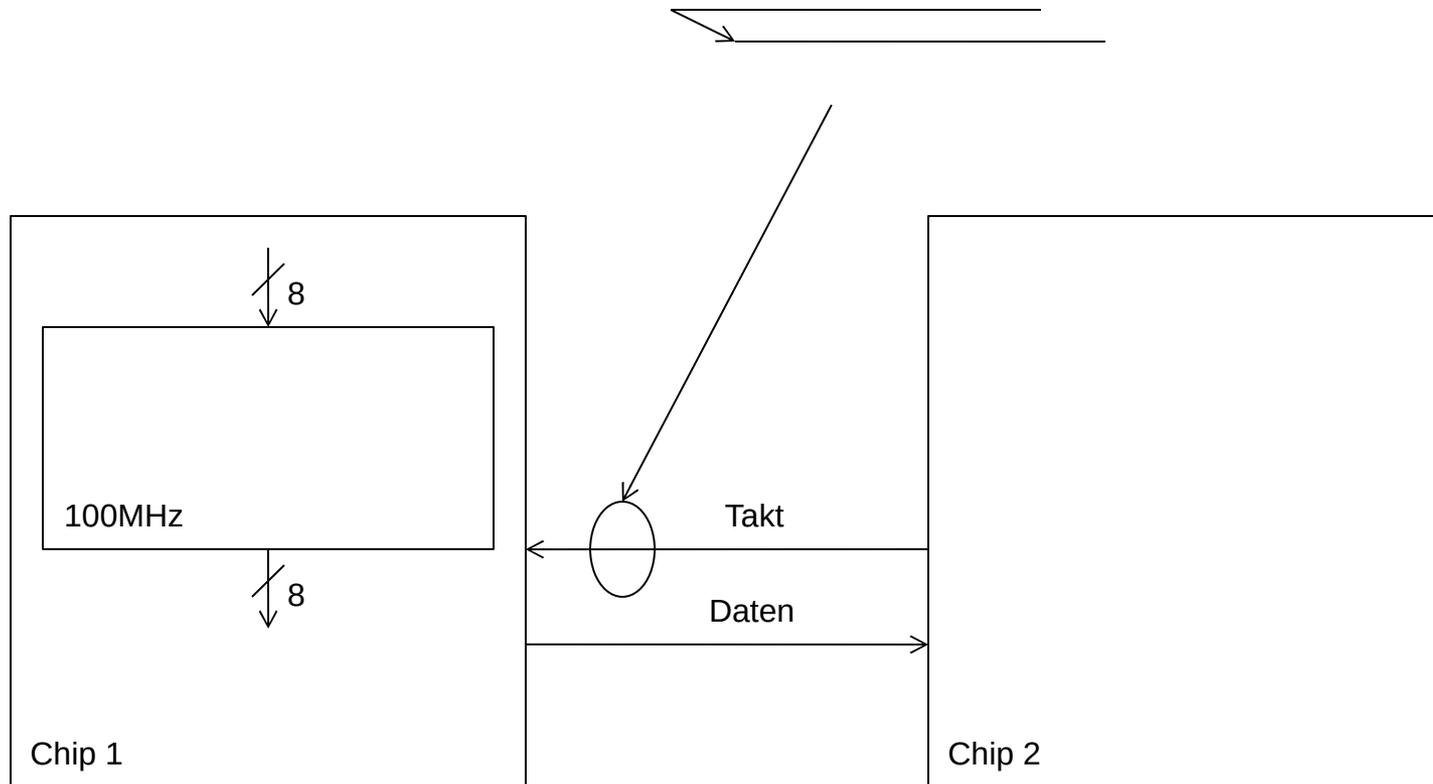
Design digitaler Schaltkreise

- In modernen Digitalschaltkreisen erfolgt die Taktsynchronisation üblicherweise durch PLLs.
- Ein einziger Quarzoszillator liefert den Grundtakt, auf den alle weiteren Taktsignale phasengenau synchronisiert werden.

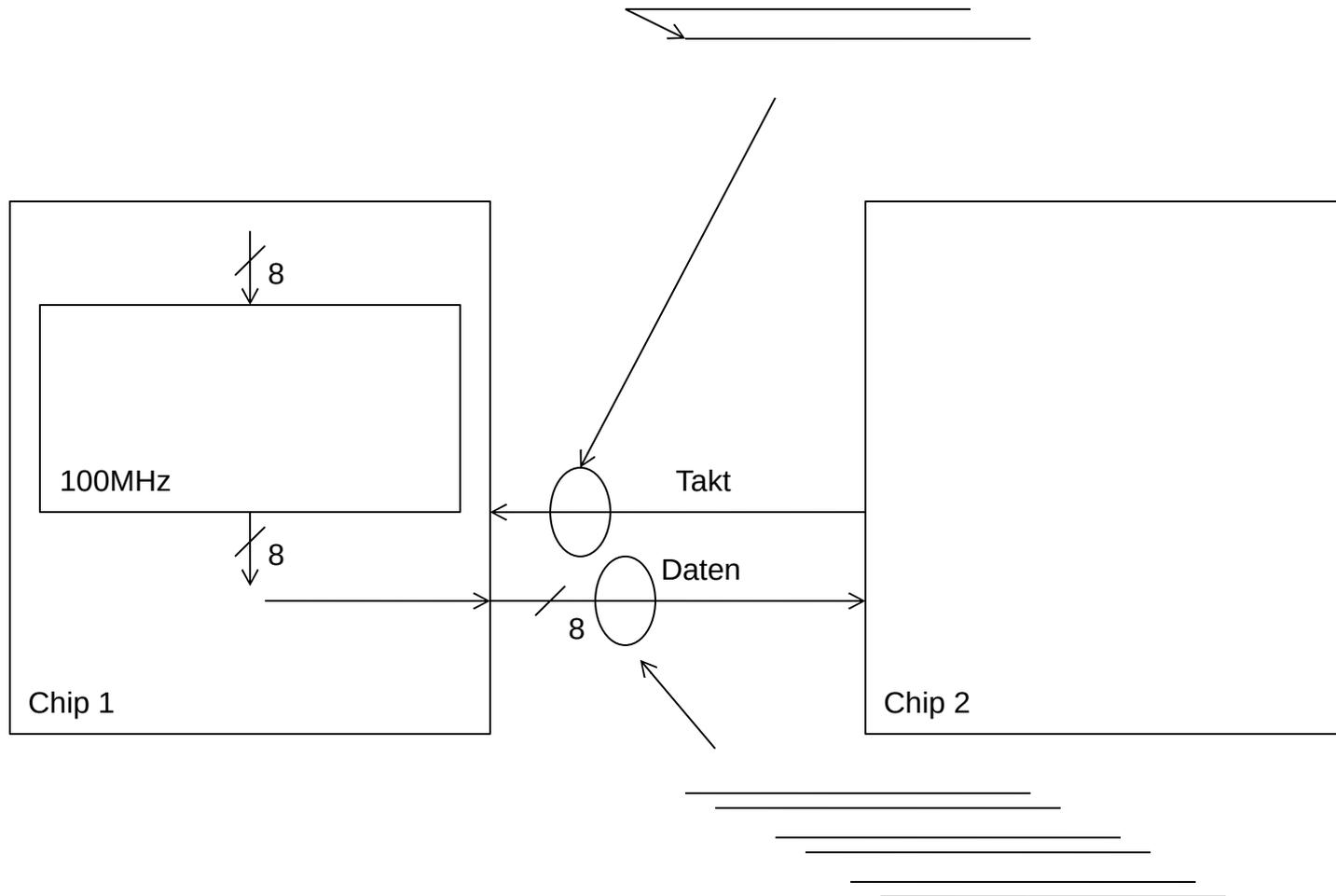
- Wir betrachten ein System mit einem Digitalblock der die 8-bit Daten bearbeitet. Das Ergebnis soll an einen anderen Chip übertragen werden. Dabei soll die Zahl von Leitungen zwischen den Chips minimiert werden



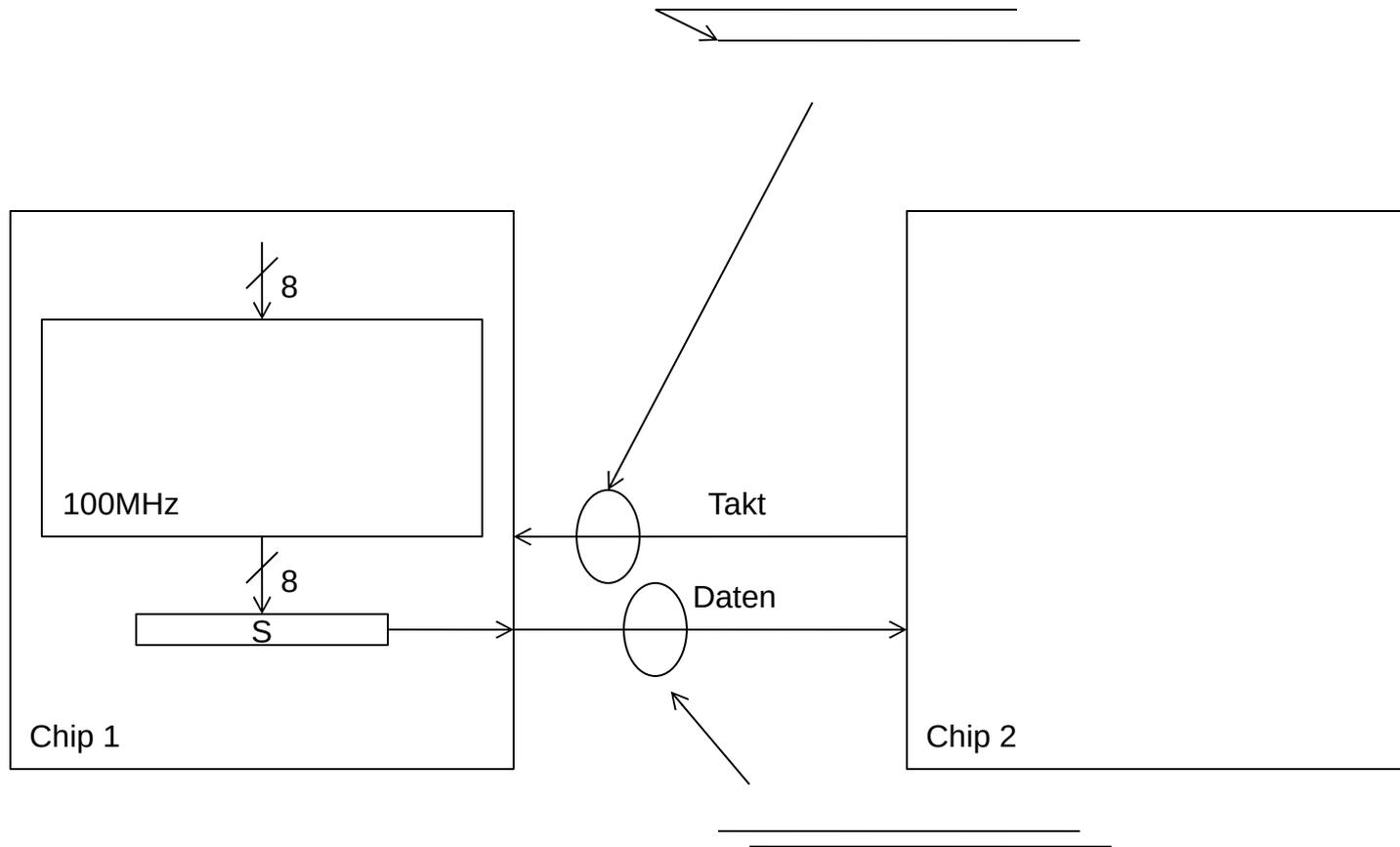
- Für diese Aufgabe gibt es einige Lösungen:
- 1: Synchrones Design/Parallele Datenübertragung



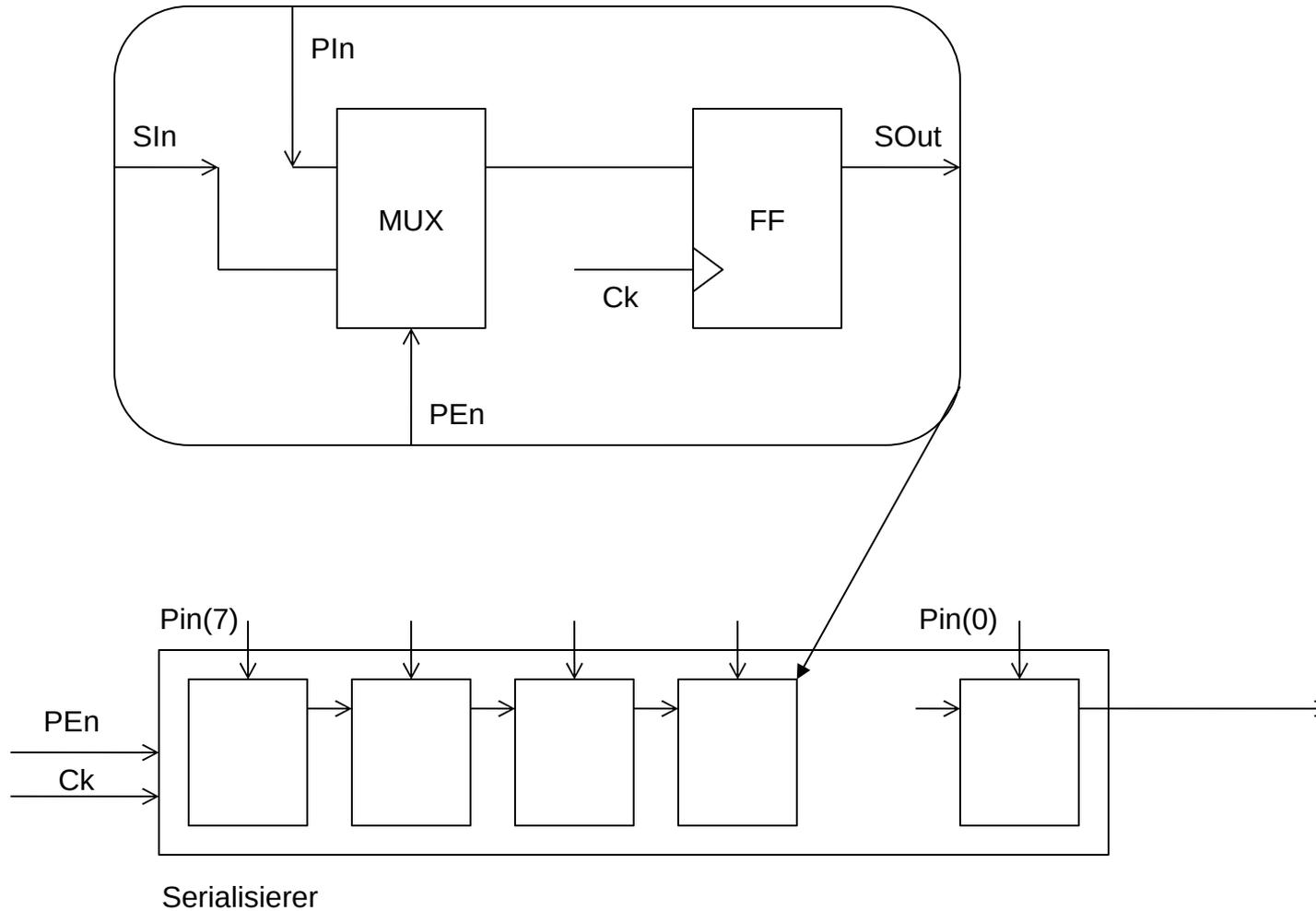
- Nachteil: viele Leitungen



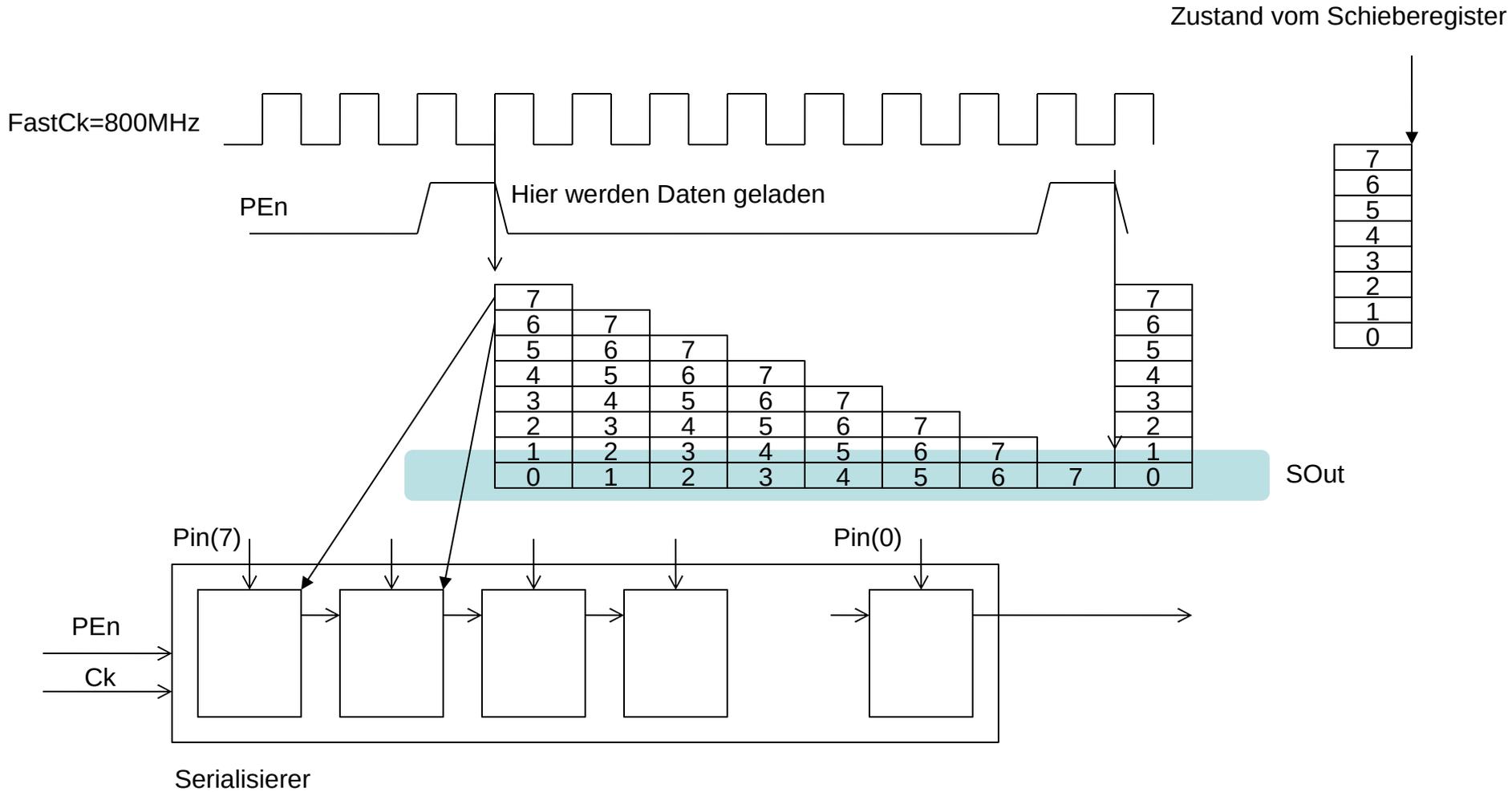
- Serielle Datenübertragung

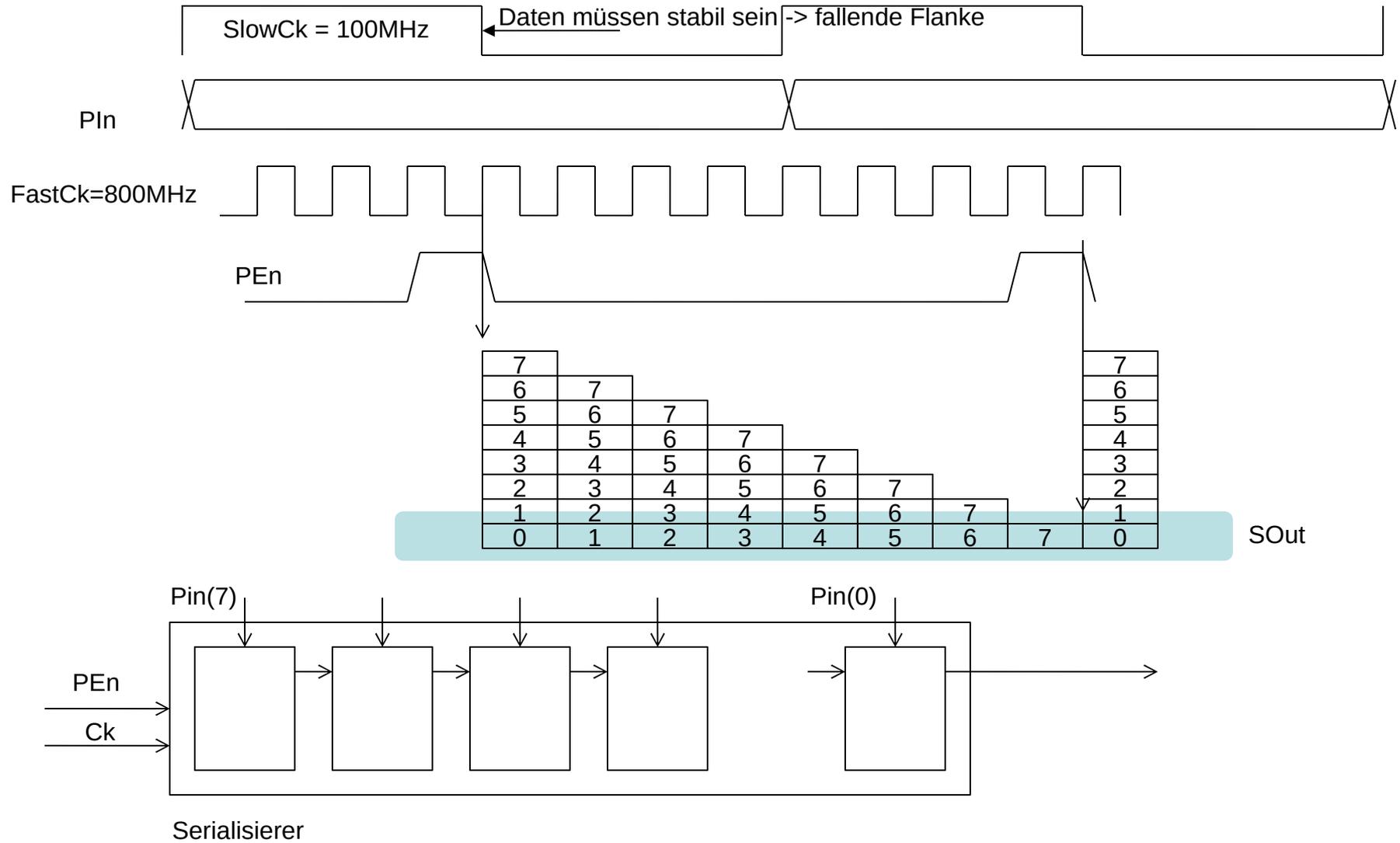


- Einen Serialisierer realisiert man am einfachsten als ein Schieberegister

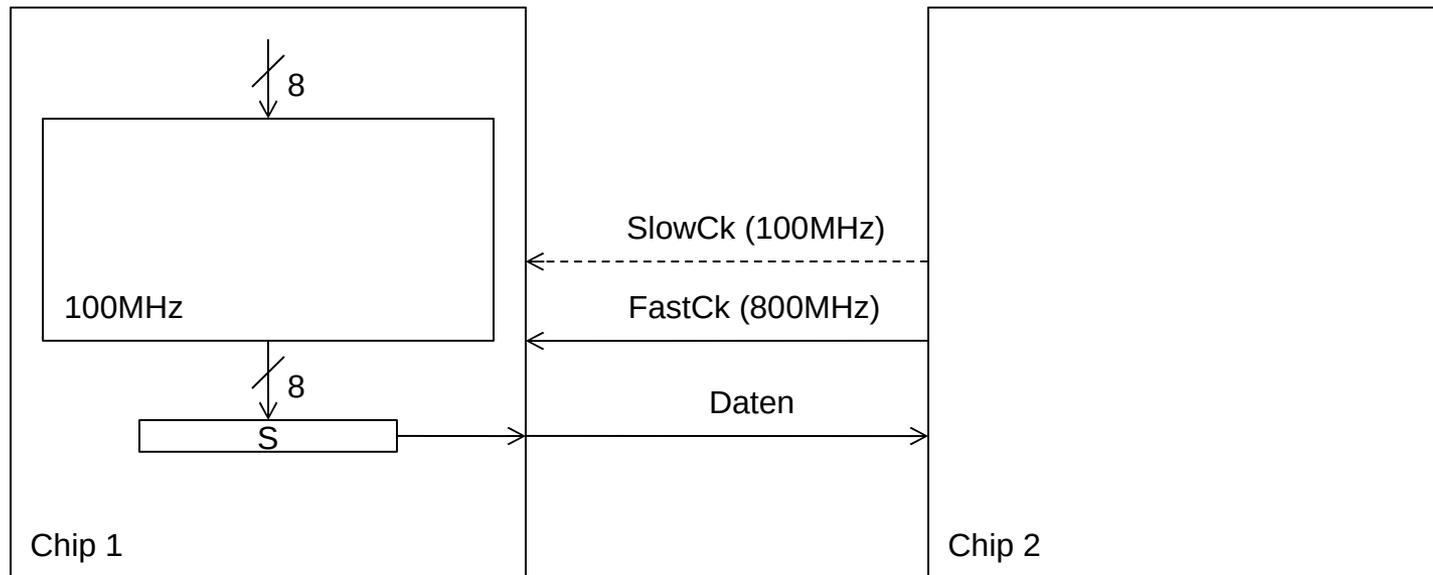


- Zeitdiagramm



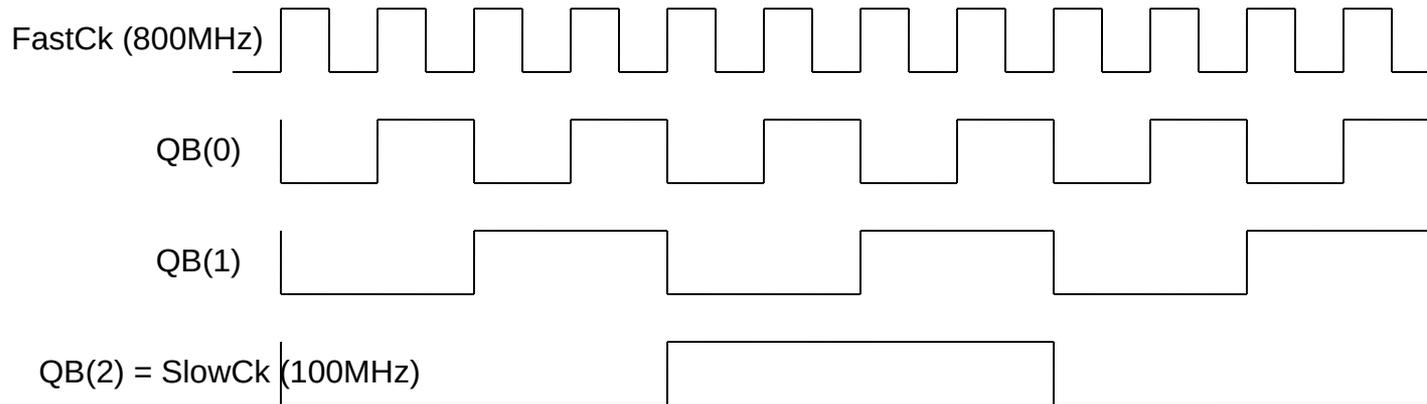


- Einfach: Chip 2 sendet Fast und SlowCk

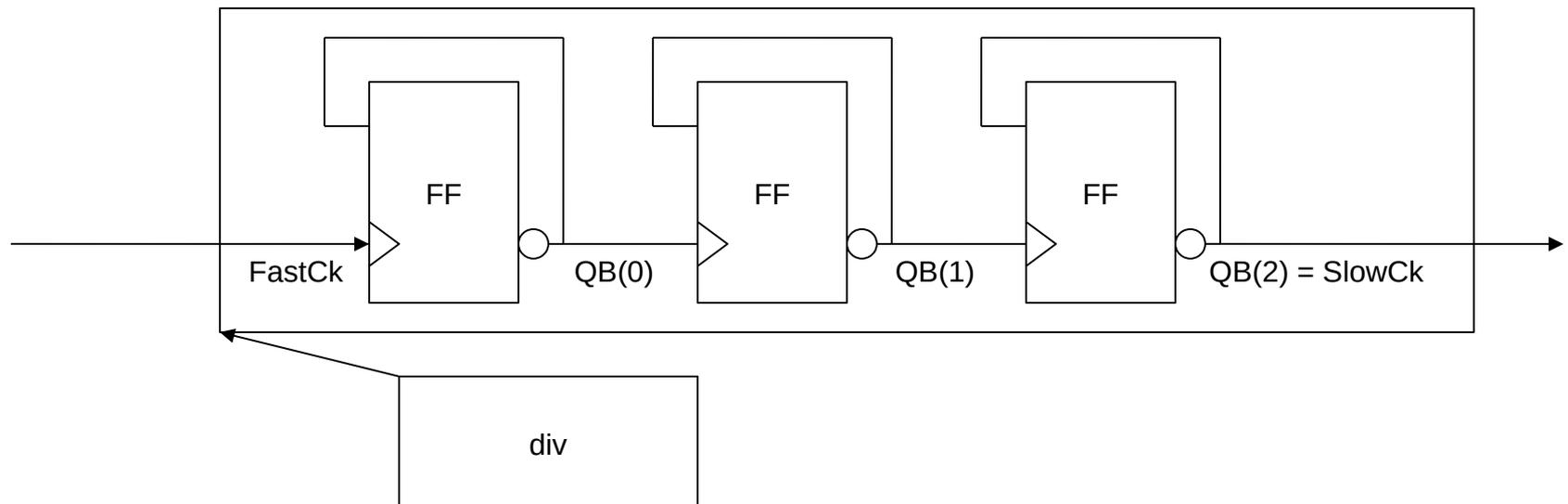


- Besser: Chip 2 sendet nur FastCk

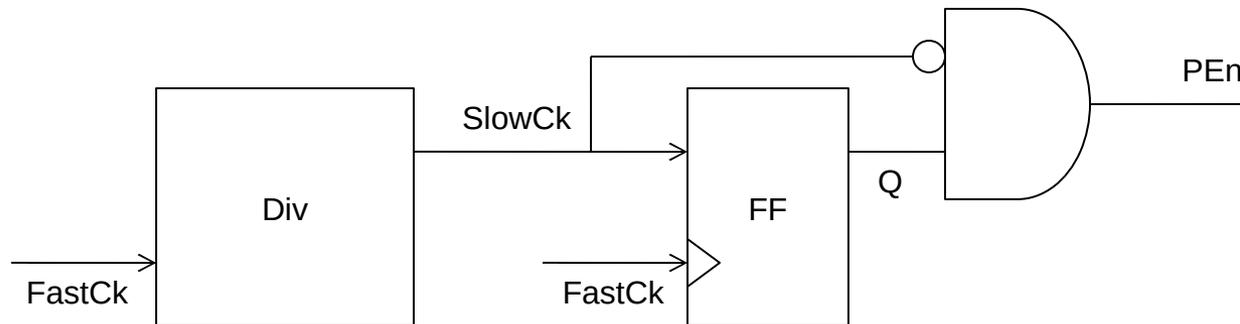
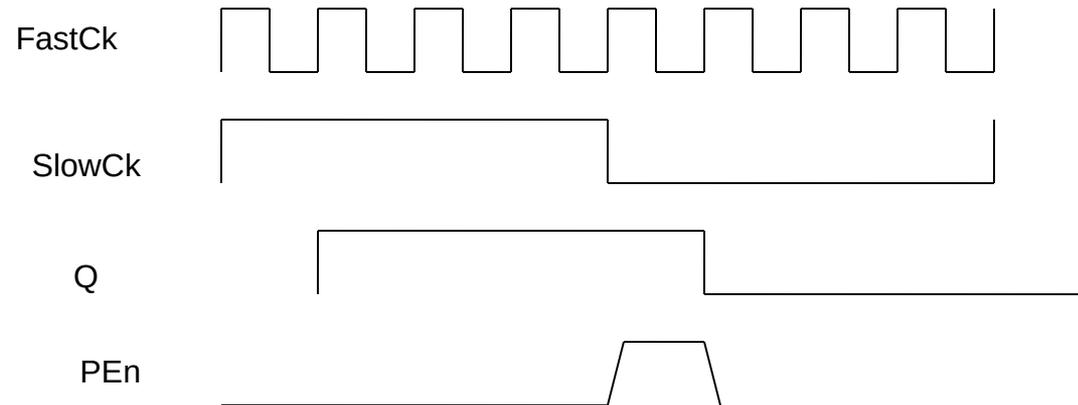
- Langsame Takt muss auf dem Chip 1 generiert werden



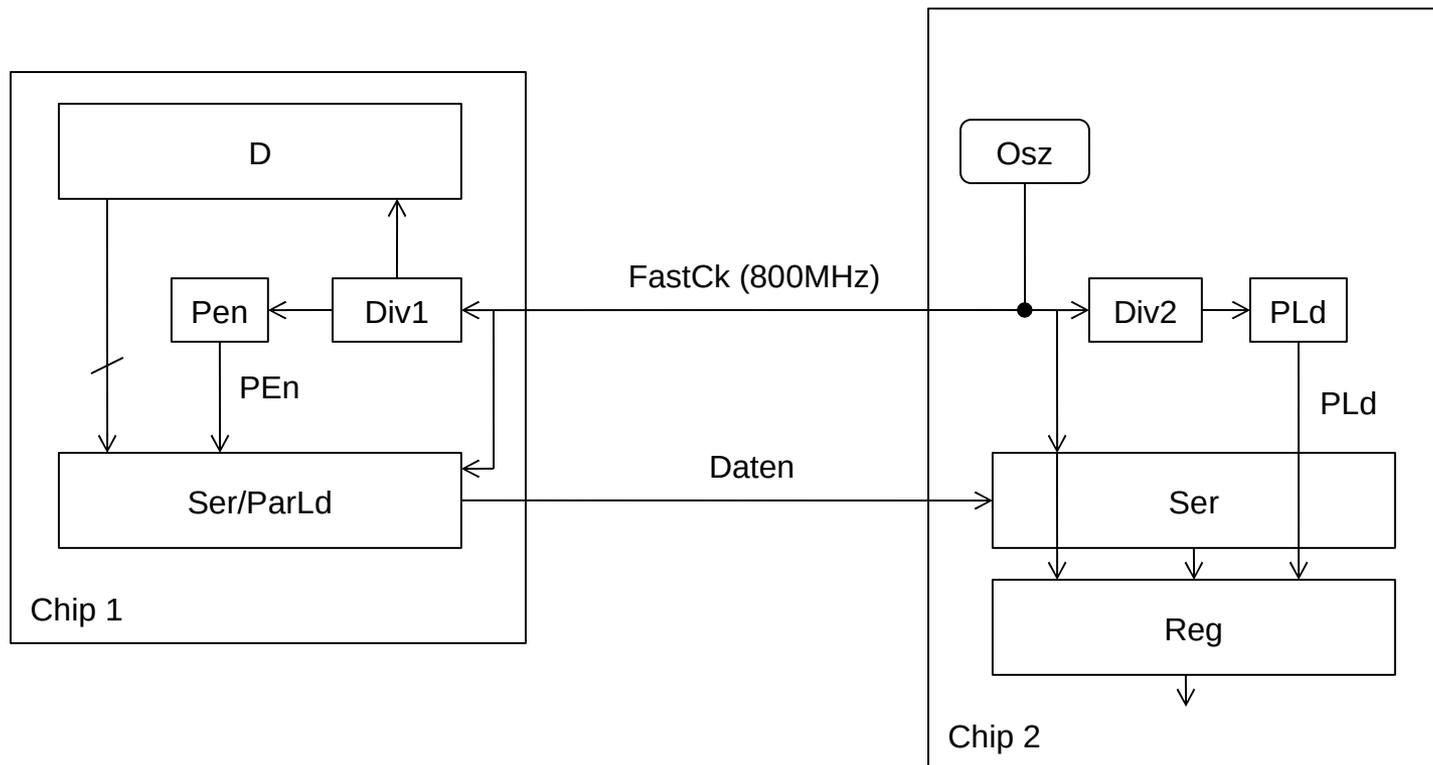
- Zähler wird verwendet, z.B. ripple Counter (schnell und einfach)



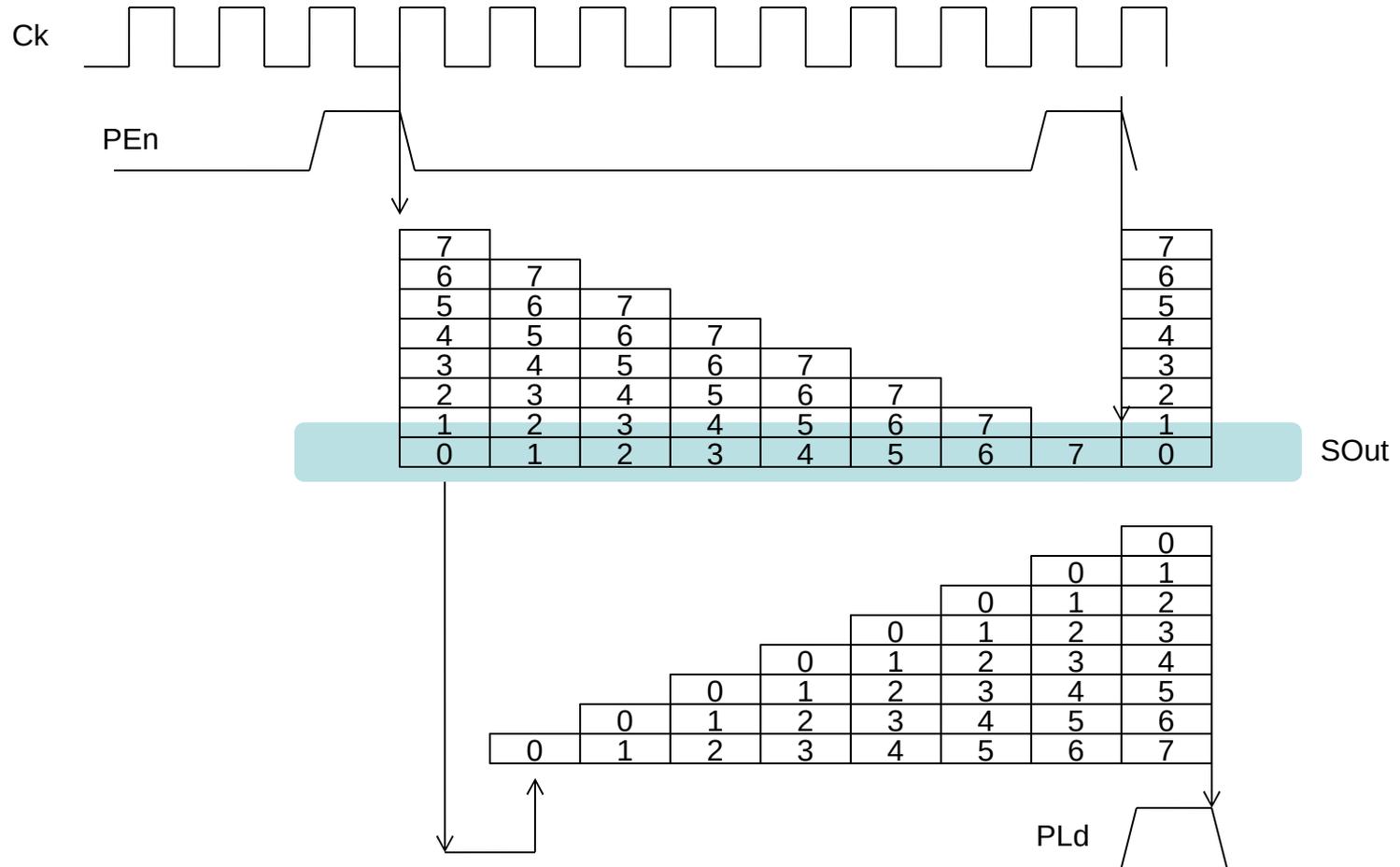
- Erzeugung von parallel-enable Signal (PEn)



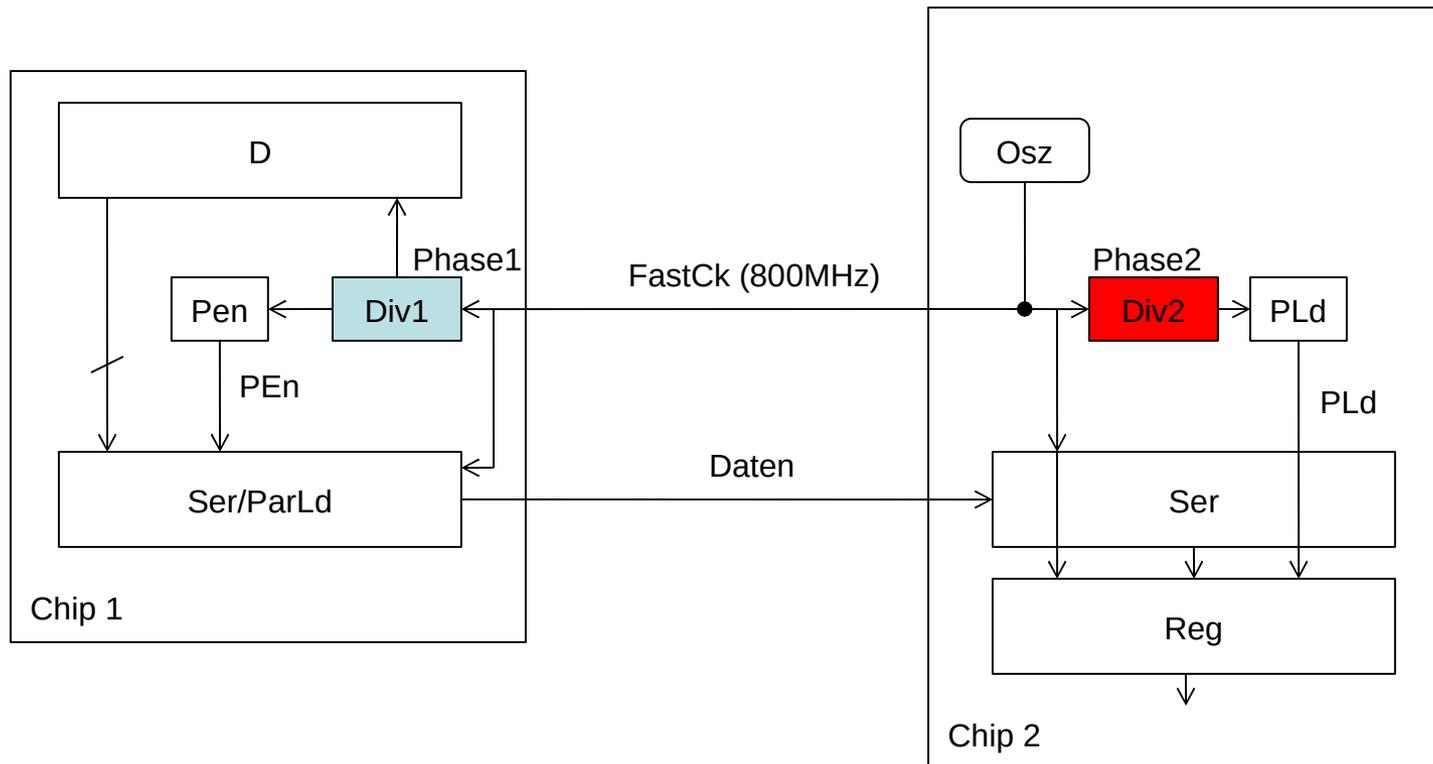
- Der Deserialisierer funktioniert auf ähnliche Weise.
- Die Bits aus dem Schieberegister werden bei $PLd = 1$ auf die nächste Taktflanke in ein Parallelregister (Reg) geladen.



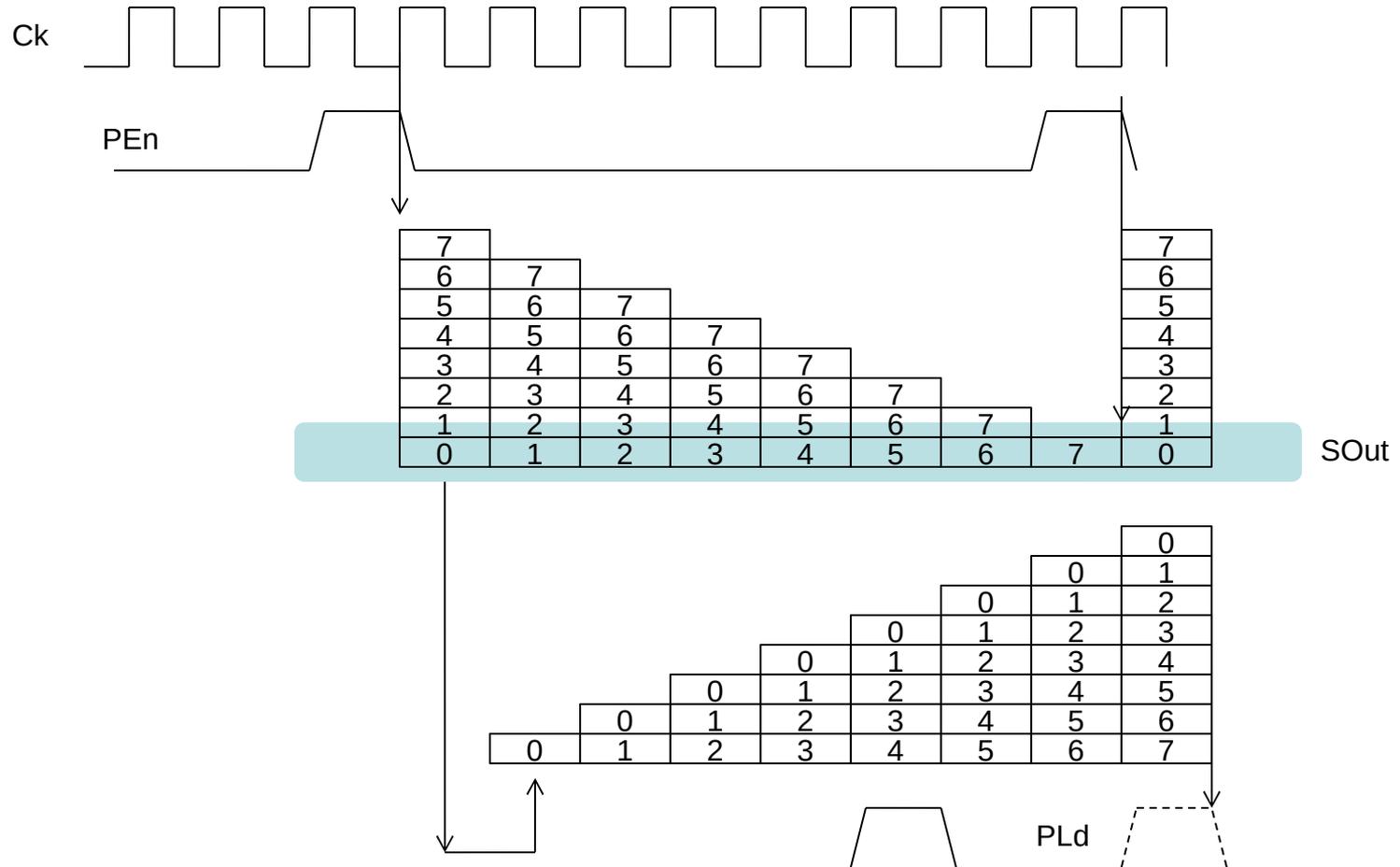
- Zeitdiagramm



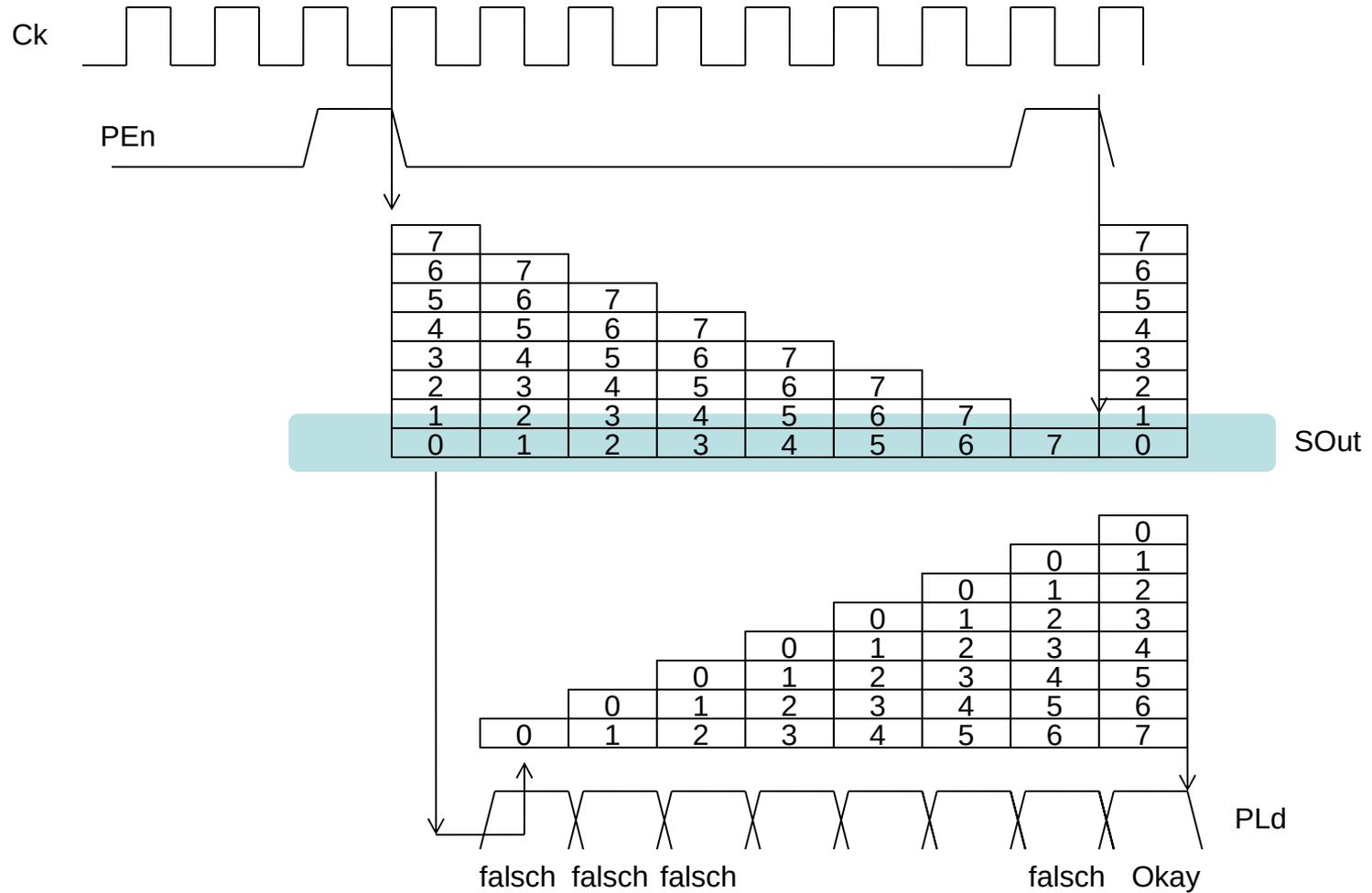
- Nachteil 1: Phasen sind nicht synchron



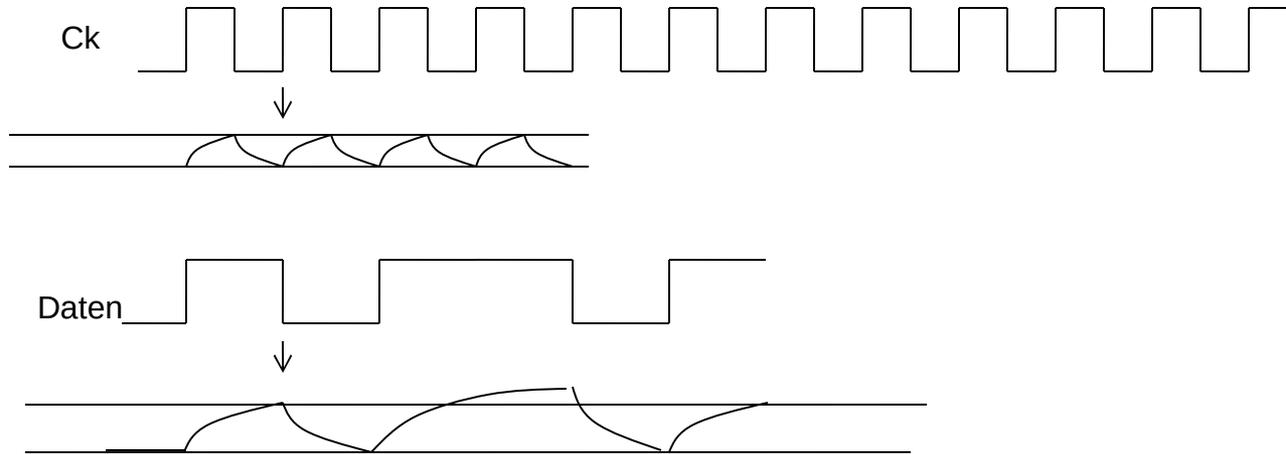
• ...



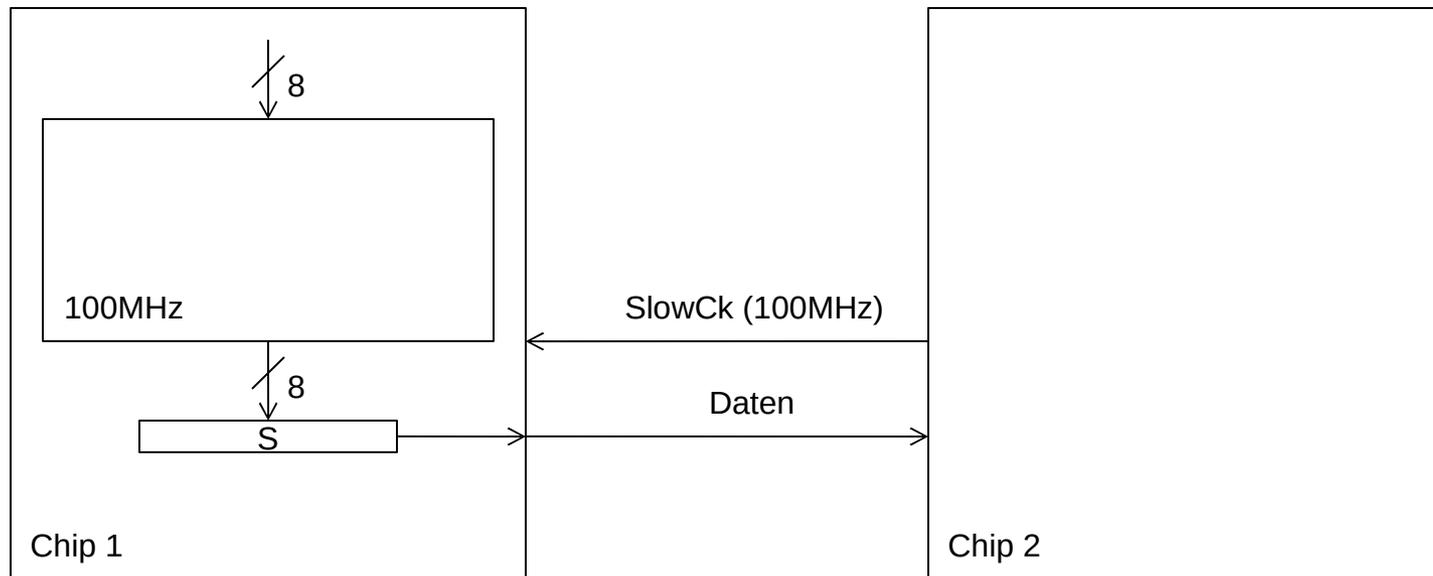
• ...



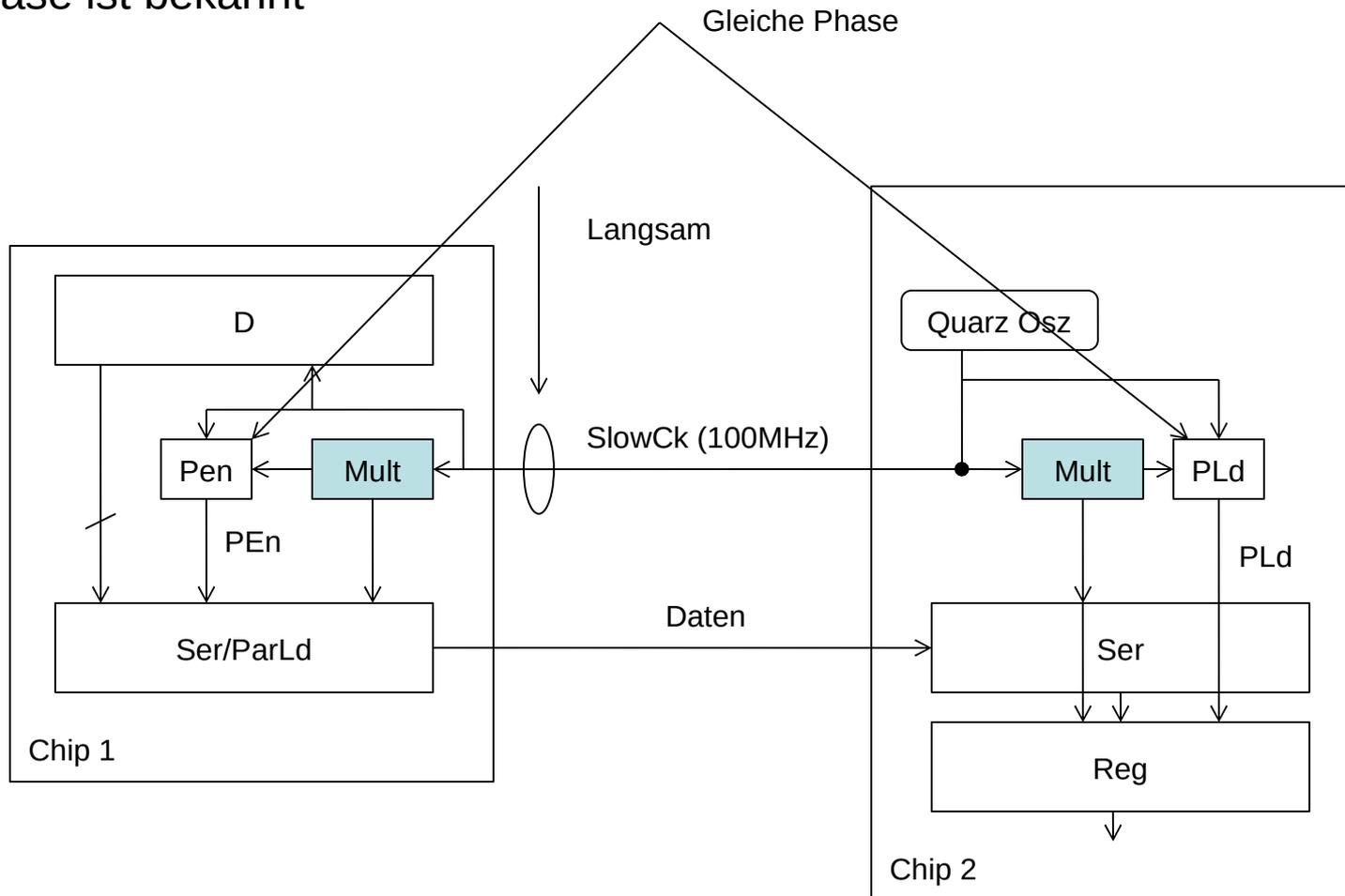
- Nachteil 2: Schnelles Taktsignal muss gesendet werden



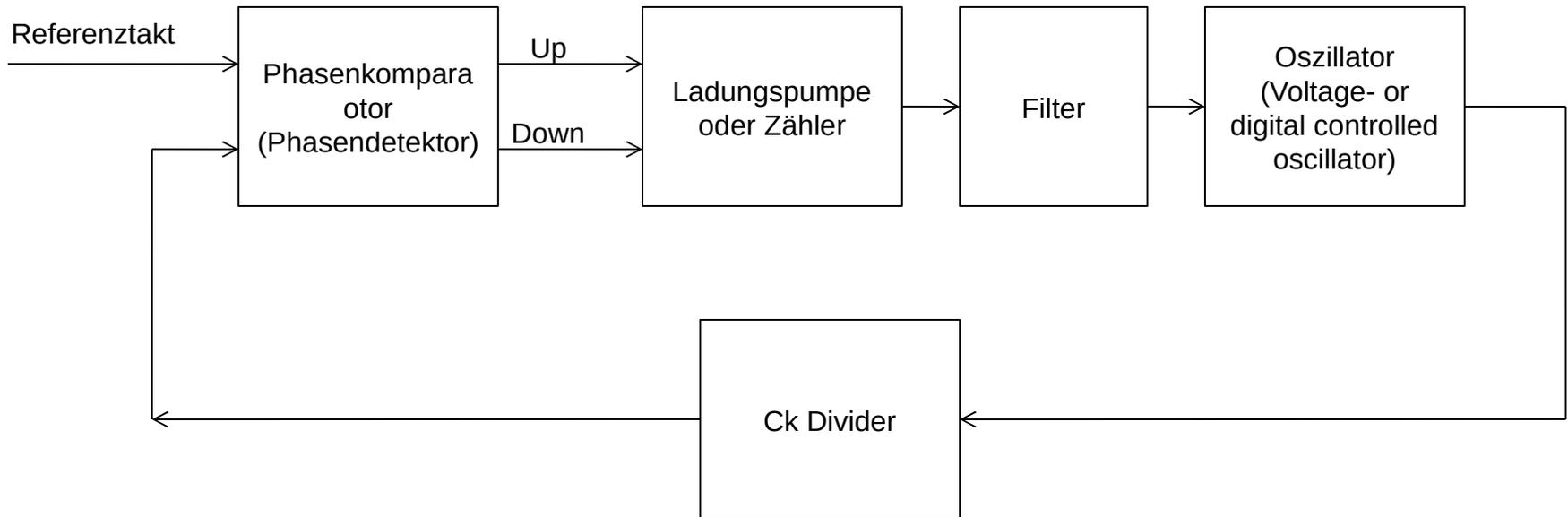
- Möglichkeit 2: Der Chip 2 sendet das langsame 100MHz Taktsignal.



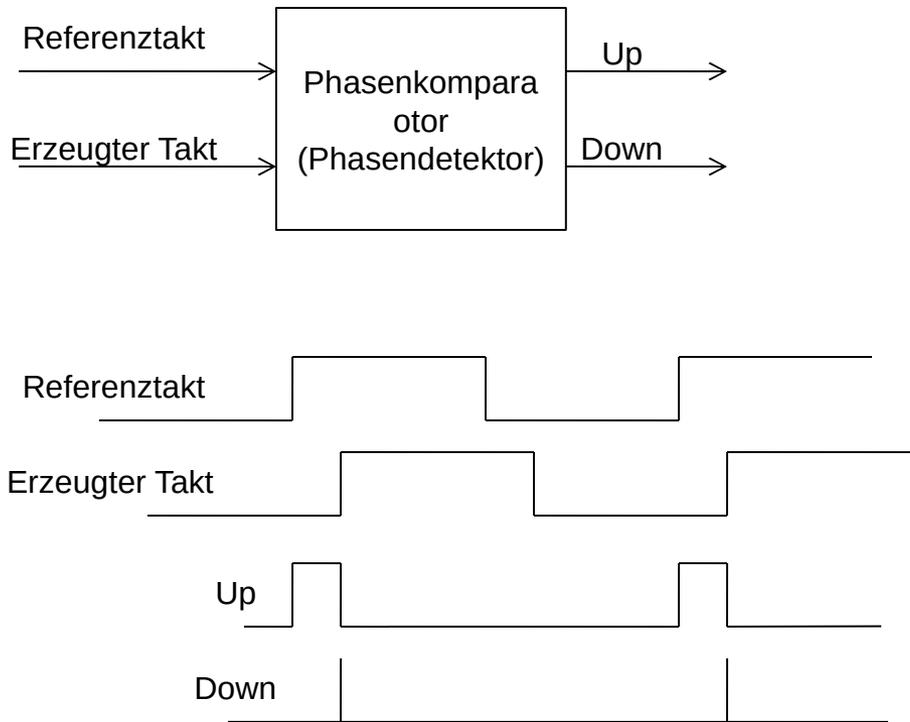
- Vorteile:
- Takt ist leicht zu übertragen
- Phase ist bekannt



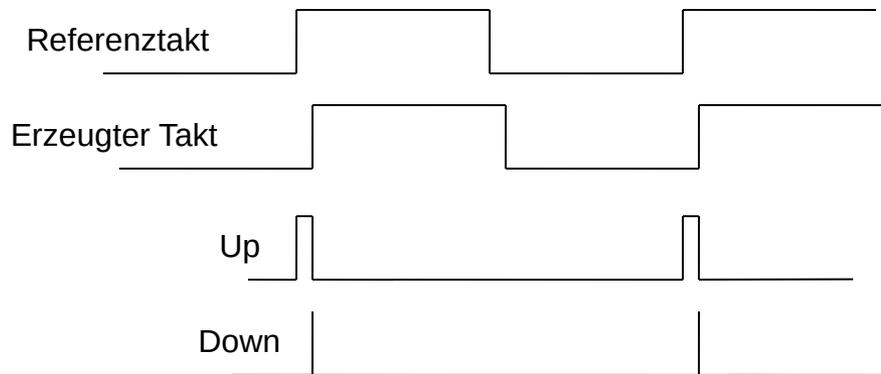
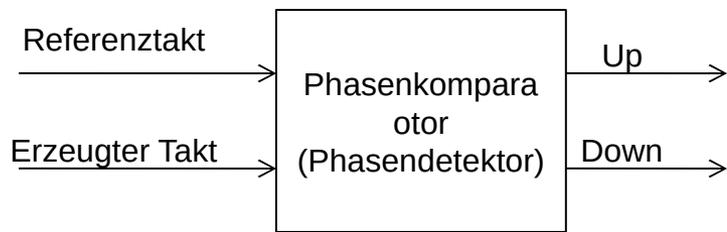
- ...



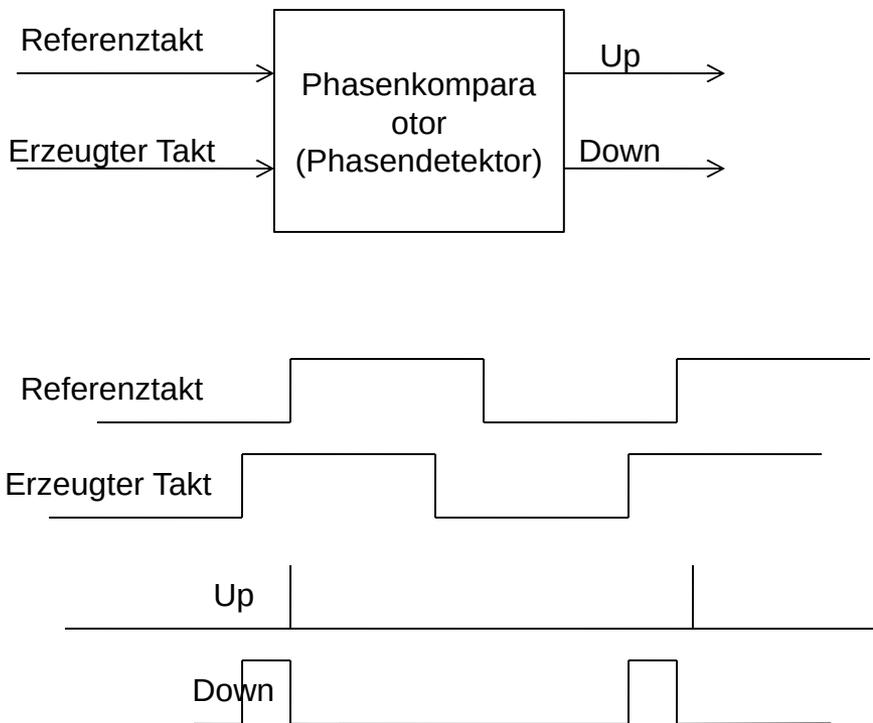
- Eingangselement jeder PLL ist ein Phasendetektor



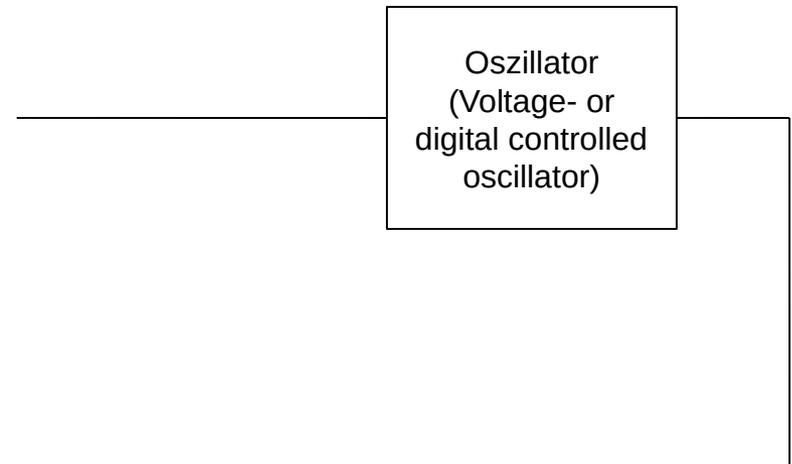
- Phasendetektor erzeugt die UP und DOWN Signale, je nachdem ob die Phase des erzeugten Takts kleiner oder größer ist als die Phase des Referenztakts



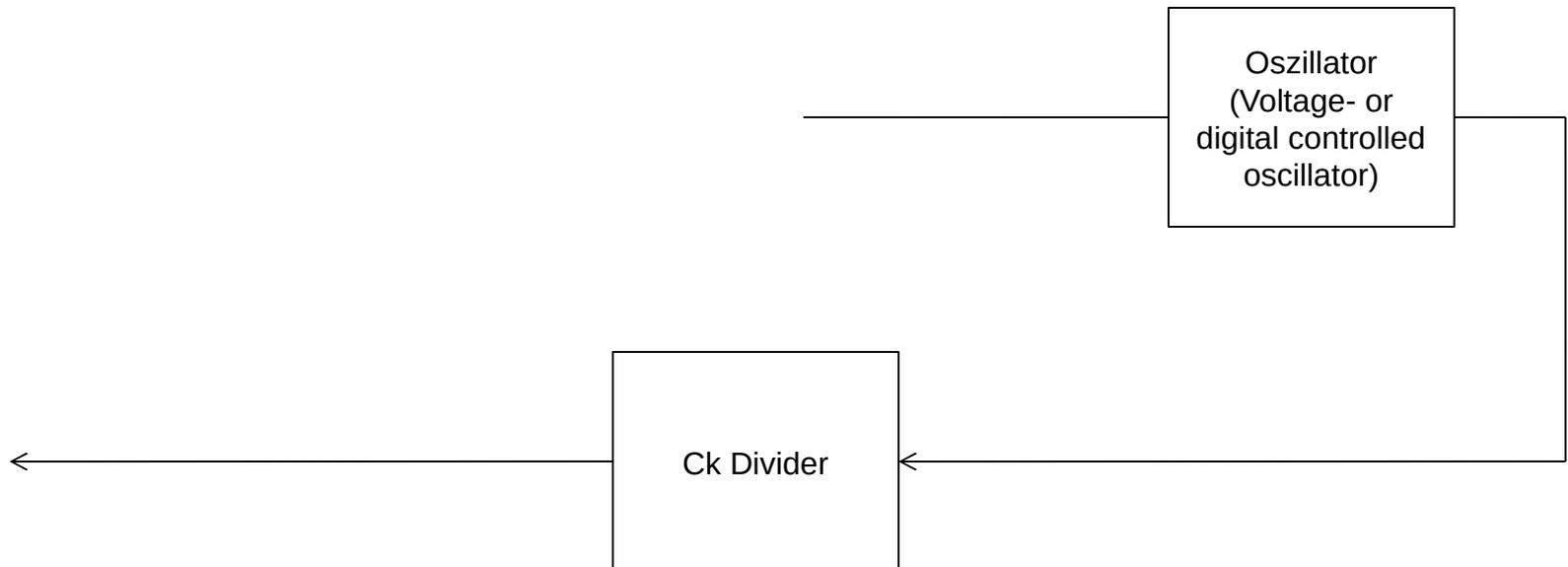
- Phasendetektor erzeugt die UP und DOWN Signale, je nachdem ob die Phase des erzeugten Takts kleiner oder größer ist als die Phase des Referenztakts



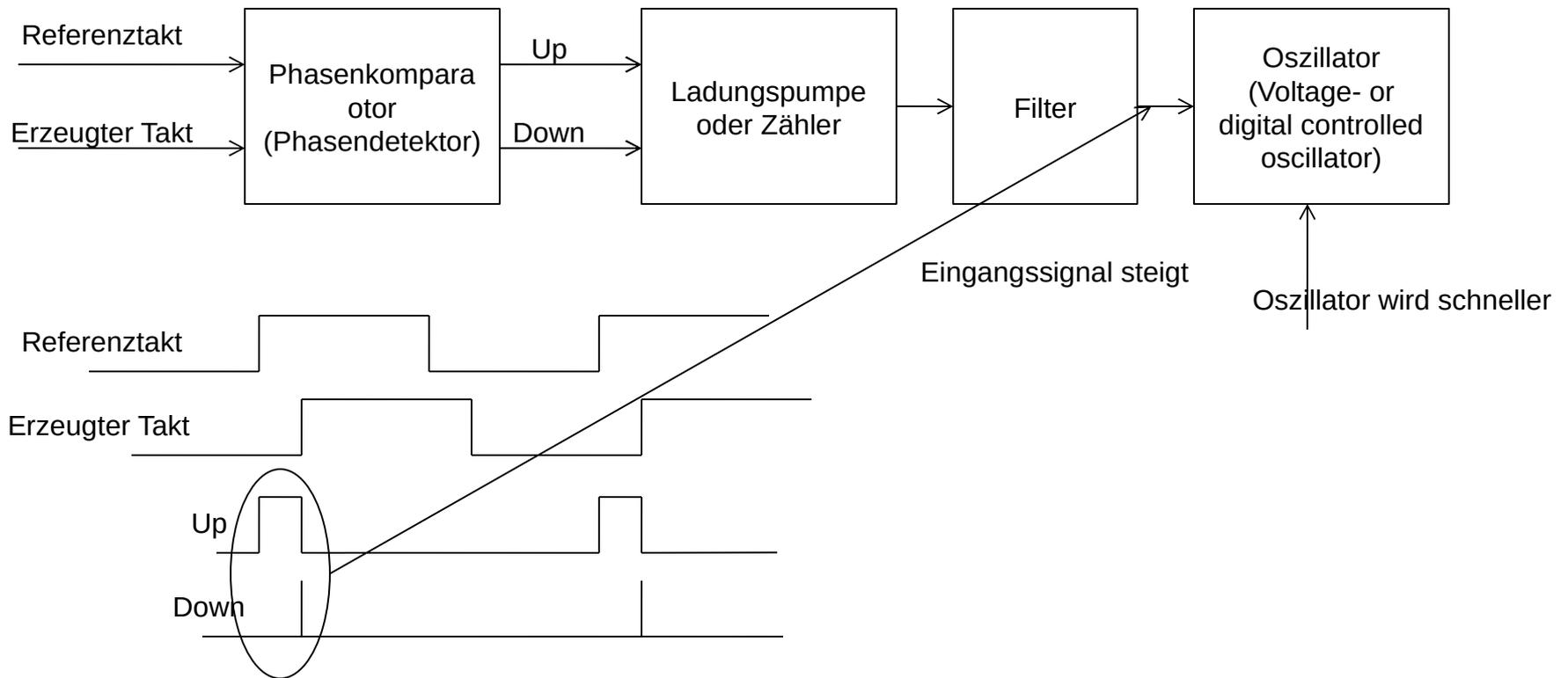
- Der Hauptteil der PLL ist ein spannungsgesteuerter Oszillator – VCO
- Dieser Oszillator oszilliert mit einer variablen Frequenz. Die Frequenz ist zur Eingangsspannung proportional
- Eine Alternative zum spannungsgesteuerten Oszillator ist ein digitaler Oszillator. Seine Frequenz ist zur digitalen Eingangsvariable proportional



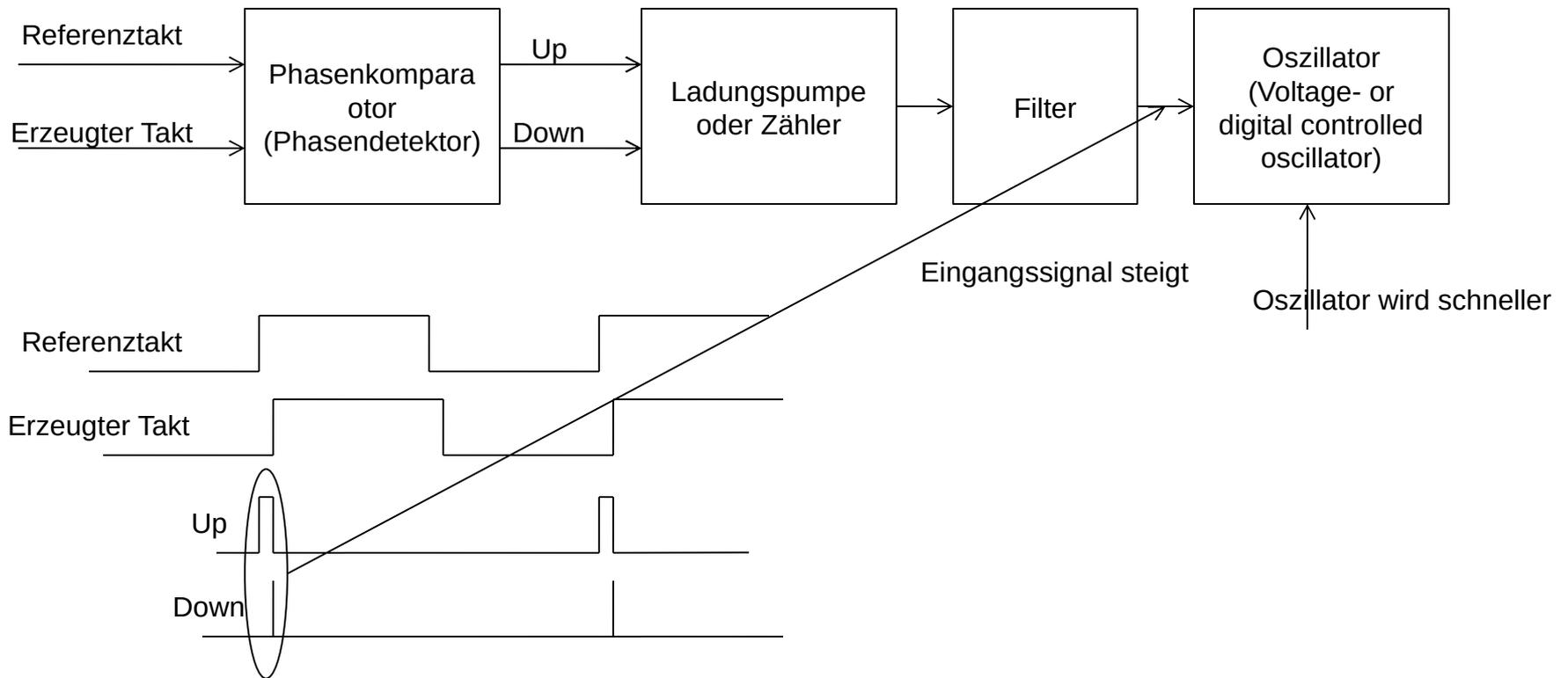
- Aus der Oszillator-Frequenz wird der erzeugte Takt hergeleitet. (In unserem Fall 800MHz) Dieser Takt wird mit einem clock divider untersetzt



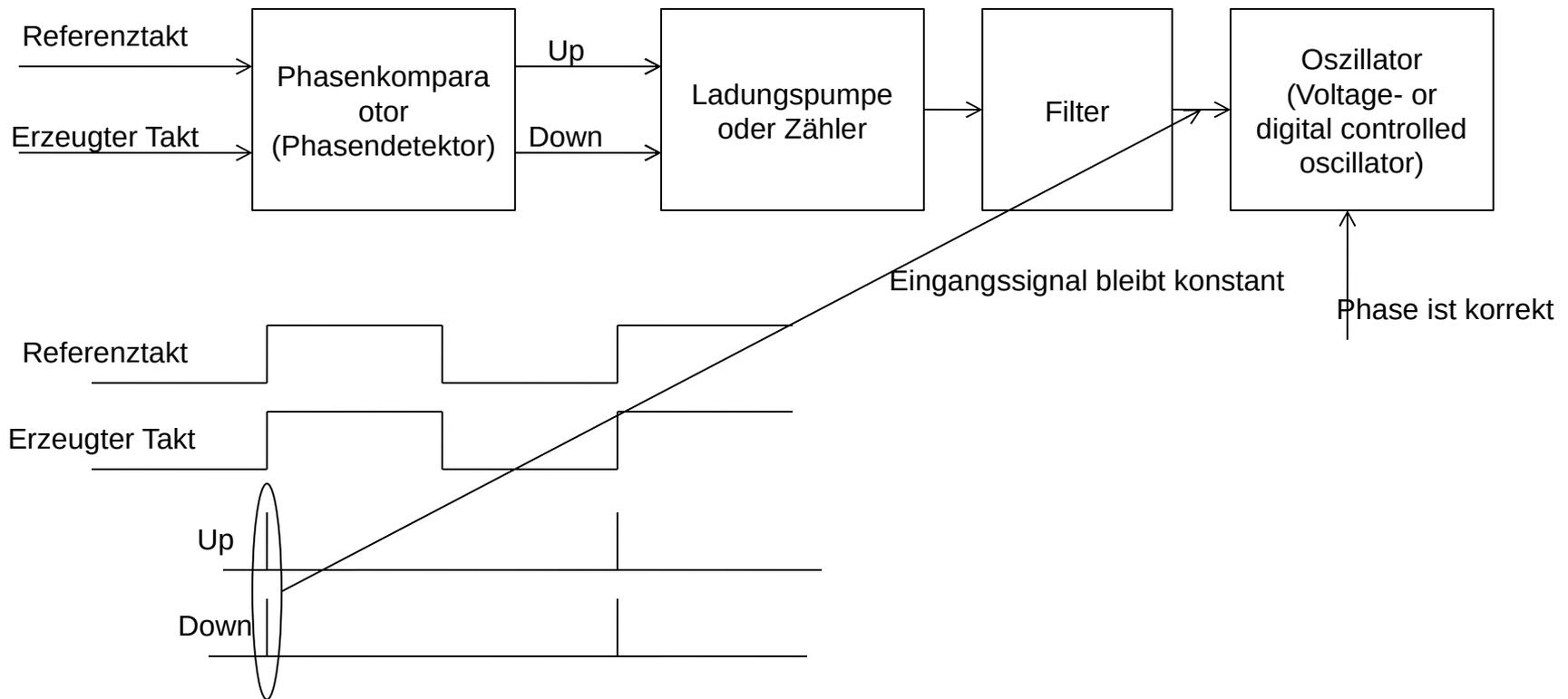
- Die PLL ist eine Phasenregelschleife – ein System mit Gegenkopplung



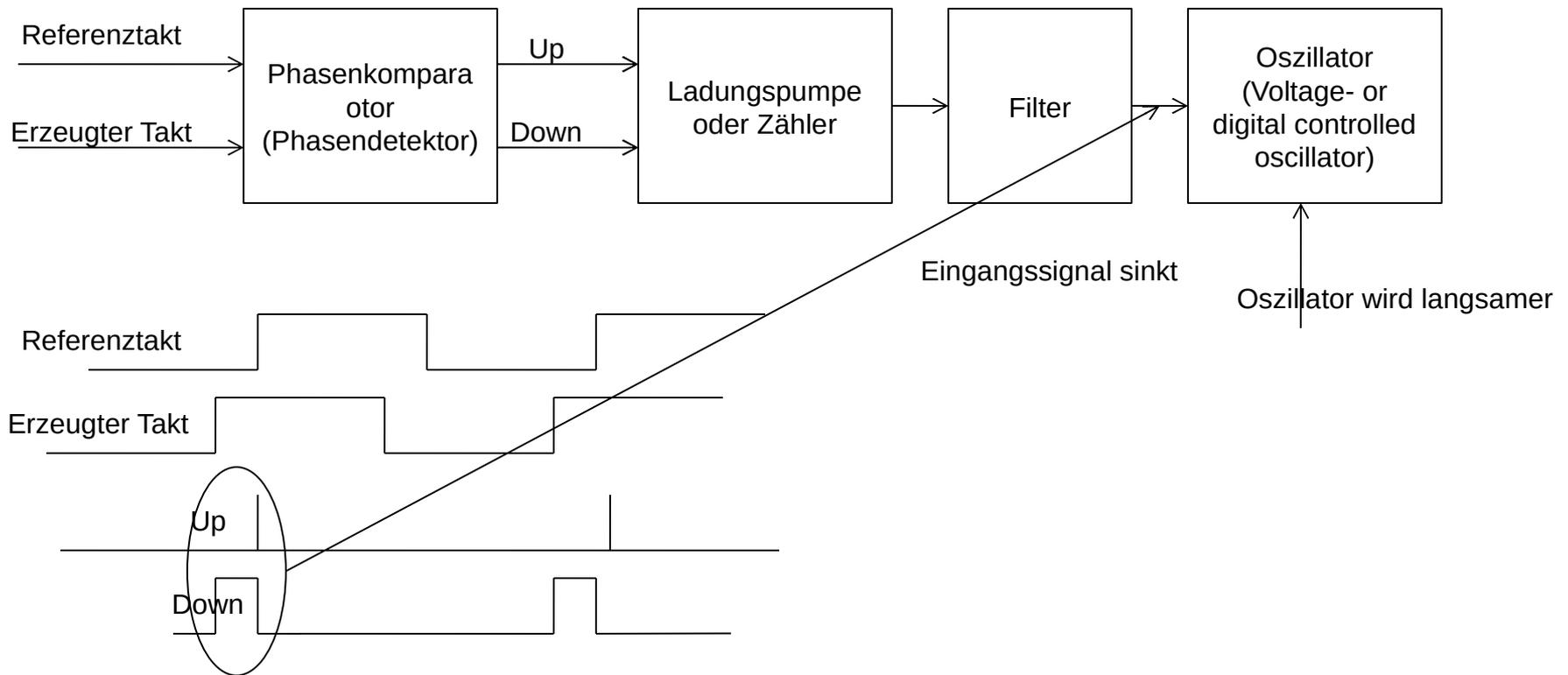
- Wenn der erzeugte und der unteretzte Takt verspätet sind (in Bezug auf die Referenz) werden vom Phasendetektor die UP-Signale erzeugt



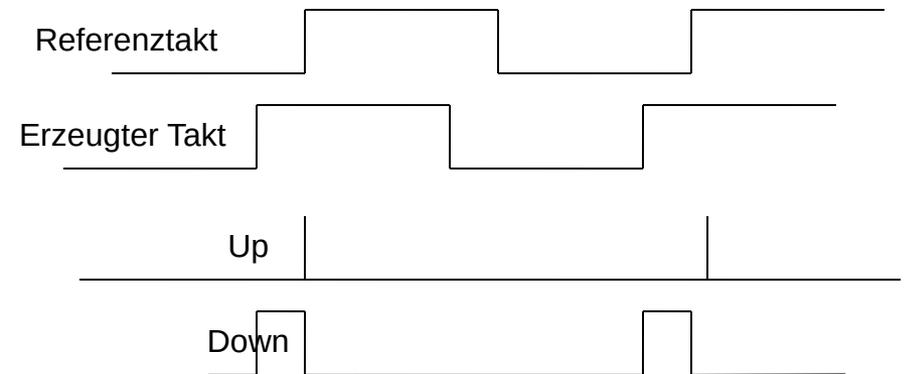
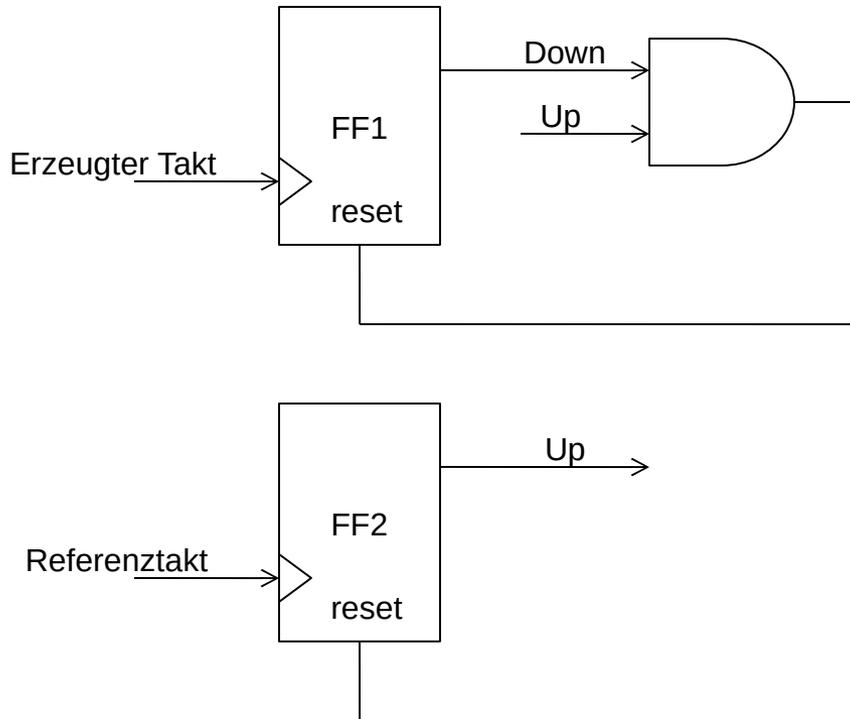
- Es ist die Aufgabe der Ladungspumpe, aus den UP- und DOWN-Signalen die Spannung zur VCO-Ansteuerung zu erzeugen. Im Fall von einem digitalen Oszillator, kann ein Zähler benutzt werden



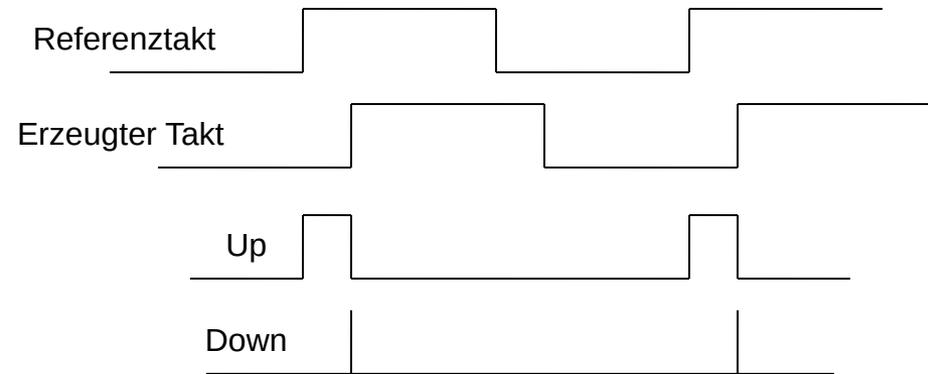
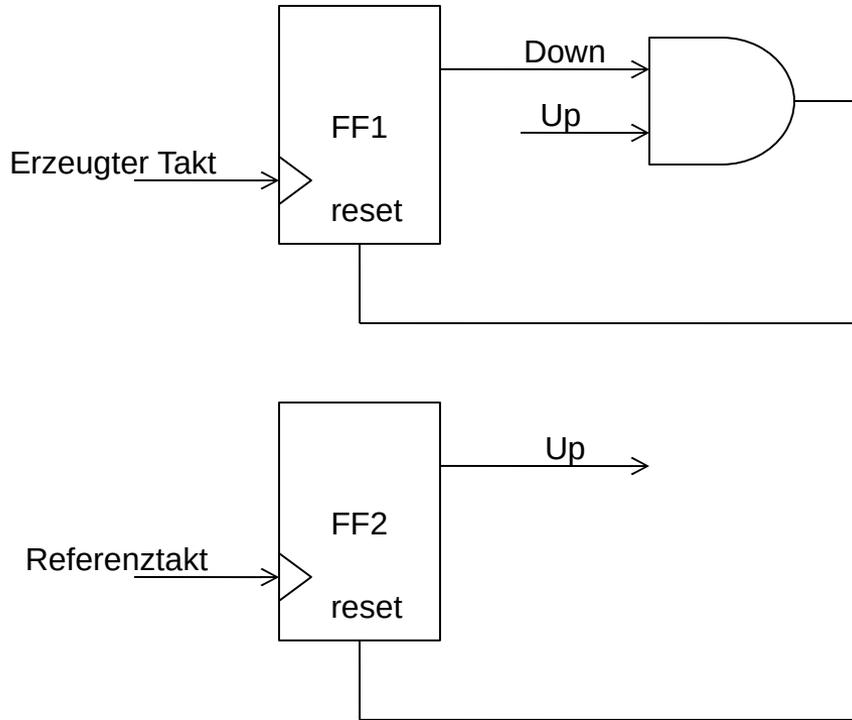
- Wenn der erzeugte Takt voreilt, werden vom Phasendetektor die DOWN-Signale erzeugt. Die VCO-Eingangsspannung sinkt, der Oszillator wird langsamer



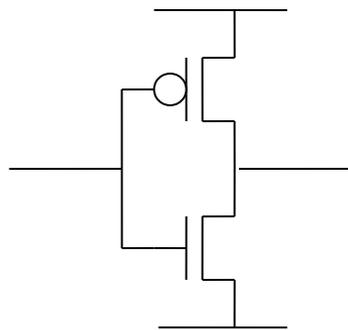
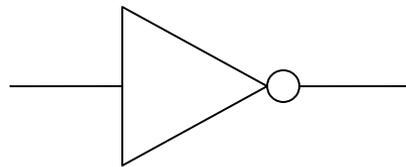
- Eine Implementierung des Phasendetektors (Phase-Frequency Detector)



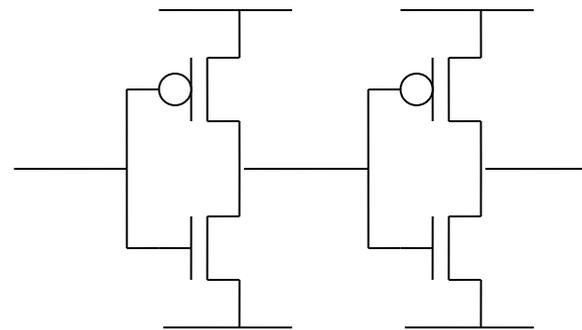
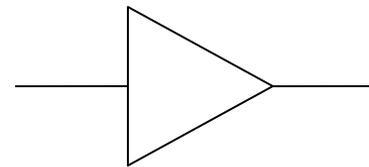
• ...



- Der Oszillator kann auch auf verschiedene Weisen aufgebaut werden
- Die zwei häufigsten Varianten sind der Ringoszillator und der LC-Oszillator
- Der Ringoszillator ist eine Kette von Buffers und Invertern

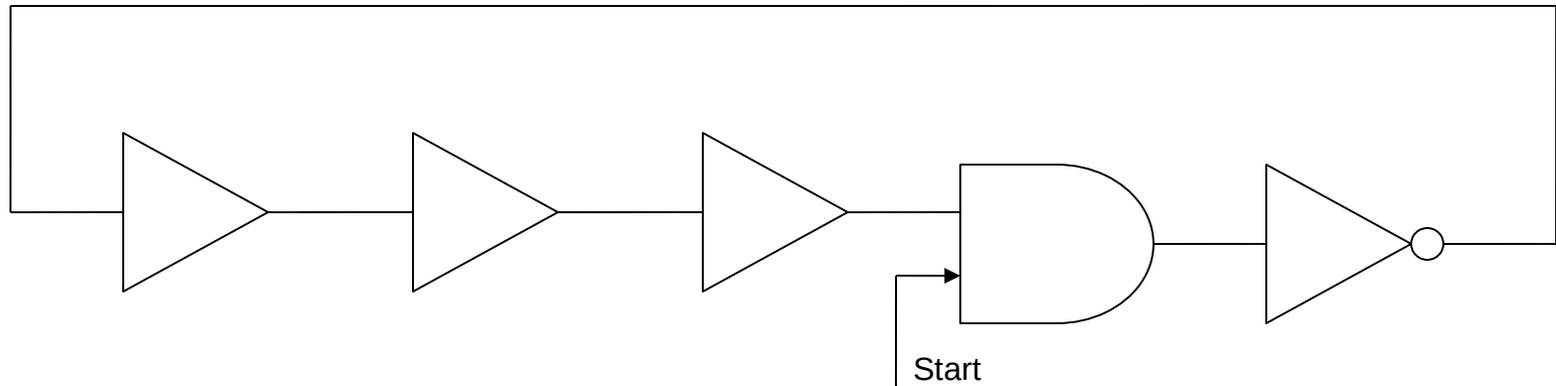


Inverter

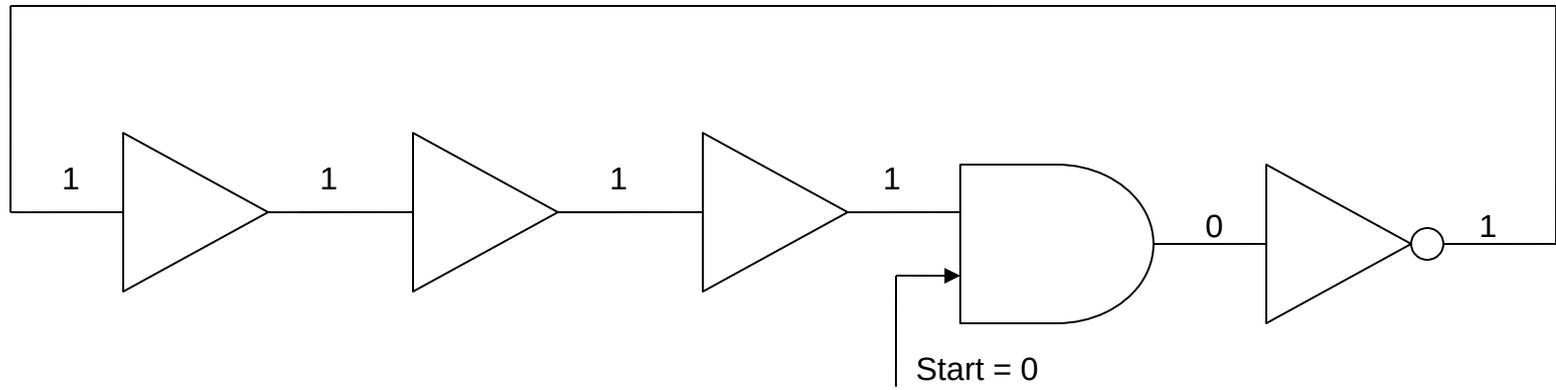


Buffer

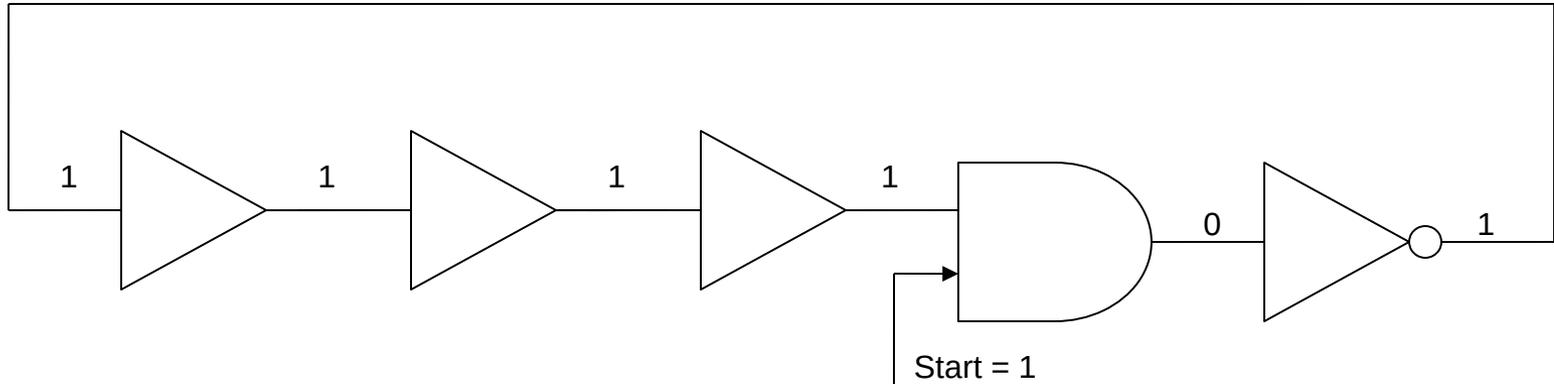
- Ringoszillator mit dem Start-Signal



• ...



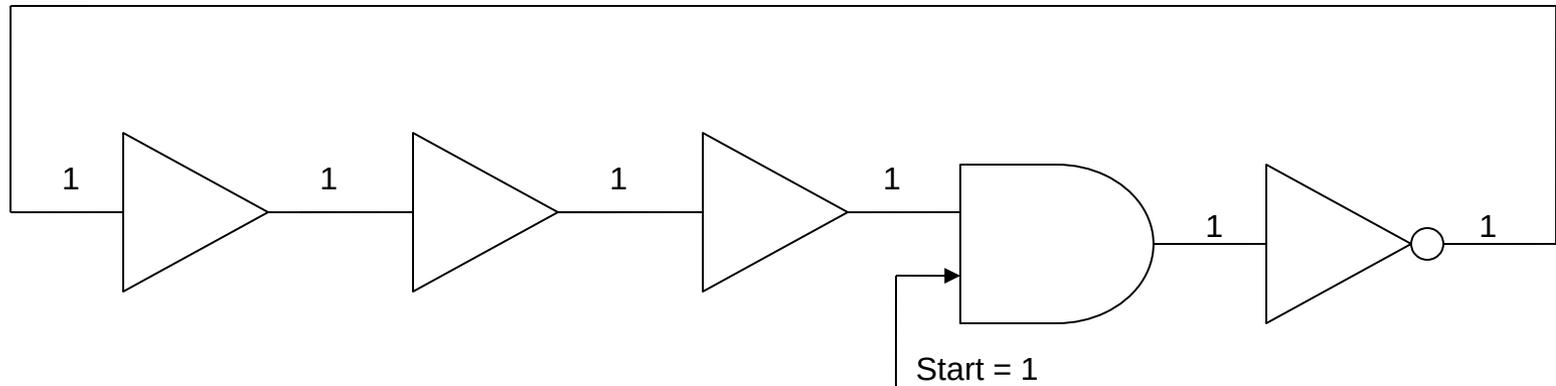
• ...



• ...

State 1

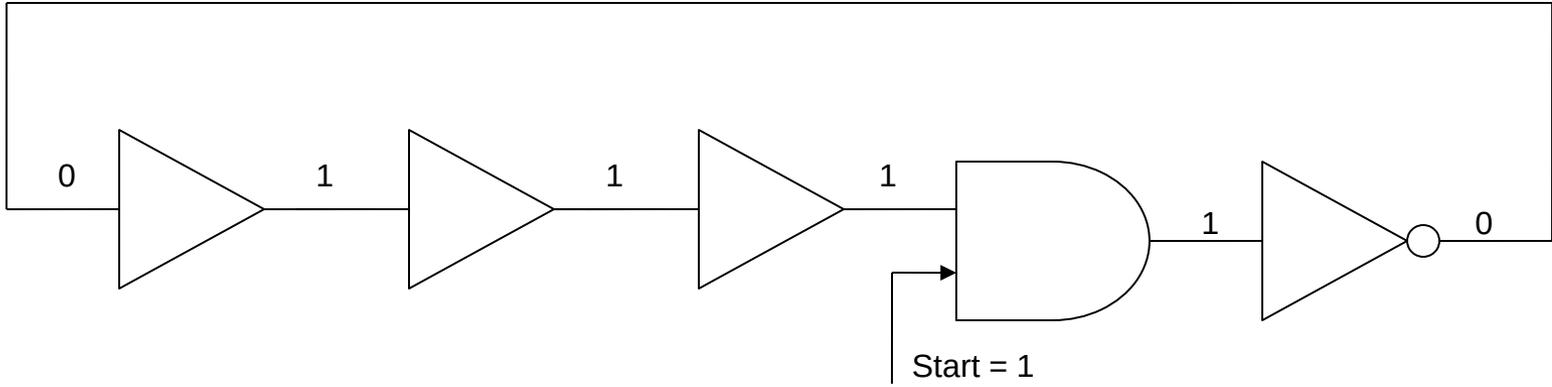
11111



• ...

State 2

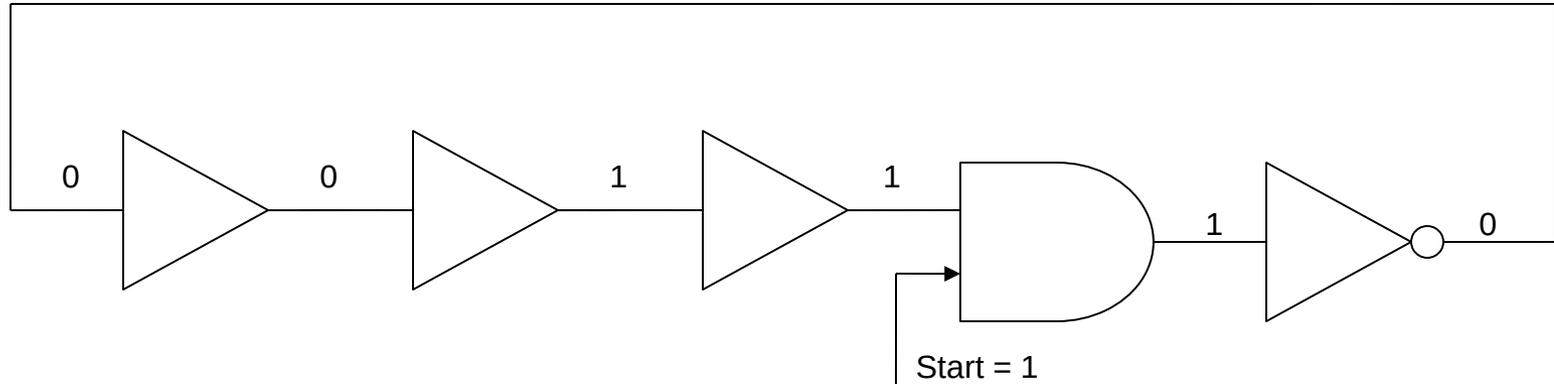
11110



• ...

State 3

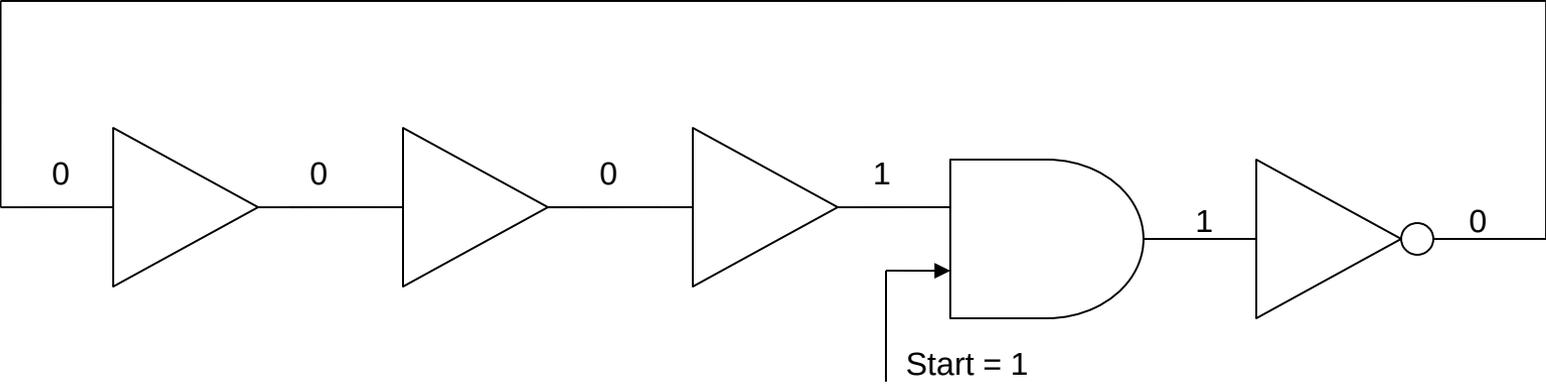
01110



• ...

State 4

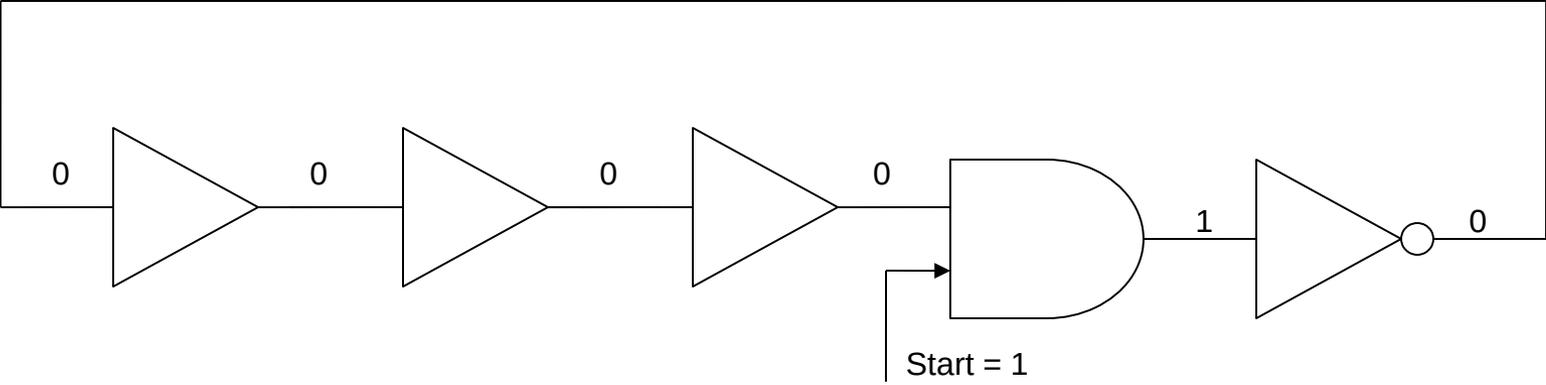
00110



• ...

State 5

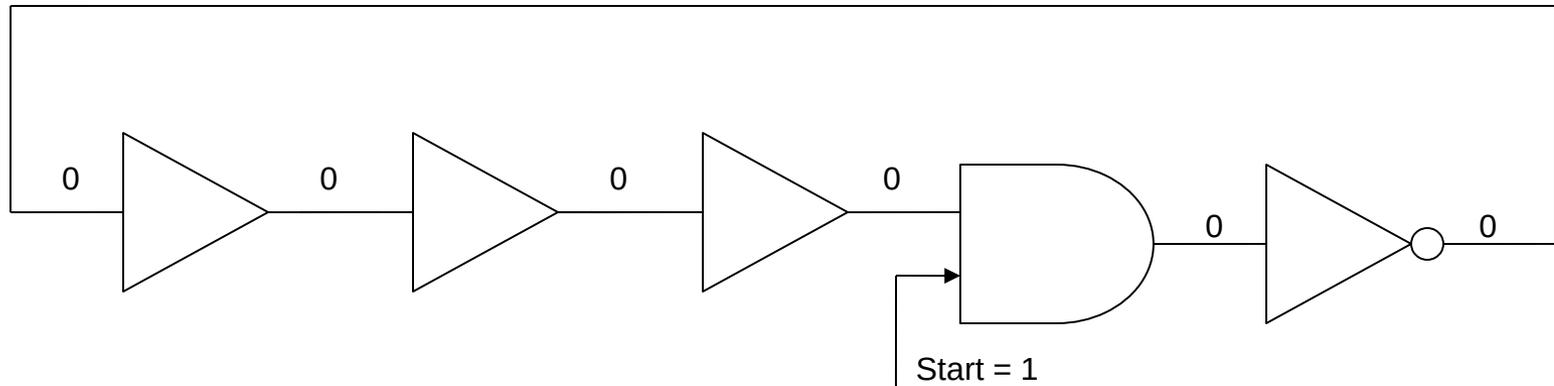
00010



• ...

State 6

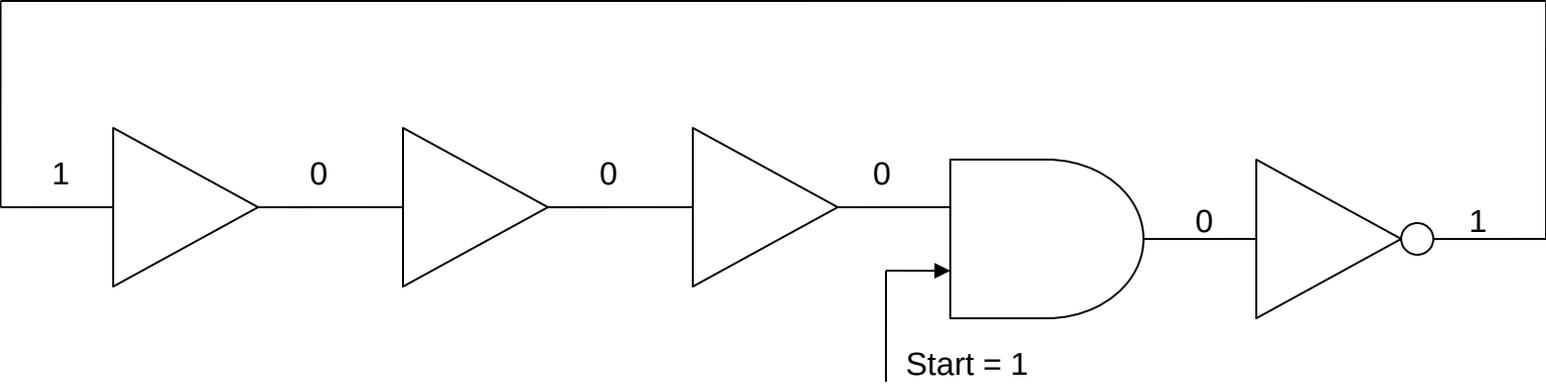
00000



• ...

State 7

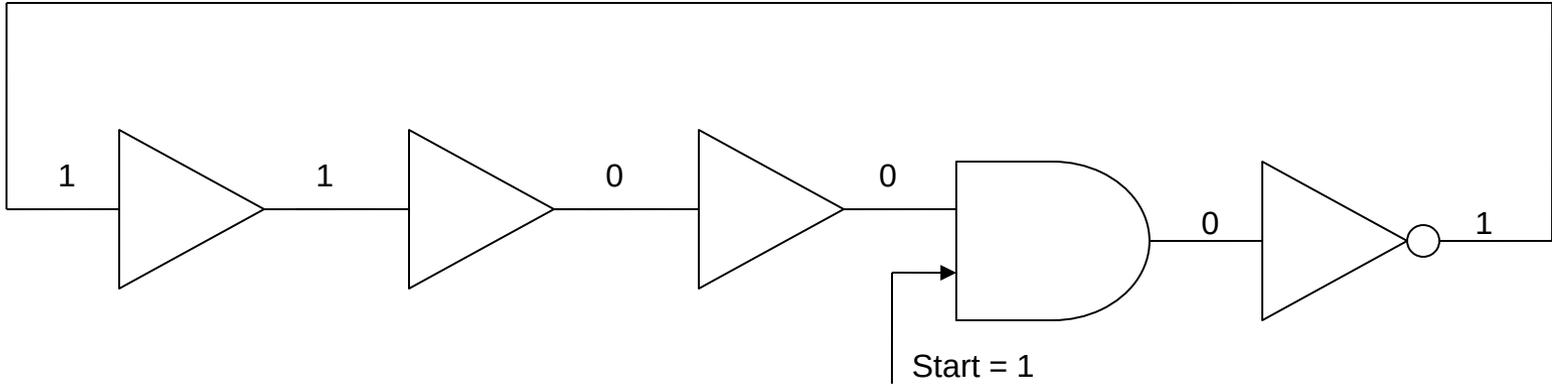
00001



• ...

State 8

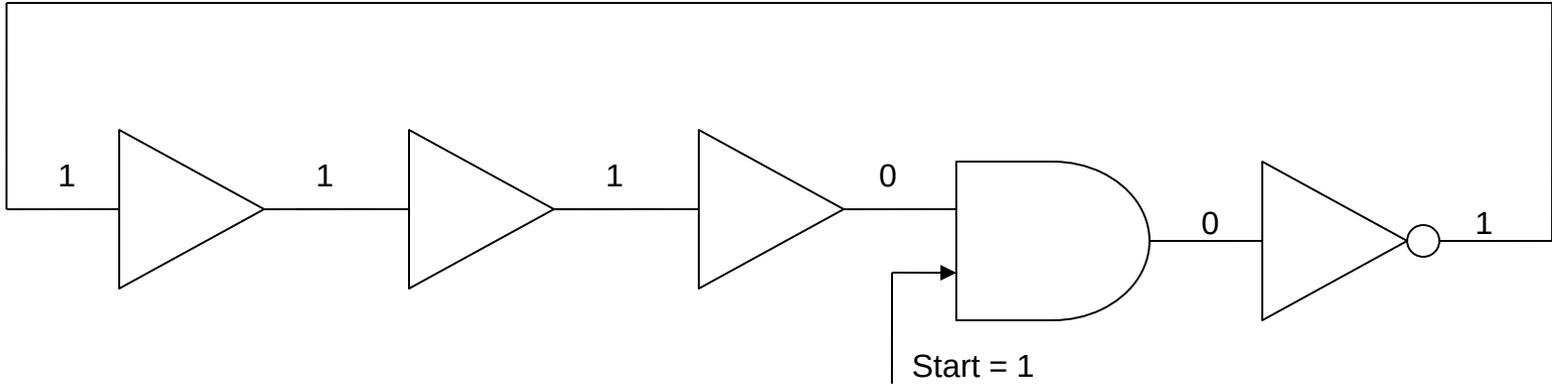
10001



• ...

State 9

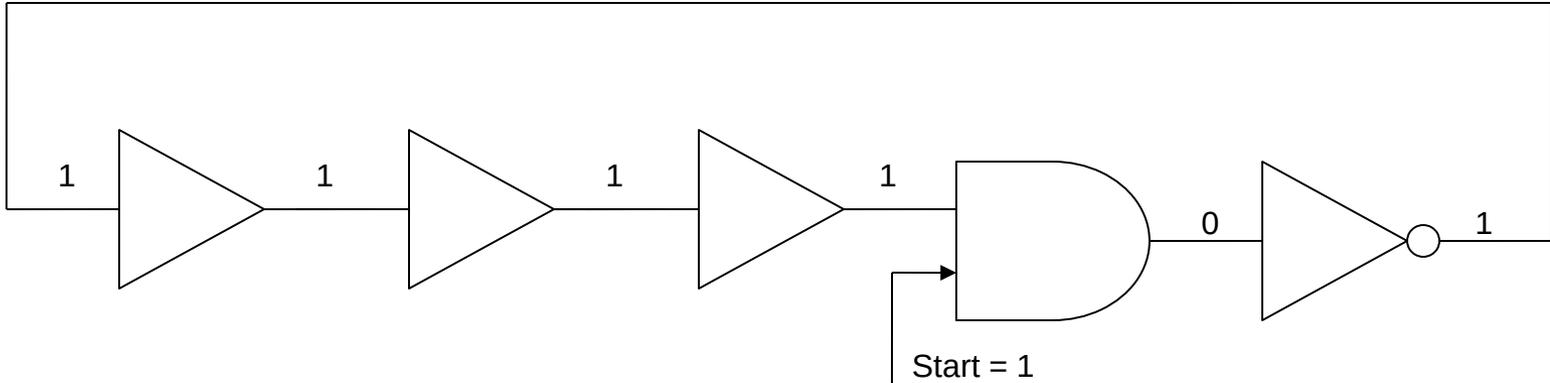
11001



• ...

State 10

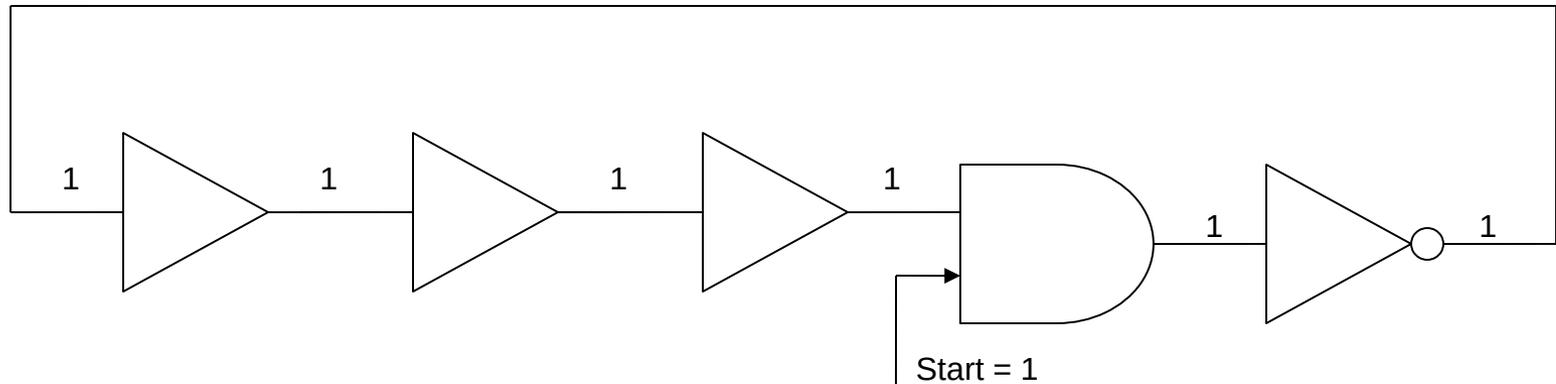
11101



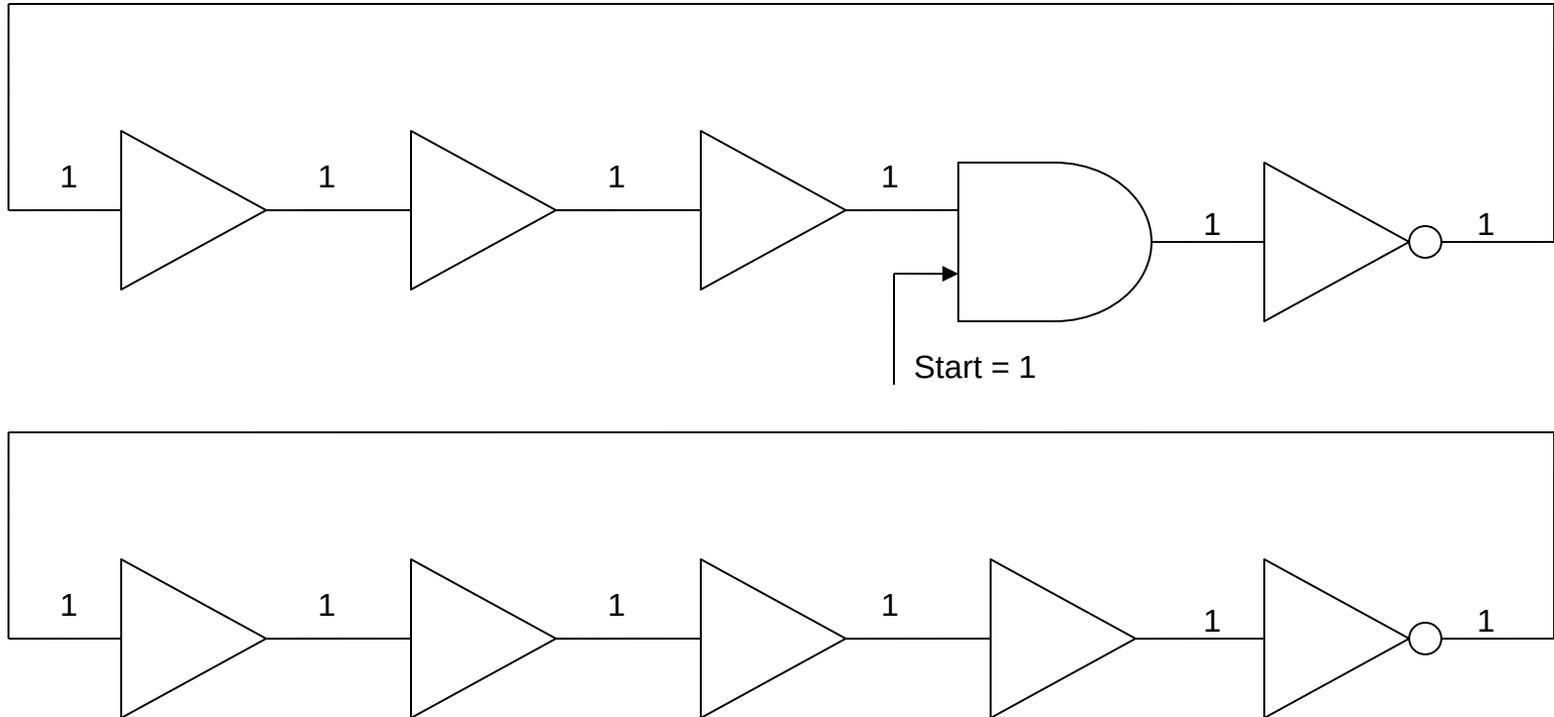
- Es gibt insgesamt 10 Zuständen: Zahl von Komponenten x 2

State 1

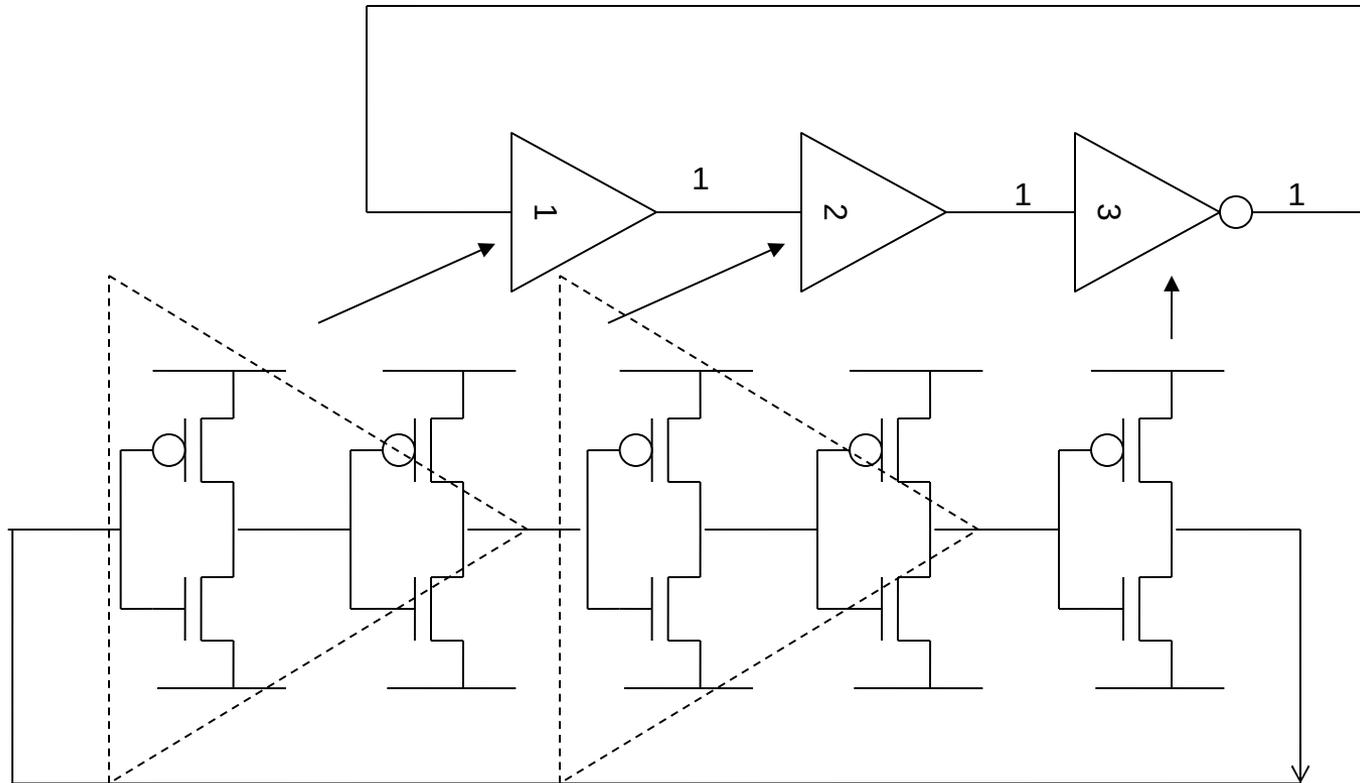
11111



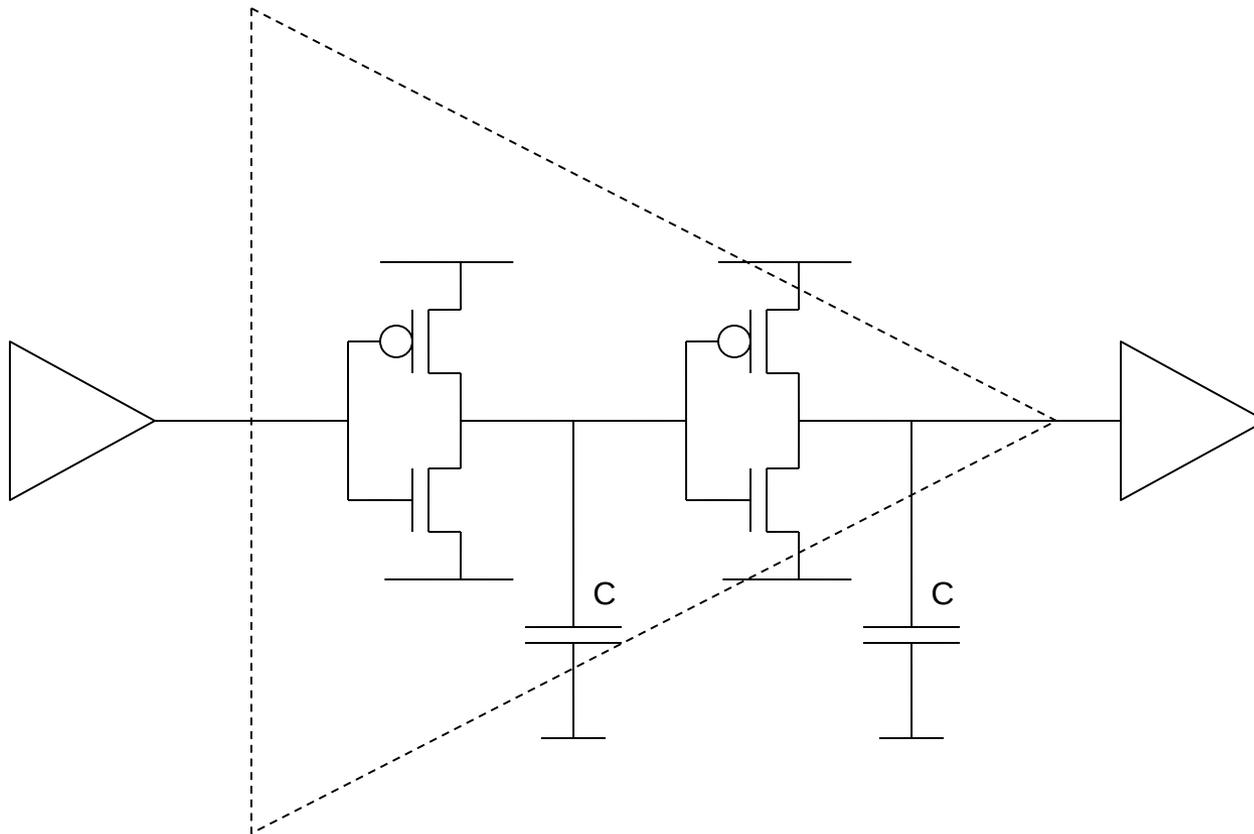
- Zwei Implementierungen



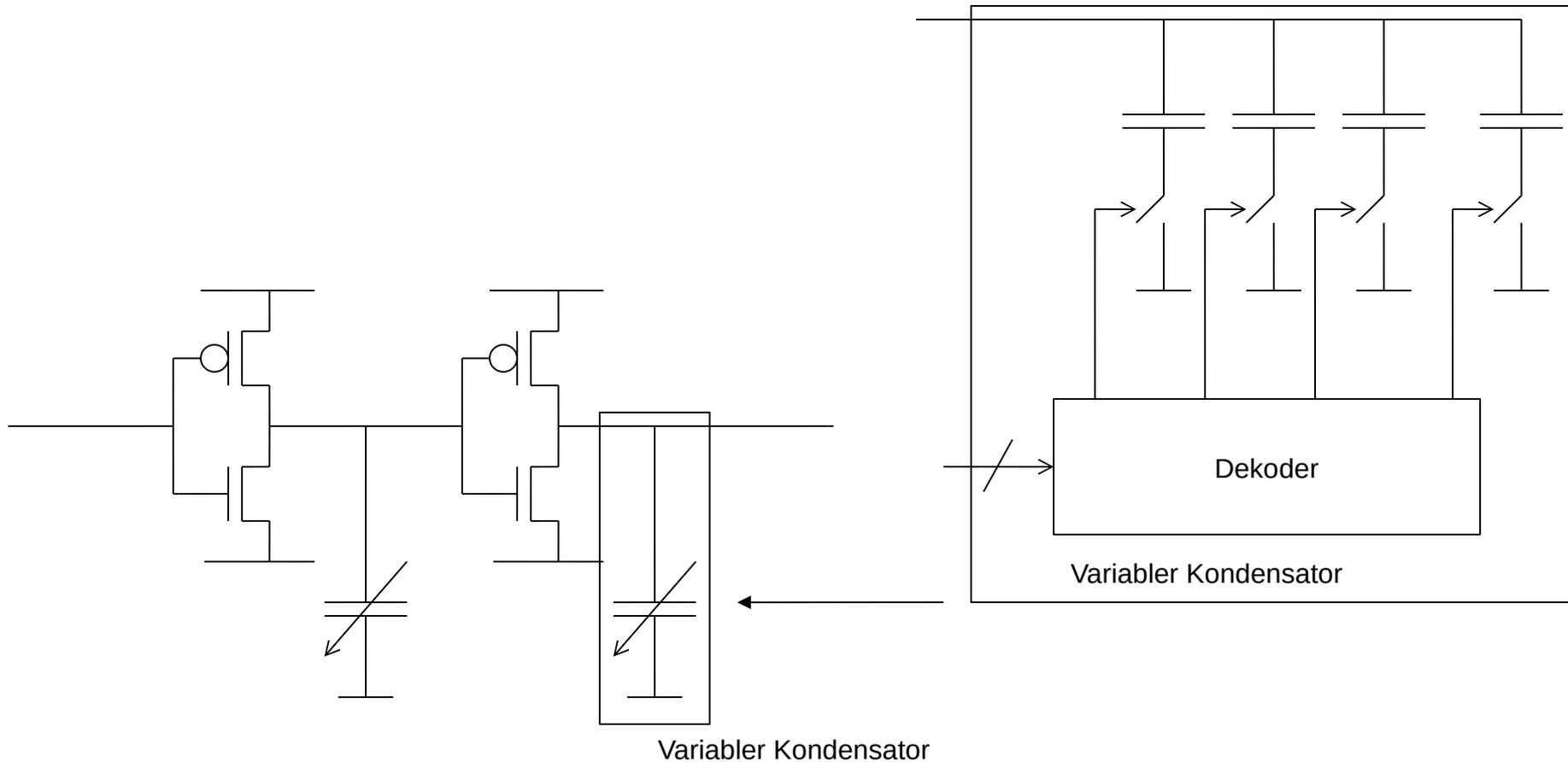
- Periode: $T = T_{del1}(0 \rightarrow 1) + T_{del2}(0 \rightarrow 1) + T_{del3}(0 \rightarrow 1) + T_{del1}(1 \rightarrow 0) + T_{del2}(1 \rightarrow 0) + T_{del3}(1 \rightarrow 0)$



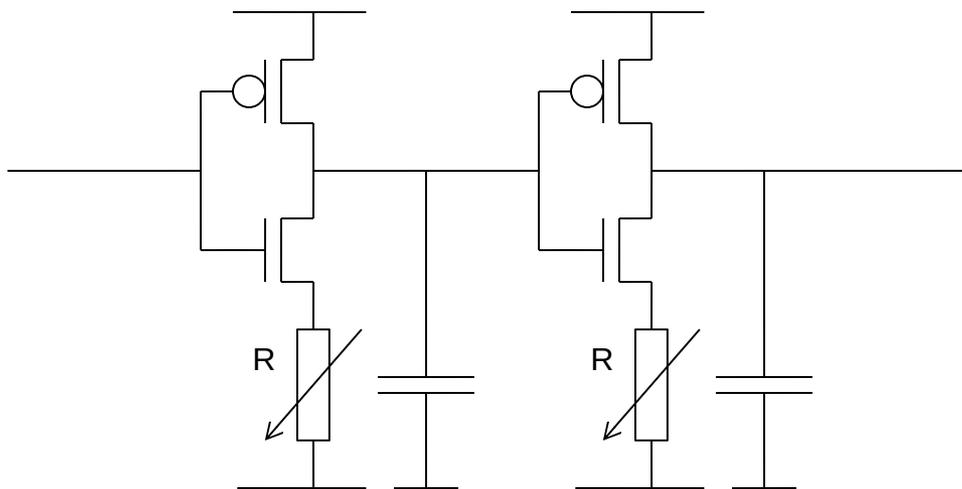
- Tdel eines Buffers ist etwa 2 Zeitkonstante für 0->1 und 1->0 Änderung
- Vorlesung2: $T \sim 4 * C / (\mu \text{ Cox } W/L)$
- $T_{del_buffer} \sim C / (\mu_n \text{ Cox } W/L) + C / (\mu_p \text{ Cox } W/L)$



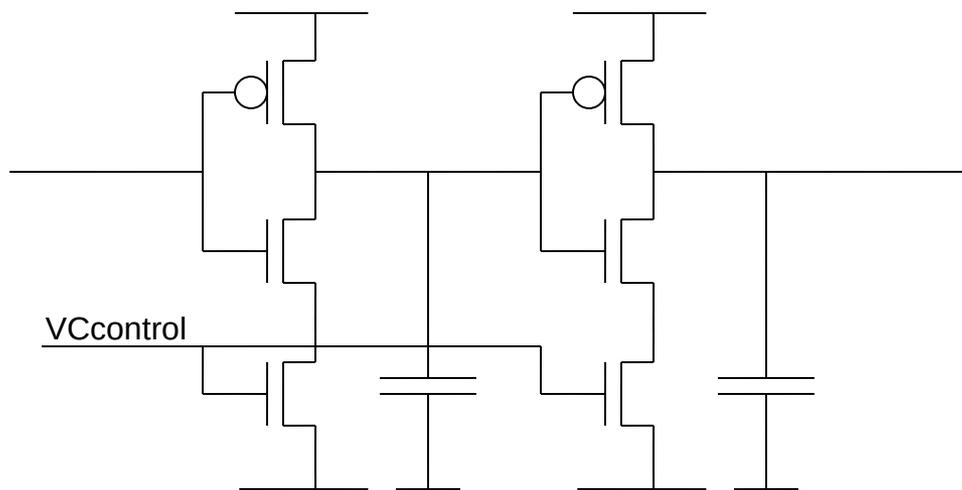
- Wie wird die Frequenz geändert?
- Lösung 1: variable Kondensatoren
- $T_{del_buffer} \sim C / (\mu_n C_{ox} W/L) + C / (\mu_p C_{ox} W/L)$



- Lösung 2: Inverter werden durch einen regelbaren Widerstand erweitert
- $T_{del_buffer} \sim RC$

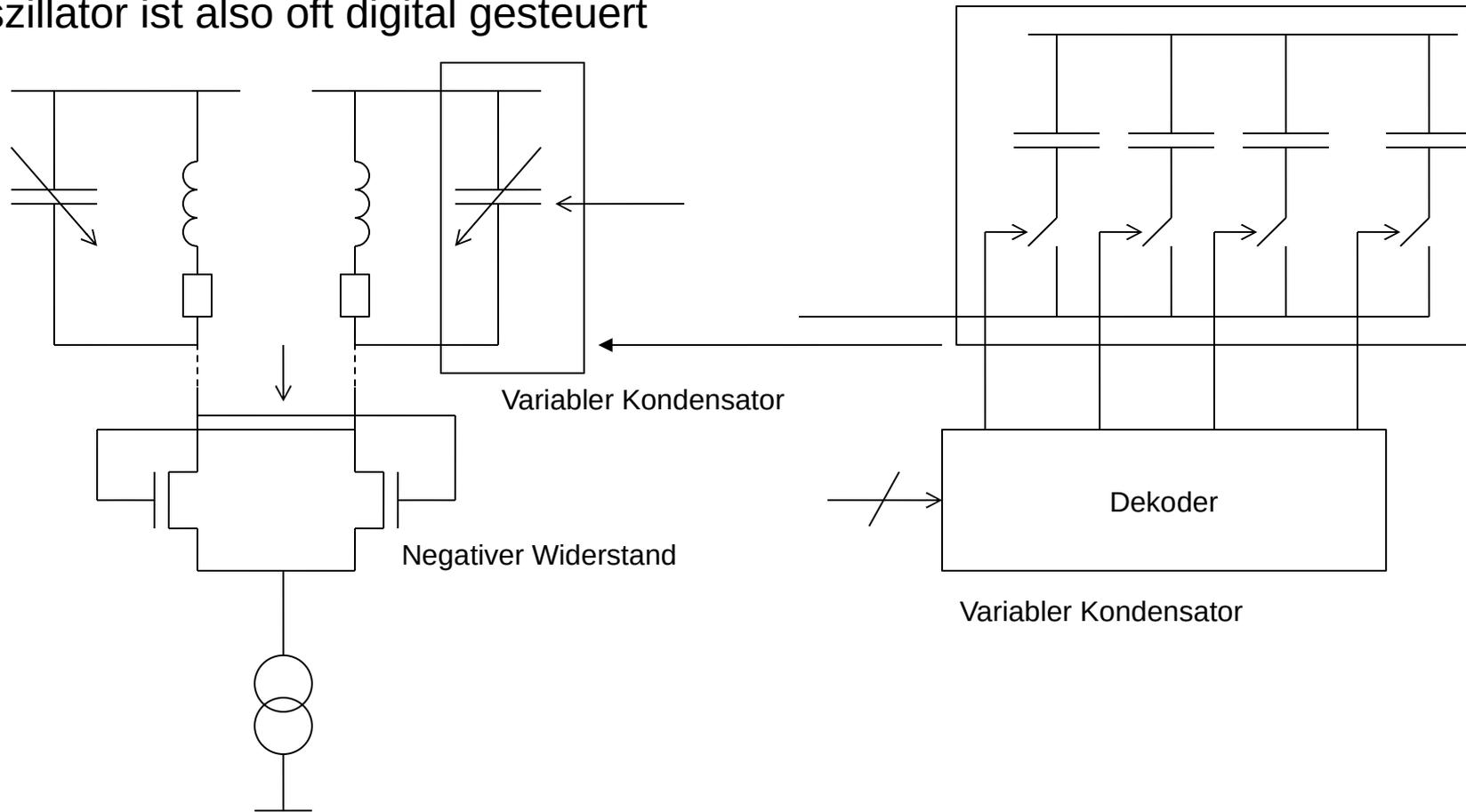


- R wird als Transistor implementiert
- Der Widerstand des T wird mithilfe von Gate Spannung variiert. Wenn der Widerstand niedriger ist, dauert die Umladung der Kapazitäten kürzer und Verzögerung einer Stufe ist kleiner. Frequenz wird höher.
- $T \sim RC$
- $R = 1/[\mu_n \text{ Cox } W/L (V_{\text{control}} - V_{\text{th}})]$

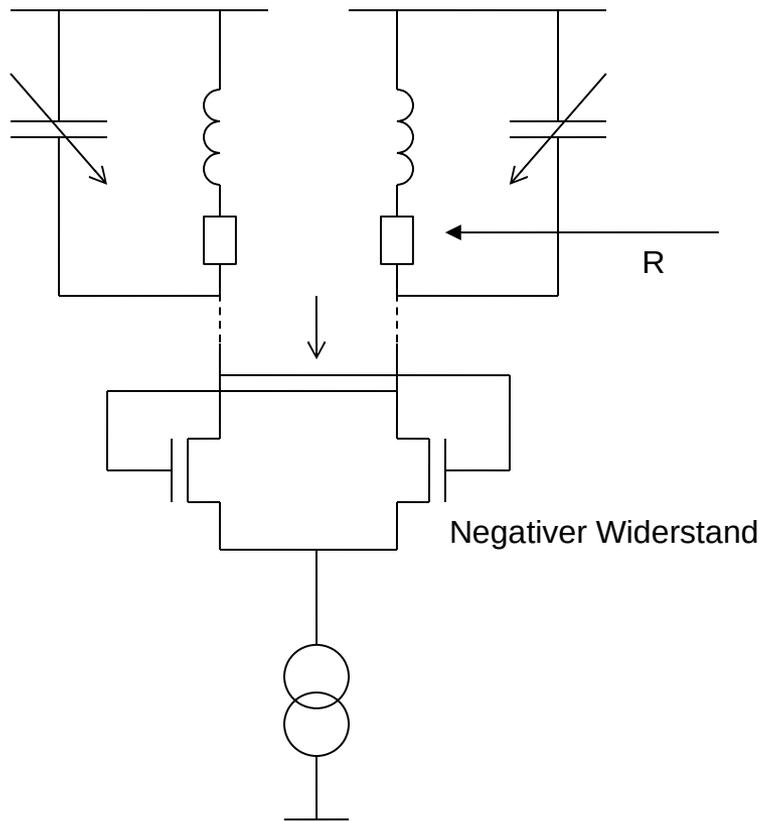


- Die Frequenz eines Ringoszillators kann im großen Bereich verändert werden. Der Nachteil der Ringoszillators ist Jitter. Auch wenn die Eingangsspannung konstant ist, schwankt die Frequenz: Der Grund ist das Rauschen in den Transistoren und die Schwankungen an Versorgungslinien.

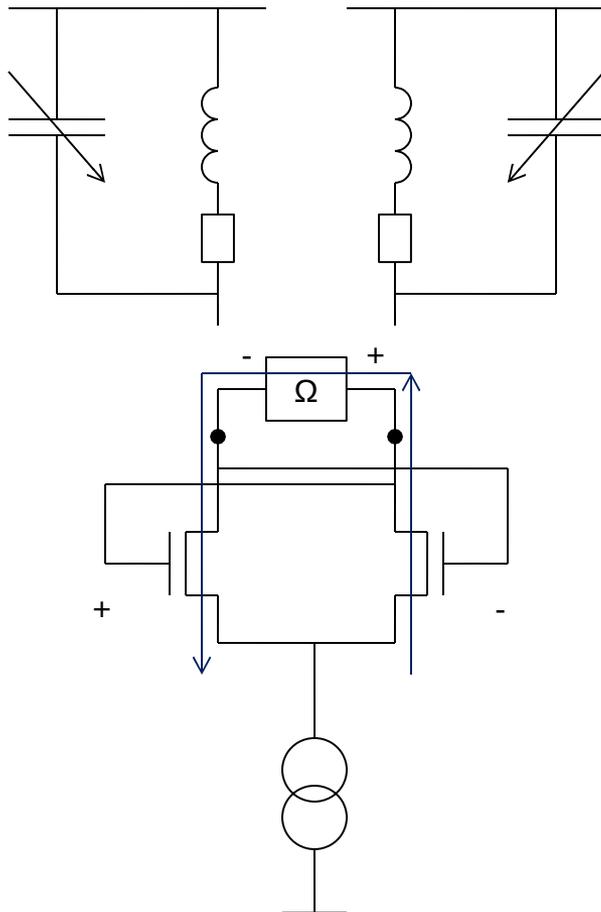
- Ein LC Oszillator hat weniger jitter. Die Spulen (Induktoren) und die Kapazitäten können auf dem Chip implementiert werden. Die Frequenz kann durch umschalten von zusätzlichen Kapazitäten verändert werden. LC Oszillator ist also oft digital gesteuert



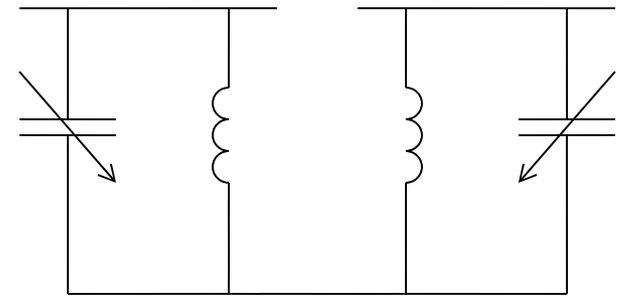
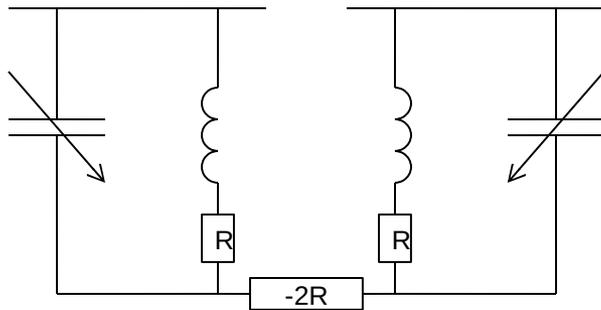
- Widerstände der Spulen (R) müssen kompensiert werden, sonst klingen die Oszillationen ab



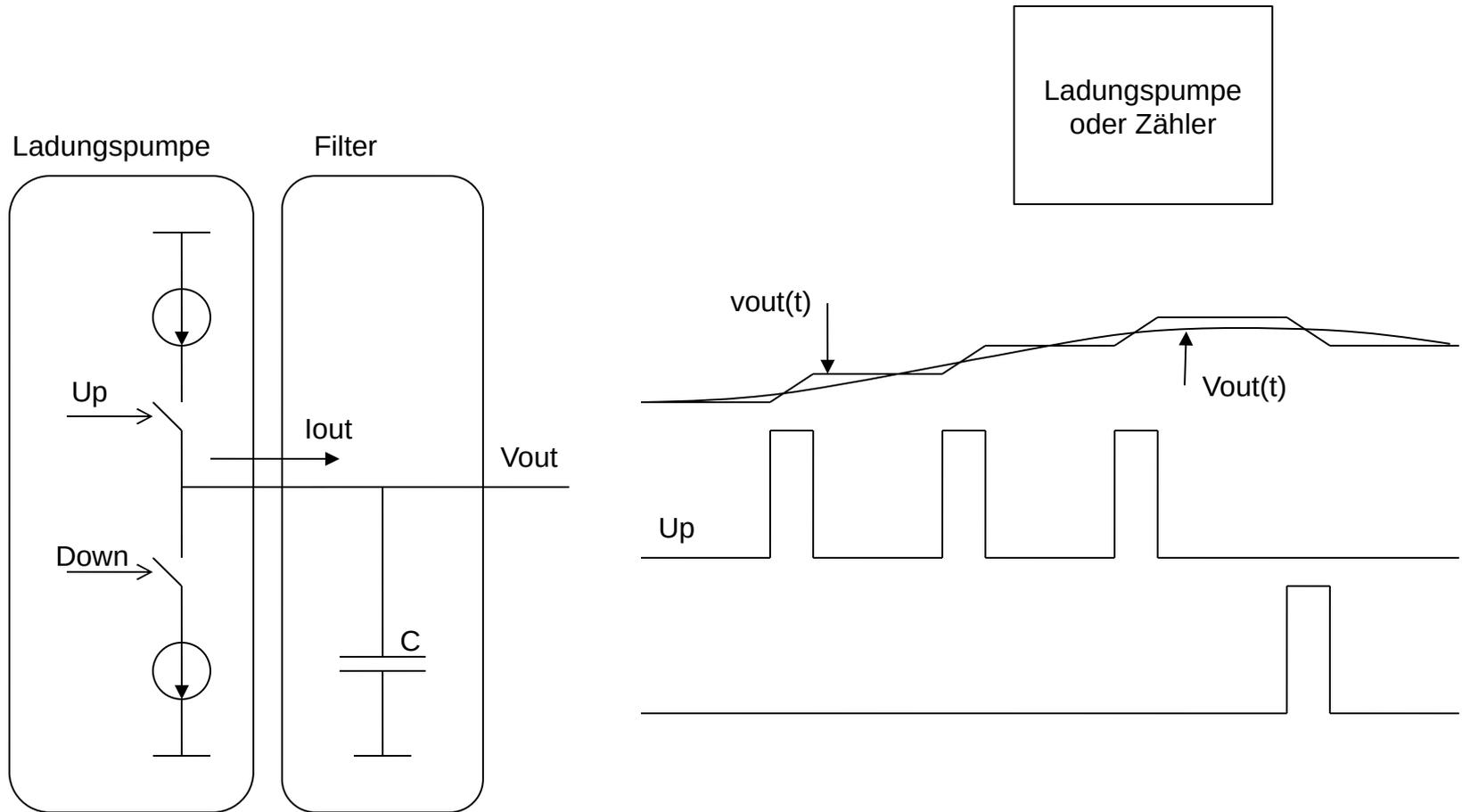
- Cross-coupled Differenzpaar -> negativer R



- Ersatzwiderstand = 0 \rightarrow Schaltung oszilliert



- Ladungspumpe + Filter erzeugen Oszillator-Eingangsspannung



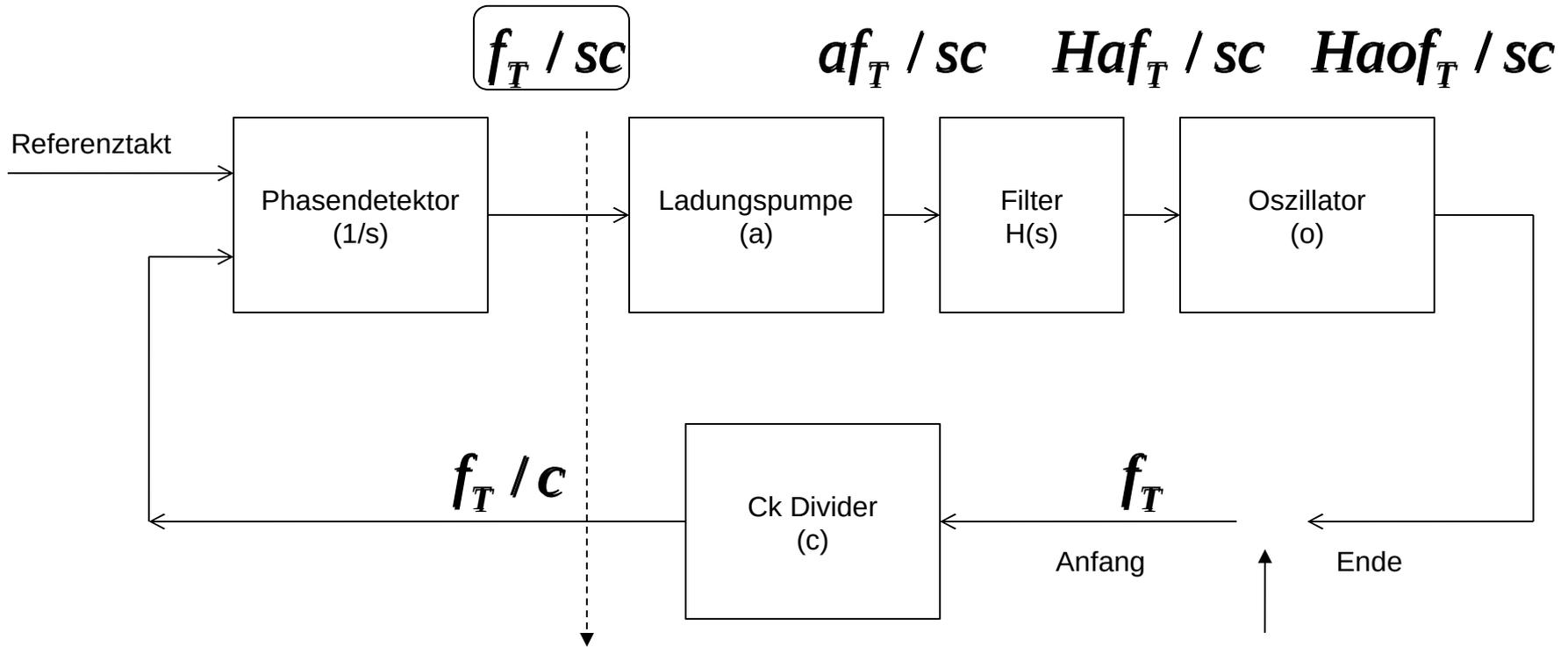
$$I_{out}(t) = a\varphi$$

$$v_{out} = \int \frac{i(t)}{C} dt$$

$$V_{out}(t) = \int \frac{a\varphi(t)}{C} dt$$

- Stabilität der Schleife

F ist die Übertragungsfunktion vom Filter (z.B. $1/sC$)
 c, a, o sind Konstanten



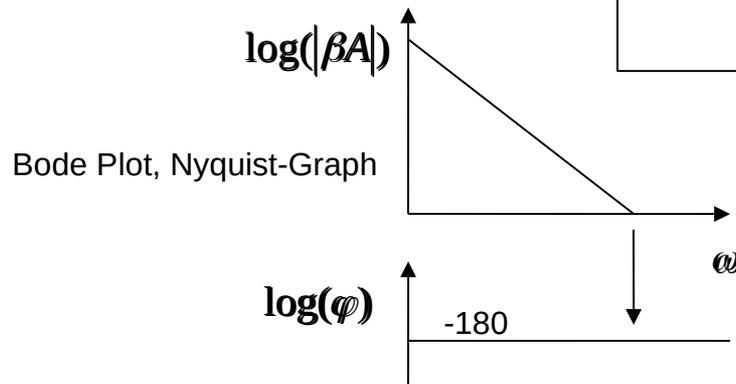
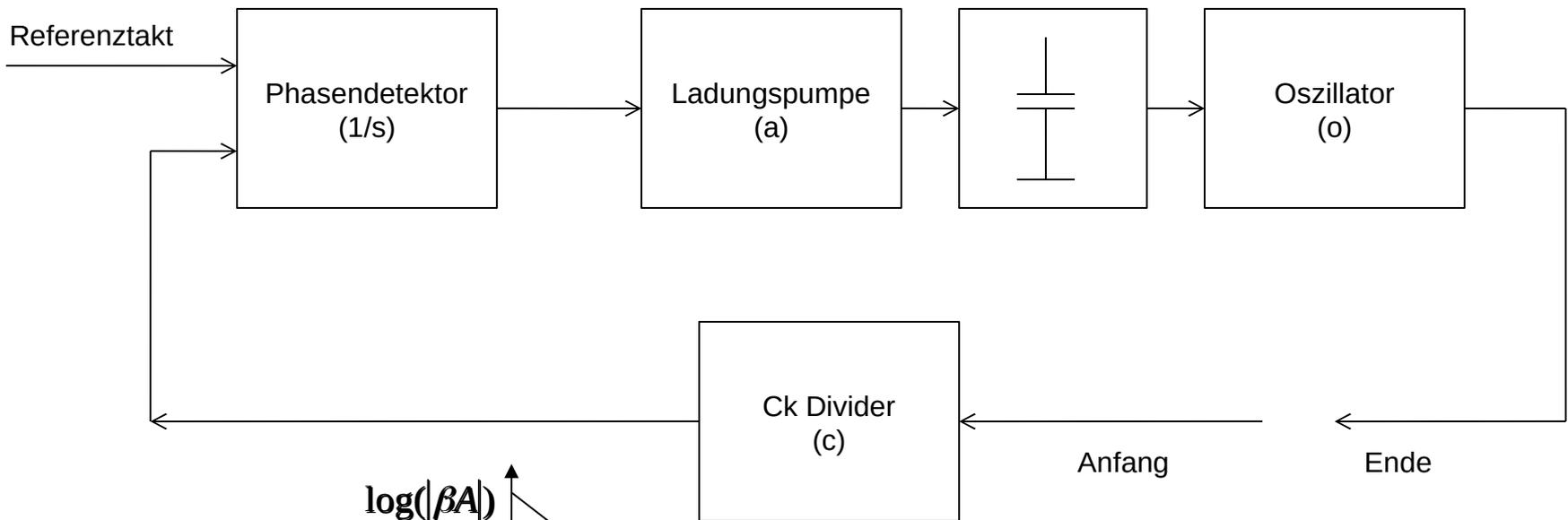
Rückkopplung wird getrennt

$$f_T = \frac{d\varphi}{dt} \quad \varphi = \int_{-\infty}^t f_T dt \quad \varphi(s) = \frac{f_T}{s}$$

Phase ist Integral der Frequenz!

- Einfachste Lösung (Filter ist Kondensator) -> instabil

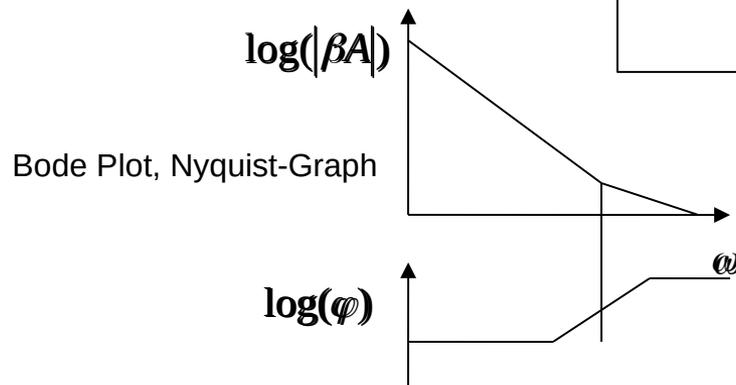
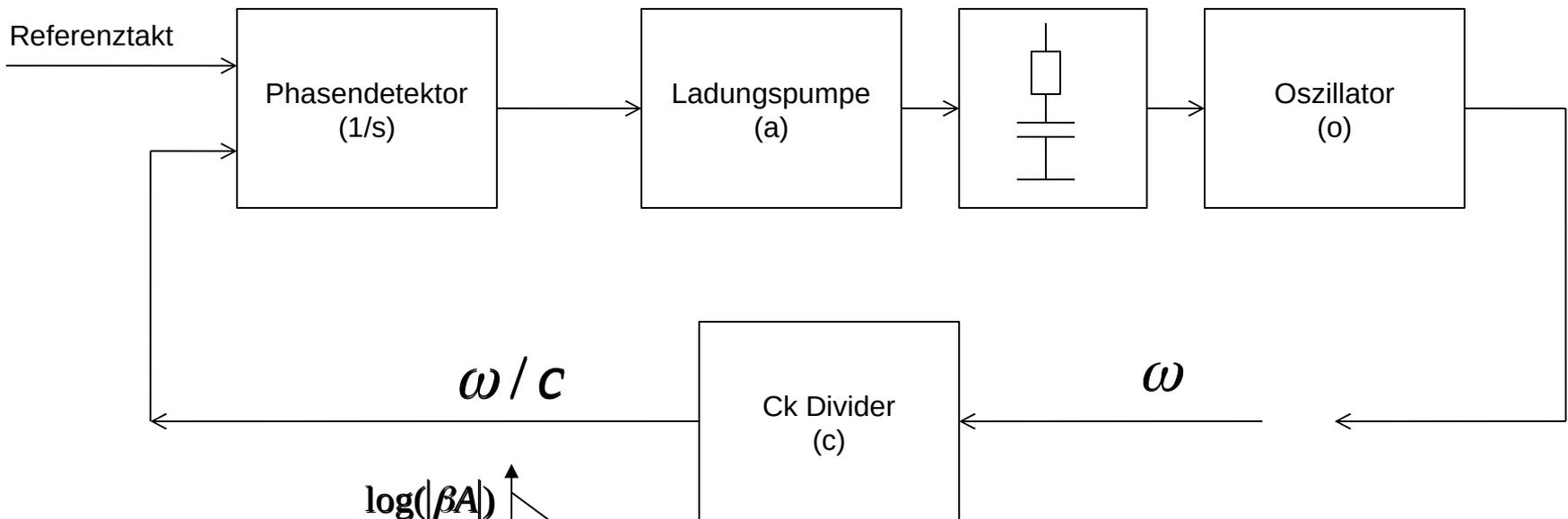
$$H(s) = \frac{1}{sC}$$



$$\beta A = \frac{a\omega}{cs^2C}$$

- Bessere Lösung (Filter ist Serienschaltung vom Kondensator und Widerstand) -> stabil

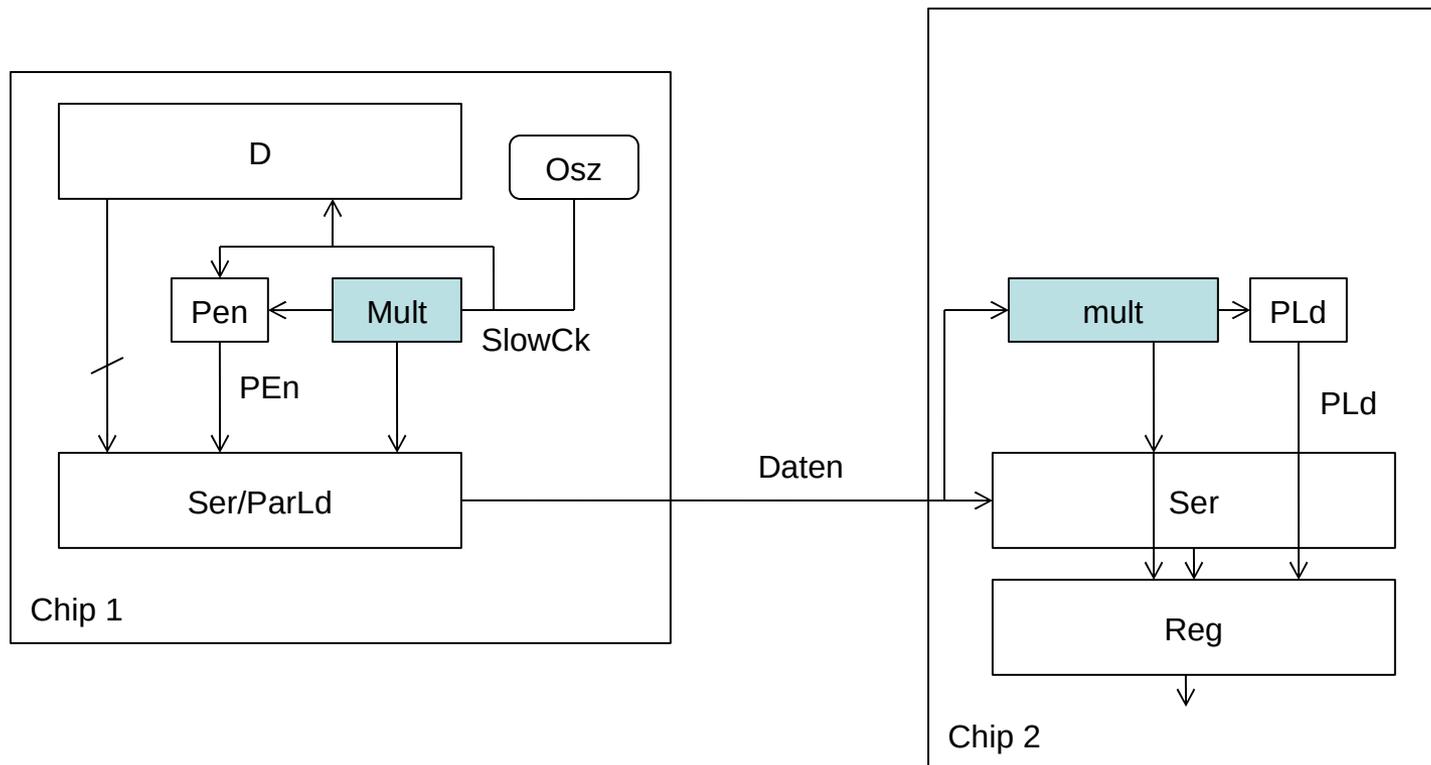
$$F(s) = R + \frac{1}{sC} = \frac{1 + sRC}{sC}$$



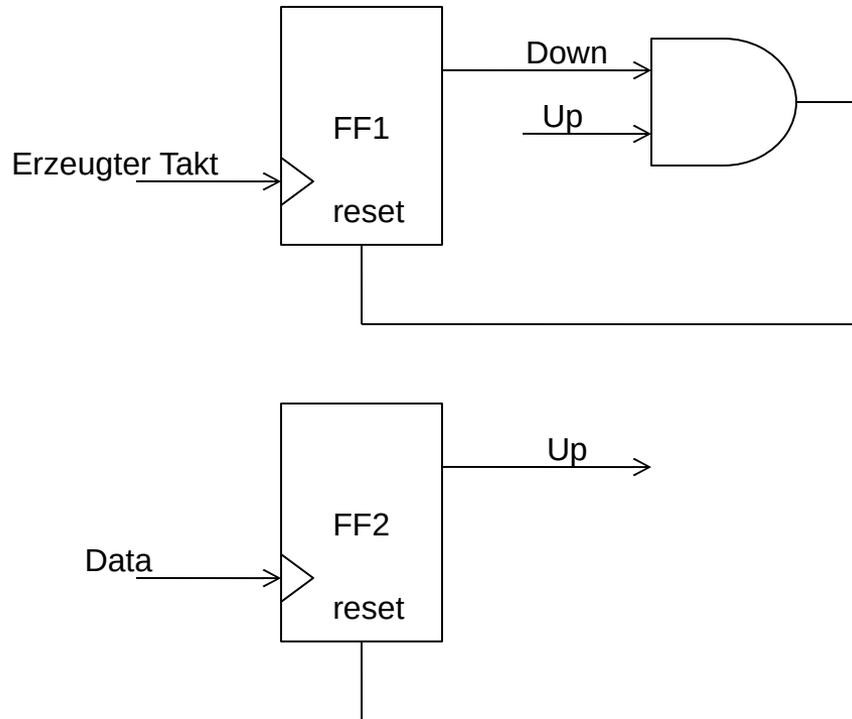
$$\beta A = \frac{ao(1 + sRC)}{cs^2C}$$

- Fortschrittliche Themen

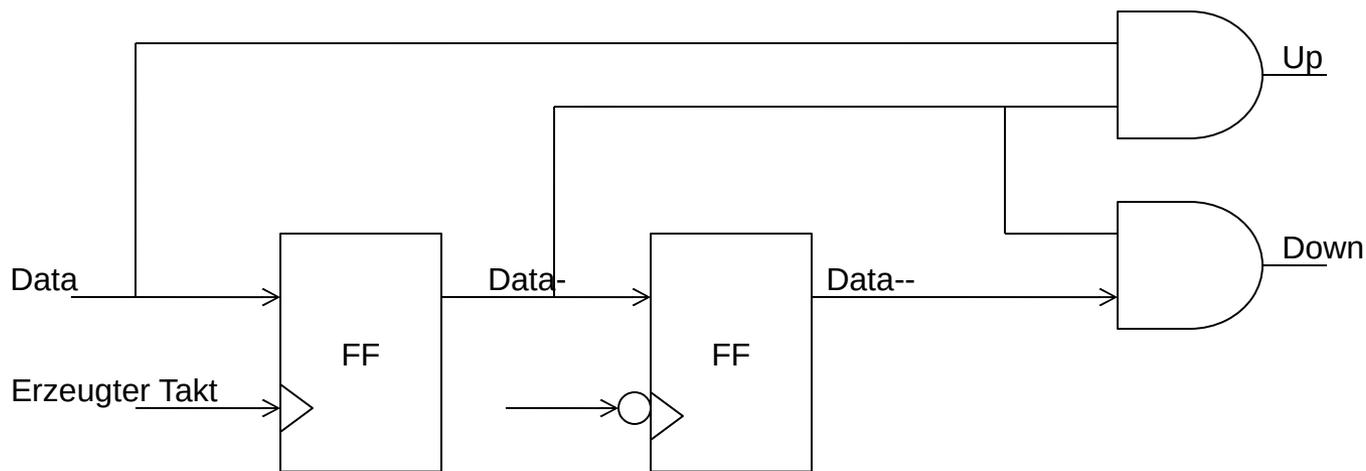
- Übertragung ohne Takt
- Clock Data Recovery
- Idee: Daten als Referenztakt verwenden



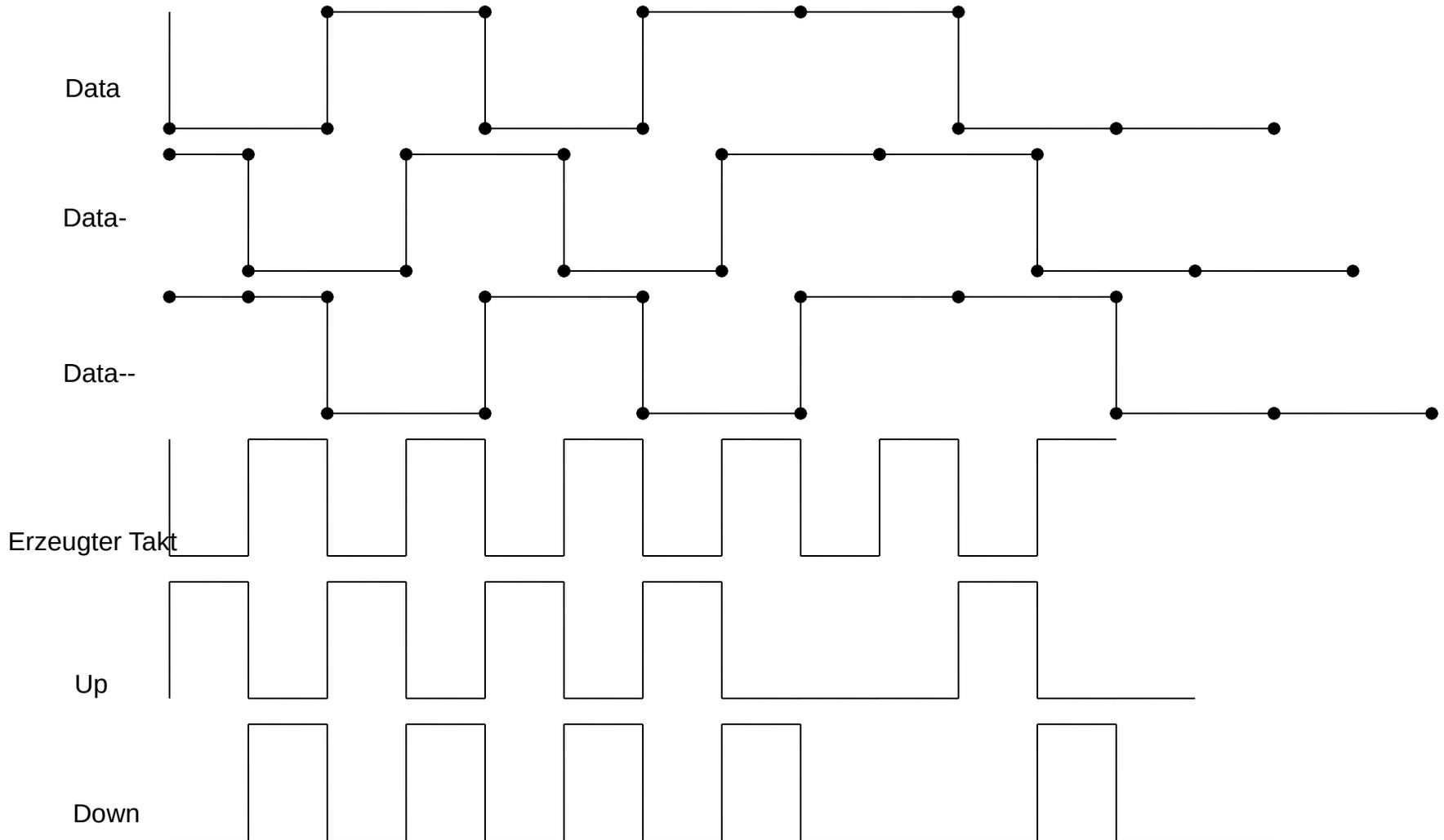
- Versuchen wir es mit dem einfachen Phasendetektor



- Geeignete Schaltung Hogge Phasen-Detektor (linearer Phasendetektor)
- Andere Möglichkeit: Alexander Phasen-Detektor



- Funktioniert gut!



- Phasendetektion aus Daten
- Beispiel eines Codes für Phasendetektion
- Lass uns einen 2b6b Code ausdenken

Beispiel eines Codes für Phasendetektion

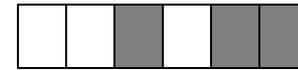
Binary code

Manchester code

Manchester code mit Start und Stop bits



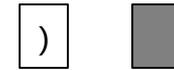
Wort 1



Start bit



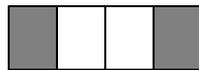
Wort 2



Stop bit



Wort 3



Wort 4



1243 1421 12



Binary code Sequenz

1243 S 1421 S 12



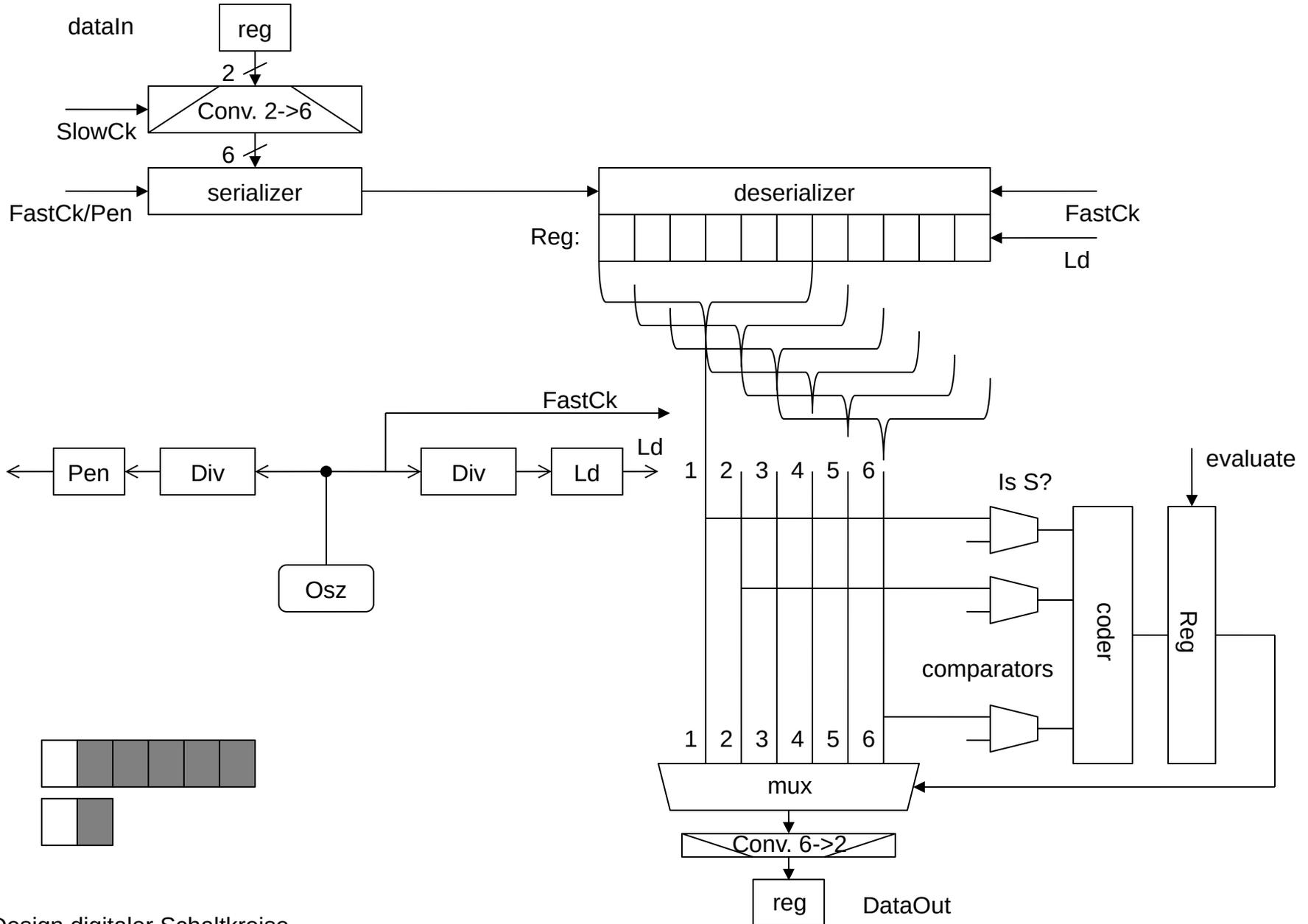
2b6b code Sequenz

- Suche nach dem Leerzeichen-Wort



1243 S 1421 S 12

- Schaltungsimplementierung 1
- Aurora 8b10b



- Schaltungsimplementierung 2, Phasendetektion mithilfe des Scramblers
- Aurora 64b66b

