

# Aufbau eines Digitalzählers

## 1 Einleitung

Jede beliebige Information kann zerlegt werden in eine Folge zweiwertiger Entscheidungsmöglichkeiten (Ja/Nein, Ein/Aus usw.), die einzeln als *bit* (binary digit) bezeichnet werden. Zahlen werden dabei im Binär- oder Dualsystem dargestellt, da es auch nur zwei Ziffern „0“ und „1“ hat. In Binärzahlen stehen somit die Ziffern für Koeffizienten von Potenzen zur Basis 2 anstatt von Potenzen zur Basis 10 wie im üblichen Zahlensystem.

Binäre Signale lassen sich durch logische Verknüpfungen verarbeiten, deren Grundelemente „AND“, „OR“ und „NOT“ sind. Diese Verknüpfungen werden in Form von so genannten Gattern (engl. *gate*) als elementare elektronische Schaltungen realisiert. (siehe [https://en.wikipedia.org/wiki/Logic\\_gate](https://en.wikipedia.org/wiki/Logic_gate)). Ihr Verhalten wird in Verknüpfungstabellen beschrieben (Abb. 1). Aus diesen Grundverknüpfungen lassen sich zusammengesetzte Systeme herstellen - wie zum Beispiel einen Zähler. Durch hohe Integration lassen sich aber weitaus komplexere Systeme erstellen bis hin zu Super-Computern, aber auch Smartphones und Fernseher. Jedes digital arbeitende Gerät basiert auf diesen Grundelementen.

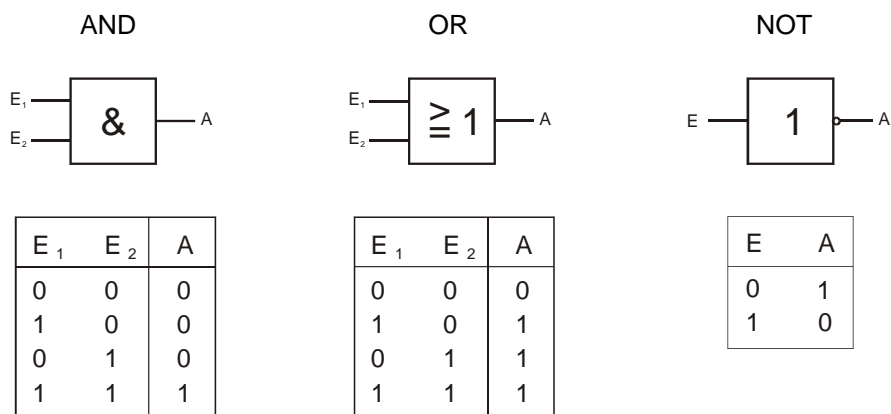


Abb. 1: Schaltzeichen und Verknüpfungstabellen der elementaren Gatter.

## 2 Hinweise zum Aufbau

Die Schaltungen werden auf einer Stecktafel gesteckt. Die Eingänge der Verknüpfungen werden mit Tasten verbunden, die Ausgänge mit Leuchtdioden. Helle LEDs signalisieren den Zustand „1“, dunkle den Zustand „0“. Besonders zu beachten ist:

- Offene Eingänge befinden sich stets im Zustand „1“.
- Wird auf der Zeichnung ein Schaltzeichen mit vier Eingängen gezeigt, ist unbedingt ein solches zu benutzen. Gleiches gilt für Schaltzeichen mit 2 Eingängen.
- In den komplexeren Schaltungen sollte ein NAND nicht mit einem AND verwechselt werden: sie unterscheiden sich nur in dem kleinen Kreis! (genauso für OR und NOR)

### 3 Aufgaben

1. Aufnahme der Tabelle für ein NAND-Gatter (AND mit nachgeschaltetem NOT). Aufnahme der Tabelle für ein NOR-Gatter (OR mit nachgeschaltetem NOT). Dazu werden die Eingänge der Verknüpfungen mit Tasten verbunden, die Ausgänge mit Leuchtdioden.

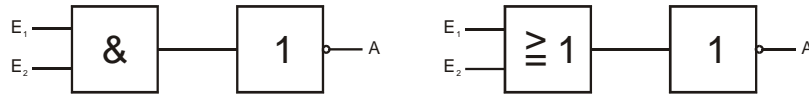


Abb. 2: Schaltung von NAND- und NOR-Gattern

2. Aus zwei NOR-/ NAND-Gattern wird ein RS-Flipflop aufgebaut (Abb. 3) und die Verknüpfungstabelle aufgenommen. Ein RS-Flipflop hat 2 Eingänge: 'R' steht für Reset und 'S' steht für Set, Ist der Eingang 'S' auf '1', wird der Ausgang 'Q' zu '1' und der invertierte Ausgang 'Q̄' zu '0'. Danach bleiben die Ausgänge stabil, auch wenn danach 'S' wieder auf '0' geht. Erst wenn 'R' '1' wird, wird 'Q' '0' und 'Q̄' '1'. Und auch das ist ein stabiler Zustand, solange 'S' nicht auf '1' geht. In der Realisierung gibt es dabei die Möglichkeit, 'normale' Logik zu benutzen, mit '1' aktiv und '0' für passiv. Es gibt aber auch invertierte Logik mit '0' aktiv und '1' passiv. Das wird dann bei den Bezeichnungen mit einem oberen Querstrich gekennzeichnet. Bei der Integration von Flipflops in zusammengesetzte Systeme muss darauf geachtet werden, dass nicht erlaubte Eingangskombinationen – das sind solche, die zu dem sich widersprechenden Zustand 'Q' = 'Q̄' führen – verhindert werden. D.h es dürfen nicht 'S' und 'R' zu gleichen Zeit '1' sein, oder bei invertierter Logik, 'S̄' und 'R̄' gleichzeitig '0'.

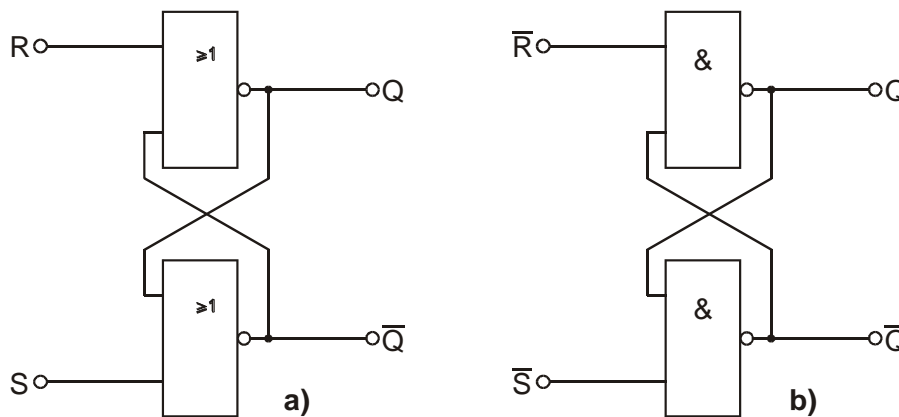


Abb. 3: Schaltung von RS-Flipflops a) aus NOR- und b) aus NAND-Gattern

Hinweis: Die Verknüpfungstabellen sollten in folgender Reihenfolge aufgenommen werden:

a)

R	S
1	1
1	0
0	0
0	1
0	0

b)

R̄	S̄
0	0
1	0
1	1
0	1
1	1

weil das Verknüpfungsergebnis bei der Eingangskombination  $R = S = 0$  (bzw.  $\bar{R} = 1, \bar{S} = 1$  bei Schaltung b)) von dem vorhergehenden Zustand der Eingänge abhängt. Man beachte also die Veränderungen an den Ausgängen Q und Q̄, wenn man R oder S auf 1 (bzw.  $\bar{R}$  oder  $\bar{S}$  auf 0)

setzt. Die Eingangskombination  $R = S = 1$  (bzw.  $\bar{R} = \bar{S} = 0$ ) führt zu dem nicht definierten Zustand  $Q = \bar{Q} = 0$  (bzw.  $Q = \bar{Q} = 1$ ).

- Ein steuerbares RS-Flipflop verfügt über (mindestens) einen weiteren Eingang. Der logische Zustand dieses Einganges legt fest, ob die Information am Set- bzw. Reset-Eingang übernommen wird oder nicht.

Die in Abb. 4 gezeigten steuerbaren Flipflops werden aufgebaut und die Verknüpfungstabellen aufgenommen. Es sollte wieder die unter 2.) gewählte Reihenfolge verwendet werden, um die Flipflops vergleichen zu können, jeweils für  $C = 0$  und  $C = 1$  !

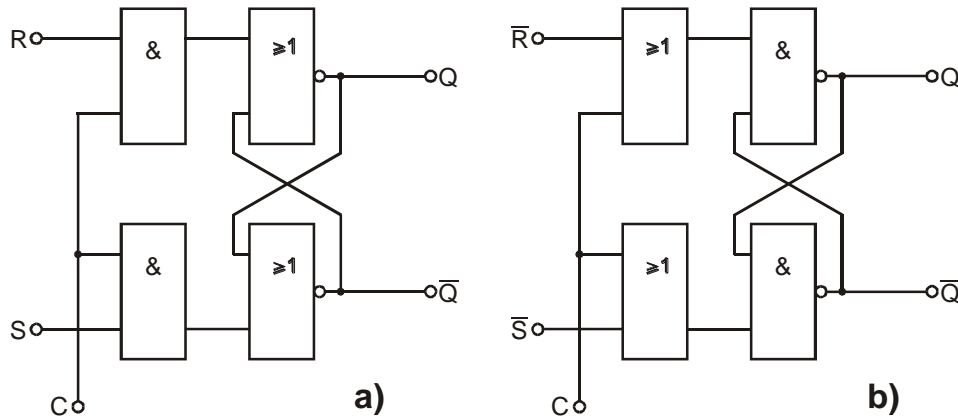


Abb. 4: Steuerbare RS-Flipflops a) 1-aktiv und b) 0-aktiv.

- In einem JK-Master-Slave-Flipflop sind zwei steuerbare Flipflops hintereinander geschaltet. (Durch zusätzliche Eingänge am Slave-Flipflop können die Ausgänge unabhängig vom Takt an C gesetzt werden.) Das JK-Flipflop aus Abb. 5 wird aufgebaut und das Verhalten bezüglich der Übernahme einer Eingangsinformation nach einem Taktimpuls in Form einer Tabelle dargestellt. Dafür wird für den **Eingangszustand  $J = K = 1$**  der Zusammenhang zwischen dem Takt an C und dem Ausgang Q in einem Impulsdigramm aufgenommen. Bestimmen Sie das Verhältnis der Frequenzen an C und Q.

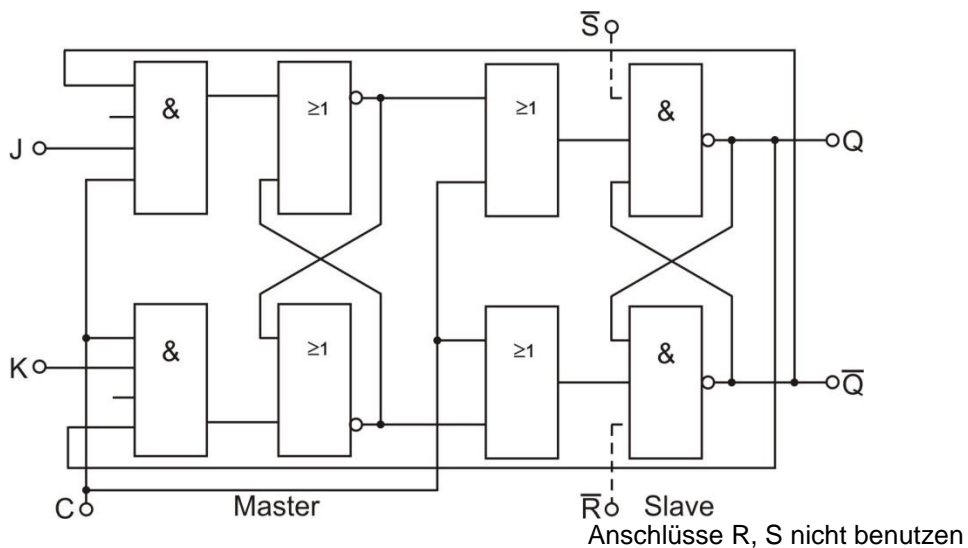


Abb. 5: Taktzustandsgesteuertes JK-Master-Slave-Flipflop mit taktunabhängigen Set/Reset - Eingängen.

- Aus vier JK-Flipflops wird ein 4-bit Digitalzähler aufgebaut (Abb. 6a) und auf seine Funktion überprüft. Benutzen Sie hierbei die Taste „Einzeltakt“. In dem Impulsdigramm (Abb. 6b) sind

die Ausgangsimpulse der einzelnen Stufen (in Abhängigkeit von der Zeit) gezeigt. Erstellen Sie eine Übersetzungstabelle von Dezimal- zu Binärzahlen.

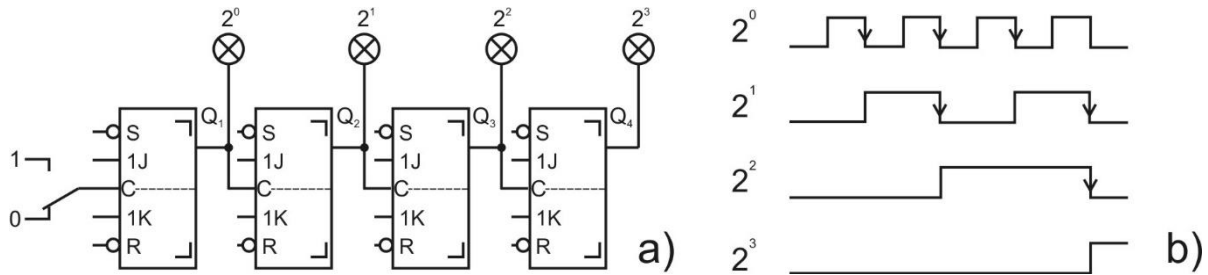


Abb. 6: 4-bit Binärzähler aus 4 JK-Flipflops, Impulsiagramm

6. Der Zähler wird um eine Overflow-Anzeige erweitert.

Der unter 5.) aufgebaute Zähler stellt Zahlen von 0 bis 15 im Binärcode dar. Sollen mehr als 15 Impulse gezählt werden, könnte dies im Prinzip durch Nachschaltung weiterer JK-Flipflops geschehen. Hier ist jedoch ein anderer Weg zu beschreiten: Das Aufleuchten einer weiteren Lampe nach dem 15. Zählimpuls signalisiert das Überschreiten des Zählumfanges.

Am Ausgang des Vierfach-NAND-Gatters erscheint „0“, sobald alle 4 Lampen des Zählers leuchten (beim 15. Impuls). Die Overflow-Anzeige soll allerdings erst ab dem 16. Impuls aufleuchten. Dafür wird die Information über ein sogenanntes Schieberegister um einen Takt verzögert. Ein Schieberegister ist ähnlich wie ein Zähler aus hintereinandergeschalteten Master-Slave Flipflops aufgebaut. Die Eingänge J und K sind aber nicht permanent auf 1, sondern der bei einem Taktimpuls vorhandene Zustand des J Eingangs, der invertiert auch an K anliegen muss, wird mit jedem folgenden Takt in das jeweilige folgende Flipflop geschoben.

Benutzt man also den 1. Ausgang des Schieberegisters, wird genau beim 16. Impuls das RS-Flipflop mit der Overflow-Leuchte gesetzt, die somit das 5. Bit des Zählergebnisses darstellt. Das RS-Flipflop kann mit den anderen Flipflops zusammen zurückgesetzt werden. Auf diese Weise ist der Zählbereich bis 31 erweitert worden. Was ist der Nachteil dieser Methode?

## 4 Ein Digitalzähler als Stoppuhr

Für eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung gilt:

$$s = \frac{1}{2} a t^2 + v_o t + s_o$$

Durch Variation der Strecke soll die quadratische Abhängigkeit nachgewiesen werden, d.h. Sie sollen zeigen, dass der Exponent des ersten Summanden 2 ist. Dafür sollen Sie die Laufzeit einer Kugel auf einer schiefen Ebene über verschiedene Entfernungen messen. Beim Einsatz des Zählers als Stoppuhr werden für die Dauer der zu messenden Zeit Impulse konstanter Frequenz auf den Zähleringang gegeben.

Die Lichtschranken an dem RS-Flipflop sind über ein AND-Gatter mit dem Taktsignal verknüpft. Wird die erste Lichtschranke unterbrochen, befindet sich die Kugel also in der Lichtschranke, sorgt sie dafür, dass das Taktsignal an dem Zähler und an dem Schieberegister anliegt. Gleichzeitig werden aber der Zähler und die Overflow-Leuchte zurückgesetzt. Solange also die Kugel in der Lichtschranke ist, liegt zwar das Taktsignal an, aber der Zähler kann nicht hochzählen. Erst wenn die Kugel die Lichtschranke verlässt, fängt der Zähler an zu zählen. Tritt die Kugel in die zweite Lichtschranke, wird das RS Flipflop zurückgesetzt. Es sperrt dann das Taktsignal und der Zähler bleibt stehen.

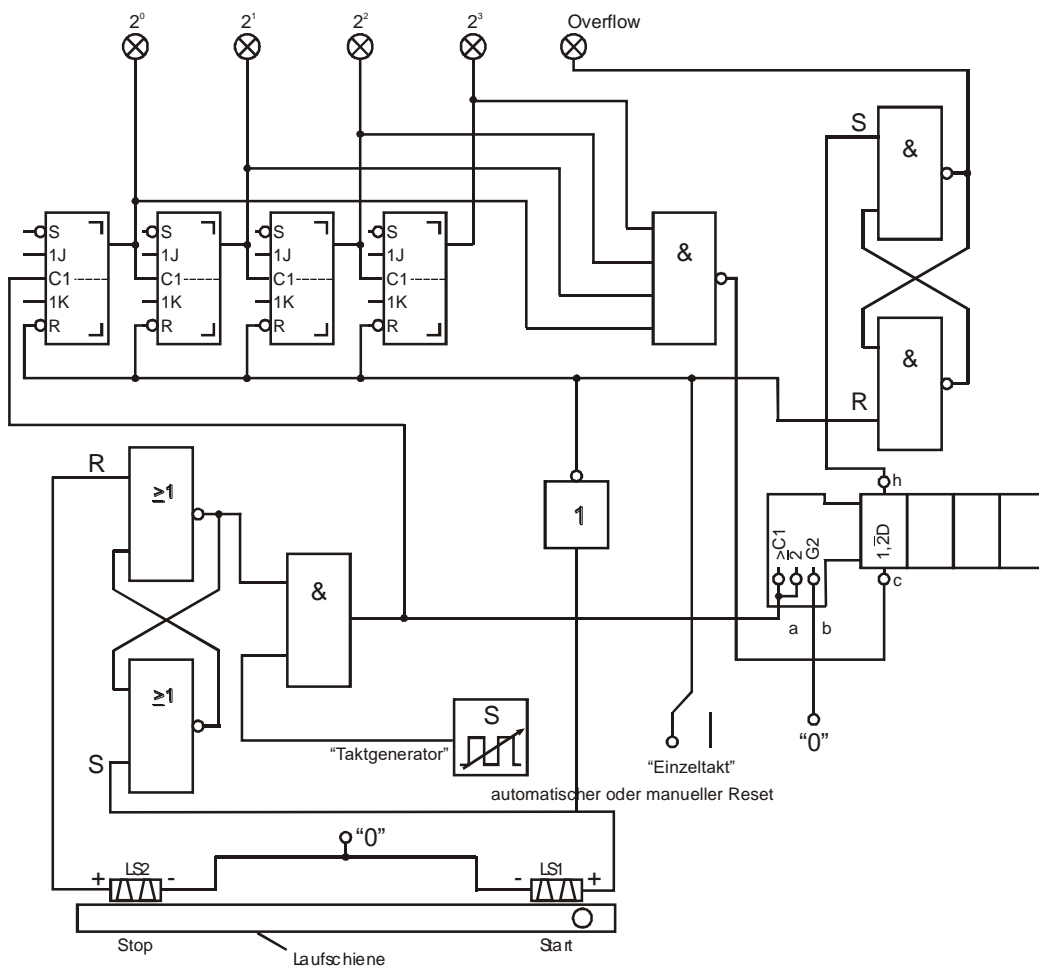
Es ist nicht nötig, physikalische Grundeinheiten für die Strecken- und Zeitmessung zu benutzen. Es ist nur wichtig, dass Sie für alle Messungen die gleichen nehmen. Was sind Ihre Einheiten?

## AUFBAU EINES DIGITALZÄHLERS

Um den Aufbau optimal nutzen zu können, stellen Sie die Taktrate so groß ein, dass für die längste Strecke ca. 30 Impulse gemessen werden. Messen Sie für mindestens 8 verschiedene über die Gesamtlänge verteilte Strecken die Laufzeit der Kugel.

Wichtig: Berücksichtigen Sie dabei, dass die Kugel den Zähler erst starten lässt, wenn sie die erste Lichtschranke vollständig verlassen hat, ihn aber schon beim Eintritt in die zweite Lichtschranke wieder stoppt

Zur Bestimmung des Exponenten sollen Sie eine lineare Regression durchführen, Sie müssen das Problem also mit Hilfe der Logarithmusgesetze linearisieren, wobei der gesuchte Exponent die Steigung der Geraden sein soll. Stellen Sie einen Lösungsweg dar. Welche Randbedingungen sind dafür nötig und was bedeutet das für Ihre Messdurchführung? Diskutieren Sie Abweichungen vom erwarteten Ergebnis.



**Abb. 7:** Digitale Stoppuhr mit Steuerung durch Lichtschranken