



Digitalelektronik 4

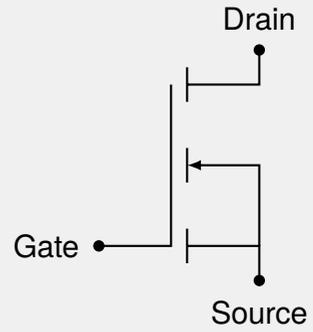
Vom Transistor zum Bit

Stefan Rothe

2015-04-21



Inhalt



Transistor



Logikgatter

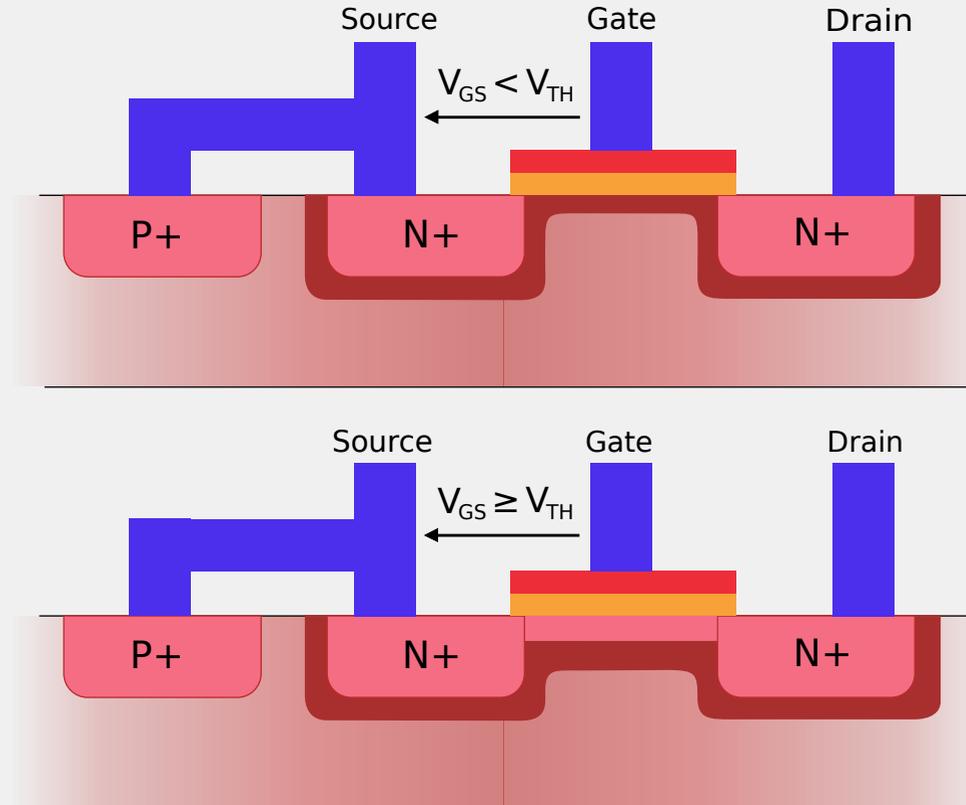


Flipflop



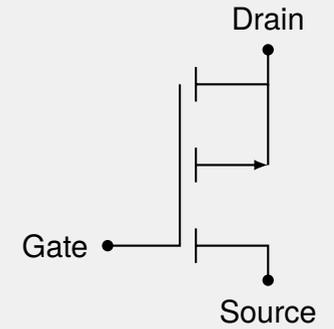
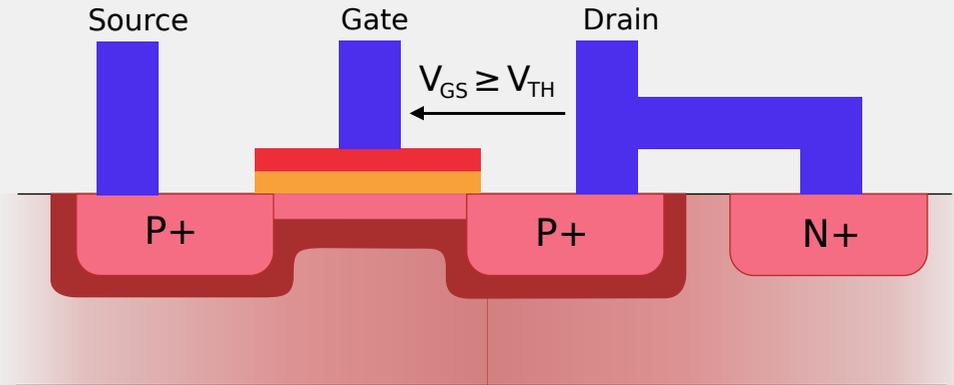
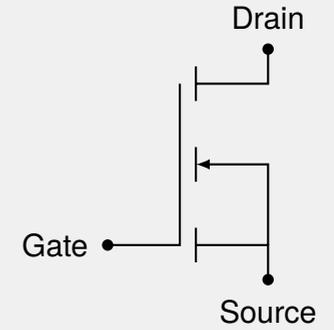
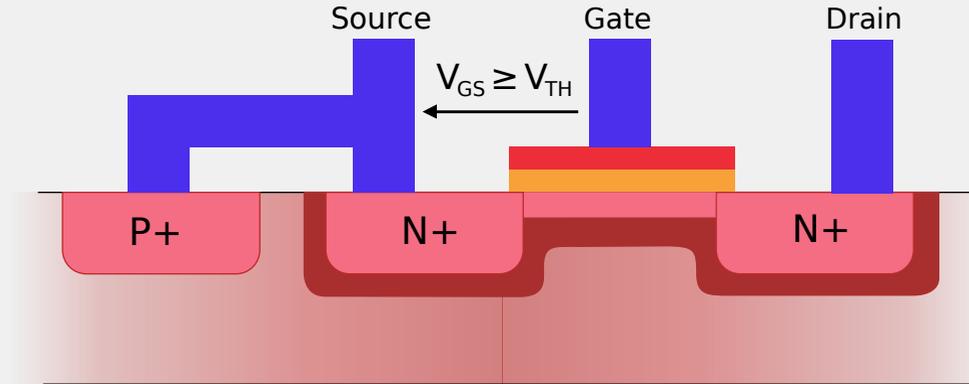
Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor

englisch: *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOS FET)*





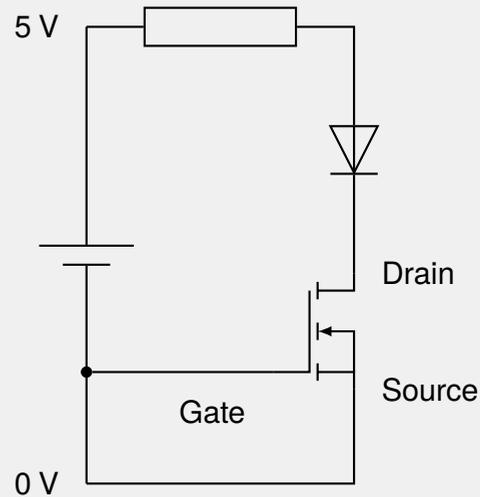
NMOS und PMOS



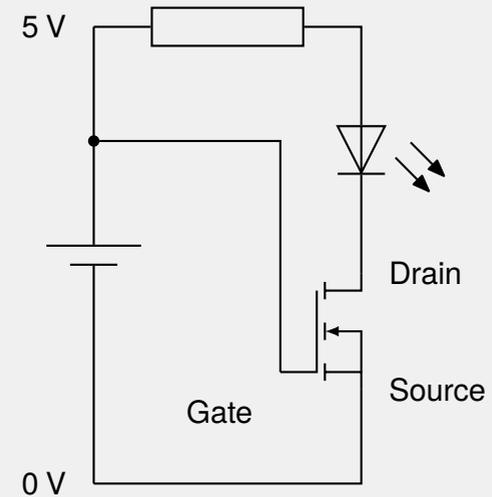


NMOS-FET: Funktionsweise

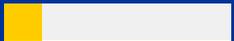
- Wenn zwischen dem *Gate* und *Source* eine genügend hohe Spannung vorhanden ist, so wird die Strecke zwischen *Source* und *Drain* leitend.



LED leuchtet nicht



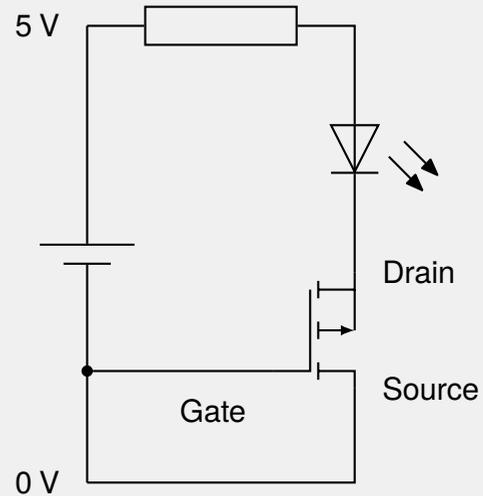
LED leuchtet



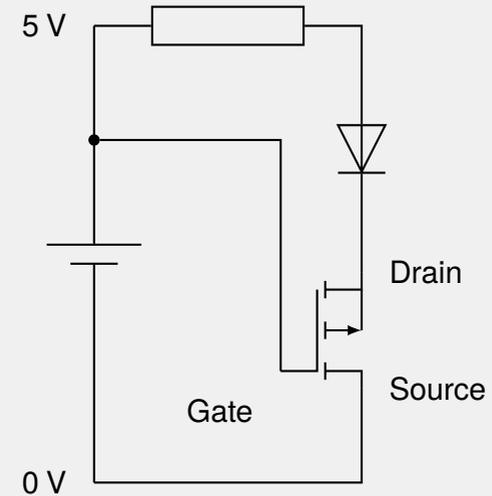


PMOS-FET: Funktionsweise

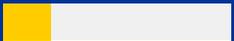
- Wenn zwischen dem *Gate* und *Drain* eine genügend hohe Spannung vorhanden ist, so wird die Strecke zwischen *Source* und *Drain* leitend.



LED leuchtet



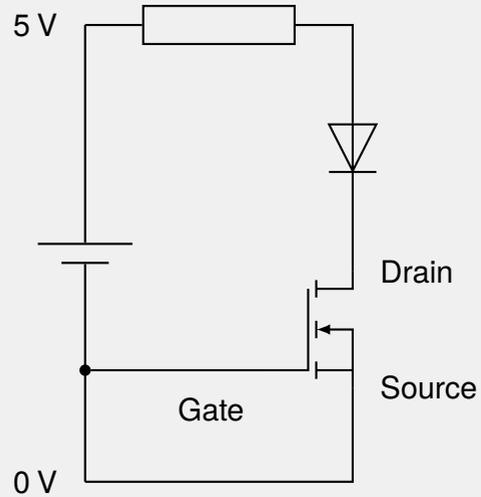
LED leuchtet nicht



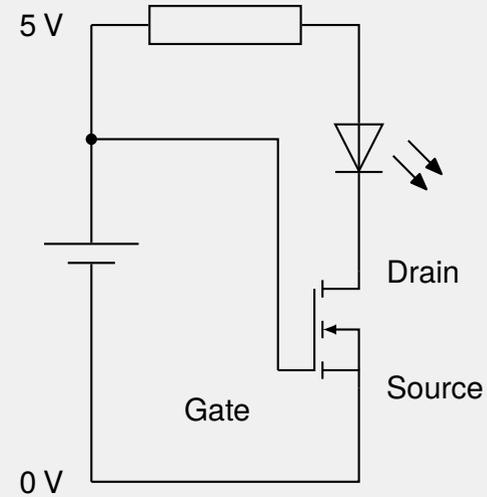


Aufgabe: NMOS-FET

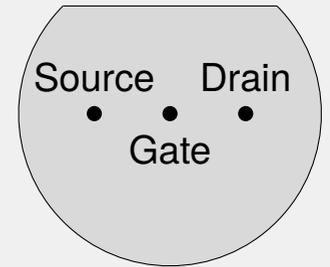
Testen Sie diese NMOS-FET-Schaltung:



LED leuchtet nicht



LED leuchtet

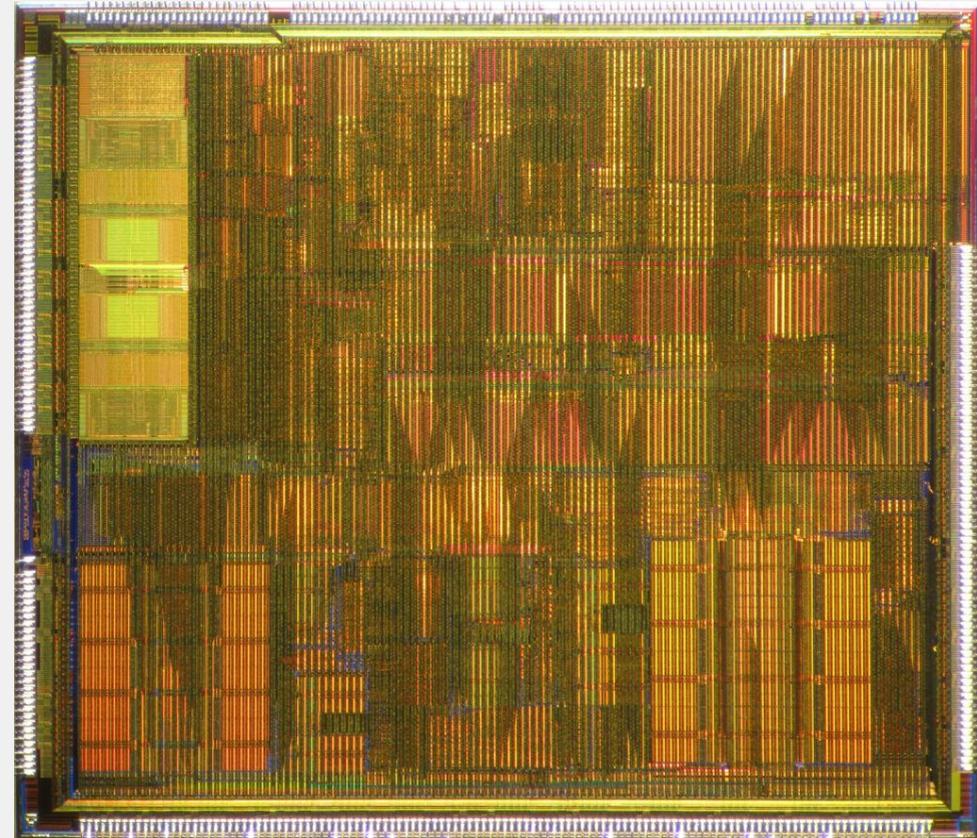


Pin-Belegung

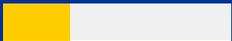


Integrierte Schaltkreise (IC)

- englisch: *Integrated Circuit*
- Prozessoren, Grafikprozessoren, Speicherchips, Mikrocontroller, ...
- Heute 1'400'000'000 Transistoren auf 177 mm^2 (Intel Haswell GT2 4C, 2014)
- Heute Polysilizium statt Metall (Aluminium)



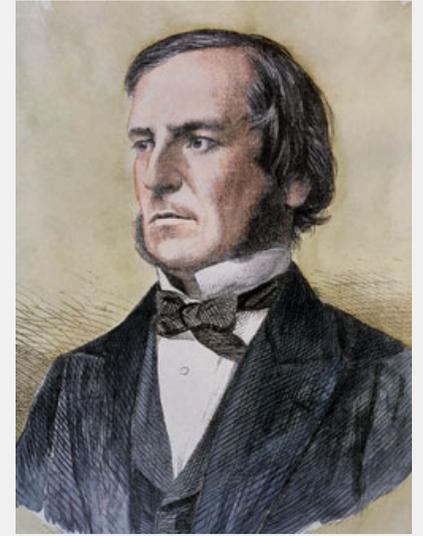
Rechts: Foto eines Intel Pentium MMX Prozessors von 1995 mit 4'500'000 Transistoren auf 141 mm^2





Boolesche Algebra

- mathematische Struktur
- Verallgemeinerung der Mengenlehre
- Zwei Elemente: 0 und 1
- Drei Grundoperationen: UND, ODER, NICHT



George Boole

Bezeichnung	Symbol
Konjunktion, UND	\wedge
Disjunktion, ODER	\vee
Negation, NICHT	\neg



Boolesche Algebra: Grundoperationen

A	B	$A \wedge B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

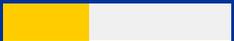
Konjunktion
(UND)

A	B	$A \vee B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Disjunktion
(ODER)

A	$\neg A$
0	1
1	0

Negation
(NICHT)





NAND-Operation

Die *NAND*-Operation (von engl. *not and*) in einer Schaltalgebra ist definiert als eine Konjunktion mit anschließender Negation:

$$A \uparrow B = \neg(A \wedge B)$$

Durch die *NAND*-Operation lassen sich die drei Grundoperationen ausdrücken:

$$A \wedge B = (A \uparrow B) \uparrow (A \uparrow B)$$

$$A \vee B = (A \uparrow A) \uparrow (B \uparrow B)$$

$$\neg A = A \uparrow A$$

A	B	A \uparrow B
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Somit lassen sich sämtliche Operationen in der Booleschen Algebra durch die *NAND*-Operation ausdrücken.



NAND-Gatter

- Physikalische Realisierung einer *NAND*-Operation
- Grundbaustein für alle digitalen Schaltungen

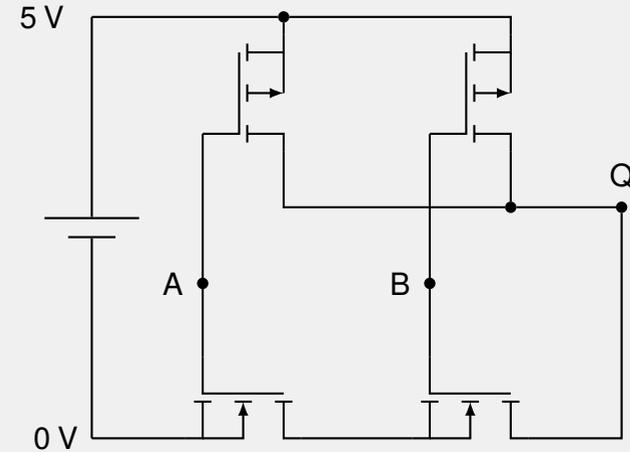




NAND-Gatter: Schaltung

Ein *NAND*-Gatter wird aus je zwei NMOS- und PMOS-Transistoren aufgebaut.

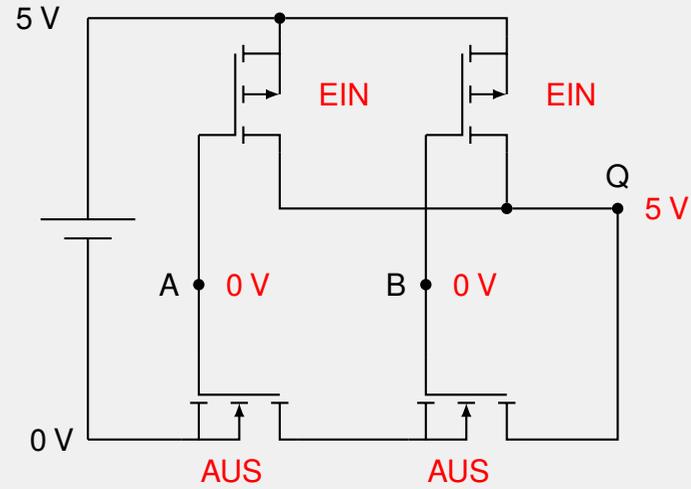
- NMOS-Transistoren seriell 0 V
- PMOS-Transistoren parallel 5 V
- Eingänge A und B an *Gate*





NAND-Gatter: Funktionsweise 1

A und B 0 V:

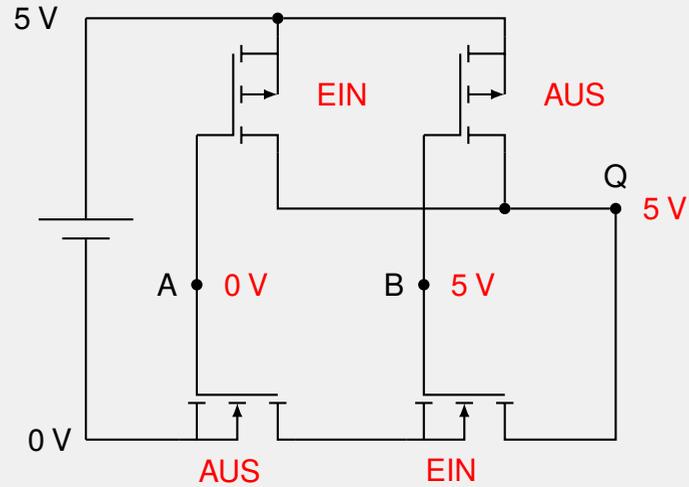


A	B	Q
0	0	1



NAND-Gatter: Funktionsweise 2

A 0 V, B 5 V:

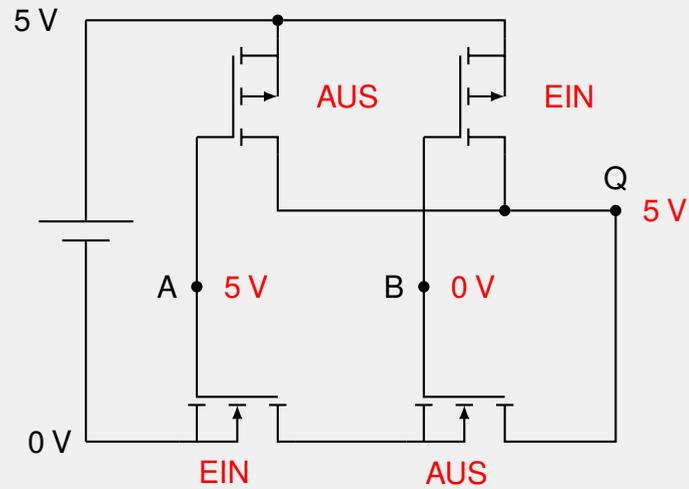


A	B	Q
0	0	1
0	1	1



NAND-Gatter: Funktionsweise 3

A 5 V, B 0 V:

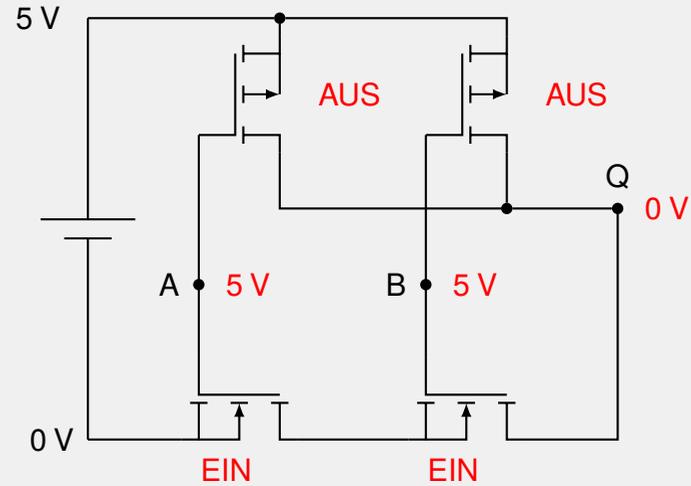


A	B	Q
0	0	1
0	1	1
1	0	1



NAND-Gatter: Funktionsweise 4

A und B 5 V:

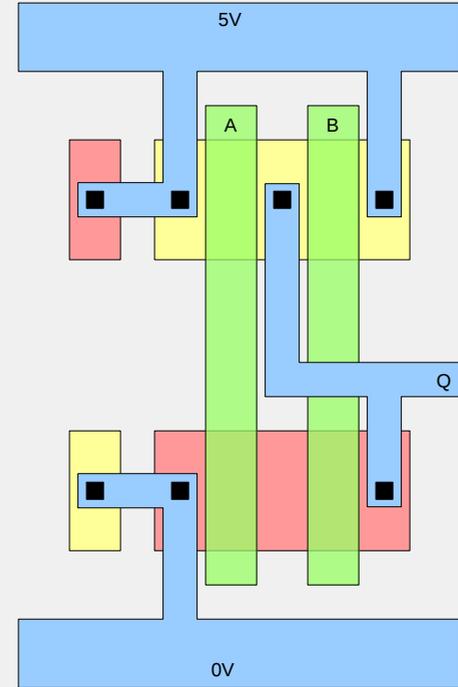
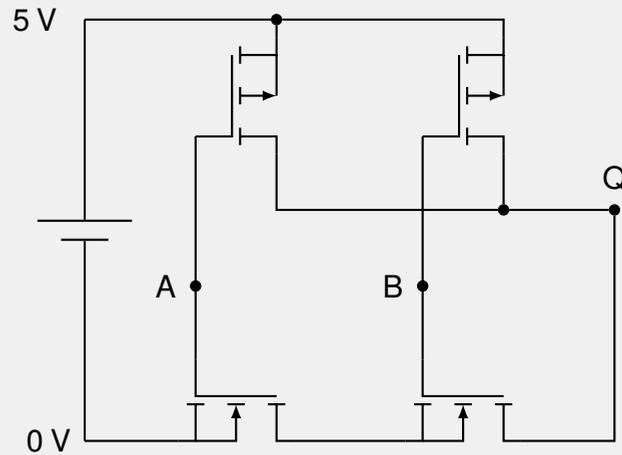


A	B	Q
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



NAND-Gatter: Physikalischer Aufbau

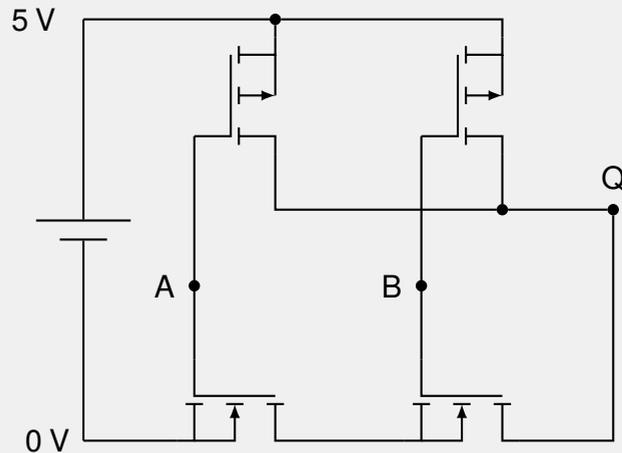
Ein *NAND*-Gatter kann sehr physikalisch effizient aufgebaut werden:





NAND-Gatter: Zusammenfassung

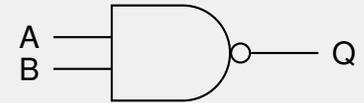
- Das *NAND*-Gatter hat zwei Eingänge und einen Ausgang.
- Am Ausgang liegt nur eine hohe Spannung vor, wenn an beiden Eingängen keine Spannung anliegt.



Schaltung

A	B	Q
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Funktionstabelle



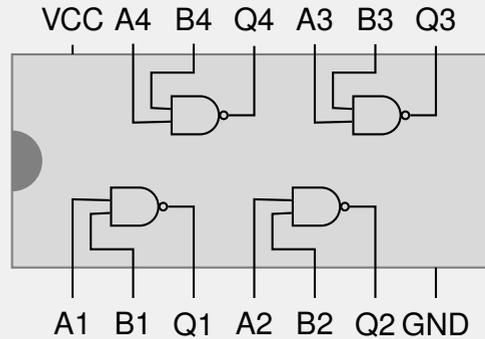
Symbol





74HC00 NAND-Chip

Der 74HC00-Chip enthält vier NAND-Logikgatter.

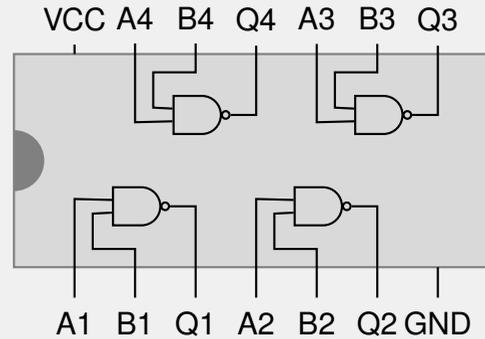


Symbol	Bedeutung
VCC	Versorgungsspannung 5 V
GND	Masse 0 V
A1 bis A4	erster Eingang des NAND-Gatters
B1 bis B4	zweiter Eingang des NAND-Gatters
Q1 bis Q4	Ausgang des NAND-Gatters



Aufgabe 7: NAND-Chip

Steuern Sie eine Leuchtdiode über ein NAND-Gatter. Die Leuchtdiode wird am Ausgang des NAND-Gatters angeschlossen. Sie sollte nur leuchten, wenn beide Eingänge auf 0 V geschaltet sind.

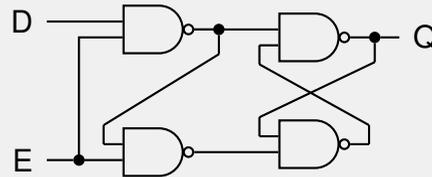


A	B	Q
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



D-Flipflop

- Das Signal auf Eingang D (*data*) gibt den Wert des Bits an.
- Wird der Eingang E (*enable*) auf 1 gesetzt, so wird der Wert von Eingang D gespeichert.
- Der Wert kann bei Ausgang Q ausgelesen werden.
- Speichert ein Bit



Schaltung

D	E	Q
0	0	unverändert
0	1	0
1	0	unverändert
1	1	1

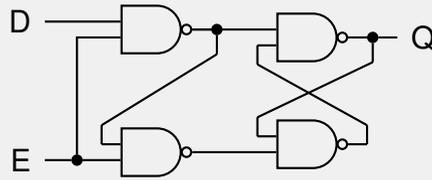
Funktionstabelle



Aufgabe 8: D-Flipflop

Bauen Sie eine D-Flipflop-Schaltung. Der Wert des Bits soll durch eine Leuchtdiode dargestellt werden.

Zusatzaufgabe a: Schliessen Sie das D-Flipflop am Arduino an. Schreiben Sie ein Programm, welches das kleinste Bit einer Zahl im D-Flipflop speichert.



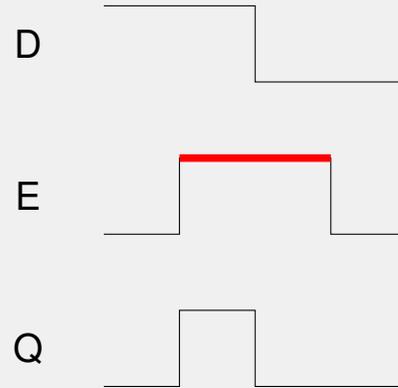
D	E	Q
0	0	unverändert
0	1	0
1	0	unverändert
1	1	1



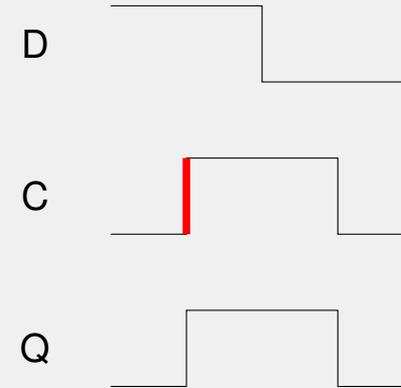
Taktflankensteuerung

Problem: bei D-Flipflop: Ausgang unstabil, wenn Signal an E anliegt.

Lösung: Nur Speichern bei Übergang von 0 nach 1.



Ausgang unstabil



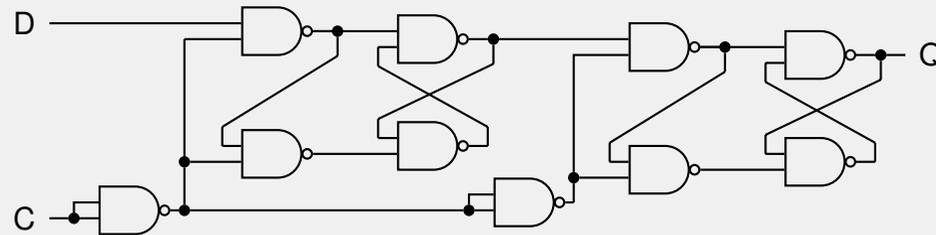
Ausgang stabil



taktflankengesteuertes D-Flipflop

Grundbaustein für Datenspeicherung

- Ein Signal auf Eingang D (*data*) gibt den Wert des Bits an.
- Ein Übergang von 0 zu 1 auf Eingang C (*clock*) gibt an, dass der Wert von D gespeichert werden soll.
- Das Bit kann bei Ausgang Q ausgelesen werden.
- Speichert ein Bit



Schaltung

D	C	Q
0	↑	0
0	-	unverändert
1	↑	1
1	-	unverändert

Funktionstabelle