



# Technische Informatik 1

**Prof. Dr. Rolf Drechsler**  
**Christina Plump**

# Überblick

## Teil 1: Der Rechneraufbau (Kapitel 2-5)

- Rechner im Überblick
- Pipelining
- Speicher
- Parallelverarbeitung

## Teil 2: Der Funktionalitätsaufbau (Kapitel 6-12)

- **Kodierung**
  - Zeichen
  - Zahlen
- Grundbegriffe, Boolesche Funktionen
- Darstellungsmöglichkeiten
- Schaltkreise, Synthese, spezielle Schaltkreise



# Kapitel 12: Realisierung digitaler Bausteine

Transistoren

Logische Gatter

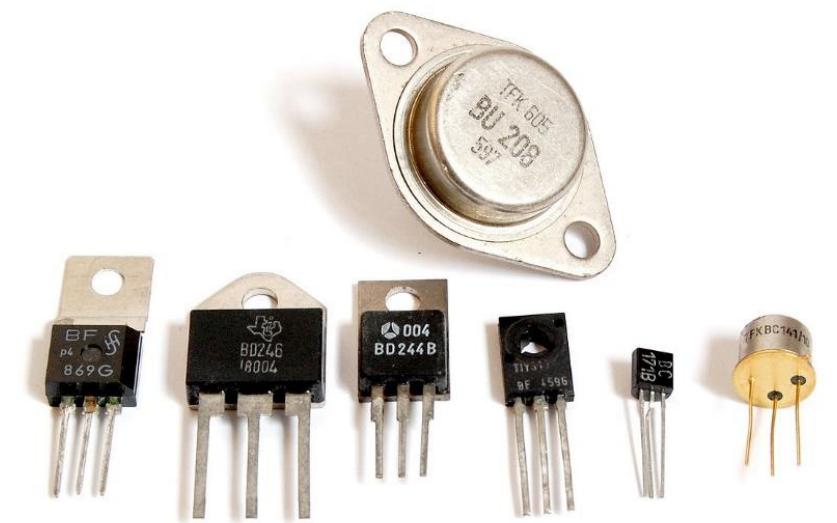
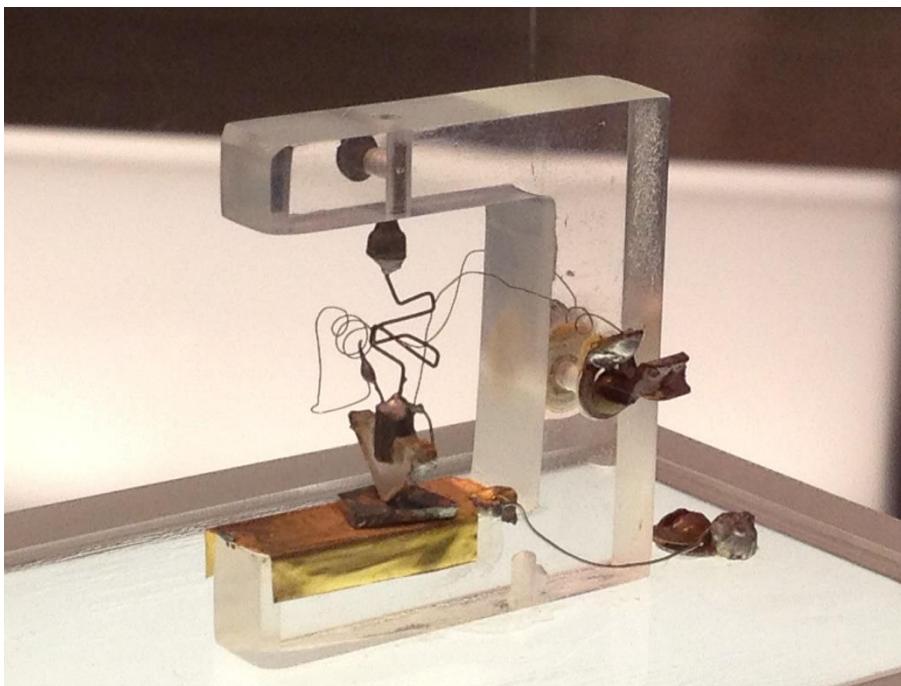
Flip Flops

1-Bit Speicherzelle

# Unterschiede zwischen analogen und digitalen Schaltkreisen

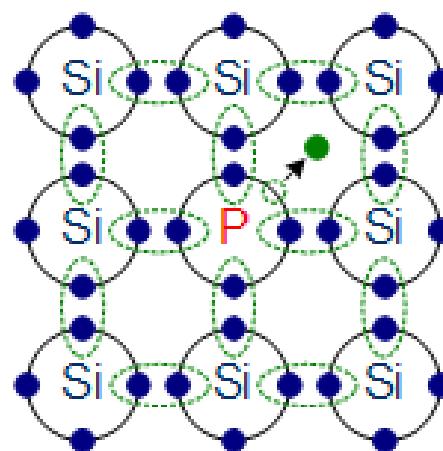
Analoger Schaltkreis	Idealer digitaler Schaltkreis
kontinuierlicher Wertebereich	diskreter Wertebereich
Laufzeiteffekte, kein eindeutiger Schaltzeitpunkt	verzögerungsfrei
Eingangsstrom/-spannung; Ausgangsstrom/-spannung	Ein- und Ausgangswert
Verlustleistung	verlustfreie Berechnung

## Entwicklung / Bauform

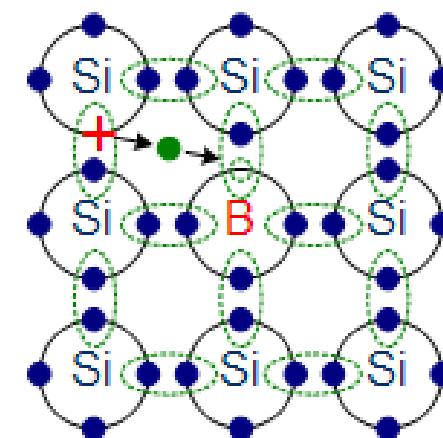


## Aufbau: Diode (1)

- Wie geht eigentlich Dotierung?
  - Silizium, Gallium, Arsenid
  - Bandlücken/Überschüssige Elektronen



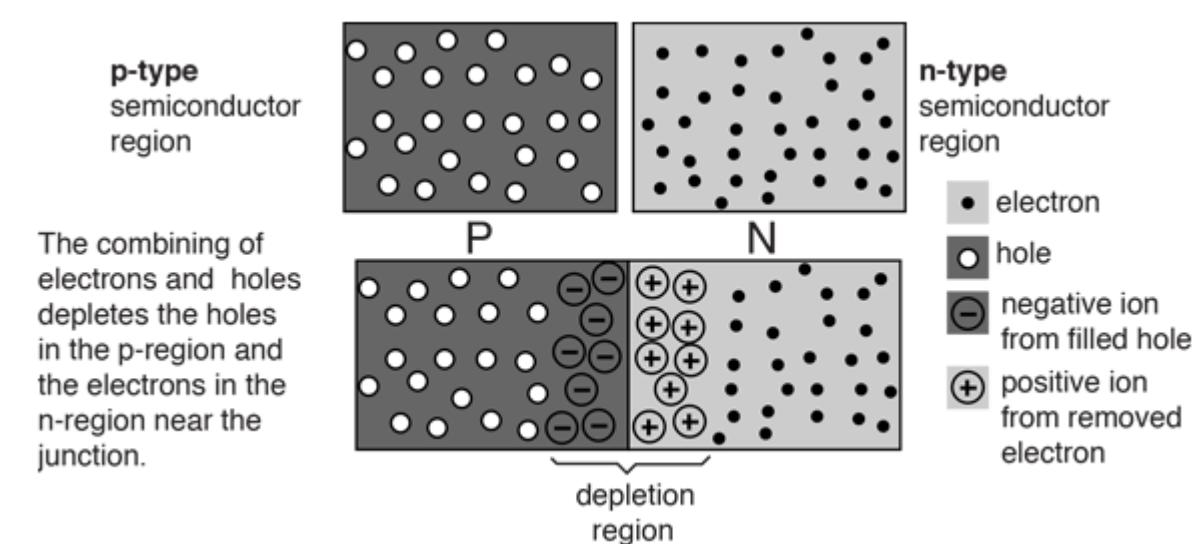
Das Phosphor-Atom gibt sein 5. Elektron ab, das keine Bindung eingehen kann. Es dient als freier Ladungsträger.



Die freie Stelle am Bor-Atom wird von anderen Elektronen aufgefüllt. Dabei entstehen an anderer Stelle neue Löcher. Diese Leerstellen wandern scheinbar entgegengesetzt zum Elektronenfluss

## Aufbau: Diode (2)

- P-N Übergang (Grenzfläche)
  - Freie Elektronen rekombinieren mit P-Band Löchern
  - Auffüllen eines Loches hinterlässt ein positives Ion
  - Verarmungszone baut elektrisches Potential auf
    - Geringe Leitfähigkeit



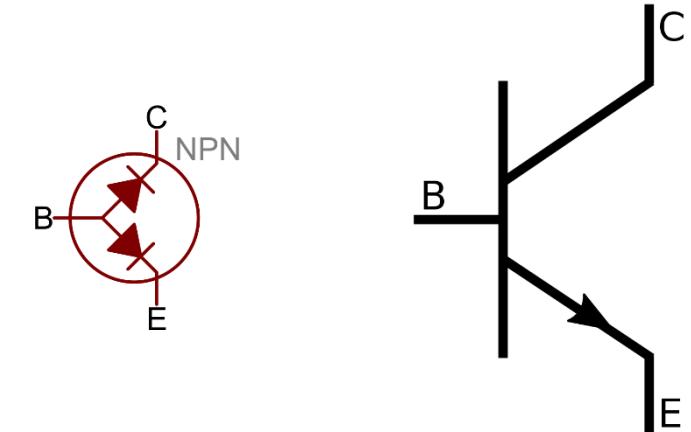
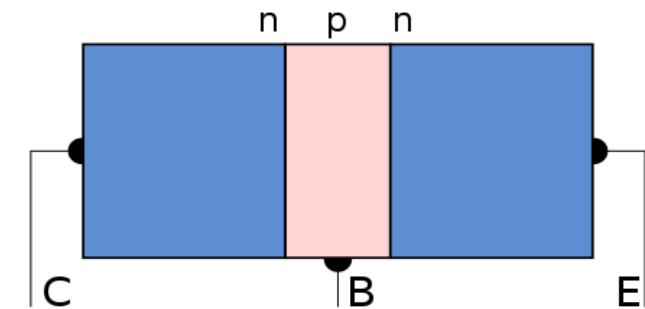
## Aufbau: Diode (3)

P-N Übergang (Grenzfläche)

- „Forward Bias“:
  - *Positive* Spannung an P-Kanal anlegen, Negative an N-Kanal
  - Elektronen gleichen Ionen in Sperrzone aus
    - Strom fließt
- „Negative Bias“
  - *Negative* Spannung an P-Kanal, Positive an N-Kanal
  - Mehr freie Elektronen werden aus N-Kanal gezogen
  - Sperrzone vergrößert sich
    - Kein Strom fließt

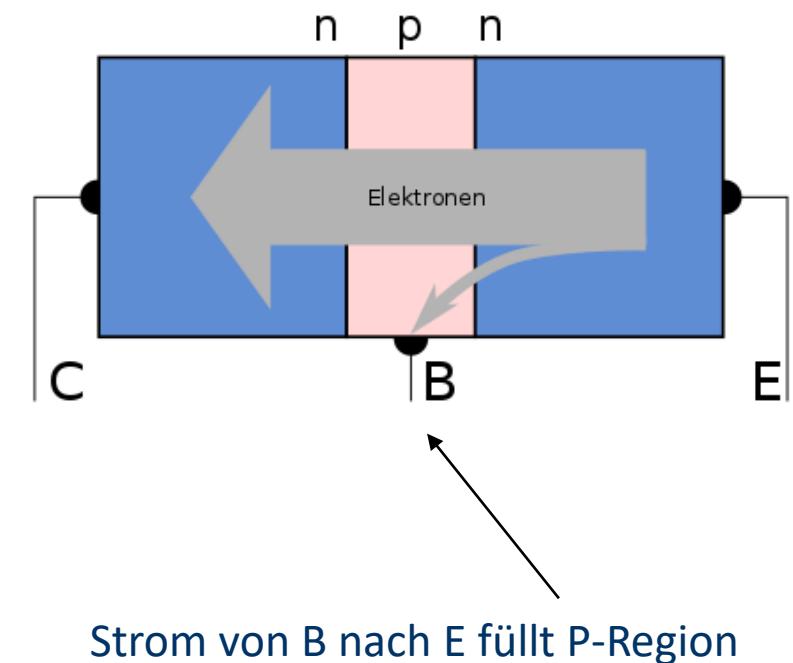
## Aufbau: Bipolarer Transistor

- Ein **bipolarer Transistor** besteht aus drei dotierten Bereichen, bezeichnet als
  - Kollektor (C)
  - Basis (B)
  - Emitter (E)
- Zwei gegenläufige Dioden
- Es existieren bipolare *npn*-Transistoren (hier gezeigt) und *pnp*-Transistoren
- Neben der Bipolar- wird auch die Metalloxidschicht (MOS)-Technik verwendet



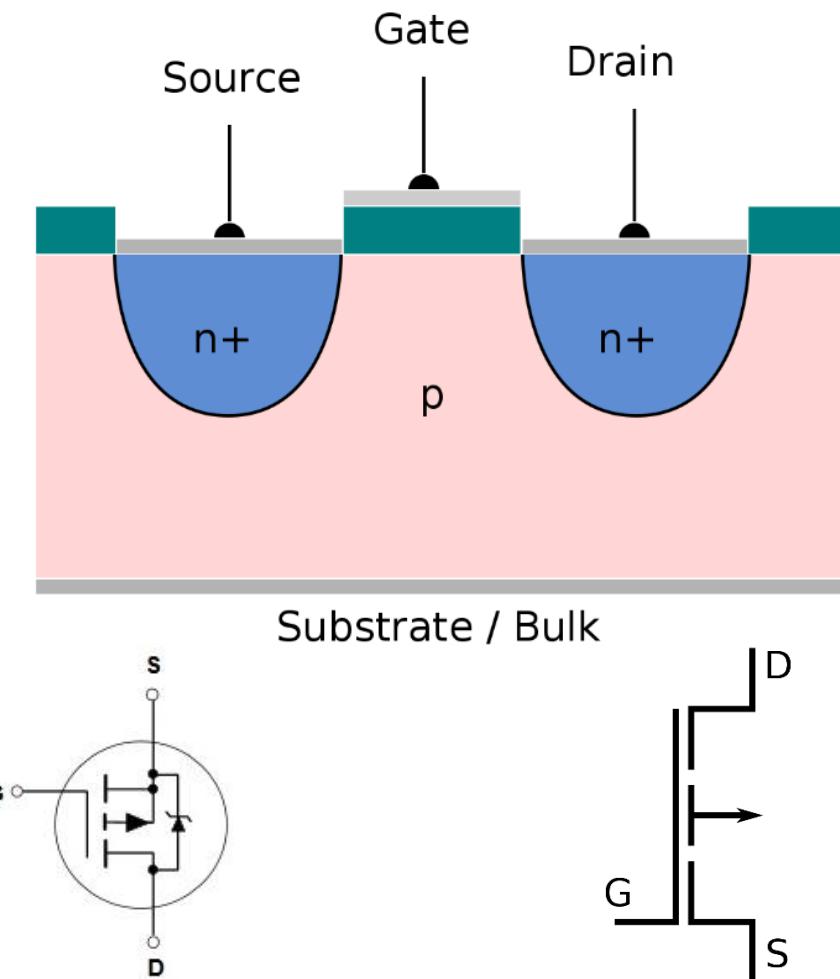
## Aufbau: Bipolarer Transistor

- Durch den „*Basis-Emitter-Strom*“ wird der Transistor für den Elektronenfluss von Emitter nach Kollektor leitend
- Ein vergleichsweise *kleiner* Basis-Emitter-Strom ( $I_{BE}$ ) kann einen vergleichsweise *großen* „*Emitter-Kollektor-Strom*“ ( $I_{EC}$ ) schalten



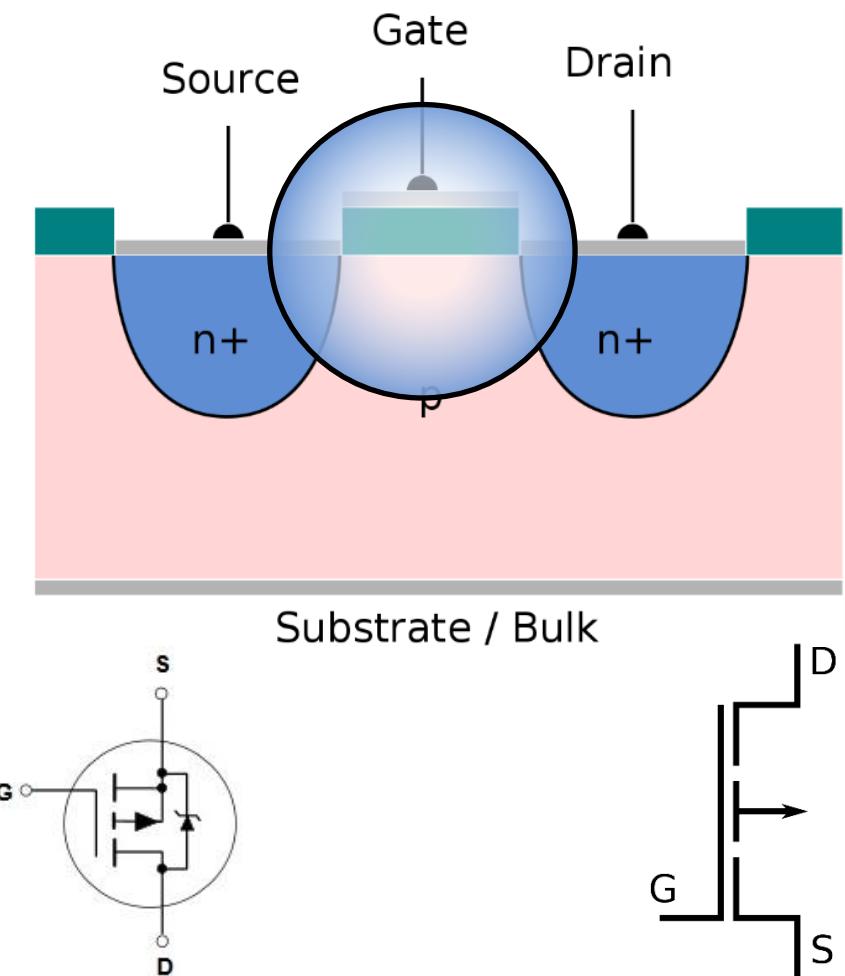
## Exkurs: Feldeffekttransistor

- Ein **Feldeffekttransistor (FET)** besteht aus drei dotierten Bereichen, bezeichnet als
  - Source (S)
  - Gate (G)
  - Drain (D)
- Es existieren *N-Kanal* (wie hier gezeigt) und *P-Kanal* FETs (es gibt weitere Typen)
- Im Vgl. zu einem klassischen Transistor ist der FET *spannungsgesteuert*
  - Weniger Verluste, höhere Verstärkung
  - Kleinerer Arbeitsbereich



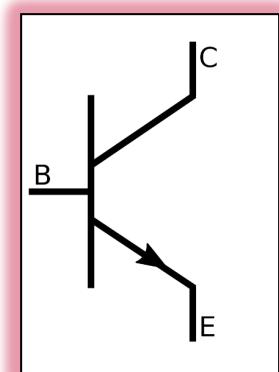
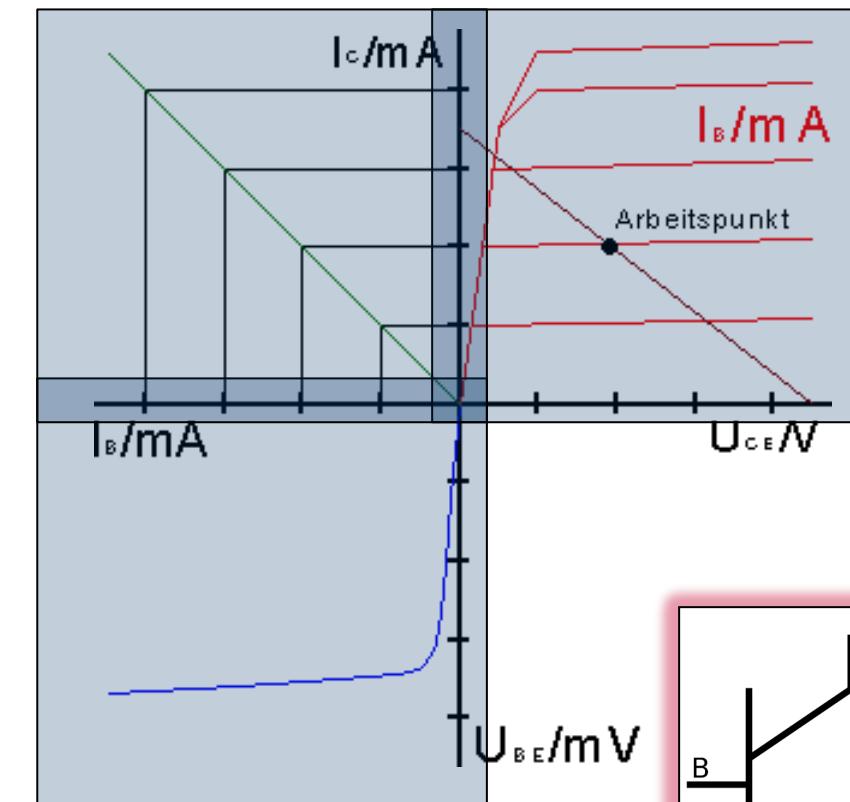
## Exkurs: Feldeffekttransistor

- Durch eine **Spannung**  $U_G$  am Gate bildet das dotierte Halbleitermaterial einen leitenden Kanal zwischen Source und Drain
- Mit einem FET kann durch eine Spannung ein großer Source-Drain-Strom geschaltet werden
  - Strom spielt beim „Laden“ oder „Umladen“ des Gates eine Rolle
- I.d.R. herstellungsbedingt „Body-Diode“



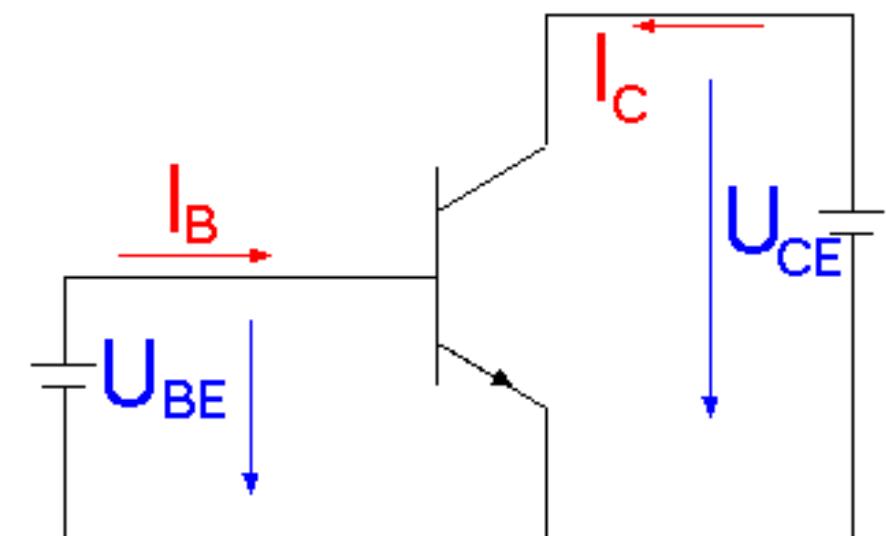
## Graphische Darstellung des Verhaltens

- Die Eigenschaften eines Transistors werden in einem Kennlinienfeld dargestellt
  - Eingangskennlinienfeld  
 $I_B = f(U_{BE})$
  - Ausgangskennlinienfeld  
 $I_C = f(U_{CE})$
  - Steuerkennlinienfeld  
 $I_C = f(I_B)$



## Einsatz

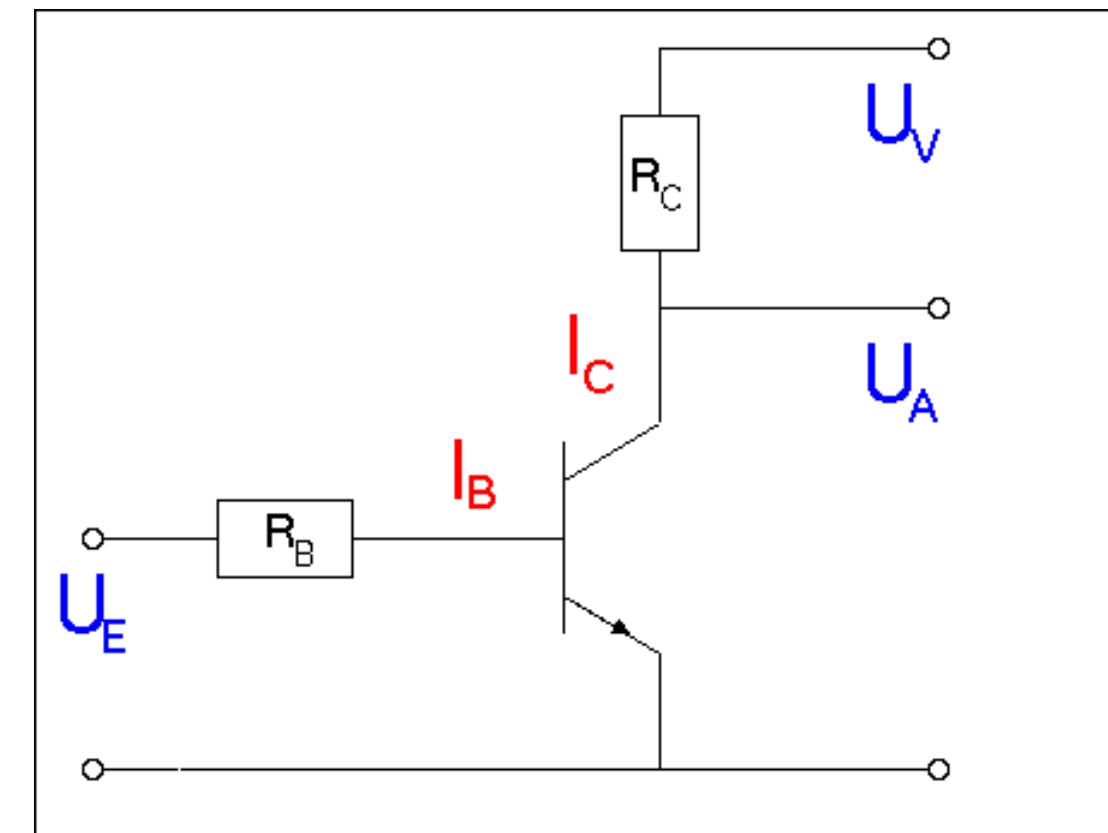
- Als **Schalter**:
  - $I_C$  fließt nur, wenn  $I_B$  fließt,
  - $I_B$  fließt, wenn  $U_{BE} > 0,6V$
- Als **Verstärker**:
  - $I_C$  ändert sich mit  $I_B$ ,
  - $I_C = c \cdot I_B$ , solange  $U_{CE} > 4V$ ,  $c$  durch Bauweise bestimmt



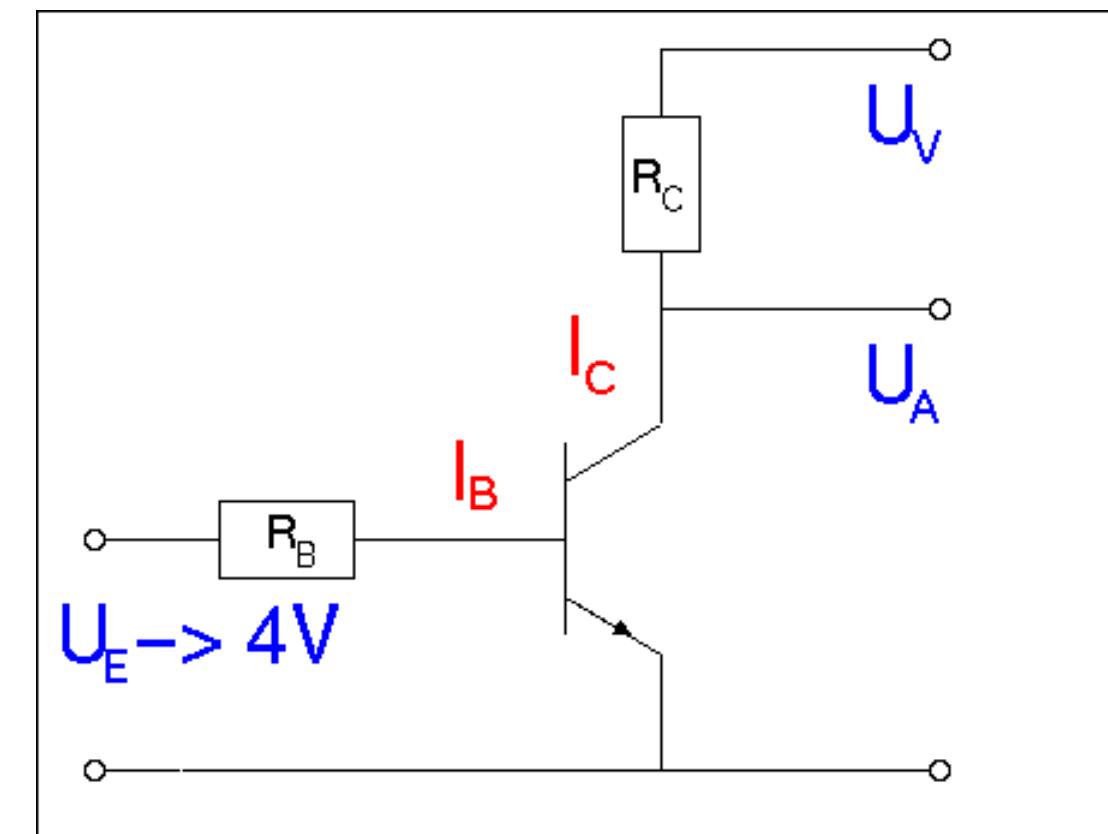
# Transistor als Schalter

Grundschaltung: die Widerstände verhindern Kurzschlüsse

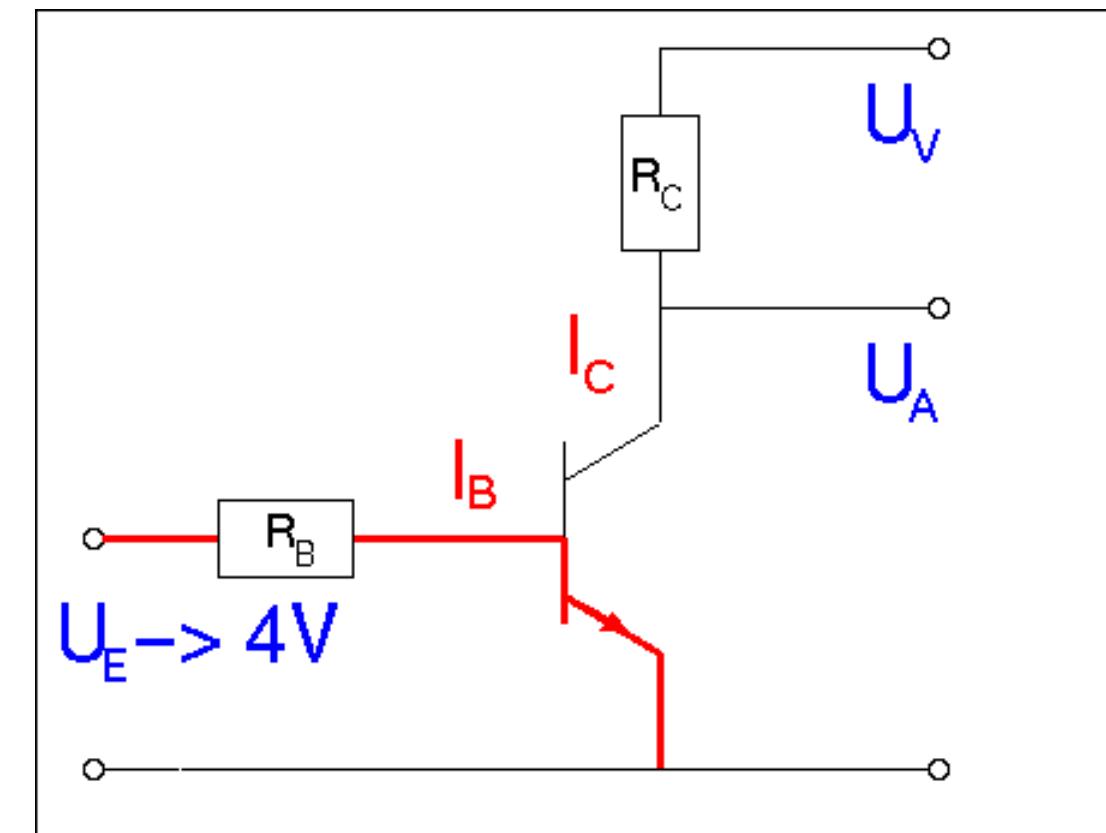
- $U_V$ : Versorgungsspannung
- $U_E$ : Eingangsspannung
- $U_A$ : Ausgangsspannung



# Geschlossener Schalter

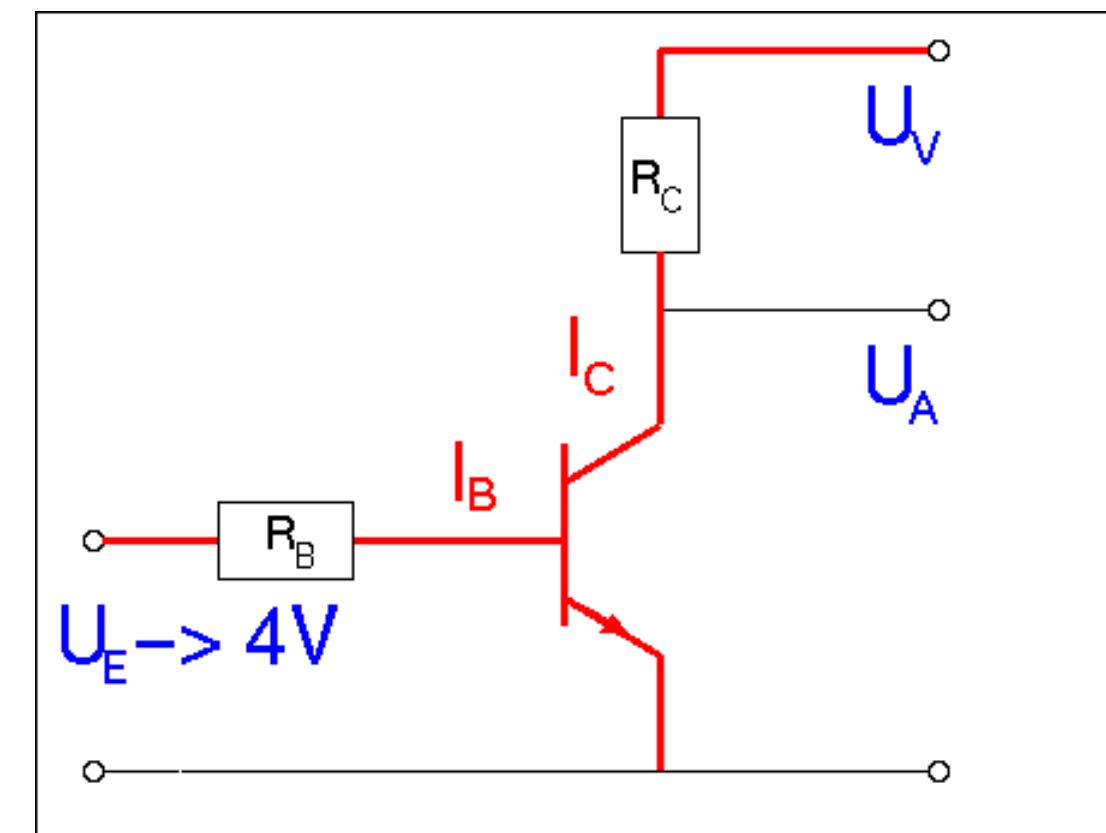


# Geschlossener Schalter

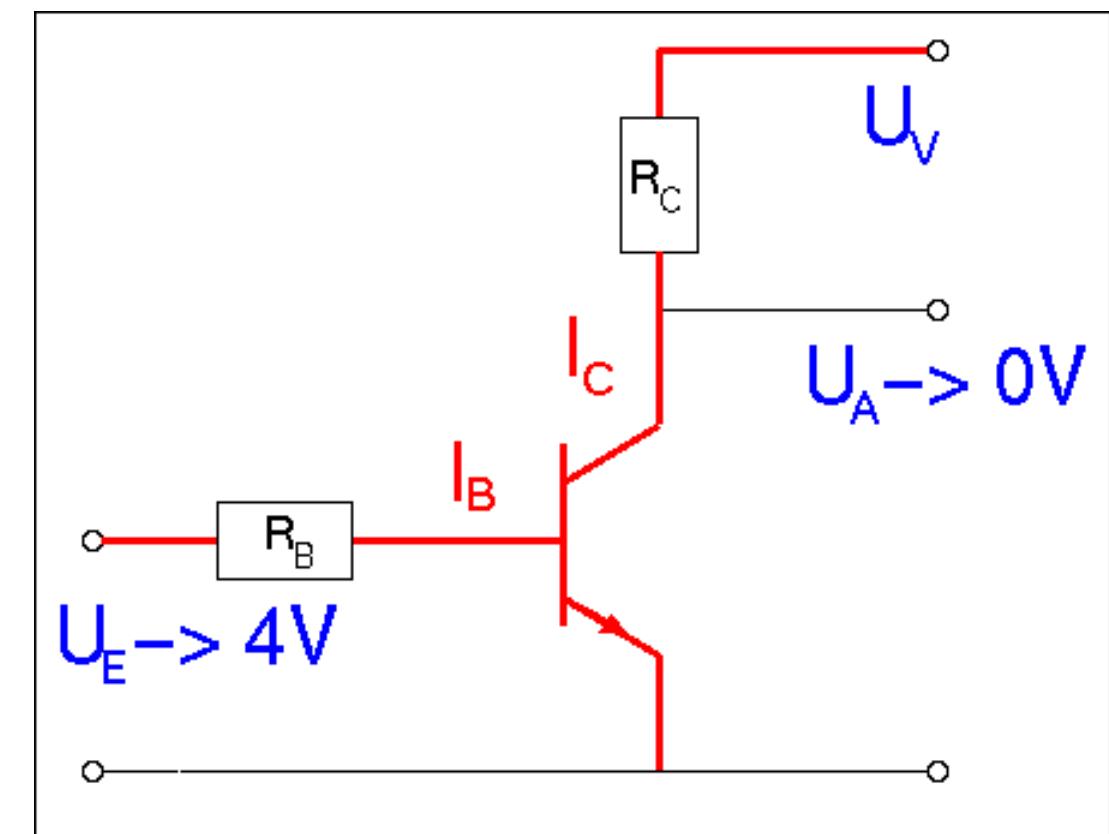


# Geschlossener Schalter

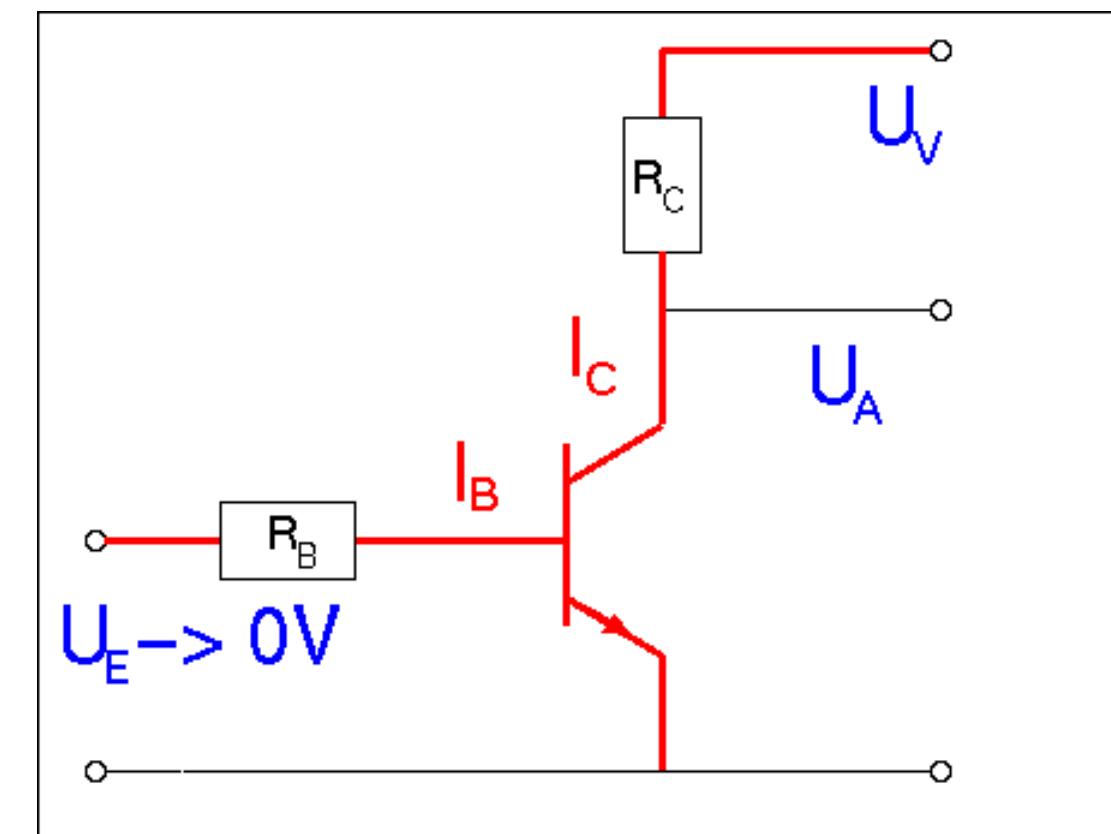
- $I_B = U_E * R_B \rightarrow$  Arbeitspunkt



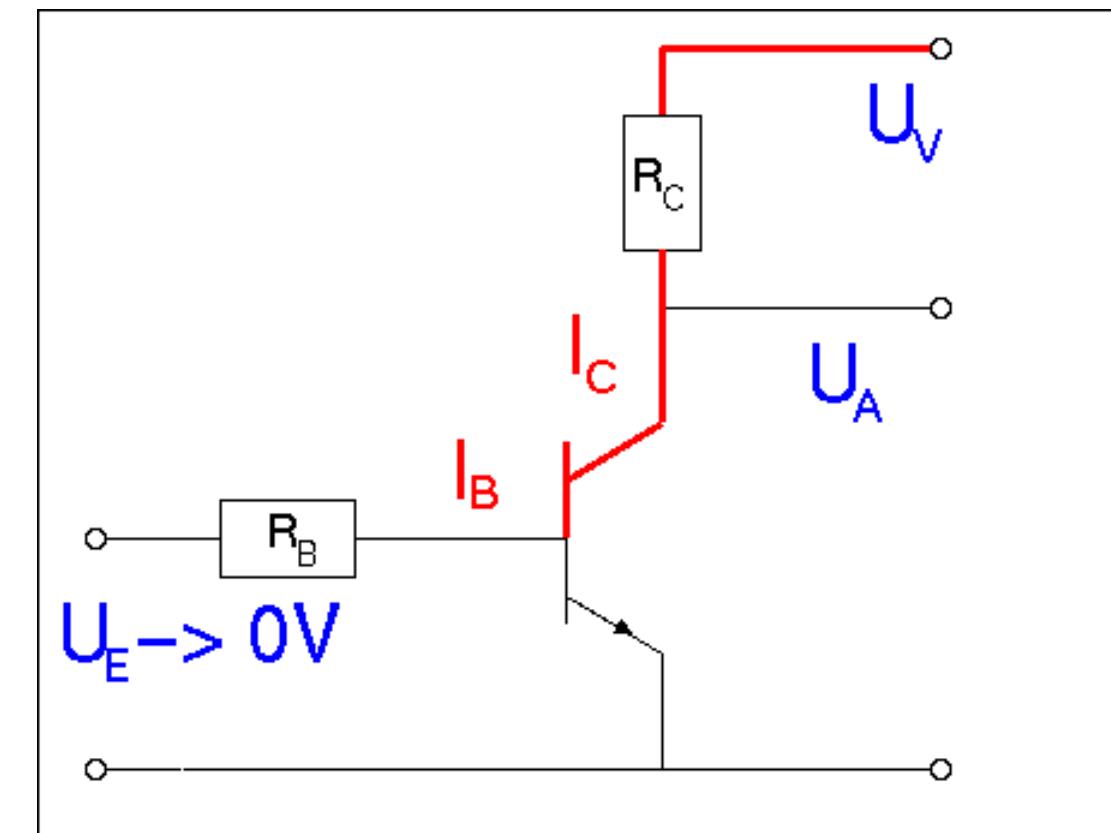
## Geschlossener Schalter



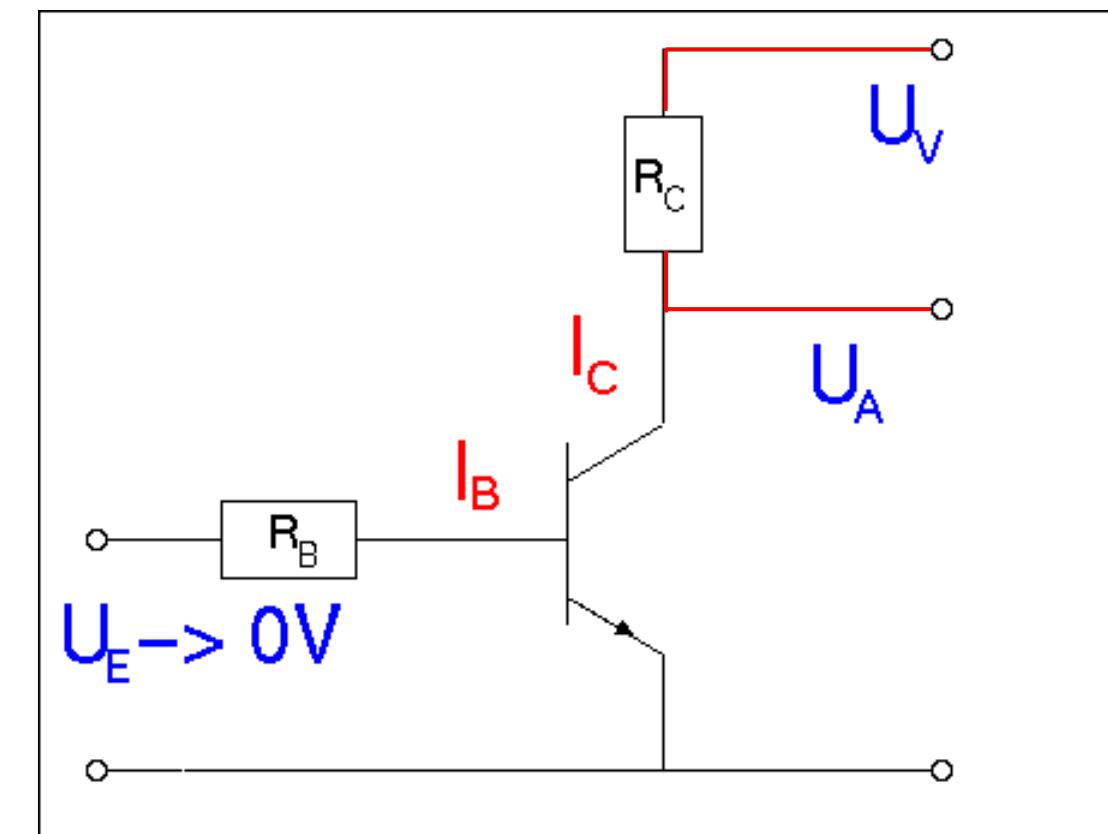
# Offener Schalter



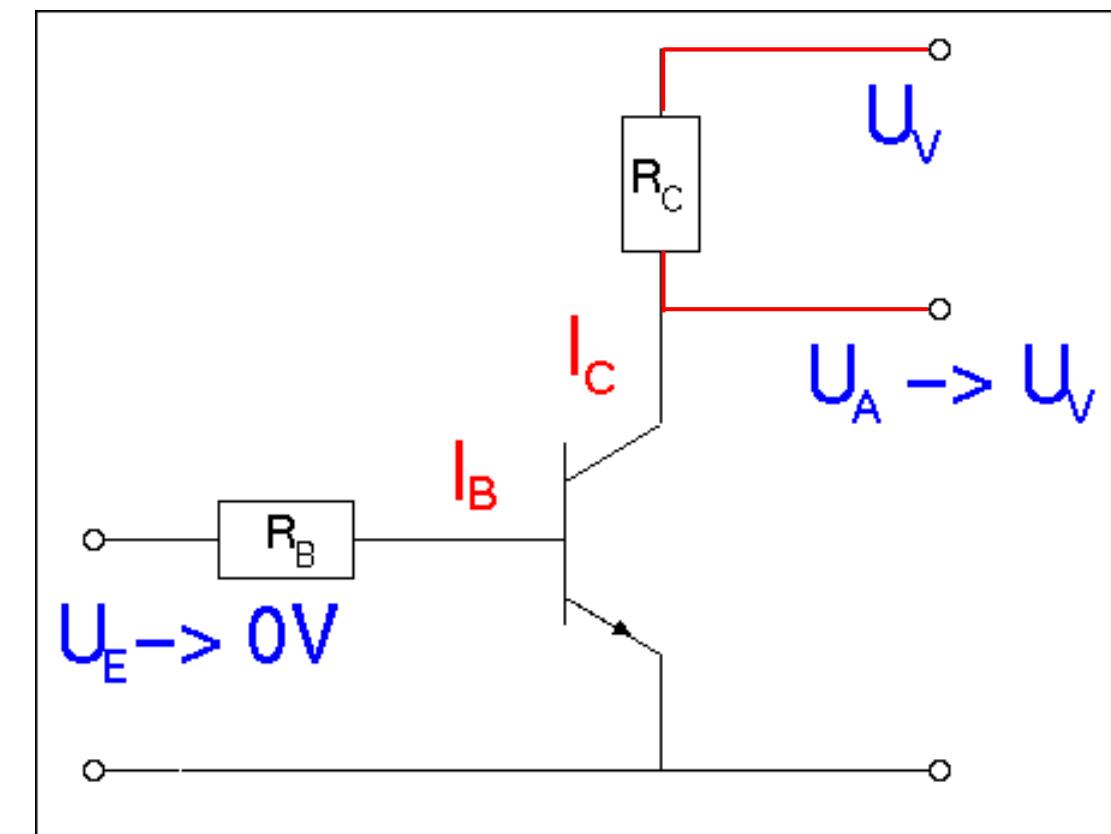
# Offener Schalter



# Offener Schalter



# Offener Schalter





# Kapitel 12: Realisierung digitaler Bausteine

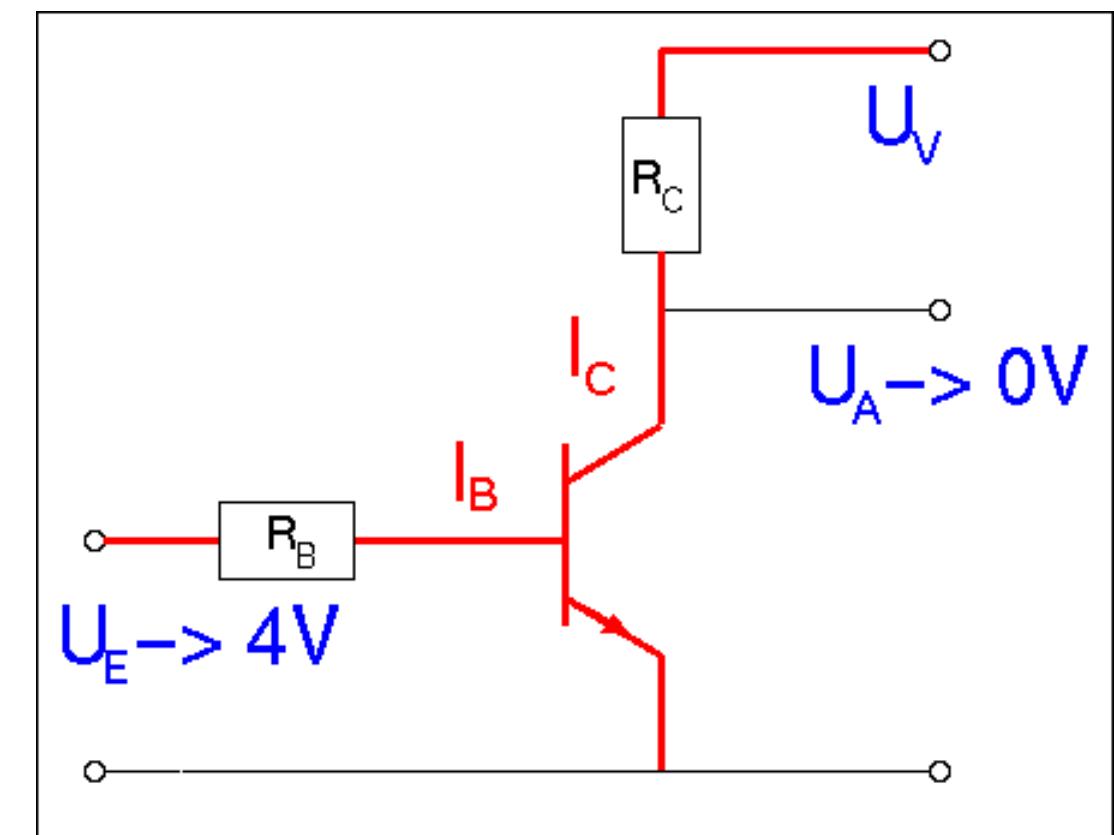
Transistoren

Logische Gatter

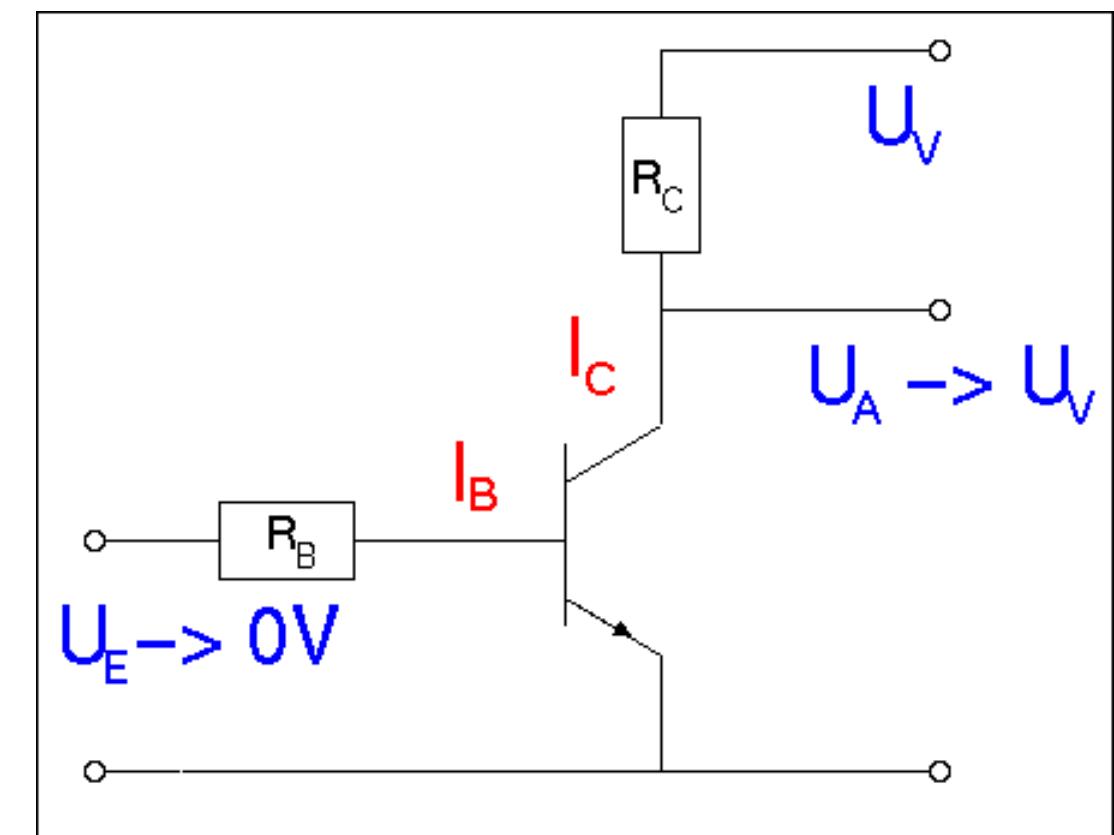
Flip Flops

1-Bit Speicherzelle

# Invertierendes Gatter



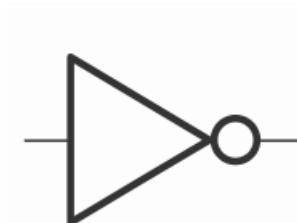
# Invertierendes Gatter



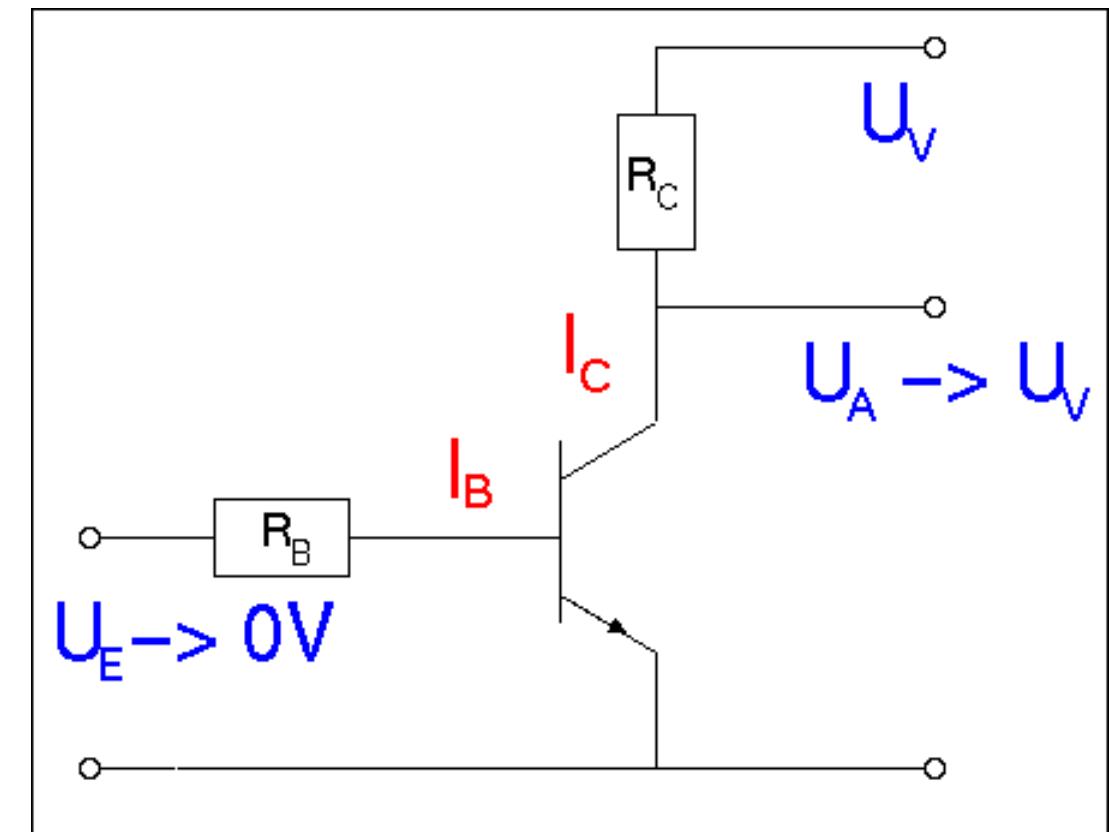
## Invertierendes Gatter

- Interpretation der Spannung:
  - $U > U_V - \delta$  heißt logisch „1“
  - $U < 0V + \delta$  heißt logisch „0“
- Damit ergibt sich aus der vorherigen Schaltung die folgende Wahrheitstabelle:

$U_E$	$U_A$
„0“	„1“
„1“	„0“

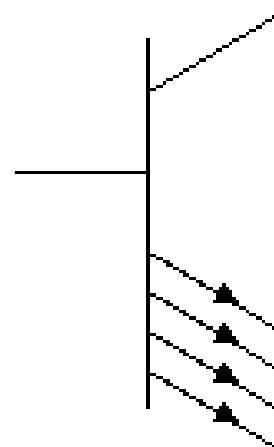


- Schaltsymbol:

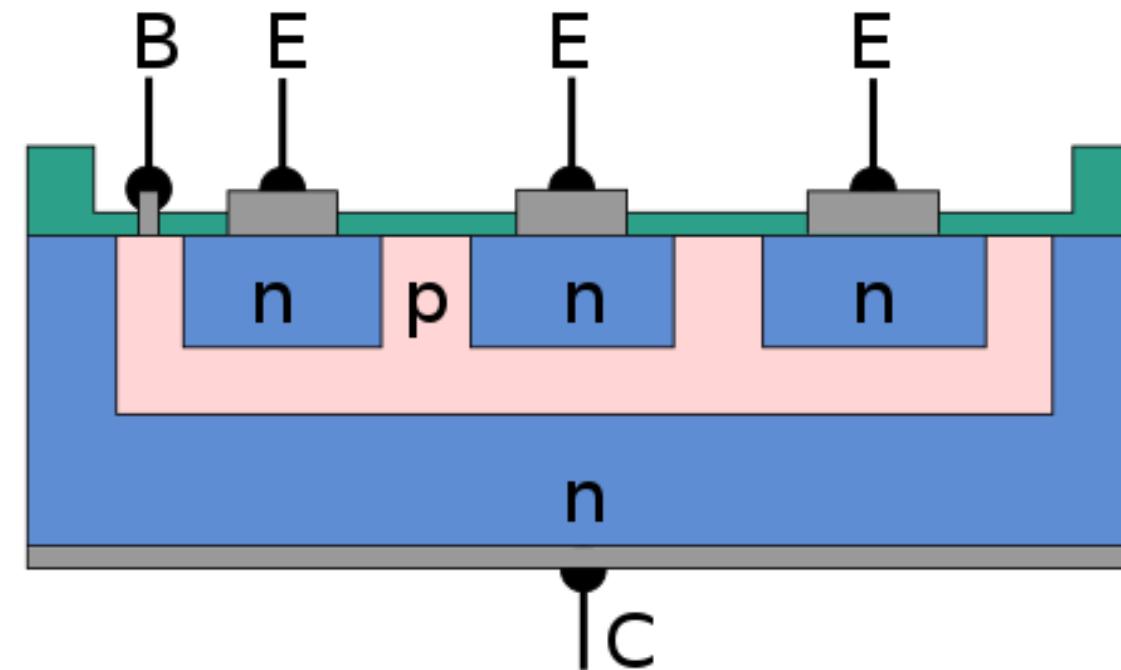


## AND-Gatter (1)

- Verwendung von Multi-Emitter-Transistoren
- Sobald die Spannung zwischen mindestens einem Emitter und der Basis negativ ist, sperrt der Transistor



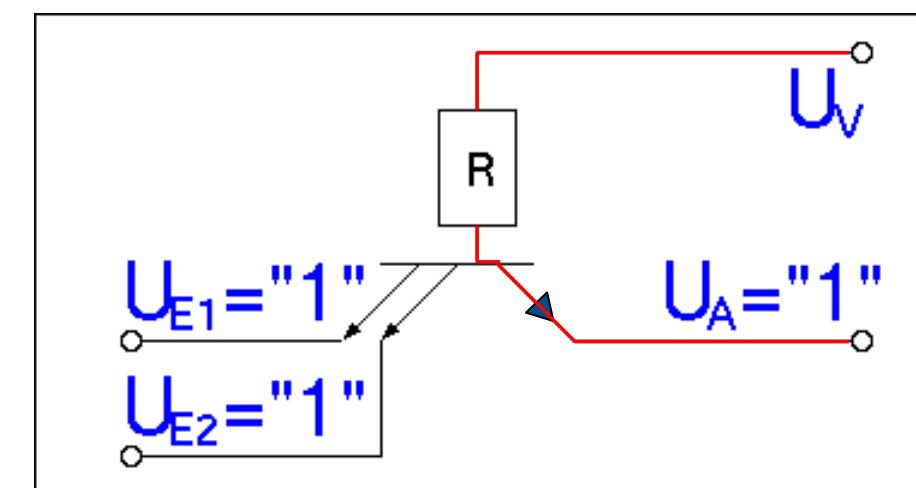
## Exkurs: Multi-Emitter-Transistor



*Ein einziger aktiver Emitter genügt, um den „Sprung“ in den n-dotierten Kollektorbereich zu schaffen*

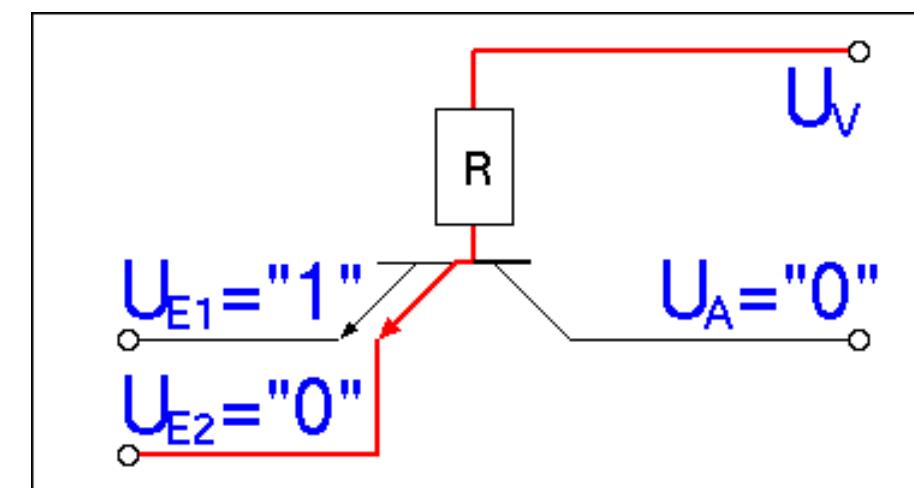
## AND-Gatter (2)

- Beide Eingänge „1“ → Ausgangswert „1“
- Beide Eingänge liegen auf logisch „1“
- Die Spannung zwischen B und E ist 0
- $U_A$  liegt auf logisch „1“



## AND-Gatter (3)

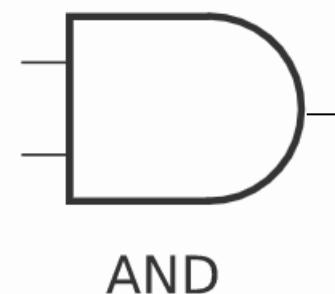
- Mindestens ein Eingang „0“ → Ausgangswert „0“
- Mind. ein Eingang liegt auf logisch „0“
- $U_V$  liegt zwischen B und E an
- $U_A$  wird auf logisch „0“ gezogen



## AND-Gatter (4)

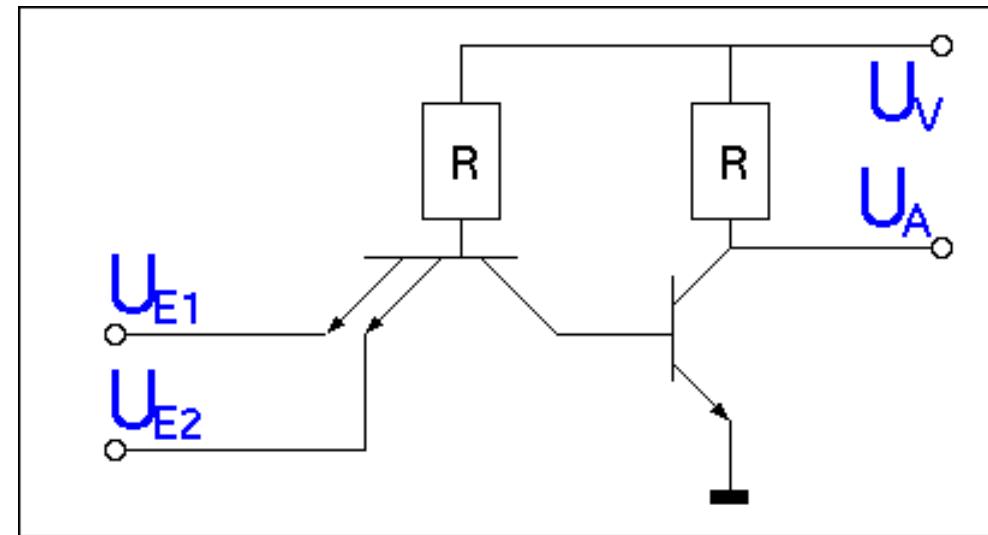
- Das dargestellte Gatter führt eine logische UND-Verknüpfung aus
- In der Praxis wird es aber nur als Eingangsstufe verwendet, eine nachgeschaltete invertierende Endstufe dient zur Leistungssteigerung

- **Schaltsymbol (MIL/ANSI):**

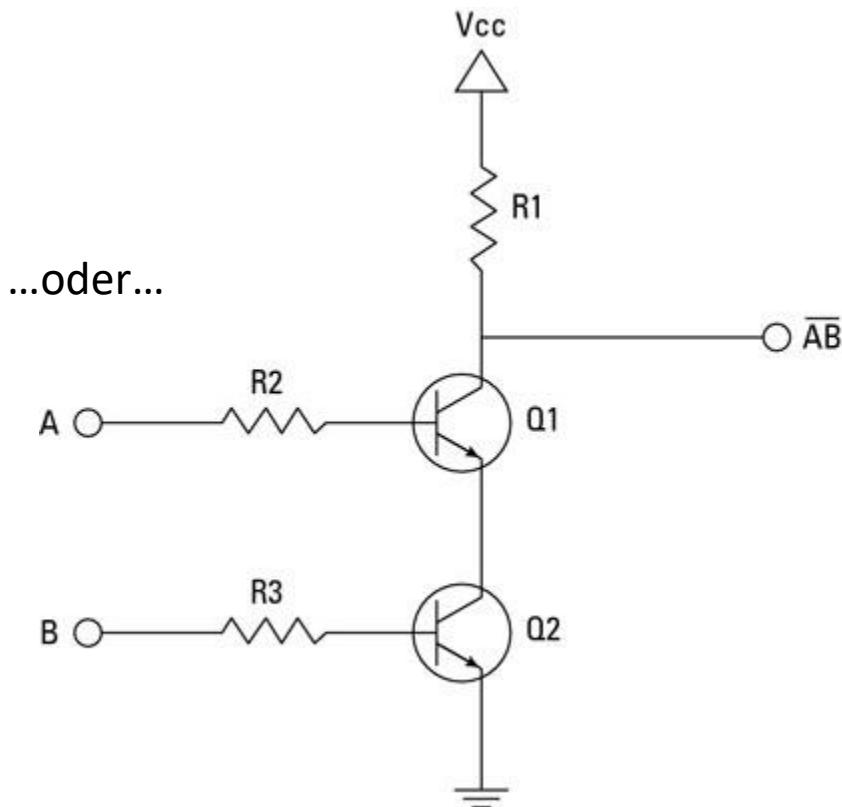


## NAND-Gatter (1)

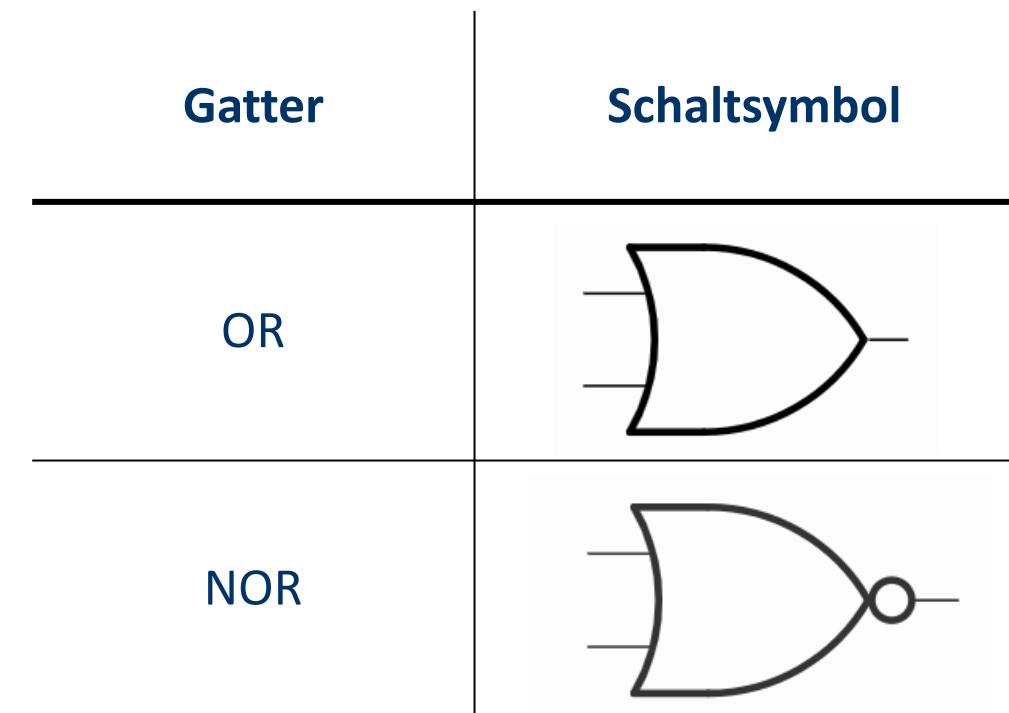
- Das NAND-Gatter besteht aus dem gezeigten AND-Gatter als Eingangsstufe und einem invertierenden Ausgang
- Schaltsymbol:



...oder...

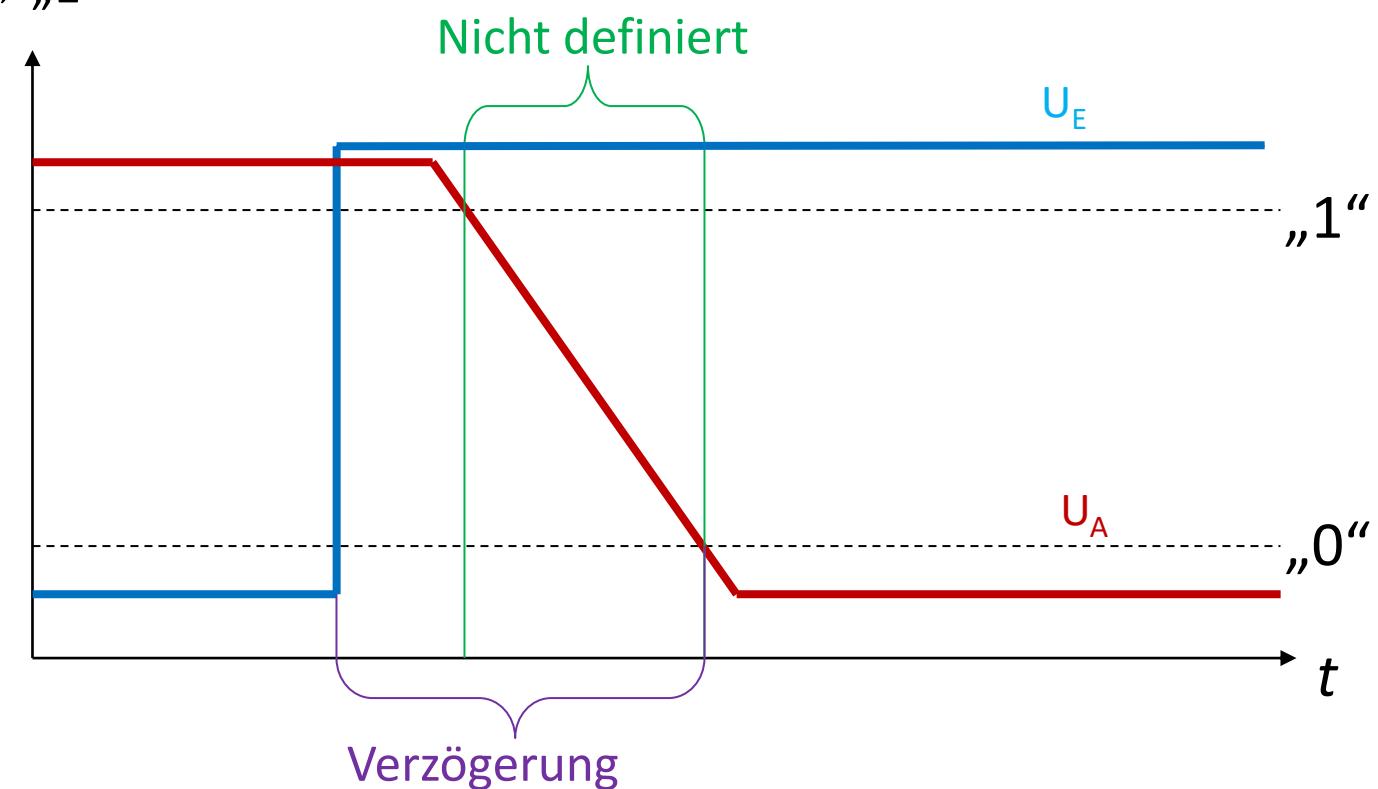


## OR- und NOR-Gatter



# Physikalische Eigenschaften (1)

- Kein Gatterausgang schaltet verzögerungsfrei
- Der Übergang des Ausgangs von logisch „0“ → „1“ („1“ → „0“) ist nicht unmittelbar
- Beispiel: NOT



## Physikalische Eigenschaften (2)

- Parasitäre Induktivitäten und Kapazitäten müssen geladen / entladen werden
  - Höhere Frequenz -> Höhere Verluste
- Übersprechen von benachbarten Leitungen
- Bei Gigahertz-Taktraten:
  - Ausbreitungsgeschwindigkeit der Elektronen!  
 $c = 300\ 000 \text{ km/s}$  im Vakuum
  - $f = 3 \text{ GHz}$
  - 1 Takt -> Licht kommt 30 cm weit...

