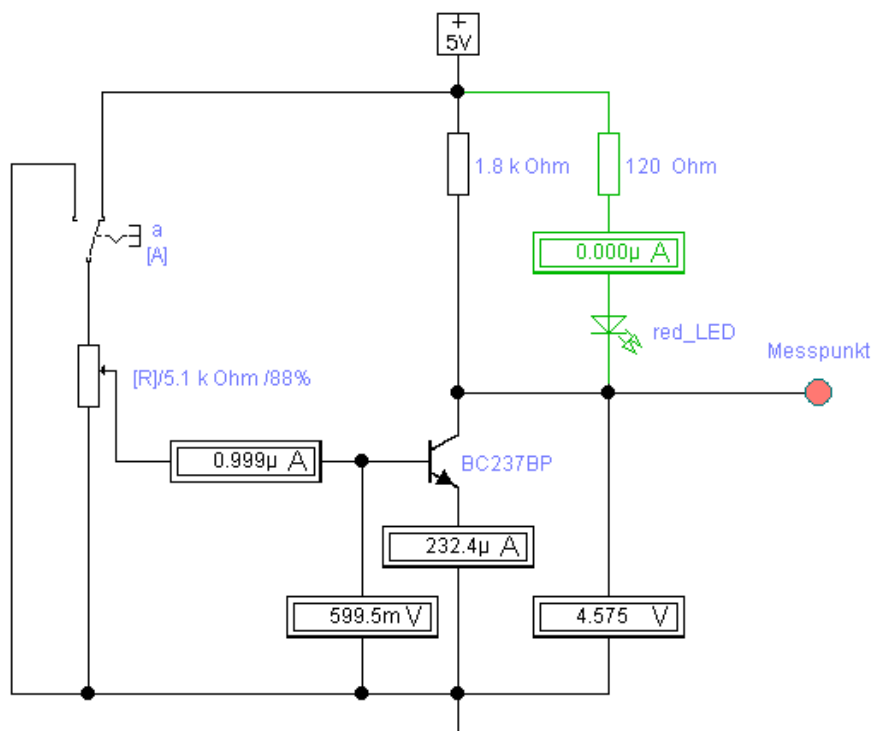


## Schalten mittels Transistor

Der Transistor, der in Abbildung 1 gezeigten Schaltung (BC 237), arbeitet als elektronischer Schalter in Emitterschaltung. Die Verbindung zwischen Masse und dem Wechselschalter A könnte entfallen. Die Betriebsspannung beträgt 5 V. Die LED leuchtet, wenn über der Reihenschaltung, bestehend aus Vorwiderstand  $120\ \Omega$  und roter LED, in der Abbildung grüne dargestellt, eine etwas größere Spannung als  $3,88\ \text{V}$  anliegt. Steht das  $5,1\ \text{k}\Omega$ -Potentiometer, das als Spannungsteiler für die Basis-Emitter-Strecke des Transistors arbeitet, auf beispielsweise  $88\ \%$ , das sind  $4488\ \Omega$  von der Betriebsspannungsseite betrachtet, leuchtet die LED nicht, weil an der Basis nur eine Spannung von  $599,5\ \text{mV}$  anliegt. Daher fallen über der Kollektor-Emitterstrecke des gesperrten Transistors  $4,574\ \text{V}$  der Betriebsspannung ab. An der Reihenschaltung aus Vorwiderstand und LED liegt die Differenz zur Betriebsspannung also nur  $0,426\ \text{V}$  Spannung an. Wird das Potentiometer auf  $84,2\ \%$  gestellt, das entspricht  $4295\ \Omega$ , liegt an der Basis eine Spannung von  $735,8\ \text{mV}$  an und der Transistor öffnet. Über der Kollektor-Emitterstrecke fallen dann

Abbildung 1: Grundsaltung des Transistors (Emitterschaltung)

nur noch  $1,103\ \text{V}$  der Betriebsspannung ab und die Spannung über dem Vorwiderstand und der LED beträgt  $3,897\ \text{V}$ . Damit wird der Einschaltstrom der LED von  $20\ \text{mA}$  erreicht, die



LED leuchtet.

Eine weitere Erhöhung der Basis-Emitterspannung bringt wenig Effekt, wie aus der Tabelle und dem Diagramm hervorgeht.

$R_B$ in %	88,0	87,0	86,0	85,0	84,0	70,0	60,0	50,0
$R_B$ in Ohm	4488,0	4437,0	4386,0	4335,0	4284,0	3570,0	3060,0	2550,0
$I_{BE}$ in $\mu A$	0,999	4,996	48,85	87,7	141,2	692,0	1010,0	1358,0
$U_{BE}$ in mV	599,5	647,1	718,2	739,9	748,5	758,8	763,5	767,8
$U_{CE}$ in mV	4576,0	4194,0	2241,0	788,1	141,1	67,1	58,8	53,5

Tabelle 1: Grundschtaltung des Transistors (Emitterschtaltung)

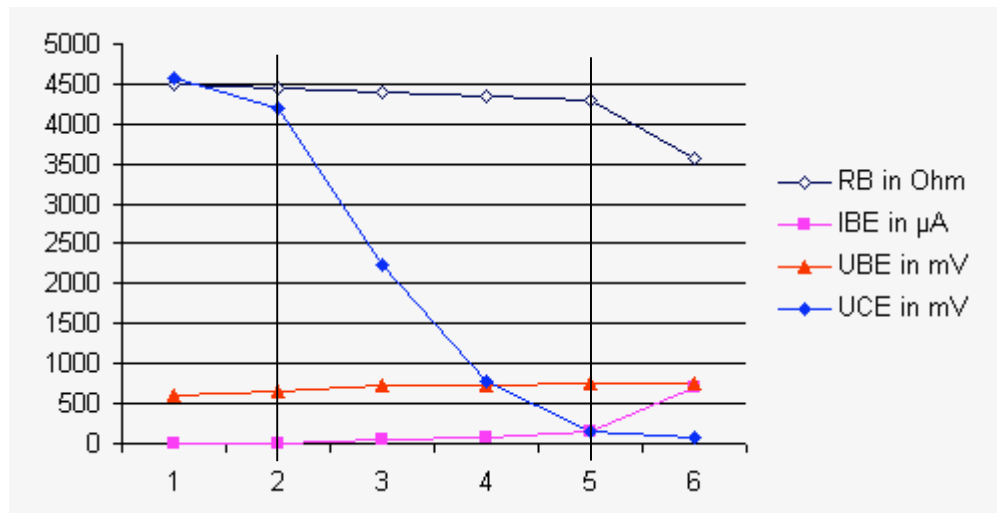


Diagramm 1: Diagramm der Messwerte der Grundschtaltung des Transistors (Emitterschtaltung)

Wie aus den Tabellendaten und dem Diagramm ablesbar ist, wird durch eine Änderung des Basisvorwiderstands um etwa  $150 \Omega$ , was einer Erhöhung der Basis-Emitterspannung um etwa  $0,1 V$  entspricht, eine Spannungseniedrigung der Kollektor-Emitterspannung von  $4,2 V$  auf  $0,14 V$  vollzogen.

# Logische Verknüpfungsschaltungen mit Transistoren

## Die UND-Schaltung

Die UND-Verknüpfung, auch *logisches Produkt* oder *Konjunktion* genannt, ist eine zweistellige Schaltfunktion mit folgenden Eigenschaften:

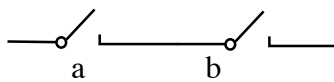
*Der Ausgang einer UND-Schaltung führt ein H-Signal, was dem Funktionswert 1 entspricht, wenn alle Eingänge H-Signal führen. Demzufolge ergeben alle anderen Eingangskombinationen den Ausgangszustand 0, somit L-Signal.*

Funktionstabelle:

a	b	UND(a,b)
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Konjunktion:  $a \text{ UND } b$   
 $a \cdot b \equiv ab$

Strommodell:

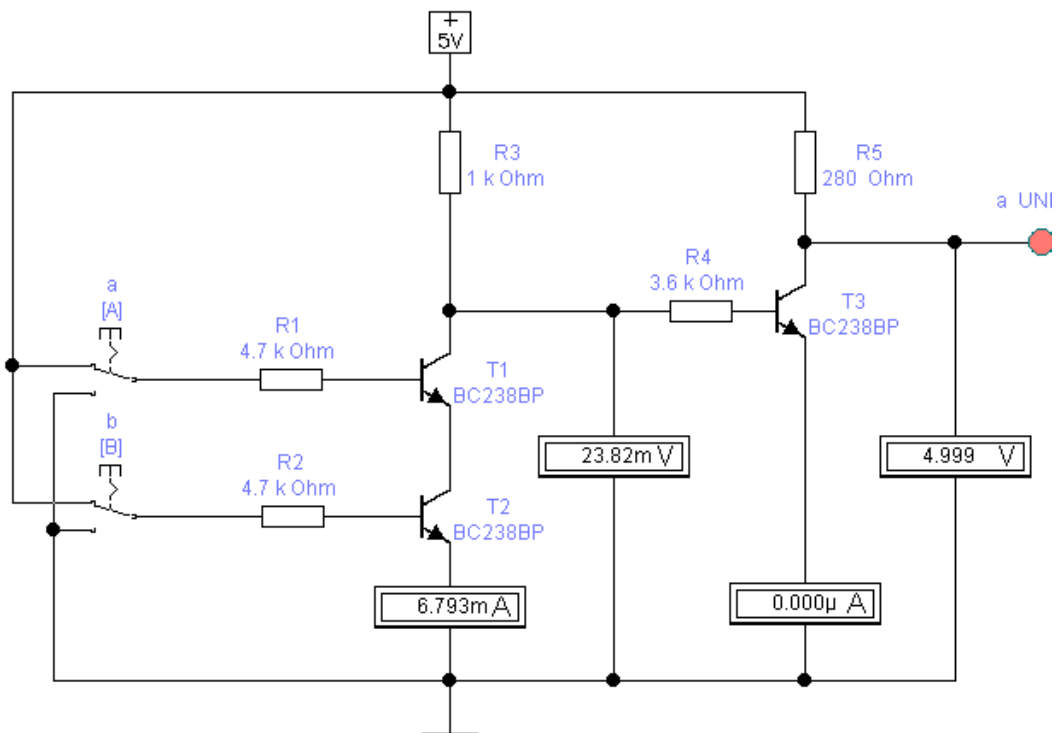


Hinweis: Der Schaltplan befindet sich im Anhang

Spannungsmodell mit Transistoren:

Abbildung 2: UND-Schaltung mit Transistoren

Verbinden die Wechselschalter a und b den jeweiligen Basisvorwiderstand der Transistoren T1 und T2 mit der Betriebsspannung, sind beide Transistoren geöffnet. Über beiden Kollektor-Emitterstrecken fällt eine Spannung von 23,28 mV ab. Diese Spannung reicht nicht, um Transistor T3 zu öffnen. Die am Ausgang » a UND b« anliegende Spannung beträgt 4,999 V. Man sagt: Der Ausgang führt H-Pegel bzw. H-Signal. Wird der Wechselschalter a umgeschaltet, liegt Massepotential an den Basiswiderstand des Transistors T1 und der Transistor sperrt. Da die Basis des Transistor T2



Wird der Wechselschalter b umgeschaltet, liegt Massepotential an den Basiswiderstand des Transistors T2 und der Transistor sperrt. Da die Basis des Transistor T1

über den strombegrenzenden Vorwiderstand R2 mit der Betriebsspannung verbunden ist, fließt ein sehr kleiner Basis-Emitterstrom von  $912,9 \mu\text{A}$ . Der Spannungsabfall über T1 und T2 beträgt  $4,075 \text{ V}$ . Diese Spannung steuert T3 voll auf und die Kollektor-Emitterstrecke ist niederohmig mit Masse verbunden. Am Ausgang der Schaltung können  $39,09 \text{ mV}$  gegen Masse gemessen werden. Diese Spannung wird als L-Pegel bezeichnet oder man sagt, am Ausgang der Schaltung steht ein L-Signal. Nach dem Betätigen des Schalters b liegt auch die Basis von T2 am Massepotential. Die Spannungsverhältnisse ändern sich nicht. Der Ausgang hält den L-Pegel.

Elektronische Schaltung:

Die elektronische Schaltung wird als UND-Schaltung, UND-Glied oder technisch als AND-Gatter bezeichnet.

Schaltalgebraische Schreibweise:

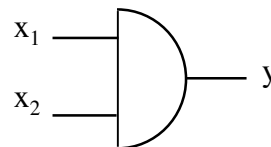
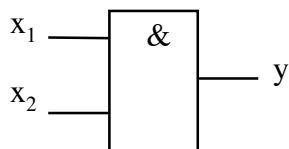
$$\text{Langform: } y = x_1 \wedge x_2$$

$$\text{Kurzform: } y = x_1 x_2$$

Schaltsymbol:

genormtes Symbol (DIN 40700)

früher



## Die ODER-Schaltung

Die ODER-Verknüpfung auch *Alternative*, *logische Summe* oder *Disjunktion* genannt, ist eine zweistellige Schaltfunktion mit folgenden Eigenschaften:

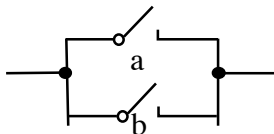
Der Ausgang einer ODER-Schaltung führt ein H-Signal, Zustand 1, wenn mindestens ein Eingang H-Signal führt. Demzufolge ergibt sich der Ausgangszustand 0, L-Signal, nur, wenn alle Eingänge L-Signal führen.

Funktionstabelle:

a	b	ODER(a,b)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Disjunktion:    a ODER b  
                   a + b (einschließendes ODER)

Strommodell:



Spannungsmodell mit Transistoren:

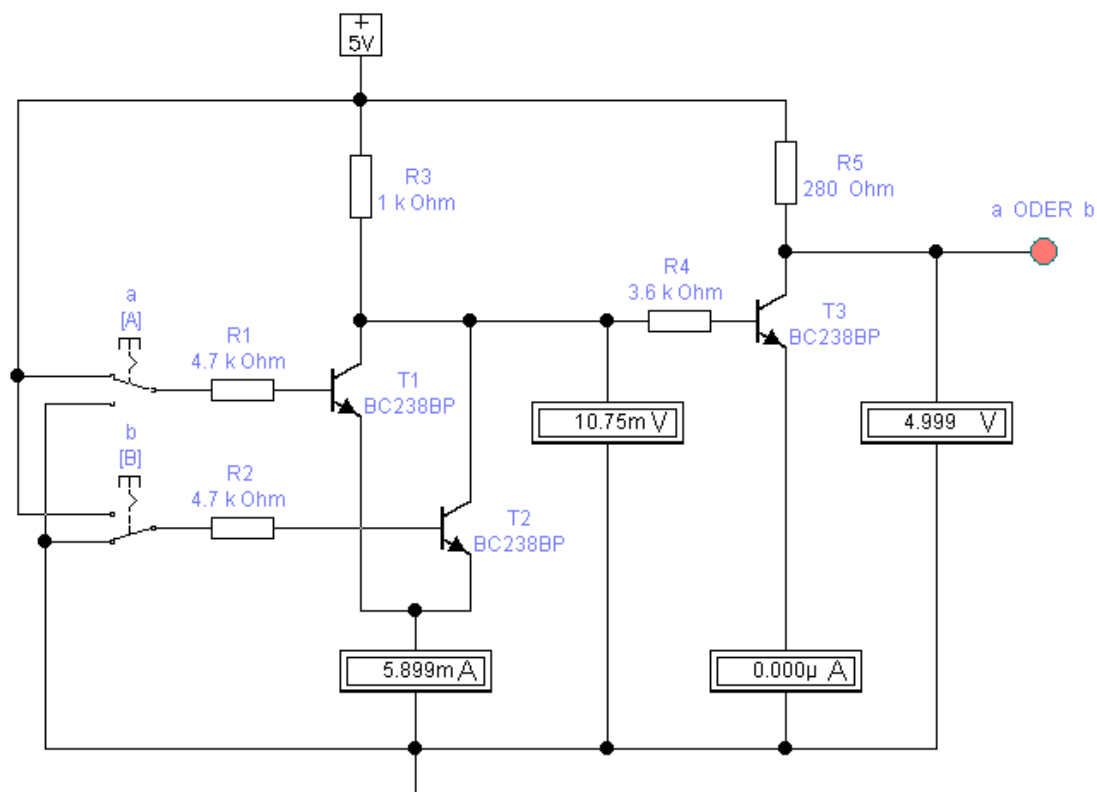


Abbildung 3: ODER-Schaltung mit Transistoren

Verbindet einer der Wechselschalter a *oder* b einen Basisvorwiderstand des Transistors T1 *oder* T2 mit der Betriebsspannung, öffnet dieser Transistor. Über der Kollektor-Emitterstrecke des offenen Transistors fällt eine Spannung von 10,75 mV ab. Diese Spannung

reicht nicht, um den Transistor T3 durchzusteuern. Die am Ausgang » a ODER b« anliegende Spannung beträgt 4,999 V. Dieser Pegel wird als H-Pegel bzw. als H-Signal bezeichnet. Werden beide Schalter nach unten geschaltet, liegt an den Vorwiderständen der Transistoren T1 und T2 Massepotential und beide Transistoren sperren. Der Spannungsabfall über T1 und T2 beträgt 4,075 V. Diese Spannung steuert T3 über den strombegrenzenden Basisvorwiderstand R4 voll aus und die Kollektor-Emitterstrecke liegt niederohmig an Masse. Am Ausgang der Schaltung liegen 39,09 mV gegen Masse. Dieser Pegel wird L-Pegel bzw. L-Signal genannt.

Elektronische Schaltung:

Die elektronische Schaltung wird als ODER-Schaltung, ODER-Glied bzw. technisch als OR-Gatter bezeichnet.

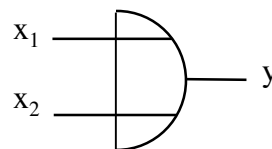
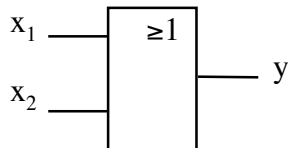
Schaltalgebraische Schreibweise:

$$\text{Langform: } y = x_1 \vee x_2$$

$$\text{Kurzform: } y = x_1 + x_2$$

Schaltsymbol:

genormtes Symbol (DIN 40700)      früher



## Die NICHT-Schaltung

Die NICHT-„Verknufung“, besser *NICHT-Funktion* oder *Negation* genannt, ist eine einstellige Schaltfunktion mit folgenden Eigenschaften:

*Der Ausgang einer NICHT-Schaltung besitzt stets den Zustand, den der Eingang nicht hat.*

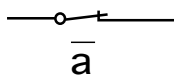
Funktionstabelle:

a	NICHT(a)
0	1
1	0

Negation:  $\bar{a}$  (gesprochen: „nicht a“)

$\bar{a}$  ist das Komplement (Negat) von a

Strommodell:



Spannungsmodell mit Transistor:

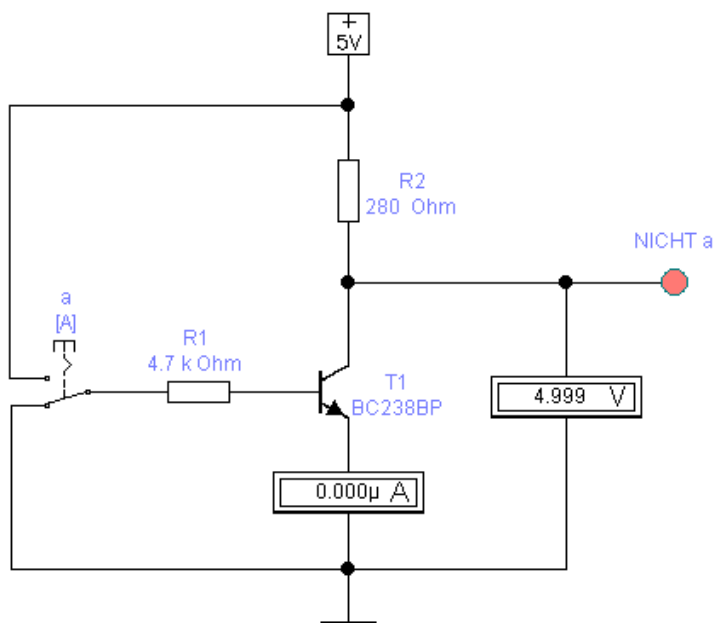
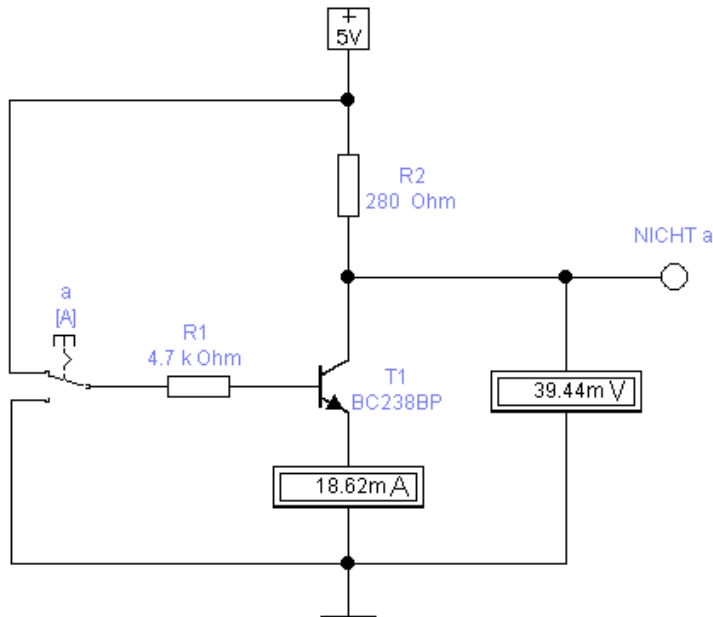


Abbildung 4a: NICHT-Schaltung mit Transistor (Eingangspiegel: LOW, Ausgangspiegel HIGH)

Verbindet der Wechselschalter a den Basisvorwiderstand des Transistors T1 mit dem Massepotential, bleibt dieser Transistor geschlossen. Über der Kollektor-Emitterstrecke fällt eine Spannung von 4,999 V ab. Diese Spannung wird als H-Pegel bzw. H-Signal bezeichnet.



Nach dem Umschalten liegt die Basis von T1 über den strombegrenzenden Vorwiderstand R1 an der Betriebsspannung, der Transistor ist voll durchgesteuert und die Spannung am Ausgang der Schaltung beträgt 39,44 mV. Das entspricht dem L-Pegel dem bzw. L-Signal.

Abbildung 4b: NICHT-Schaltung mit Transistor (Eingangspegel: HIGH, Ausgangspegel: LOW)

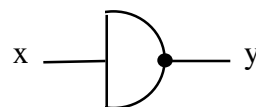
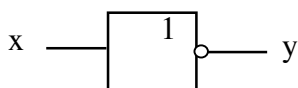
Elektronische Schaltung:

Die elektronische Schaltung wird als NICHT-Schaltung, NICHT-Glied, *Negator*, technisch als NOT-Gatter, oder *Inverter* bezeichnet.

Schaltalgebraische Schreibweise:  $y = \bar{x}$

Schaltymbol:

genormtes Symbol (DIN 40700)      früher



### Vorrangregel (Priorität)

NICHT (  $\bar{\quad}$  ) hat Vorrang vor UND (  $\wedge$  )

UND (  $\wedge$  ) hat Vorrang vor ODER (  $\vee$  )



## Die NICHT-UND-Schaltung

Die NICHT-UND-Verknüpfung, auch *Sheffer-Funktion*, oder *Antikonjunktion* genannt, ist eine zweistellige Schaltfunktion mit folgenden Eigenschaften:

Der Ausgang einer NICHT-UND-Schaltung führt ein H-Signal, Zustand 1, wenn mindestens ein Eingang L-Signal führt. Demzufolge ergibt sich der Ausgangszustand 0, L-Signal, nur, wenn alle Eingänge H-Signal führen. [1]

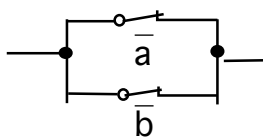
Funktionstabelle:

a	b	NICHT-UND(a,b)
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Exklusion: NICHT(a und b)

$$\overline{a \cdot b} \equiv \overline{a} \overline{b}$$

Strommodell:



Spannungsmodell mit Transistoren:

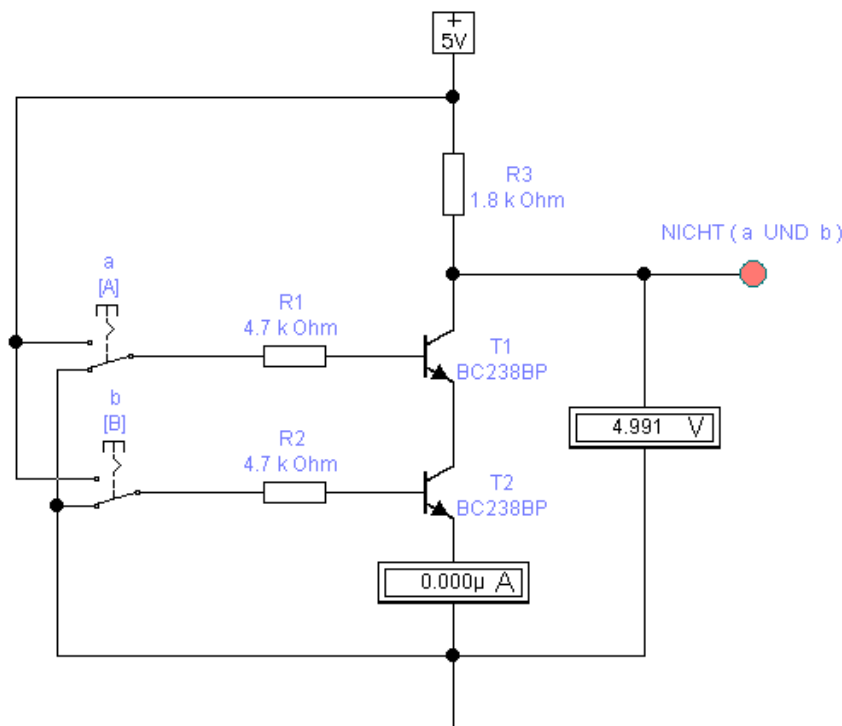


Abbildung 5: NICHT-UND-Schaltung mit Transistoren

Verbinden die Wechselschalter *a* und *b* nicht den jeweiligen Basisvorwiderstand der Transistoren *T1* und *T2* mit der Betriebsspannung, sind beide Transistoren geschlossen. Über beiden Kollektor-Emitterstrecken fällt eine Spannung von 4,991 V ab. Diese Spannung wird

als H-Pegel bzw. H-Signal bezeichnet. Wird der Schalter a umgeschaltet, liegt am Vorwiderstand des Transistors T1 Betriebsspannung. Da jedoch der Transistor T2 gesperrt bleibt, kann kein Kollektor-Emitterstrom von T1 nach Masse fließen. Der Ausgang hält H-Pegel. Verbindet der Schalter a die Basis des Transistor T1 mit Masse und der Schalter b die Basis von T2 über den strombegrenzenden Vorwiderstand R2 mit der Betriebsspannung, fließt zwar ein sehr kleiner Strom von  $912,9 \mu\text{A}$  nach Masse, aber der Ausgangspegel bleibt hoch. Verbinden beide Wechselschalter die Basisvorwiderstände der Transistoren T1 und T2 der Betriebsspannung, steuern beide Transistoren voll durch und die Kollektor-Emitterstrecken liegen niederohmig an Masse. Am Ausgang der Schaltung können  $11,81 \text{ mV}$  gegen Masse gemessen werden. Diese Ausgangsspannung wird als L-Pegel bzw. L-Signal bezeichnet.

Elektronische Schaltung:

Die elektronische Schaltung wird als NICHT-UND-Schaltung, NICHT-UND-Glied oder technisch als NAND-Gatter bezeichnet.

Schaltalgebraische Schreibweise:

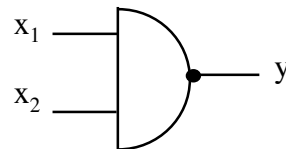
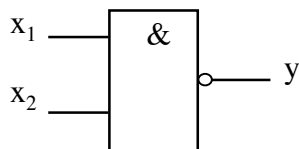
$$\text{Langform: } y = \overline{a \wedge b}$$

$$\text{Kurzform: } y = \overline{ab}$$

Schaltsymbol:

genormtes Symbol (DIN 40700)

früher



## Die NICHT-ODER-Schaltung

Die NICHT-ODER-Verknüpfung, *Nicod-Funktion* oder *Antialternative* genannt, ist eine zweistellige Schaltfunktion mit folgenden Eigenschaften:

Der Ausgang einer NICHT-ODER-Schaltung führt ein H-Signal, Zustand 1, wenn alle Eingänge L-Signal führen. Demzufolge ergibt sich der Ausgangszustand 0, L-Signal, wenn mindestens ein Eingang H-Signal führt. [1]

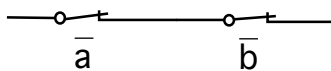
Funktionstabelle:

a	b	NICHT-ODER(a,b)
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Antialternative: NICHT(a oder b)

$$\overline{a + b}$$

Strommodell:



Spannungsmodell:

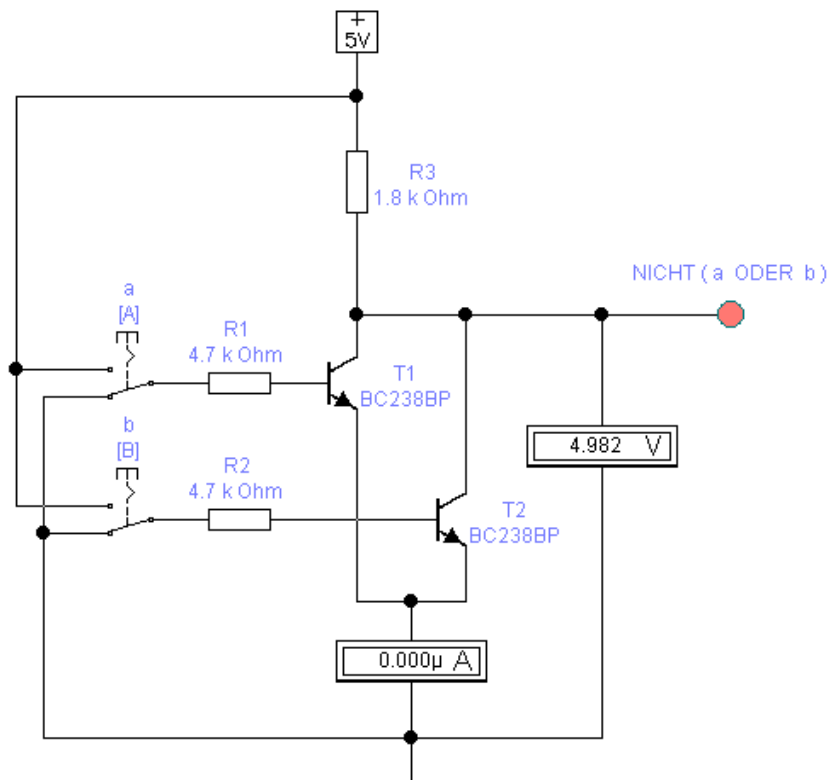


Abbildung 6: NICHT-

ODER-Schaltung mit Transistoren

Verbinden die Wechselschalter *a* oder *b* (oder beide, einschließendes ODER) *nicht* den jeweiligen Basisvorwiderstand der Transistoren T1 oder/und T2 mit der Betriebsspannung, sind beide Transistoren geschlossen. Über beiden Kollektor-Emitterstrecken fällt eine

Spannung von 4,982 V ab. Dieser Pegel wird als H-Pegel bzw. H-Signal bezeichnet. Wird einer der beiden Schalter oder werden beide betätigt, steuert der entsprechende Transistor oder beide durch und am Ausgang liegt L-Pegel an (4,624 mV bzw. 484,6  $\mu$ V).

Elektronische Schaltung:

Die elektronische Schaltung wird als NICHT-ODER-Schaltung, NICHT-ODER-Glied oder technisch als NOR-Gatter bezeichnet.

Schaltalgebraische Schreibweise:

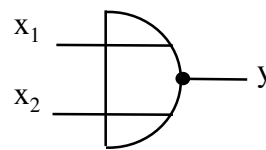
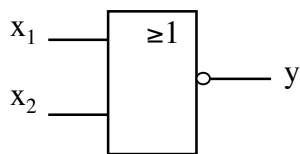
$$\text{Langform: } y = \overline{a \vee b}$$

$$\text{Kurzform: } y = \overline{a + b}$$

Schaltsymbol:

genormtes Symbol (DIN 40700)

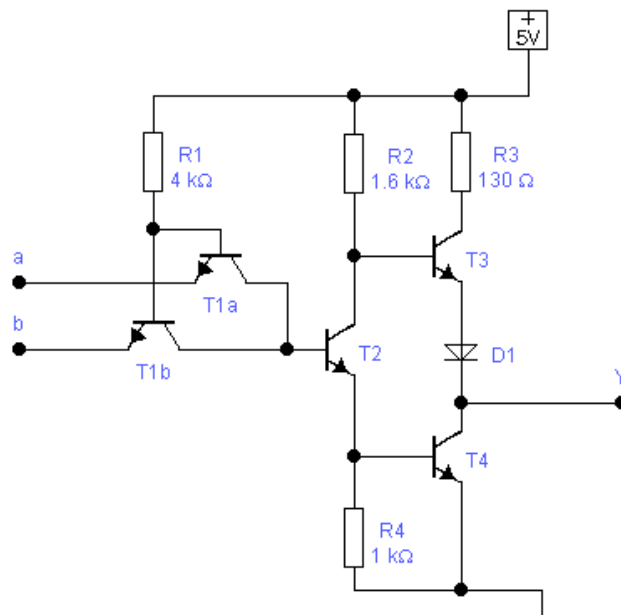
früher



## Schaltung und interne Arbeitsweise eines NAND-Gatters

Die Eingänge eines NAND-Gatters werden durch den Multiemittertransistor T1 realisiert, der als Parallelschaltung zweier npn-Transistoren aufgefasst werden kann und in der Abbildung 7 als T1a und T1b dargestellt ist. Ein Mehremittertransistor wird technisch durch das Aufbringen mehrerer Emittter auf einer Basiszone realisiert. Aus Platzgründen lassen sich maximal 8 Emittter auf einer Basisschicht integrieren. Diese Emittter sind gleichwertig.

Abbildung 7: Schaltbild eines NAND-Gatters ( \_ 7400) [2]



Die offenen Emittter a und b, siehe auch Abbildung 8, »lesen« H-Signal, weil der Basis-Kollektorübergang des Transistors T1 in diesem Zustand im inversen Betrieb, das entspricht der Wirkungsweise einer Diode, arbeitet. Der Widerstand R1 und die Basis-Kollektordiode des Transistors T1 liegen am positiven Pol der Betriebsspannung. Demzufolge ist der Transistor T2 geöffnet. Der Emittterstrom von T2 erzeugt über R4 einen Spannungsabfall, der den Transistor T4 sicher öffnet. Somit ist der Ausgang y über den Transistor T4 gegen Masse durchgeschaltet, was einem L-Signal entspricht. Der Transistor T3 bleibt geschlossen, weil der durch die Basis-Kollektorstrecke des Transistors T1 fließende Strom auch durch die Basis-Emittterstrecke der Transistoren T2 und partiell T4 fließen muss und demzufolge an der Basis des Transistors T2 etwa 1,5 Volt Spannung anliegt, was in guter Näherung zweimal der Flussspannung einer Siliziumdiode entspricht. An der Basis des Transistors T3 liegt etwas mehr als 0,7 Volt an, was näherungsweise der Schwellenspannung der Basis des Transistors T4 entspricht. Da zum Emittter des Transistors T3 eine Siliziumdiode in Reihe geschaltet ist, werden an der Basis etwas mehr als 1,4 Volt Spannung benötigt, um den Transistor durchzusteuern.

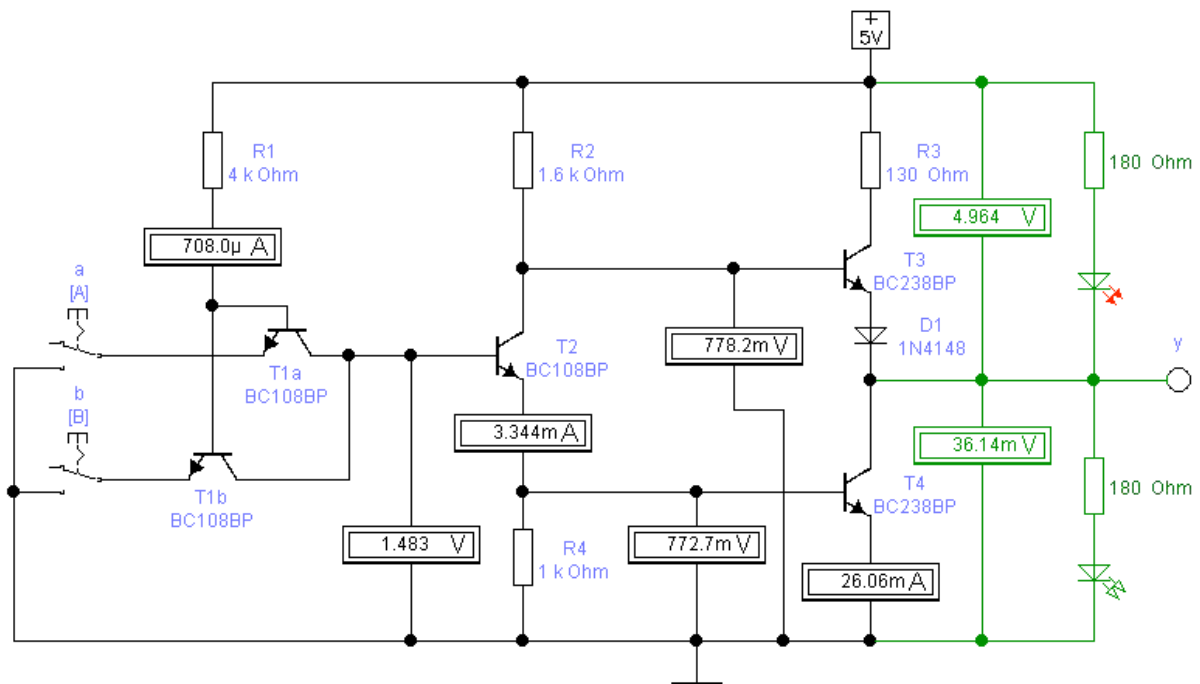


Abbildung 8: Mess-Schaltbild eines NAND-Gatters (\_ 7400), beide Eingänge führen H-Pegel (offen)

Liegt mindestens einer der Emitter, a oder b, des Transistors T1 an Masse, ist T1 durch den Stromfluss über seinen Basisvorwiderstand R1 geöffnet.

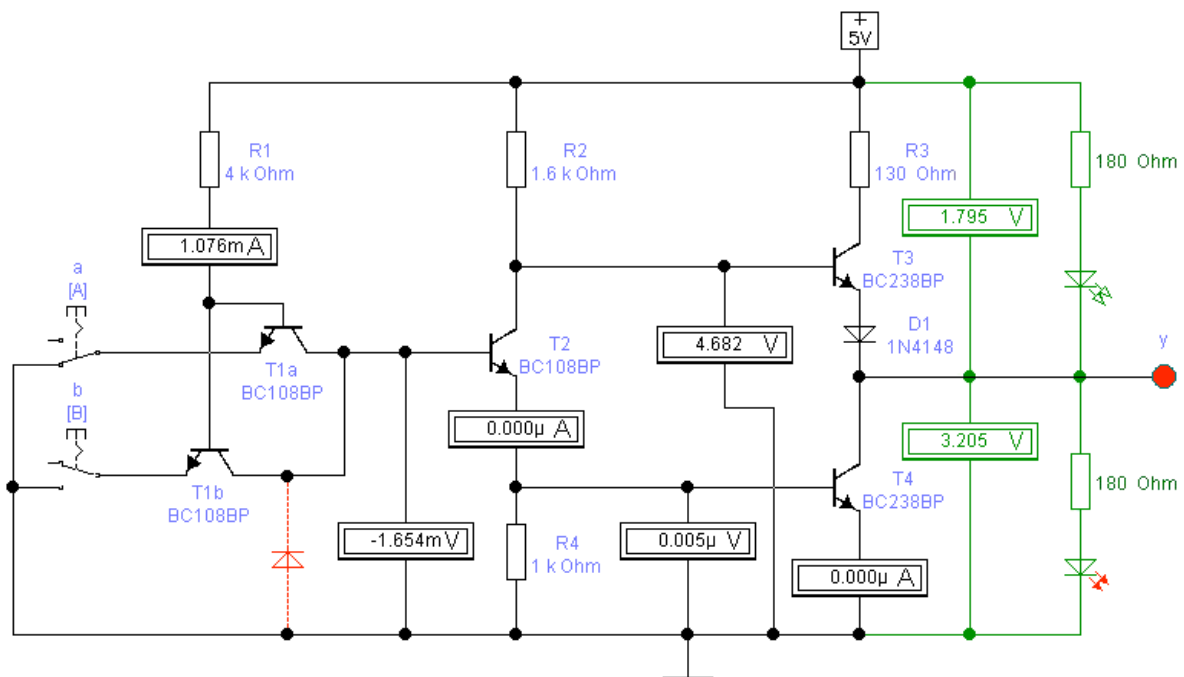


Abbildung 9: Mess-Schaltbild eines NAND-Gatters (\_ 7400), ein Eingang führt L-Pegel (Masse)

Dadurch sinkt die Kollektorspannung des Transistors T1 auf die Sättigungsspannung, die für Silizium knapp 0,2 Volt beträgt. Die Transistoren T2 und T4 bleiben geschlossen, d.h. die Kollektor-Emitter-Strecke beider Transistoren ist hochohmig, siehe Abbildung 9. Der

Transistor T3 wird über den Basisvorwiderstand R2 geöffnet und der Ausgang y ist über die Diode und den Kollektorwiderstand R3 relativ niederohmig mit der Betriebsspannung verbunden. Der Ausgang Y führt H-Signal.

**Wichtiger Hinweis:** Würde an einem der Eingänge dieser Schaltung, also an einem der Emitter des Multiemittertransistors T1 eine gegen Masse negative Spannung angelegt, öffnet die so genannte »parasitäre« Diode der begrabenen Schicht, die verständlicher als »Substratdiode« bezeichnet wird. Diese Diode befindet sich zwischen dem Kollektor des Transistors T1 und dem Substrat M. Da die Substratdiode für die Wirkungsweise der Schaltung im »Normalbetrieb« keine Bedeutung besitzt, wird sie eigentlich nicht in den Schaltplan übernommen. Die Katode der Substratdiode ist mit dem Kollektor verbunden. Sie »blockt« den Kollektor des invers betriebenen Transistors T1 gegen den Rest des Silizium-Einkristall-Plättchens, das Substrat. In Abbildung 9 ist die Substratdiode mit gestrichelten Leiterzügen rot eingezeichnet. Eine Spannung unter etwa minus 0,7 Volt würde diese Diode öffnen, den Transistor T1 rasch überlasten und die gesamte integrierte Schaltung thermisch zerstören. [2]

---

#### Quellen:

[1] DUDEN Informatik, DUDENVERLAG Mannheim/Wien/Zürich, 1989

[2] Hagen Jakubaschk: Das große Schaltkreis-Bastelbuch, Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB), Berlin, 1978, 3. Auflage, 1984.

Die Schaltungen wurden mit dem Programm: Lernpaket Elektrotechnik und Elektronik, Elektronik Design-Labor, Serial-Nr: ESW-01-35771-1979, Franzis' Verlag Poing, 2002, erstellt und getestet.

#### Literatur:

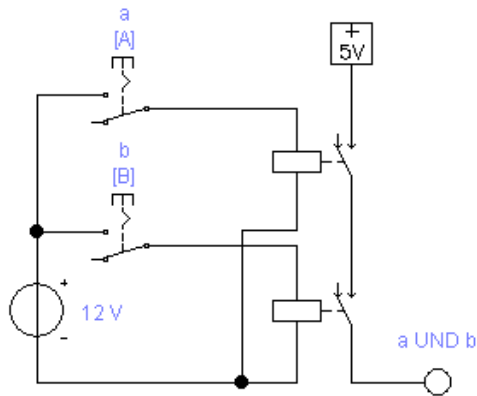
Albrecht Möschwitzer, Karl-Heinz Rumpf: Einführung in die Elektronik, VEB Verlag der Technik Berlin, 1982

Karl-Heinz Rumpf, Manfred Pulvers: Transistor-Elektronik, VEB Verlag der Technik Berlin, 1986

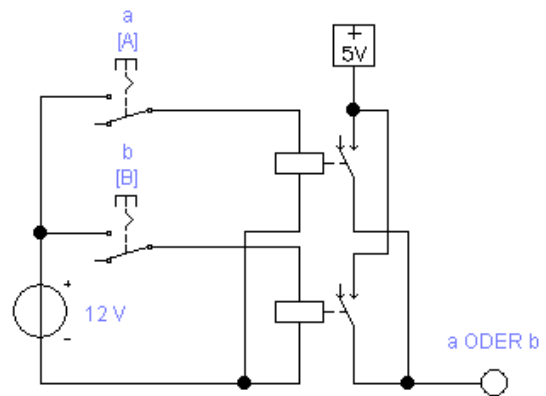
# Anhang

## Strommodelle als Relaisschaltungen

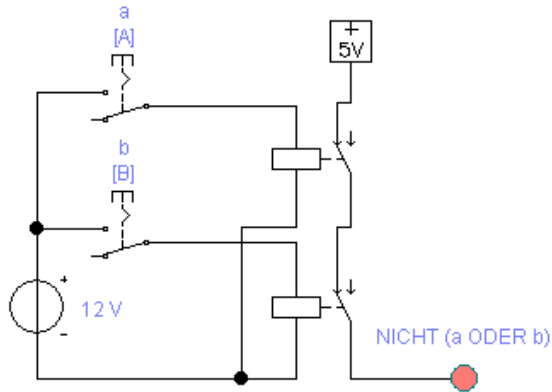
UND-Schaltung



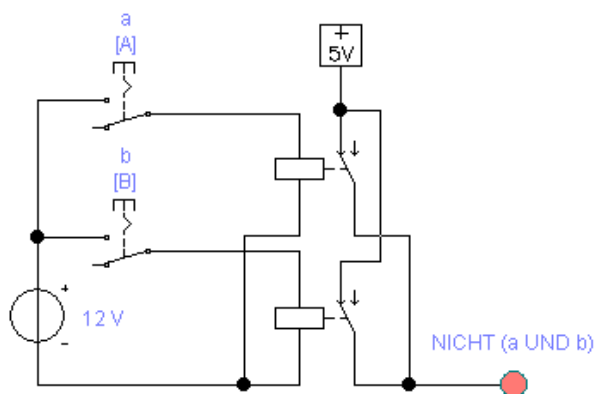
ODER-Schaltung



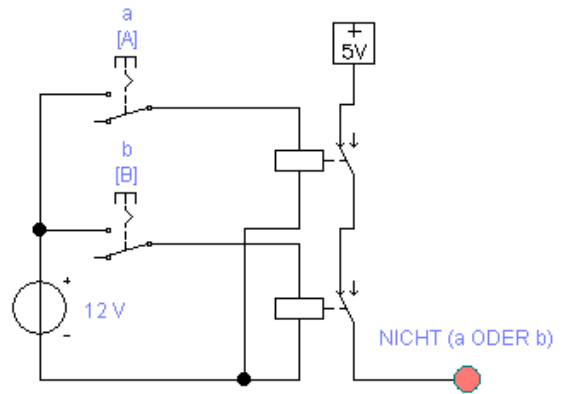
NICHT-Schaltung



NICHT-UND-Schaltung



NICHT-ODER-Schaltung



Für einen Wechsel sowohl von der UND- zur NICHT-ODER-Schaltung als auch von der ODER- zur NICHT-UND-Schaltung müssen an beiden Relaiskontaktgarnituren die



Anschlüsse der Zuleitungen der 5-Volt-Spannungsquelle von Schließer nach Öffner getauscht werden.