

## Der Transistor als Schalter – ein experimenteller Zugang

Axel Donges, Isny im Allgäu

Unser moderner Alltag ist heute ohne Transistoren nicht mehr denkbar. Doch wie funktioniert ein Transistor?

In diesem Beitrag untersuchen Ihre Schüler den Transistor auf experimentellem Wege.



Abb. 1: Ein diskret aufgebauter Transistor

Jährlich werden weltweit  
so viele Transistoren hergestellt,  
wie es Sterne im Weltall gibt.<sup>1</sup>

### Der Beitrag im Überblick

**Klasse:** 9/10

**Dauer:** 7 Stunden

**Ihr Plus:**

- ✓ Aktuelles Thema
- ✓ Theoretischer Hintergrund zur Frage, wie ein Transistor funktioniert, auf **CD-ROM 41**
- ✓ Excel-Datei mit Messdaten und Kurven auf **CD-ROM 41**

**Inhalt:**

- Experimentelle Erarbeitung der Funktionsweise eines Transistors
- Praktisches Anwendungsbeispiel

<sup>1</sup> [http://www.mpg.de/445792/forschungsSchwerpunkt?c=166434&force\\_lang=de](http://www.mpg.de/445792/forschungsSchwerpunkt?c=166434&force_lang=de)

## Materialübersicht

⌚ V = Vorbereitungszeit    SV = Schülerversuch    Ab = Arbeitsblatt/Informationsblatt

⌚ D = Durchführungszeit    WH = Wiederholungsblatt    LEK = Lernerfolgskontrolle

---

### M 1    Ab                    Strom und Spannung – frischen Sie Ihr Wissen auf!

⌚ D: 45 min

---

### M 2    Ab, SV                Der Transistor als Stromverstärker

⌚ V: 10 min

⌚ D: 80 min

- mehrere Widerstände  
(z. B. 1,5 kW; 2,7 kW; 5,6 kW; 91 kW oder 100 kΩ)
- mehrere Kabel
- Steckbrett
- 4 Vielfachmessgeräte
- 2 Gleichspannungsnetzgeräte
- 1 npn-Transistor

---

### M 3    Ab                    Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus dem Versuch (M 2)

⌚ D: 45 min

---

### M 4    Ab                    Der Transistor als Schalter

⌚ D: 45 min

---

### M 5    Ab, SV                Wir bauen eine Alarmanlage!

⌚ V: 10 min

⌚ D: 35 min

- 1 Glühbirne (z. B. 4 V)
- 1 Foto-Widerstand
- mehrere Kabel
- 2 Gleichspannungsnetzgeräte
- 1 npn-Transistor
- 1 Steckbrett

---

### M 6    Ab                    Lernerfolgskontrolle zum Thema „Transistor“

⌚ D: 45 min

**Die Erläuterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie ab Seite 12.**

## Mediathek

[http://schulen.eduhi.at/pts\\_perg/halbleiter\\_digitaltechnik/projekt2/p2\\_2b.htm](http://schulen.eduhi.at/pts_perg/halbleiter_digitaltechnik/projekt2/p2_2b.htm)

<http://www.instructables.com/id/How-Electronic-Switches-Work-For-Noobs-Relays-and-step5/How-a-Does-a-Transistor-Work/>

<http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/transistor/versuche#Der%20Transistor%20als%20Schalter>

## M 1 Strom und Spannung – frischen Sie Ihr Wissen auf!

Hier wiederholen Sie die wichtigsten Fakten, die Sie zur Lösung der Aufgaben brauchen.

### Ohm'sches Gesetz

Wird an einen Widerstand  $R$  (z. B. eine Glühlampe) mithilfe einer Batterie eine Spannung  $U$  gelegt, so fließt der Strom  $I$  (siehe Abb. 7). Die genannten Größen sind über das Ohm'sche Gesetz miteinander verknüpft:

$$U = R \cdot I . \quad (1)$$

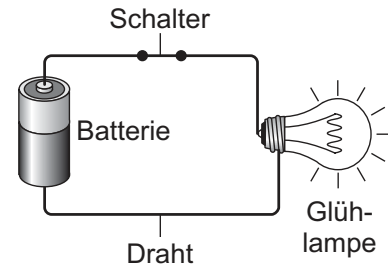


Abb. 7: Ein einfacher Stromkreis

### Maschensatz (2. Kirchhoff'sches Gesetz)

Wird an zwei in Reihe geschaltete Widerstände eine Spannung  $U_0$  gelegt, so fallen an beiden Widerständen Spannungen ( $U_1$  und  $U_2$ ) ab (siehe Abb. 8).

Es gilt:

$$U_0 = U_1 + U_2 .$$

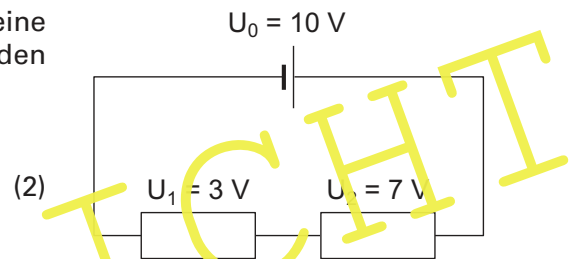


Abb. 8: Stromkreis mit zwei in Reihe geschalteten Widerständen

### Strom- und Spannungsmessung

Sie werden Strom- und Spannungsmessungen mit einem **digitalen Multimeter** durchführen (siehe Abb. 9).

Beachten Sie:

- Bei einer Spannungsmessung wird das Messgerät parallel zur Spannungsquelle/Widerstand geschaltet (siehe Abb. 10)
- Bei einer Strommessung muss das Messgerät in Reihe geschaltet werden, damit der zu messende Strom durch das Messgerät fließt (siehe Abb. 11).



Abb. 9: Digitales Multimeter

- Art der Messung und Messbereich einstellen

(→ Gleichspannung oder -strom und Messbereich, z. B. A, mA,  $\mu\text{A}$ ).

Mit größtem Messbereich beginnen.

- Plus- und Minuspol der Schaltung mit den zugehörigen Eingängen des Messgerätes verbinden (siehe Gebrauchsanweisung).
- Zum Schluss: Messgerät einschalten.

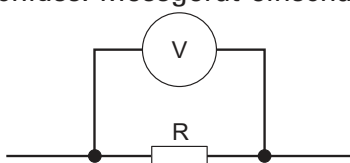


Abb. 10: Das Spannungsmessgerät wird parallel zum Widerstand geschaltet.

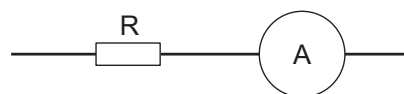


Abb. 11: Strommessgerät und Widerstand werden in Reihe geschaltet.

## M 2 Der Transistor als Stromverstärker

Hier arbeiten Sie experimentell mit einem sog. **npn-Transistor**. Dies ist ein elektronisches Bauteil, das drei Anschlüsse besitzt. Diese Anschlüsse heißen **Basis**, **Emittter** und **Kollektor**. Das Schaltzeichen dieses Transistors zeigt Abb. 12.

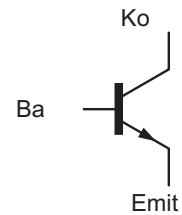


Abb. 12: Schaltzeichen eines npn-Transistors

**Schülerversuch** ⌚ Vorbereitung: 10 min Durchführung: 80 min

### Materialien

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> mehrere Widerstände<br>(z. B. 1,5 k $\Omega$ ; 2,7 k $\Omega$ ; 5,6 k $\Omega$ ; 91 k $\Omega$ oder 100 kW) | <input type="checkbox"/> 4 Vielfachmessgeräte <sup>2</sup> |
| <input type="checkbox"/> mehrere Kabel   | <input type="checkbox"/> 2 Gleichspannungsnetzgeräte       |
| <input type="checkbox"/> 1 Steckbrett  | <input type="checkbox"/> 1 npn-Transistor                  |

### Aufgabe

- Bauen Sie die in Abb. 14 skizzierte Emittter-Schaltung auf. Wählen Sie beispielsweise  $U_E = 0 \dots 10 \text{ V}$ ,  $R_B = 91 \text{ k}\Omega$ ,  $R_K = 1,5 \text{ k}\Omega$ ,  $2,7 \text{ k}\Omega$ ,  $5,6 \text{ k}\Omega$  und  $U_K = 10 \text{ V}$ .
- Nach Kontrolle der Schaltung durch die Lehrkraft: Stellen Sie verschiedene Basis-Ströme  $I_B$  ein (z. B.  $0 \dots 90 \mu\text{A}$ ). Messen Sie – für drei verschiedene Kollektor-Widerstände  $R_K$  – die dazugehörigen Kollektor-Ströme  $I_K$  sowie die zugehörigen Spannungen zwischen Basis und Emittter ( $U_{BE}$ ) und zwischen Kollektor und Emittter ( $U_{KE}$ ).
- Stellen Sie den Kollektor-Strom  $I_K$  über dem Basis-Strom  $I_B$  für die drei Kollektor-Widerstände  $R_K$  grafisch dar.
- Stellen Sie  $U_{BE}$  und  $U_{KE}$  über  $I_B$  grafisch dar.
- Berechnen Sie mithilfe des Ohm'schen Gesetzes (1) den maximal möglichen Kollektor-Strom  $I_{K,max}$ .
- Diskutieren Sie Ihre Ergebnisse.

**Achtung:** Basis-Strom  $I_B$  und Kollektor-Strom  $I_K$  dürfen bestimmte Werte nicht überschreiten, da sonst der Transistor zerstört wird! Informieren Sie sich vor dem Versuch über die Grenzwerte des von Ihnen verwendeten Transistors!



© iStock/Thinkstock

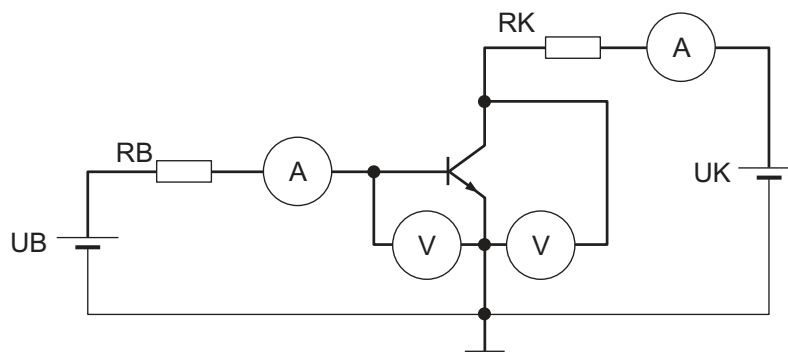


Abb. 13: Schaltskizze (Emittter-Schaltung) mit Messgeräten

### Tipp

Eine dreidimensionale Skizze des Versuchsaufbaus finden Sie auf **CD-ROM 41**.

<sup>2</sup> Das Experiment können Sie auch mit weniger Messgeräten ausführen. Die Messgrößen müssen dann – je nach Anzahl der Messgeräte – nacheinander ausgeführt werden.

## M 6 Lernerfolgskontrolle zum Thema „Transistor“

### Aufgaben

1. Wie bezeichnet man die drei Anschlüsse eines Transistors?

#### Tipp

Ordnen Sie die Buchstaben:

tretime, issab und trokkolle

2. Skizzieren Sie einen Transistor in Emitter-Schaltung.
3. Beschreiben Sie allgemein den Zusammenhang zwischen Kollektor- und Basis-Strom.
4. Was versteht man unter einem *durchgeschalteten* Transistor?
5. Was versteht man unter einem *zweifach übersteuerten* Transistor?
6. Welche Spannung  $U_{BE}$  fällt zwischen Basis und Emitter eines Transistors ab, wenn ein Basis-Strom fließt?
7. Was versteht man unter einem Foto-Widerstand?
8. Was ist ein Foto-Transistor?
9. Im Kollektor-Stromkreis befindet sich eine Spannungsquelle mit  $U_K = 15 \text{ V}$  und ein Widerstand mit  $R_K = 100 \Omega$ .

Die Basis-Spannung  $U_B$  beträgt  $5,0 \text{ V}$ .

Wie groß muss der Basis-Widerstand  $R_B$  sein, damit der Transistor (Stromverstärkungsfaktor  $B = 200$ ) mit einem Übersteuerungsfaktor  $\bar{U} = 2$  durchschaltet?



Abb. 20: Schüler in einer Klausur

I/D

© Syda Productions/Shutterstock

## Erläuterungen und Lösungen

### M 2 Der Transistor als Stromverstärker

b) Messergebnisse für den Transistor vom Typ BC 141:

→ mit  $R_B = 91 \text{ k}\Omega$ ,  $U_K = 10 \text{ V}$  und  $R_K = 1,5 \text{ k}\Omega$ :

$I_B / \mu\text{A}$	0	0	0,1	0,5	1,3	4,2	14,5	25,1	39,2	50,6	60,9	70,8	75,7	80,6	84,6	90,4
$I_K / \text{mA}$	0	0	0	0,04	0,10	0,34	1,20	2,10	3,31	4,29	5,16	5,99	6,36	6,44	6,46	6,47
$U_{BE} / \text{V}$	0	0,40	0,49	0,56	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,67	0,68	0,68	0,69	0,69	0,69	0,69
$U_{KE} / \text{V}$	10	10	10	10	9,9	9,6	8,2	6,9	5,0	3,5	2,1	0,87	0,31	0,18	0,16	0,15

→ mit  $R_B = 91 \text{ k}\Omega$ ,  $U_K = 10 \text{ V}$  und  $R_K = 2,7 \text{ k}\Omega$ :

$I_B / \mu\text{A}$	0	0	0,1	0,5	1,3	4,5	15,2	24,2	30,4	34,2	39,7	44,7	49,9	60,5	70,6
$I_K / \text{mA}$	0	0	0	0,03	0,10	0,36	1,25	2,02	2,55	2,97	3,32	3,59	3,61	3,62	3,62
$U_{BE} / \text{V}$	0	0,42	0,5	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,66	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
$U_{KE} / \text{V}$	10	10	10	10	9,8	9,1	6,6	4,5	3,1	2,2	0,94	0,19	0,15	0,11	0,11

→ mit  $R_B = 91 \text{ k}\Omega$ ,  $U_K = 10 \text{ V}$  und  $R_K = 5,6 \text{ k}\Omega$ :

$I_B / \mu\text{A}$	0	0	0,1	0,6	1,4	4,1	15,1	18,9	20	26,4	37,4	50
$I_K / \text{mA}$	0	0	0	0,04	0,1	0,32	1,27	1,56	1,65	1,76	1,77	1,77
$U_{BE} / \text{V}$	0	0,4	0,5	0,56	0,58	0,61	0,65	0,65	0,65	0,65	0,66	0,66
$U_{KE} / \text{V}$	10	10	10	9,8	9,5	8,2	2,8	1,2	0,74	0,14	0,1	0,086

c) Siehe Material M 3 (Abb. 14)

d)

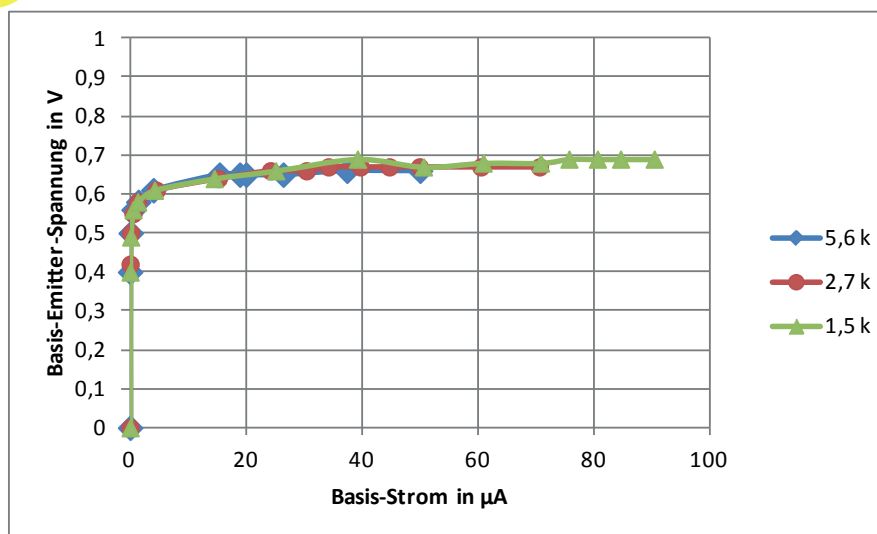


Abb. 21: Basis-Emitter-Spannung über dem Basis-Strom

Sobald ein Basis-Strom fließt, fällt zwischen Basis und Emitter eine Spannung ab. Abgesehen von ganz kleinen Basis-Strömen ist die Spannung  $U_{BE}$  unabhängig vom Basis-Strom und konstant. Gerundet gilt:  $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$ .