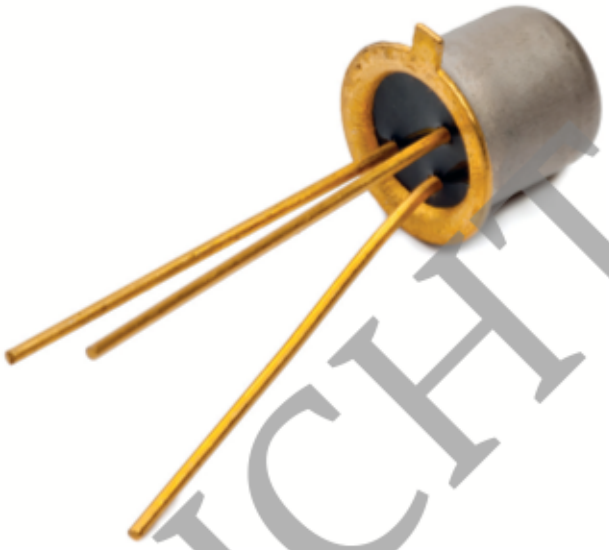
Der Transistor als Schalter – ein experimenteller Zugang

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.



© vlabo/Shutterstock

Abb. 1: Ein diskret aufgebauter Transistor

I/D

Jährlich werden weltweit so viele Transistoren hergestellt, wie es Sterne im Weltall gibt.[1]

VORANSICHT

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

[1] 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** D: 45 min	**Strom und Spannung – frischen Sie Ihr Wissen auf!**
M 2	**Ab, SV** V: 10 min D: 80 min	**Der Transistor als Stromverstärker** ❒ 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** D: 45 min	**Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus dem Versuch (M 2)**
M 4	**Ab** D: 45 min	**Der Transistor als Schalter**
M 5	**Ab, SV** V: 10 min D: 35 min	**Wir bauen eine Alarmanlage!** ❒ 1 Glühbirnchen (z. B. 4 V) ❒ 1 Foto-Widerstand ❒ mehrere Kabel ❒ 2 Gleichspannungsnetzgeräte ❒ 1 npn-Transistor ❒ 1 Steckbrett
M 6	**Ab** D: 45 min	**Lernerfolgskontrolle zum Thema „Transistor“**

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://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

VORANSICHT

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 Glühbirne) 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:

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

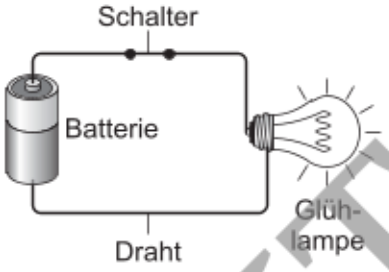


Abb. 7: Ein einfacher Stromkreis

I/D

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:

$U_0 = U_1 + U_2$. (2)

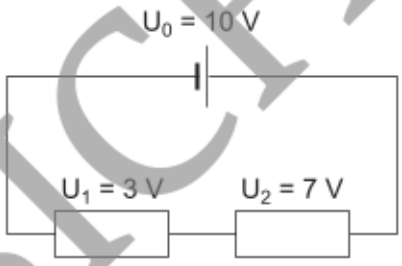


Abb. 8: Stromkreis mit zwei in Reihe geschalteten Widerständen

Strom- und Spannungsmessung

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

Abb. 9: Digitales Multimeter

© mania-room/Shutterstock

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).
- Art der Messung und Messbereich einstellen

  (→ Gleichspannung oder -strom und Messbereich, z. B. A, mA, µA).

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

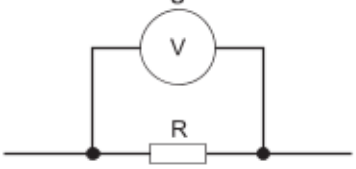


Abb. 10: Das Spannungsmessgerät wird parallel zum Widerstand geschaltet.

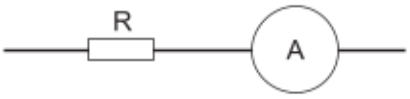


Abb. 11: Strommessgerät und Widerstand werden in Reihe geschaltet.

VORANSICHT

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, Emitter*** **und** ***Kollektor***. Das Schaltzeichen dieses Transistors zeigt Abb. 12.

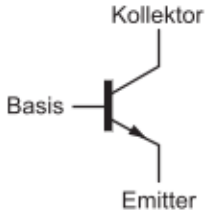


Abb. 12: Schaltzeichen eines npn-Transistors

Schülerversuch ⏲ Vorbereitung: 10 min Durchführung: 80 min

Materialien

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

I/D

Aufgabe

a) Bauen Sie die in Abb. 14 skizzierte Emitter-Schaltung auf. Wählen Sie beispielsweise U_B = 0 … 10 V, R_B = 91 kΩ, R_K = 1,5 kΩ, 2,7 kΩ, 5,6 kΩ und U_K = 10 V.

b) Nach Kontrolle der Schaltung durch die Lehrkraft: Stellen Sie verschiedene Basis-Ströme I_B ein (z. B. 0 … 90 µA). Messen Sie – für drei verschiedene Kollektor-Widerstände R_K – die dazugehörigen Kollektor-Ströme I_K sowie die zugehörigen Spannungen zwischen Basis und Emitter (U_{BE}) und zwischen Kollektor und Emitter (U_{KE}).

c) Stellen Sie den Kollektor-Strom I_K über dem Basis-Strom I_B für die drei Kollektor-Widerstände R_K grafisch dar.

d) Stellen Sie U_{BE} und U_{KE} über I_B grafisch dar.

e) Berechnen Sie mithilfe des Ohm'schen Gesetzes (1) den maximal möglichen Kollektor-Strom $I_{K,max}$.

f) 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

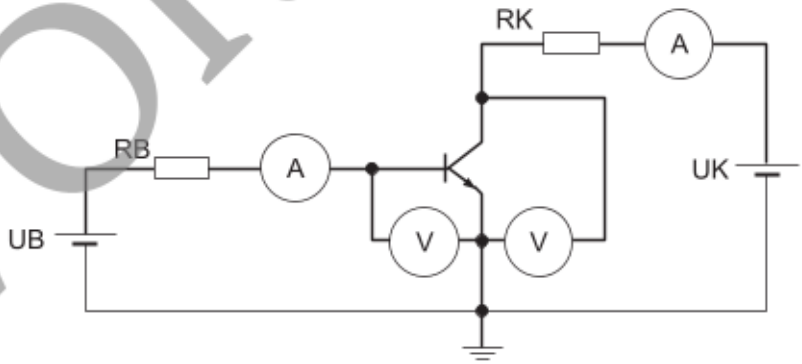


Abb. 13: Schaltskizze (Emitter-Schaltung) mit Messgeräten

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

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

VORANSICHT

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 V und ein Widerstand mit R_K = 100 Ω.

   Die Basis-Spannung U_B beträgt 5,0 V.

   Wie groß muss der Basis-Widerstand R_B sein, damit der Transistor (Stromverstärkungsfaktor B = 200) mit einem Übersteuerungsfaktor Ü = 2 durchschaltet?

© Syda Productions/Shutterstock

Abb. 20: Schüler in einer Klausur

VORANSICHT

I/D

Erläuterungen und Lösungen

M 2 Der Transistor als Stromverstärker

b) Messergebnisse für den Transistor vom Typ BC 141:

→ mit R_B = 91 kΩ, U_K = 10 V und R_K = 1,5 kΩ:

I_B / µA	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 / 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} / 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} / 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 RB = 91 kΩ, UK = 10 V und RK = 2,7 kΩ:

I_B / µA	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 / 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} / 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} / V	10	10	10	10	9,8	9,1	6,6	4,5	3,1	2,2	0,94	0,19	0,15	0,12	0,11

→ mit RB = 91 kΩ, UK = 10 V und RK = 5,6 kΩ:

I_B / µA	0	0	0,1	0,6	1,4	4	15,4	18,9	20	26,4	37,4	50
I_K / mA	0	0	0	0,04	0,1	0,32	1,27	1,56	1,65	1,76	1,77	1,77
U_{BE} / 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} / 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)

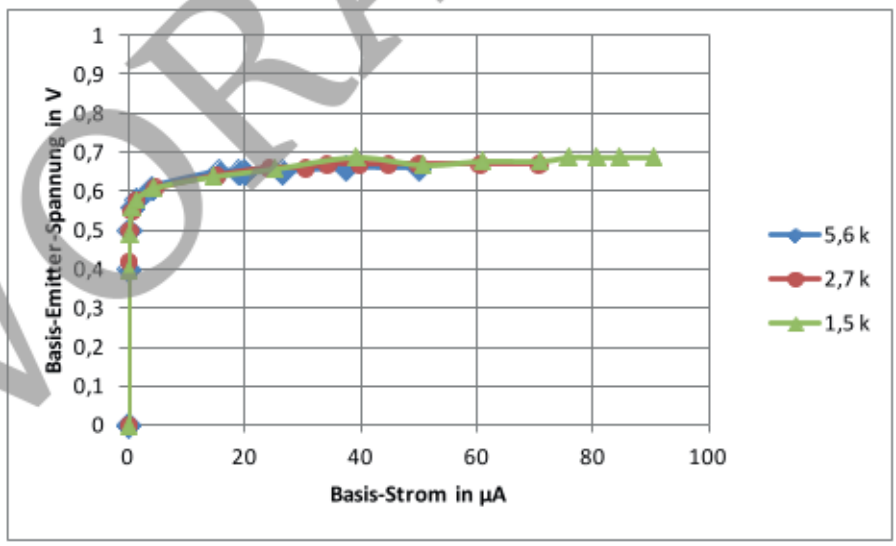


Abb. 21: Basis-Emitter-Spannung über dem Basis-Strom

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 V.

VORANSICHT