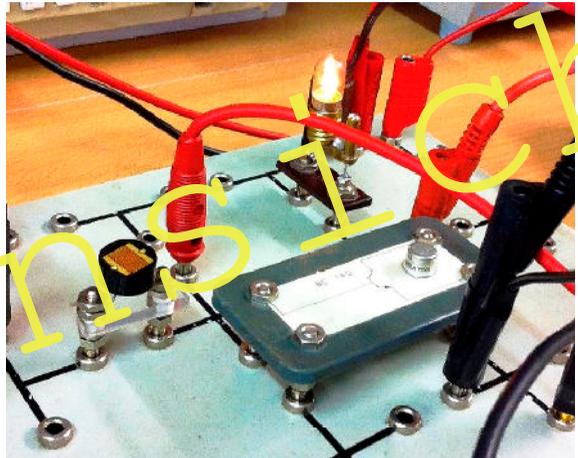


# UNTERRICHTS MATERIALIEN

## Physik Sek. II



**Der Transistor**

Ein experimenteller Zugang

## Impressum

RAABE UNTERRICHTS-MATERIALIEN Physik

5/2019

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Es ist gemäß § 60b UrhG hergestellt und ausschließlich zur Veranschaulichung des Unterrichts und der Lehre an Bildungseinrichtungen bestimmt. Die Dr. Josef Raabe Verlags-GmbH erteilt Ihnen für das Werk das einfache, nicht übertragbare Recht zur Nutzung für den persönlichen Gebrauch gemäß vorgenannter Zweckbestimmung. Unter Einhaltung der Nutzungsbedingungen sind Sie berechtigt, das Werk zum persönlichen Gebrauch gemäß vorgenannter Zweckbestimmung in Klassensatzstärke zu vervielfältigen. Jede darüber hinausgehende Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Hinweis zu §§ 60a, 60b UrhG: Das Werk oder Teile hiervon dürfen nicht ohne eine solche Einwilligung an Schulen oder in Unterrichts- und Lehrmedien (§ 60b Abs. 3 UrhG) vervielfältigt, insbesondere kopiert oder eingescannt, verbreitet oder in ein Netzwerk eingestellt oder sonst öffentlich zugänglich gemacht oder wiedergegeben werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen. Die Aufführung abgedruckter musikalischer Werke ist ggf. GEMA-meldepflichtig.

Für jedes Material wurden die Fremdrechte recherchiert und ggf. angefragt.

Dr. Josef Raabe Verlags-GmbH  
Ein Unternehmen der Klett Gruppe  
Rotebühlstraße 77  
70178 Stuttgart  
Telefon +49 711 62900-0  
Fax +49 711 62900-60  
meinRAABE@raabe.de  
www.raabe.de

Redaktion: Anna-Greta Wittnebel  
Satz: Röser MEDIA GmbH & Co. KG, Karlsruhe  
Illustrationen: Dr. Wolfgang Zettlmeier  
Bildnachweis Titel: Axel Donges  
Korrektorat: Johanna Stotz, Wyhl a. K.

## Der Transistor – Experimente

### 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. 1). Die genannten Größen sind über das Ohm'sche Gesetz miteinander verknüpft:

$$U = R \cdot I.$$

(1)

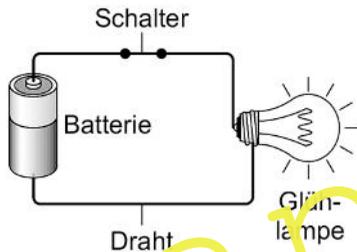


Abb. 1: Ein einfacher Stromkreis; Grafik: Dr. W. Zettlmeier

#### Malchenzatz (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. 2).

Es gilt:

$$U_0 = U_1 + U_2.$$

(2)

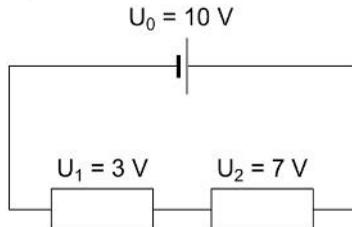


Abb. 2: Stromkreis mit zwei in Reihe geschalteten Widerständen; Grafik: Dr. W. Zettlmeier

## Strom- und Spannungsmessung

Sie werden Strom- und Spannungsmessungen mit einem *digitalen Multimeter* durchführen (siehe Abb. 3). Beachten Sie:

- Bei einer Spannungsmessung wird das Messgerät parallel zur Spannungsquelle/Widerstand geschaltet (siehe Abb. 4)
- Bei einer Strommessung muss das Messgerät in Reihe geschaltet werden, damit der zu messende Strom durch das Messgerät fließt (siehe Abb. 5).
- Art der Messung und Messbereich einstellen (→ Gleichspannung oder -strom und Messbereich, z. B. A, mA,  $\mu$ A). Mit größtem Messbereich beginnen.
- Plus- und Minuspol der Schaltung mit den zugehörigen Eingängen des Messgerätes verbinden (siehe Gebrauchsanweisung).
- Zum Schluss: Messgerät einschalten.



Abb. 3: Digitales Multimeter  
© mania-room/Shutterstock

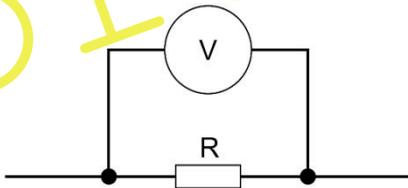


Abb. 4: Das Spannungsmessgerät wird parallel zum Widerstand geschaltet.

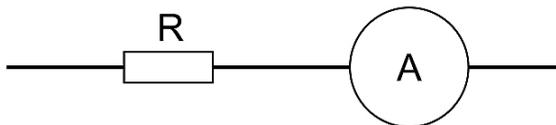


Abb. 5: Strommessgerät und Widerstand werden in Reihe geschaltet.

## 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. 6.

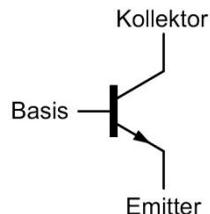


Abb. 6: Schaltzeichen eines npn-Transistors

### 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 $\Omega$ ;<br>91 k $\Omega$ oder 100 k $\Omega$ ) | <input type="checkbox"/> 4 Vielfachmessgeräte <sup>1</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. 7 (auf der nächsten Seite) skizzierte Emitter-Schaltung auf. Wählen Sie beispielsweise  $U_B = 0 \dots 10 \text{ V}$ ,  $R_B = 91 \text{ k}\Omega$ ,  $R_K = 1,5 \text{ k}\Omega$ ,  $2,7 \text{ k}\Omega$ ,  $5,6 \text{ k}\Omega$  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 Emitter ( $U_{BE}$ ) und zwischen Kollektor und Emitter ( $U_{KE}$ ).
- Stellen Sie den Kollektor-Strom  $I_K$  über dem Basis-Strom  $I_B$  für die drei Kollektor-Widerstände  $R_K$  grafisch dar.

<sup>1</sup> Das Experiment können Sie auch mit weniger Messgeräten ausführen. Die Messgrößen müssen dann – je nach Anzahl der Messgeräte – nacheinander ausgeführt werden.

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

Das durchgeführte Experiment zum Transistor hat Folgendes ergeben:

- Der in der untersuchten Schaltung (Abb. 7 auf der vorherigen Seite) fließende (große) Kollektor-Strom  $I_K$  hängt von dem (kleinen) Basis-Strom  $I_B$  ab.
- Solange der Basis-Strom  $I_B$  einen kritischen Wert  $I_{B,k}$  nicht übersteigt, sind Kollektor-Strom  $I_K$  und Basis-Strom  $I_B$  zueinander proportional (siehe Abb. 8):

$$I_K = B \cdot I_B; (I_B \leq I_{B,k}). \quad (3)$$

$B$  heißt **Stromverstärkungsfaktor**. Der in Kontext 2 untersuchte Transistor hat ein  $B$  von 84.

**Tipp:** Je nach verwendetem Transistor nimmt  $B$  typischerweise Werte im Bereich  $10 < B < 800$  an.

In diesem Sinne kann ein Transistor als ein Stromverstärker angesehen werden, der aus einem kleinen Basis-Strom  $I_B$  einen großen Kollektor-Strom  $I_K \gg I_B$  macht.

- Übersteigt der Basis-Strom  $I_B$  einen kritischen Wert  $I_{B,k}$ , so steigt der Kollektor-Strom  $I_K$  nicht weiter an. Der Kollektor-Strom geht in Sättigung (siehe Abb. 8):

$$I_K = B \cdot I_{B,k} = I_{K,max}; (I_B \geq I_{B,k}). \quad (4)$$

Man sagt dann: Der Transistor ist *durchgeschaltet*.

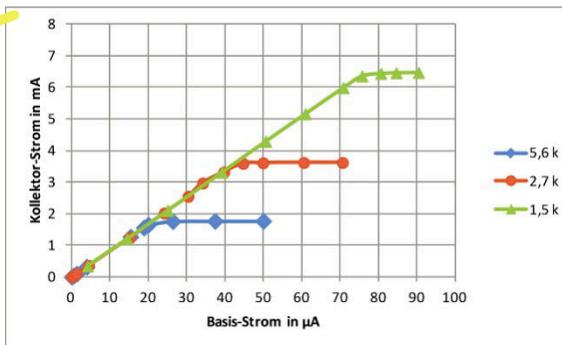


Abb. 8: Zusammenhang zwischen Kollektor-Strom  $I_K$  und Basis-Strom  $I_B$ .  $U_K = 10$  V;  $R_B = 91$  k $\Omega$ .

## 4 Der Transistor als Schalter

Die zuvor beschriebenen Eigenschaften des Transistors legen seine Verwendung als **Schalter** nahe. Mit einem Schalter lässt sich ein Strom einschalten (Widerstand des Schalters verschwindet,  $R_{\text{Schalter}} \rightarrow 0$ ) und ausschalten (Widerstand des Schalters geht gegen unendlich,  $R_{\text{Schalter}} \rightarrow \infty$ ) (siehe Abb. 9 und 10):

- Im Kollektor-Stromkreis wirkt ein Transistor im Fall  $I_B = 0$  praktisch wie ein **Leerlauf**, d. h. wie ein geöffneter Schalter (sehr hoher Widerstand). Es kann kein Kollektor-Strom  $I_K$  fließen.

- Im Kollektor-Stromkreis wirkt ein durchgeschalteter Transistor ( $I_B \geq I_{B,k}$ ) praktisch wie ein **Kurzschluss** (sehr niederohmiger Widerstand).

Damit der Transistor durchschaltet, muss für den Basis-Strom gelten:

$$I_B \geq I_{B,k}$$

- Damit der Transistor sicher durchschaltet, wird meist  $I_B > I_{B,k}$  gewählt.

Man sagt: Der Transistor wird **übersteuert**. Das Verhältnis

$$\ddot{U} = I_K / I_{B,k} > 1$$

wird als **Übersteuerungsfaktor** bezeichnet. Oft wird  $\ddot{U} = 2$  gewählt.



Abb. 9: Ein Transistor kann als Schalter verwendet werden.

© Sergii Korolko/  
Shutterstock

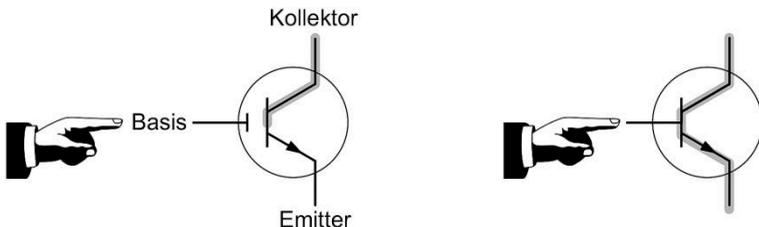


Abb. 10: Schematische Darstellung des Schaltverhaltens eines Transistors. Fließt kein Basis-Strom, ist der Schalter geöffnet. Es kann kein Strom vom Kollektor zum Emitter fließen. Fließt ausreichend großer Basis-Strom, schaltet der Transistor durch, und der Kollektorstrom kann (fast) ungehindert durch den Transistor fließen.

### Schülerversuch

🕒 Vorbereitung: 10 min

Durchführung: 35 min

#### Materialien

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> 1 Glühlampen (z. B. 4 V) | <input type="checkbox"/> 2 Gleichspannungsnetzgeräte |
| <input type="checkbox"/> 1 Foto-Widerstand        | <input type="checkbox"/> 1 npn-Transistor            |
| <input type="checkbox"/> mehrere Kabel            | <input type="checkbox"/> 1 Steckbrett                |

#### Aufgabe

- Bauen Sie die in Abb. 12 skizzierte Schaltung auf.  
Verwenden Sie jedoch als Basis-Widerstand einen Foto-Widerstand.
- Was beobachten Sie, wenn Sie den Foto-Widerstand beleuchten / abdunkeln?
- Erklären Sie Ihre Beobachtung.
- Nennen Sie ein Beispiel, wie diese Schaltung als eine Alarmanlage genutzt werden kann.

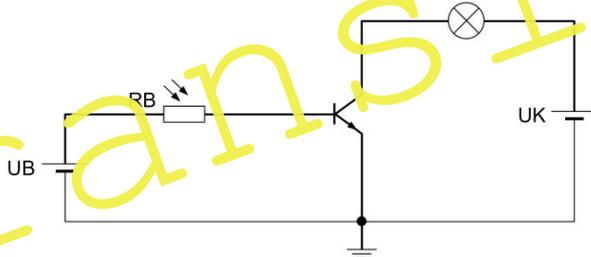


Abb. 12: Transistor mit Foto-Widerstand als Basis-Widerstand

#### Anmerkung:

Es gibt auch sog. Foto-Transistoren (Abb. 13). Diese haben keinen elektrischen Anschluss für die Basis, sondern stattdessen einen integrierten lichtempfindlichen Sensor. Werden sie mit Licht beleuchtet, kann ein Kollektor-Strom fließen.

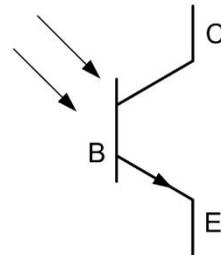


Abb. 13: Schaltbild eines Foto-Transistors

## 6 Lernerfolgskontrolle zum Thema „Transistor“

### Aufgaben

1. Wie bezeichnet man die drei Anschlüsse eines Transistors?

#### Tipp

Ordnen Sie die Buchstaben.

tretime, issab, 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  $\ddot{U} = 2$  durchgeschaltet?

### Kompetenzprofil

- Niveau: weiterführend, vertiefend
- Fachlicher Bezug: Physik, Elektronik, Elektrotechnik
- Kommunikation: Vermutungen äußern, argumentieren, diskutieren, bewerten
- Problemlösen: reproduzieren, Ergebnisse reflektieren
- Modellierung: Modell entwickeln
- Medien: Formelsammlung, Lehrbuch
- Methode: Einzelarbeit, Gruppenarbeit
- Inhalt in Stichworten: Experimentelle Erarbeitung der Funktionsweise eines Transistors; Praktisches Anwendungsbeispiel

Axel Donges, Isny im Allgäu

**Grafiken von:** Dr. Wolfgang Zettlmeier

## Lösungen

### 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
$I_K / \text{mA}$	0	0	0	0,04	0,10	0,34	1,20	2,10
$U_{BE} / \text{V}$	0	0,40	0,49	0,56	0,58	0,61	0,64	0,66
$U_{KE} / \text{V}$	10	10	10	10	9,9	9,6	8,2	6,9

$I_B / \mu\text{A}$	39,2	50,6	60,9	70,8	75,7	80,6	84,6	90,4
$I_K / \text{mA}$	3,31	4,29	5,16	5,99	6,36	6,44	6,46	6,47
$U_{BE} / \text{V}$	0,69	0,67	0,68	0,68	0,69	0,69	0,69	0,69
$U_{KE} / \text{V}$	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
$I_K / \text{mA}$	0	0	0	0,03	0,10	0,36	1,25	2,02
$U_{BE} / \text{V}$	0	0,42	0,5	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66
$U_{KE} / \text{V}$	10	10	10	10	9,8	9,1	6,6	4,5