

Zeitschrift: Schweizer Schule
Herausgeber: Christlicher Lehrer- und Erzieherverein der Schweiz
Band: 47 (1960)
Heft: 10: Anregungen zum Mathematik- und Physikunterricht in der Sekundarschule

Artikel: Transistoren : Einführung in ihre Wirkungsweise
Autor: Vonarburg, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-532589>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

ist als bei allen andern Stoffen (ca. 80 kcal pro kg).
Zum Sieden und Kondensieren: Im Versuch ‚Beobachtung des Siedepunktes‘ können wir beides beobachten. Nicht übersehen dürfen wir dann den Unterschied zwischen *Sieden* (Dampfbildung im Innern der Flüssigkeit, die eine bestimmte Temperatur, die Siedetemperatur = Siedepunkt, erfordert) und *Verdunsten* (Dampfbildung an der Oberfläche der Flüssigkeit, die bei jeder Temperatur unterhalb des Siedepunktes vor sich geht). Mit Äther können wir noch die Verdunstungskälte zeigen (mit Äther getränkter Wattebausch an die Thermometerkugel binden, in der Luft rasch schwenken, Temperaturabnahme feststellen). Der Versuch ‚Beobachtung des Siedepunktes‘ demonstriert ferner die Abhängigkeit des Siedepunktes vom Druck und erklärt auch die Frage:

Wie kommt es, daß auf hohen Bergen Wasser schon unter 100° C siedet?

Auf dem Pilatus (2100 m ü. M.), Luftdruck ca. 590 Torr.², siedet Wasser bei ca. 93° C. Auf dem Mont Blanc (4800 m ü. M.), Luftdruck ca. 415 Torr., siedet Wasser bei ca. 84° C.

Der gegenteilige Vorgang spielt im Dampfkochtopf eine Rolle, wobei z.B. Wasser bei 2 at Druck erst bei 120° C siedet.

Vielfältig sind die technischen Anwendungen dieser Erscheinungen.

Die Frage, warum sich Wasserdampf zum Heizen eignet, führt uns auf die Verdampfungswärme (die Wärmemenge, die 1 kg siedendes Wasser zum vollständigen Verdampfen erfordert). Sie ist sehr groß beim Wasser, ca. 540 kcal pro kg, und wird beim Abkühlen als Kondensationswärme wieder frei. Diese wird eben in Dampfheizungsanlagen ausgenützt.

Die vorliegende Stoffauswahl – aus den bereits erwähnten Lehrbüchern zusammengestellt – die man natürlich durch Kapitel der Wärmeausdehnung von Körpern, der Wärmeübertragung durch Leitung, Strömung und Strahlung, der Wärmequellen und der Wärmekraftmaschinen beliebig erweitern kann, vermittelt den Schülern schon recht viele grundlegende Erkenntnisse, obwohl sie durchwegs auf einfachen Experimenten aufbaut.

² 1 Torricelli = 1 mm Quecksilberstufe beim Barometer.

Transistoren

Einführung in ihre Wirkungsweise

Hsj. Vonarburg, dipl. Physiker, Aarau

Das Wort *Transistor* wird auch in den Köpfen Ihrer Schüler herumspuken. Vielleicht ist schon ein junger Bastler mit der Frage an Sie herangetreten: «Was ist denn ein Transistor?» Sicher möchten Sie persönlich auch wissen, wie dieses kaum zehn Jahre alte Verstärkerelement funktioniert, das in vielen Fällen sogar die klassischen Vakuumverstärkerröhren verdrängt, welche als unentbehrliches Hilfsmittel praktisch in jeden Zweig der heutigen Technik eingedrungen sind. Der Verfasser möchte Ihnen im folgenden deshalb die prinzipielle Wirkungsweise der Transistoren erklären. Bewußt werden gewisse Zusammenhänge etwas vereinfacht diskutiert. Auf quantitative mathematische Aussagen wird verzichtet.

Der elektrische Strom

Unter einem elektrischen Strom verstehen wir bekanntlich das Fließen von elektrisch geladenen Teilchen unter dem Einfluß einer elektrischen Spannung. Dabei zieht der positive Pol der Spannungsquelle negative Ladungen an und stößt positive ab. Die negative Elektrode verhält sich umgekehrt. (Vgl. Fig. 1.)

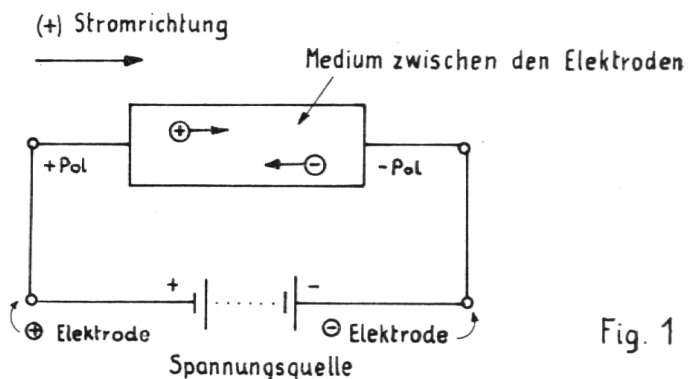


Fig. 1

Der Strom I ist um so größer, je kleiner der elektrische Widerstand R ist, den das Medium zwischen den beiden Polen der Bewegung der Ladungsträger entgegensetzt. Es gilt dabei

$$I = \frac{U}{R} \quad U = \text{Spannung}$$

Als positiver Strom wird die Richtung der positiven Ladungsträger angenommen.

Leiter, Isolatoren, Halbleiter

Ein Körper mit sehr kleinem elektrischem Wider-

stand R heißt Leiter, zum Beispiel Kupfer. Im Kupfer (wie in allen klassisch bekannten festen Stoffen) können sich dabei nur negativ geladene Teilchen bewegen, die Elektronen. Medien mit extrem hohem Widerstand heißen Isolatoren, zum Beispiel Vakuum, Porzellan und die sehr reinen Kristalle der chemischen Elemente Germanium und Silizium, die Ausgangsmaterialien für Transistoren. Zwischen den Leitern und Isolatoren liegen die Halbleiter mit hohem, aber nicht allzu großem Widerstand. Ein sehr reiner Germaniumkristall, der künstlich mit einem kleinen Anteil von Antimon verunreinigt wurde, ist ein Halbleiter. Da in dieser Zusammensetzung die Elektronen sich viel freier bewegen können als positive Ladungsträger, heißt der neue Stoff nun n-Germanium (n = negativ). Wird ein Germaniumkörper mit Aluminiumatomen ‚gedopt‘ (dieser Ausdruck stammt aus dem englischen Wort to dope = künstlich anreizen), so verhält er sich wie ein Halbleiter für positive Ladungsteilchen, und man nennt ihn deshalb p-Germanium (p von positiv). Es stehen ihm keine eigenen freien Elektronen für den Stromtransport zur Verfügung¹.

Die Kristall- oder Halbleiter-Diode

Setzt man eine dünne Schicht n-Germanium und eine p-Schicht zusammen (vgl. Fig. 2), so zeigt diese Kombination ein merkwürdiges Verhalten: Beim Anlegen einer positiven Spannung an die p-Schicht und einer negativen an die n-Schicht, strömen Elektronen nach dem Plus-Pol und positive Ladungsträger zum Minus-Pol. Der elektrische Widerstand ist relativ klein (100–1000 Ohm), vgl. Fig. 2 a. Polen wir jedoch um (vgl. Fig. 2 b), so fließt praktisch kein Strom mehr. Der Widerstand beträgt mehr als 1 000 000 Ohm. Die p-n-Schicht wirkt also wie ein Gleichrichter (Diode), da der positive elektrische Strom nur in einer Richtung strömen kann und der negative nur in der andern.

Der Transistor

Ein Transistor entsteht nun, wenn man an den n-Bereich der p-n-Diode noch eine dritte Schicht aus p-Germanium anhängt (vgl. Fig. 3 a). Diese Kombination heißt p-n-p Transistor. Eine andere Mög-

¹ Wir verweisen in diesem Zusammenhang auf das eben erschienene Bändchen von F. Voit, Die Halbleiter im Unterricht, Aulis-Verlag, Köln 1960.

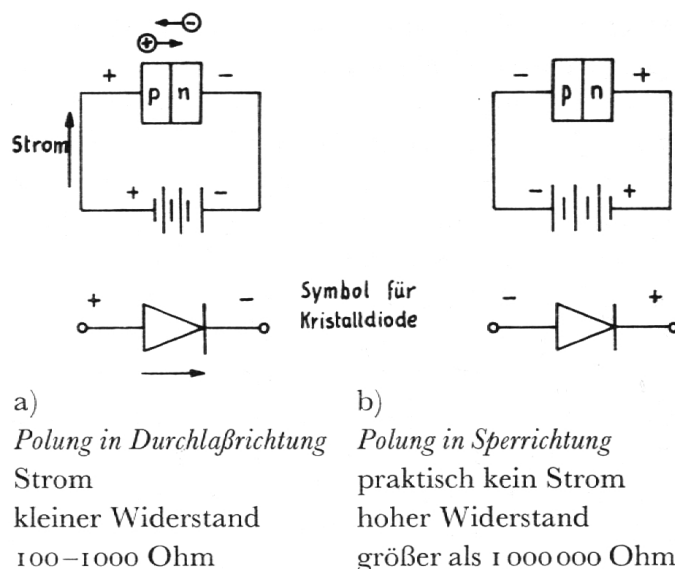


Fig. 2 Die p-n-Schicht als Gleichrichter

lichkeit realisiert der n-p-n Transistor (Fig. 3 b). Vergleicht man diese beiden Typen von Flächentransistoren mit den oben besprochenen n-p Dioden, so erkennt man, daß beide Varianten der Transistoren wie eine Kombination gegeneinander ge-

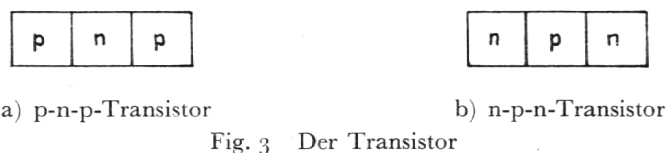


Fig. 3 Der Transistor

schalteter Dioden aufgebaut sind (vgl. Fig. 3). Der wesentliche Unterschied zu zwei einzelnen Dioden besteht jedoch darin, daß beim Transistor die mittlere Schicht für beide Gleichrichter gemeinsam ist. Es ist nun für jede der drei Schichten ein Anschluß für eine äußere Spannung möglich, den wir folgendermaßen benennen (vgl. Fig. 4):

Anschluß der linken Schicht: Emitter E
Anschluß der rechten Schicht: Kollektor K
Anschluß der mittlern, gemeinsamen Schicht: Basis B

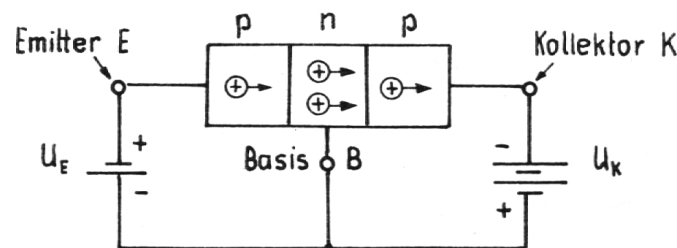


Fig. 4

Legt man nun zwischen Kollektor und Basis eines p-n-p-Transistors eine negative (Kollektor-)Spannung U_K an (vgl. Fig. 4), so fließt nur ein kleiner Strom zwischen Basis und Kollektor, da die rechte p-n-Diode sperrt. Eine positive Spannung U_E zwischen Emittter und Basis betreibt die linke p-n-Diode in Durchlaßrichtung. Wir erwarten, daß vom Emittter aus der Basis heraus wegen des kleinen Widerstandes ein relativ großer Strom fließt. Wir täuschen uns aber, da wir den erstaunlichen Transistoreffekt in der (mittleren) n-Schicht noch nicht kennen: positive Ladungsträger der linken Emittter-Schicht wandern zwar vom Plus-Pol der Emittter-Spannung in die n-Schicht, wie vorausgesehen. Anstatt jedoch direkt zur Basis zu gelangen und so den Stromkreis zu schließen, besinnen sich diese positiven Ladungsträger eines Bessern: in der n-Schicht sind sie nämlich in das negative, also anziehende Spannungsfeld des Kollektors gelangt. Sie strömen fast gesamthaft überraschenderweise zum Kollektor. Daher stammen die Namen Kollektor (= Sammler) und Emittter (= Aussendender, Ausströmender). Im Kollektor-Kreis kann also nur ein merklicher Strom I_K fließen, wenn ein Steuerstrom I_E aus dem Emittter dies ermöglicht.

Der n-p-n-Transistor verhält sich analog, wenn umgekehrte Spannungen als beim p-n-p-Typ angebracht werden.

Die Grundsaltungen des Transistors

Der Transistor ist wegen seiner drei Anschlüsse ein Drei-Pol. Wird er als Verstärkerelement verwendet, das heißt mit einer Eingangsseite (zwei Anschlüsse, vgl. Fig. 5) und zwei Ausgangsklemmen, so muß beim Transistor (wie auch bei der Vakuumverstärkerröhre!) je ein Anschluß der Eingangs- und Ausgangsseite gemeinsam sein.

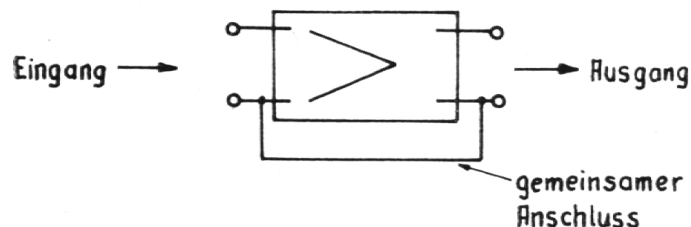


Fig. 5 Der Verstärker

Es gibt deshalb drei verschiedene grundsätzliche Schaltungsmöglichkeiten des Transistors, je nachdem, ob der Emittter, der Kollektor oder die Basis

sowohl dem Eingang als auch dem Ausgang angehören, das heißt für die Schaltung dienen.

Man benützt für die Bezeichnung der Transistoren außer der in Fig. 4 gewählten auch die Symbolik wie in Fig. 6.

- a) Emittterbasis-Schaltung (Fig. 6 a)
- b) Kollektorbasis-Schaltung (Fig. 6 b)
- c) Basis-Basis-Schaltung (Fig. 6 c)

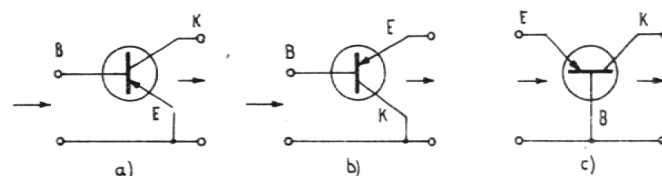


Fig. 6 Die Grundsaltungen des Transistors

Eine Verstärkung ist nur in der Pfeilrichtung möglich.

Die Verstärkung des Transistors

Wir wollen die Verstärkerwirkung des Transistors in der praktisch wichtigsten Schaltung, der Emittterbasis-Schaltung, diskutieren. (Vgl. Fig. 7.)

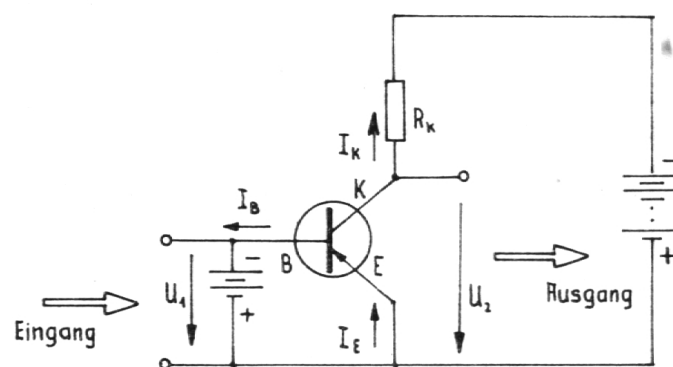


Fig. 7 Die Emittterbasis-Schaltung als Verstärker

Legt man zwischen der Basis und dem Emittter eine negative Eingangsspannung U_1 an, so ist der Eingangswiderstand des Transistors klein. Es fließt ein Strom I_E in den Emittter hinein. Dieser gelangt (wie vorher gezeigt wurde) fast vollständig zum negativen Kollektor, während nur ein Bruchteil als Basisstrom I_B die Basis verläßt. Wird dieser Basisstrom nun um den Betrag i_B durch Erhöhung der negativen Spannung U_1 zwischen Basis und Emittter der Größe u_1 erhöht, so steigt der Kollektorstrom I_K um den Betrag i_K , wobei i_K zirka 50mal (beim Germanium-Transistor) so groß ist wie die Änderung des Basisstromes i_B :

$$i_K = \gamma \cdot i_B \quad \gamma = \text{ungefähr } 50$$

γ heißt der Stromverstärkungsfaktor.

Eine kleine Stromänderung des Eingangs bewirkt also eine 50mal so große Variierung des Ausgangsstromes. Im Transistor findet also eine bedeutende Stromverstärkung statt.

Man kann zeigen, daß für ein Arbeitswiderstand R_K im Kollektorkreis von 2000 Ohm die Ausgangsspannung U_2 ebenfalls zirka 50mal stärker ändert, wenn die Eingangs-Spannung variiert wird. Mit der Emitter-Schaltung ist also auch eine Spannungsverstärkung möglich.

Vorteile der Transistoren gegenüber den klassischen Verstärkeröhren

1. Geringer Stromverbrauch: Der Transistor besitzt keinen Heizdraht und benötigt daher bedeutend weniger Leistung als die normalen Elektronenröhren.

2. Transistoren sind nur erbsengroß, sind also viel kleiner als Vakuumröhren und bedeutend leichter.

3. Die Lebensdauer der Transistoren ist bei richtiger Anwendung bedeutend höher als die klassischer Röhren.

Die Transistoren haben auch Nachteile

1. Sie sind viel temperaturempfindlicher als ihre Rivalen. Es mußten deshalb speziell stabilisierend wirkende Schaltungen entwickelt werden. Germanium-Transistoren dürfen dabei höchstens bis zirka 60° erhitzt werden, Siliziumtypen bis zirka 150°C .

2. Für gewisse Anwendungen ist ihr kleiner Eingangswiderstand nachteilig.

3. Man kommt noch nicht bis zu so hohen Frequenzen wie mit den üblichen Verstärkerelementen. In dieser Richtung wird aber die Weiterentwicklung stark vorwärtsgetrieben. Auch strebt man noch größere Leistungen an.

Aktuelle Walliser Schulfragen

Im Vordergrund des Interesses steht heute bei allen Freunden der Walliser Schule – und wir fassen das Wort Schule im weitesten Sinne, verstehen darunter also auch die Mittel- und Berufsschulen sowie die verschiedenen Bemühungen um die Erwachsenenbildung – das neue Schulgesetz, an dessen Vorbereitung bereits seit längerer Zeit gearbeitet wird.

Wenn man wissen möchte, was es enthalten soll, muß man sich die Frage stellen, welches die noch ungelösten Probleme der Walliser Schule sind. Wer objektiv urteilen will und sich nicht von den in den letzten Jahren erreichten erfreulichen Fortschritten blenden läßt, wird etwa folgende Wünsche vorbringen und zugleich sagen, daß ihre Verwirklichung dringlich ist:

Das Walliser Erziehungs- und Schulwesen ist heute im wesentlichen durch drei

Gesetze geregelt. Das Gesetz über das Primar- und Haushaltungsschulwesen ist neuern Datums, stammt es doch erst aus dem Jahre 1946. Für die damalige Zeit brachte es wesentliche Verbesserungen, deren großer und bleibender Wert nur von denen richtig ersehen werden kann, die seine Anwendung aus nächster Nähe miterlebten und auch in einem gewissen Umfange damit betraut waren. Wir denken hier hauptsächlich an die Verallgemeinerung des hauswirtschaftlichen Unterrichtes, an die Förderung der Sekundarschulen und an die Bestimmung, daß der Große Rat über die Gehälter des Lehrpersonals zu befinden habe und diese den jeweiligen Verhältnissen anpassen könne.

Andererseits ist aber zu sagen, daß sich die eine oder andere dieser Vorschriften in der Folge als zu wenig wirksam erwies.

Umschau

Hier wird nun eine neue Schulgesetzgebung vor allem ansetzen müssen. Im Sektor Haushaltungs- und Sekundarschulen braucht es für die Gemeinden eine Verstärkung der gesetzlichen Verpflichtung, diesen heute unerläßlichen Unterricht allen Kindern beiderlei Geschlechtes, die sich auf ihrem Gebiete aufhalten und bezüglich Fähigkeiten und Alter die vorgeschriebenen Bedingungen erfüllen, zugänglich zu machen. Während Jahren wurde nun versucht, diese wichtigen Fragen auf regionalem Boden zu lösen, was nach unserer Ansicht in Gegenden mit zahlreichen kleinen Gemeinden die zweckmäßige Regelung darstellt. Der Erfolg blieb aber da und dort bescheiden, und man darf sich nicht wundern, wenn ob der vielen finanziellen und organisatorischen Schwierigkeiten, denen Gemeinden, Staat und auch Privatpersonen