

## 2.5 Elektronik

### 2.5.1 Was ist Elektronik?

Elektronik ist die Lehre von Elektronen bzw. Ionen<sup>1</sup> im Vakuum, in Gasen und in Halbleitern. Über den Stammbaum der Elektronik gibt Abb. 2.5-1 Auskunft. Halbleiter sind Werkstoffe, deren elektrisches Leitfähigkeitsverhalten unter Normalbedingungen zwischen dem der Metalle und der Isolatoren liegt. Die elektrische Leitfähigkeit der Halbleiterbauelemente wird dabei durch Störungen (Verunreinigungen) im Gitteraufbau des Materials bestimmt. Die wichtigsten Halbleiterbauelemente sind Halbleiterwiderstand, -kapazität, -diode und Transistor.

Elektronische Bauteile übernehmen heute immer mehr Aufgaben, die früher von mechanischen oder elektromechanischen Bauelementen ausgeführt wurden, oder aus technischen und wirtschaftlichen Gründen überhaupt nicht gelöst werden konnten. So werden heute z.B. Transistoren, Dioden und ICs<sup>2</sup> an Stelle von Röhren, Relais, Schaltern und mechanischen Laufwerken verwendet.

Die Hauptanwendungsgebiete der Elektronik sind die Unterhaltungselektronik, zu der man die Bereiche Rundfunk, Fernsehen und Phonotechnik zählt und die uns mehr interessierende Industrieelektronik mit den Bereichen Meßtechnik, elektronische Datenverarbeitung (EDV) sowie der Steuerungs- und Regeltechnik.

### 2.5.2 Grundbausteine der Elektronik

Widerstände, Dioden und Transistoren werden in großer Zahl für elektronische Einrichtungen benötigt. Sie sind in ihrer äußeren Form ebenso unterschiedlich wie die Aufgaben, die sie zu erfüllen haben.

Es soll im Rahmen dieses Leitfadens etwas über die Eigenschaften dieser Bauelemente gesagt und an Beispielen gezeigt werden, welche Funktionen sie zu erfüllen haben. Daß dabei ein Anspruch auf Vollständigkeit nicht erhoben werden kann, sei vorausgeschickt.

<sup>1</sup> Ion: elektrisch positiv oder negativ geladenes Teilchen

<sup>2</sup> IC: Integrated Circuit, engl. = Integrierter Schaltkreis

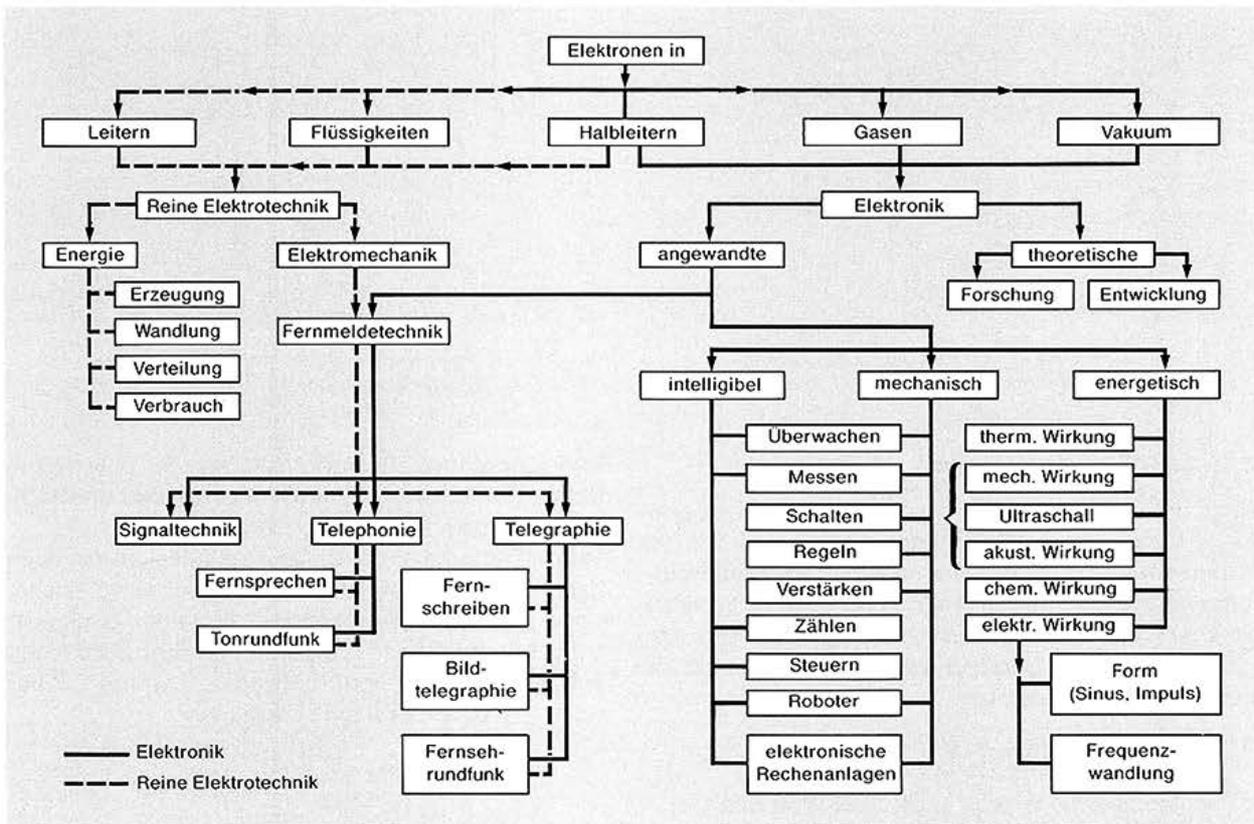


Abb. 2.5-1: Stammbaum der Elektronik

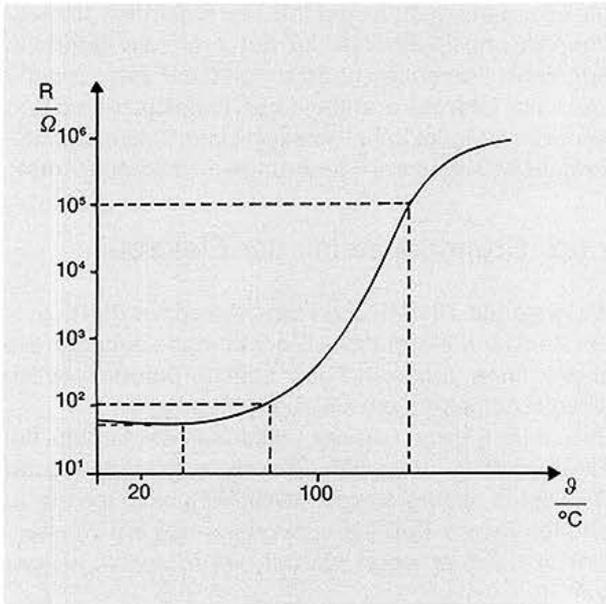


Abb. 2.5-2: Widerstandsverlauf eines PTC-Widerstandes in Abhängigkeit von der Temperatur

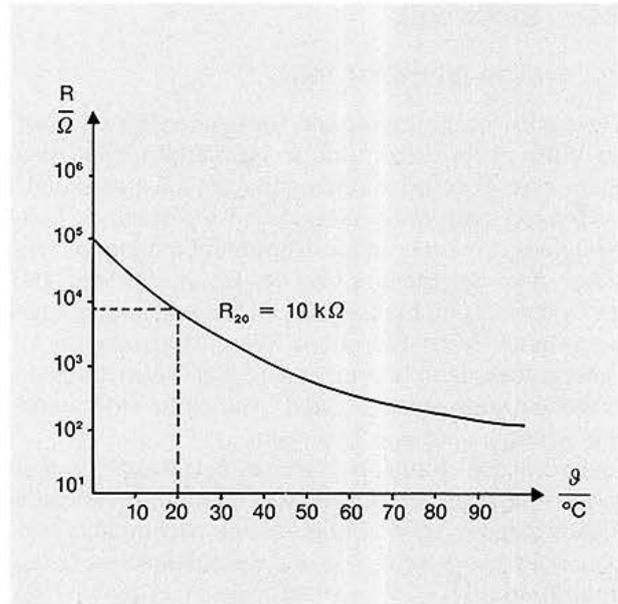


Abb. 2.5-3: Widerstandsverlauf eines NTC-Widerstandes in Abhängigkeit von der Temperatur

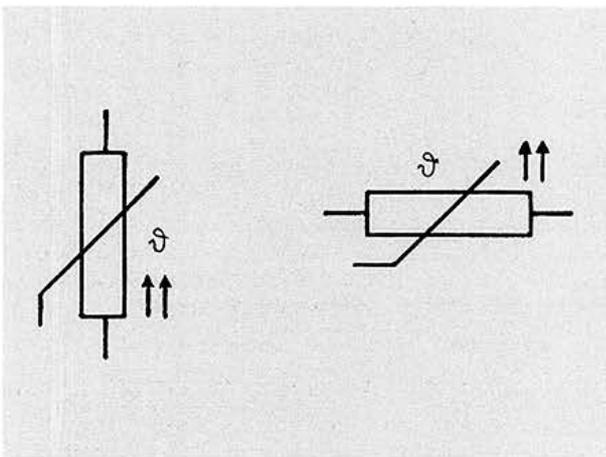


Abb. 2.5-4: Schaltzeichen von Kaltleiterwiderständen (PTC-Widerständen)

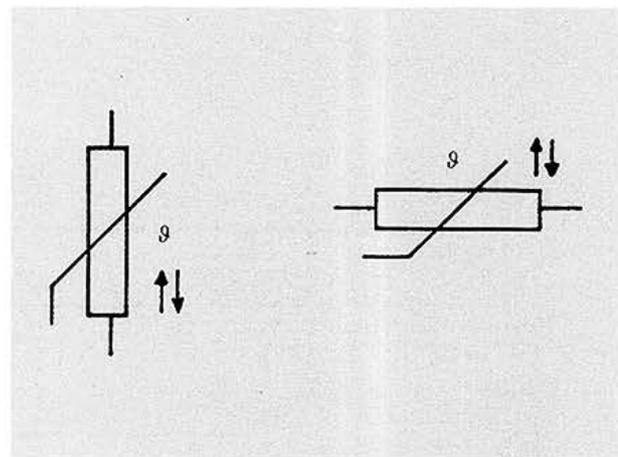


Abb. 2.5-5: Schaltzeichen von Heißeiterwiderständen (NTC-Widerständen)

**2.5.2.1 Halbleiterwiderstände**

Bestimmte Widerstände zeigen eine große Temperatur-, Licht- oder Spannungsabhängigkeit ihres Widerstandsverhaltens. Aus entsprechenden Halbleiterwerkstoffen fertigt man Widerstände, deren Widerstandswert sich durch äußere Einflüsse (Temperatur-, Licht-, Spannungsschwankungen) stark ändert. Man unterscheidet

- temperaturabhängige Widerstände (PTC-, NTC-Widerstände)
- lichtabhängige Widerstände (LDR-Widerstände)
- spannungsabhängige Widerstände (VDR-Widerstände).

Bei temperaturabhängigen Widerständen unterscheidet man zwischen Heißeiterwiderständen und Kaltleiterwiderständen.

Widerstände, deren elektrische Leitfähigkeit im kalten Zustand sehr viel größer ist als im warmen Zustand, werden als **Kaltleiter** bezeichnet. Ihr Widerstandswert nimmt mit steigender Temperatur zu. Sie haben einen recht großen Temperaturbeiwert und werden daher auch als PTC-Widerstände<sup>1</sup> bezeichnet.

<sup>1</sup> PTC: Positive Temperature Coefficient, engl. = positiver Temperaturfaktor

Anwendung von PTC-Widerständen: Sie werden z. B. als Temperaturfühler in Maschinen eingesetzt. Denn wird ein PTC-Widerstand nur mit kleinen Spannungen betrieben (etwa 1 V), so wird die Temperatur des PTC-Widerstandes durch die Umgebungstemperatur bestimmt. Erhöht sich die Temperatur nun im Innern der Maschine unzulässig stark, so kann durch den PTC-Widerstand eine Sicherheitsabschaltung ausgelöst werden.

Neben der Anwendung als Motoren- und Geräteschutz kann der PTC-Widerstand auch als Temperaturregler verwendet werden. Denn wählt man die Spannung am PTC-Widerstand so groß (10 – 60 V) daß ein Strom fließt, der den PTC-Widerstand merklich erwärmt, so wird die Temperatur des PTC-Widerstandes durch die angelegte Spannung und die Kühlung bestimmt. Er kann somit als Füllstandsanzeiger eingesetzt werden. Hat die Flüssigkeit den PTC-Widerstand erreicht, so kühlt sie ihn stark, der Widerstandswert nimmt ab, und der Füllvorgang kann automatisch unterbrochen werden.

Widerstände, deren elektrische Leitfähigkeit im heißen Zustand sehr viel größer ist als im kalten Zustand, werden als **Heißleiter** bezeichnet. Ihr Widerstandswert nimmt mit steigender Temperatur ab. Sie haben einen recht großen negativen Temperaturbeiwert und werden daher auch NTC-Widerstände<sup>1</sup> oder Thermistoren genannt.

Die beiden entgegengerichteten kleinen Pfeile im Schaltzeichen der Abb. 2.5-5 deuten an, daß bei Zunahme der Temperatur der Widerstandswert abnimmt.

Anwendung von NTC-Widerständen: Heißleiterwiderstände werden in großem Umfang zur Temperaturstabilisierung von Halbleiterschaltungen eingesetzt. Die Widerstandsänderungen des Heißleiters werden hervorgerufen durch eine Änderung der Temperatur des umgebenden Mediums und innere Erwärmung durch unterschiedliche elektrische Belastung. In Stromkreisen dienen sie so zur Herabsetzung des Einschaltstromes. Sie eignen sich ebenfalls gut als Temperaturfühler, wo Meßort und Anzeigeort weit auseinanderliegen. In sogenannten Zeitschaltungen wird das zeitliche Verhalten des Heißleiters bei Erwärmung und Abkühlung ausgenützt.

#### Merke

Beim Heißleiter (NTC-Widerstand) sinkt der Wert des Widerstandes mit steigender Temperatur.

Beim Kaltleiterwiderstand (PTC-Widerstand) steigt der Wert des Widerstandes mit steigender Temperatur.

Widerstände, deren elektrische Leitfähigkeit sich mit dem auf sie fallenden Licht bzw. der Beleuchtungsstärke ändert, werden als **Fotowiderstände** bezeichnet. Ihr Widerstandswert nimmt mit zunehmender

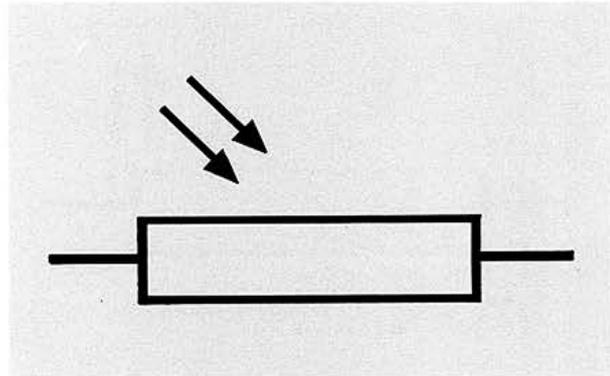


Abb. 2.5-6: Schaltzeichen von Fotowiderständen (LDR-Widerständen)

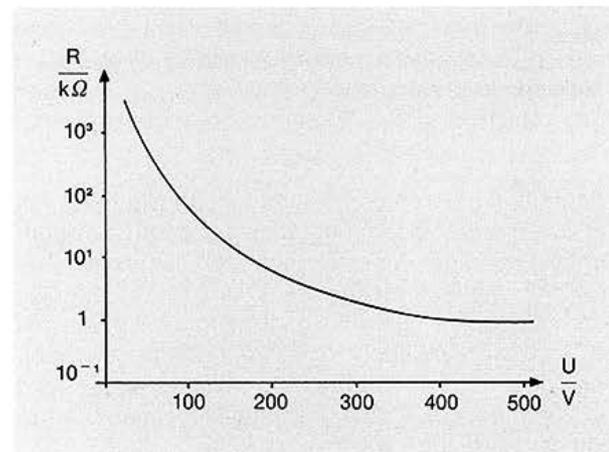


Abb. 2.5-7: Widerstandsverlauf eines VDR-Widerstandes in Abhängigkeit von der Spannung

Lichteinstrahlung ab. Widerstände mit diesen Eigenschaften werden auch LDR-Widerstände<sup>2</sup> genannt. Das Schaltzeichen zeigt Abb. 2.5-6. Dabei deuten die beiden kleinen parallelen Pfeile an, daß bei zunehmendem Lichteinfall der Widerstandswert abnimmt.

Anwendung von LDR-Widerständen: Sie werden in großer Zahl für Lichtschranken zur Produktionskontrolle, als Schutzvorrichtung, wie z. B. als Dämmerungsschalter, Feuermelder oder in numerisch gesteuerten Maschinen zur Winkel- und Positionsmessung verwendet. Sie finden auch Verwendung in vielen anderen Schaltungen der Steuer- und Regelungstechnik, so z. B. als Flammenwächter in Ölzentralheizungsanlagen oder in Belichtungsmessern.

<sup>1</sup> NTC: = Negative Temperature Coefficient, engl. = negativer Temperaturfaktor

<sup>2</sup> LDR: Light Dependent Resistor, engl. = lichtabhängiger Widerstand

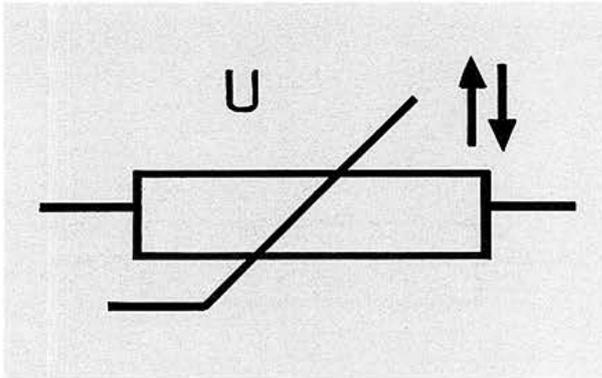


Abb. 2.5-8: Schaltzeichen von VDR-Widerständen

**Merke**

Beim Fotowiderstand (LDR-Widerstand) sinkt der Wert des Widerstandes mit steigender Lichtstärke.

Widerstände, deren elektrische Leitfähigkeit sich mit der anliegenden Spannung ändert, werden als spannungsabhängige Widerstände oder **Varistoren** bezeichnet. Sie sind elektrische Widerstände, die sich durch eine starke Spannungsabhängigkeit auszeichnen und werden auch VDR-Widerstände<sup>1</sup> genannt. Der Widerstandswert eines VDR-Widerstandes wird mit zunehmender Spannung immer kleiner. Die Polung der Spannung spielt keine Rolle.

Die beiden entgegengerichteten kleinen Pfeile im Schaltzeichen in der Abb. 2.5-8 deuten an, daß bei zunehmender Spannung der Widerstandswert abnimmt.

Anwendung von VDR-Widerständen: Sie eignen sich sehr gut, um Geräte, Bausteine und teure Bauelemente vor Überspannungen zu schützen. Sie dienen der Spannungsbegrenzung, Spannungsstabilisierung und der Funkenlöschung. Die Funken entstehen automatisch beim Öffnen von Schaltkontakten, wenn die Spannung plötzlich auf über 300 V ansteigt (sog. Spannungsspitzen z.B. beim Relais). VDR-Widerstände werden bei der Skalendehnung von Meßgeräten verwendet und können außerdem Spannungs- und Stromkurven verformen. Sie werden daher auch in der Steuer- und Regelungstechnik genutzt.

**Merke**

Beim Varistor (VDR-Widerstand) sinkt der Wert des Widerstandes mit steigender Spannung.

<sup>1</sup> VDR: Voltage Dependent Resistor, engl. = spannungsabhängiger Widerstand

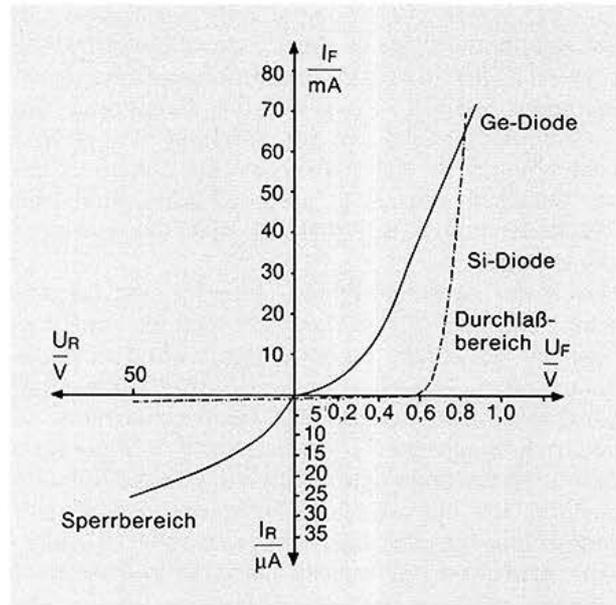


Abb. 2.5-9: Kennlinie einer Halbleiterdiode

$I_F, U_F$ : Strom bzw. Spannung in Durchlaßrichtung,  $I_R, U_R$ : Strom bzw. Spannung in Sperrichtung

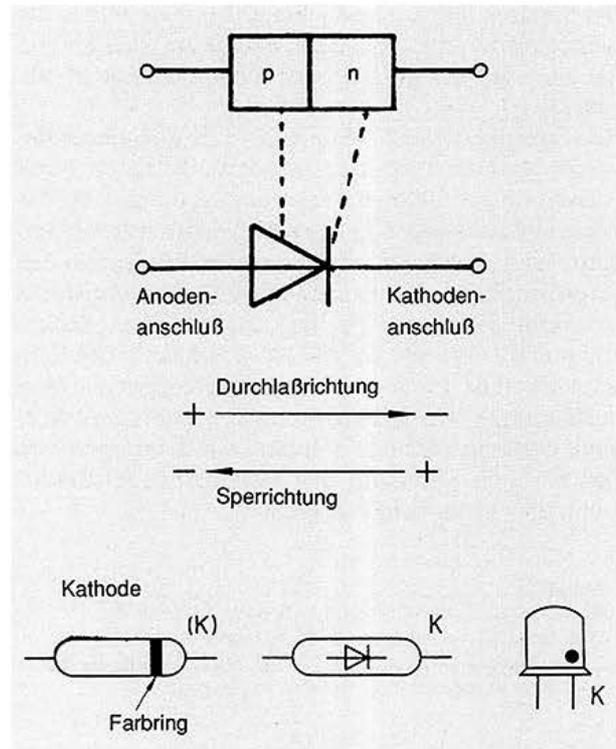


Abb. 2.5-10: Schaltzeichen von Halbleiterdioden und Kennzeichnung des Kathodenanschlusses bei verschiedenen Bauformen

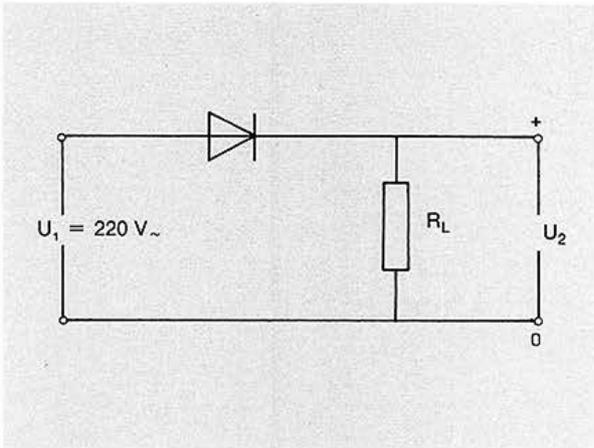


Abb. 2.5-11: Einweg-Gleichrichterschaltung

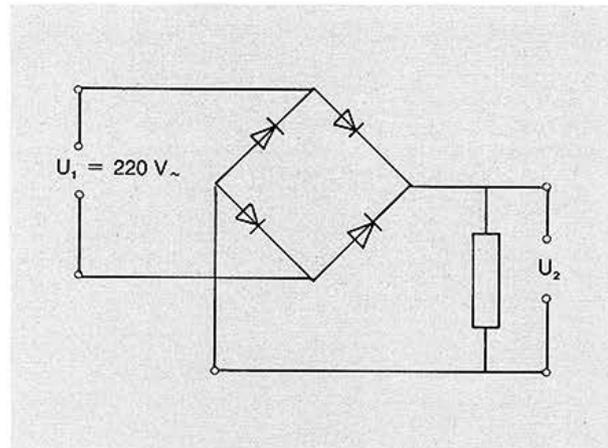


Abb. 2.5-12: Doppelweg-Gleichrichterschaltung

### 2.5.2.2 Halbleiterdioden

Viele elektrische Geräte wie z. B. Radios oder Tonbandgeräte werden beim Betrieb an die Netzwechselspannung angeschlossen, obwohl sie eigentlich Gleichspannung benötigen. Die Netzwechselspannung wird dabei mit Hilfe von **Halbleiterdioden** gleichgerichtet. Sie bestehen aus einem Einkristall mit einer p-leitenden (Defektelektronenüberschuß) und einer n-leitenden Schicht (Elektronenüberschuß), die sich berühren. Das Kristall befindet sich in einem Schutzgehäuse. Die Halbleiterdiode leitet aufgrund physikalischer Gesetze den Strom nur in einer Richtung, der sogenannten Durchgangsrichtung. In der anderen Richtung, der sogenannten Sperrichtung, hat die Diode einen sehr großen Widerstandswert. Die Durchlaßrichtung liegt vor, wenn der Pluspol am p-Leiter und der Minuspol am n-Leiter liegt. Bei umgekehrter Polung ist die Diode in Sperrichtung geschaltet. Das heißt, der Widerstandswert der Diode ist sehr niedrig, wenn der pn-Übergang in Durchlaßrichtung gepolt ist, und sehr hoch, wenn er in Sperrichtung gepolt ist.

Anwendung von Halbleiterdioden: Die Ventilwirkung der Diode hat große technische Bedeutung. Mit Diodenschaltungen werden Wechselspannungen in Gleichspannungen übergeführt, Spannungen vervielfacht und im Bereich der Digitaltechnik werden sie als Schalter verwendet. Neben den normalen Dioden gibt es spezielle Dioden wie Gleichrichterdiode, Zenerdioden und Fotodioden, deren wichtigste Anwendung die Solarzelle ist, sowie Leuchtdioden.

**Gleichrichterdiode:** In der Praxis wird ein Unterschied zwischen Dioden einerseits und Gleichrichtern andererseits gemacht.

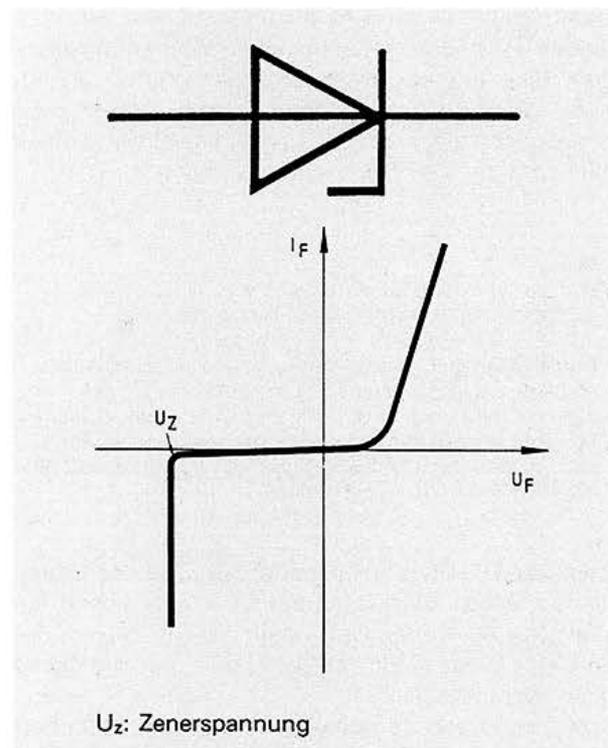


Abb. 2.5-13: Schaltzeichen und Kennlinie von Zenerdioden

Gleichrichterdiode sind Halbleiterdioden, die für den Einsatz in Stromversorgungsgeräten oder Netzteilen gebaut sind. Sie sind für große Stromstärken (bis zu 1 000 A) und meist auch für große Sperrspannungen (über 3 000 V) bemessen. Sie richten also große Leistungen gleich. Die gelegentlich verwendete Bezeichnung Leistungsdiode ist darum sachgerechter.

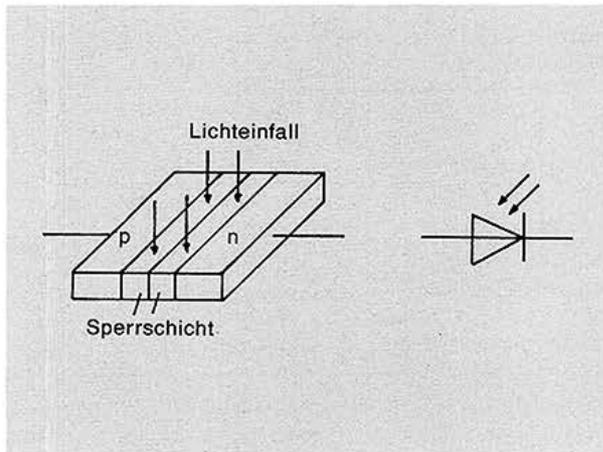


Abb. 2.5-14: Prinzipieller Aufbau und Schaltzeichen der Fotodiode

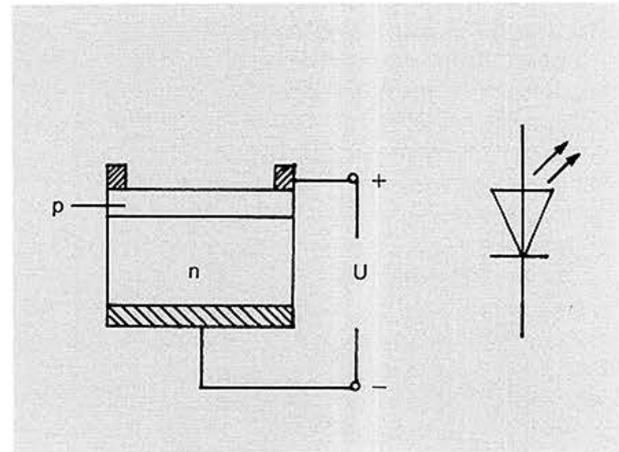


Abb. 2.5-15: Prinzipieller Aufbau und Schaltzeichen einer Leuchtdiode (LED)

Leistungsdioden sind heute überwiegend Siliziumdioden und haben verhältnismäßig kleine Abmessungen. Eine Einweggleichrichtung zeigt Abb. 2.5-11, eine Doppelweggleichrichtung Abb. 2.5-12, die Graetz-Schaltung<sup>1</sup>, bei der ein Wechselstrom in einen pulsierenden Gleichstrom umgewandelt wird.

#### Merke

Die Gleichrichterdiode verhält sich wie ein Ventil, das den Strom nur in einer Richtung fließen läßt.

**Durchlaßbetrieb:** Bei positiver Spannung zwischen Anode und Kathode verhält sich die Diode niederohmig. Es kann ein relativ großer Strom in Durchlaßrichtung fließen.  
**Sperrbetrieb:** Bei negativer Spannung zwischen Anode und Kathode verhält sich die Diode hochohmig. Es fließt ein sehr kleiner Strom in Sperrichtung.

**Zenerdiode<sup>2</sup>:** Sie sind besondere Silizium-Halbleiterdioden, deren Widerstand beim Erreichen einer bestimmten Sperrspannung abnimmt. Der Strom, der durch die Diode fließt, darf dabei eine gewisse Stärke nicht überschreiten.

**Anwendung von Zenerdioden:** Sie eignen sich hervorragend zur Spannungsstabilisierung und dienen als Sollwertgeber in Schaltungen der Steuer- und Regelungstechnik. Mit Hilfe von Zenerdioden werden auch Vergleichsspannungen und Bezugsspannungen hergestellt.

#### Merke

**Durchlaßbetrieb:** Die Zenerdiode verhält sich wie eine gewöhnliche Gleichrichterdiode.  
**Sperrbetrieb:** Die Zenerdiode wird ab einer definierten Spannung, der Zenerspannung  $U$ , plötzlich leitend.

**Fotodiode:** Halbleiterdioden, deren Widerstand bei Energiezufuhr von außen in Form von Wärme oder Licht abnimmt, deren Leitfähigkeit also vom Licht besonders stark abhängt, bezeichnet man als Fotodioden. Sie lassen einen mit der Beleuchtungsstärke ansteigenden Sperrstrom fließen.

**Anwendung von Fotodioden:** Sie werden wegen des linearen Zusammenhangs zwischen Sperrstrom und Beleuchtungsstärke vorwiegend für Meßzwecke verwendet. Da sie sehr klein gebaut werden können, werden sie vor allem in der Steuerungs- und Regelungstechnik eingesetzt, wo Fotowiderstände wegen ihrer großen Trägheit nicht eingesetzt werden können.

Fotodioden können auch als Fotoelemente (sogenannte Solarzellen) verwendet werden, das heißt, bei Beleuchtung Spannung abgeben. Konkret werden Fotodioden bei lichtgesteuerten Start-Stopp-Einrichtungen eingesetzt.

**Leuchtdiode:** Unter Leuchtdioden, besser als LEDs<sup>3</sup> bekannt, versteht man Halbleiterdioden, die bei einer in Fluß- oder Durchlaßrichtung angelegten Spannung elektromagnetische Wellen im infraroten oder sichtbaren Bereich des Lichtspektrums aussenden. Sie wandeln elektrische Energie in Licht um und reagieren fast trägheitslos.

**Anwendung von Leuchtdioden:** Diese werden vorwiegend als Anzeigelämpchen verwendet. Für die Darstellung von Ziffern und Buchstaben werden 7-Segment-Systeme, sogenannte alphanumerische

<sup>1</sup> Graetz, Leo: dt. Physiker (1856 – 1941)

<sup>2</sup> Zener, C. M.: Physiker

<sup>3</sup> LED: Light Emitting Diodes, engl. = Licht emittierende Diode

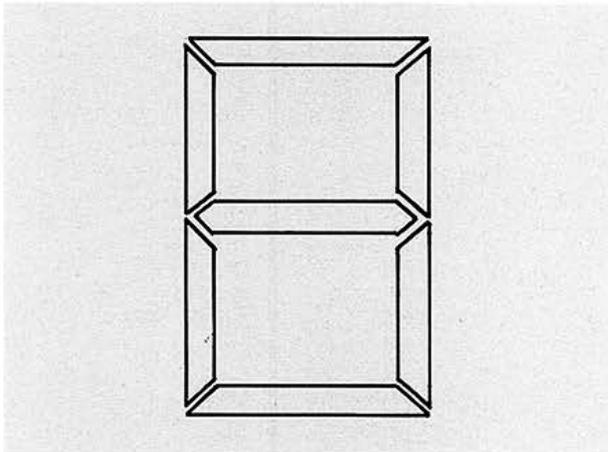


Abb. 2.5-16: Aufbau einer Sieben-Segment-Anzeige mit LEDs

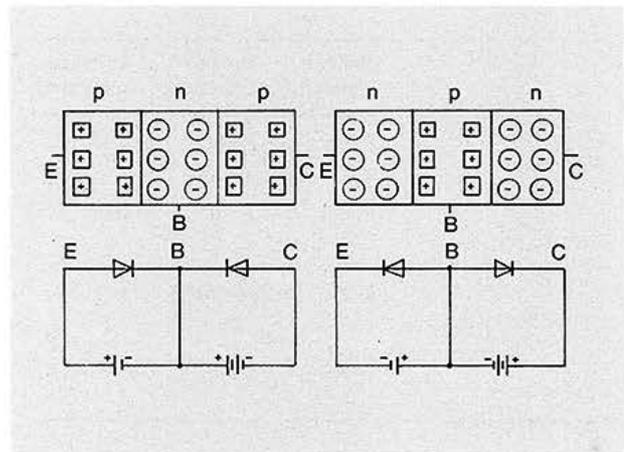


Abb. 2.5-17: Schichtfolge und Polung von pnp- und npn-Transistoren

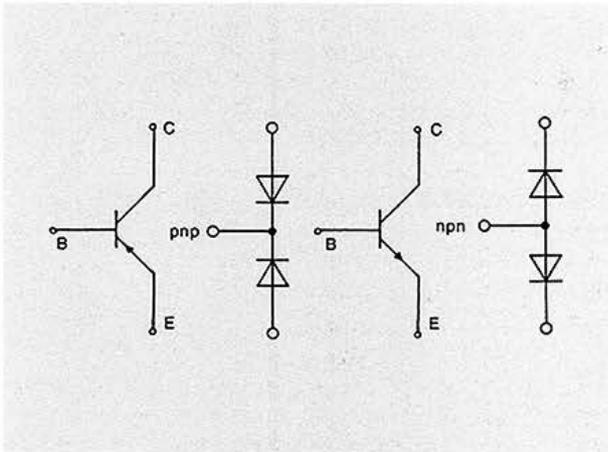


Abb. 2.5-18: Schaltzeichen und Ersatzschaltbild von pnp- und npn-Transistoren

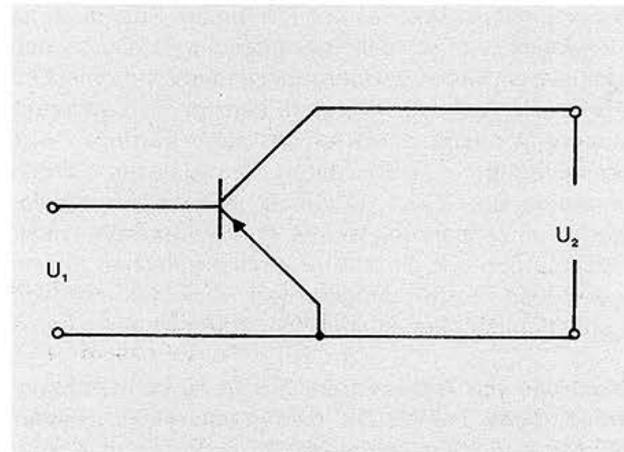


Abb. 2.5-19: Emitterschaltung eines Transistors

Anzeigeeinheiten (Displays) gebaut. Ein 7-Segment-System besteht aus 7 Leuchtdioden. Für Lichtschranken werden vor allem Leuchtdioden verwendet, die Infrarotlicht ausstrahlen.

**Merke**  
Wird eine Licht emittierende Diode in Durchlaßrichtung betrieben, wird Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung frei.

**2.5.2.3 Transistor<sup>1</sup>**

Transistoren werden heute in jedem elektronischen Gerät zu vielerlei Aufgaben eingesetzt. Transistoren bestehen aus einem Halbleitereinkristall mit drei

Schichten Halbleitern, die als Emitter<sup>2</sup>, Basis<sup>3</sup> und als Kollektor<sup>4</sup> bezeichnet werden. Je nach der Schichtfolge unterscheidet man npn- bzw. pnp-Transistoren. Die npn- bzw. pnp-Schichtfolge kann als Reihenschaltung zweier Dioden, die eine gemeinsame Kathode bzw. Anode haben, aufgefaßt werden (vgl. Abb. 2.5-17). Die eine Diode ist die Emitter-Basis-Diode, die andere die Basis-Kollektor-Diode. Beide sind gegeneinander geschaltet.

<sup>1</sup> Transistor: transfer resistor, engl. = Übertragungswiderstand  
<sup>2</sup> Emitter: emittare, lat. = aussenden = Schicht sendet Ladungsträger aus  
<sup>3</sup> Basis: basis, griech. = Fundament  
<sup>4</sup> Kollektor: colligere, lat. = sammeln = Schicht sammelt Ladungsträger

	Emitter-schaltung	Basis-schaltung	Kollektor-schaltung
Eingangs-widerstand	mittel	klein	groß
Ausgangs-widerstand	mittel	groß	klein
Strom-verstärkung	groß	kleiner 1	groß
Grenz-frequenz	niedrig	hoch	niedrig

Tab. 2.5-1: Eigenschaften der drei Grundschaltungen

Der Transistoreffekt besteht nun darin, daß die Emitter-Kollektorstrecke je nach Polung der Spannung an der Basis und Schichtfolge leitend wird. Durch den Basisstrom kann der Übergangswiderstand zwischen Basis und Kollektor zwischen sehr großen und sehr kleinen Widerstandswerten gesteuert werden.

Anwendung von Transistoren: Transistoren werden in vielen Bereichen verwendet. Sie dienen vorwiegend zur Verstärkung kleiner und größerer Wechselspannungen und Ströme, zur elektronischen Erzeugung von Schwingungen und zum kontaktlosen schnellen Schalten kleiner bis mittlerer Leistungen.

**Kontrolle von Transistoren:** Zur einfachen Grobkontrolle eines Transistors genügt ein elektronischer Summer oder ein Ohmmeter. Es ist darauf zu achten, daß die Meßspannung nicht zu hoch ist (3.6 V), da sonst der Transistor beschädigt werden könnte. Die zu erwartenden Resultate können aus der vereinfachten Ersatzschaltung abgeleitet werden. Die in Abb. 2.5-20 dargestellten Transistorgehäuseformen sind typisch.

**Grundschaltungen des Transistors:** Es gibt drei Grundschaltungen des Transistors. Sie werden nach derjenigen der drei Elektroden (Emitter, Basis, Kollektor) bezeichnet, die dem Eingangs- und dem Ausgangskreis gemeinsam sind.

Bei der **Emitterschaltung** sind die beiden Eingangsklemmen Basis und Emitter, die beiden Ausgangsklemmen Kollektor und Emitter. Die Emitterschaltung liefert eine Stromverstärkung, die größer als eins ist und eine Spannungsverstärkung, die größer als eins ist. Daraus ergibt sich, daß man mit ihr die größte Leistungsverstärkung erreichen kann. Sie wird z.B. in Verstärkerschaltungen angewendet.

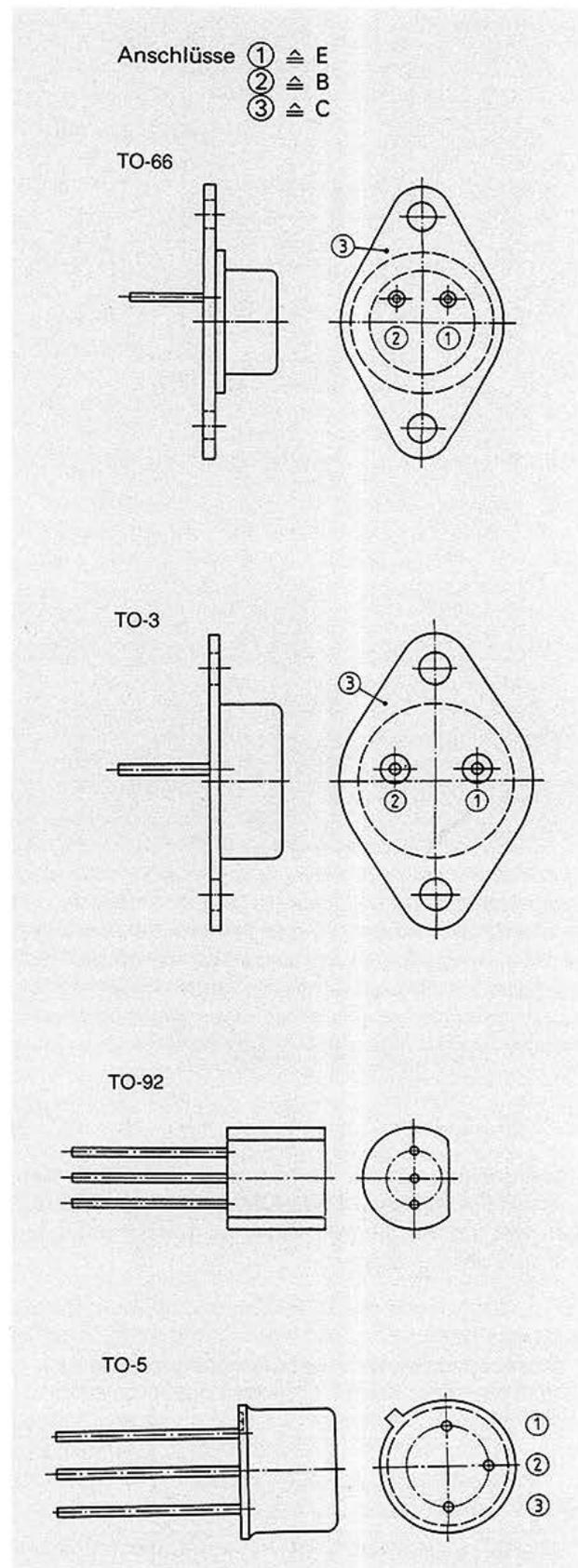


Abb. 2.5-20: Bauformen von Transistoren

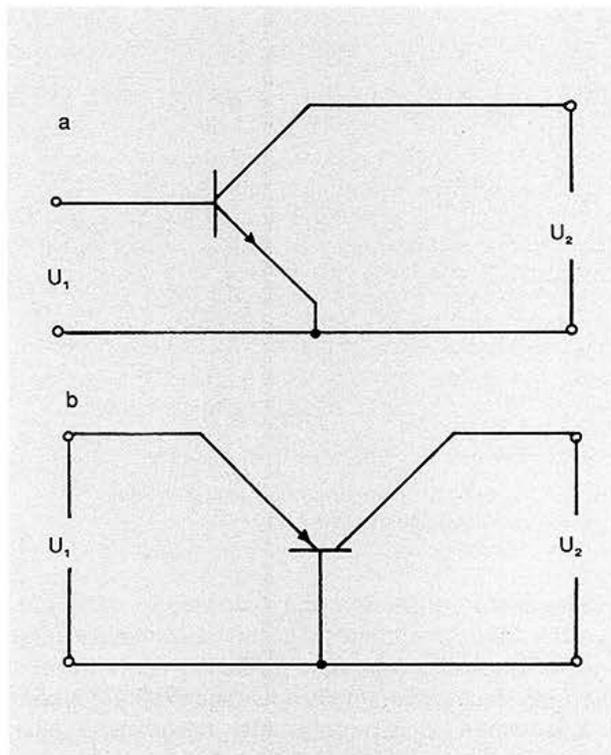


Abb. 2.5-21: Kollektorschaltung (a) und Basisschaltung (b) eines Transistors

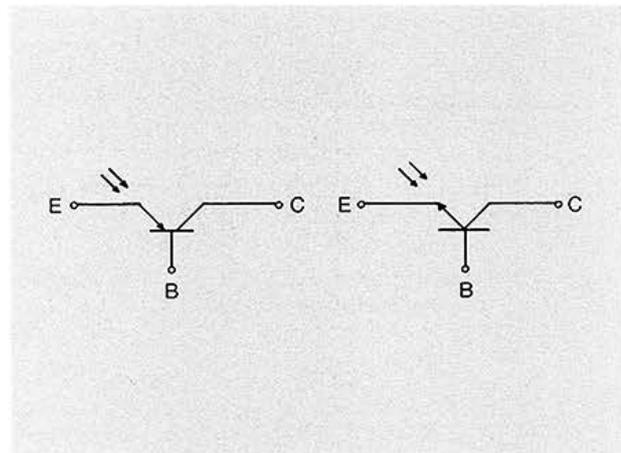


Abb. 2.5-22: Schaltzeichen des Fototransistors

überall dort eingesetzt werden, wo auch Fotodioden verwendet werden. Gegenüber der Fotodiode haben sie unter sonst gleichen Bedingungen höhere Ausgangsspannungen. Fototransistoren können sehr klein gebaut werden. Zeilen von Fototransistoren werden für die optische Abtastung von Lochkarten, Lochstreifen und Bildvorlagen verwendet.

Bei der **Kollektorschaltung** sind die beiden Eingangsklemmen Basis und Kollektor, die beiden Ausgangsklemmen Emitter und Kollektor.

Die Kollektorgrundschaltung besitzt einen hohen Eingangswiderstand und einen niedrigen Ausgangswiderstand. Sie eignet sich daher als Impedanzwandler<sup>1</sup> zum Anpassen hochohmiger Generatoren an niederohmige Verbraucher. Sie wird oft in Endstufen von Leistungsverstärkern eingesetzt.

Bei der **Basisschaltung** stellen Emitter und Basis die Eingangsklemmen und Kollektor und Basis die Ausgangsklemmen.

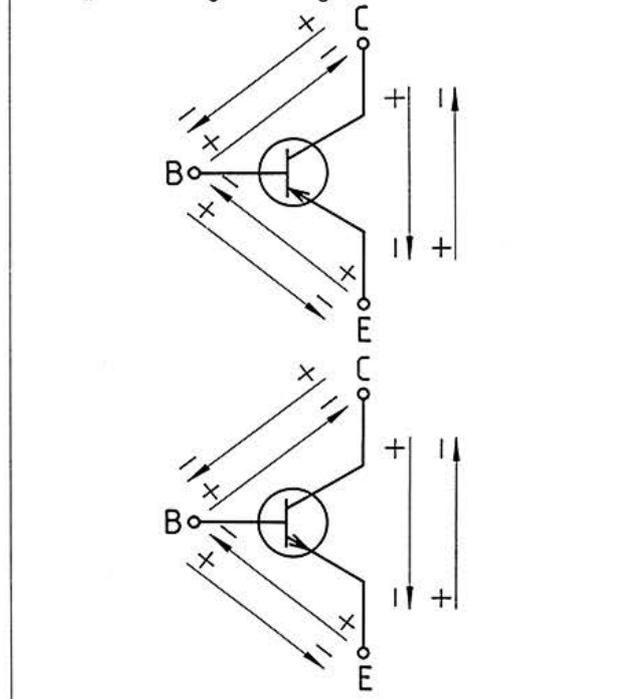
Die Basisgrundschaltung hat einen niedrigen Eingangswiderstand und einen verhältnismäßig hohen Ausgangswiderstand. Sie wird vorzugsweise in der Hochfrequenztechnik eingesetzt.

**Fototransistor:** Fototransistoren sind spezielle Siliziumtransistoren, bei denen Licht auf die Basis-Kollektorsperrschicht fallen kann. Die Transistoren werden dabei durch den Lichteinfall gesteuert. Man kann sich einen Fototransistor als eine Zusammenschaltung von Fotoelementen und Transistorstufe vorstellen. Beim Fototransistor wird bei Lichteinfall eine Spannung erzeugt, die den Transistor steuert.

Anwendung von Fototransistoren: Fototransistoren haben einen breiten Anwendungsbereich. Sie können

**Übung**

Über die gezeichneten Pfeile sind die Wörter „hochohmig“ oder „niederohmig“ einzutragen.



<sup>1</sup> Impedanz: Scheinwiderstand beim Wechselstrom

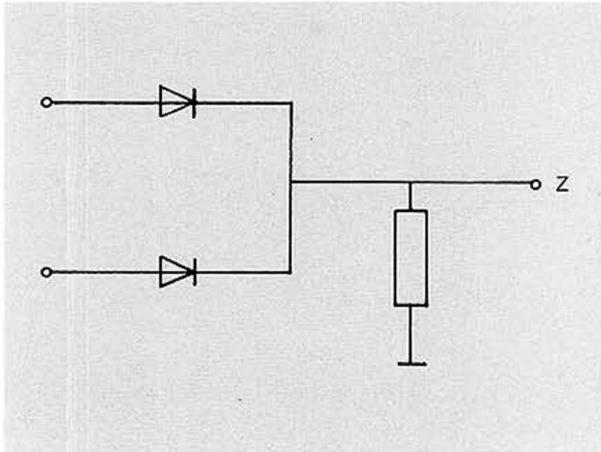


Abb. 2.5-23: ODER-Glied mit Dioden als Schaltelemente

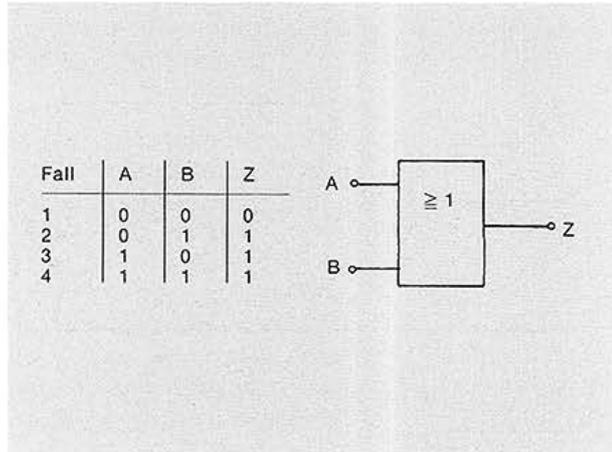


Abb. 2.5-24: Schaltzeichen und Wahrheitstabelle des ODER-Gliedes

## 2.5.3 Logische Schaltungen

### 2.5.3.1 Dioden als Schalter

Bei dem Wort Schalter denkt man zunächst an einen mechanischen Hebelschalter, der mit der Hand bedient wird und einen elektrischen Stromkreis schließt oder öffnet. In vielen elektronischen Einrichtungen werden die Schaltvorgänge jedoch ohne erkennbare mechanische Bewegung ausgeführt. Man verwendet hier häufig eine Diode als Schalter, der durch die Richtung der angelegten Spannung auf- oder zugesteuert wird.

Im Gegensatz zum Relais oder Transistor als Schalter sind bei der Diode Steuerstromkreis und gesteuerter Stromkreis identisch.

Die Schaltung in Abb. 2.5-23 erzeugt eine sogenannte logische Oder-Verknüpfung. Das heißt, sobald an einem der Eingänge das Signal 1 (z. B. Signal 1 = 5 V) anliegt, liegt am Ausgang Z dasselbe Signal an.

Das Schaltzeichen und die Zustandskombinationen (Wahrheitstabelle) zeigt die Abb. 2.5-24.

### 2.5.3.2 Gatter

Die Entwicklung von Computern war nur deshalb möglich, weil alle logischen Entscheidungen auf drei Grundentscheidungen zurückgeführt werden können. Dies sind UND-, ODER- und NICHT-Entscheidungen. Die moderne Elektronik hat Schaltungen entwickelt, die diese drei Grundentscheidungen mit großer Schaltgeschwindigkeit nachvollziehen können.

Zunächst waren dies diskrete Bauelemente. Sie bestehen aus einem einzelnen Widerstand, Kondensator, Transistor etc., welche auf einem Trägerkörper oder in ein Gehäuse gebaut sind. Die Weiterentwicklung sind Hybridschaltungen. Dies sind Schichtschaltungen mit zusätzlichen diskreten Bauelementen

(Kondensatoren, Dioden und Transistoren). Die entsprechenden Schaltungen werden heute meist in integrierter Bauweise hergestellt. Alle Elemente werden in einem gemeinsamen Fertigungsprozeß auf **einem** einkristallinen Siliziumplättchen hergestellt. Integrierte Bausteine (ICs) enthalten eine Vielzahl von Dioden, Transistoren, Kapazitäten und Widerständen auf kleinem Raum. Hochintegrierte Halbleiterchips (auf einem Chip mit 6 mm Kantenlänge 650 000 Transistorfunktionen) bilden das Kernstück leistungsfähiger Computer. Die Miniaturisierung und typische Gehäuseformen zeigt Abb. 2.5-25.

**Das NICHT-Glied:** Ähnlich wie die Diode kann man auch den Transistor als Schalter verwenden. Einen als Schalter betriebenen Transistor kann man zur elektronischen Darstellung einer Negation (Verneinung) einsetzen. Ein NICHT-Glied zeigt Abb. 2.5-26.

Man bezeichnet den Anschluß E an der Basis als Eingang, den Kollektorschluß als Ausgang A der Schaltung. Wenn der Transistor T sperrt, liegt zwischen A und L die volle Spannung. Man sagt, A hat den Zustand H (High, engl. = hoch). Ist T durchgeschaltet, so liegt zwischen A und L nur eine kleine Spannung. A hat den Zustand L (Low, engl. = niedrig). Führt man der Transistorstufe im Punkt E ein H-Signal zu (z. B. + 5 V), dann liegt der Punkt A auf L gegen den Minuspol. Legen wir auf E ein L-Signal, dann liegt A auf H. Der Ausgang des Transistors verhält sich also genau umgekehrt wie der Eingang. Man nennt daher die Schaltung eine Inverterschaltung (invertiere, lat. = umkehren) oder NICHT-Schaltung.

**Das UND-Glied:** In der Schaltung (Abb. 2.5-27) sind zwei Transistoren hintereinander geschaltet, die einen gemeinsamen Kollektorschluß haben. Damit ein Kollektorstrom fließen kann, müssen die beiden Eingangsvariablen A und B auf H liegen; sonst sperrt

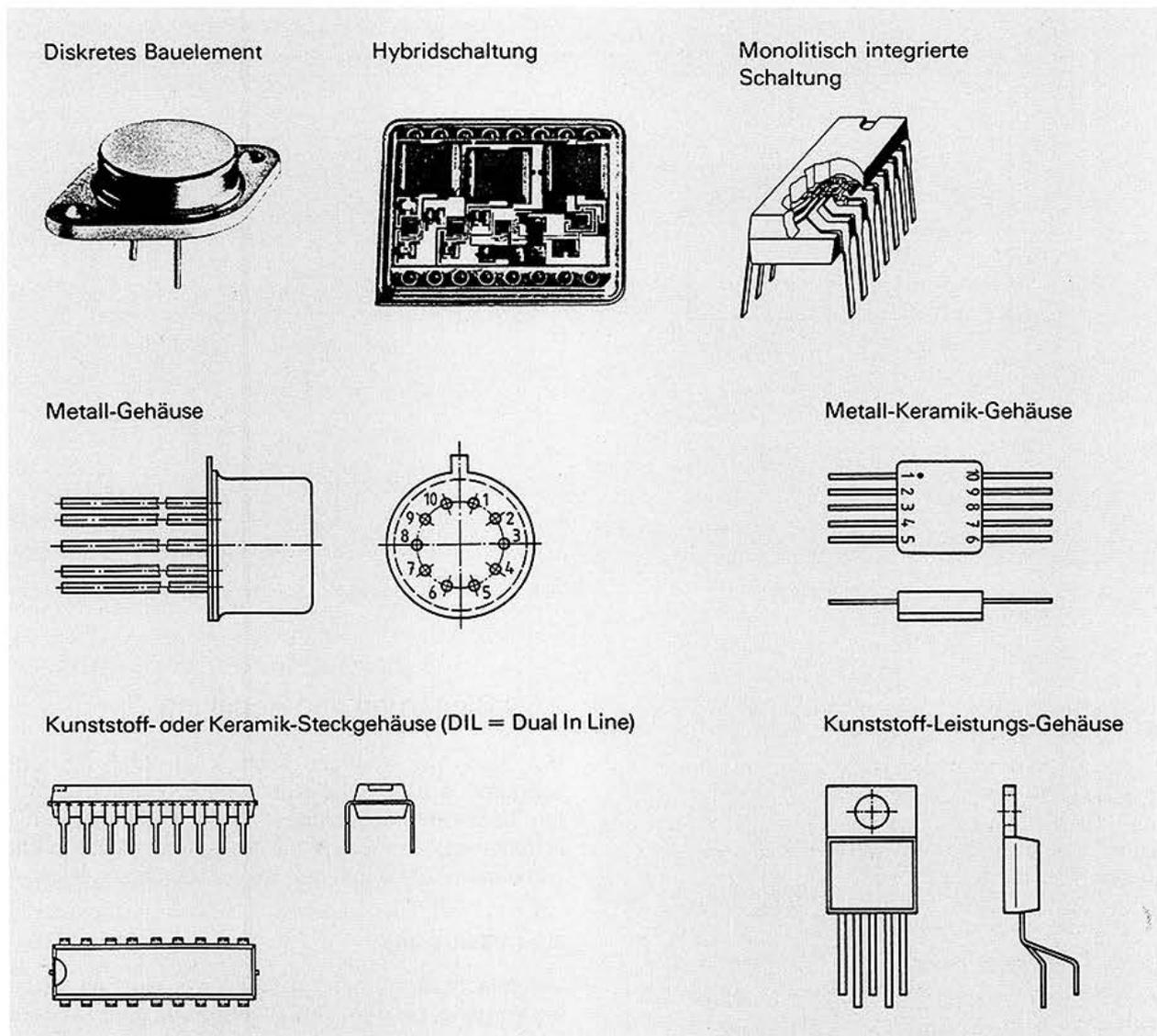


Abb. 2.5-25: Transistorgehäuseformen

mindestens einer der Transistoren. Die nachgeschaltete Transistorstufe ist ein NICHT-Glied. Es liefert ein Signal, das dem des Punktes  $X_1$  entgegengesetzt ist. Die drei möglichen Kombinationen der Eingangsvariablen zeigt die Tabelle in Abb. 2.5-27. Weil  $X_2$  dann und nur dann den Wert H hat, wenn sowohl die Eingangsvariable A als auch B den Wert H haben, nennt man diese Schaltung ein UND-Glied.

**Das ODER-Glied:** In der Schaltung (Abb. 2.5-28) sind die beiden Transistoren parallel geschaltet. Bereits dann, wenn eine der beiden Eingangswerte A oder B den Wert H hat, fließt ein Strom durch die erste Lampe. Der Punkt  $X_1$  ist dann auf dem Wert L und  $X_2$  auf H. Die Schaltung wird ODER-Glied genannt.

**Die Flip-Flop-Schaltung:** In der elektronischen Datenverarbeitung (EDV) sowie bei vielen technischen Arbeitsvorgängen ist die Speicherung von Informationen eine unerläßliche Notwendigkeit. So müssen z. B. in einem elektronischen Rechner die eingegebenen Zahlen gespeichert und für den weiteren Rechengang bereit gehalten werden. Oder beim Einstellen einer Maschine wird der Arbeitsauftrag gespeichert. Dies geschieht mit Hilfe von Flip-Flop-Schaltungen.

Bringt man in der Schaltung (Abb. 2.5-29) den Eingang A auf das Potential H, dann wird die erste Transistorstufe durchgeschaltet. Die Lampe 1 leuchtet auf. Dabei geht der Punkt  $X_1$  auf L. Über den Widerstand ( $R_2$ ) wird dieses L-Signal dem zweiten Transistor zugeführt.

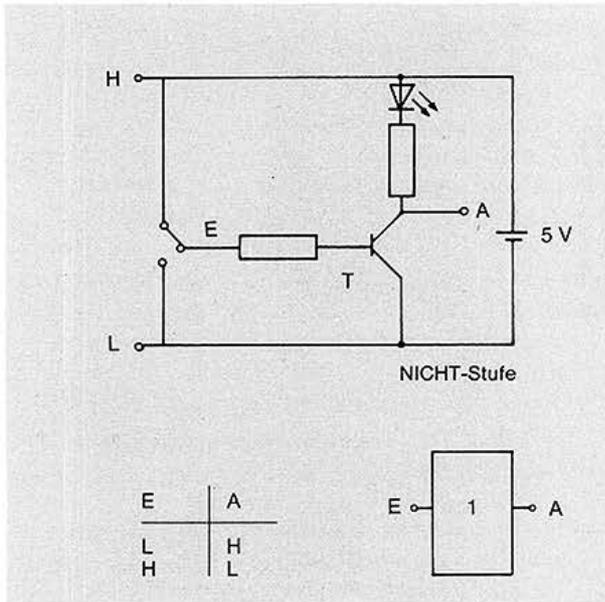


Abb. 2.5-26: NICHT-Schaltung, Schaltzeichen und Wahrheitstafel

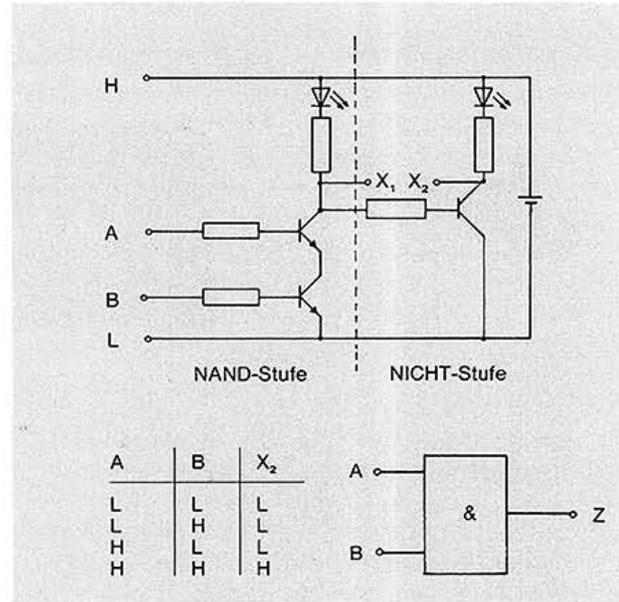


Abb. 2.5-27: UND-Schaltung, Schaltzeichen und Wahrheitstafel

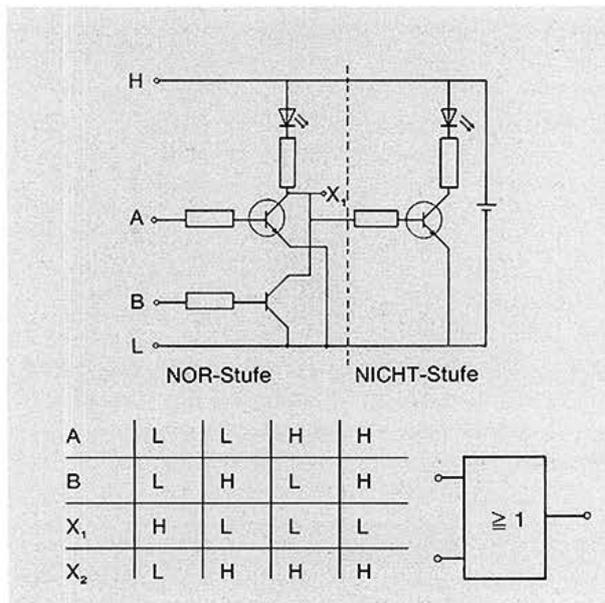


Abb. 2.5-28: ODER-Schaltung, Schaltzeichen und Schaltzustände

Dieser sperrt seinen Kollektoranschluß, X<sub>2</sub> hat damit den Zustand H. Über den Widerstand R<sub>3</sub> wird dieses Ausgangssignal wieder dem ersten Transistor zugeführt. Damit hält sich die Schaltung selbst in dem eingenommenen Zustand „fest“, der eingegebene Zustand der Variablen ist gespeichert. In diesem Fall H. Er steht jederzeit am Ausgang X<sub>2</sub> zur Verfügung.

### 2.5.4 Steuerung und Regelung

Der Stand der heutigen Technik ist durch die fortschreitende Automatisierung von Produktionsabläufen bestimmt. Steuerungs- und Regelungstechnik schaffen die Grundlage für die Automatisierung. Wir wenden uns zunächst den Steuereinrichtungen zu.

#### 2.5.4.1 Steuerung

Vereinfacht kann zunächst gesagt werden: Steuern ist ein Vorgang, bei dem eine Steuergröße durch andere Größen beeinflusst wird. Abweichungen vom eingestellten Wert, die infolge Störungen eintreten, werden nicht erfaßt, um für eine Korrektur ausgenutzt zu werden. Kennzeichnend für das Steuern ist der offene Wirkungsablauf, die Steuerkette. Wir wollen dies am Beispiel einer Raumtemperatur erläutern.

Die Temperatur in einem Raum (Ausgangsgröße) kann über ein Außenthermometer (Eingangsgröße) gesteuert werden. Sinkt die Eingangsgröße unter einen bestimmten Wert, so wird mit Hilfe eines Relais der Heizstromkreis geschlossen. Er wird wieder geöffnet, wenn die Außentemperatur ansteigt. Unter **Steuerung** versteht man also einen Vorgang, bei dem durch eine Eingangsgröße eine Ausgangsgröße in einem Gerät oder einer Anlage in bestimmter Weise beeinflusst wird. Das generelle Grundprinzip aller Steuervorgänge ist in der Abb.2.5-31 in Form eines Blockschaltbildes dargestellt. Der Wirkablauf einer Steuerung vollzieht sich über eine Steuerkette.

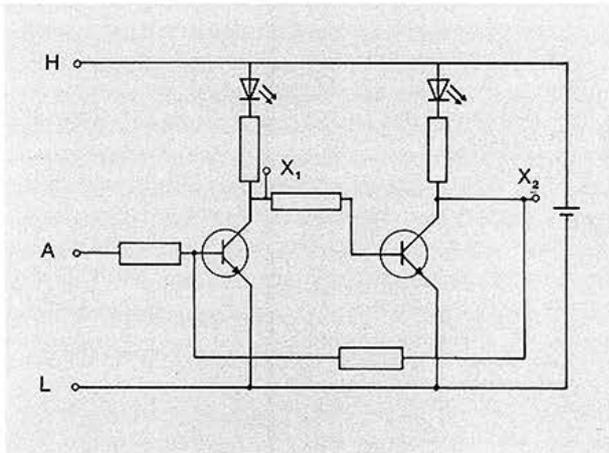


Abb. 2.5-29: Flip-Flop-Schaltung

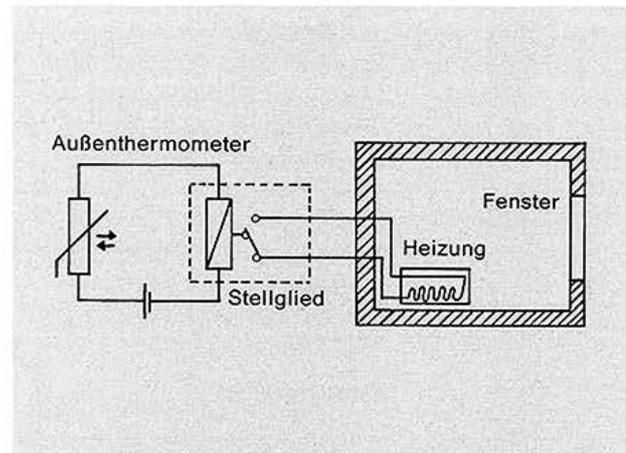


Abb. 2.5-30: Prinzipschaltung zur Steuerung einer Raumtemperatur

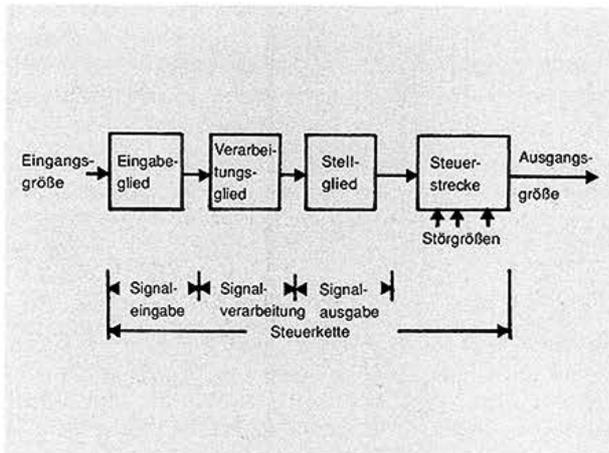


Abb. 2.5-31: Blockschema zum Steuerprinzip

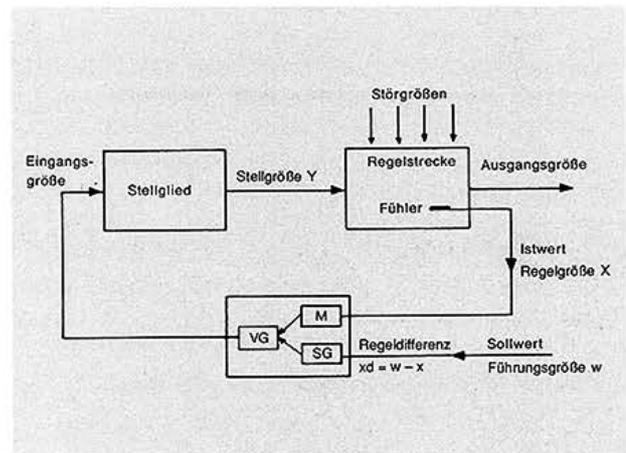


Abb. 2.5-32: Blockdiagramm einer Regelung:  
M Meßeinrichtung, SG Sollwertgeber,  
VG Vergleichler

Die Richtung des Signalflusses wird durch Pfeile angegeben.

Zur Steuerung gehören die Steuereinrichtung und die Steuerstrecke. Die Steuerstrecke kennzeichnet den Bereich, der beeinflusst werden soll (z. B. den Wohnraum, dessen Temperatur geregelt werden soll). Die Steuervorrichtung ist der Teil der Steuerstrecke, in der ein Stellglied eine Änderung des Ausgangssignals bewirkt. Das Stellglied (der Ein- und Ausschalter des Heizbrenners) erhält dabei sein Steuersignal durch ein Verarbeitungsglied. Dieses Verarbeitungsglied formt das Eingangssignal (vom Außenthermometer) in einen entsprechenden Stellbefehl um. Dabei werden Störgrößen bei der Steuerung nicht ausgeglichen (z. B., wenn im Wohnraum ein Fenster offen ist).

Die im Blockschaltbild verwendeten Begriffe sind in DIN 19 226 definiert. Sie gelten sowohl für Steuern als auch für Regeln.

**Merke**  
Als Steuerung bezeichnet man die Beeinflussung einer Maschine oder eines Gerätes durch Befehle.

Bei Steuerungen unterscheidet man nach der Art der Beeinflussung zwischen Führungssteuerung, Haltegliedsteuerung und Programmsteuerung, die wiederum in Zeitplan-, Wegeplan- und Ablaufsteuerung unterschieden wird.

Bei der **Führungssteuerung** besteht zwischen der Führungsgröße (im Beispiel Außentemperatur) und Ausgangsgröße (im Beispiel Raumtemperatur) ein eindeutiger Zusammenhang.

In der **Haltegliedsteuerung** bleibt nach Zurücknehmen der Führungsgröße, besonders nach Beendi-

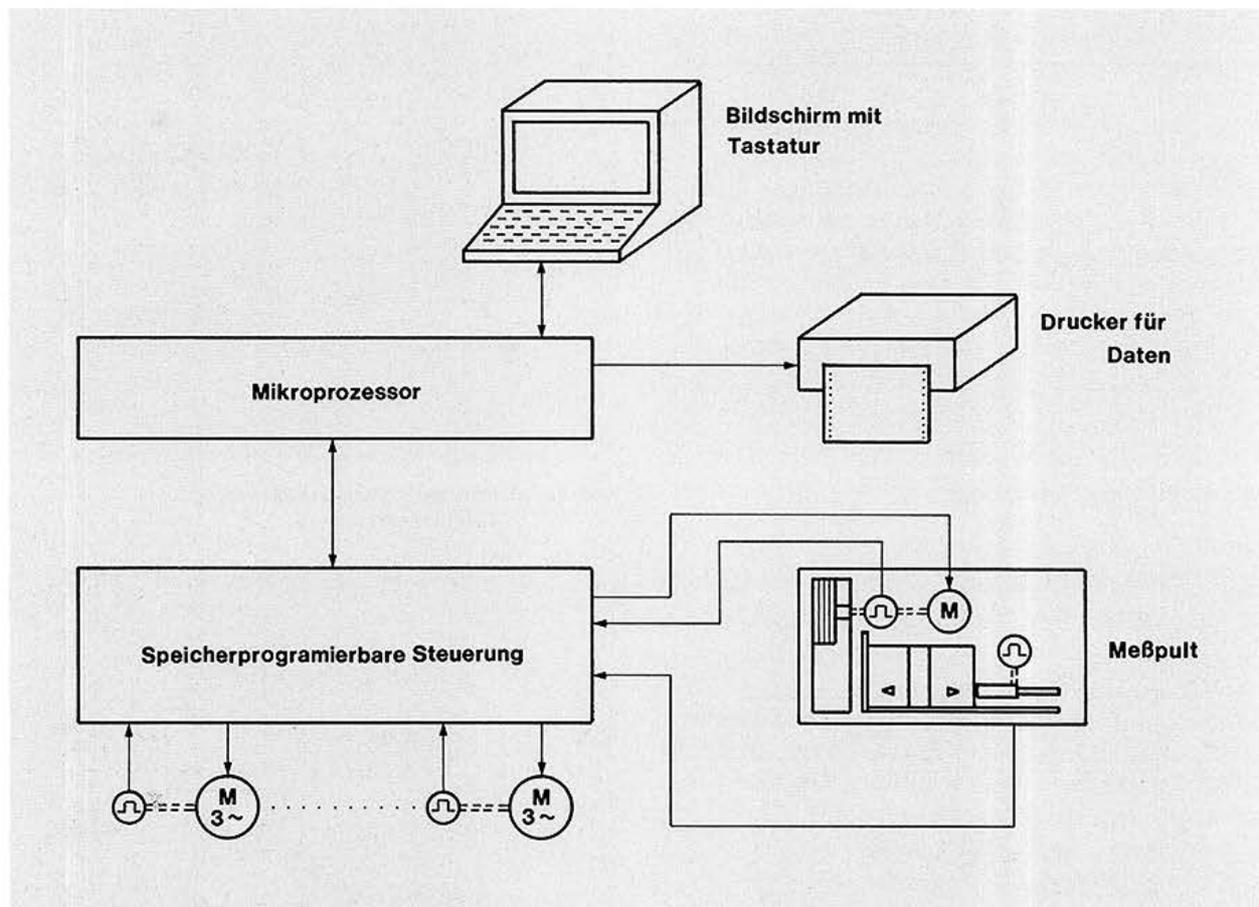


Abb. 2.5-33: Steuerung und Regelung an einer Buchfertigungsstraße

gung des Auslösesignals, der erreichte Wert der Ausgangsgröße erhalten. Nur durch ein entgegengesetztes Signal wird der Anfangswert wieder erreicht. Beispielsweise wird eine Maschine durch Knopfdruck eingeschaltet und auf eine bestimmte Drehzahl eingestellt. Nur durch Betätigung des Schalters „Aus“ wird die Maschine abgeschaltet.

#### 2.5.4.2 Regelung

Unter Regelung versteht man einen Vorgang, bei dem eine physikalische Größe fortlaufend gemessen, mit einem eingestellten Wert verglichen und an diesen angeglichen wird. Durch die Rückführung der Ausgangsgrößen auf den Eingang (Rückkopplung) entsteht ein geschlossener Wirkungskreislauf, der Regelkreis. Der Regler enthält als Funktionseinheit den Sollwertgeber, eine Meßeinrichtung für den Istwert und den Vergleich (Abb. 2.5-32).

Als Beispiel für einen Regelkreis wollen wir die Hotmelt-Klebung betrachten. Am Sollwertgeber (Thermometer außerhalb des Topfes) wird der Sollwert

(Temperatur des Leims) eingestellt. Die Meßeinrichtung erfaßt über einen Fühler (Thermometer im Leimtopf) den momentanen Wert (Istwert = Temperatur des Leims, den dieser im Moment hat) der Größe, die konstant zu halten ist. Im Vergleich werden nun Istwert und Sollwert verglichen. Die Differenz der beiden Werte, also die Abweichung, wird an das Stellglied (Relais, das den Heizkreis einschaltet) weitergegeben. Über das Stellglied wird in der Regelstrecke die zu regelnde Größe so verändert, bis die Differenz zwischen Istwert und Sollwert ungefähr Null ist. Durch die Rückkopplung der Ausgangsgrößen auf das Stellglied entsteht ein geschlossener Wirkungskreislauf.

Eine Steuerung läge vor, wenn diese Rückkopplung nicht stattfinden würde.

#### Merke

Bei einer Regelung wird der Istwert einer Regelgröße ständig mit dem vorgegebenen Sollwert verglichen. Abweichungen werden ausgeregelt.

Bei der Beantwortung der Frage, wann man Steuerungen und wann man Regelungen benutzen soll, muß man sich darüber im klaren sein, daß Steuern und Regeln sich in der Funktion und nicht in der Qualität unterscheiden. Die Beantwortung der Frage hängt vielmehr überwiegend von der zu lösenden Aufgabe ab. Grundsätzlich geht es darum, Störungen, die einen Prozeß beeinflussen, durch geeignete Maßnahmen auszugleichen. Art, Größe und Häufigkeit der Störung müssen hierzu bekannt sein.

Steuern ist dann sinnvoll, wenn

- die Auswirkungen einer Störgrößenänderung vernachlässigbar klein sind,
- nur eine Störgröße auftritt, die nach Art und Verlauf bekannt ist,
- Störgrößenänderungen sehr selten sind.

Regeln ist angebracht, wenn

- verschiedene Störgrößen auftreten können,
- die Störgrößen nach Art und Größe unterschiedlich sind.

#### 2.5.4.3 Steuerungen und Regelungen an Buchbindereimaschinen

Am Beispiel einer Buchfertigungsstraße lassen sich am besten anwendungsbezogene Beispiele für Steuerungen und Regelungen aufzeigen (siehe Abb. 2.5-33).

In einer Meßeinrichtung werden die Maße des Buchblocks und der Buchdecke erfaßt oder anhand von vorgegebenen Daten dem Rechner der Maschine eingegeben. Aus diesen Daten wiederum werden in Millisekunden die Positionen der Verstelleinrichtungen

errechnet und die eventuell zu tauschenden Wechselteile auf dem zum Rechner gehörenden Bildschirm angezeigt. Per Knopfdruck sind in wenigen Sekunden alle Verstelleinrichtungen auf die Position gefahren, die den Daten des erfaßten Buches entsprechen. All diese Werte werden mit entsprechendem Klartext auf dem Bildschirm angezeigt. Von Hand lassen sich diese Werte jederzeit per Knopfdruck auf gewünschte Werte korrigieren, um mit einem weiteren Knopfdruck für ein gleiches Produkt auch nach beliebiger Zeit vom Rechner wieder abrufbar zu sein.

Fehleinstellungen per Hand über die Formatgrenzen hinaus werden sofort als solche erkannt und angezeigt.

Solche Operationen in der Maschine können nur mit Mikroprozessoren und ICs in dieser Schnelligkeit und Genauigkeit durchgeführt werden. Durch die erheblich verkürzten Rüstzeiten, auch bei kleinen Bindequoten, wird eine sehr hohe Wirtschaftlichkeit erreicht.

Ein Beispiel für eine elektronische Regelung stellt an obiger Maschine der gleichstromgeregelt Hauptantrieb dar.

Über ein im Schaltpult befindliches Potentiometer läßt sich der Hauptantrieb auf jede gewünschte Geschwindigkeit einstellen, die auf einem in Takten geeichten Instrument ablesbar ist. Ein mit dem Antriebsmotor mechanisch gekoppelter Tachogenerator meldet dem Regelgerät jede Abweichung von der vorgegebenen Sollgeschwindigkeit, zum Beispiel verursacht durch mechanische Lastspitzen. Eine Regelung im Gleichstromregelgerät gleicht dann in Bruchteilen von Sekunden diese Unregelmäßigkeit aus. Dies bedeutet wiederum eine konstante Produktionsgeschwindigkeit und somit ein quantitativ immer gleiches Produkt. ■