

# Halbleiter-Bauelemente

## Schulungs- und Informationsheft

VEB HALBLEITERWERK

FRANKFURT (ODER)

1201 FRANKFURT (ODER) / MARKENDORF



electronic



## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zur Einführung in das Gebiet	2
Zum Begriff „Halbleiter“	2
Besondere Eigenschaften	3
Über den Reinheitsgrad der Halbleitermaterialien	4
Temperaturempfindlichkeit	4
Verschiedene Halbleitermaterialien	5
Einiges zur grundsätzlichen Funktionsweise von Halbleitern	6
Der pn-Übergang	7
Dioden und Transistoren	8
Über Ausführungsformen von Dioden und Transistoren	9
Kenndaten von Halbleiterbauelementen	11
Statische und dynamische Kenndaten von Dioden und Transistoren	11
Kennlinien von Halbleiterbauelementen	16
Wichtige Fachausdrücke und Schaltsymbole	18
Die Typengruppen der Halbleiterbauelemente	21
Dioden, „Gleichrichter“	21
Transistoren	22
Lehr- und Amateurtypen	23
Hinweise zu den wichtigsten Schaltungsanwendungen	23
Gleichrichter und Zenerdioden	23
Transistoren	24
Einbauhinweise und vorläufige Lötvorschriften für Gleichrichter (zweianschüssige Bauelemente) für Transistoren (dreianschlüssige Bauelemente)	25
Hinweise zur Lagerung von Halbleiterbauelementen	30
Hinweise auf Literatur und Prospektmaterial	30
Informationsmaterialien aus dem HFO	30
Fachliteratur	30

## 1.00 Zur Einführung in das Gebiet

Es kann nicht Sinn der vorliegenden kleinen Schrift sein, eine umfassende, streng wissenschaftlich ausgerichtete Darlegung des gesamten Gebietes der Halbleitertechnik oder -physik zu geben. Vielmehr wird hiermit der Versuch gemacht, denjenigen, die sich von der Seite des Vertriebs – also von der kaufmännischen Seite her – mit Halbleiterbauelementen befassen müssen, für ihre Arbeit eine Informationsmöglichkeit über die wichtigsten Zusammenhänge aus der Halbleitertechnik in die Hand zu geben. Es ist oft schwer, aus einschlägiger Fachliteratur die für Kundenberatungen und Werbegespräche geeigneten Informationen zu erarbeiten. Besonders für die meist kaufmännisch vorgebildeten Kräfte, Leiter von Fachgeschäften usw., ist es nahezu unmöglich, sich innerhalb kürzerer Zeit über ein so kompliziertes Gebiet zu unterrichten. Auch Schulen und andere allgemeine Bildungsstätten verfügen über wenig Informationsmaterial hierzu.

Diese Schwierigkeit überwinden zu helfen, soll hier versucht werden, soweit das im Bereich des Möglichen liegt, denn selbstverständlich wird manche grundsätzliche Detailfrage dabei zu kurz kommen. Dies dürfte jedoch weniger kritisch sein, da ja im Bedarfsfalle tiefergehende Fachliteratur immer noch zu Rate gezogen werden kann. Deshalb ist auch ein entsprechendes Verzeichnis darüber am Schluß angeführt.

Wie vor einigen Jahrzehnten die Elektronenröhre, so sind gegenwärtig Halbleiterdiode und Transistor noch teils recht skeptisch betrachtet, teils viel zu wenig bekannte Bauelemente der Nachrichten- und Elektrotechnik, die zwar vielfach schon in der Industrie angewendet werden, jedoch im Klein- und Einzelverbrauch noch zu wenig Eingang gefunden haben. Dem abzuhelfen, soll ebenfalls Zweck der vorliegenden Schrift sein.

Vor allem aber soll es den Fachgeschäftsleitern oder den Verkäufern, die unsere Bauelemente anbieten, auf dieser Basis möglich sein, im Sinne einer erfolgreichen Kundenberatung zu wirken, wenn das vorliegende Informationsmaterial benutzt wird. Nicht zuletzt haben Oberschulen und alle nachwuchsbildenden Institutionen unserer Republik die Aufgabe, auf die Halbleitertechnik zu orientieren, da in diesem sehr jungen Industriezweig die Nachwuchsfrage bei Fachkräften sehr akut ist. Auch in diesem Sinne soll die vorliegende Schrift helfen.

### 1.01 Zum Begriff „Halbleiter“

Um eine Vorstellung von dem zu vermitteln, was Gegenstand der Betrachtungen sein soll, muß zunächst einmal darauf eingegangen werden, was man sich unter dem Begriff „Halbleiter“ eigentlich vorzustellen hat. Ohne eine gründlichere Untersuchung anzustellen, kann man schon von dem Wort „Halbleiter“ her vermuten, daß es sich um ein Mittelding zwischen **elektrischen Leitern** und **elektrischen Nichtleitern (Isolatoren)** handeln muß. Dies trifft auch tatsächlich zu, und es soll erläutert werden, wie die Zusammenhänge sind.

Wenn man von Leitern und Nichtleitern spricht, dann meint man damit Materialien, die einen sehr kleinen oder sehr großen elektrischen Widerstand aufweisen. Also:

**elektrischer Leiter** = sehr kleiner elektrischer Widerstand

**elektrischer Nichtleiter** (= Isolator) = sehr großer elektrischer Widerstand.

Dabei weiß man, daß elektrischer **Widerstand** nichts anderes bedeutet, als **Widersetzen** gegen das Fließen eines elektrischen Stromes. Also müssen Halbleiter eben einen „halb so hohen“ oder „halb so niedrigen“ Widerstand haben. Nun ist das nicht ganz genau wörtlich zu nehmen, denn der Widerstand eines Halbleitermaterials müßte dann genau die Mitte halten. Immerhin zeigt die nachfolgende kleine Gegenüberstellung der Widerstandsbereiche (eigentlich der Bereiche des **spezifischen Widerstandes**) deutlich die Berechtigung des Begriffes „Halbleiter“:

Nichtleiter (Isolator) = etwa 100 000 000 000 Ohm cm und größer

Halbleiter = etwa 0,01 Ohm cm bis etwa 1 000 000 Ohm cm

Leiter = etwa 0,0000001 Ohm cm und kleiner

### 1.02 Besondere Eigenschaften

Es ist Ohm cm (auch  $\Omega$  cm geschrieben) die Maßeinheit des spezifischen Widerstandes, wie z. B. m (Meter) die Maßeinheit der Länge ist.

Die Tatsache jedoch, daß der Widerstand eines Halbleiters zwischen dem des Leiters und dem des Nichtleiters liegt, ist es nicht allein, die die Verwendbarkeit für die Herstellung von Transistoren und Dioden ausmacht.

Vielmehr ist es eine besondere Eigenschaft, die nur bei Halbleitermaterialien auftritt. Es ist nämlich möglich, den Widerstand von Halbleitern durch drei Faktoren weitestgehend und sehr empfindlich zu beeinflussen.

Erstens durch **Beimengungen ganz bestimmter Fremdstoffe**.

Zweitens durch **Erhöhung der Temperatur** des Halbleitermaterials.

Drittens durch **Bestrahlung des Halbleitermaterials mit Licht**.

Der erste Einflußfaktor ist besonders wichtig, da er insgesamt gesehen den größten Teil zur elektrischen Funktion eines später aus Halbleitermaterial gefertigten Transistors oder einer Diode beiträgt. Bei der Herstellung dieser Halbleiterbauelemente ist die Grundlage nämlich ein Halbleitermaterial, das zunächst mittels besonderer Verfahren hoch gereinigt wird (dazu ist später noch etwas zu sagen). Mischt man diesem hochreinen Ausgangsmaterial eine winzige Menge eines bestimmten anderen Stoffes bei, dann sinkt der ursprünglich (bei sehr reinem Halbleitermaterial) recht hohe spezifische Widerstand außerordentlich stark ab. Man hat so durch eine ganz genau festgelegte geringste Menge eines Fremdstoffes den spezifischen Widerstand in hohem Maße verändert. Für das richtige Arbeiten eines Halbleiterbauelementes ist also ein **genau** „verunreinigtes“ Material als Ausgangsbasis notwendig. Dann erst ist es möglich, durch besondere Behandlungsmethoden während des weiteren Fertigungsprozesses elektrisch richtig funktionierende Dioden oder Transistoren zu bauen.

### 1.03 Über den Reinheitsgrad der Halbleitermaterialien

Auf die schon erwähnte **Reinheit** des Halbleitermaterials muß noch etwas näher eingegangen werden, damit die Vorstellung von den recht ungewohnten Zusammenhängen etwas besser wird.

Wenn man vom **Reinheitsgrad** eines Materials spricht, dann versteht man darunter den Anteil an fremden Stoffen verglichen mit der Menge des eigentlichen Materials. Es gibt natürlich keinen ideal reinen Stoff (z. B. existiert kein reines Eisen). Aber man kann bestimmte Materialien so weit und so genau reinigen, daß auf 1 000 000 000 eigene Atome (Atom = kleinstes Bausteinchen der Materie) nur ein einziges Fremdatom kommt. Dieser eben genannte Reinheitsgrad würde für den Fall von Germanium (Halbleitermaterial, das am bekanntesten geworden ist) einem spezifischen Widerstand von etwa  $25 \Omega \text{ cm}$  entsprechen, denn es wurde ja gesagt, daß der spezifische Widerstand ein Ausdruck für den Reinheitsgrad darstellt. Je mehr Verunreinigungen (= Fremdatome) ein Halbleitermaterial also hat, desto geringer ist sein spezifischer Widerstand. Nimmt man an, daß das o. g. Material Germanium mit 1 000 000 000 Germaniumatomen und einem einzigen Fremdatom als genügend rein befunden wird, dann ist es notwendig, gerade so viel Fremdatome darin unterzubringen, daß eine geeignete Verringerung des spezifischen Widerstandes eintritt. Nun erst kann man das Material als Basis für die Dioden- oder Transistorenherstellung verwenden. Würde man den nun entstandenen Reinheitsgrad betrachten, dann kämen auf 16 000 000 Germaniumatome rund 2 Fremdatome. Das ist so, als ob von der gesamten Bevölkerung der DDR zwei Personen Ausländer wären. Man kann sich wohl vorstellen, wie schwierig es ist, solche **genauen Verunreinigungen** zu verwirklichen. Denn schon 2 Fremdatome mehr – in unserem Falle – würden den Reinheitsgrad doppelt so niedrig und damit das Material für seinen eigentlichen Verwendungszweck unbrauchbar machen. Auf die besonderen Methoden der Reinigung von Materialien und deren genau festgelegte Wiederverunreinigung kann und soll nicht eingegangen werden, da hiermit schon ein Spezialgebiet, nämlich das der Reinstoffgewinnung, berührt würde. Es soll nur noch gesagt werden, daß chemische Reinigungsmethoden längst versagen und an ihre Stelle sogenannte **physikalische Verfahren** treten müssen.

### 1.04 Temperaturempfindlichkeit

Neben der Empfindlichkeit des Halbleitermaterials gegenüber Verunreinigungen und der Beeinflussbarkeit durch Lichtstrahlen ist für die folgenden Betrachtungen noch wichtig, zu betonen, daß Halbleitermaterialien sehr stark durch Veränderungen ihrer Temperatur im spezifischen Widerstand beeinflusst werden können. Wenn man z. B. ein Stück Kupfer von  $20^\circ \text{C}$  auf  $30^\circ \text{C}$  erhitzte, würde sein spezifischer Widerstand sich nur um rund 4 % gegenüber dem spezifischen Widerstand bei  $20^\circ \text{C}$  ändern. Erhitzt man dagegen ein Stück Germanium – also Halbleitermaterial – von  $20^\circ \text{C}$  auf  $30^\circ \text{C}$ , dann ändert sich sein spezifischer Widerstand um etwa 30...40 % gegenüber dem Wert bei  $20^\circ \text{C}$ . Dabei ist noch ein Unterschied zwischen den beiden eben genannten Stoffen zu beachten: Kupfer (und viele andere Metalle auch) **erhöht** seinen spezifischen Widerstand, wenn die **Temperatur erhöht** wird.

Germanium (und viele andere Halbleitermaterialien ebenfalls) dagegen **erniedrigt** seinen spezifischen Widerstand, wenn die **Temperatur erhöht** wird. Aus dem zuletzt Gesagten wird verständlich, daß man die Temperatur eines mit Germanium hergestellten Transistors nicht zu sehr erhöhen darf, wenn er noch funktionieren soll. Daran soll später im entsprechenden Zusammenhang noch einmal erinnert werden.

### 1.05 Verschiedene Halbleitermaterialien

Bisher war allgemein von Halbleitermaterialien die Rede. Jedoch wurde vermieden, außer dem schon recht bekannten Germanium andere Stoffnamen aus diesem Bereich zu nennen. Das soll nun nachgeholt werden, und Erklärungen dazu seien gegeben.

Einige wesentliche Halbleitermaterialien sind folgende:

Germanium	(chemisches Zeichen Ge)
Silizium	(chemisches Zeichen Si)
Selen	(chemisches Zeichen Se)
Kupferoxydul	(chemisches Zeichen $\text{Cu}_2\text{O}$ )
Bleiglanz	(chemisches Zeichen PbS)
Pyrit (Eisenkies)	(chemisches Zeichen $\text{FeS}_2$ )

Als am häufigsten für die industrielle Herstellung von Dioden und Transistoren – also von Halbleiterbauelementen – verwendetes Ausgangsmaterial finden wir das Element Germanium. Element heißt chemischer Grundstoff. Damit wird ausgedrückt, daß es sich um ein aus **einer Art von Atomen** zusammengefügtes Material handelt. Silizium und Selen sind ebenfalls Elemente. Kupferoxydul, Bleiglanz und Pyrit dagegen sind chemische Verbindungen, also Stoffe, die aus **mehr als einer Art von Atomen** zusammengefügt sind.

Silizium ist das nächst bekanntere Halbleitermaterial, wie auch das von den Selengleichrichtern her weit verbreitete Selen (beide Stoffe sind Elemente).

Auch das Kupferoxydul im Zusammenhang mit Gleichrichtern dürfte nicht unbekannt sein. Bleiglanz und Pyrit (Eisenkies) haben sich in der Zeit der „Kopfhörer“ als „Detektorsteine“ einen Namen gemacht. Sie waren schon damals als sogenannte „Hochfrequenzgleichrichter“ eingesetzt und sind so die eigentlichen Vorläufer unserer heutigen Dioden und Transistoren. Wenn nun in den nächsten Abschnitten einige Zusammenhänge erklärt werden, dann soll immer Germanium als betrachtetes Material und gelegentlich – z. B. zu Vergleichszwecken – Silizium erscheinen. Dies geschieht vor allem der Einfachheit und Übersichtlichkeit wegen.

Das Element Germanium hat ein spezifisches Gewicht von rund 5,4. Seine Farbe liegt zwischen der des massiven Silbers und der des Zinks. Germanium ist verhältnismäßig hart und sehr spröde. Sein innerer Materialaufbau ist kristallartig.

## 2.00 Einiges zur grundsätzlichen Funktionsweise von Halbleitern

Zum besseren Verständnis der maßgebenden Vorgänge, die die Arbeitsweise von Dioden und Transistoren kennzeichnen, muß etwas zum Aufbau des Germaniums eingeflochten werden.

Es ist bekannt, daß die Atome verschiedener Stoffe sich durch ihren Innenaufbau voneinander unterscheiden. Demnach muß auch das Germaniumatom ein ihm eigenes „Innenleben“ haben. Das trifft tatsächlich zu, denn aus Bild 1 (schematisch ein Germaniumatom dargestellt) kann man deutlich erkennen, daß um den in der Mitte gezeichneten Atomkern (er ist positiv elektrisch geladen) auf drei sogenannten **Bahnen**, wie etwa die Erde um die Sonne, die (negativ elektrisch geladenen) Elektronen kreisen.

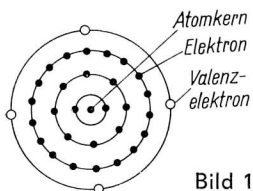


Bild 1

Auf der vierten und äußersten Bahn findet man vier Elektronen (= kleinste elektrisch negativ geladene Teilchen), die im Gegensatz zu den auf der inneren Bahn kreisenden recht locker an den Atomkern gebunden sind. Diese vier Elektronen heißen **Valenzelektronen** und können sehr leicht aus der Bahn geraten, d. h. sich anderen Atomen – wenn möglich – anschließen. Die vier Valenzelektronen sind die Bindekräfte zu den Nachbaratomen in einem Stück Germanium. Wenn die Valenzelektronen sich unter dem Einfluß bestimmter Bedingungen (Temperaturerhöhung oder Verunreinigungen im Germanium) von „ihren“ Atomen lösen und sich fortbewegen, dann bilden sie einen Elektronenstrom, einen elektrischen Strom. Die negativ geladenen Valenzelektronen und die positiv geladenen Stellen, die von den Valenzelektronen zurückgelassen werden (Löcher), sind die eigentlichen Träger des gesamten elektrischen Geschehens im Halbleiterbauelement. Man erkennt hieraus wohl, daß zum Verständnis der folgenden Erläuterungen das Atom nur von zwei Teilen her betrachtet zu werden braucht. Der eine Teil ist der positive Atomkern mit den drei festen Bahnen und (von innen nach außen entsprechend Bild 1) den darauf kreisenden Elektronengruppen von 2, 8 und 18 Stück, fortan **Atomrumpf** genannt. Den anderen Teil des Atoms bilden (für Germanium vier an der Zahl) die, wie schon erwähnt, locker gebundenen Valenzelektronen (= Bindekräfte).

Germanium hat demnach vier Valenzelektronen oder Bindekräfte. Also, Atomrumpf + Valenzelektronen = Atom. Die Anzahl der Valenzelektronen ist von Atomart zu Atomart verschieden.

Es gibt Elemente, deren Atome mehr und welche, deren Atome weniger als vier Valenzelektronen haben. Antimon- und Arsenatome z. B. sind mit fünf, Aluminium- und Indiumatome mit drei Valenzelektronen ausgestattet. Beim Germanium haben die vier Valenzelektronen jedes Atoms die Verbindung zwischen je vier Nachbaratomen herzustellen. So entsteht der für jeden kristallartigen Stoff kennzeichnende Aufbau aus gleichen Atomen, auch **Kristallgitter** genannt. Entsprechend ist das bei anderen Atomarten. So haben die nun schon so oft genannten Valenzelektronen zwei Aufgaben zu erfüllen: Einmal sorgen sie für den Zusammenhalt im Kristallgitter und zum anderen sind sie für den Stromtransport im Germaniumkristall verantwortlich, wenn sie durch Wärmezufuhr von außen

die lockere Bindung zu ihrem Atomrumpf verlassen. Überall da, wo ein Valenzelektron seinen Platz verläßt, entsteht ein Loch. Dieses wird von einem anderen Valenzelektron wieder ausgefüllt, das auch ein Loch zurückgelassen hat, und dieses wiederum wird von einem dritten Valenzelektron ergänzt. Man kann sich vorstellen, daß so in der einen Richtung negativ geladene Valenzelektronen (wir wollen sie der Einfachheit wegen künftig nur als Elektronen bezeichnen) und in der anderen Richtung positiv geladene Löcher durch den – wie oben erwähnt – zusätzlich erwärmten Germaniumkristall wandern: Ein **Elektronenstrom** in der einen und ein **Löcherstrom** in der anderen Richtung fließen gleichzeitig. Wenn hier von Erwärmung gesprochen wird, dann ist damit eigentlich schon normale Zimmertemperatur (ca. 20 °C) gemeint, die genügt, um einen – allerdings ziemlich kleinen – Stromtransport zu erzeugen. Fügt man nun in den reinen Germaniumkristall die Atome eines anderen Elementes ein (aus bestimmten Gründen eines Elementes, das pro Atom drei oder fünf Valenzelektronen besitzt), dann entstehen zusätzlich wandernde Elektronen und Löcher. Je nachdem, ob das „verunreinigende“ Zusatzmaterial pro Atom drei Valenzelektronen oder fünf hat, entsteht Germanium, in dem die Löcher **oder** die Elektronen im Überschuß vorhanden sind.

Also: Germanium mit „dreielektronigem“ Material (z. B. Indium oder Aluminium) verunreinigt (man sagt auch: dotiert), ergibt Löcherüberschuß = Überschuß an positiven Ladungsträgern; Germanium mit „fünfelektronigem“ Material (z. B. Antimon oder Arsen) verunreinigt (dotiert), ergibt Elektronenüberschuß = Überschuß an negativen Ladungsträgern.

Germanium mit Überschuß an **negativen Ladungsträgern** (Elektronen) heißt **n-leitend**.

Germanium mit Überschuß an **positiven Ladungsträgern** (Löchern) heißt **p-leitend**.

Im folgenden soll gezeigt werden, wie durch die Kombination dieser beiden Materialarten Gleichrichter und Transistoren hergestellt werden können.

## 2.01 Der pn-Übergang

Wenn man mit Hilfe besonderer technischer Verfahren erreicht, daß eine p-leitende und eine n-leitende Germaniumzone aufeinandergefügt sind, dann hat man einen sogenannten **pn-Übergang** geschaffen, wie er in Bild 2 schematisch dargestellt ist. Es ergibt sich links eine Anhäufung von Löchern und rechts eine solche von Elektronen. Diese Anhäufungen von Ladungsträgern haben das Bestreben, sich auszugleichen. Etwa so, wie bei zwei mit verschiedenen Gasen gefüllten Kammern, zwischen denen die Trennwand weggenommen wird, sofort eine Durchmischung der beiden Gase erfolgt. Man sagt: Die Gase **diffundieren** ineinander. Dem gleichen Bestreben folgen Elektronen und Löcher.

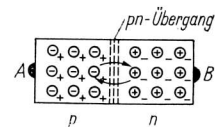


Bild 2

So diffundieren (wandern) Löcher von der p-Seite auf die n-Seite und Elektronen von der n-Seite auf die p-Seite. Eine vollständige Durchmischung jedoch findet nicht statt. Der pn-Übergang wird infolge des Durchmischungsprozesses umgekehrt aufgeladen, d. h., die p-Seite wird negativ und die n-Seite wird positiv. Der eigentliche pn-Übergang ist

dabei eine ganz schmale Zone, die nur wenige Tausendstel mm dick ist. (Bild 2).

Hieraus entsteht, wenn man an die beiden Enden A und B des pn-Germaniums (Bild 2) eine Batterie anschließt, eine Strecke, die den Strom nur in einer Richtung durchläßt, d. h., daß der Widerstand in der einen Richtung sehr groß und in der anderen sehr klein ist. Somit haben wir eine Art „Stromventil“ vor uns. In der Elektrotechnik wird diese Anordnung **Gleichrichter** genannt. Damit kann man Wechselströme, die ja bekanntlich Plus- und Minuspol – also die Richtung – dauernd umkehren, in Gleichströme verwandeln, denn auch das eben beschriebene „pn-Ventil“ läßt ja den Strom nur immer in ein und derselben Richtung durch.

## 2.02 Dioden und Transistoren

Ein Gleichrichter entsteht also durch das Zusammenwirken zweier Leitfähigkeitszonen, die aneinanderstoßen. Dazu gehört **ein** pn-Übergang (Bild 3). Dabei wird zur Gleichrichtung eine durch ~ angedeutete Wechselspannung über die Anschlußdrähte an das Gleichrichterelement geführt. Entsprechend dem Röhrengegenstück wird solch eine Gleichrichteranordnung auch **Halbleiterdiode** genannt. Das bedeutet, daß das Bauelement **zwei** Anschlüsse oder Elektroden hat. Wenn nun nicht – wie bei der Diode – **zwei** Leitfähigkeitszonen, sondern **drei** zusammenwirken,

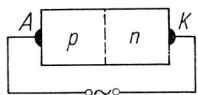


Bild 3

dann entstehen **zwei** pn-Übergänge (Bild 4). Es handelt sich nun um einen **Transistor**, auch **Halbleitertriode** genannt. Das bedeutet, daß das Bauelement **drei** Anschlüsse oder Elektroden hat.

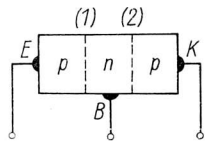


Bild 4

Das Zusammenspiel von drei Leitfähigkeitszonen, also eines pnp-Überganges, ist sehr viel komplizierter als das eines pn-Überganges. Es soll genügen, wenn hier nur der äußere Aufbau der Transistoranordnung besprochen wird. Die Anschlüsse des Transistors haben bestimmte Namen, wie auch bei der Röhre und der Diode jeder Anschluß seinen Namen hat.

Der positive Pol (+ Pol) der Diode wird **Anode** genannt, der negative Pol (– Pol) dagegen heißt **Kathode** (Bild 3). Beim Transistor gibt es entsprechend der Anzahl der Elektroden drei Namen: **Emitter**, **Basis** und **Kollektor**, so wie bei der Röhre die drei Anschlüsse Kathode, Gitter und Anode heißen. (Bild 4). Die Basis besteht, wie auch aus Bild 4 ersichtlich, aus n-Germanium; Emitter und Kollektor dagegen sind aus p-Germanium entstanden.

Nun wurde der prinzipielle Aufbau von Dioden und Transistor etwas näher erläutert. Jedoch ist nicht von dem Aufbau im einzelnen gesprochen worden. Dies soll hier folgen, denn es ist sehr wichtig zu wissen, wie die Gehäuseformen, die Ausführungen der speziellen Transistoren und Dioden beschaffen sind, damit die Vor- und Nachteile der Bauelemente erkannt werden können.

## 2.03 Über Ausführungsformen von Dioden und Transistoren

Es gibt nun verschiedene Methoden der Herstellung von Dioden und Transistoren. Somit existieren auch viele Bauformen und Abarten von Halbleiterbauelementen. Es ist unmöglich, auf alle Einzelheiten einzugehen; darum werden nur wieder die wichtigsten und charakteristischen Formen erörtert.

Man muß die Dioden und Transistoren nach zwei Seiten unterscheiden: Einmal danach, wie ihre pn-Übergänge hergestellt wurden, und andererseits danach, in welche Art von Gehäuse die Kristallelemente, in denen sich die pn-Übergänge befinden, eingebaut sind.

Es gibt hier grundsätzlich verschiedene Arten der Herstellung von pn-Übergängen:

**erstens** die durch **Aufsetzen** von einer oder zwei Metallspitzen auf den n-leitenden Germaniumkristall,

**zweitens** die durch **Auflegieren** von einer oder zwei Dotierungsmetallperlen auf den n-leitenden Kristall,

**drittens** die durch **Aufdiffundieren** von einer oder zwei sehr dünnen Dotierungsschichten auf den n-leitenden Kristall,

**viertens** die durch **Ziehen aus der Schmelze**.

Somit unterscheidet man Spitzendioden und -transistoren, Legierungsdioden und -transistoren, Diffusionsdioden und -transistoren sowie gezogene Dioden und Transistoren.

Obwohl Spitzengleichrichter und -transistoren die ersten Arten von Halbleiterbauelementen waren, so haben sie gegenwärtig keine Bedeutung mehr. Darum soll hier auch nicht weiter darauf eingegangen werden. Die Legierungsbauelemente und die durch Diffusion entstandenen Dioden und Transistoren haben die größte Bedeutung. Die Diffusionstransistoren heißen auch Drifttransistoren. Das Wort Diffusion bezieht sich hier nicht auf die unter 2.01 erwähnte Diffusion (diffundieren) der Löcher und Elektronen, sondern nur auf die Art der Herstellung der pn-Übergänge. Der Übersichtlichkeit wegen sollen speziell die **Legierungsbauelemente** eingehender betrachtet werden. Dies sind, wie schon angedeutet, Halbleiterbauelemente, deren pn-Übergänge durch das **Auflegieren** eines Verunreinigungsmaterials (Dotierungsmaterials) mit drei oder fünf Valenzelektronen je Atom entstehen.

Legierungsgleichrichter (auch Flächengleichrichter genannt) und -dioden werden meistens aus n-dotiertem Germanium hergestellt. Das in Plättchen ( $2 \times 2 \times 0,3$  mm) geschnittene n-leitende Germanium wird auf eine kleine Trägerplatte aus Metall gelötet. Auf die Oberfläche des vorher sauber geätzten und getrockneten Kristallplättchens (n-leitendes Germanium) wird eine Indiumperle gelegt, also ein Material, das p-Leitung im n-leitenden Germanium hervorruft, wenn es dort an einer Stelle eindringt. Dieses Eindringen wird durch den **Legierungsprozeß** erzeugt. Kristall und Indiumperle werden in einer Graphitvorrichtung erhitzt (auf ca.  $500^\circ\text{C}$ ), und es entsteht zwischen Germanium und Indium eine **Legierungsfront**, die einen pn-Übergang darstellt, der die gewünschten Gleichrichter- bzw. Diodeneigenschaften besitzt (Bild 5).

Bei den Legierungstransistoren wird ähnlich verfahren wie bei den Legierungsgleichrichtern, nur legt man in diesem Falle auf beide Seiten des n-Kristallplättchens je eine Indiumperle, denn es sollen ja zwei pn-Übergänge entstehen (s. Bild 6). Der Basiskontakt wird durch eine emitterseitig aufgelegte Zinnperle erreicht. Dort wird später das Basisplättchen aus Nickel als Träger festgelötet. Die Temperatur, bei der beide Perlen in das Germanium einlegiert werden, liegt in der gleichen Höhe wie bei den Flächengleichrichtern, nämlich bei ca. 500 °C. Auf diese Weise entstehen zwei Legierungsfronten, also zwei pn-Übergänge, die die geforderte Transistorwirkung hervorrufen. Mit der Herstellung der pn-Übergänge beim Gleichrichter oder Transistor ist es aber nicht getan, denn die Empfindlichkeit dieser Kristallanordnungen läßt es nicht zu, daß sie an der freien Luft gelassen werden. Man muß also dafür sorgen, daß das „Herzstück“ wohlgeschützt gegen jede Verunreinigung (Staub, Feuchtigkeit, schädliche Gase, Lichteinfall) erhalten bleibt. Denn nur, wenn der legierte Kristall – auch die **Kristallgruppe** genannt – in einem dichten Metallgehäuse eingekapselt ist, wird die elektrische Funktionstüchtigkeit gewährleistet. Beim Gleichrichter wird noch ein Anschlußdraht von der Indiumperle weggeführt, so daß die ganze Kristallgruppe dann mit der Trägerplatte auf einen elektrisch leitenden Kupfersockel gelötet und anschließend verkappt werden kann. Das verschlossene Gleichrichtergehäuse mit der darin untergebrachten bereits beschriebenen Kristallgruppe sieht dann im Querschnitt so aus, wie dies im Bild 7 gezeigt ist.

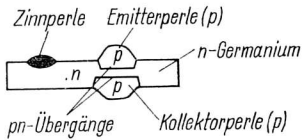


Bild 6

Beim Transistor werden zwei Anschlußdrähte von den beiden Indiumperlen weggeführt, wogegen die Zinnperle auf dem n-leitenden Teil des Kristalls dazu dient, den dritten Anschluß des Transistors zum Gehäuse zu bewerkstelligen. Also: Kollektor und Emitter sind durch dünne Anschlußdrähtchen aus dem Gehäuse geführt. Der Kristall ist direkt an dem Sockeldraht befestigt. Die Transistoraufbauweise ist in Bild 8 dargestellt.

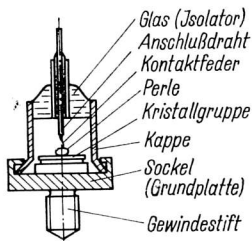


Bild 7

Wenn hier ein Gleichrichter und ein Transistor im Querschnitt dem Aufbau nach gezeigt werden, dann bedeutet dies nicht, daß alle Gleichrichter und Transistoren so gebaut sind. Es gibt natürlich noch viele Abarten von Aufbauweisen, die je nach den besonderen tech-

nischen Anforderungen entsprechend konstruiert sind. Doch darauf soll nicht im einzelnen eingegangen werden. Die verschiedenen äußerlich auch unterscheidbaren Bauformen sind übrigens im HFO-Fertigungsprogramm mit den wichtigsten Außenmaßen abgebildet. Der Vollständigkeit halber soll hier erwähnt werden, daß es außerdem noch gezogene Transistoren, Barrier-Transistoren sowie eine ganze Reihe von **Transistorabarten** gibt. Zu den Abarten gehören u. a. der Field-Effekt-Transistor, der Spacistor und das Tecnetron.

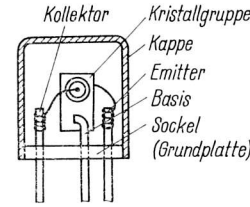


Bild 8

### 3.00 Kenndaten von Halbleiterbauelementen

Gleichrichter als Halbleiterbauelemente, mit denen Wechselstrom in Gleichstrom umgewandelt werden kann, und Transistoren, mit denen Wechselstromsignale wie bei Elektronenröhren verstärkt werden können, sind nun (wie alle technischen Erzeugnisse) durch bestimmte **Kenndaten** charakterisiert. Es ist deshalb notwendig, darauf etwas einzugehen. Im wesentlichen unterscheidet man zwischen drei Arten von Kenndaten, die geeignet sind, das Betriebsverhalten eines Halbleiterbauelementes festzulegen: **mechanische**, **thermische** (Wärme-) und **elektrische** Kenndaten.

Die mechanischen Kenndaten spielen für die vorliegende Betrachtung nur eine geringe Rolle. Thermische und elektrische Kenndaten aber sind das wichtigste Mittel, um einen Gleichrichter oder Transistor beurteilen zu können.

Bei den elektrischen Kenndaten soll begonnen werden. Dabei muß noch eine Unterteilung vorgenommen werden: in **statische** und **dynamische** Werte. Grob gesagt beschreiben statische Kennwerte die gleichstrommäßigen Vorgänge und dynamische Kennwerte die wechselstrommäßigen Eigenschaften der Halbleiterbauelemente. Die thermischen Kenndaten beschreiben das Verhalten der Bauelemente bei Temperatureinwirkung von außen (also von der Umgebung) oder von innen her.

### 3.01 Statische und dynamische Kenndaten von Dioden und Transistoren

Bei Gleichrichtern (Dioden) gilt als Schaltsymbol das auch für Selenzellen bereits bekannte Zeichen nach Bild 9.

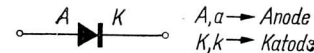


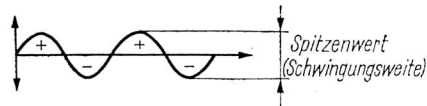
Bild 9

Dabei werden die großen Buchstaben A, K immer im Zusammenhang mit statischen und die kleinen Buchstaben a, k in Verbindung mit dynamischen Kennwerten verwendet. Handelt es sich um Werte, die sich auf die Sperrrichtung (Richtung, in der so gut wie kein Strom durchgelassen wird) beziehen, so sind diese mit dem **Index** KA (oder ka) versehen. Bei Werten, die sich auf die Durchlaßrichtung (Richtung, in der der Strom durchgelassen wird) beziehen, erfolgt eine Indexangabe mit AK (oder ak). Das Wort **Index** bedeutet „Anzeige“, d. h., es wird durch den Index eine zusätzliche Be-

dingung hervorgehoben. Der Index steht etwas tiefer als das davor genannte Formelzeichen (meist ein Buchstabe). Es erscheinen vier Arten von elektrischen Werten: Ströme, Spannungen, Widerstände und Leistungen. Als Maßeinheiten sind entsprechend zu nennen: Ampere (A), Volt (V), Ohm ( $\Omega$ ) und Watt (W).

Auch Tausendstel, Millionstel oder das Tausendfache dieser Maßeinheiten werden oft verwendet, z. Milliampere (mA), Mikroampere ( $\mu$ A) und Kiloohm (k $\Omega$ ). Nun sollen die Kenndaten – oder Kennwerte – der Reihe nach aufgeführt werden, die als die wichtigsten für die Beschreibung des Betriebsverhaltens von Gleichrichtern (Dioden) gelten.

- $\hat{U}_{RN}$  = an der Diode anliegende Gleichspannung; in Sperrrichtung gepolt: Nennsperrspannung.
  - $\tilde{U}_{RN}$  = Effektivwert der Nennsperrspannung.
  - $\hat{U}_{RS}$  = höchstens (maximal) zulässige an der Diode anliegende Stoßsperrspannung, die zeitlich begrenzt ist.
  - $\hat{U}_{RP}$  = höchstens (maximal) zulässige Spitzenwechselspannung auf der Sperreseite (Bild 12).
- Diese Spitzenwechselspannung hat sog. **Sinusform** d. h., wenn man ihre Kurvenform aufzeichnet, erscheint eine Sinuswelle, die so aussieht:



- $U_F$  = Durchlaßspannung; Spannung in Durchlaßrichtung gepolt.
- $U_R$  = Sperrspannung; Spannung in Sperrrichtung gepolt.
- $\hat{I}_{FN}$  = durch die Diode fließender Gleichstrom; in Durchlaßrichtung gepolt.
- $\hat{I}_{FS}$  = höchstens (maximal) zulässiger in Durchlaßrichtung fließender Gleichstrom bei bestimmter Impulsdauer, Impulsdauer und Schwingungszahl (Frequenz) bei dem keine bleibende Veränderung der übrigen Kenndaten auftritt: Stoßdurchlaßstrom.
- $\hat{I}_{FP}$  = höchstens (maximal) zulässige Schwingungsweite (Amplitude) des Wechselstromanteils in Durchlaßrichtung: periodischer Spitzendurchlaßstrom.
- $I_R$  = Sperrstrom; Strom in Sperrrichtung gepolt.
- $I$  = Durchlaßstrom; Strom in Durchlaßrichtung gepolt.

Als Besonderheit in der Reihe der Dioden muß hier noch auf die **Zenerdiode** kurz eingegangen werden. Zenerdioden dienen allgemein

zum Stabilhalten und Begrenzen von Spannungen. Das Hauptkennzeichen einer Zenerdiode besteht darin, daß ihr Sperrwiderstand bei kleinen Spannungen sehr hoch ist – größer als zehn Megaohm (10 M $\Omega$ ) – aber von einer bestimmten (typenabhängigen) Spannung an sehr klein wird. Diese Spannung wird **Zenerspannung** genannt. Zenerdioden können auch zum Schutz von empfindlichen Meßinstrumenten gegen Überlastung, zur Nullpunktunterdrückung und Bereichserweiterung verwendet werden. Mit den Zenerdioden wird die bei den sog. **Stabilisatoren** bisher vorhandene Lücke in den unteren Spannungsbereichen geschlossen und dem Anwender ein vielseitig einsetzbares Bauelement angeboten.

Es sollen hier ergänzend die wichtigsten Kenndaten für Zenerdioden aufgeführt werden. Schon im Zusammenhang mit den Dioden genannte und ebenfalls für Zenerdioden geltende Kenndaten (Buchstaben) werden nicht nochmals erwähnt.

- $r_z$  = differentieller Widerstand im Zenergebiet =  $\frac{dU_z}{dI_z}$   
dieser Widerstand gilt für sehr kleine Abschnitte auf der Strom-Spannungskennlinie der Zenerdiode (Bild 13).
- $U_z$  = Zenerspannung
- $I_z$  = Zenerstrom
- $I_{zmax}$  = höchstens (maximal) zulässiger Zenerstrom
- $I_{zmin}$  = mindestens (minimal) notwendiger Zenerstrom
- $P_{Vmax}$  = höchstens (maximal) zulässige Verlustleistung (Produkt: Strom multipliziert mit der Spannung)

Es folgen die thermischen Kenndaten, die für normale Gleichrichter (Dioden) und für Zenerdioden gelten:

- $\epsilon_a$  = in der Umgebung des Bauelementes herrschende Temperatur (Umgebungstemperatur)
- $\epsilon_j$  = am pn-Übergang herrschende Temperatur (Sperrschichttemperatur)
- $\epsilon_G$  = Gehäusetemperatur
- $\epsilon_{jmax}$  = am pn-Übergang herrschende höchstens (maximal) zulässige Temperatur (Sperrschichttemperatur)
- $R_{thi}$  = innerer Wärmewiderstand (Sperrschicht-Gehäuse), gilt für ideale Kühlung
- $R_{the}$  = äußerer Wärmewiderstand (Gehäuse – umgebende ruhende Luft) gilt für die äußere Kühlanordnung.
- $R_{th}$  = Wärmewiderstand (Sperrschicht – umgebende ruhende Luft), gilt für freitragenden Aufbau (keine Kühlblechmontage)



Bei den Transistoren gilt als Schaltsymbol die aus Bild 10 ersichtliche Anordnung. Das Verhalten der Transistoren wird durch eine Anzahl von

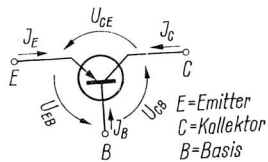
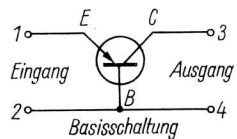


Bild 10

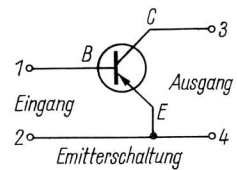
Kennwerten beschrieben, die auch – wie bei der Diode – statischen und dynamischen Charakter haben. Das Prinzip der Bezeichnung der Kenndaten durch Buchstaben und angehängten Index ist auch für den Transistor gültig.

Da der Transistor aber ein Bauelement mit drei Anschlüssen ist, so ergeben sich daraus mehr zu seiner Beschreibung notwendige Kenndaten als vergleichsweise bei der Diode.

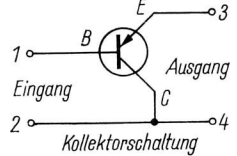
Wenn die Diode als **passiver Zweipol** bezeichnet wird, so führt der Transistor den Namen **aktiver Vierpol**. Wie auch die Elektronenröhre zu den aktiven Vierpolen gehört.



Basisschaltung



Emitterschaltung



Kollektorschaltung

Bild 11

Die wichtigsten dynamischen Kenndaten werden aus dem **Vierpolverhalten** des Transistors abgeleitet. Es wird sofort zu bemerken sein, daß der Transistor aber nur dreipolig und nicht vierpolig ist. Es ist jedoch so, daß für den üblichen Einsatz desselben **Eingang** und **Ausgang** festgelegt werden. In diesem Zusammenhang hat der Transistor vier Anschlüsse: zwei – wie es heißt – **Eingangsklemmen** und zwei **Ausgangsklemmen**. Man unterscheidet drei Grundschaltungsarten des Transistors als Vierpol: Basisschaltung, Emitterschaltung und Kollektorschaltung (Bild 11).

Diese entsprechen etwa den bei der Elektronenröhre üblichen Bezeichnungen: Gitterbasis-, Kathodenbasis- und Anodenbasiserschaltung. Die Betrachtungsweise ist insofern entsprechend, als die für Eingang und Ausgang gleiche Elektrode der Schaltung den Namen gibt. Bei der Basisschaltung ist die Basis gemeinsame Elektrode für Eingang und Ausgang, bei der Emitterschaltung ist es der Emitter und bei der Kollektorschaltung ist der Kollektor für Ein- und Ausgang gemeinsam (immer die Anschlüsse 2 und 4 im Bild 11). Es werden nun wieder der Reihe nach die wichtigsten

Kenndaten (Kennwerte) als Buchstabenbezeichnung mit entsprechenden Erklärungen aufgeführt, die für die Beschreibung des Betriebsverhaltens von Transistoren gelten:

- $I_C$  = Kollektorgleichstrom
- $I_E$  = Emitttergleichstrom
- $I_B$  = Basisgleichstrom
- $I_{CBO}$  = Kollektorreststrom in Basisschaltung bei stromlosem Emitteranschluß

- $I_{CEO}$  = Kollektorreststrom in Emitterschaltung bei stromlosem Basisanschluß
- $I_{CER}$  = Kollektorreststrom in Emitterschaltung bei Anschluß eines Widerstandes  $R_{Be}$  zwischen Basis und Emitter
- $I_{CEV}$  = Kollektorreststrom in Emitterschaltung bei positiver Spannung zwischen Basis und Emitter
- $i_{EBO}$  = Emittterreststrom in Basisschaltung bei stromlosem Kollektoranschluß
- $I_{Cmax}$  = höchstens (maximal) zulässige Dauerbelastung des Kollektors durch Gleichstrom
- $I_{Emax}$  = höchstens (maximal) zulässige Dauerbelastung des Emitters durch Gleichstrom
- $I_{Bmax}$  = höchstens (maximal) zulässige Dauerbelastung der Basis durch Gleichstrom
- $U_{CE}$  = Kollektor-Emittergleichspannung
- $U_{BE}$  = Basis-Emittergleichspannung
- $U_{CB}$  = Kollektor-Basisgleichspannung
- $U_{ECS}$  = Kollektor-Restspannung bei Kurzschluß zwischen Basis und Kollektor und einem in den Emitter „eingespeisten“ Gleichstrom
- $R_g$  = Spannungsquellen – (Generator-) Innenwiderstand
- $f_{h21b}$  = Grenzfrequenz der Kurzschlußstromverstärkung in Basisschaltung
- $f_{h21e}$  = Grenzfrequenz der Kurzschlußstromverstärkung in Emitterschaltung
- $f_1$  = Grenzfrequenz in Emitterschaltung, wobei der Betrag von  $h_{21}$  (sh. dieses) für kleine Signale gleich 1 ist.
- $f_0$  = Bezugsfrequenz, bei der  $f_{h21b}$  gemessen wird
- $F$  = Rauschmaß (in dB gemessen: dabei ist aber dB keine eigentliche Maßeinheit oder Dimension)
- $h_{11b}$  = Eingangswiderstand in Basisschaltung (Ausgang kurzgeschlossen)
- $h_{12b}$  = Spannungsrückwirkung in Basisschaltung (Eingang offen)
- $h_{21b}$  = Stromverstärkung in Basisschaltung (Ausgang kurzgeschlossen)
- $h_{22b}$  = Ausgangsleitwert in Basisschaltung (Eingang offen)
- $h_{11e}$  = Eingangswiderstand in Emitterschaltung (Ausgang kurzgeschlossen)
- $h_{12e}$  = Spannungsrückwirkung in Emitterschaltung (Eingang offen)
- $h_{21e}$  = Stromverstärkung in Emitterschaltung (Ausgang kurzgeschlossen)
- $h_{22e}$  = Ausgangsleitwert in Emitterschaltung (Eingang offen)
- $Y_{11b}$  = Eingangsleitwert in Basisschaltung (Ausgang kurzgeschlossen)

- Y<sub>12b</sub> = Rückwirkungsleitwert in Basisschaltung (Eingang kurzgeschlossen)
- Y<sub>21b</sub> = Steilheit in Basisschaltung (Ausgang kurzgeschlossen)
- Y<sub>22b</sub> = Ausgangsleitwert in Basisschaltung (Eingang kurzgeschlossen)
- Y<sub>11e</sub> = Eingangsleitwert in Emitterschaltung (Ausgang kurzgeschlossen)
- Y<sub>12e</sub> = Rückwirkungsleitwert in Emitterschaltung (Eingang kurzgeschlossen)
- Y<sub>21e</sub> = Steilheit in Emitterschaltung (Ausgang kurzgeschlossen)
- Y<sub>22e</sub> = Ausgangsleitwert in Emitterschaltung (Eingang kurzgeschlossen)
- B = Großsignalstromverstärkungsfaktor in Emitterschaltung
- g<sub>11e</sub> = Wirkanteil des Kurzschlußeingangsleitwertes in Emitterschaltung
- g<sub>22e</sub> = Wirkanteil des Kurzschlußausgangsleitwertes in Emitterschaltung
- g<sub>12e</sub> = Wirkanteil des Rückwirkungsleitwertes in Emitterschaltung
- c<sub>11e</sub> = Eingangskapazität in Emitterschaltung (Ausgang kurzgeschlossen)
- c<sub>22e</sub> = Ausgangskapazität in Emitterschaltung (Eingang kurzgeschlossen)
- c<sub>12e</sub> = Rückwirkungskapazität in Emitterschaltung (Eingang kurzgeschlossen)
- P<sub>c</sub> = Kollektorverlustleistung  $P_c = \frac{\delta_i - \delta_a}{R_{th}}$
- G<sub>p</sub> = Leistungsverstärkungsfaktor

### 3.02 Kennlinien von Halbleiterbauelementen

Als ein wichtiges Mittel zur Beurteilung des elektrischen Verhaltens von Dioden und Transistoren müssen noch die Kennlinien genannt werden. Genauer gesagt sind es die sog. **Strom-Spannungskennlinien**. Wie der Name schon ausdrückt, handelt es sich um Kurvendarstellungen in einem rechtwinkligen Achsenkreuz (Koordinatensystem genannt), die die Abhängigkeit zwischen Strom und Spannung des betreffenden Bauelementes verdeutlichen. Darstellungen dieser Art gibt es übrigens nicht nur für Halbleiterbauelemente, sondern auch für Widerstände, Kondensatoren, Spulen und andere elektrische Teile. Wenn man diese Strom-Spannungskennlinien richtig zu lesen weiß, dann kann man daraus auf das gesamte elektrische Betriebsverhalten der Diode oder des Transistors schließen und danach deren oder dessen Einsatz festlegen.

Wie überhaupt die Strom-Spannungskennlinien die Arbeitsgrundlage für den Anwender sind. Zuerst soll zu den Strom-Spannungskennlinien des Gleichrichters (der Diode) und der Zenerdiode etwas gesagt werden.

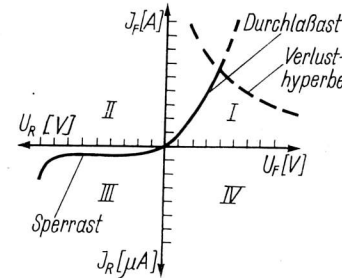


Bild 12

Danach liegt der Sperrast der Strom-Spannungskennlinie im III. Quadranten und der Durchlaßast im I. Quadranten. Die Verlusthyperbel stellt die Verlustleistungsgrenze dar, die nicht überschritten werden darf, so daß das Bauelement nicht zerstört werden. Die Kennlinie der Zenerdiode sieht der normalen Diodenkennlinie sehr ähnlich. Jedoch wird in diesem Falle die Sperrseite für das Arbeiten des Bauelementes von besonderer Wichtigkeit (Bild 13). Denn es wird hier die bereits erwähnte Zenerspannung im Bereich des Zenerknies ausgenutzt, um das Bauelement wirksam werden zu lassen.

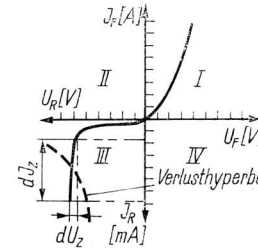


Bild 13

Aus Bild 12 ist ersichtlich, welche grundsätzliche Form eine Diodenkennlinie hat. Die darin eingezeichneten Kennwerte entsprechen den unter 3.01 aufgeführten Bezeichnungen. Dabei ist noch zu beachten, daß man aus der Kurve deutlich die Sperrseite (Sperrast) und die Durchlaßseite (Durchlaßast) voneinander unterscheiden kann. Die jeweils durch zwei senkrecht zueinanderstehende Achsenhälften begrenzten Flächen werden als **Quadranten** bezeichnet und führen die römischen Zahlenbezeichnungen I–IV.

Auch bei dieser Kennlinie ist die Verlusthyperbel eingezeichnet. Aber im III. Quadranten, denn dort besteht die Gefahr, daß der Strom I<sub>Z</sub> zu hoch ansteigen kann (Begrenzung muß durch einen Reihenwiderstand erfolgen) und damit das Bauelement zerstört wird.

Die dritte Kennlinienart ist die des Transistors. Wie schon vorher in anderen Zusammenhängen erkannt, ist – dem Aufbau des Transistors entsprechend – die Kennlinie desselben komplizierter. Es sind auch mehr Angaben notwendig, um die Kennlinie aussagekräftig genug zu machen (Bild 14). Sind bei der Strom-Spannungskennlinie der Diode an der Darstellung nur I. und III. Quadrant beteiligt, so benötigt man für die Strom-Spannungskennlinie des Transistors sämtliche vier Quadranten. Außerdem genügt es nicht, in jedem Quadranten eine Kennlinie unterzubringen, sondern mehrere. Dies geschieht in Abhängigkeit von einer dritten Größe (Spannung oder Strom), dem sog. **Parameter**.

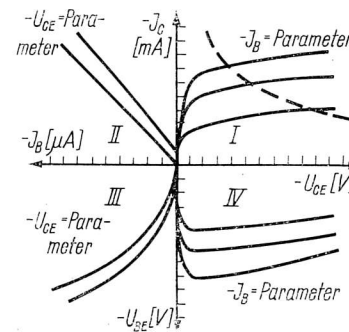


Bild 14

Außer den beiden Größen  $I_C$  und  $U_{CE}$  – wenn man z. B. den I. Quadranten betrachtet – ist dann noch  $I_B$  als Parameter zur eindeutigen Beschreibung des Betriebsverhaltens des Transistors notwendig. Es entsteht eine **Kennlinienschar**, d. h., innerhalb eines Quadranten finden sich mehrere Kurven.

Alle vier Quadranten zusammengenommen – jeder mit einer Schar von Kennlinien – bilden das vollständige **Kennlinienfeld** des Transistors.

Es gehört natürlich viel Übung und ein ausführliches Studium der Zusammenhänge dazu, um dieses Kennlinienfeld anwenden zu können. Dies soll auch nicht erreicht werden, da es über den Rahmen dieser kleinen Schrift weit hinausgehen würde.

### 3.03 Wichtige Fachausdrücke und Schaltsymbole

In Stichwortform sollen einige wichtige Begriffe aus der Halbleitertechnik erläutert werden, die für den eingangs festgelegten Leserkreis von Wichtigkeit sein könnten.

Arbeitspunkt	= Punkt auf einer Dioden- oder Transistorenkennlinie, der durch Angabe eines Spannungs-, eines Strom- und eines sog. Arbeitswiderstandswertes festliegt
Aussteuern	= Anlegen eines Wechselspannungssignals an den Eingang eines Transistorverstärkers
Arbeitswiderstand	= Widerstand, der zum richtigen Funktionieren eines Transistors in der Schaltung erforderlich ist. Meistens im Ausgang des Transistors liegend
Durchbruchspannung	= Spannung, die nicht überschritten werden darf, wenn die Sperrschichten von Diode oder Transistor nicht zerstört werden sollen
Eintaktstufe	= Transistorverstärkerstufe, die bei Niederfrequenzverstärkern Anwendung findet
Endstufe	= letzte Stufe eines Verstärkers mit Transistoren oder Röhren
Ersatzschaltbild	= Schaltbild z. B. eines Transistors, das zur Berechnung verschiedener Eigenschaften des Bauelementes vereinfacht wurde
Gegentaktstufe	= Transistorverstärkerstufe, die bei Niederfrequenzverstärkern Anwendung findet und aus zwei Transistoren besteht, die gleiche Eigenschaften in elektrischer Hinsicht haben (sog. <b>Pärchen</b> )
Grenzfrequenz	= Die Frequenz eines Verstärkers oder einer einzelnen Verstärkerstufe, bei der die Verstärkung auf rund 70 % ihres Höchst- (Maximal-) Wertes abgesunken ist. Es gibt eine obere und eine untere Grenzfrequenz
Großsignalverstärkung	= Verstärkung (B), bei der große Wechselstromsignale verarbeitet werden
HF-Transistor	= Transistor, der bei hohen Frequenzen (ungefähr 1 bis 80 Megahertz) arbeitet, der also für Rundfunkzwecke im wesentlichen verwendet wird

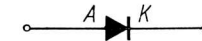
h-Parameter	= Hybrid-Parameter; Kennwerte des Transistors, wenn er (s. 3.01) als Vierpol betrachtet und berechnet wird
Impuls	= elektrischer Strom- oder Spannungsstoß von geringer zeitlicher Dauer (einige Milli- oder Mikrosekunden) und recht beträchtlicher Höhe
Innenwiderstand	= nicht ohne weiteres meßbarer Widerstand z. B. einer Stromquelle, einer Diode, eines Transistors oder einer Röhre
Kleinsignalverstärkung	= Verstärkung ( $h_{21e}$ ), bei der kleine Wechselstromsignale verarbeitet werden
Klirrfaktor	= Zahl in Prozenten angegeben, die verdeutlicht, wie hoch der Anteil an störenden Schwingungen bei der verstärkten Wiedergabe von Tonschwingungen über einen Transistor- oder Röhrenverstärker ist
Knie-spannung	= Kollektorrestspannung; die Kollektorspannung (s. Kennlinienfeld des Transistors), bei der die Kennlinien des I. Quadranten abknicken und eine Art Knie bilden. In diesem Bereich ist ein Aussteuern ohne Verzerrungen (ohne großen Klirrfaktor) nicht mehr möglich. Für den einwandfreien Betrieb eines Verstärkers wird angestrebt, im <b>geraden</b> Teil der Kennlinie zu arbeiten
Kollektorreststrom	= Kollektorstrom: Sperrstrom der Kollektor-Basisdiodenstrecke, der fließt, wenn der Emitteranschluß offen oder gegen einen anderen Anschluß kurzgeschlossen ist
Kollektorruhestrom	= Kollektorgleichstrom, der durch den Arbeitspunkt (s. diesen) festliegt, und der allein fließt, wenn kein Wechselspannungssignal auf den Transistoreingang gegeben wird. Die dazugehörige Kollektorspannung wird entsprechend Kollektorruhespannung genannt
Kollektorwiderstand	= Arbeitswiderstand (s. Arbeitspunkt) für einen Transistor in Emitter- oder Basisschaltung. Dieser Widerstand liegt in der Kollektorleitung und bestimmt – wie schon erwähnt – den Arbeitspunkt
Kühlfläche	= Metallfläche (wegen guter Wärmeleitfähigkeit), die bei einer Diode oder bei einem Transistor die entstehende Stromwärme hinreichend abzuleiten vermag, damit das Bauelement noch elektrisch einwandfrei arbeitet (s. 1.04)
Kurzschluß	= elektrischer Zustand, der entsteht, wenn zwei spannungsführende Elektroden durch einen sehr niedrigen Widerstand (ein Stück Draht, auch <b>Kurzschlußbügel</b> genannt) überbrückt werden. Die anliegende Spannung bricht dann zusammen (wird Null), und es fließt über den Kurzschlußbügel der <b>Kurzschlußstrom</b>
Lastwiderstand	= Arbeitswiderstand, der den Arbeitspunkt festlegt (s. diesen)

Leerlauf	= elektrischer Zustand, der entsteht, wenn zwei spannungsführende Elektroden unüberbrückt bleiben, d. h., daß der Widerstand zwischen ihnen unendlich groß ist. Es fließt dann kein Strom von Elektrode zu Elektrode. Die anliegende Spannung heißt <b>Leerlaufspannung</b>
Leistungs-transistor	= Transistor, dessen Bauform so ausgelegt ist, daß er sich für Kollektorverlustleistungen von einem bis mehreren zehn Watt eignet
Leitwert	= Kehrwert des Widerstandes, gemessen in Siemens (S) Millisiemens (mS) oder Mikrosiemens ( $\mu S$ )
NF-Transistor	= Transistor, der bei niedrigen Frequenzen (ungefähr 10 Hertz bis 1 Megahertz) arbeitet, der also im wesentlichen zur Tonsignalverstärkung verwendet wird
Pärchen	= zwei Dioden oder Transistoren, die innerhalb der Abweichungsgrenzen gleiche elektrische Eigenschaften besitzen. Pärchen werden auf meßtechnischem Wege vom Hersteller ausgesucht (Verwendung z. B. bei Videogleichrichtung im Fernsehbereich für Dioden) und bei Gegenaktverstärkung (in Endstufen von Tonverstärkern für Transistoren)
Rauschfaktor	= Zahlenwert, der die Höhe des <b>Rauschens</b> eines Transistors angibt (in dB). Das Rauschen ist ein aus dem physikalischen Aufbau einer Diode oder eines Transistors sich ergebendes „Störsignal“, das für alle Anwendungsfälle möglichst klein gehalten werden muß. Besonders bei Eingangsstufen von Verstärkern wird dies notwendig (Rauschfaktor oder Rauschzahl sehr klein)
R-C-Verstärker	= Verstärker, dessen einzelne Stufen untereinander durch Kombinationen aus Widerstand und Kondensator (R und C) verbunden sind
Schalt-transistor	= Transistor, der so arbeitet, daß er wie ein elektrischer Schalter für Strom oder Spannung wirkt. Im allgemeinen sind die beiden letzten Typen einer Reihe für Schalterzwecke ausgemessen (sog. <b>Schalterspannungen</b> von 30 V und 60 V). In der Reihe GC 115 bis GC 123 z. B. sind der Typ GC 122 und der Typ GC 123 für den 30-V- und 60-V-Schaltereinsatz ausgemessen
Verstärkung	= Verhältnis der Größe des Signals am Ausgang eines Verstärkerelementes (z. B. Transistors, Röhre o. ä.) zur Größe des Signals am Eingang desselben Verstärkerelementes
Verzerrung	= durch fremde Signale oder ungünstige Arbeitspunktverhältnisse hervorgerufene störende Beeinflussung („Verbiegen“) eines aus einem Verstärker kommenden Signals
Vierpol	= mit vier Anschlußklemmen dargestellte Anschauungs- und Berechnungsgrundlage für Röhren, Transistoren u. a. elektrische Bauelemente, die Eingang und Ausgang besitzen

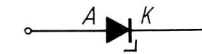
Vorstufe	= erste Stufe oder Eingangsstufe eines Transistor- oder Röhrenverstärkers, die sich durch besondere Eigenschaften (z. B. kleine Rauschzahl) von den folgenden Stufen des betreffenden Verstärkers unterscheiden muß
Wärme-widerstand	= Eigenschaft von Materialien, die sich darin äußert, daß eine vorhandene Wärmemenge über das betreffende Material schneller oder langsamer abgeführt wird
y-Parameter	= Leitwert – Parameter; Kennwerte des Transistors, wenn er (s. 3.01) als Vierpol betrachtet und berechnet wird. Es gibt (wie bei den h-Parametern) vier y-Parameter, deren Maßeinheit Siemens (S), Millisiemens (mS) oder Mikrosiemens ( $\mu S$ ) ist

Aus Gründen der Vollständigkeit seien hier noch die wichtigsten Halbleiterschaltensymbole genannt, die vorkommen:

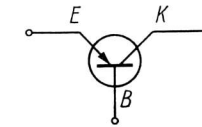
Diode (Gleichrichter) mit pn-Schicht



Zenerdiode



Transistor mit pnp – Aufbau



#### 4.00 Die Typengruppen der Halbleiterbauelemente

Dem Anwendungszweck entsprechend werden verschiedene Typengruppen von Dioden und Transistoren hergestellt, deren Besonderheiten kurz erklärt werden sollen. Zuvor muß noch erwähnt werden, daß diese Bauelementetypengruppen nach folgenden wichtigen Merkmalen unterschieden werden: Frequenz, Verlustleistung, Anwendungsbereich.

##### 4.01 Dioden, Gleichrichter

Zu den Diodenbauelementen soll nur gesagt werden, daß man dort auseinanderhalten muß: Gleichrichter für Niederfrequenz (z. B. 50 Hz Wechselstrom) und Hochfrequenz (z. B. für die **Demodulation**, d. h. Gleichrichter von Hochfrequenzsignalen in Rundfunk- und Fernsehempfängern), Gleichrichter für niedrige und hohe Betriebsspannungen oder -ströme sowie Zenerdioden, die nicht der Gleichrichtung, sondern im wesentlichen der Stabilisierung von Spannungen dienen.

Im Prospektmaterial des Herstellerbetriebes findet der Anwender die Gleichrichter vor allem nach Betriebsspannungsstufen bei jeweils einem bestimmten Durchlaßstrom (angegeben wird der zulässige Höchstwert) geordnet.

Beispiel:	GY 109	( 12 V; 1 A)	
	GY 110	( 24 V; 1 A)	
	GY 111	( 40 V; 1 A)	
	GY 112	( 75 V; 1 A)	eine Typen-
	GY 113	(100 V; 1 A)	reihe (-gruppe)
	GY 114	(150 V; 1 A)	
	GY 115	(200 V; 1 A)	

#### 4.02 Transistoren

Die Reihe der Transistortypen ist wesentlich umfangreicher als die der Gleichrichter und Dioden, da ja die Anzahl der maßgebenden Kenn-  
daten, nach denen über den Verwendungszweck entschieden werden muß,  
größer ist. Als erstes sind die Transistorreihen zu nennen, die als  
**Niederfrequenzverstärker** und als **Schalter** eingesetzt werden.

Es sind dies:	GC 115
	GC 116
	GC 117
	GC 120
	GC 121
	GC 122
	GC 123

Dazu gehören noch die Typen GC 100 und GC 101, die an sich in der  
Hochfrequenztransistorreihe untergebracht waren, jedoch als Nieder-  
frequenztransistoren mit höherer Grenzfrequenz (s. 3.03) anzusehen sind.

Zur Ordnung der Typen ist grundsätzlich für Niederfrequenztransistoren  
zu sagen, daß die erste Type (hier GC 115) die sog. **Anfalltype** darstellt.  
Es handelt sich dabei um Bauelemente, die beim Ausmessen in der Fer-  
tigung immer anfallen und deren Kenndaten den Mindestforderungen  
vollkommen entsprechen. Die beiden letzten Typen der Reihe (hier GC 122  
und GC 123) sind Schalttransistoren (s. 3.03) für 30 V und 60 V.

Weiterhin sind noch **rauscharme** Typen zu erwähnen, die nach einem  
Rauschfaktor von  $< 10\text{dB}$  ausgesucht werden (hier GC 117). Es folgen  
die beiden Leistungstransistorreihen, die als **Niederfrequenzleistungs-  
verstärker** und als **Leistungsschalter** Verwendung finden.

Es sind dies:	GD 100	und GD 150
	GD 110	GD 160
	GD 120	GD 170
	GD 130	GD 180

Hierfür gilt natürlich auch wieder, daß die ersten Typen jeweils die An-  
fallbauelemente und die beiden letzten die Schalttransistoren darstellen.  
In diesem Zusammenhang muß noch erwähnt werden, daß für Gegen-  
taktstufen (3.03) noch Transistorpärchen ausgemessen werden.

Als dritte Gruppe sind die **Hochfrequenztransistoren** zu erwähnen, die sich  
in zwei Reihen teilen:

GF 100	und GF 120
GF 105	GF 121
GS 100	GF 122

Dabei sind der GC 100 und der GC 101 hier weggelassen. Sie sind  
dafür in der Niederfrequenzreihe genannt worden.

#### 4.03 Lehr- und Amateurtypen

Im Kenndaten-katalog des HFO sind nicht die sog. **Lehr- und Amateur-  
typen** – vielfach unter dem Namen Bastlertypen bekannt – aufgeführt.  
Diese Transistoren hatten deshalb auch ursprünglich die Kennbuchstaben  
LA am Anfang der Typenbezeichnung. Im Fertigungsprogramm des HFO  
sind die Lehr- und Amateurtypen aufgeführt. Die Antwort auf die vielfach  
gestellte Frage, ob denn diese Bauelemente etwa den „Ausschuß“ der  
normalen Fertigung darstellen, muß „nein“ lauten. Es handelt sich näm-  
lich bei den Transistoren dieser Art – sie sollen im folgenden als **L-Typen**  
bezeichnet werden – um durchaus vollwertige Bauelemente, deren Kenn-  
datengrenzen aber etwas weiter liegen (man sagt: sie haben weitere  
Kenndatentoleranzen) als die der normalen Typen. Daraus folgt, daß  
L-Transistoren in den verschiedensten Schaltungen angewendet werden  
können, wenn diese Schaltungen nur auf L-Transistoren zugeschnitten sind.  
Aus Gründen der besseren Verständlichkeit sollen an dieser Stelle noch-  
mals die zur Zeit erhältlichen L-Typen mit alten und neuen Bezeichnungen  
aufgeführt werden, wobei vorgesehen ist, diese Reihe entsprechend neu  
hinzukommenden Bauelementefertigungen zu ergänzen:

Typenbezeichnung	
alt	neu
LA 25	LC 810
LA 50	LC 815
LA 100	LC 824
LA 1	LD 830
LA 4	LD 835
LA 30	LF 871
LA 40	LF 880
LA 40	LF 881

Ebenfalls aus Sicherheitsgründen ist es ratsam, nicht mit einer Ver-  
doppelung des Durchlaßstromes zu rechnen, sondern nur mit 80 Prozent  
des Wertes.

Dabei ist zu erkennen, daß der erste Buchstabe der Bezeichnung die  
Lehr- und Amateurtype anzeigt und der zweite die Verwendungsmöglich-  
keit festlegt. Die folgenden Ziffern sind der Bezeichnung für die Anfall-  
type entnommen, aus der das betreffende L-Bauelement ausgemessen  
wurde.

#### 5.00 Hinweise zu den wichtigsten Schaltungsanwendungen

Die Möglichkeiten der Anwendung von Halbleiterbauelementen in Schal-  
tungen sind sehr vielfältig. Daher ist es nicht möglich, auf jede Schaltung  
einzugehen, sondern es werden nur die charakteristischen Fälle kurz  
beschrieben.

#### 5.01 Gleichrichter und Zenerdioden

Gleichrichter werden fast ausschließlich in Schaltungen für Netzteile und  
Stromversorgungsaggregate verwendet. Ein solches Netzteil setzt sich im  
wesentlichen aus vier Hauptteilen zusammen: Dem **Netztransformator**,  
dem **Gleichrichter**, dem **Ladekondensator** und dem sogenannten **Glät-  
tungsglied**.

Man muß bei der Auswahl des Gleichrichters darauf achten, welche  
Spitzenwechselspannung die Sekundärwicklung des Netztransformators

abgibt. Denn die Sperrspannung des Gleichrichters muß mindestens so hoch sein wie die genannte Spitzenwechselspannung. Wenn ein Gleichrichter eine zu geringe Sperrspannung hat, dann kann man sich so helfen, daß man zwei Gleichrichter **in Reihe** schaltet. Dadurch ist die Sperrspannung praktisch verdoppelt worden. Aus Sicherheitsgründen ist es aber ratsam, nicht mit einer Verdoppelung der Sperrspannung zu rechnen, sondern nur mit 80 Prozent dieses Wertes. Ebenso kann man natürlich drei und mehr Gleichrichter in Reihe schalten. Maßgebend für den Durchlaßstrom, den der Gleichrichter mindestens haben muß, ist der dem Netzteil zu entnehmende Gleichstrom. Wenn der Durchlaßstrom eines Gleichrichters zu klein ist, können zwei Exemplare **parallel** geschaltet werden. Dadurch ist der zulässige Durchlaßstrom verdoppelt worden.

Auch hier können drei und mehr Gleichrichter parallel geschaltet werden. Zenerdioden finden, wie schon unter 3.01 erwähnt, in der Hauptsache Verwendung als Spannungsstabilisatoren.

## 5.02 Transistoren

Der wichtigste Anwendungsfall bei Transistoren ist die **Verstärkerschaltung**. Ähnlich wie bei den Röhrenverstärkern kann auch mit Transistoren eine genau so wirkende Schaltung aufgebaut werden. Es werden so viel Stufen, d. h. Transistoren, aneinandergehängt, wie nötig sind, um eine bestimmte Gesamtverstärkung zu erreichen. Als Schaltungsart wird meistens die Emitterschaltung angewendet. Die Kopplung zwischen den einzelnen Stufen erfolgt gewöhnlich über R-C-Kombinationen (s. 3.03). Es gibt noch weitere Kopplungsarten wie **Übertragerkopplung, galvanische Kopplung, L-C-Kopplung**.

Die Gruppe der R-C-gekoppelten Verstärker berührt verschiedene Frequenzgebiete. Denn R-C-Verstärker können nur Wechselstromsignale verarbeiten. Verstärker finden in der Nachrichtenübertragungstechnik, in der Regelungs- und Meßtechnik, in der Tonfilmtechnik, in der Rundfunktechnik und verschiedenen anderen Gebieten wie Elektromedizin usw. Anwendung.

Besonders sind noch die Endstufen zu erwähnen, deren Anwendung im Tonfrequenzbereich (also etwa 20 Hz bis 18 KHz) liegt.

Ein weiterer Anwendungsfall für Transistoren ist der **Transverter (Wandler)**. Mit dieser Anordnung ist es möglich, niedrige Gleichspannungen (etwa 1,5 V . . . 12 V) in hohe Gleichspannungen, die z. B. für Rundfunknetzteile benötigt werden, umzuwandeln. Das geschieht wie folgt: Die niedrige Gleichspannung wird über einen als elektronischer Schalter wirkenden Transistor periodisch an die Primärwicklung eines Transformators an- und von ihr abgeschaltet. Die dadurch (bei geeignetem Übersetzungsverhältnis des Transformators) entstehenden höheren Spannungsstöße werden wieder gleichgerichtet, und es entsteht so eine entsprechend hohe Gleichspannung.

Weiter soll erwähnt werden, daß Transistoren als **Schwingungserzeuger oder Generatoren** eingesetzt werden können. Auf Einzelheiten soll hier nicht eingegangen werden. Berechnungsbeispiele und Schaltungen zu den verschiedenen Anwendungsarten werden in dem Buch „Flächentransistoren“ von Otto und Müller behandelt.

Im Zusammenhang mit den L-Transistoren muß noch gesagt werden, daß diese für die genannten Anwendungen ebenfalls in Frage kommen, jedoch muß dabei die Bemessung der Schaltungseinzelheiten entsprechend

anders gestaltet werden und dem jeweiligen Zweck angepaßt sein. Es wird in dieser Hinsicht noch einmal auf die vom HFO herausgegebene Schrift „Halbleiterschaltungen“ verwiesen.

## 6.00 Einbauhinweise und vorläufige Lötvorschriften für Gleichrichter (zweianschlüssige Bauelemente) und Transistoren (dreianschlüssige Bauelemente)

Halbleiterbauelemente sind auf Grund ihrer Empfindlichkeit hinsichtlich thermischer (Wärme-) Überlastungen sowohl bei ihrer Verwendung in Schaltungen als auch bei ihrer Montage mit entsprechender Vorsicht zu behandeln.

In diesem Zusammenhang wird auf die unter 1.04 gemachten Ausführungen hingewiesen. Bei der Dimensionierung einer Schaltung kommt es darauf an, die Verlustleistung (Pv) eines Halbleiterbauelementes unter Beachtung der Umgebungstemperaturen und der angegebenen Kühlbedingungen in den vorgeschriebenen Grenzen zu halten. Die maximal zulässige Sperrschichttemperatur ( $\theta_j$ ) wird auf diese Weise nicht überschritten, wodurch wiederum die elektrischen Kenndaten des Bauelementes eingehalten werden. Bei der Montage der Halbleiterbauelemente muß man beachten, daß durch die üblicherweise angewendete Löttechnik keine äußeren thermischen Einflüsse direkt oder indirekt zerstörend einwirken dürfen. Auch mechanische Überbeanspruchungen während des Einbaues und der Verwendung in Geräten müssen – genau wie in der Röhrentechnik – sorgfältig vermieden werden. Solche mechanischen und thermischen Überbeanspruchungen können dazu führen, daß neben direkten elektrischen Unterbrechungen der zum Kristall führenden Zuleitungen die hermetisch abgeschlossenen Gehäuse der Halbleiterbauelemente undicht werden, und somit äußere Einflüsse (klimatischen und sonstigen Ursprungs) mittelbar oder unmittelbar auf die empfindlichen Kristallelemente im Inneren (speziell auf die pn-Übergänge) der Gehäuse wirken können. Hieraus folgen dann mangelhafte Funktionstüchtigkeit oder vollständiger Ausfall der Bauelemente beim Einsatz in der Schaltung.

Die im folgenden gegebenen Einbauhinweise und die vorläufigen Lötvorschriften sollen dazu dienen, dem Anwender unserer Erzeugnisse einige Beispiele für die zweckmäßigste Behandlungsweise zu geben.

Bei Beachtung dieser allgemeinen Hinweise können daraus technologische Vorschriften für die Weiterverarbeitung abgeleitet werden.

Außer bei Leistungsbauelementen werden für alle anderen Halbleiterbauelemente Drahtlängen angegeben, die nur bei einwandfreier zusätzlicher Wärmeableitung bei Lötvorgängen noch weiter gekürzt werden dürfen. Dabei muß darauf hingewiesen werden, daß nur bis zu diesen minimal angegebenen Drahtlängen eine Verzinnung der Anschlußdrähte vom Hersteller gewährleistet wird. Die Temperatur in der Glasdurchführung (im Sockel des Bauelementes) darf 100 °C nicht überschreiten.

Wegen der oft vorkommenden Anwendung in Verbindung mit gedruckten Schaltungen beziehen sich die in Skizzen nachfolgend wiedergegebenen Beispiele im besonderen auf eben diese gedruckten Schaltungen.

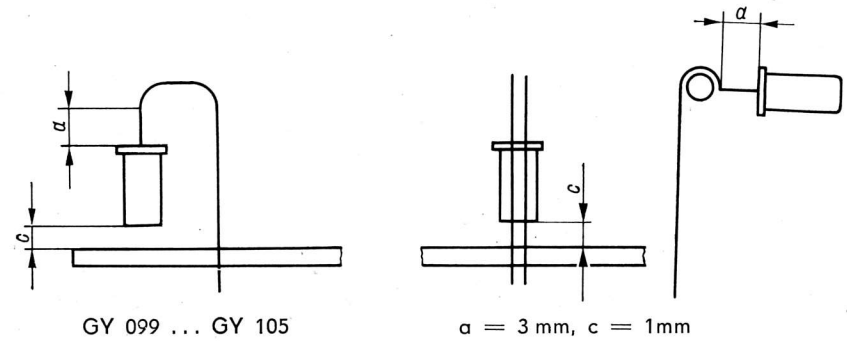
Bei andersartigem Einsatz sind die Bedingungen entsprechend einzuhalten.

Die vorliegenden Beispiele sollen dabei aber die Vielfalt der sonstigen Möglichkeiten nicht einschränken.

Es bedeuten die nachstehenden Skizzen:

- a = Mindestabstand einer Drahtbiegung von der Glasdurchführung
- $b_1 + b_2$  = Mindestabstand der Lötstelle bei Lötvorgängen ohne zusätzliche Wärmeableitung
- c = Abstand des Bauelementes von der Leiterplatte bei Tauchlötung
- r = Biegeradius des Anschlußdrahtes (bis zu 120°) hinter dem Mindestabstand a
- d = Drahtdurchmesser

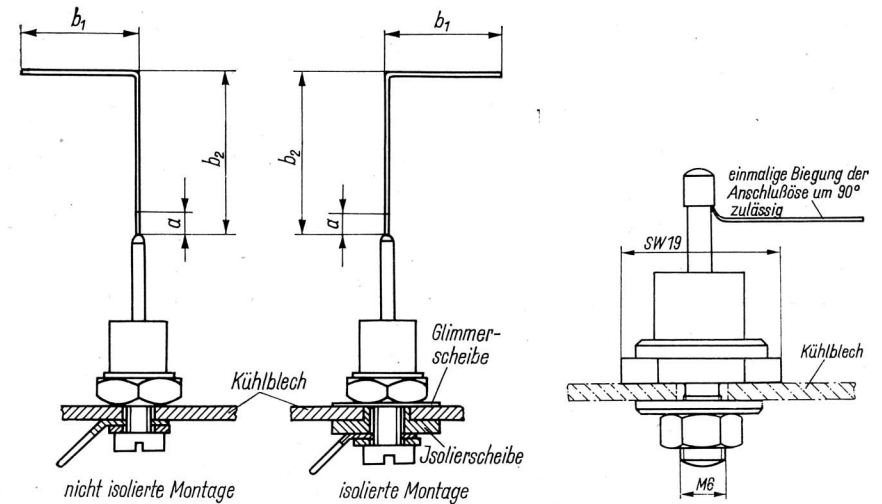
### 6.01 Gleichrichter (zweianschlüssige Bauelemente)



#### Löttemperatur und -zeit:

bei Kolbenlötung bis zu 250 °C max 4 sec  
 bei Tauchlötung bis zu 250 °C max 4 sec

bis zu 350 °C max 2 sec



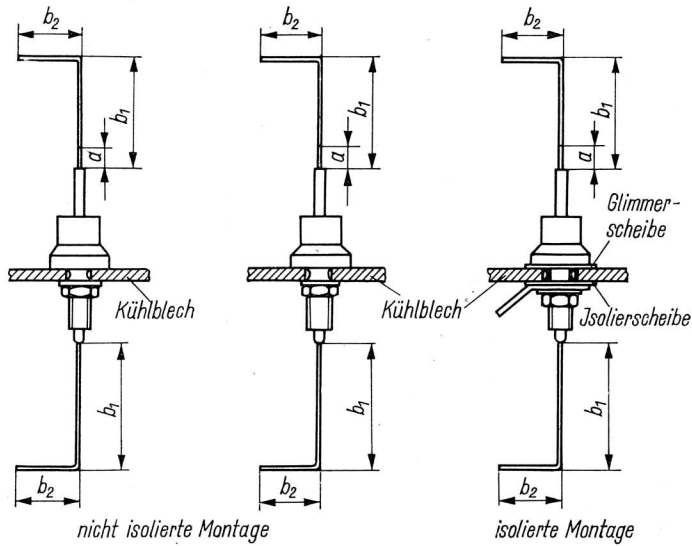
GY 109 ... GY 115  
 GY 120 ... GY 125

$a = 3 \text{ mm}$   $b_1 + b_2 = 20 \text{ mm}$   $r = 1,5 d$   
 $a = 22 \text{ mm}$ ,  $b_1 = 86 \text{ mm}$

#### Löttemperatur und -zeit:

bei Kolbenlötung bis zu 250 °C max 4 sec  
 bei Tauchlötung bis zu 250 °C max 4 sec

bis zu 350 °C max 2 sec

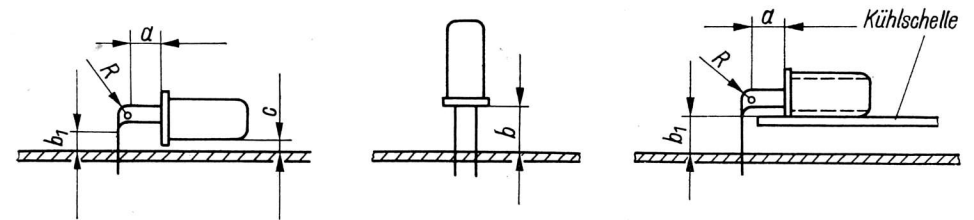


SY 100 (SY 120) – SY 110 (SY 130)  
 nach VDE 0110/5.52 keine isolierte Montage möglich  
 SZ 501 ... SZ 522  
 $a = 3 \text{ mm}$ ,  $b_1 + b_2 = 20 \text{ mm}$   
 $r = 1,5 d$

**Löttemperatur und -zeit:**  
 bei Kolbenlötung bis zu 250 °C max 4 sec  
 bei Tauchlötung bis zu 250 °C max 4 sec  
 bis zu 350 °C max 2 sec

6.02 Transistoren (dreianschlüssige Bauelemente)

GC 115–GC 123  
 (GC 100, GC 101)  
 (GF 100, GF 105)

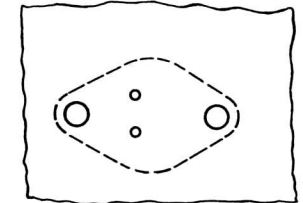
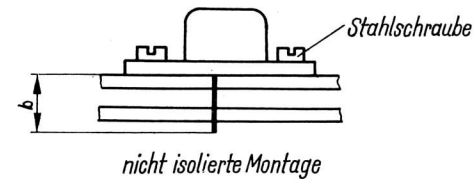
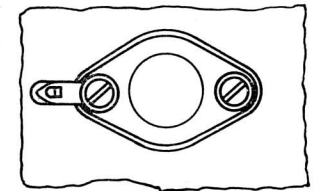
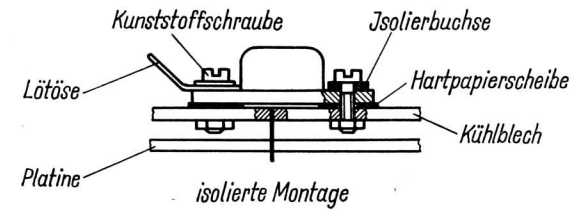


$a = 3 \text{ mm}$   
 $b_1 = 20 \text{ mm}$   
 $c = 1 \text{ mm}$

**Löttemperatur und -zeit:**

bei Kolbenlötung bis zu 250 °C max 4 sec  
 bei Tauchlötung bis zu 250 °C max 4 sec  
 bis zu 350 °C max 2 sec

GD 100–GD 130  
 GD 150–GD 180



$b = 7 \text{ mm (min)}$  Löttemperatur und -zeit bis zu 250 °C max 4 sec  
 bis zu 300 °C max 2 sec



## 7.00 Hinweise zur Lagerung von Halbleiterbauelementen

Zur sachgemäßen Behandlung der Halbleiterbauelemente gehört außer richtiger Behandlung bei der Montage in der Schaltung auch die fachgerechte Lagerung vor dem Verkauf. Dabei ist folgendes zu beachten:

- 7.01 **Die Lagerräume** müssen trocken sein, denn zu hohe Luft- und Raumfeuchtigkeit erhöhen die Korrosionsanfälligkeit (Oxydationsanfälligkeit) der Gehäuseoberfläche der Bauelemente. Wenn aber die Gehäusewände durch Oxyde angegriffen werden, kann sehr leicht Undichtigkeit die Folge sein, was wiederum die Ursache zu elektrischer Funktionsuntüchtigkeit sein kann.

Weiterhin dürfen die Lagerräume keine säure- oder basenhaltigen Gase oder Flüssigkeiten enthalten. Das bedeutet, daß Chemikalien aller Art auf keinen Fall zusammen im gleichen Raum lagern dürfen. Akkumulatoren – also Elektrogeräte –, die ja bekanntlich auch Säure enthalten, sollten zum Beispiel nicht im Lagerraum für Halbleiterbauelemente untergebracht sein. Auch direkte Sonneneinstrahlung sollte ferngehalten werden.

- 7.02 **Beim Transport** der Bauelemente ist es wichtig, diese vor allzu starken Erschütterungen zu bewahren, da anderenfalls Schäden des Kristallsystems im Gehäuse entstehen können. Das Zu-Boden-Werfen zum Beispiel kann in diesem Sinne schädigend wirken.

## 8.00 Hinweise auf Literatur und Prospektmaterial

Um für den Bedarfsfall ein genaueres Studium der Zusammenhänge in der Halbleitertechnik und der Kenndaten der vom HFO produzierten Bauelemente zu ermöglichen, sind nachstehende Hinweise auf Informationen und Fachliteratur gegeben.

### 8.01 Informationsmaterialien aus dem HFO

Fertigungsprogramm des HFO  
Folge „Die neue Bastlerschaltung“

### 8.02 Fachliteratur

„Flächentransistoren“ von Karl Otto und Horst Müller

„Physik der Halbleiter“ Referentenmaterial der Gesellschaft zur Verbreitung wissenschaftlicher Kenntnisse Frankfurt (Oder)

„Technologie der Halbleiter“ Referentenmaterial der Gesellschaft zur Verbreitung wissenschaftlicher Kenntnisse Frankfurt (Oder)

„Dioden- und Transistortechnik“ M. Falter.

Dewag-Werbung Frankfurt (Oder)

I/6/1 NT Ffo. 2850-1066 GG 11/66-216/66