

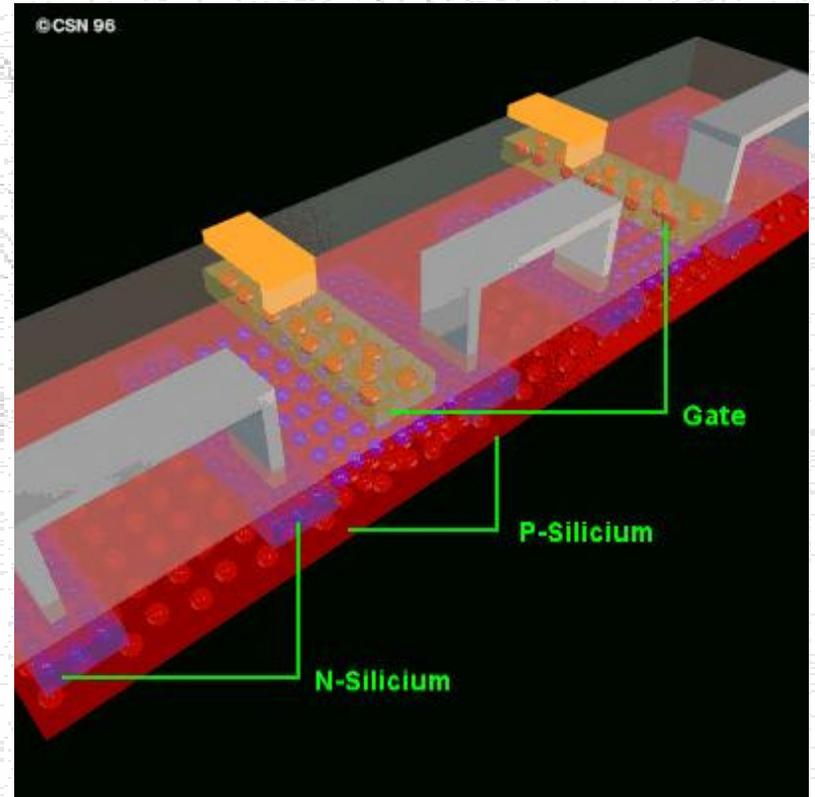
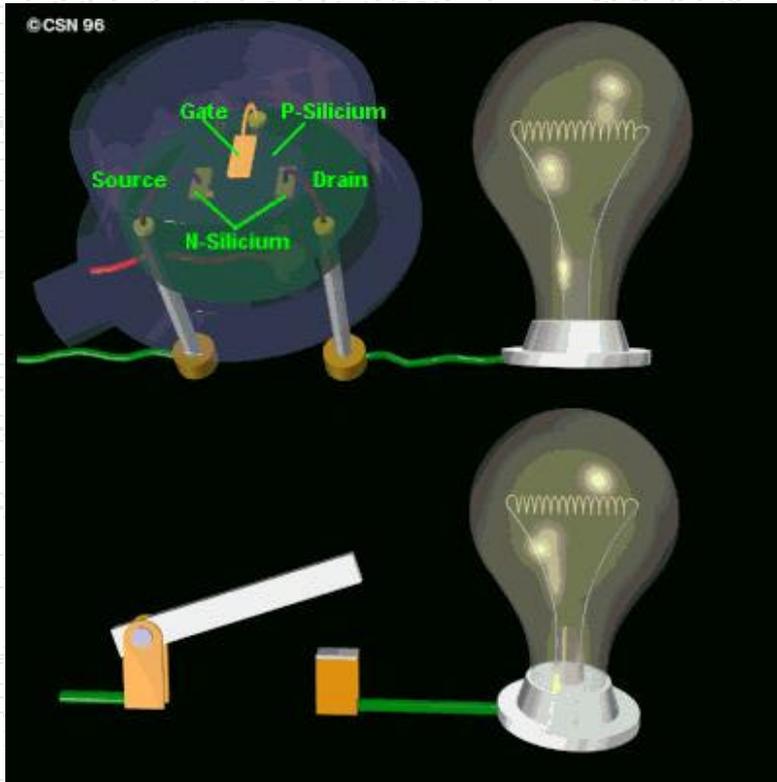
# Mikroprozessor - und Chiptechnologie

|



*Hardware*

# 1 Halbleiterfunktionen



# 8 Halbleiterbauelemente

## 8 Halbleiterbauelemente

8.1 Grundlagen

8.2 Dioden

8.3 Transistoren

8.4 Einfache Grundschaltungen

- Als „**halbleitend**“ werden diejenigen Werkstoffe bezeichnet, deren spezifischer Leitwert zwischen dem von metallischen Leitern und dem von echten Isolatoren liegt.

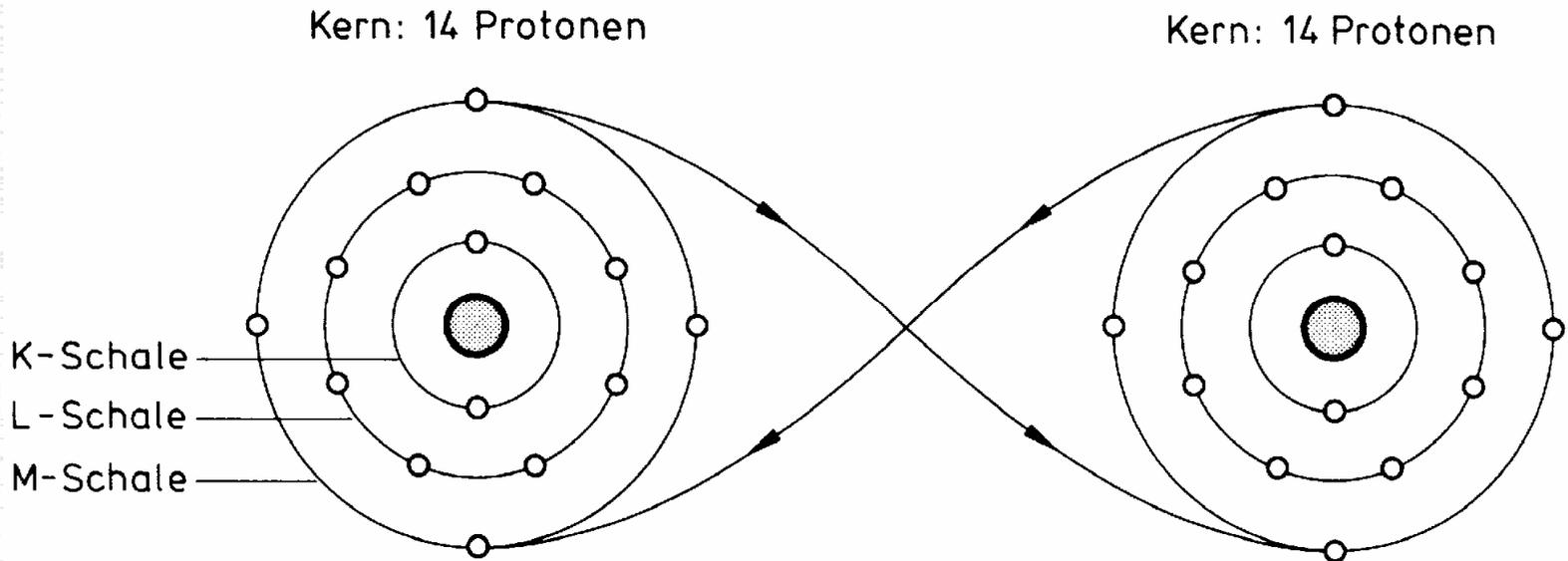
# 8.1 Grundlagen (i)

- Die wichtigsten beiden Halbleiterwerkstoffe sind **Silicium** und **Germanium**.

	11 Na Natrium	12 Mg Magnesium	13 Al Aluminium	14 Si Silizium	15 P Phosphor	16 S Schwefel	17 Cl Chlor	18 Ar Argon
K	2 22,990	2 24,312	2 26,982	2 28,086	2 30,974	2 32,064	2 35,453	2 39,948
L	8	8	8	8	8	8	8	8
M	1	2	3	4	5	6	7	8
	19 K Kalium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titan	23 V Vanadium	24 Cr Chrom	25 Mn Mangan	
K	2 39,102	2 40,08	2 44,956	2 47,90	2 50,942	2 51,996	2 54,938	
L	8	8	8	8	8	8	8	
M	8	8	9	10	11	13	13	
N	1	2	2	2	2	1	2	
	29 Cu Kupfer	30 Zn Zink	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsen	34 Se Selen	35 Br Brom	36 Kr Krypton
K	2 63,54	2 65,37	2 69,72	2 72,59	2 74,922	2 78,96	2 79,909	2 83,80
L	8	8	8	8	8	8	8	8
M	18	18	18	18	18	18	18	18
N	1	2	3	4	5	6	7	8

# 8.1 Grundlagen (ii)

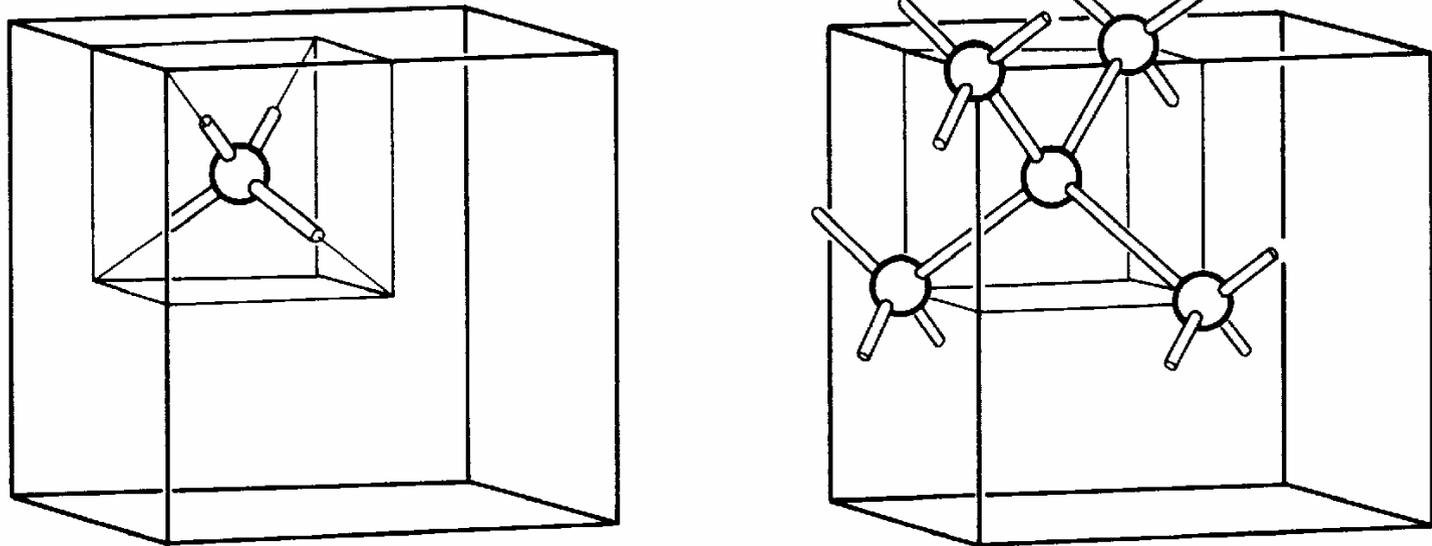
- Die 4-fach besetzten Außenschalen der Atome führen zu einer **Atombindung** .



**Bild 3.5** Atombindung zwischen zwei Si-Atomen

## 8.1 Grundlagen (iii)

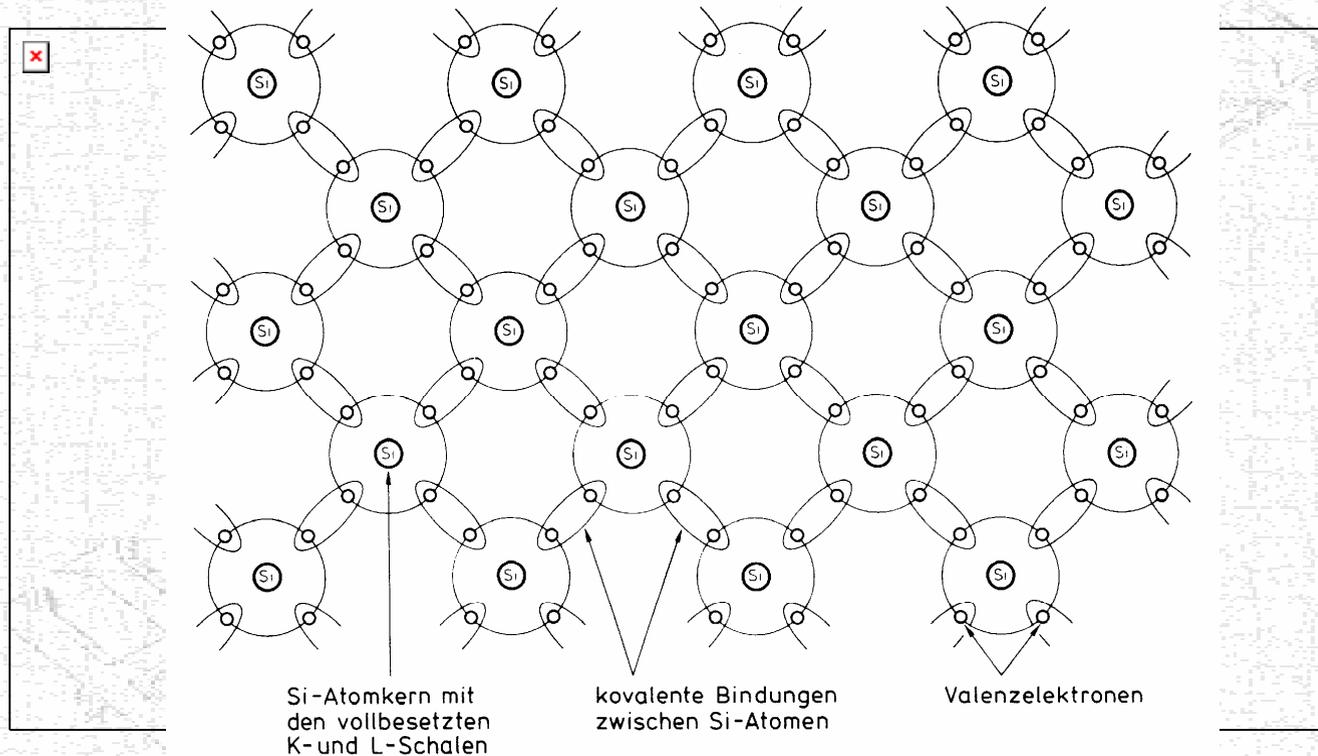
- Jeweils 5 Atome schließen sich zu einer räumlichen Struktur zusammen. (**Kristallgitter**).



**Bild 3.6** Räumliche Anordnung von Si-Atomen zu einem Kristallgitter

# 8.1 Grundlagen (I V)

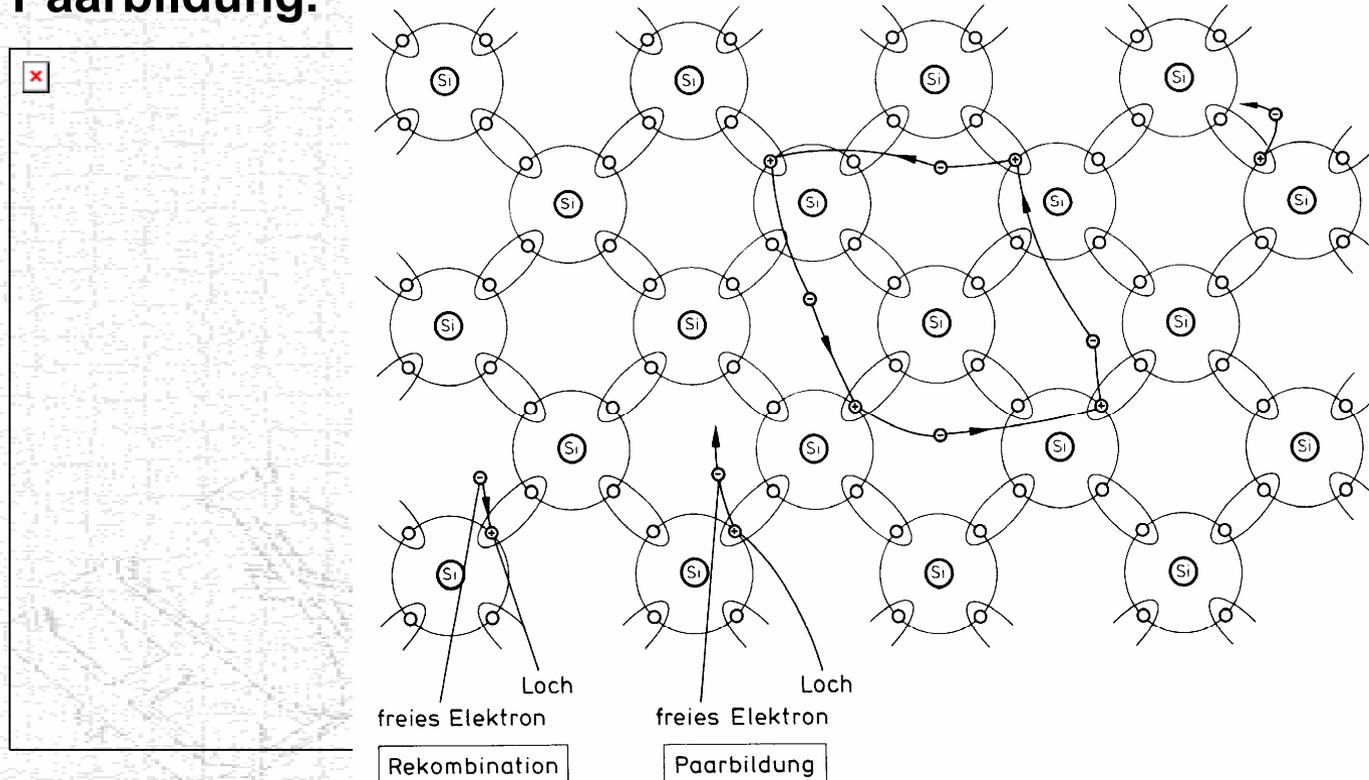
## ■ Kristallgitter in zweidimensionaler Darstellung.



**Bild 3.8** Zweidimensionale Darstellung eines Halbleiterkristalls aus Si-Atomen

# 8.1 Grundlagen (V)

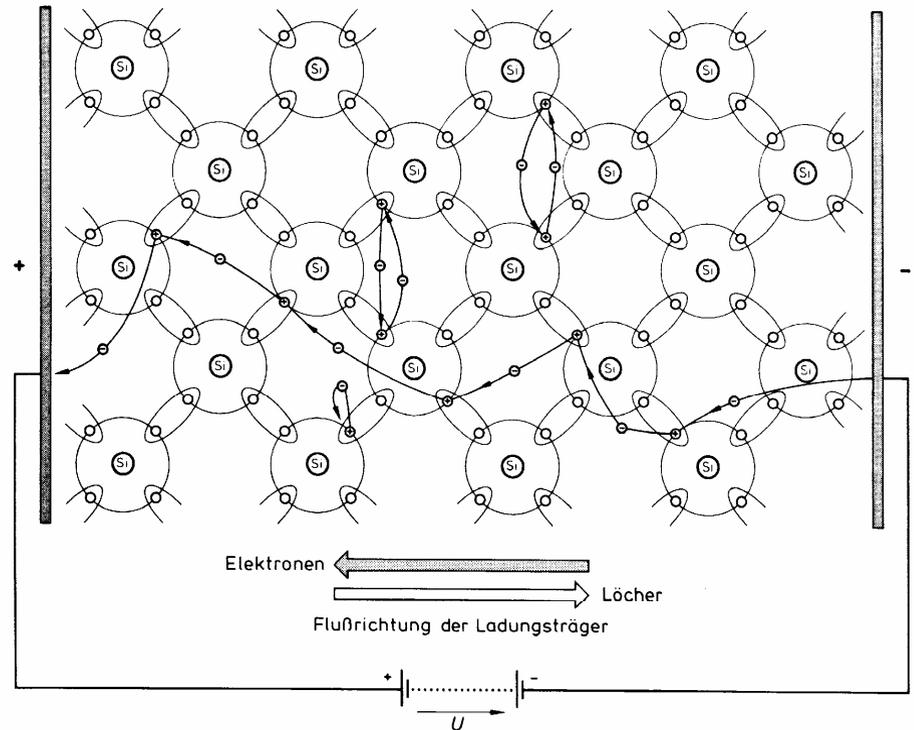
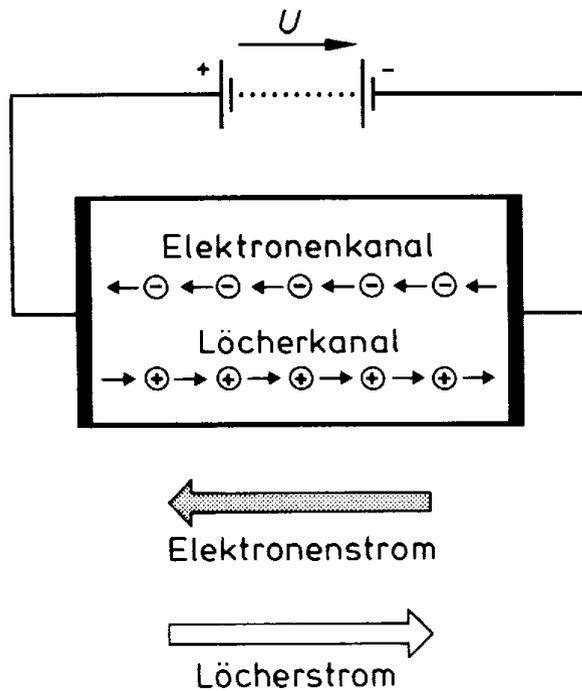
## ■ Thermische Eigenleitung durch Rekombination und Paarbildung.



**Bild 3.9** Paarbildung und Rekombination in einem Si-Kristall

# 8.1 Grundlagen (VI)

- **Richtungsgesteuerte Eigenleitung durch Anlegen eines elektrischen Feldes.**



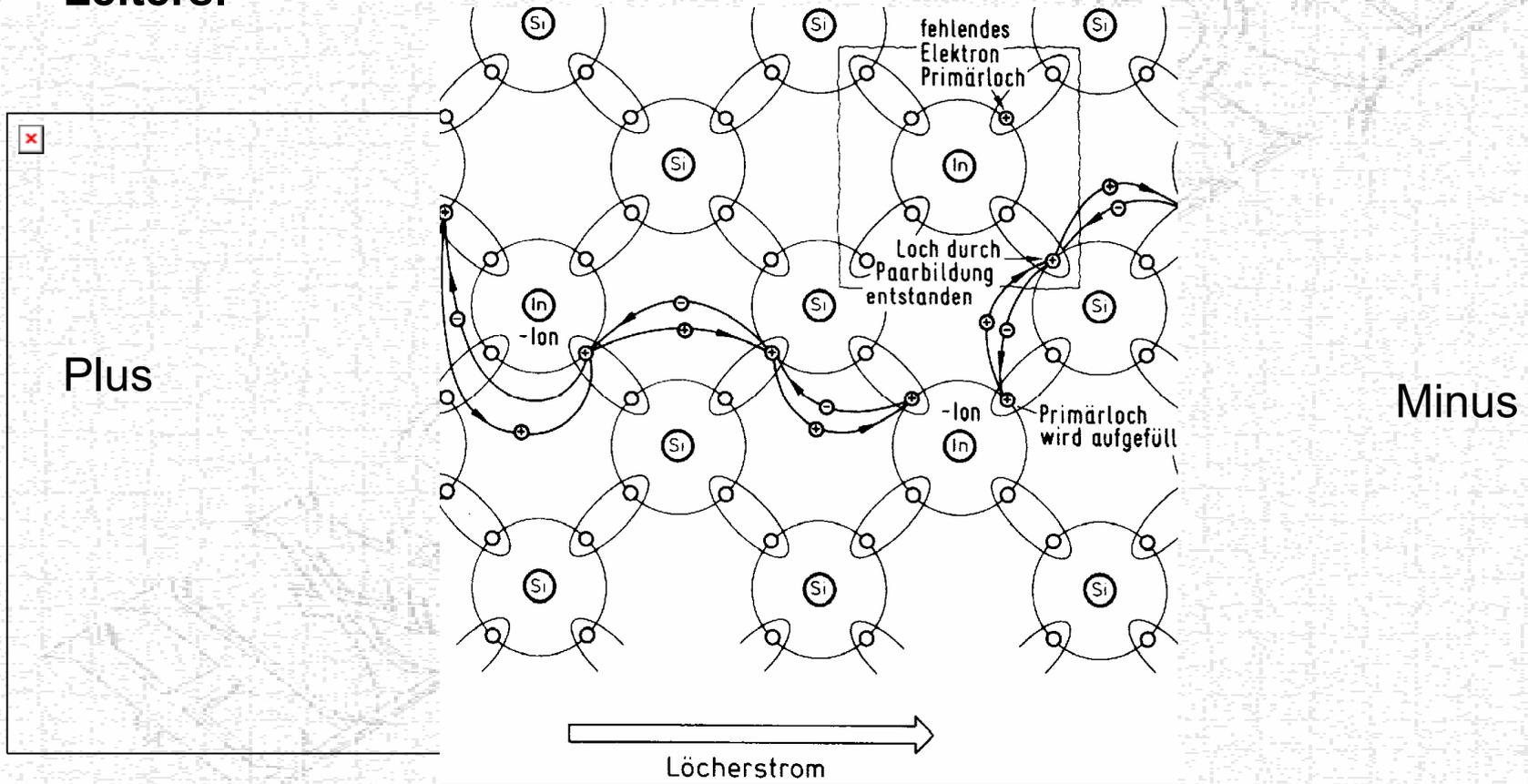
**Bild 3.11** Elektronen- und Löcherwanderung im Si-Kristall unter Einfluß eines elektrischen Feldes

# 8.1 Grundlagen (VIII)

- Die Eigenleitfähigkeit von Halbleitern kann durch den Einbau von sog. Fremd- bzw. Störatomen stark beeinflusst werden.
- Dieser Vorgang wird als „**Dotieren**“ oder auch „Dopen“ bezeichnet.
- Der Grad der Verunreinigung bestimmt die sog. „**Störstellenleitfähigkeit**“.
- Zum dotieren eignen sich Stoffe mit 3 oder 5 Valenzelektronen.
- 5-wertige Stoffe führen zu einer **n - Dotierung** und werden deshalb auch als „Donatoren“(Elektronenspender) bezeichnet. (z.B. Phosphor und Arsen)
- 3-wertige Stoffe führen zu einer **p - Dotierung** und werden deshalb auch als „Akzeptoren“(Elektronenempfänger) bezeichnet. (z.B. Gallium und Indium)

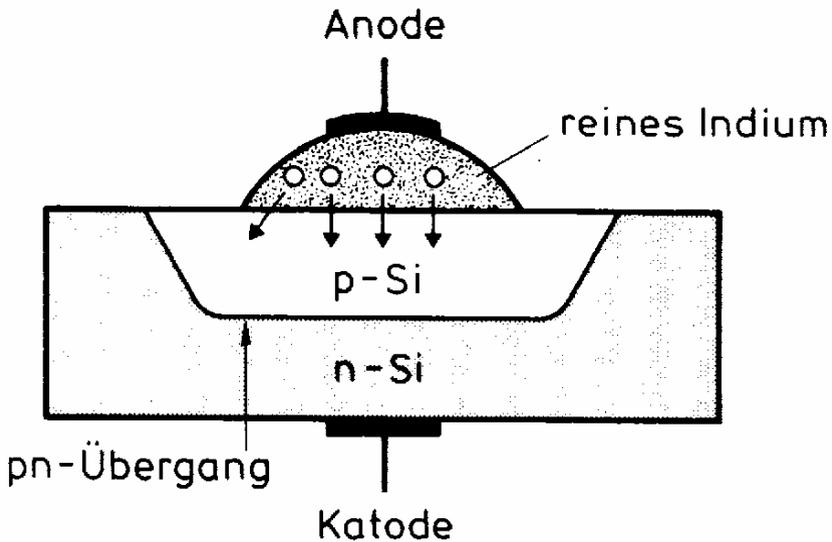
# 8.1 Grundlagen (X)

## Lochleitfähigkeit eines p-Leiters.

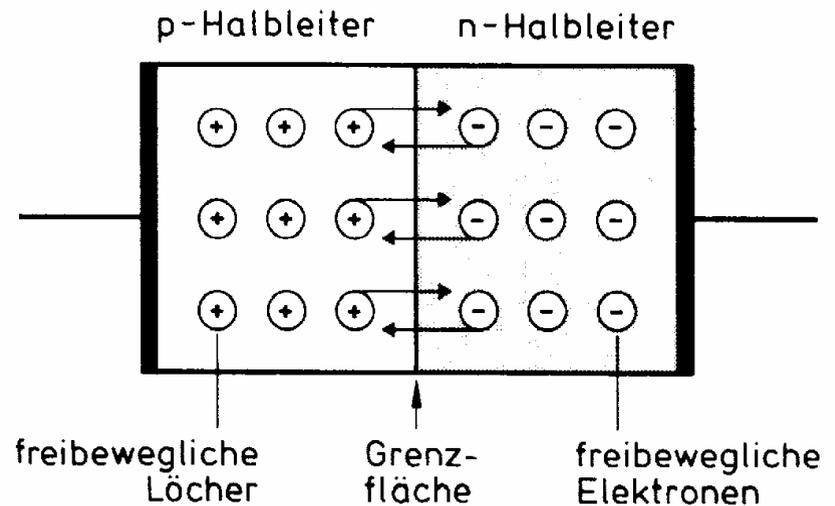


# 8.1 Grundlagen (XI)

- **Herstellungsprinzip eines stoßstellenfreien pn-Überganges durch Eindiffundieren der 3-wertigen Fremdatome.**

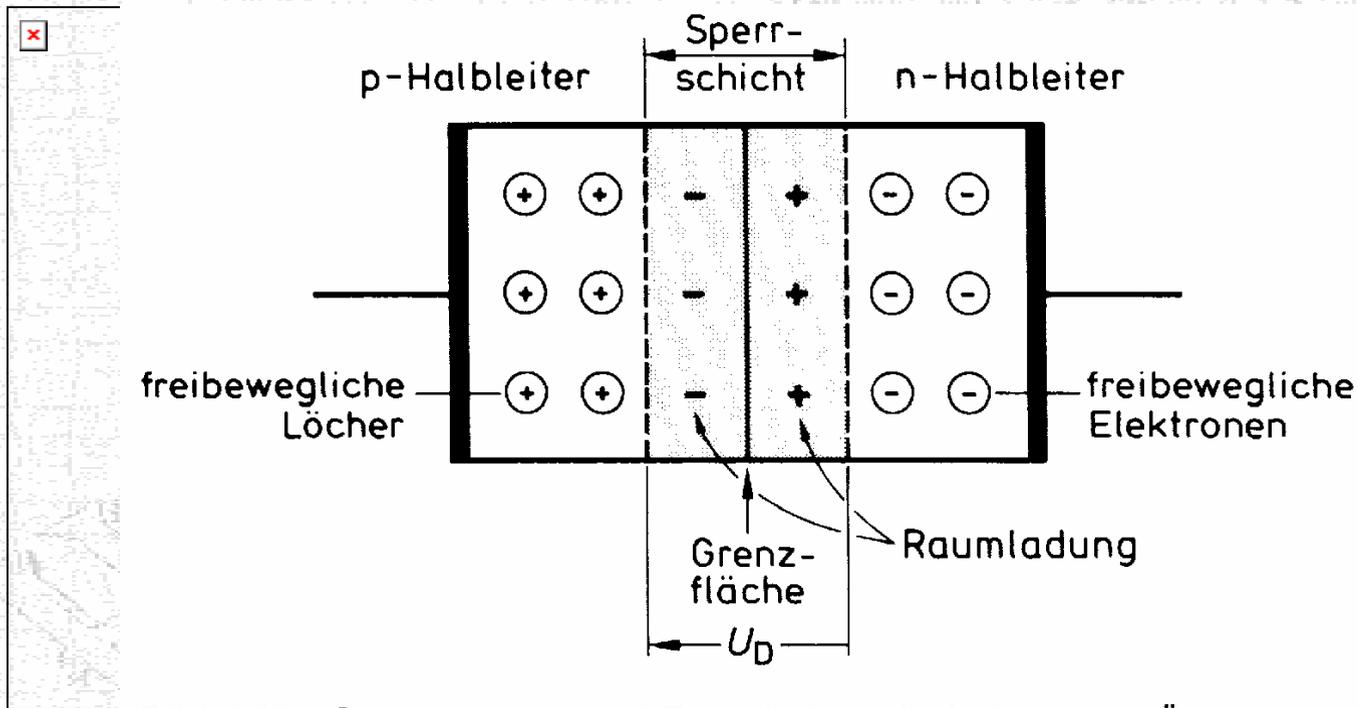


- **pn-Übergang ohne angelegte Spannung**



# 8.1 Grundlagen (XI I)

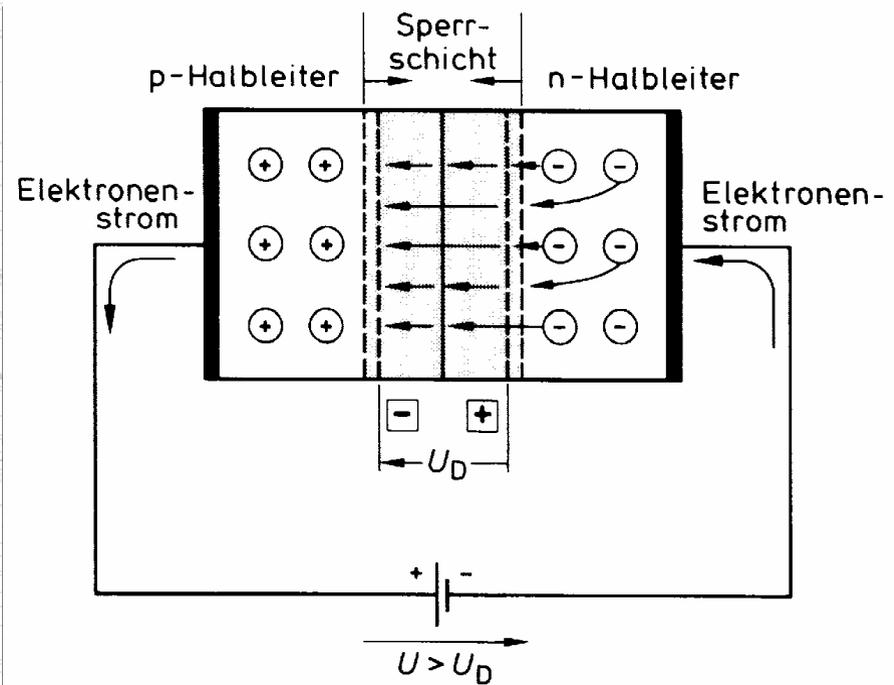
- Entstehung einer **Raumladungszone** innerhalb der Sperrschicht durch Diffusion von Ladungsträgern.



**Bild 3.18** Sperrschicht und Raumladung bei einem pn-Übergang

# 8.1 Grundlagen (XI I I)

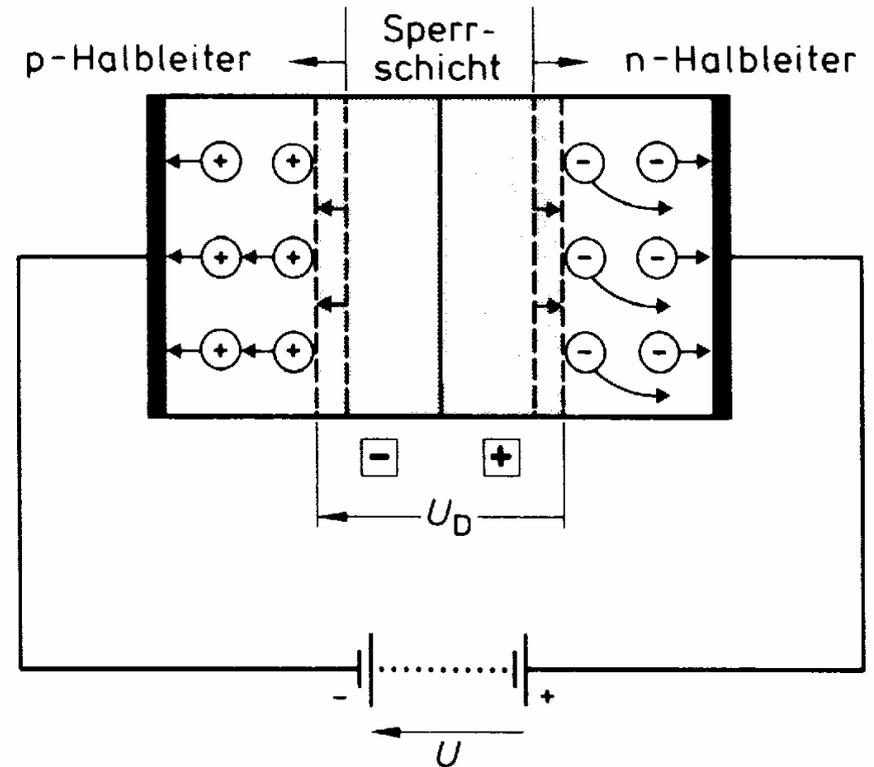
- Bei gleichpoligem Anschluß einer Spannungsquelle (Plus an p -, Minus an n - Material, wird die Sperrschicht abgebaut.
- Bei dieser Polung wird der pn-Übergang also in **Durchlaßrichtung** betrieben.



**Bild 3.19** pn-Übergang in Durchlaßrichtung

# 8.1 Grundlagen (XI V)

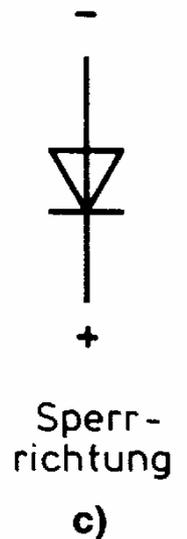
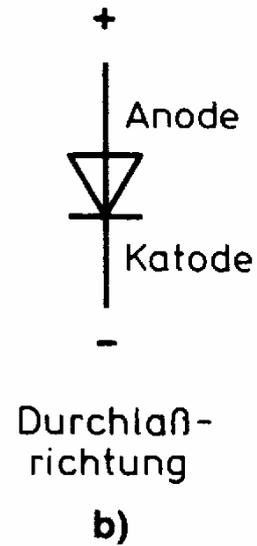
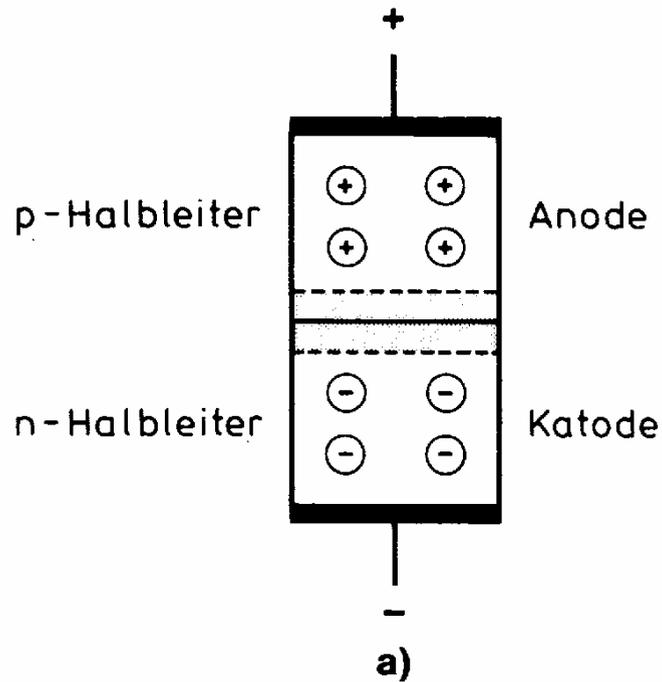
- Bei gegenpoligem Anschluß einer Spannungsquelle (Plus an n -, Minus an p - Material, wird die Sperrschicht größer.
- Bei dieser Polung wird der pn-Übergang also in **Sperrrichtung** betrieben.



## 8.2 Dioden (i)

- Dioden bestehen aus einem Halbleiterkristall mit einem **P/N-Übergang**.
- Da durch diesen P/N-Übergang der Strom nur in eine Richtung fließen kann, werden **Gleichrichter-** und **Schaltdioden** als stromrichtungsabhängige Bauelemente bezeichnet.
- Von der Durchlaßrichtung sind die Bezeichnungen der Anschlüsse abgeleitet.
- Die Elektrode am p-dotierten Kristall wird als **Anode** (griech. Eingang), die Elektrode am n-dotierten Kristall als **Katode** (griech. Hinabweg) bezeichnet.

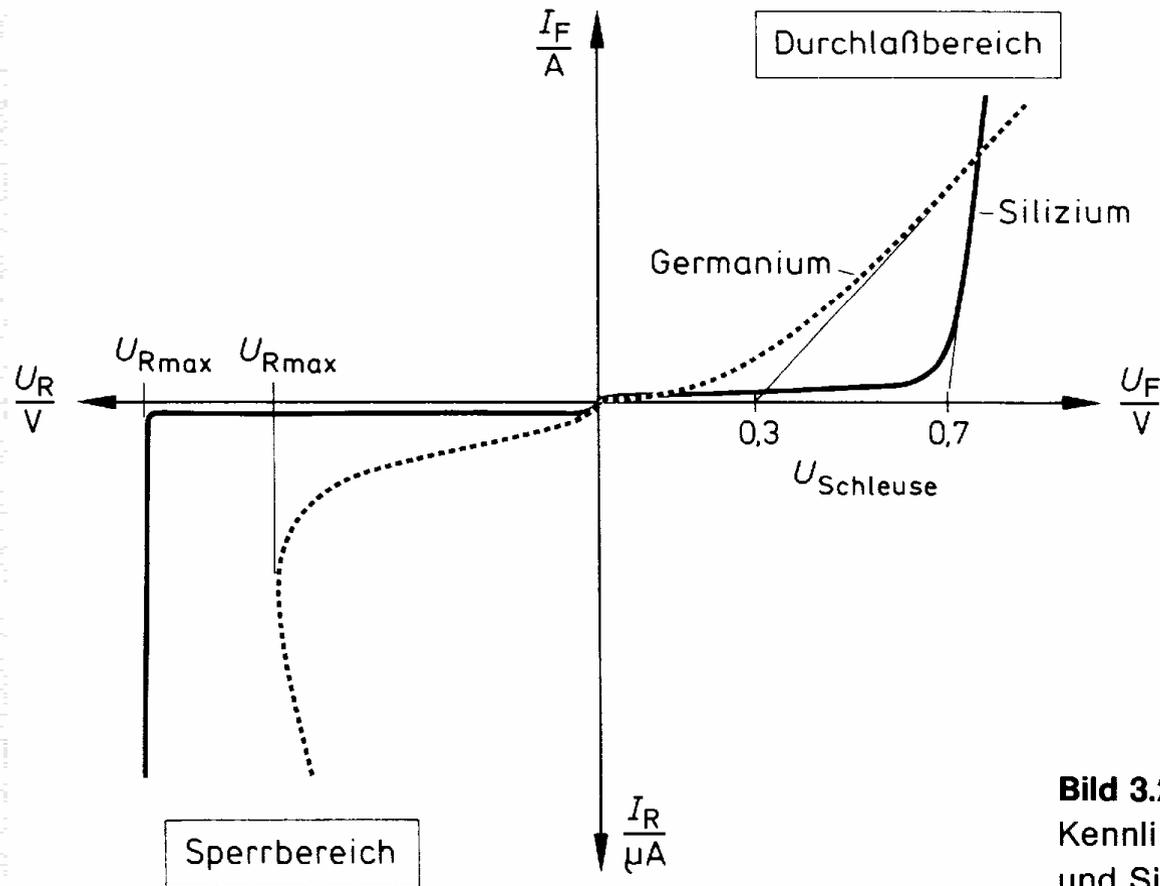
## 8.2 Dioden (ii)



## 8.2 Dioden (iii)

- **Es wird zwischen Germanium- und Silizium-Dioden unterschieden.**
- **Die Durchlaß- oder auch Schleusenspannung  $U_s$  für GE-Dioden beträgt ca. 0,3 Volt, die für Si-Dioden etwa 0,7 Volt.**
- **Auch die Sperrspannung  $U_{rmax}$  ist bei beiden Typen unterschiedlich. Bei Ge-Dioden beträgt sie 40 – ca. 100 Volt, bei Si-Dioden 80 – ca. 1500 Volt. (siehe Kennlinie, nächste Folie)**

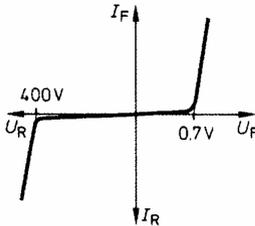
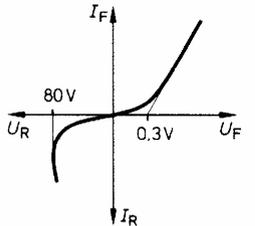
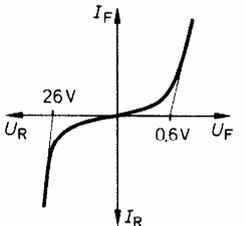
## 8.2 Dioden (I V)



**Bild 3.22** Charakteristische Kennlinien für Ge- und Si-Gleichrichterdioden

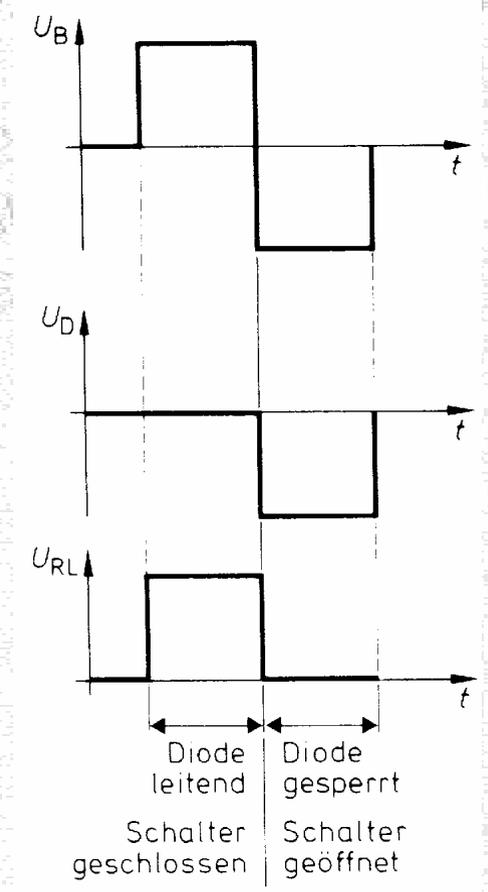
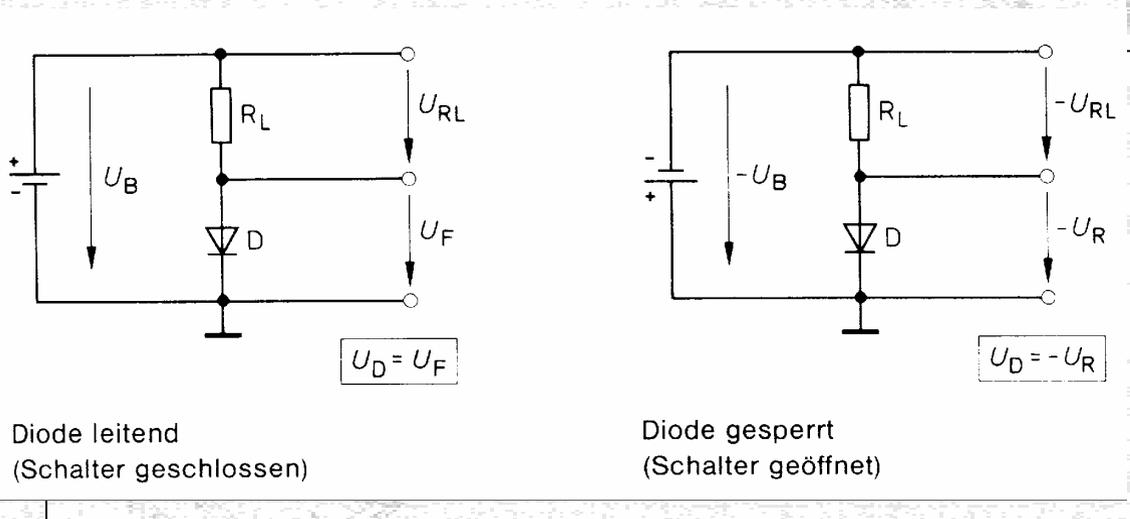
# 8.2 Dioden (V)

## ■ Charakteristische Eigenschaften von Si-Ge- und (Se)-Dioden

Eigenschaft	Siliziumdiode	Germaniumdiode	Selendiode
Schleusen- spannung $U_s$	0,5 V–0,8 V	0,2 V–0,4 V	0,6 V
max. Sperr- spannung $U_{R \max}$	80 V–1500 V	40 V–100 V	20 V–30 V pro Platte
Höchstzulässige Stromdichte in der Halbleiterschicht	100 A/cm <sup>2</sup>	50 A/cm <sup>2</sup>	0,1 A/cm <sup>2</sup>
Sperrstrom $I_{\text{Rest}}$	5 nA–500 nA	10 μA–500 μA	100 μA–500 μA
max. Sperr- schichttemperatur $\vartheta_{J \max}$	150 °C–200 °C	70 °C–90 °C	60 °C–80 °C
Temperaturab- hängigkeit des Sperrstromes	Verdopplung bei 8 K Temperaturerhöhung	Verdopplung bei 10 K Temperaturerhöhung	Verdopplung bei 5 K Temperaturerhöhung
Zulässige Ver- lustleistung $P_{V \max}$	groß (wegen der höheren Sperrschicht- temperatur)	mittel	mittel
Kennlinienverlauf			
Anwendung	Gleichrichtung aller Art Schalterbetrieb	HF-Gleichrichtung	Netzgleichrichtung

# 8.2 Dioden (VI)

## ■ Anwendungsbeispiel: Diode als Schalter

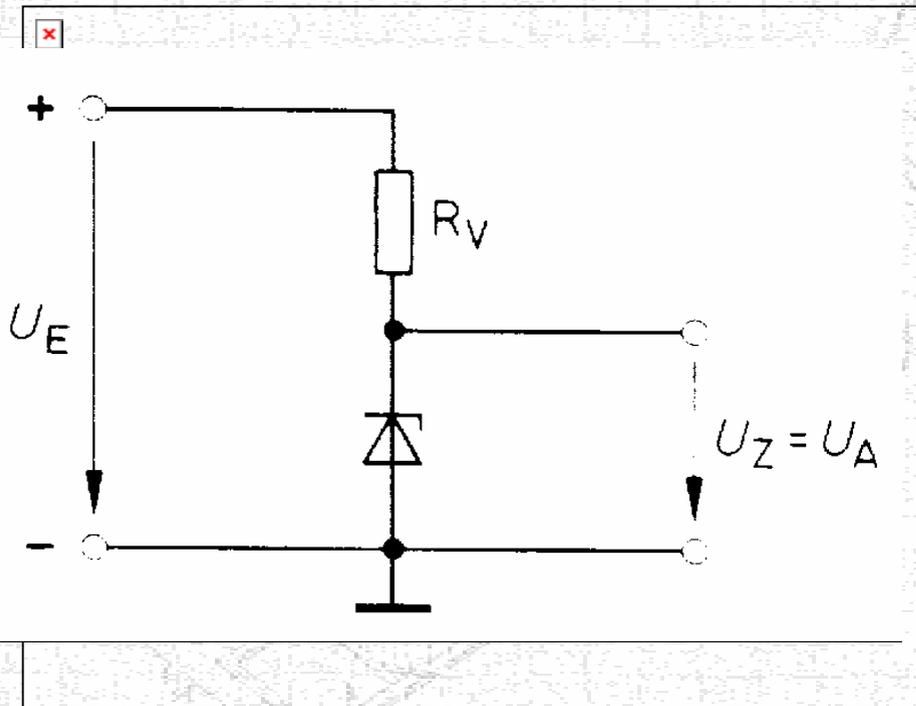


## 8.2 Dioden (VI I)

- **Sonderfall: Z-Diode**
- **Z-Dioden oder auch Zener-Dioden (nach dem Wissensch. C. Zener) sind Sonderformen der Si-Dioden, bei denen die Sperrschicht durch besondere Dotierung sehr dünn gehalten wird.**
- **Dadurch ist die Durchbruchsspg.  $U_{max}$  wesentlich niedriger (ca. 1-10 Volt).**
- **Diesen charakteristischen Effekt (Zener-Effekt macht man sich zu Nutze, indem man die Z-Diode immer in Sperrichtung betreibt.**
- **Durch den sich ergebenden typischen Kennlinienverlauf lassen sich Z-Dioden gut zur Spannungsstabilisierung kleiner Gleichspannungen einsetzen.**

# 8.2 Dioden (VIII)

## ■ Spgs. Stabilisierung mit Z-Diode



## ■ Kennlinien

### 3.5 Z-Dioden

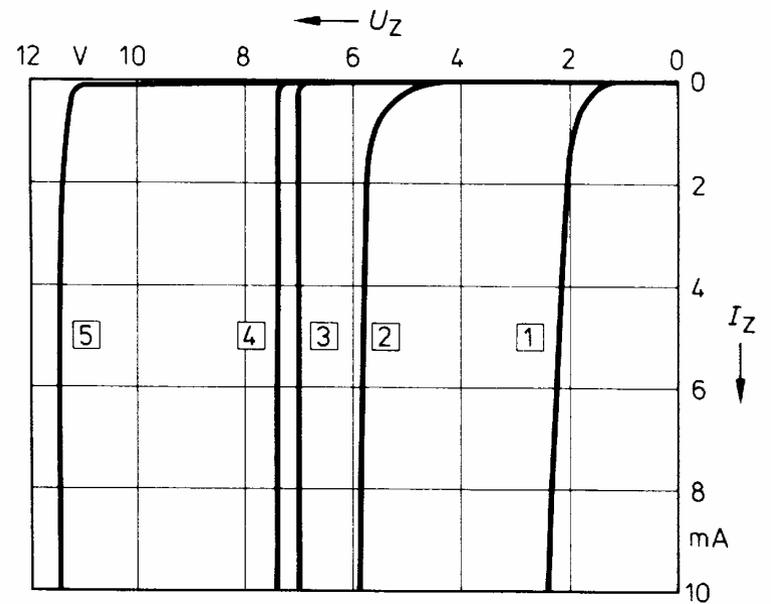
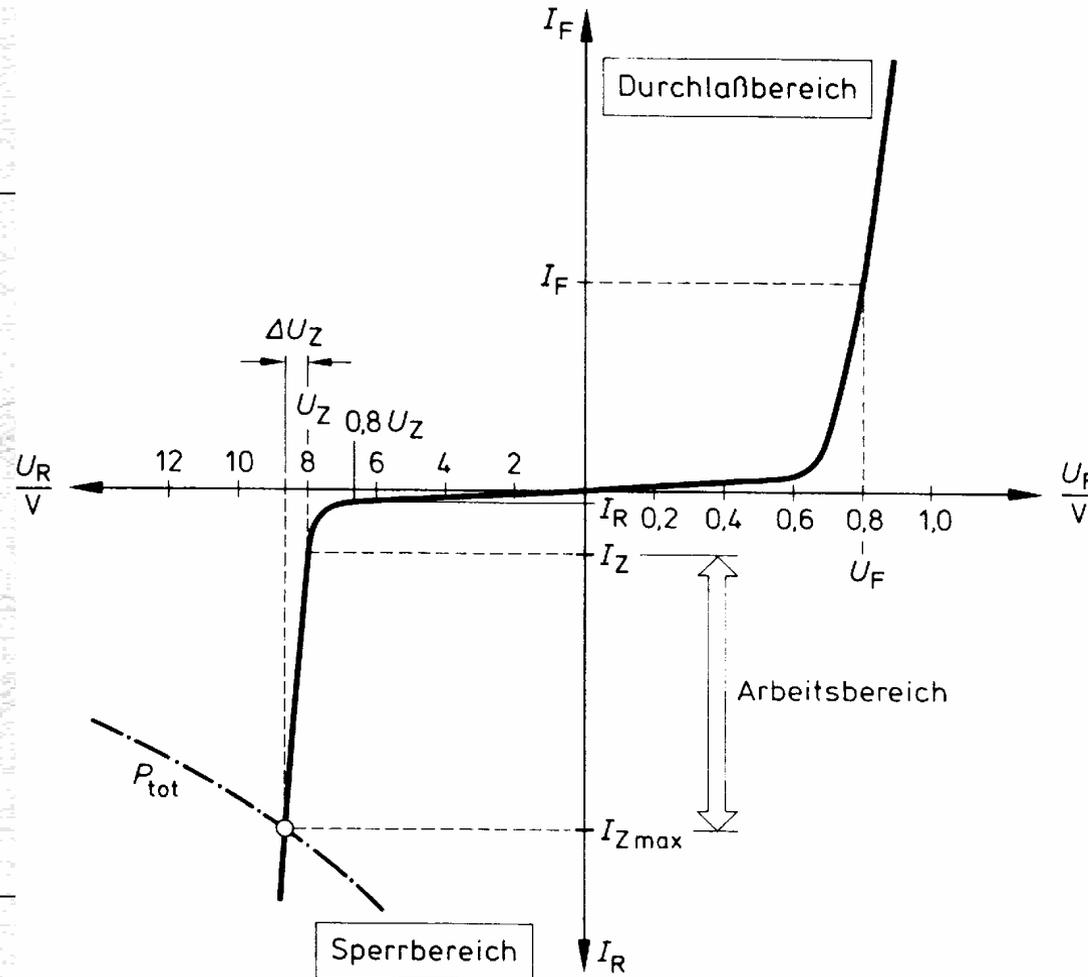
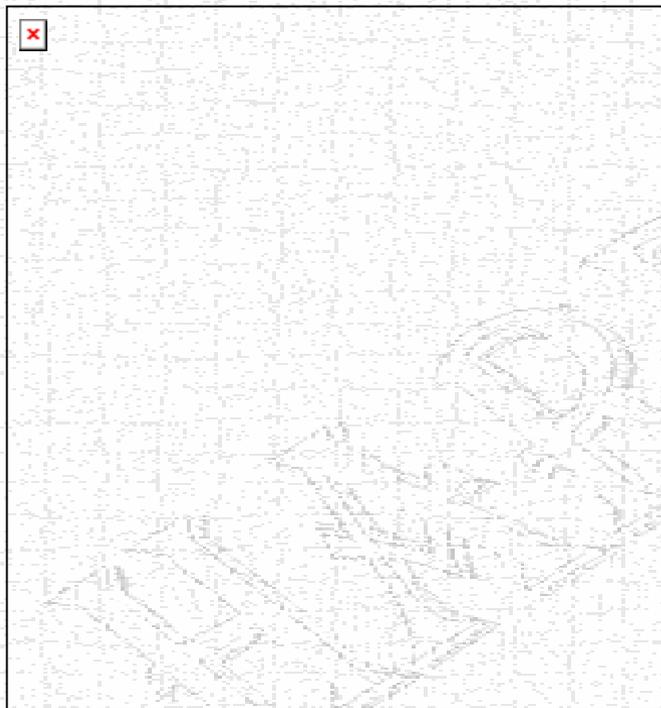


Bild 3.78 Durchbruchkennlinien verschiedener Z-Dioden

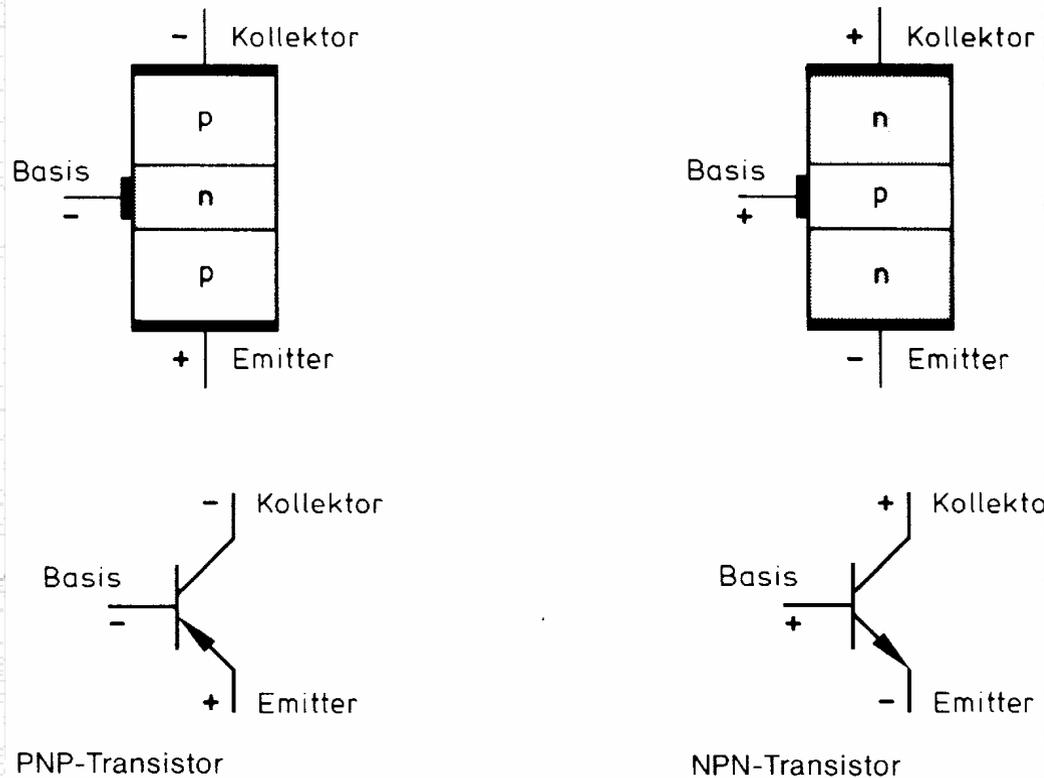
# 8.2 Dioden (IX)

## ■ Strom- und Spannungs-Kennlinie einer Z-Diode



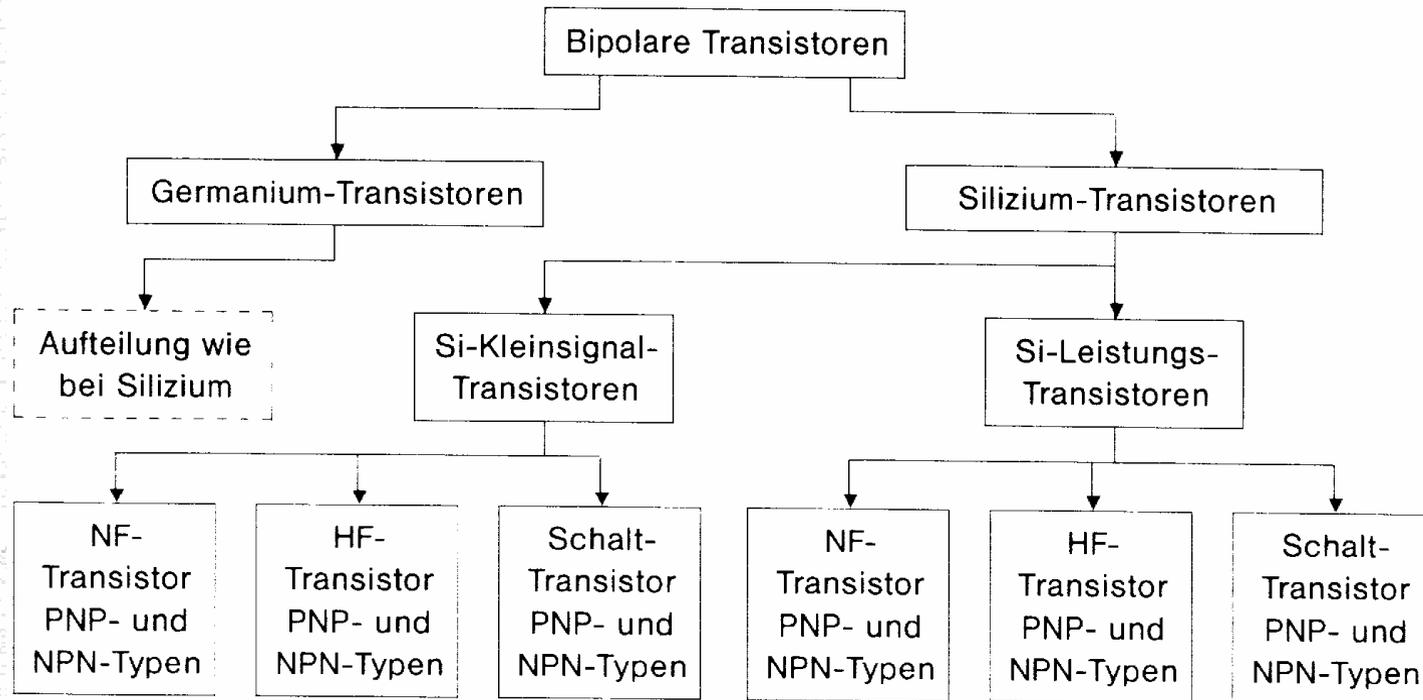
# 8.3 Transistor (i)

- Bipolare Transistoren werden in **PNP**- und **NPN**-Typen unterschieden.



## 8.3 Transistor (ii)

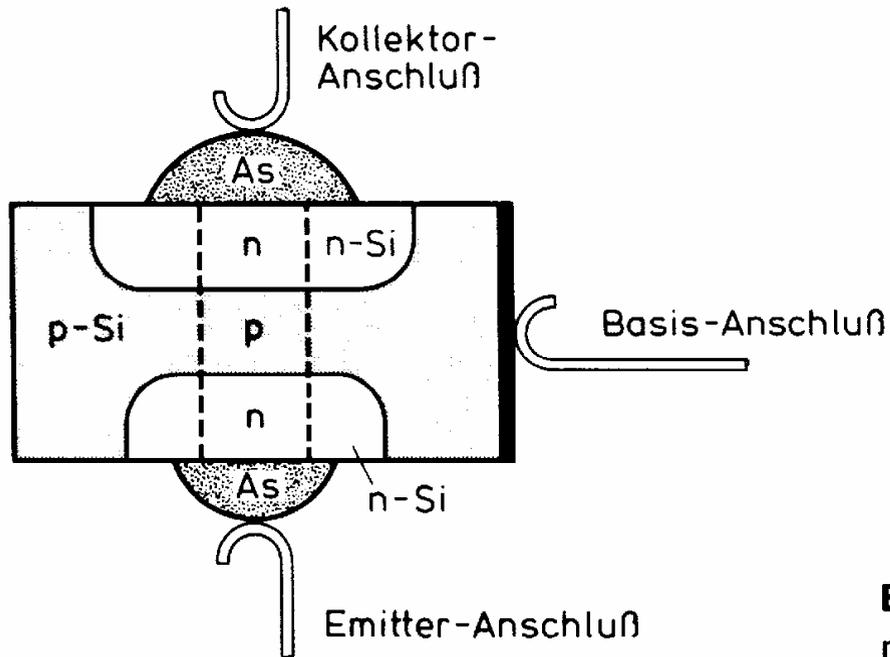
- **Bipolare Transistoren gibt es in den verschiedensten Bauformen und für unterschiedliche Einsatzbereiche.**



**Bild 4.2** Bauarten von Transistoren

## 8.3 Transistor (iii)

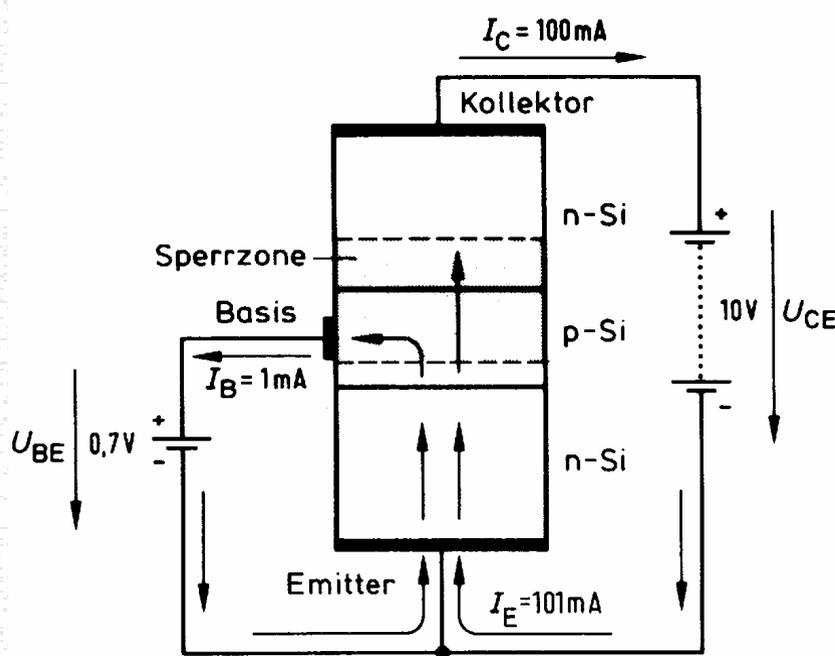
- Die ersten Bipolaren Transistoren wurden nach dem Legierungsverfahren hergestellt. (siehe Diode)



**Bild 4.3** Herstellung eines NPN-Transistors nach dem Legierungsverfahren

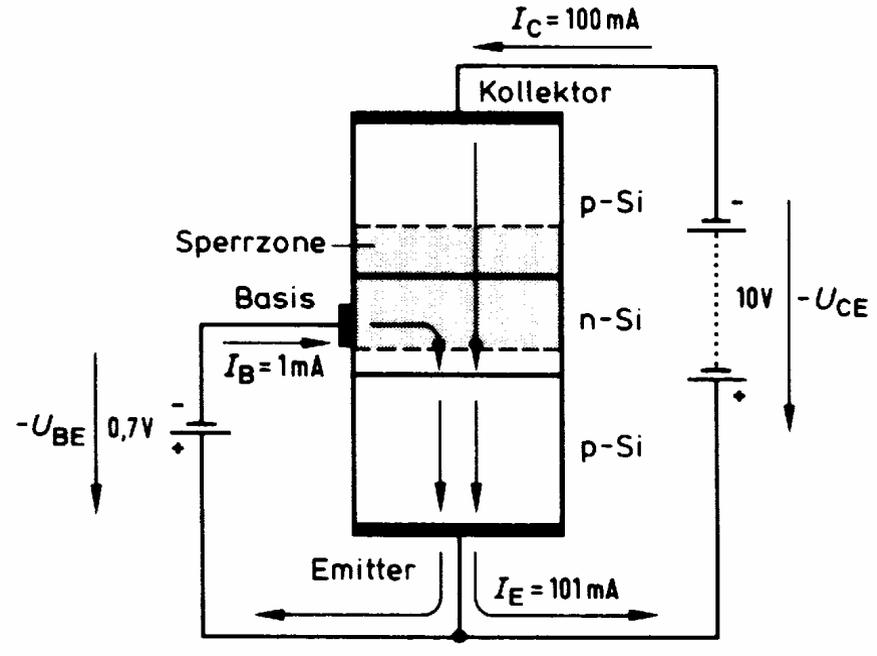
# 8.3 Transistor (I V)

## ■ Schematische Darstellung der Funktionsweise von Transistoren NPN, PNP



Schichtfolge npn

→ (Strompfeile geben die Richtung des Elektronenstromes an)

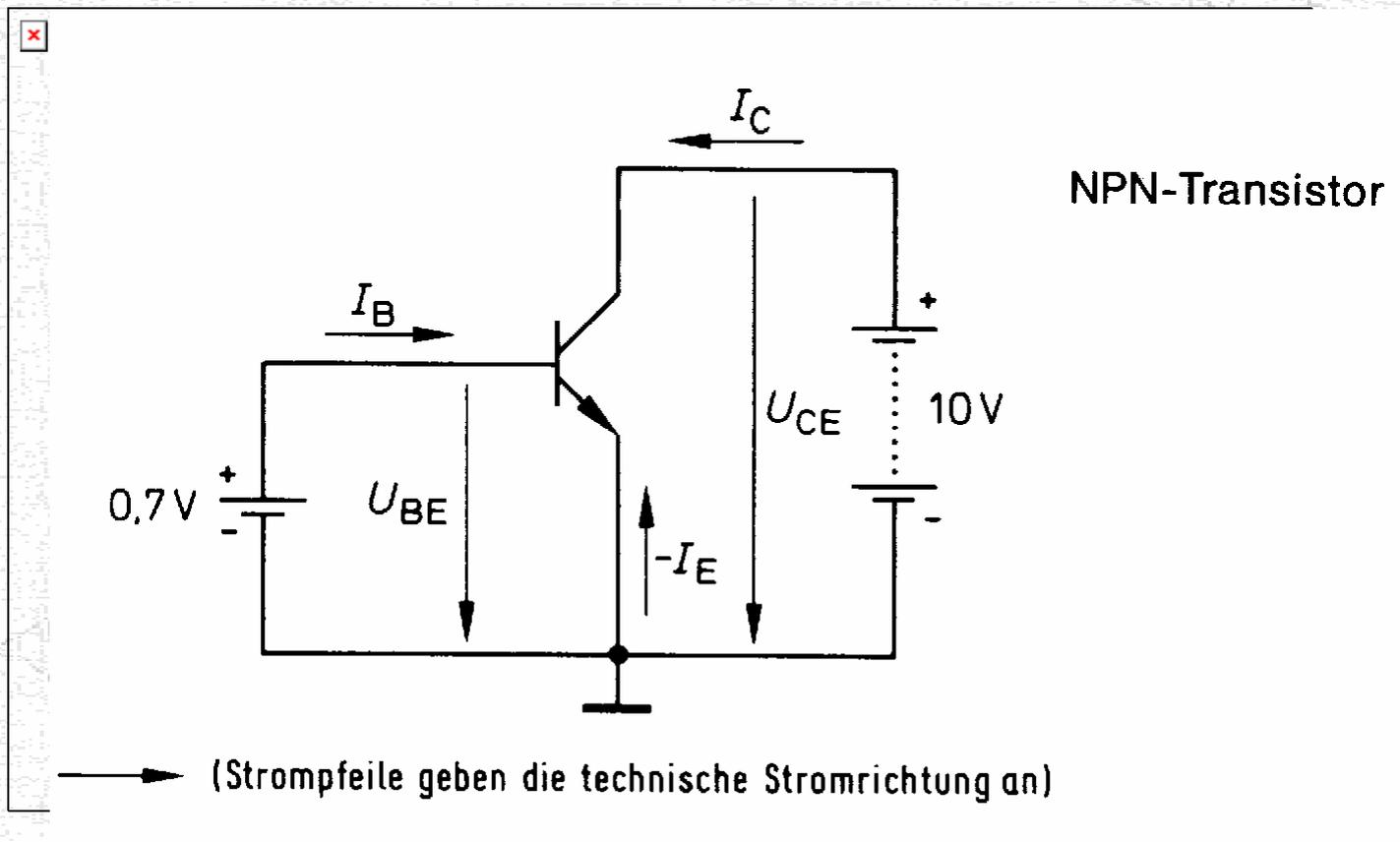


Schichtfolge pnp

→ (Strompfeile geben die Richtung des Elektronenstromes an)

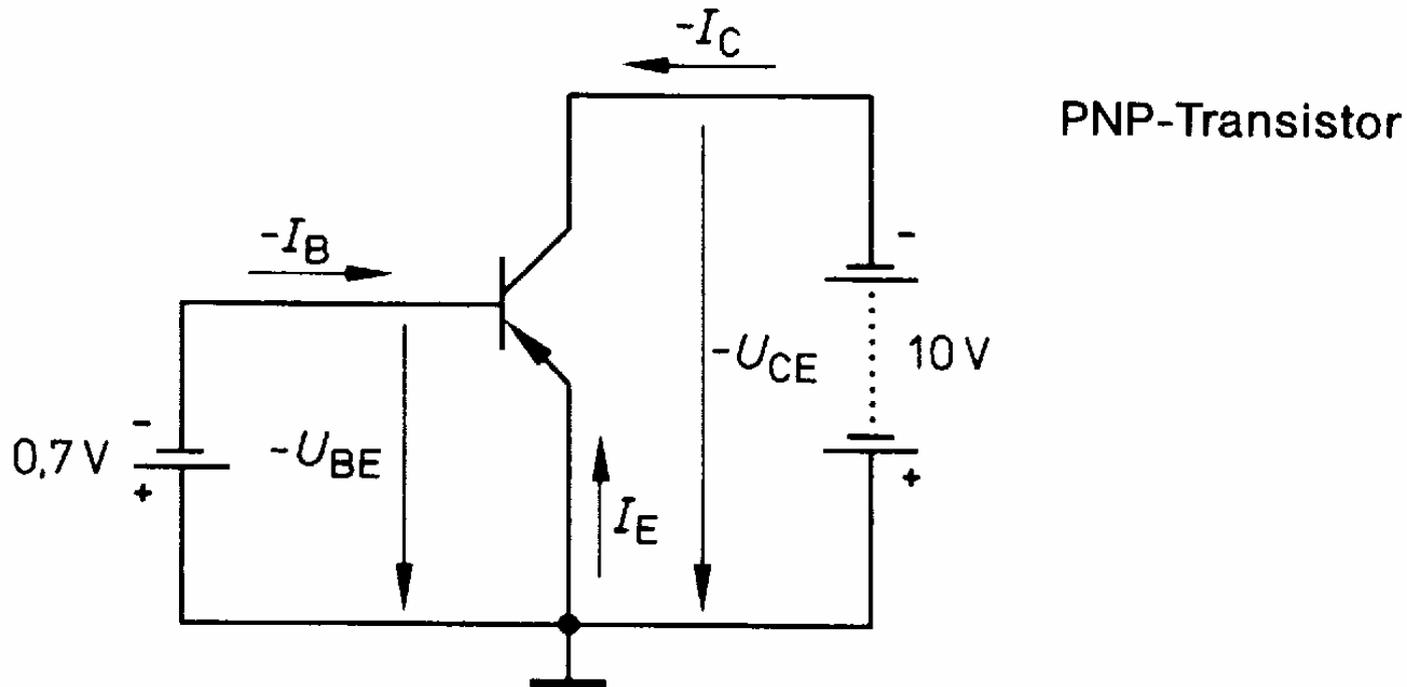
## 8.3 Transistor (V)

### ■ Betriebsspannungen und -ströme beim NPN-Transistor



## 8.3 Transistor (VI)

### ■ Betriebsspannungen und -ströme beim PNP-Transistor



→ (Strompfeile geben die technische Stromrichtung an)

## 8.3 Transistor (VI I)

- Grundsätzlich gilt: Bei Transistoren läßt sich durch einen kleinen Basisstrom ein viel größerer Kollektorstrom steuern.
- Diese Eigenschaft bezeichnet man als Stromverstärkung.
- Typische Werte für die Stromverstärkung liegen im Bereich zwischen 100 und 300.

dynamischen Stromverstärkung  $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$

Gleichstromverstärkung  $B = \frac{I_C}{I_B}$

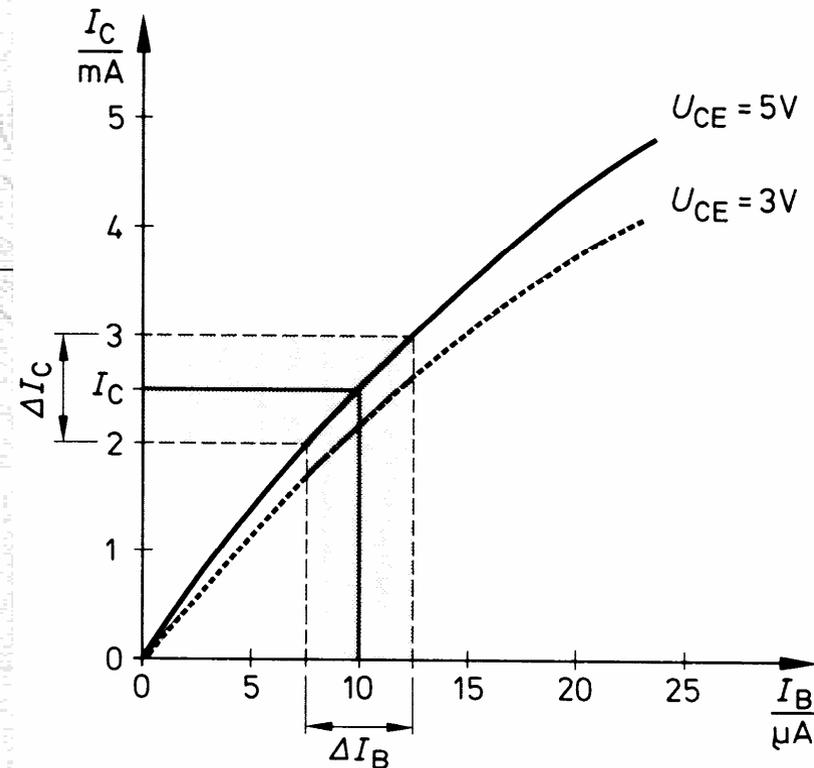


Bild 4.13 Stromverstärkungskennlinie

## 8.3 Transistor (VI II)

- Bei Feldeffekttransistoren (**FET's**) erfolgt die Steuerung des Stromflusses durch ein elektrisches Feld.
- Es wird zwischen den **Sperrschicht-FET's** und den **MOS-FET's** unterschieden (Metall-Oxide-Semiconductor)

