

# 1 Bauelemente der Elektronik



Bild 1-1: Elektronische Bauelemente in Elektroniksystemen

# 1 Bauelemente der Elektronik

- R: Widerstand
- L: Induktivität
- C: Kapazität
- K: Kopplungselement (Übertrager)
- T: Transmission Line (Leitung)
- D: Diode
- Q: Bipolar Transistor
- J: Sperrschicht FET
- M: MOSFET
- IC: Integrierte Schaltungen

# 1 Bauelemente der Elektronik

- Elektroniksysteme bestehen aus Schaltkreisprimitiven, den Bauelementen.
- Für die Systementwicklung unerlässlich sind Grundkenntnisse der wichtigsten passiven (R, L, C, K, T, D) und aktiven Bauelemente (Q, J, M, IC).
- Als Basiswissen gilt es Grundkenntnisse zu den technologischen Grundlagen, dem physikalischen Aufbau und die physikalische Wirkungsweise passiver und aktiver Bauelemente aufzubereiten.
- Von besonderer Bedeutung sind die Halbleiterbauelemente. Der Systementwickler denkt in Modellen. Zum Verständnis der Modelle müssen die physikalischen Grundlagen und die dabei enthaltenen Halbleitereffekte bekannt sein. Das Klemmenverhalten kann durch Kennlinien visualisiert werden. Zur Darstellung der verschiedenen Effekte von Halbleiterbauelementen werden Testbenches gebildet mit einer jeweils spezifischen Ansteuerung.
- Sämtliche Beispiele sind so aufbereitet, dass sie unmittelbar mit einem Elektronikanalyse und -Synthese - Tool wie z.B. NI Multisim verifiziert, veranschaulicht und vertieft werden können.

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen



Bild 1-2: Anforderungsmerkmale

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### 1.0.1 Temperaturbereich:

Elektronische Bauteile werden in unterschiedlichen Umgebungsbedingungen eingesetzt. Hinsichtlich des Temperaturbereichs sind folgende Anwendungsbereiche üblich:

Konsum-Bereich: 0°C bis 70°C

Industrieller Bereich: -25°C bis 85°C

Militärischer Bereich (MIL): -55°C bis 125°C

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### 1.0.2 Montagetechnik:

Bauelemente werden im Allgemeinen auf einem Träger (meist ist dies eine Leiterplatte) montiert. Man unterscheidet die bedrahtete und die oberflächenmontierte Aufbauweise.

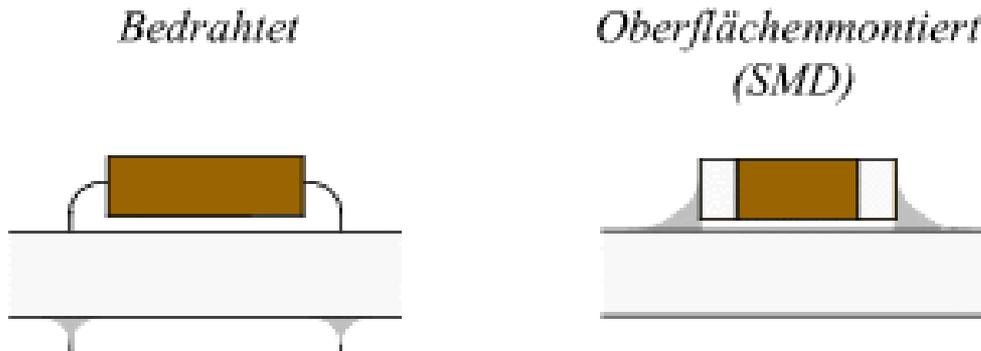


Bild 1-3: Bedrahtet montiertes und oberflächenmontiertes Bauelement  
(SMD: Surface Mounted Device)

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### 1.0.3 Beschreibung von Bauteilen:

Bauelemente sind die nicht weiter zerlegbaren Schaltkreisprimitive eines Elektroniksystems. Zur rechnergestützten Beschreibung und Charakterisierung sind einem Bauelement folgende Objekte zugeordnet:

- Part,
- Symbol – Schaltkreissymbol für die Schaltplaneingabe,
- Package – Gehäuse des Bauteils,
- Footprint – zweidimensionale Abbildung des Gehäuses gemäß Einbau auf der Leiterplatte,
- Model – elektrisches Modell,
- Mapping – Abbildung der Symbolschnittstelle auf die Gehäuseschnittstelle.

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### 1.0.3 Beschreibung von Bauteilen:

- Part :

- Diode 1N4148

- [Datenblatt](#)

- Logistische Attribute: Part-Identifizier, Richt-Preis, Lieferanten, Verfügbarkeit, ...

- Elektrische Attribute: Maximaler Strom, Temperaturbereich, ...

- Die Part-Beschreibung referenziert auf

- Symbol
    - Package
    - Footprint

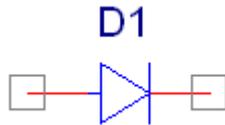
# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

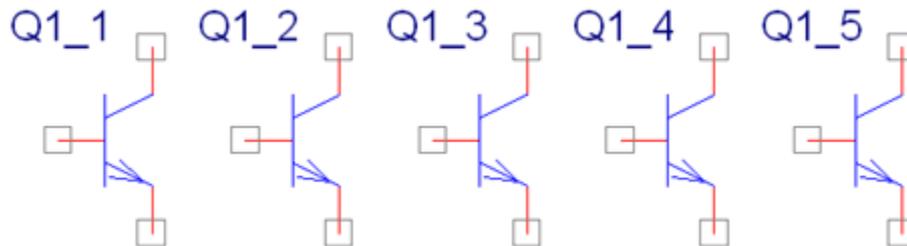
### 1.0.3 Beschreibung von Bauteilen:

- Symbol – Schaltkreissymbol für die Schaltplaneingabe,

#### Diode 1N4148



#### Transistorarray HFA3127



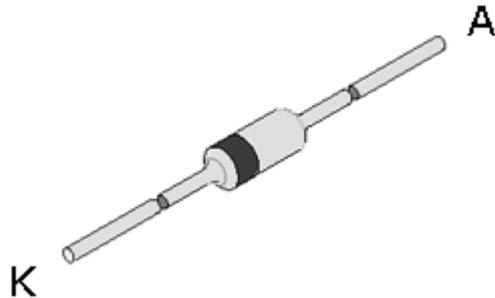
# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

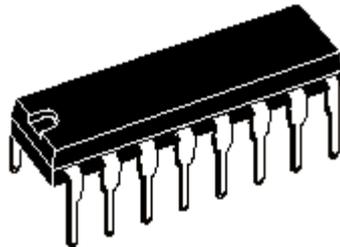
### 1.0.3 Beschreibung von Bauteilen:

- Package – Gehäuse des Bauteils,

#### Diode 1N4148



#### Transistorarray HFA3127



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

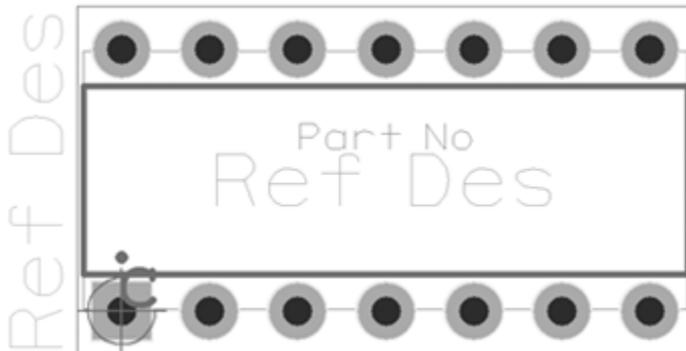
### 1.0.3 Beschreibung von Bauteilen:

- Footprint – zweidimensionale Abbildung des Gehäuses gemäß Einbau auf der Leiterplatte,

#### Diode 1N4148



#### Transistorarray HFA3127



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### 1.0.3 Beschreibung von Bauteilen:

- Model – elektrisches Modell,

#### Diode 1N4148

```
.model D1N4148 D ( Is=2.682n N=1.836 Rs=.5664 + Ikf=44.17m Xti=3 Eg=1.11 + Cjo=4p  
M=.3333 Vj=.5 + Fc=.5 Isr=1.565n Nr=2 + Bv=100 Ibv=100u Tt=11.54n )
```

#### Transistorarray HFA3127

```
.model NUHFARRAY NPN + ( IS= 1.840E-16 XTI= 3.000E+00 EG= 1.110E+00 + VAF=  
7.200E+01 VAR= 4.500E+00 BF= 1.036E+02 + ISE= 1.686E-19 NE= 1.400E+00 IKF=  
5.400E-02 + XTB= 0.000E+00 BR= 1.000E+01 ISC= 1.605E-14 + NC= 1.800E+00 IKR=  
5.400E-02 RC= 1.140E+01 + CJC= 3.980E-13 MJC= 2.400E-01 VJC= 9.700E-01 + FC=  
5.000E-01 CJE= 2.400E-13 MJE= 5.100E-01 + VJE= 8.690E-01 TR= 4.000E-09 TF=  
10.51E-12 + ITF= 3.500E-02 XTF= 2.300E+00 VTF= 3.500E+00 + PTF= 0.000E+00  
XCJC= 9.000E-01 CJS= 1.150E-13 + VJS= 7.500E-01 MJS= 0.000E+00 RE= 1.848E+00  
+ RB= 5.007E+01 RBM= 1.974E+00 KF= 0.000E+00 + AF= 1.000E+00 )
```

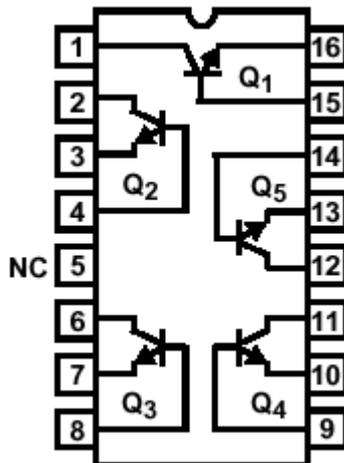
# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### 1.0.3 Beschreibung von Bauteilen:

- Mapping - Abbildung der Symbolschnittstelle auf die Gehäuseschnittstelle

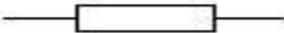
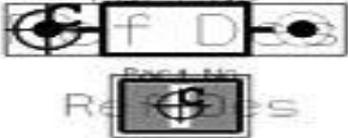
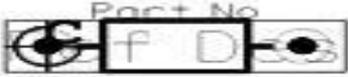
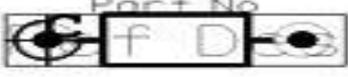
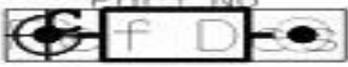
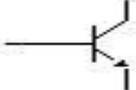
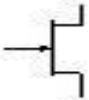
### Transistorarray HFA3127



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### 1.0.4 Symbole, Gehäusebauformen und 2D-Abbildungen (Footprints)

Schaltkreiselement	Symbol	Package	Footprint
R ... Widerstand			
C ... Kondensator			
L ... Induktivität			
D ... Diode			
Q ... Bipolar-transistor			
J ... FET			
M ... MOSFET			

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### 1.0.5 Wertangaben und Skalierungsfaktoren

Wert	Skalierungsfaktor	
m	10E-3	= $10^{-3}$
$\mu$	10E-6	= $10^{-6}$
n	10E-9	= $10^{-9}$
p	10E-12	= $10^{-12}$
f	10E-15	= $10^{-15}$
K	10E3	= $10^3$
M(eg)	10E6	= $10^6$
G	10E9	= $10^9$
T	10E12	= $10^{12}$

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### 1.0.6 Gehäuse :

Zumeist werden für Bauteile Standard-Gehäuse verwendet.

Man unterscheidet Plastik-Gehäuse, Metall-Gehäuse und Keramik-Gehäuse.

Das Gehäuse hat folgende Aufgaben zu erfüllen

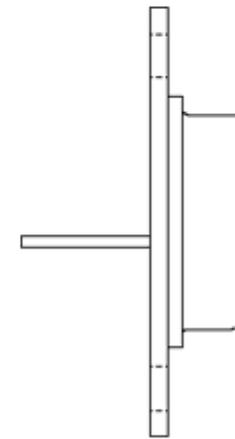
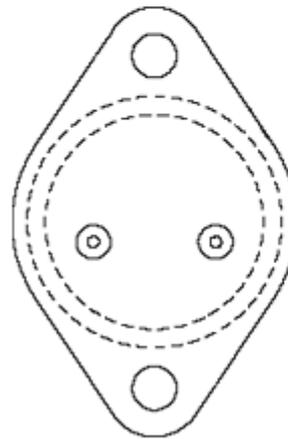
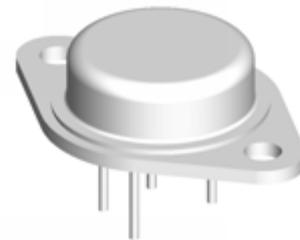
- Schutz des inneren Bauteils vor Umwelteinflüssen
- Verbindung der Bauteilanschlüsse mit Anschlussleitungen
- Wärmeabfuhr, ausgedrückt durch den Wärmeübergangs- bzw. thermischen Widerstand  $R_{thJC}$  .

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### 1.0.6 Gehäuse :

#### TO – 3 (bedrahtet)

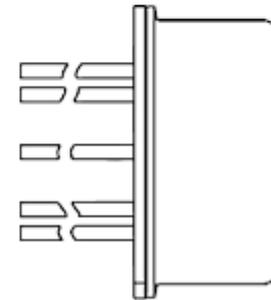
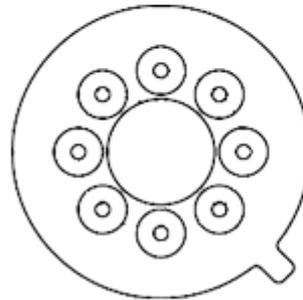
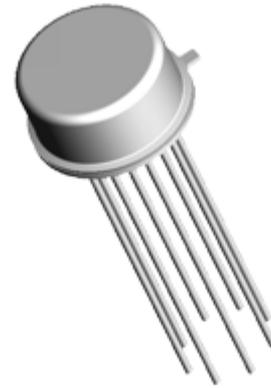


# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### 1.0.6 Gehäuse :

#### TO – 5 (bedrahtet)

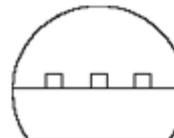
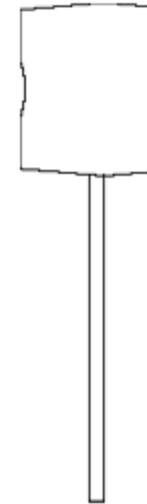
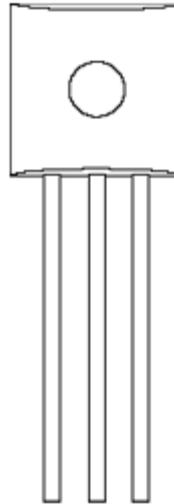
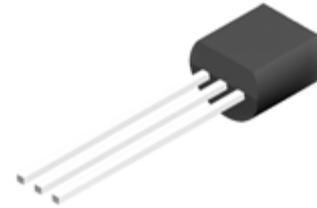


# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### 1.0.6 Gehäuse :

#### TO – 92 (bedrahtet)

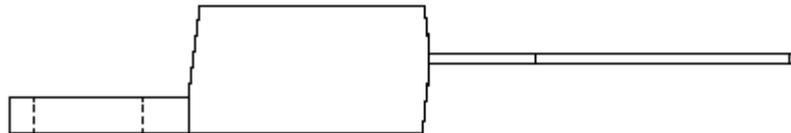
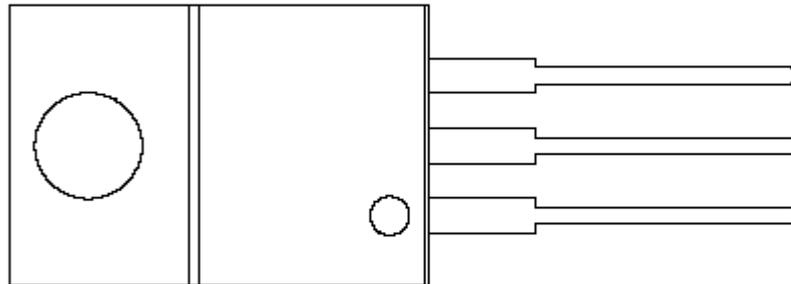
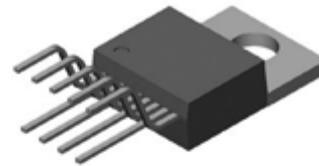


# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### 1.0.6 Gehäuse :

TO – 220 (bedrahtet)

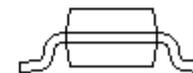
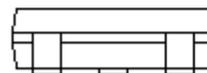
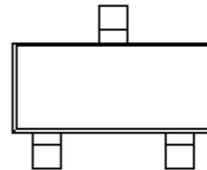
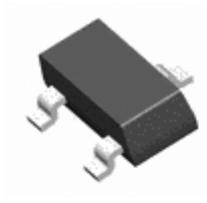


# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### 1.0.6 Gehäuse :

#### SOT – 23 (SMD)



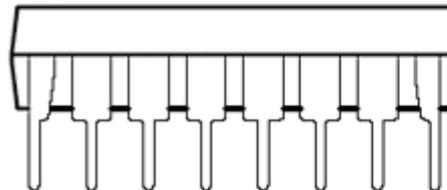
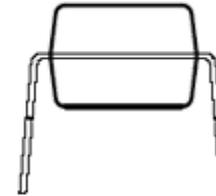
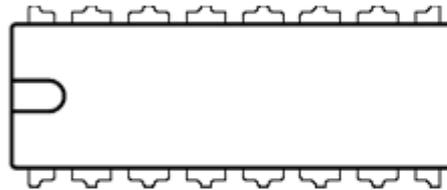
# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### 1.0.6 Gehäuse :

**DIP (bedrahtet)**

Dual Inline Package

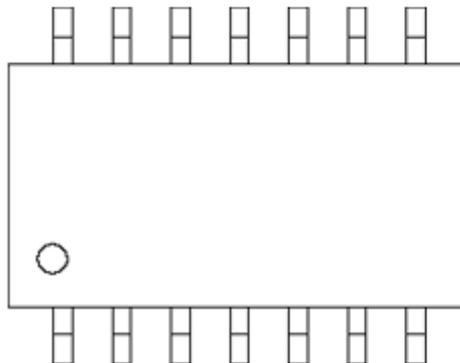
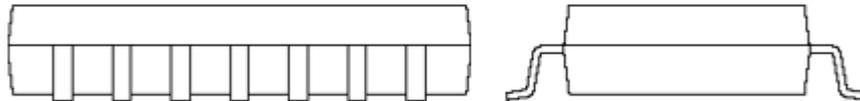


# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### 1.0.6 Gehäuse :

**SOP**  
**(Small Outline Package)**

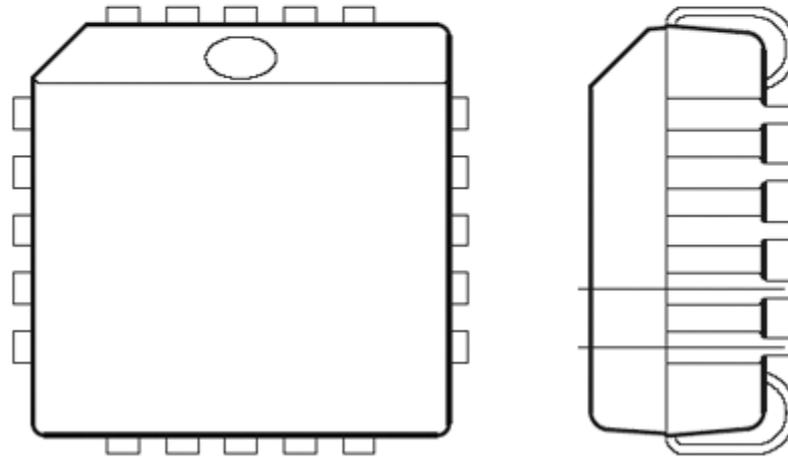


# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### 1.0.6 Gehäuse :

**PLCC**  
**(Plastic Leaded Chip Carrier)**



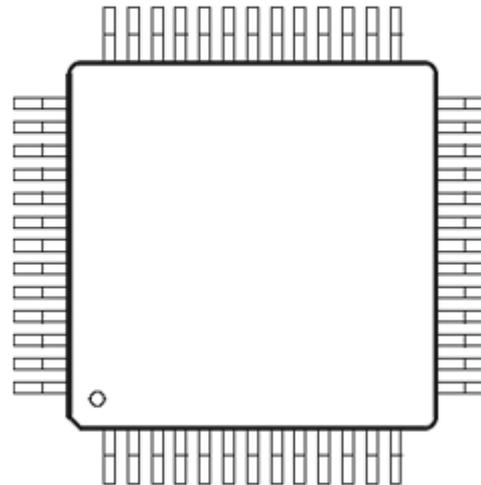
# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### 1.0.6 Gehäuse :

TQFP

(Thin Quad Flat Pack)

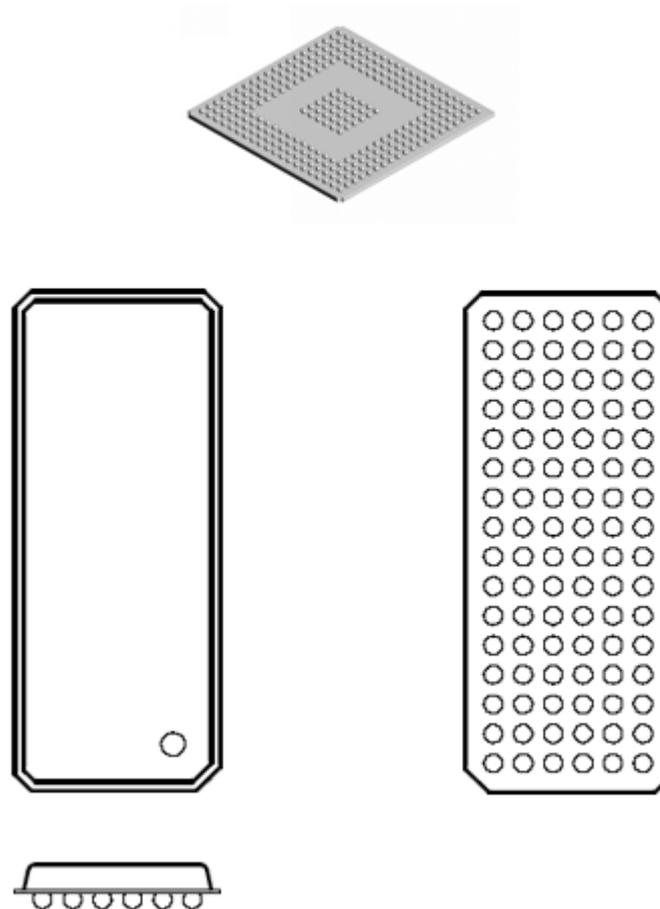


# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### 1.0.6 Gehäuse :

#### BGA (Ball Grid Array)



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

- **1.0.7 Zuverlässigkeit :**

Die Qualität bzw. Zuverlässigkeit eines Bauteils ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit, dass spezifizierte Eigenschaften eingehalten werden.

Auf keinen Fall dürfen im Betrieb vorgegebene Grenzwerte überschritten werden. Zuverlässigkeit ist immer Qualität auf Zeit unter spezifizierten Betriebsbedingungen.

Ein Ausfall eines Bauteils liegt vor, wenn spezifizierte Eigenschaften und Leistungsdaten nicht mehr eingehalten werden.

Dabei unterscheidet man zwischen Änderungsausfällen (Driftausfälle) und Totalausfällen.

Eine wichtige Kenngröße ist die Ausfallrate  $\lambda$  eines Bauteil, sie wird in **FIT** (failure in time) angegeben; **1 FIT =  $10^{-9}/h$**

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

### • 1.0.7 Zuverlässigkeit :

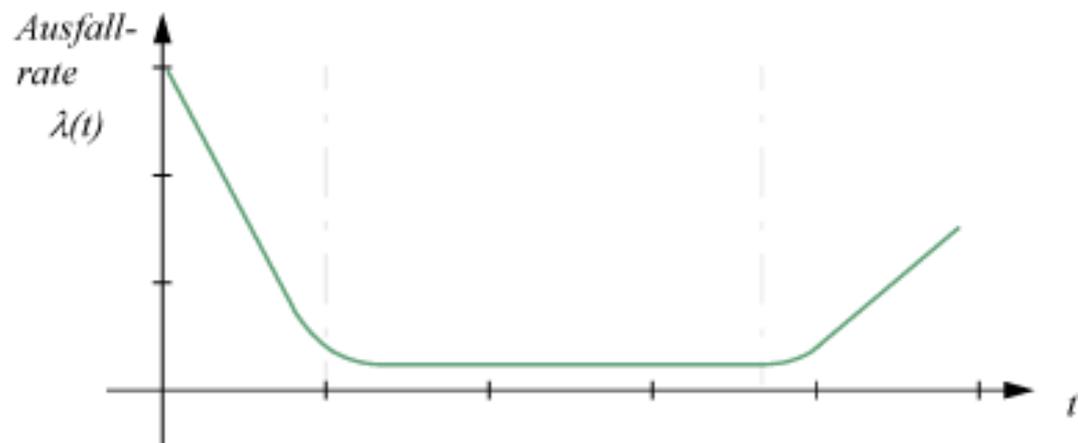
Die typische Ausfallrate eines Bauteils zeigt Bild 1-4, sie ist über die Betriebsdauer nicht konstant. Man unterscheidet:

*Früh-  
ausfälle*

*Zufallsausfälle*

*Verschleiß-  
ausfälle*

Bild 1-4



- Frühausfälle
- Zufallsausfälle
- Verschleißausfälle

Frühausfälle können durch Voralterung (burn in) unter verschärften Testzyklen und unter Stressbedingungen (erhöhte Temperatur) über einen Zeitraum von beispielsweise 168 Stunden erkannt werden.

Gegen Ende der Betriebszeit nehmen Verschleißausfälle zu (z.B. undichte Gehäuse, Korrosion, Materialversprödung).

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

- **1.0.7 Zuverlässigkeit :**

- Mittlere Ausfallrate

Der Kehrwert der mittleren Ausfallrate MTBF (mean time between failure) ist die durchschnittliche "Lebensdauer" eines Bauteils bis zum ersten Ausfall. Grundlage dafür ist die FIT-Rate  $\lambda$  unter Zugrundelegung von Zufallsausfällen.

Bei einer Baugruppe mit  $n_1$  Bauteilen mit der Ausfallrate  $\lambda_1$ ,  $n_2$  Bauteilen mit  $\lambda_2$  usw. erhält man für die mittlere Ausfallrate

$$\lambda_{\text{ges}} = n_1 \cdot \lambda_1 + n_2 \cdot \lambda_2 + \dots + n_n \cdot \lambda_n;$$

Ergibt sich eine Gesamtausfallrate von z.B. 200.000 FIT, so beträgt die durchschnittliche "Lebensdauer" bis zum ersten Ausfall 5000 Stunden.

Berechnung: 
$$\frac{1}{200.000 \text{ FIT}} = \frac{1}{200.000 \cdot \frac{10^{-9}}{h}} = \frac{10^{-9} h}{200.000} = \frac{1.000.000.000 h}{20.000} = 5.000 h$$

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

- **1.0.7 Zuverlässigkeit :**

- Mittlere Ausfallrate / Beispiele typischer Ausfallrate  $\lambda$  von Bauteilen

Bauteil	Ausfallrate $\lambda$ in $10^{-9}/h$
Kohleschichtwiderstand	1
Drahtwiderstand	5
Keramikkondensator	0,1
Al-Elektrolytkondensator	10
Transistoren	1
Integrierte Bausteine	10 ... 30
	.
	.
	.
Stechkontakt	1
Klemmkontakt	2
Lötverbindung	0,1
	.
	.
	.
Glühlampe	$5 \cdot 10^3$
Glimmlampe	$5 \cdot 10^2$

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

- **1.0.7 Zuverlässigkeit :**

- Mittlere Ausfallrate

Die beispielhaft angenommenen Ausfallraten von Bauteilen können erheblich streuen.

Sie hängen nicht zuletzt auch ab von:

- angewendeten Fertigungsverfahren,
- der Verarbeitung bei der Montage,
- klimatischen Verhältnissen und
- besonderen Stressbedingungen im Einsatz.

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

- **1.0.8 Normreihen ( E-Reihen) :**

Für die Wertangaben bei elektrischen Bauteilen werden sogenannte Normreihen verwendet. Bei der Normreihe E24 liegen 24 Werte pro Dekade vor. Der einzelne Wert berechnet sich gemäß:

$$\text{Wert} = 10^{\frac{n}{24}} \quad n = 0 \text{ bis } 23$$

Bis Reihe E24 wird auf 2 signifikante Stellen, ab Reihe E48 auf 3 Stellen gerundet.

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

- **1.0.8 Normreihen ( E-Reihen) :**

Die angegebenen Werte sind toleranzbehaftet. Im Allgemeinen ist die Toleranz um so kleiner, je mehr Werte pro Dekade verfügbar sind.

<b>Normreihe</b>	<b>typische Toleranz</b>
E6	$\pm 20\%$
E12	$\pm 10\%$
E24	$\pm 5\%$
E48	$\pm 2\%$
E96	$\pm 1\%$
E192	$\pm 0,5\%$

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

- 1.0.8 Normreihen ( E-Reihen ) :

Beispiel: E 6, E 12 und E 24

E 6 ( $\pm 20\%$ )	1,0			1,5			2,2			3,3			4,7			6,8								
E 12 ( $\pm 10\%$ )	1,0	1,2		1,5	1,8		2,2	2,7		3,3	3,9		4,7	5,6		6,8	8,2							
E 24 ( $\pm 5\%$ )	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1

Bild 2.5 IEC-Widerstands-Normreihen E 6, E 12 und E 24

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

- 1.0.8 Normreihen ( E-Reihen ) :

### Toleranzfelder am Beispiel der Reihe E 6

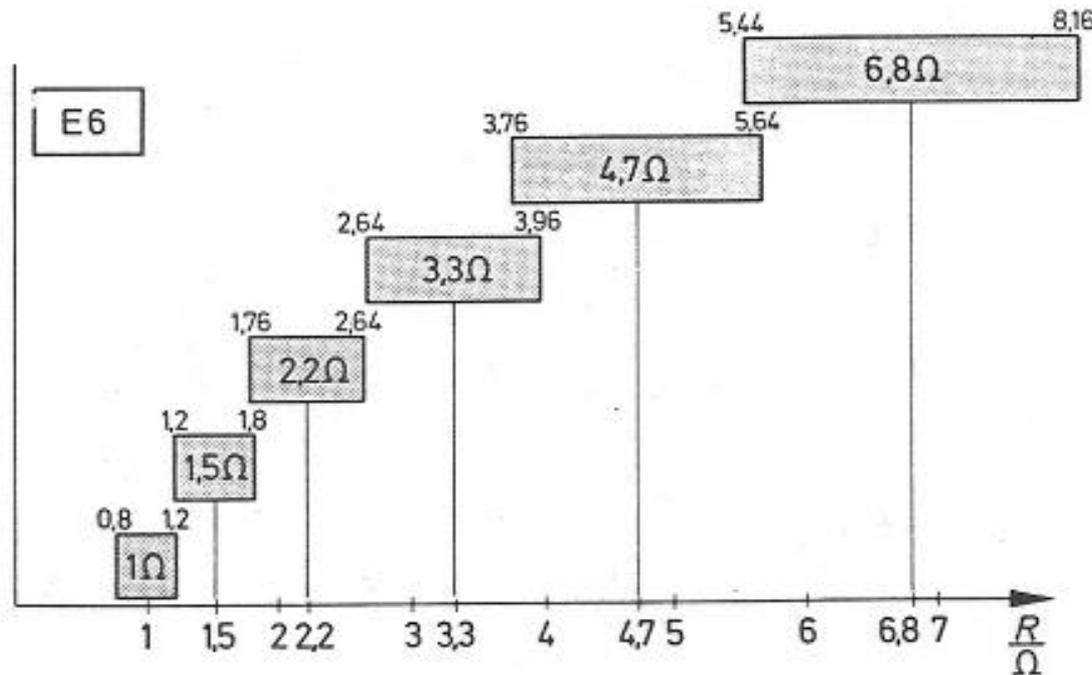


Bild 2.6 Toleranzfelder einiger Nennwiderstandswerte der Normreihe E 6

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

- **1.0.9 Logarithmische Maßangaben :**

Vielfältig wird für eine Verhältniszahl das logarithmische Maß in dB, bei relativen Angaben genauer dBr, angegeben.

### **Spannungsverhältnisse:**

Bei Spannungsverhältnissen  $U_2/U_1$  ergibt sich das logarithmische Maß in dBr aus:

$$\frac{U_2}{U_1} \text{ in dBr} = 20 \cdot \log\left(\frac{U_2}{U_1}\right)$$

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

- 1.0.9 Logarithmische Maßangaben :

### **Stromverhältnisse:**

Bei Stromverhältnissen  $I_2/I_1$  ergibt sich das logarithmische Maß in dBr aus:

$$\frac{I_2}{I_1} \text{ in dBr} = 20 \cdot \log\left(\frac{I_2}{I_1}\right)$$

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

- 1.0.9 Logarithmische Maßangaben :

### Leistungsverhältnisse:

Bei Leistungsverhältnissen  $P_2/P_1$  ergibt sich das logarithmische Maß in dBr aus:

$$\frac{P_2}{P_1} \text{ in dBr} = 10 \cdot \log \left( \frac{P_2}{P_1} \right)$$

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

- 1.0.9 Logarithmische Maßangaben :

**Wir unterscheiden relative Pegel, wie eben gezeigt, die nachfolgende Tabelle gibt Beispiele:**

<b>U2/U1</b>	<b>U2/U1 in dBr</b>
0,1	-20
1	0
10	20
100	40
1000	60
10000	80
100000	100

**und absolute Pegel.**

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.0 Grundlegendes zu elektronischen Bauelementen

- 1.0.9 Logarithmische Maßangaben / absolute Pegel (dBa):

Die absoluten Pegel basieren auf  $P_0 = 1\text{mW}$  an  $R_0 = 600\ \Omega$ :

Daraus ergeben sich als Bezugswerte für den

- Leistungspegel  $0\ \text{dBm} \leftrightarrow 1\ \text{mW}$  ,
- Spannungspegel  $0\ \text{dBu} \leftrightarrow 775\ \text{mV}$  und
- Stromspegel  $0\ \text{dBa} \leftrightarrow 1,29\ \text{mA}$  .

... Beispiele

.... Pegeldiagramm

# Vorlesung - Analogelektronik



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### Passiv Bauelemente

#### Widerstand R

- Draht
- Kohleschicht
- Metallschicht
- Metallglasur
- NTC
- PTC
- VDR
- Sensor-  
Widerstände

#### Kondensator C

- Kunststoffolie
- Metallpapier
- Aluminium-  
Elektrolyt
- Tantal-Elektrolyt
- Keramik

#### Spule L

- Luftspule
- Ferritkern
- Blechkern

#### Diode D

- Schaltdiode
- Schottkydiode
- Gleichrichter-  
Diode
- Schottky-  
Leistungsdiode
- Z-Diode
- Diac
- Photodiode
- Kapazitätsdiode
- pin-Diode
- Step-Recovery-  
Diode
- Tunnelodiode
- Backwarddiode

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

- **Grundlegendes:**

Der elektrische Widerstand besitzt die Einheit **Ohm** welche durch den griechischen Buchstaben  **$\Omega$**  abgekürzt werden kann.

Ein Widerstand hat genau dann den Wert **1 Ohm**, wenn ein durch ihn fließender Strom von **1 Ampere** einen Spannungsabfall von **1 Volt** hervorruft.

Benannt wird die Maßeinheit des elektrischen Widerstandes nach

### **Georg Simon Ohm**

\* 16. März 1789 in Erlangen

† 6. Juli 1854 in München



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

- **Grundlegendes:**

Georg Simon Ohm war:

- 1817 Lehrer für Mathematik und Physik an der Jesuiten-Schule in Köln
- 1833 Professor für Physik am "Königlich-Bayerischen Polytechnikum,, in Nürnberg
- 1849 Professor für Physik und Mathematik an der Universität München

Georg Simon Ohm hat zahlreiche Schriften veröffentlicht.

Die wichtigste war ein Buch mit dem Titel ***“Die galvanische Kette“***, *mathematisch bearbeitet*.

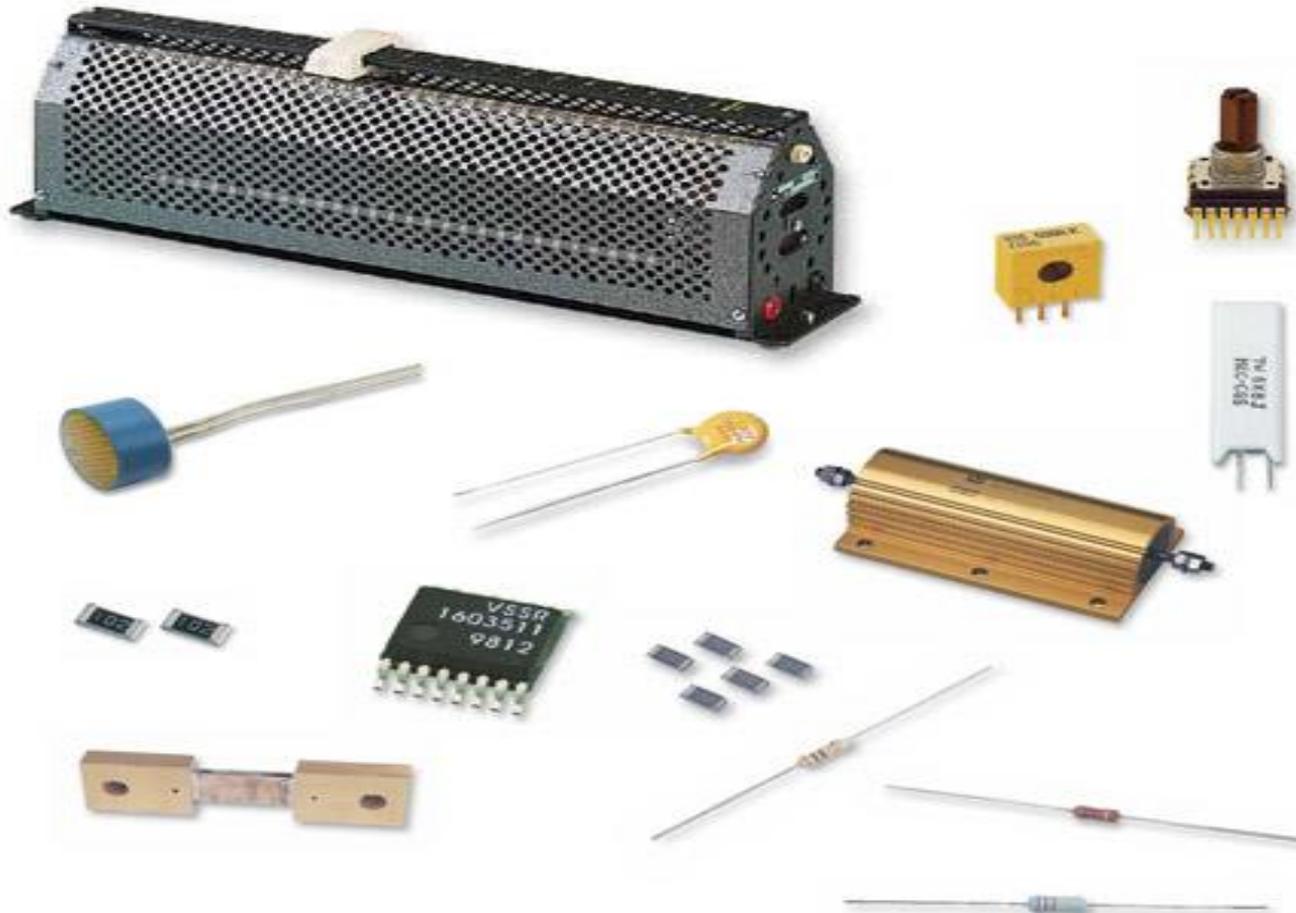
1893 wird durch den Elektrischen Welt-Kongreß der Name Ohm ( $\Omega$ ) als internationale Bezeichnung für den elektrischen Widerstand festgelegt.

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

- **Grundlegendes:** Bauformen von Widerständen



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

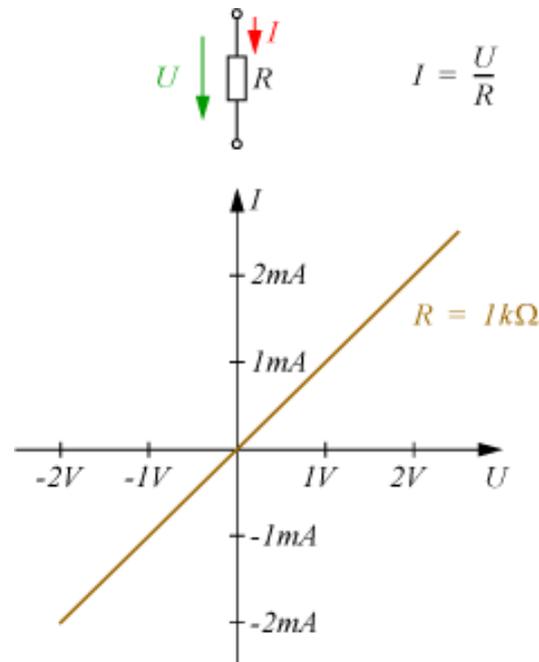
### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

- **Grundlegendes:**

Ein ohmscher Widerstand verursacht einen Stromfluss  $I$  bei einer angelegten Spannung  $U$ .

Das ohmsche Gesetz:

$$R = \frac{U}{I}$$



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

- **Grundlegendes:**

Ohmsche Widerstände sind häufig verwendete Bauteile, die durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet sind:

- Bauform mit Anschlüssen
- Widerstandswert (Wertebereich von  $m\Omega$  bis  $G\Omega$ )
- Toleranz des Wertebereichs
- Temperaturkoeffizient
- Belastbarkeit in W (zulässige Verlustleistung)
- Parasitäre Elemente (Eigenkapazität, Eigeninduktivität)
- Rauschverhalten

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

- **Grundlegendes:**

Grundsätzlich unterscheidet man:

- Festwiderstände (oder Festkörperwiderstände)
- Veränderliche Widerstände (u.a. Potentiometer)
- Sensorwiderstände

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

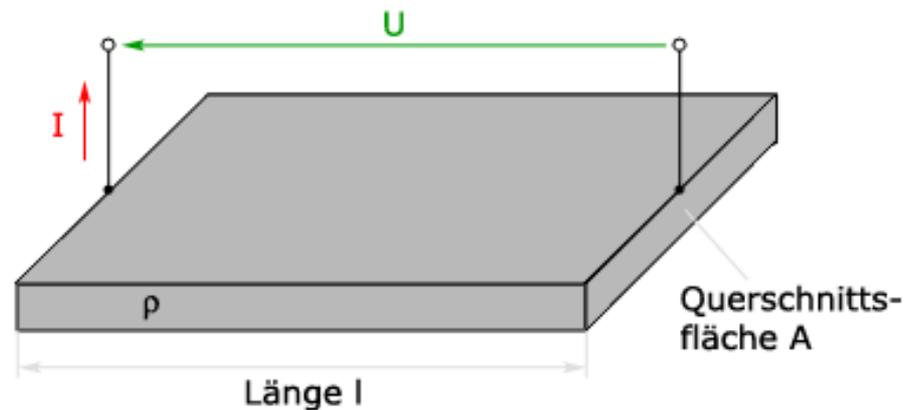
#### 1.1.1.1 Grundlegende Eigenschaften von ohmschen Widerständen

- **Physikalisches Verhalten:**

Ein ohmscher Widerstand besteht aus einer leitenden Schicht mit dem spezifischen Widerstand  $\rho$ .

Der Widerstand ergibt sich aus:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.1 Grundlegende Eigenschaften von ohmschen Widerständen

- **Physikalisches Verhalten:**

Der spezifische Widerstand  $\rho$  für ausgewählte Materialien:

<b>Material</b>	<b>spezifischer Widerstand <math>\rho</math> in <math>\Omega \cdot m</math></b>
Kupfer	$1,75 \cdot 10^{-8}$
Silber	$1,60 \cdot 10^{-8}$
Gold	$2,19 \cdot 10^{-8}$
Aluminium	$2,82 \cdot 10^{-8}$
Wolfram	$5,49 \cdot 10^{-8}$
Eisen	$12,98 \cdot 10^{-8}$
Zinn	$12,05 \cdot 10^{-8}$
Kohle	$40,00 \cdot 10^{-6}$

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.1 Grundlegende Eigenschaften von ohmschen Widerständen

- **Physikalisches Verhalten:**

Thermische Bewegungen der Elektronen:

Die ortsfesten Atome des dem ohmschen Widerstand zugrundeliegenden Leiters weisen im Kristallverband frei bewegliche Elektronen auf der äußeren Elektronenschale auf ("frei bewegliches Elektronengas").

Die freien Elektronen können zum Ladungstransport beitragen.

Ohne Anlegen einer äußeren Spannung liegt eine ungerichtete thermische Bewegung der freien Elektronen vor.

Beim Anlegen einer Spannung weisen die Elektronen eine gerichtete Bewegung auf. Sie werden dabei aber ständig abgelenkt.

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.1 Grundlegende Eigenschaften von ohmschen Widerständen

- **Temperaturabhängigkeit:**

Bei steigender Temperatur erhöht sich die mittlere Geschwindigkeit der freien Elektronen ("Elektronengas").

Damit verringert sich die Zeit zwischen den Zusammenstößen, es ergeben sich mehr Kollisionen im gleichen Zeitraum.

Es reduziert sich somit die Beweglichkeit der Ladungsträger.

Als Folge davon steigt der elektrische Widerstand.

Es gilt näherungsweise: TK ... Temperaturkoeffizient

$$R_T \approx R_{20} \cdot (1 + TK \cdot \Delta T) \quad \text{mit} \quad \Delta T = T - 20' C$$

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

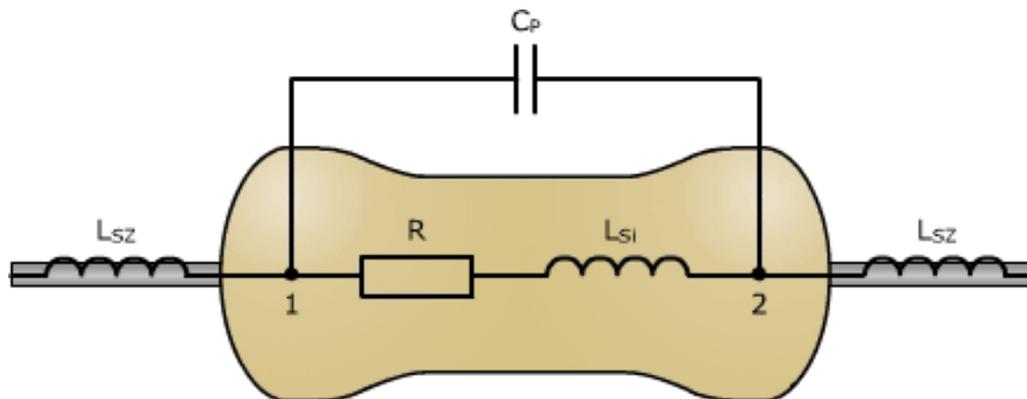
### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.1 Grundlegende Eigenschaften von ohmschen Widerständen

- **Parasitäre Einflüsse:**

Im inneren des Widerstandes ergibt sich aufgrund der zurück zu legenden Weglängen für den Strom  $I$  eine innere Induktivität  $L_{Si}$ .

Der Aufbau verursacht zwischen den Anschlussklemmen eine Kapazität  $C_p$ . Hinzu kommt noch eine äußere Induktivität  $L_{Sz}$  der Zuführungsleitungen.



# 1 Bauelemente der Elektronik

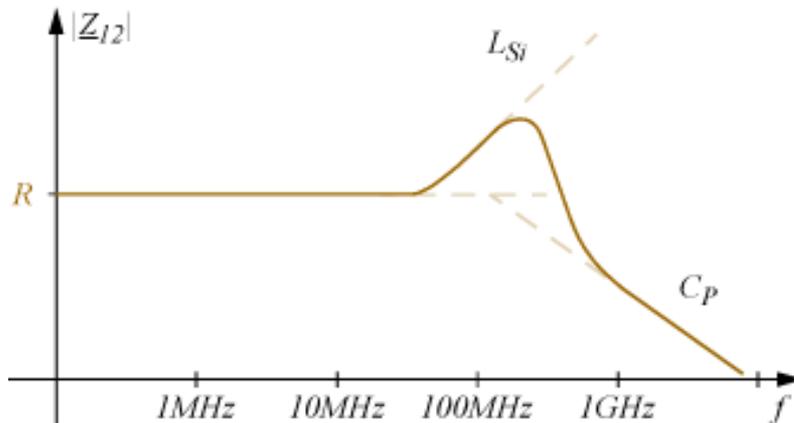
## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.1 Grundlegende Eigenschaften von ohmschen Widerständen

- **Parasitäre Einflüsse:**

Das folgende Bild zeigt den typischen Impedanzverlauf  $|Z_{12}|$  in Abhängigkeit von der Frequenz.



Bedrahtete Widerstände sind bis ca. 100MHz zu verwenden. Der Induktivitätsbelag eines dünnen Drahtes beträgt typisch ca. 1nH/mm. Oberhalb 100MHz sollten SMD-Widerstände verwendet werden, die geringere parasitäre Eigenschaften aufweisen.

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.1 Grundlegende Eigenschaften von ohmschen Widerständen

- **Rauschen:**

Ein elektrischer Widerstand besitzt eine innere Rauschquelle.  
Ursache ist die Wärmebewegung der Elektronen.

Die spektrale Rauschleistungsdichte  $dP_r/df$  ist folgendermaßen definiert:

$$\frac{dP_r}{df} = k \cdot T$$

Boltzmannkonstante **k** ( $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{Ws/K}$ )

Mit der maximal abgebbaren Rauschleistung erhält man:

$$\sqrt{U_r^2} = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot \Delta f}$$

# 1 Bauelemente der Elektronik

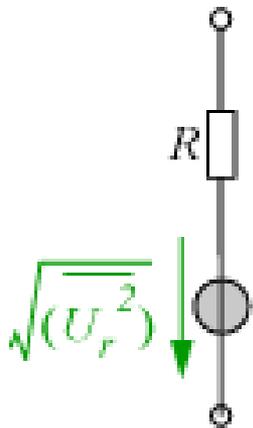
## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

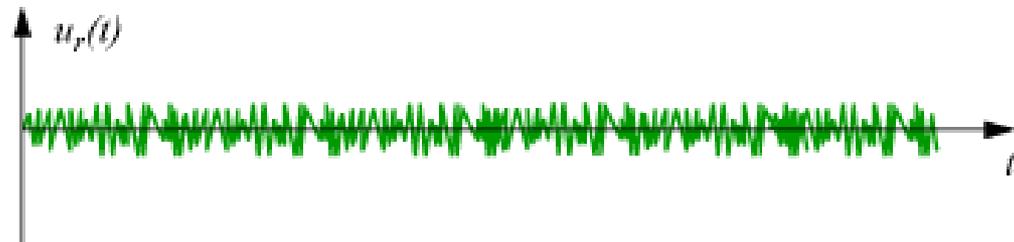
#### 1.1.1.1 Grundlegende Eigenschaften von ohmschen Widerständen

- **Rauschen:**

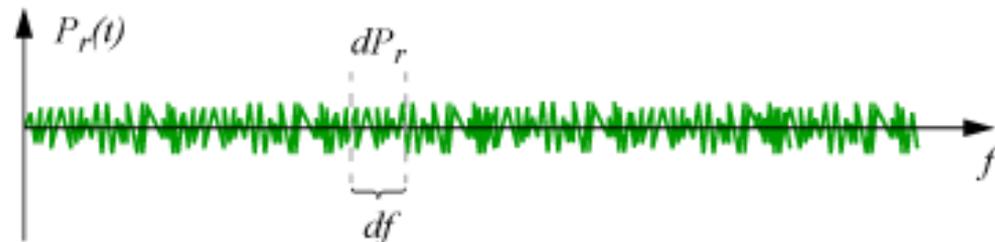
Ein  $1\text{k}\Omega$  Widerstand liefert demnach bei  $T = 300\text{K}$  ( $27^\circ\text{C}$ ) innerhalb der Bandbreite  $\Delta f = 1\text{MHz}$  eine mittlere Rauschspannung von  $\sqrt{U_r^2} = 4\mu\text{V}$ .



Widerstand mit Rauschquelle



Messbare Rauschspannung  $U_r(t)$  (Oszilloskop)



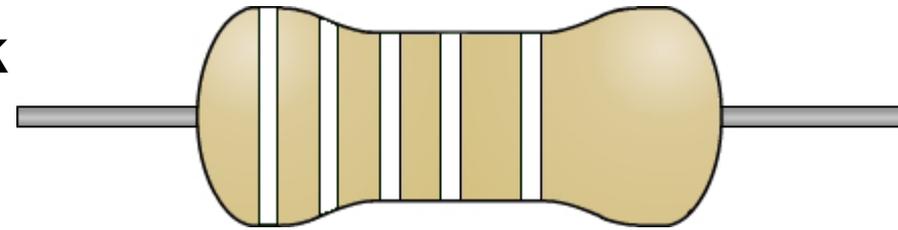
Rauschleistung  $P_r(t)$  (Spektrumanalysator)

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.1 Grundlegende Eigenschaften von ohmschen Widerständen



- **Farbkodierung:**

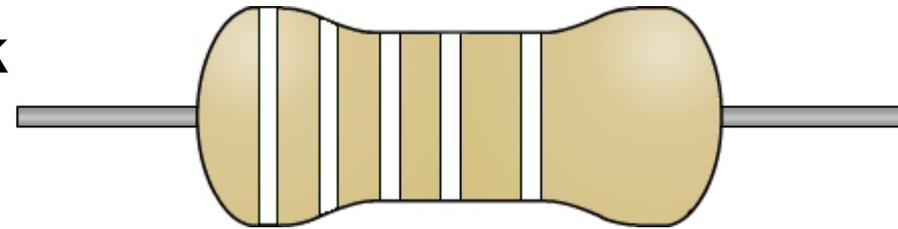
Farbe	Ziffernwert	Multiplikator	Toleranz
farblos	-	-	±20%
silber	-	10 <sup>-2</sup>	±10%
gold	-	10 <sup>-1</sup>	±5%
schwarz	0	100	-
braun	1	10 <sup>1</sup>	±1%
rot	2	10 <sup>2</sup>	±2%
orange	3	10 <sup>3</sup>	-
gelb	4	10 <sup>4</sup>	-
grün	5	10 <sup>5</sup>	±0,5%
blau	6	10 <sup>6</sup>	-
violett	7	10 <sup>7</sup>	-
grau	8	10 <sup>8</sup>	-
weiß	9	10 <sup>9</sup>	-

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände (Widerstand R)

#### 1.1.1.1 Grundlegende Eigenschaften von ohmschen Widerständen



- Farbkodierung: bei E-Reihen > E 24

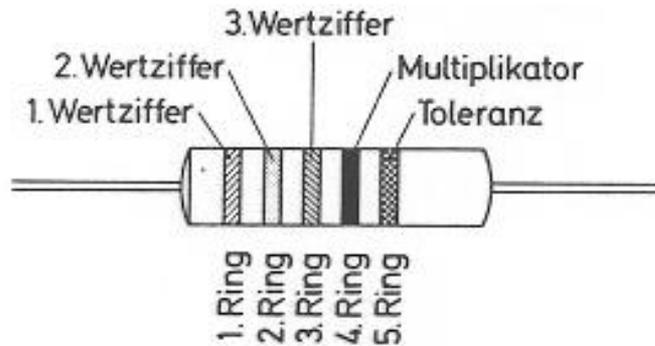


Bild 2.6 b Lage der Ringe des internationalen Farbcodes bei Fünffachberingung

IEC-Widerstands-Normreihen E 48 ( $\pm 2\%$ ) und E 96 ( $\pm 1\%$ )

E48	E96														
100	100	133	133	178	178	237	237	316	316	422	422	562	562	750	750
	102		137		182		243		324		432		576		768
105	105	140	140	187	187	249	249	332	332	442	442	590	590	787	787
	107		143		191		255		340		453		604		806
110	110	147	147	196	196	261	261	348	348	464	464	619	619	825	825
	113		150		200		267		357		475		634		845
115	115	154	154	205	205	274	274	365	365	487	487	649	649	866	866
	118		158		210		280		374		499		665		887
121	121	162	162	215	215	287	287	383	383	511	511	681	681	909	909
	124		165		221		294		392		523		698		931
127	127	169	169	226	226	301	301	402	402	536	536	715	715	953	953
	130		174		232		309		412		549		732		976

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.2 Festwiderstände

- **Bauformen von Festwiderständen:**

Als Träger dient zumeist ein Keramikkörper mit Kappen für die Anschlussdrähte oder einen Lötanschluss für SMD-Montage.

Als Bauformen sind üblich:

- Drahtwiderstände (bedrahtet)
- Schichtwiderstände (bedrahtet)
- Massewiderstände (bedrahtet)
- Dünnschichtwiderstände (SMD)

Bei Schichtwiderständen wird die Widerstandsschicht auf einen Keramikkörper aufgebracht und anschließend eingebrannt.

Bei Dickschichtschaltungen wird die Widerstandsschicht auf das Substrat aufgedruckt und dann eingebrannt.

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

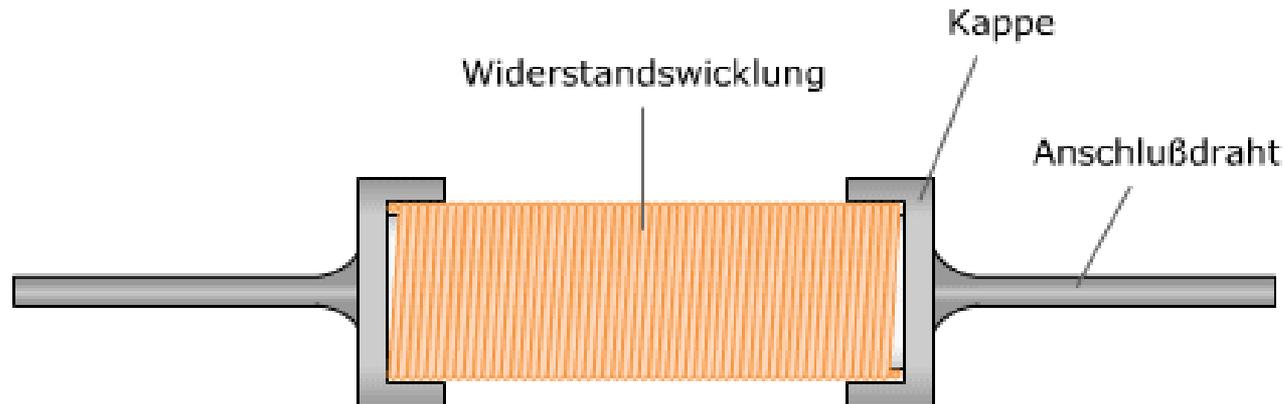
### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.2 Festwiderstände

- **Bauformen von Festwiderständen:**

Die folgenden Bilder zeigen typische Bauformen für elektrische Widerstände und deren Einbautechnik:

#### **Drahtwiderstand** (in Kappenausführung, unisoliert)



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

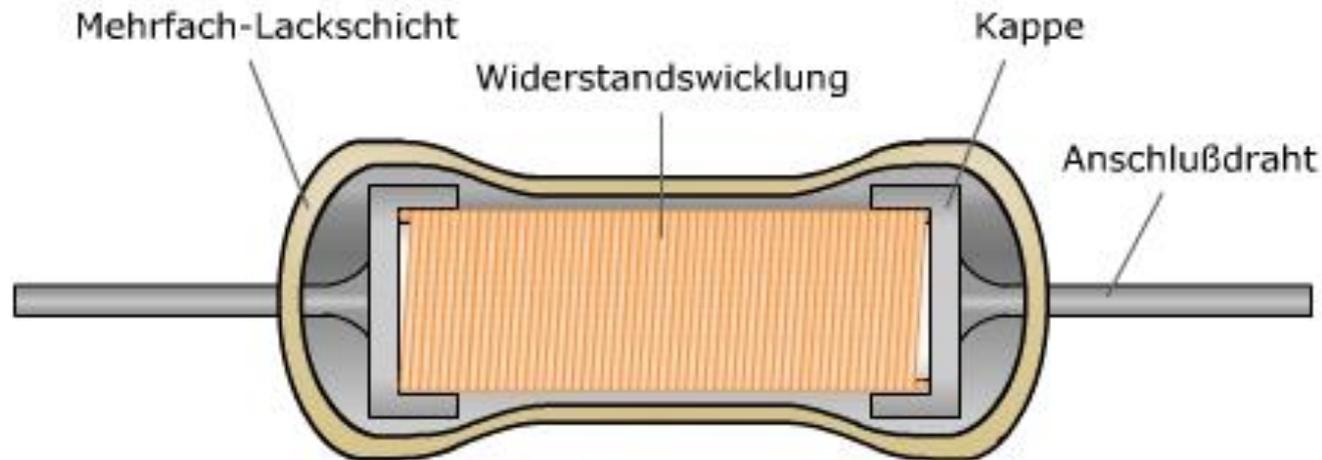
### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.2 Festwiderstände

- **Bauformen von Festwiderständen:**

Die folgenden Bilder zeigen typische Bauformen für elektrische Widerstände und deren Einbautechnik:

**Drahtwiderstand** (in Kappenausführung, isoliert m. Mehrfachlackschicht)



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.2 Festwiderstände

- **Bauformen von Festwiderständen: Drahtwiderstand**

Drahtwiderstände werden eingesetzt als Hochlastwiderstände in der Leistungselektronik.

Mit Drahtwiderständen lassen sich Niederohmwiderstände und Präzisionswiderstände realisieren

Folgende Eigenschaften weisen Drahtwiderstände auf:

- Widerstandswerte:  $0,01\Omega$  bis  $100k\Omega$
- Toleranz:  $\pm 0,01\%$  bis  $\pm 10\%$
- Verlustleistung:  $0,2W$  bis  $500W$
- Temperaturkoeffizient:  $-0,05$  bis  $1 \cdot 10^{-3}K^{-1}$
- Anwendung bei geforderter hoher zeitlicher Konstanz der Parameter
- hohe Eigenkapazität und Eigeninduktivität
- zulässige Temperatur:  $-50^{\circ}C$  bis  $450^{\circ}C$

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

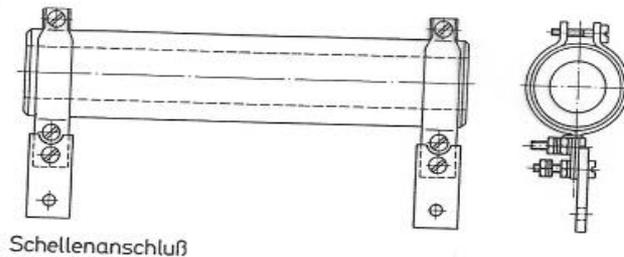
### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.2 Festwiderstände

- Bauformen von Festwiderständen:

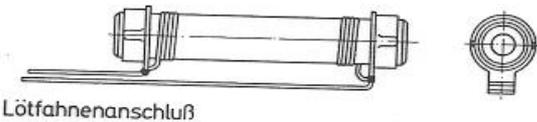
### Drahtwiderstand (Schellenanschluß, Lötflächenanschluß)

*Drahtwiderstände*

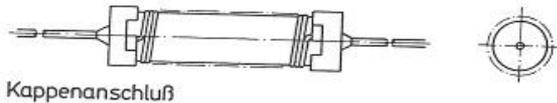


Schellenanschluß

*Bild 2.15 Bauarten von Drahtwiderständen*



Lötflächenanschluß



Kappenanschluß

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

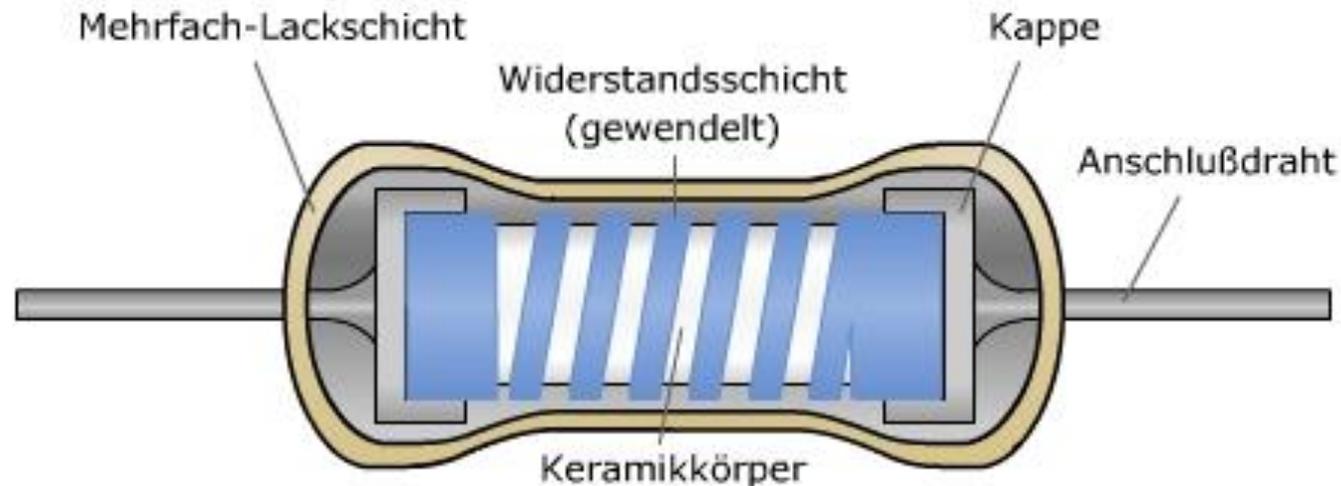
### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.2 Festwiderstände

- **Bauformen von Festwiderständen:**

Die folgenden Bilder zeigen typische Bauformen für elektrische Widerstände und deren Einbautechnik:

#### **Kohleschichtwiderstand (in Kappenausführung)**



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.2 Festwiderstände

- **Bauformen von Festwiderständen: Kohleschichtwiderstand**

Kohleschichtwiderstände werden in der Konsumelektronik eingesetzt mit geringeren Anforderungen betreffs Zuverlässigkeit.

Als Werkstoff wird Kohlenstoff C verwendet.

Folgende Eigenschaften kennzeichnen einen Kohleschichtwiderstand:

- Widerstandswerte:  $1\Omega$  bis  $22M\Omega$
- Toleranz:  $\pm 5\%$  bis  $\pm 20\%$
- Verlustleistung:  $0,25W$  bis  $1W$
- Temperaturkoeffizient:  $-0,3$  bis  $-1 \cdot 10^{-3}K^{-1}$
- Eigenkapazität und Eigeninduktivität
- Stromrauschen zusätzlich zum thermischen Rauschen
- zulässige Temperatur:  $-55^{\circ}C$  bis  $150^{\circ}C$
- Anwendungsbereich: Konsumelektronik

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

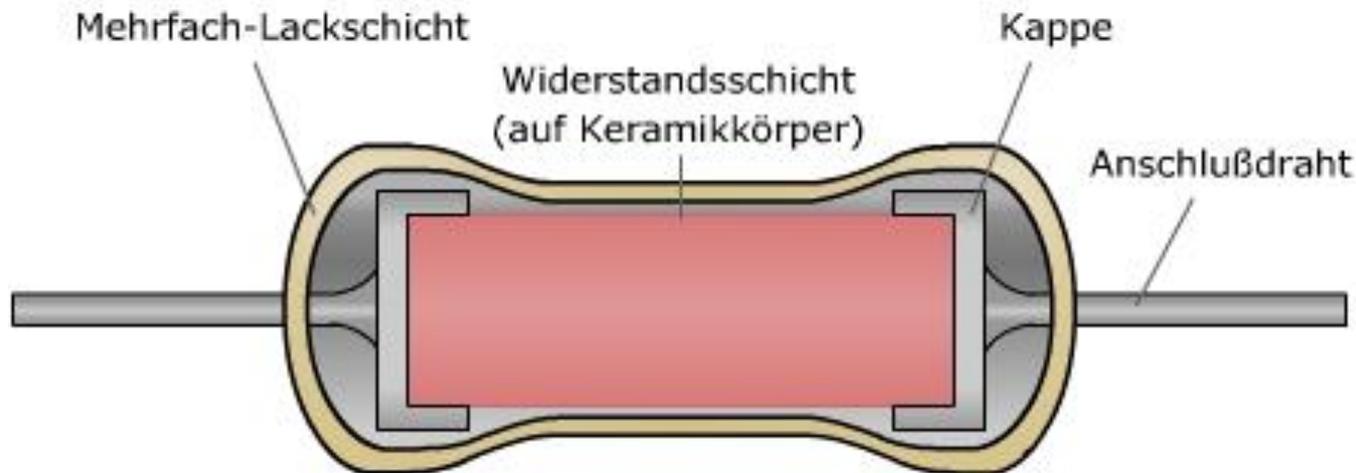
### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.2 Festwiderstände

- **Bauformen von Festwiderständen:**

Die folgenden Bilder zeigen typische Bauformen für elektrische Widerstände und deren Einbautechnik:

#### **Metallschichtwiderstand (in Kappenausführung)**



!!! Übernächste Folie zusätzlich „alte Abbildungen“ !!!

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.2 Festwiderstände

- **Bauformen von Festwiderständen: Metallschichtwiderstand**

Metallschichtwiderstände werden für industrielle Anwendungen am häufigsten verwendet. Gegenüber Kohleschichtwiderständen sind Metallschichtwiderstände zuverlässiger und rauschärmer (nur Widerstandsrauschen und kein zusätzliches Stromrauschen). Als Metallschicht wird ein CrNi- oder SnO<sub>2</sub>-Schicht verwendet..

Folgende Eigenschaften kennzeichnen einen Metallschichtwiderstand:

- Widerstandswerte: 1Ω bis 22MΩ, Toleranz: ±0,1% bis ±5%
- Verlustleistung: 0,25W bis 10W
- Temperaturkoeffizient: ca.  $50 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$
- Eigenkapazität und Eigeninduktivität
- kein Stromrauschen zusätzlich zum thermischen Rauschen
- zulässige Temperatur: -65°C bis 170°C
- Anwendungsbereich: Industrieelektronik

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

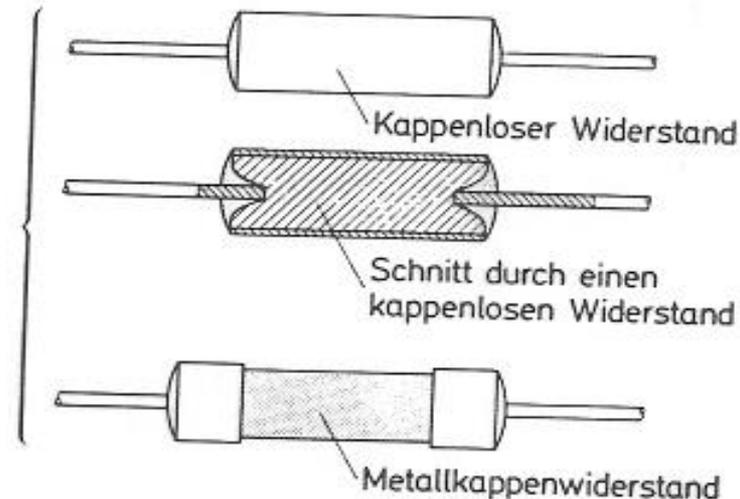
#### 1.1.1.2 Festwiderstände

- Bauformen von Festwiderständen:

**Schichtwiderstände** (kappenlos)

→ Verbesserung der paristären Eigenschaften (  $C_p$  )

*Bild 2.9 Bauformen von Schichtwiderständen*



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.2 Festwiderstände

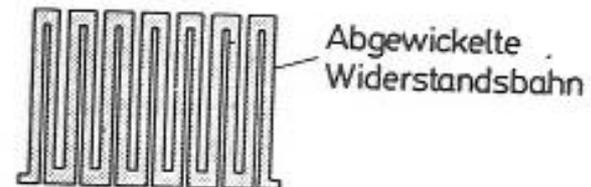
- Bauformen von Festwiderständen:

**Schichtwiderstände** (Wendelschliff und Mänderschliff)  
→ Verbesserung der paristären Eigenschaften (  $L_{Sj}$ ,  $L_{SZ}$  )

*Bild 2.7 Festwiderstand mit  
Wendelschliff*



*Bild 2.8 Festwiderstand mit  
Mänderschliff*



# 1 Bauelemente der Elektronik

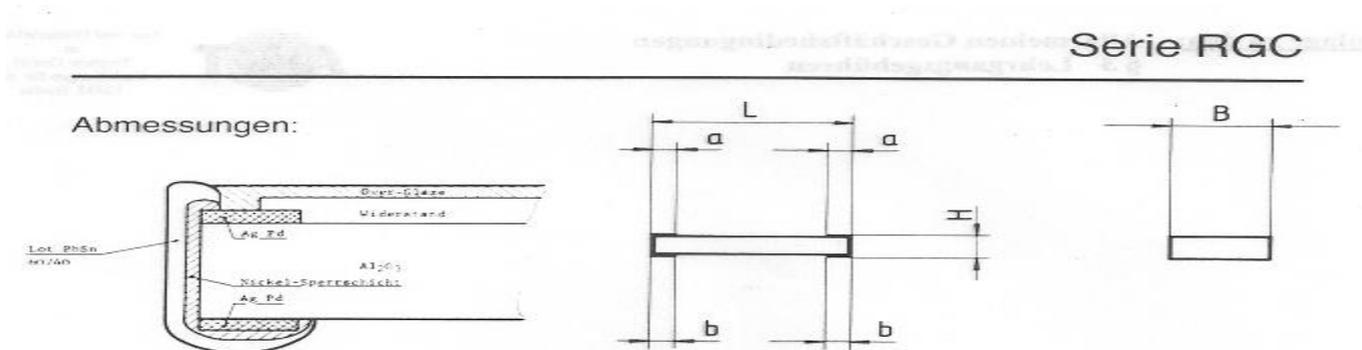
## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.2 Festwiderstände

- Bauformen von Festwiderständen:

### Dünnschichtwiderstand (SMD)



	L [mm]	B [mm]	H [mm]	a [mm]	b [mm]
503	2,0 ±0,2	1,25 ±0,2	0,45 ±0,1	0,40 ±0,2	0,40 ±0,2
502	3,2 <sup>+0,1</sup> <sub>-0,12</sub>	1,60 ±0,15	0,58 ±0,05	0,40 ±0,2	0,40 ±0,2
507	3,2 ±0,2	2,6 ±0,2	0,6 ±0,1	0,4 <sup>+0,2</sup> <sub>-0,1</sub>	0,5 ±0,2
508	5,0 ±0,2	2,5 ±0,2	0,6 ±0,1	0,4 <sup>+0,2</sup> <sub>-0,1</sub>	0,5 ±0,2
509	6,3 ±0,3	3,1 ±0,2	0,6 ±0,1	0,4 <sup>+0,2</sup> <sub>-0,1</sub>	0,5 ±0,2

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand $R$ )

#### 1.1.1.2 Festwiderstände

- Bauformen von Festwiderständen:

### Schichtwiderstände auf Dünnschicht- und Dickschichtmodulen

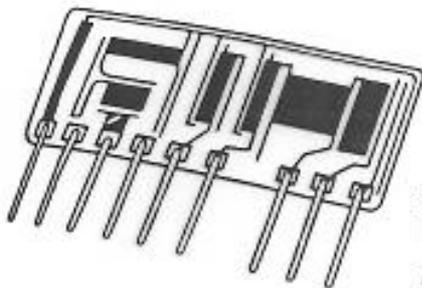


Bild 2.13  
Widerstandskörper  
in Dickschichttechnik

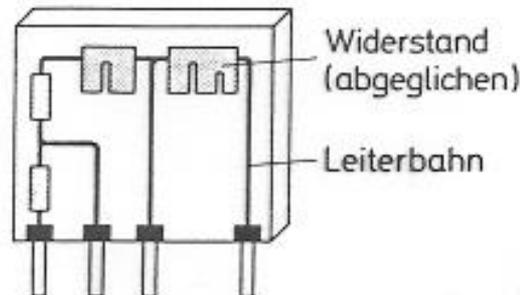


Bild 2.13 a  
Widerstandskörper in  
Dünnschichttechnik

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.2 Festwiderstände

- Bauformen von Festwiderständen:

Übersicht: Typische Anwendungen von WiderstandsbaufORMen

	Drahtwiderstände	Kohleschichtwid.	Metallschichtwid	Dünnschichtwid.
Leistungselektronik	X			
Hochlastanwendungen	X			
Konsumelektronik		X		
Industrieelektronik			X	
Anwendungen >100MHz				X

# Vorlesung - Analogelektronik



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände (Widerstand R)

#### 1.1.1.3 Veränderbare Widerstände

- Widerstandwert ist veränderbar

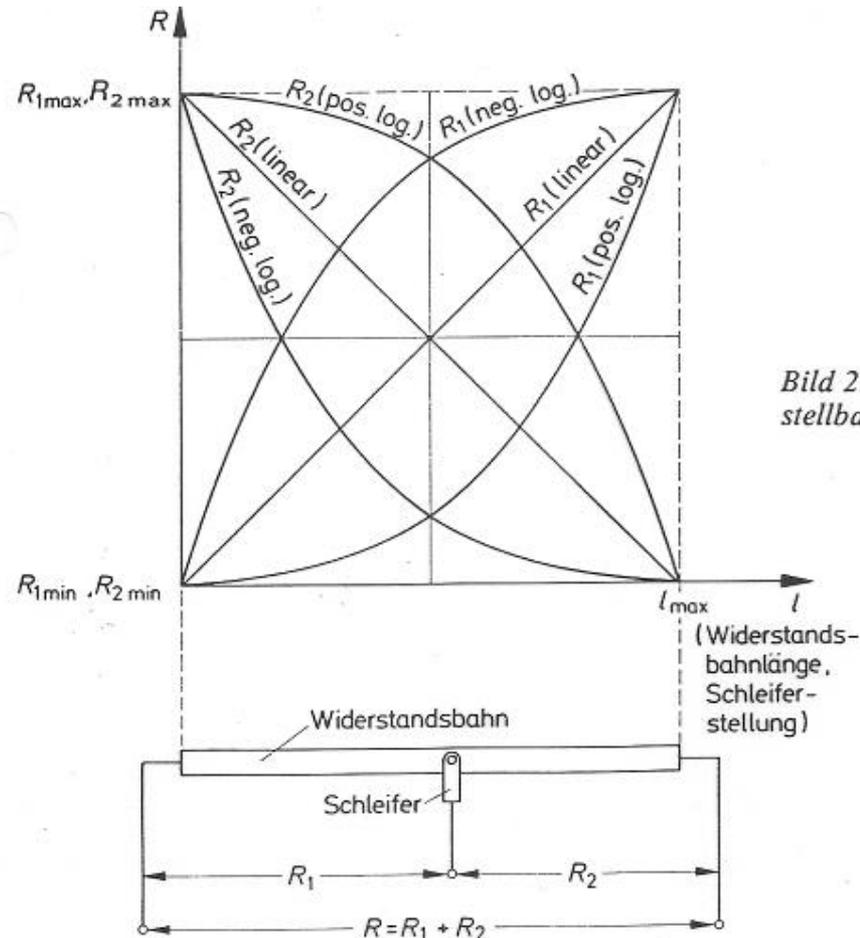


Bild 2.18 Widerstandskurven einstellbarer Widerstände

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.3 Veränderbare Widerstände

Sie weisen eine Kohleschicht oder eine Cermet-Schicht (Metalloxid- und Glaspulver in Keramikträger eingebrannt) auf.

Veränderbare Widerstände sind durch hohe parasitäre Eigenschaften gekennzeichnet.

Wegen des mechanischen Aufbaus ist die Zuverlässigkeit geringer als bei Festwiderständen.

### Symbol



### Bedeutung

verstellbarer Widerstand / Poti

einstellbarer Widerstand

stufig einstellbarer Widerstand

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.3 Veränderbare Widerstände

- **Bauformen von veränderlichen Widerständen**

Kohleschicht- bzw. Cermet-Potentiometer



Draht-Potentiometer



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstände ( Widerstand R )

#### 1.1.1.3 Veränderbare Widerstände

- **Bauformen von veränderlichen Widerständen**

Schiebepotentiometer (Unterhaltungselektronik)



Spindelpotentiometer (zum Feineinstellen des Widerstandswertes)



# Vorlesung - Analogelektronik



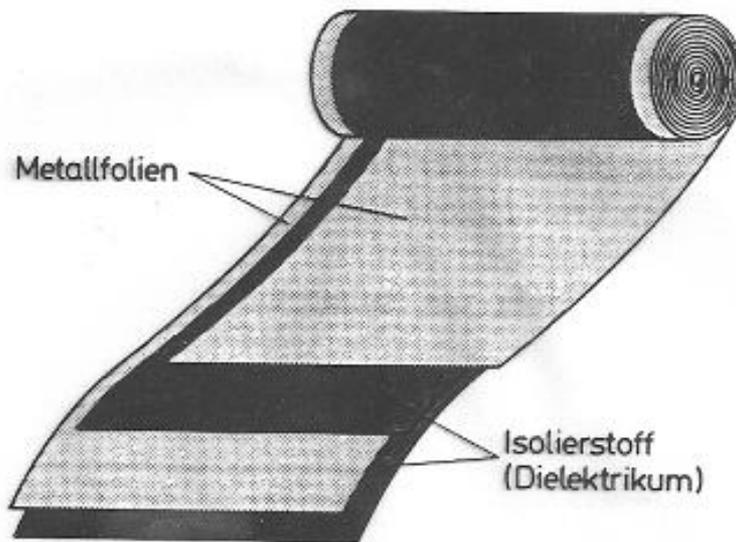
# 1. Bauelemente der Elektronik

## 1.1. Passive Bauelemente

### 1.1.2. Kondensatoren C

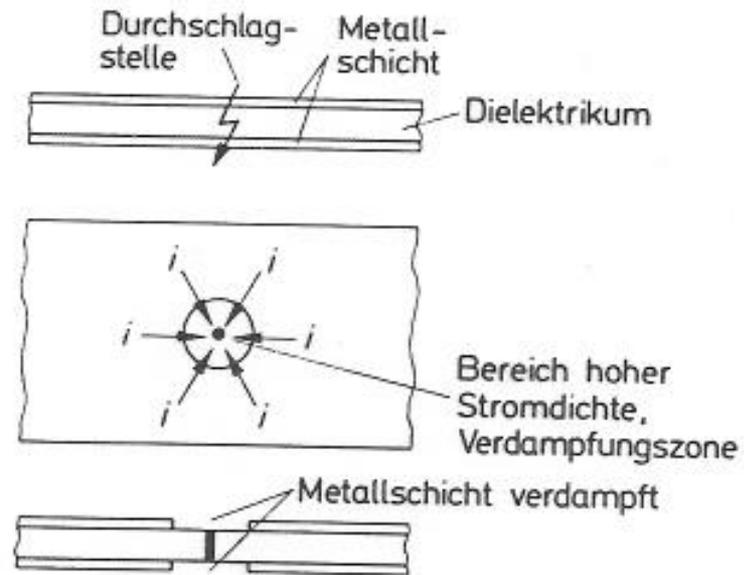
## Bauarten von Kondensatoren

*Papierkondensatoren, Kunststoffkondensatoren (Folienkondensatoren)*



*Bild 3.5 Aufbau eines Papierkondensators bzw. eines Kunststoffkondensators*

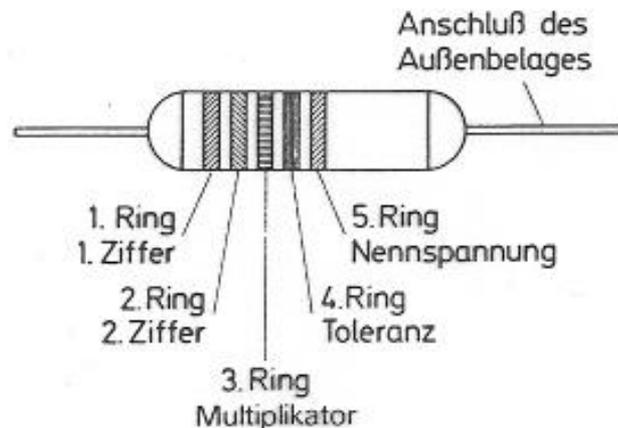
*Bild 3.6 Selbstheilung  
bei MP- und MK-Kon-  
densatoren*



## Vorlesung - Analogelektronik

Die Nennkapazitäten sind nach den IEC-Normreihen gestuft (siehe Abschnitt 2, Widerstände). Vorzugsweise werden die Reihen E 6, E 12 und E 24 verwendet. Für Präzisionskondensatoren gelten die Reihen E 43, E 96 und E 192.

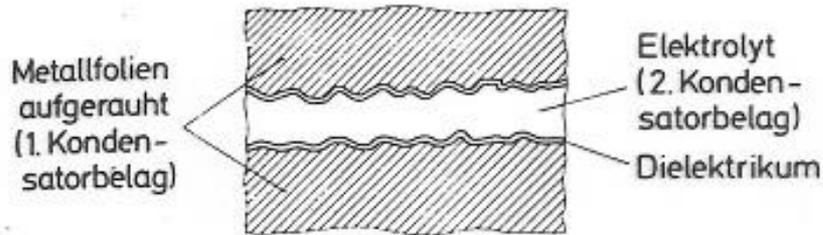
Die außenliegende leitfähige Schicht eines Kondensators kann als Abschirmung verwendet werden, wenn man sie an Masse anschließt. Es ist deshalb wichtig zu wissen, an welchem Kondensatoranschluß der *Außenbelag* liegt.



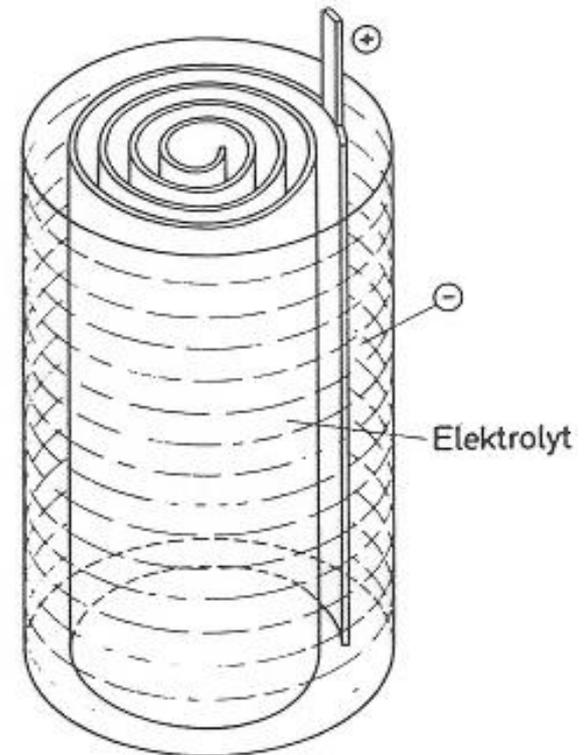
*Bild 3.3 Farbringkennzeichnung von Kondensatoren*

## Vorlesung - Analogelektronik

Farbe	1. Ring 1. Ziffer	2. Ring 2. Ziffer	3. Ring Multiplikator	4. Ring Toleranz	5. Ring Nennspannung
keine	—	—	—	± 20%	5000 V
silber	—	—	$10^{-2}$	± 10%	2000 V
gold	—	—	$10^{-1}$	± 5%	1000 V
schwarz	—	0	$10^0$ pF	± 1% ± 2%	100 V 200 V 300 V 400 V
braun	1	1	$10^1$ pF		
rot	2	2	$10^2$ pF		
orange	3	3	$10^3$ pF		
gelb	4	4	$10^4$ pF		
grün	5	5	$10^5$ pF	± 0,5%	500 V 600 V 700 V 800 V 900 V
blau	6	6	$10^6$ pF		
violett	7	7	$10^7$ pF		
grau	8	8	$10^8$ pF		
weiß	9	9	$10^9$ pF		

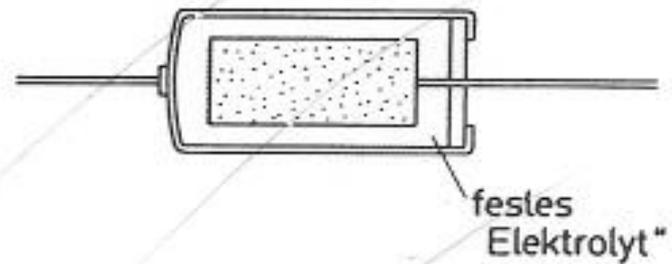


*Bild 3.7 Schichtauschnitt eines Elektrolytkondensators mit aufgerauhten Belägen*



*Bild 3.8 Aufbau eines Elektrolytkondensators*

*Bild 3.13 Aufbau eines Tantal-Elektrolyt-Kondensators mit festem Elektrolyt (Bauart SF)*

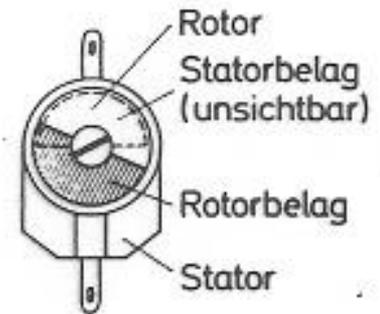
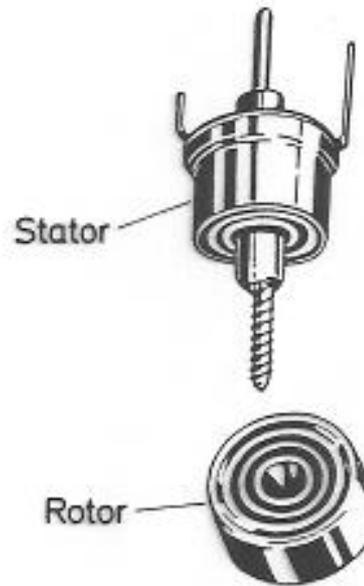


# Vorlesung - Analogelektronik



*Bild 3.15 Zusammenschaltung der Platten eines Drehkondensators*

*Bild 3.16 Übliche Bauformen von Trimmerkondensatoren*



# Vorlesung - Analogelektronik

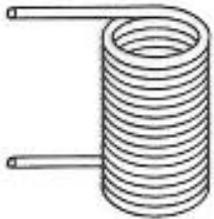


# 1. Bauelemente der Elektronik

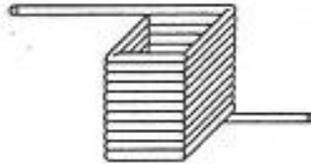
## 1.1. Passive Bauelemente

### 1.1.3. Spulen      L

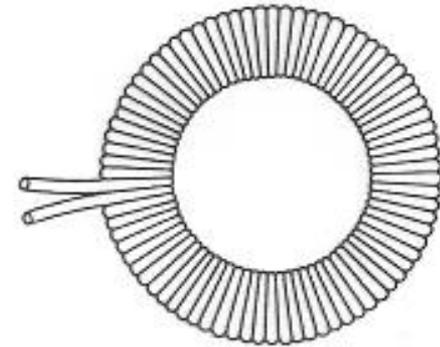
# Vorlesung - Analogelektronik



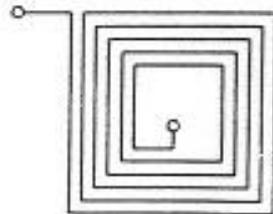
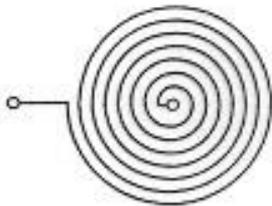
*Bild 3.33 Zylinderspule*



*Bild 3.34 Rechteckspule*

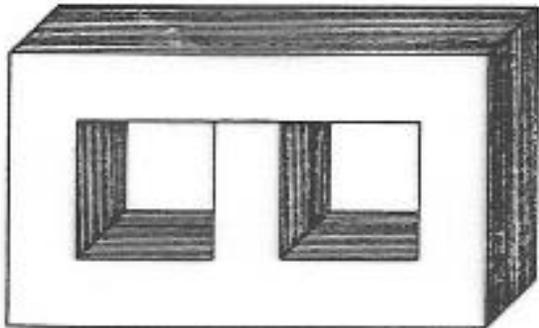


*Bild 3.35 Toroidspule  
(Kreisringspule)*

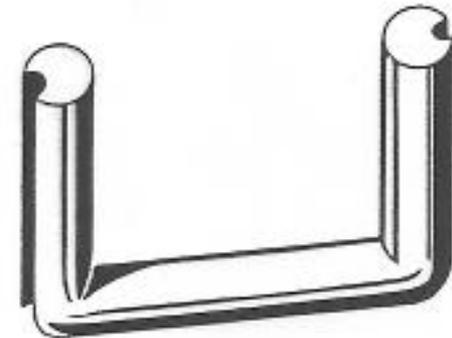


*Bild 3.36 Flachspulen*

## *Eisenkernspulen*

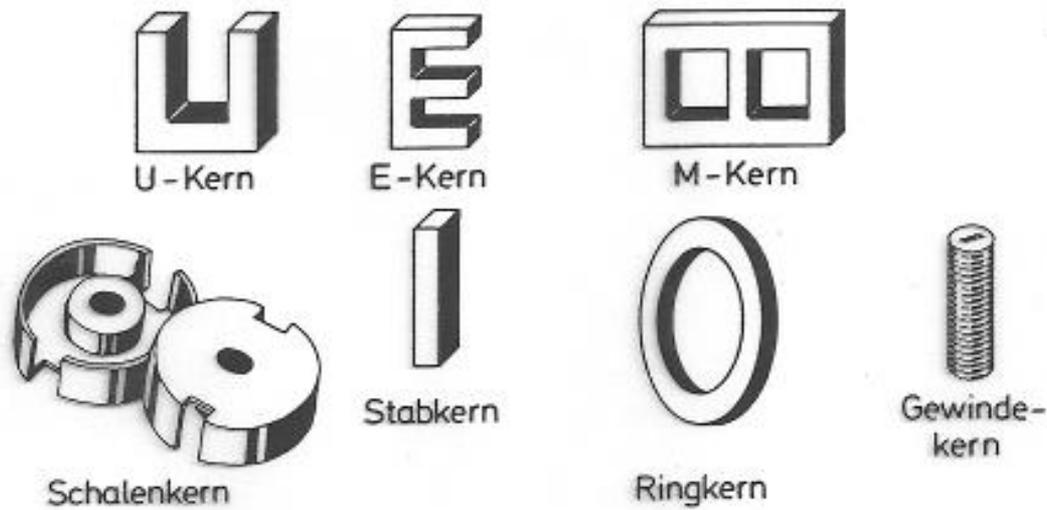


*Bild 3.37  
Blechkerne*



*Bild 3.38  
Ferritkerne*

## *Hf-Eisenkerne (Hochfrequenzeisenkerne)*



*Bild 3.39 Kernformen*

# Vorlesung - Analogelektronik



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.4 Volumen – Halbleiter ( HL – Widerstände )

- **Grundlegendes:**

Volumen – HL sind Halbleiter-Bauelemente ohne pn – Übergang.

Sie bestehen aus

polykristallinen    **M i s c h k r i s t a l l e n**

aus                    - Eisen-, Nickel- Kobalt-Oxiden  
                          - Titanverbindungen

Das Funktionsprinzip beruht auf der    **E i g e n l e i t u n g** ( i - Leitung ).

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.4 Volumen – Halbleiter ( HL – Widerstände )

#### 1.1.4.1 Heißleiter (NTC)

- ... sind temperaturabhängige Widerstände mit negativem Temperaturkoeffizienten (**N**egative **T**emperature **C**oefficient).

Heißleiter verringern ihren Widerstandswert mit Erhöhung der Temperatur.

Sie bestehen aus einer Mischoxidkeramik ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$  mit  $\text{Zn}_2\text{TiO}_4$  oder  $\text{MgCr}_2\text{O}_4$ ).

Der Widerstandswert ändert sich näherungsweise mit:

$$R_T = R_N \cdot e^{B \cdot \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_N} \right)}$$

Dabei ist B die Energiekonstante, eine Materialkonstante (B: 2000K bis 4000K),  $R_N$  ist der Nennwiderstand,  $T_N$  die Nenntemperatur und T die Temperatur in K.

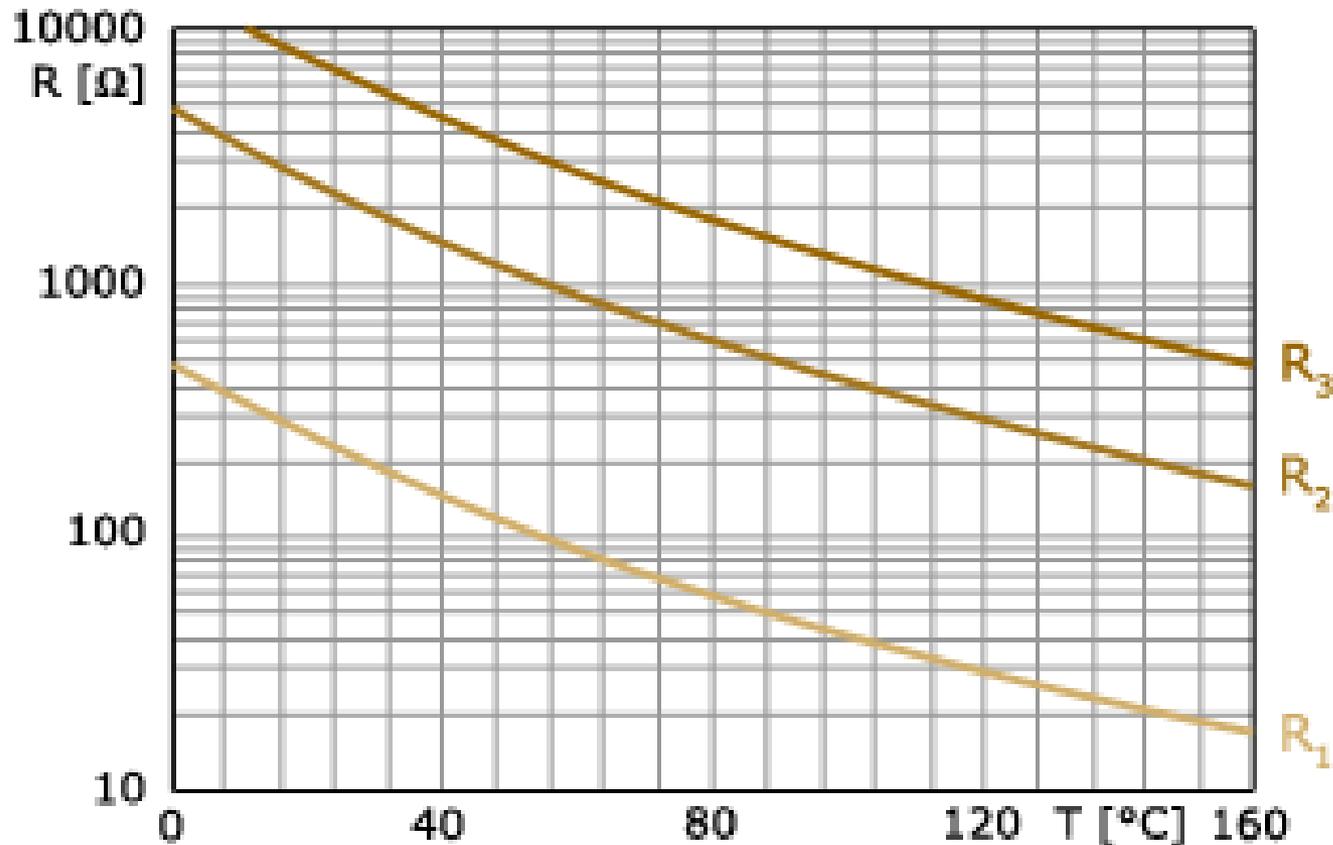
# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.4 Volumen – Halbleiter ( HL – Widerstände )

#### 1.1.4.1 Heißleiter (NTC)

- Kennlinie  $R = f(T)$ :



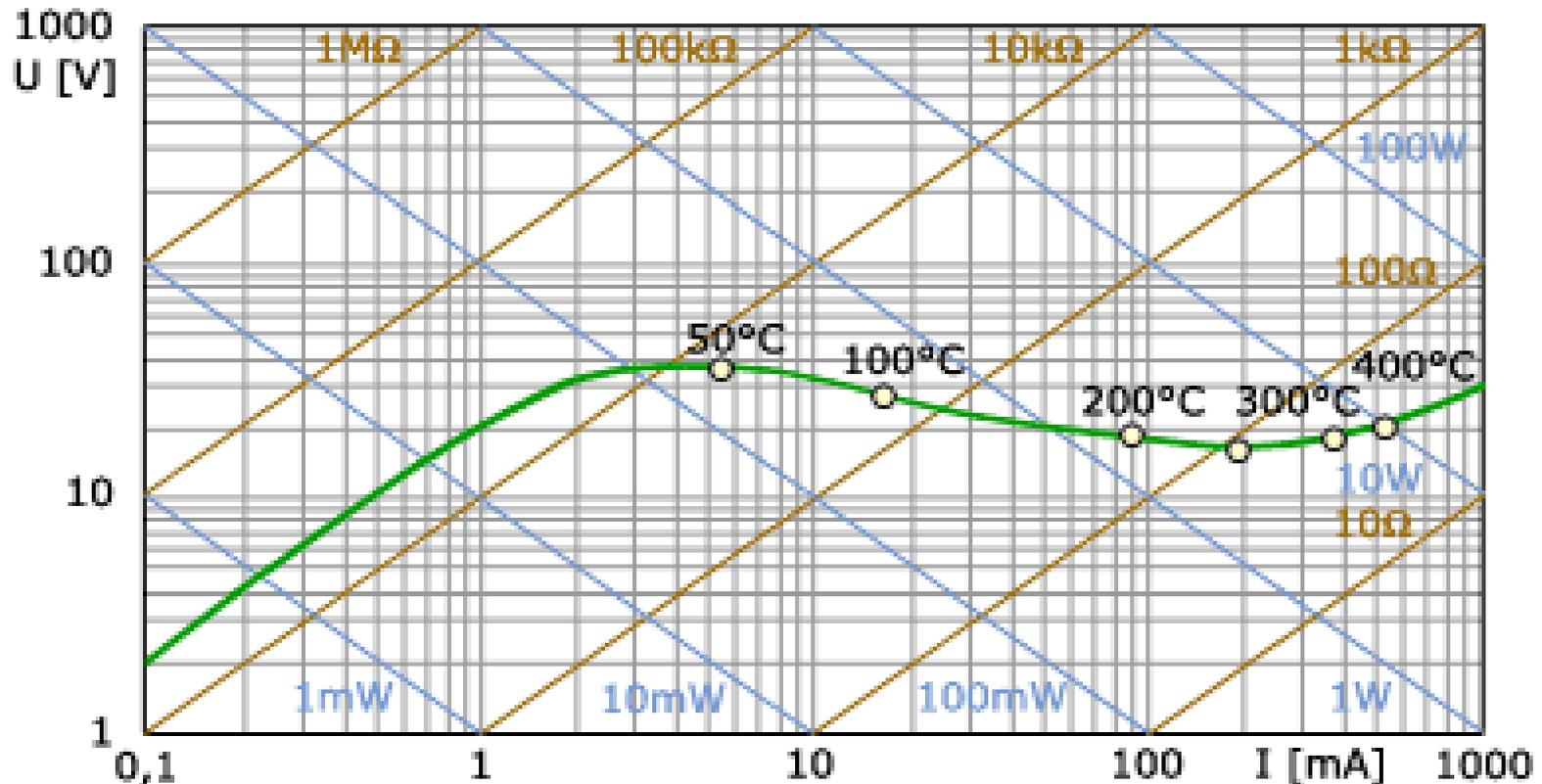
# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.4 Volumen – Halbleiter ( HL – Widerstände )

#### 1.1.4.1 Heißleiter (NTC)

- **Kennlinie U / I - Kennlinie:**  
(dient auch zur Unterscheidung von Fremd- und Eigenerwärmung von NTC)



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.4 Volumen – Halbleiter ( HL – Widerstände )

#### 1.1.4.1 Heißleiter (NTC)

- **Fremderwärmung und Eigenerwärmung:**

Fremderwärmung =

Erwärmung des NTC allein durch die Umgebungstemperatur

Eigenerwärmung =

Erwärmung des NTC durch den Eigenstrom (Verlustwärme)

$$P_V \geq 0,1mW$$

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.4 Volumen – Halbleiter ( HL – Widerstände )

#### 1.1.4.1 Heißleiter (NTC)

- Bestimmung der Energiekonstante als Abhängigkeit von der Aktivierungsenergie  $\Delta W$   $B = f ( \Delta W )$ :

$$B_{/K} = 5.800 \cdot \Delta W_{/eV}$$

\*) Es handelt sich hierbei um eine Bemessungsgleichung.

- Bestimmung der Energiekonstante durch Widerstandsmessung bei zwei Temperasturen (NTC bei Fremderwärmung):

$$B = \frac{\ln \frac{R_1}{R_2}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}$$

... mit  $T_1 < T_2$  und  $R_1 > R_2$ .

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.4 Volumen – Halbleiter ( HL – Widerstände )

#### 1.1.4.1 Heißleiter (NTC)

- **Schaltzeichen:**

...

- **Anwendungen:**

- Temperaturmessung  
(großer TK, kleine Ansprechzeit, KL-Korrektur/-Linearisierung erforderlich)
- Temperaturüberwachung  
(Meldung von Temperatur-Grenzwerten)
- Temperaturstabilisierung von HL – Schaltungen
- Anlaufstrombegrenzung z.B. Glühlampen und Elektromotoren  
(Ausnutzung der Eigenerwärmung)

# Vorlesung - Analogelektronik



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.4 Volumen – Halbleiter ( HL – Widerstände )

#### 1.1.4.2 Kaltleiter (PTC)

- ... sind temperaturabhängige Widerstände mit Positivem Temperatur-Koeffizienten (**P**ositive **T**emperature **C**oefficient).

Kaltleiter vergrößern ihren Widerstandswert mit Erhöhung der Temperatur.

Sie bestehen aus Titanatkeramik ( $\text{BaTiO}_2$  bzw.  $\text{SrTiO}_2$ ).

Der Widerstandswert ändert sich näherungsweise mit:

$$R_T = k \cdot \ln \left( \frac{(R_2 - R_1)}{(T_2 - T_1)} \right)$$

... mit  $T_1 < T_2$  und  $R_1 < R_2$ .

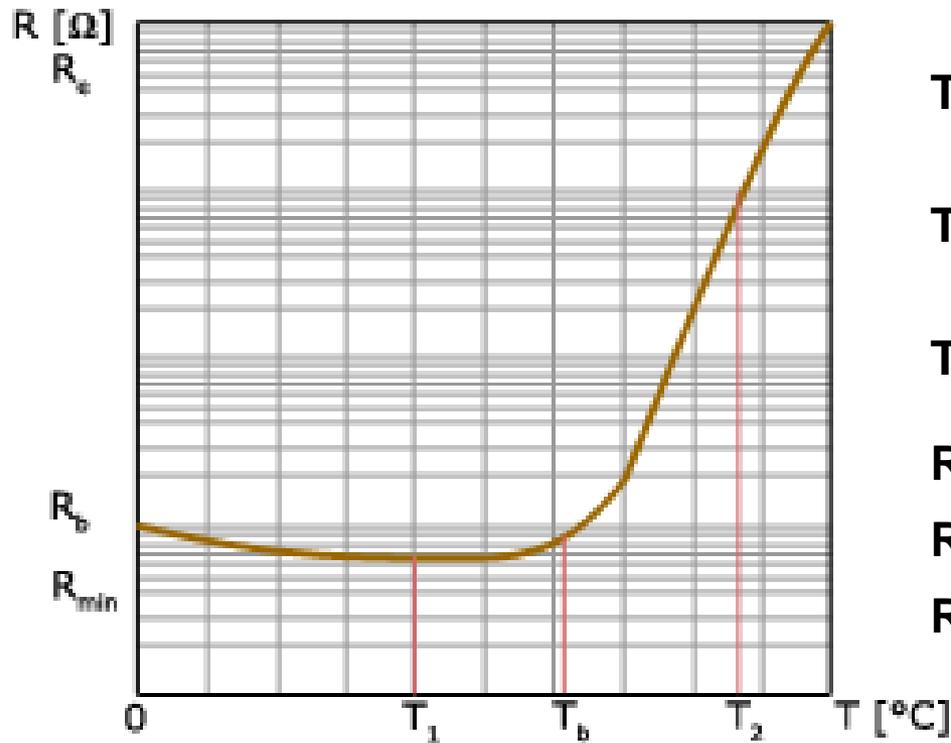
# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.4 Volumen – Halbleiter ( HL – Widerstände )

#### 1.1.4.2 Kaltleiter (PTC)

- Kennlinie  $R = f(T)$ :



- $T_1$  Beginn des positiven Temperaturkoeffizienten  $\alpha R$
- $T_b$  Bezugstemperatur; Beginn des steilen Widerstandsanstiegs
- $T_2$  Ende des steilen Widerstandsanstiegs
- $R_{\min}$  Minimalwiderstand
- $R_b$  Bezugswiderstand
- $R_e$  Endwiderstand

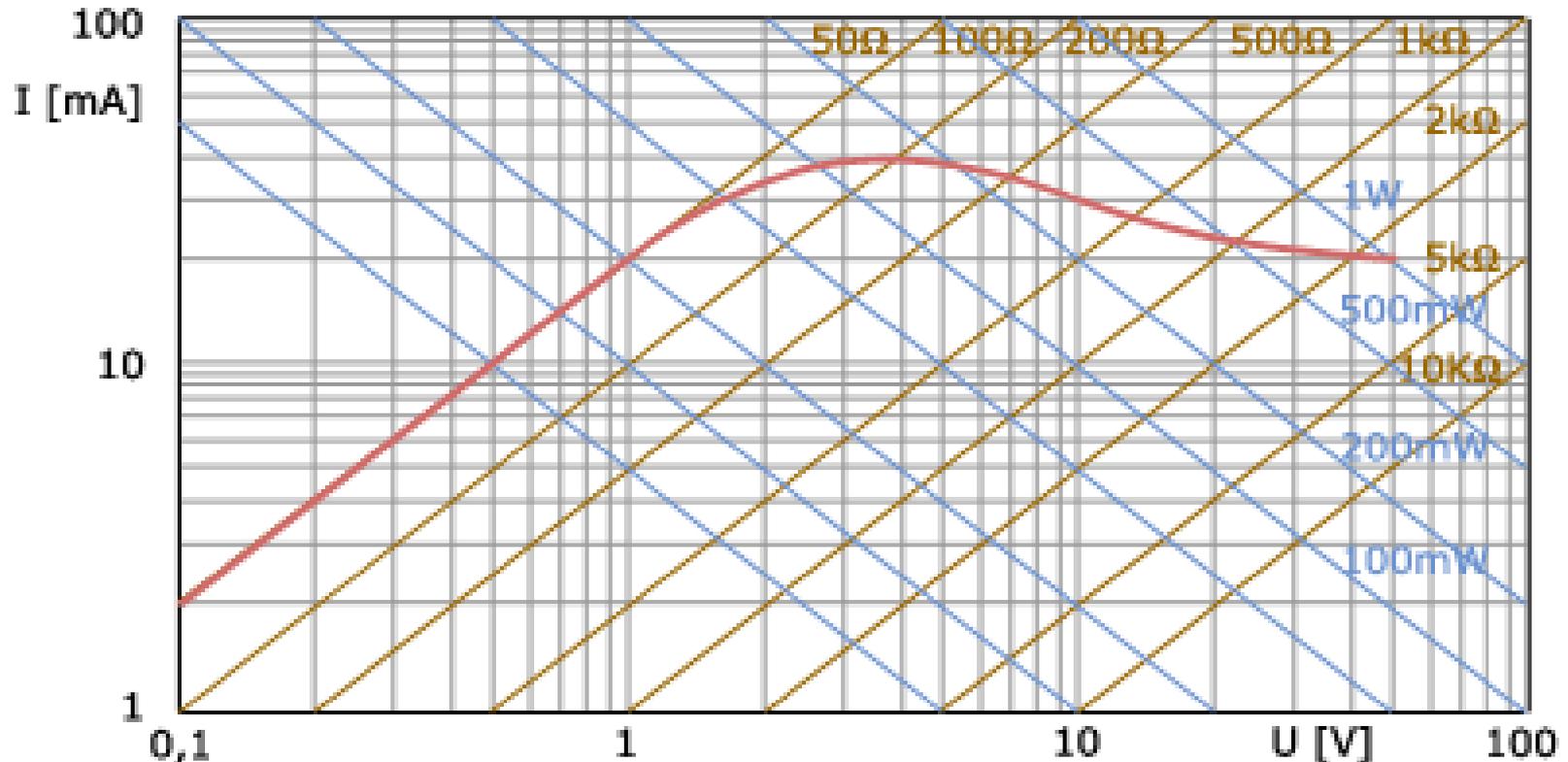
# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.4 Volumen – Halbleiter ( HL – Widerstände )

#### 1.1.4.2 Kaltleiter (PTC)

- **Kennlinie U / I - Kennlinie:**  
(dient auch zur Unterscheidung von Fremd- und Eigenerwärmung von PTC)



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.4 Volumen – Halbleiter ( HL – Widerstände )

#### 1.1.4.2 Kaltleiter (PTC)

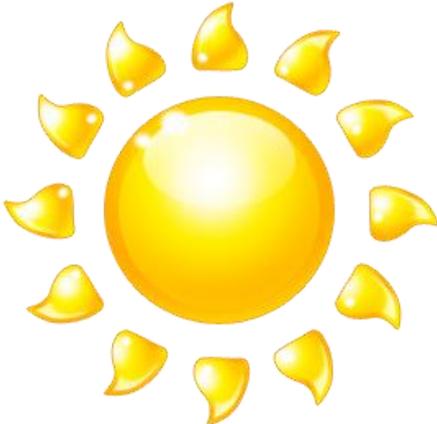
- **Schaltzeichen:**

...

- **Anwendungen:**

- Temperaturmessung  
(großer TK, kleine Ansprechzeit, KL-Korrektur/-Linearisierung erforderlich)
- Temperaturüberwachung  
(Meldung von Temperatur-Grenzwerten)
- Sensor für Motorschutzschaltungen

# Vorlesung - Analogelektronik



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.4 Volumen – Halbleiter ( HL – Widerstände )

#### 1.1.4.3 Varistor (VDR)

- ... sind spannungsabhängige Widerstände (Voltage **D**ependent **R**esistor).

Varistoren dienen zur Spannungsbegrenzung für Überspannungsschutzmaßnahmen (z.B. Schutz vor unerwünschten schädlichen hohen Störspannungen an Eingängen).

Im Normalbetrieb ist der am Eingang parallel liegende Varistor hochohmig. Beim Einsatz der Spannungsbegrenzung wird der Varistor niederohmig.

Die Ansprechzeit eines Varistors liegt bei  $<50\text{ns}$ , der Spannungsbereich bei 18V bis 1500V, die zulässige Temperatur bei  $-40^\circ\text{C}$  bis ca.  $85^\circ\text{C}$ .

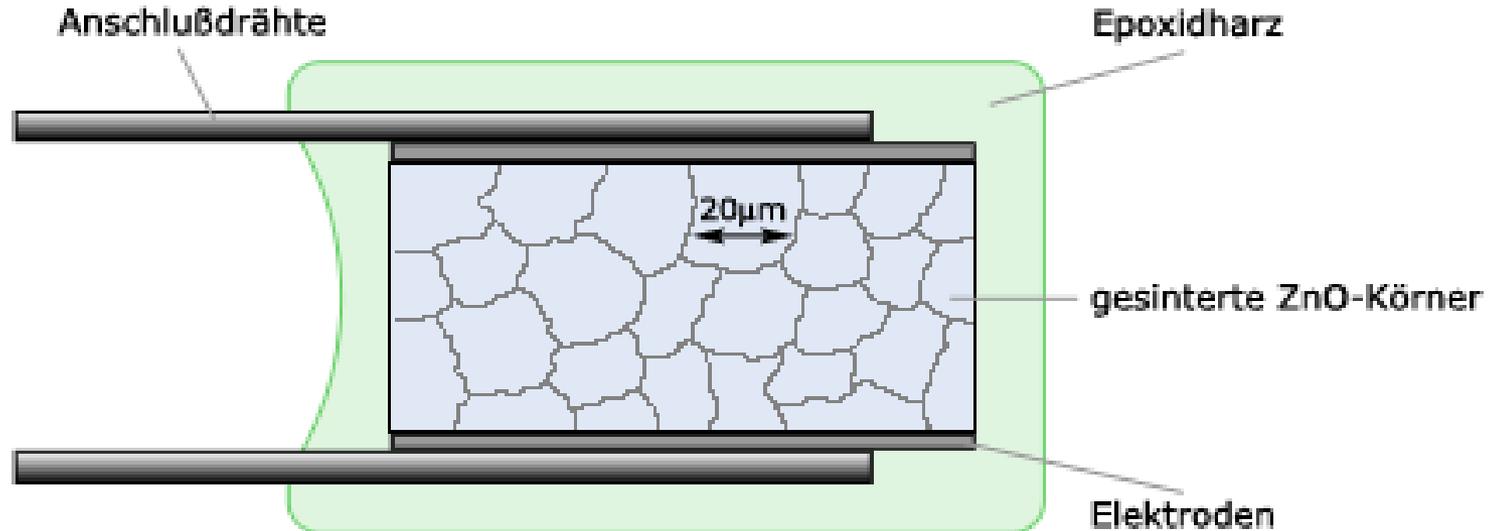
# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.4 Volumen – Halbleiter ( HL – Widerstände )

#### 1.1.4.3 Varistor (VDR)

- **Aufbau des Varistors:**



Der Varistor arbeitet bipolar, verhält sich also bei beiden Polaritäten gleichermaßen.

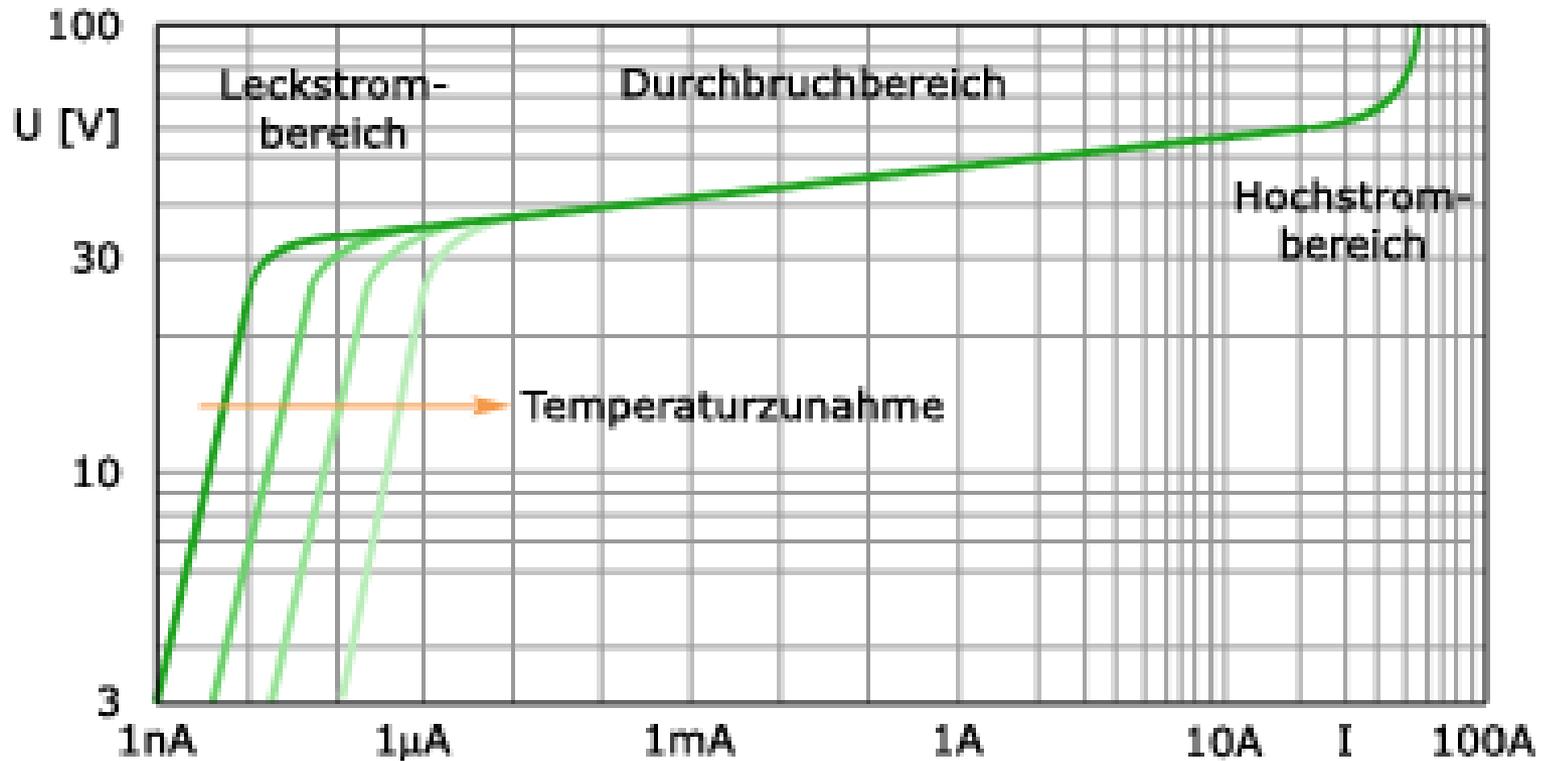
# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.4 Volumen – Halbleiter ( HL – Widerstände )

#### 1.1.4.3 Varistor (VDR)

- Kennlinie U / I - Kennlinie:



Der Varistor arbeitet bipolar, verhält sich also bei beiden Polaritäten gleichermaßen.

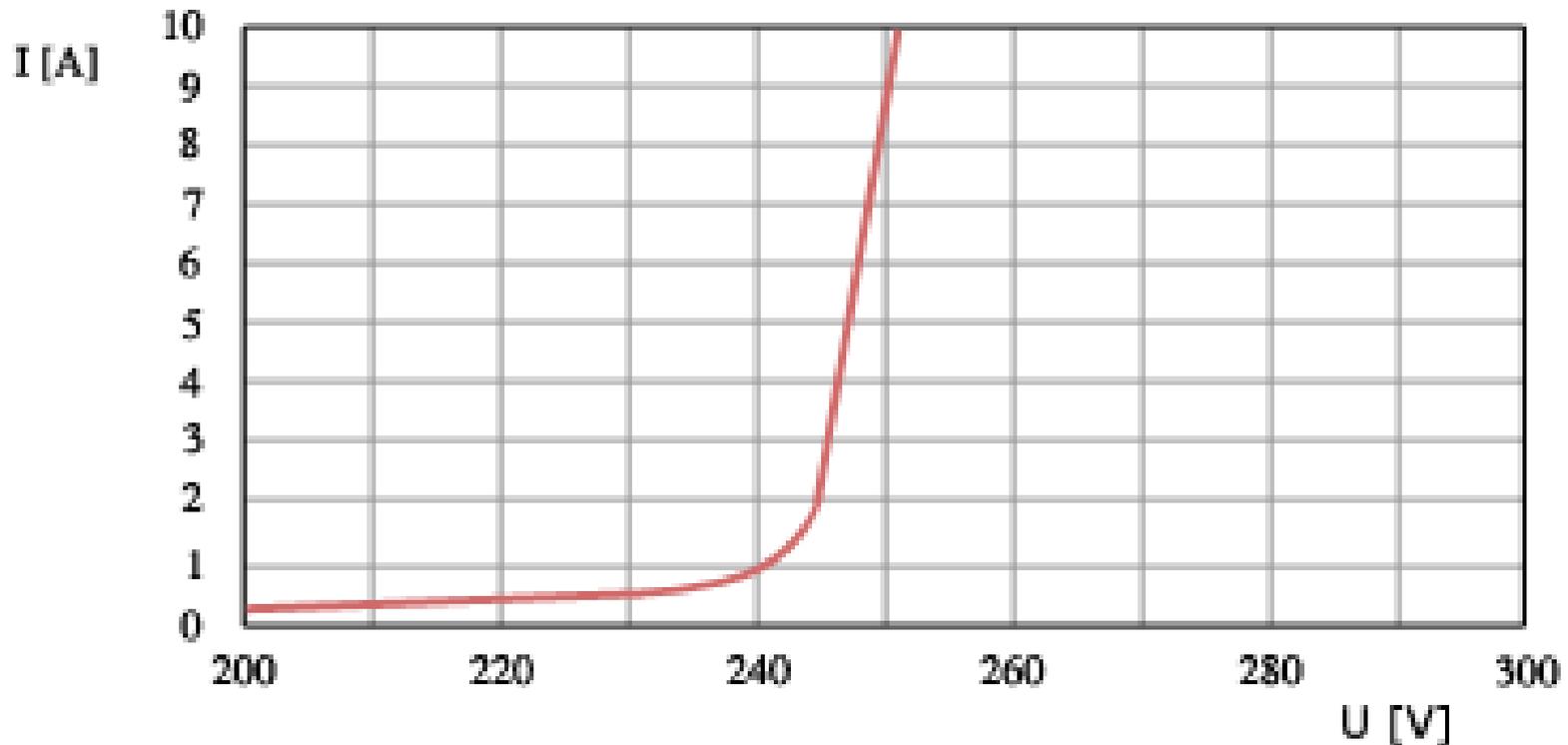
# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.4 Volumen – Halbleiter ( HL – Widerstände )

#### 1.1.4.3 Varistor (VDR)

- Kennlinie I / U - Kennlinie:



Der Varistor arbeitet bipolar, verhält sich also bei beiden Polaritäten gleichermaßen.

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.4 Volumen – Halbleiter ( HL – Widerstände )

#### 1.1.4.3 Varistor (VDR)

- **Schaltzeichen:**

...

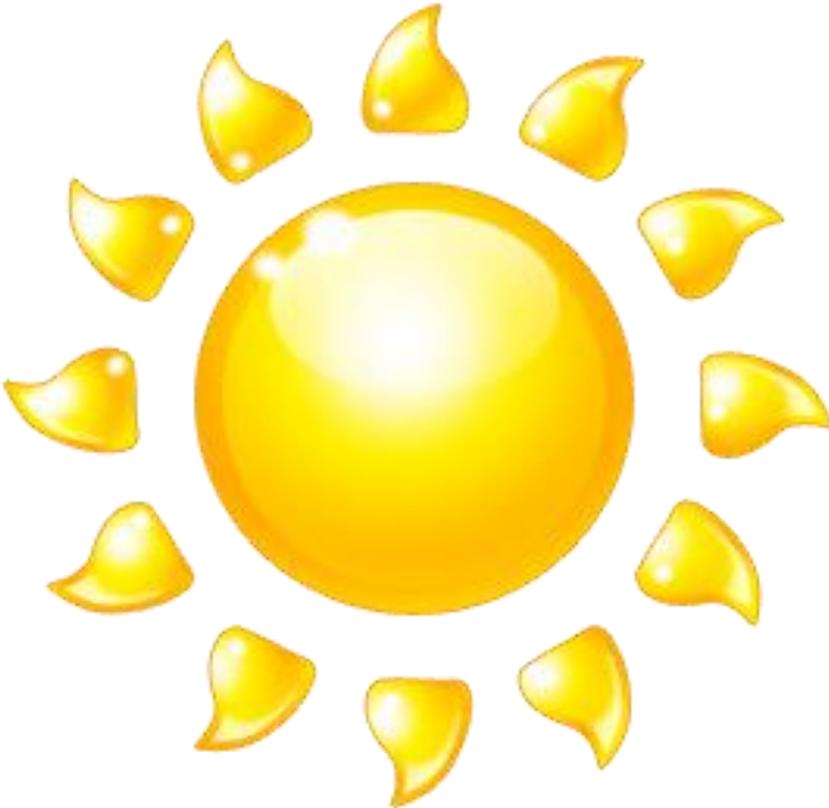
- **Anwendungen:**

- Überspannungsschutz  
(Mittel- und Feinschlussschutz)
- Spannungsbegrenzungen  
z.B. Schutz von HL-Bauelementen (Dioden, Transistoren)

...

- Entstörung von Schützspulen

# Vorlesung - Analogelektronik



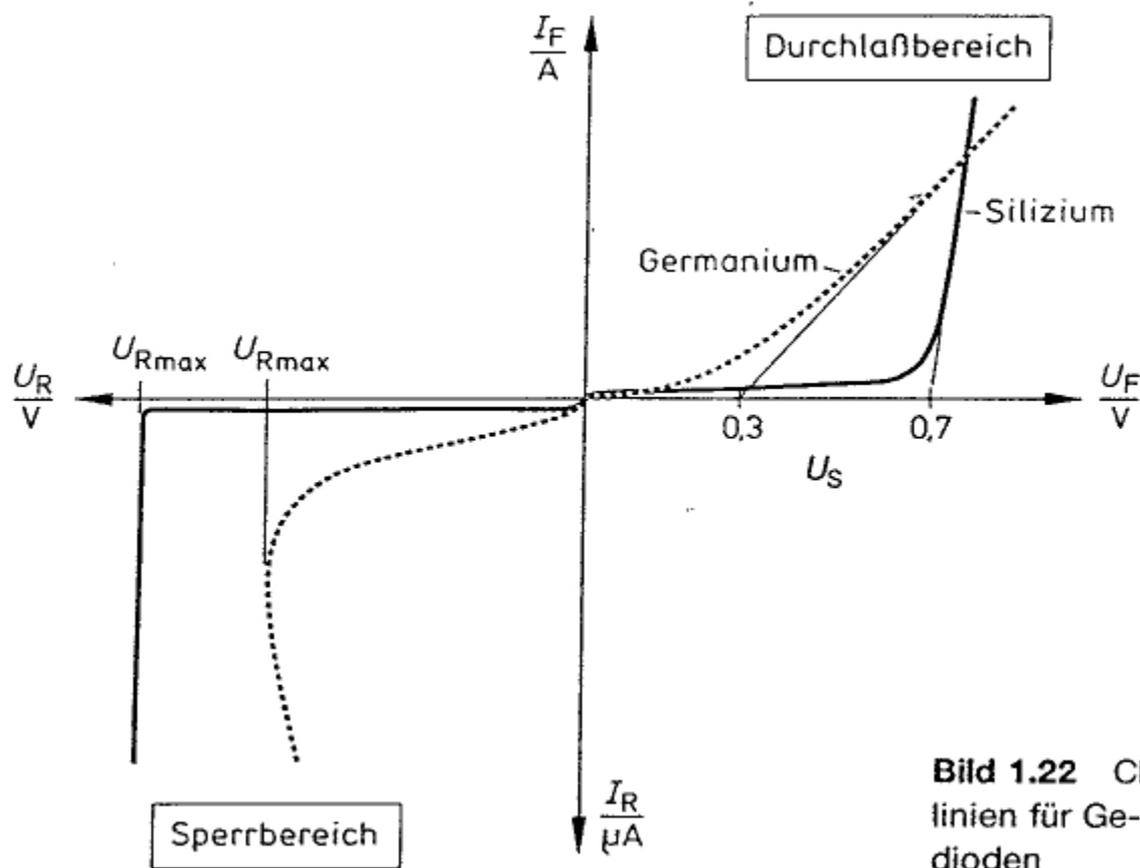
# 1. Bauelemente der Elektronik

## 1.1. Passive Bauelemente

### 1.1.5. HL – Dioden

#### 1.1.5.1. Universal- / Gleichrichter – Diode

# Vorlesung - Analogelektronik



**Bild 1.22** Charakteristische Kennlinien für Ge- und Si-Gleichrichter-dioden

# Vorlesung - Analogelektronik

## Grenzwerte für $U_R$ und $I_F$

Die Datenblätter enthalten in der Regel Strom- und Spannungswerte mit folgenden Bedeutungen:

$U_R$  = maximale Gleichspannungen in Sperrichtung

$U_{RM}$  = höchstzulässige Spitzensperrspannung. Dies ist der Scheitelwert einer Wechselspannung in Sperrichtung für eine Betriebsfrequenz größer 20 Hz.

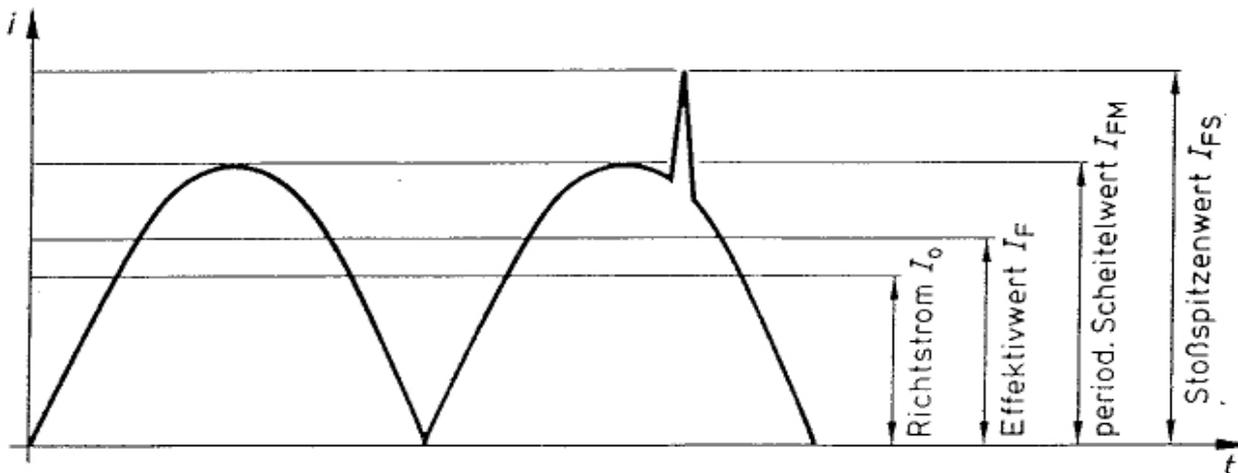
$I_F$  = maximaler Strom in Durchlaßrichtung als Gleich- oder Effektivwert.

$I_D$  = Richtstrom als arithmetischer Mittelwert des Diodenstromes.

$I_{FM}$  = höchstzulässiger periodischer Spitzendurchlaßstrom. Dies ist der Scheitelwert eines Wechselstromes in Durchlaßrichtung für eine Betriebsfrequenz größer 20 Hz.

$I_{FS}$  = Höchstwert des Stromes, der für maximal 1 Sekunde fließen darf. Bei periodischer Wiederholung treten Schäden auf.

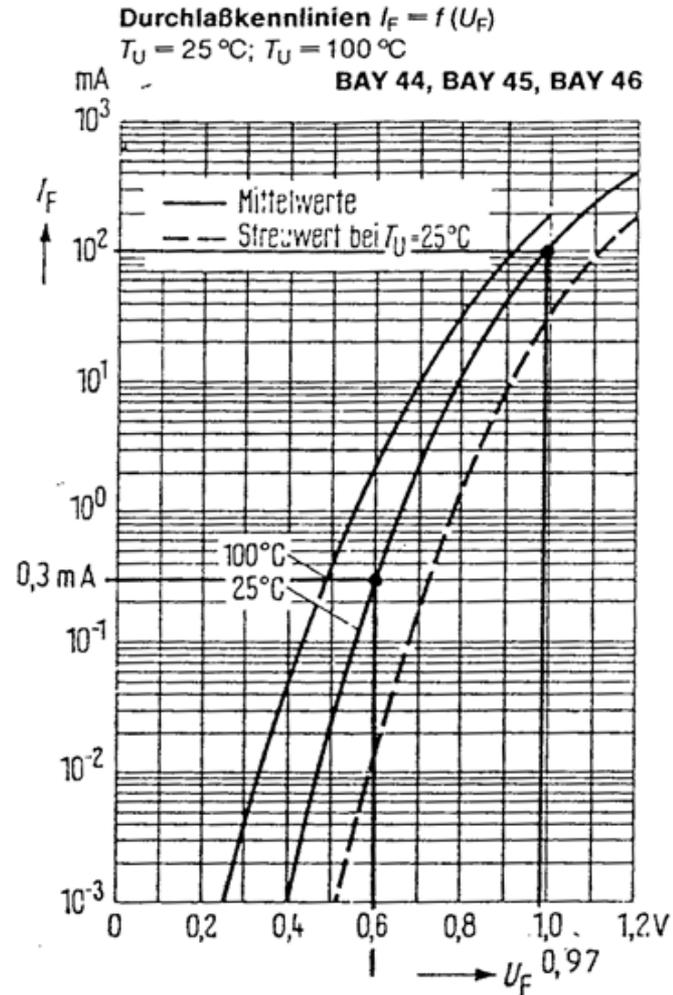
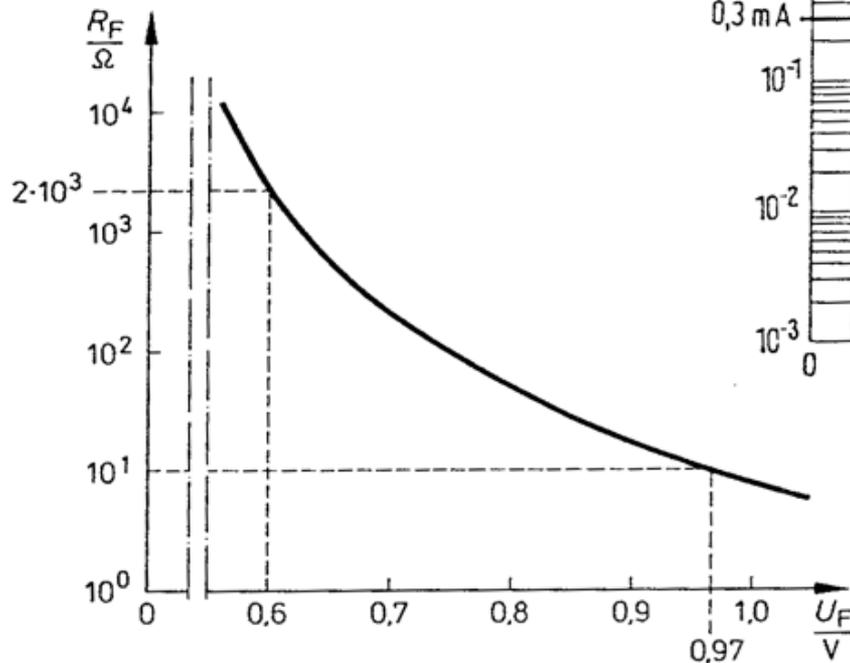
In **Bild 1.25** sind die aufgeführten Stromgrenzwerte zur besseren Veranschaulichung nochmals grafisch dargestellt.



**Bild 1.25** Stromgrenzwerte bei Halbleiterdioden

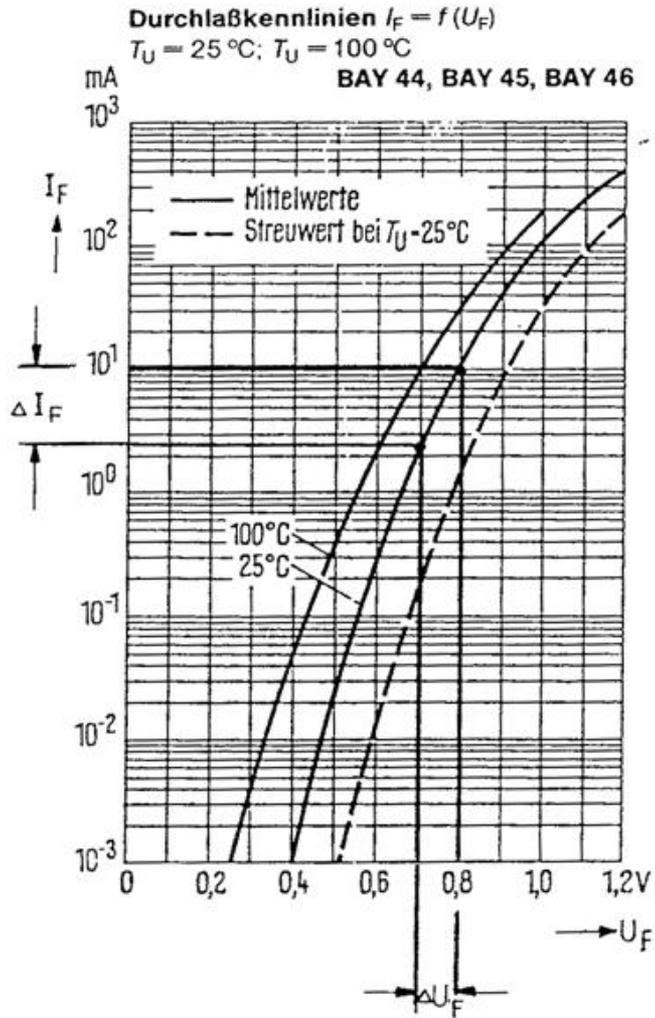
# Vorlesung - Analogelektronik

**Bild 1.27** Durchlaßkennlinien für die Dioden BAY 44, BAY 45 und BAY 46 für den Bereich der Schleusenspannung mit zusätzlicher Eintragung von zwei Arbeitspunkten

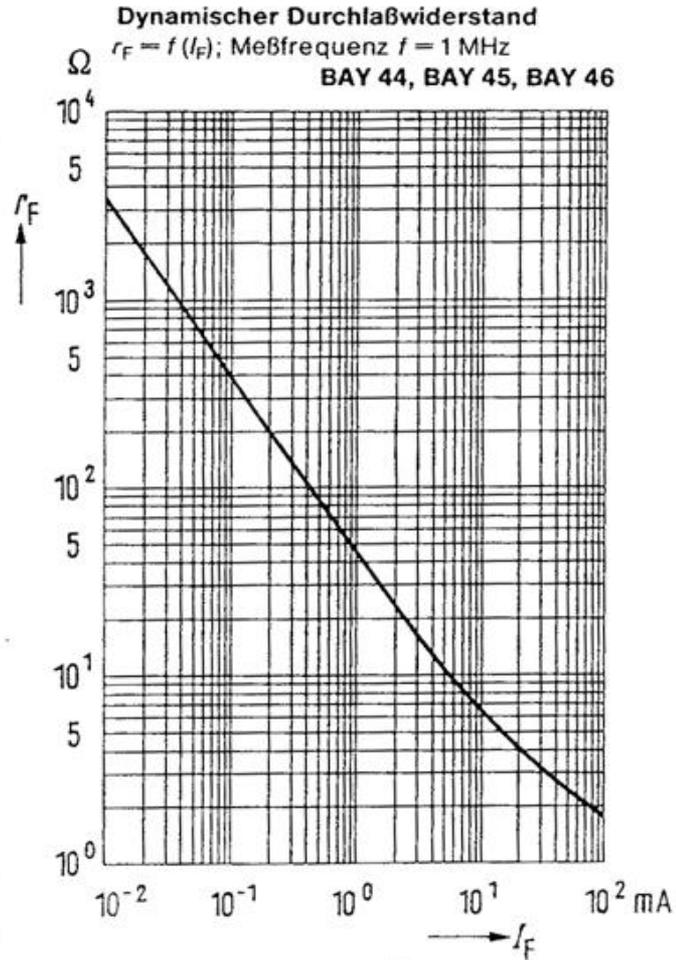


**Bild 1.28** Statischer Durchlaßwiderstand für die Dioden BAY 44, BAY 45 und BAY 46 im Bereich der Schleusenspannung

# Vorlesung - Analogelektronik

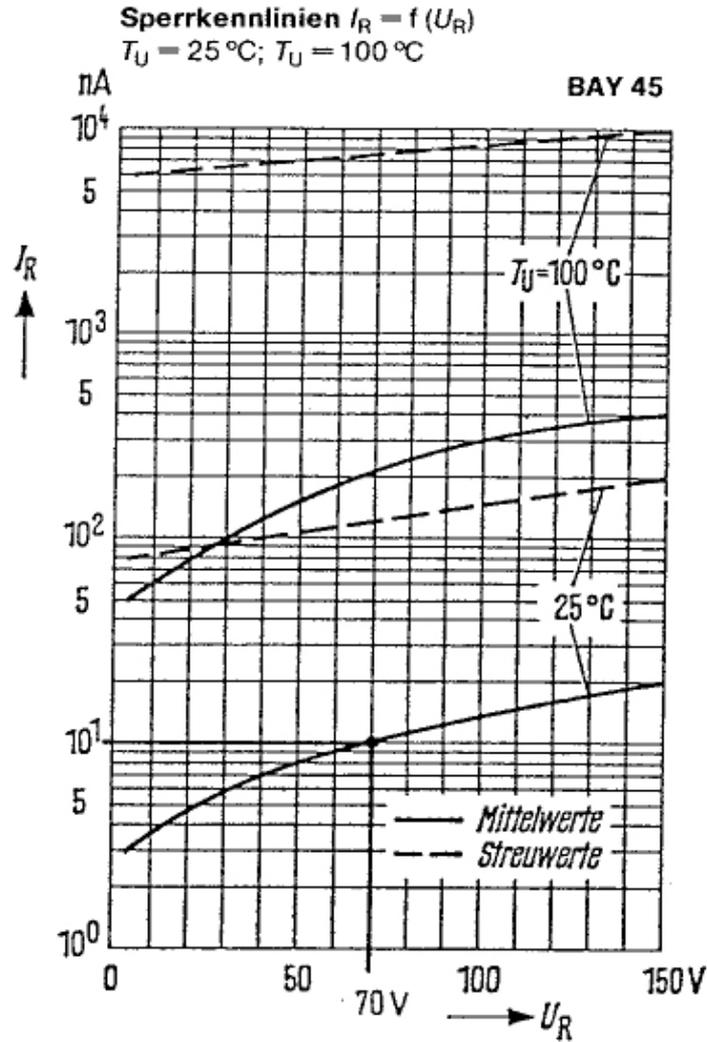


**Bild 1.29** Durchlaßkennlinien für die Dioden BAY 44, BAY 45 und BAY 46 mit zusätzlicher Eintragung von zwei Arbeitspunkten

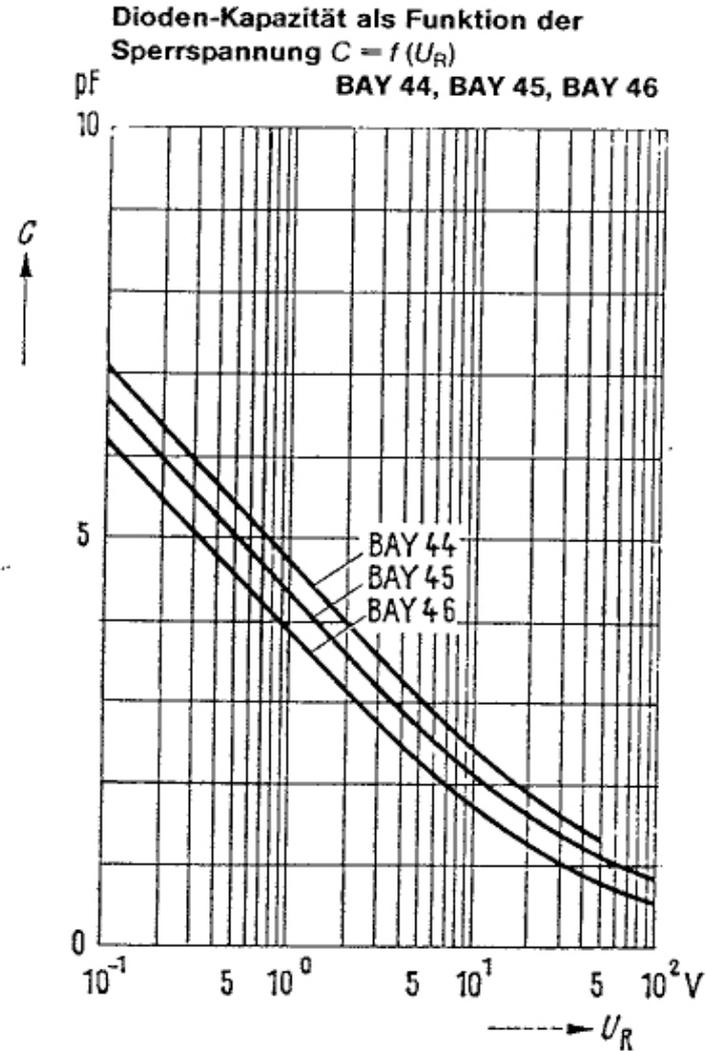


**Bild 1.30** Dynamischer Durchlaßwiderstand für die Dioden BAY 44, BAY 45 und BAY 46

# Vorlesung - Analogelektronik

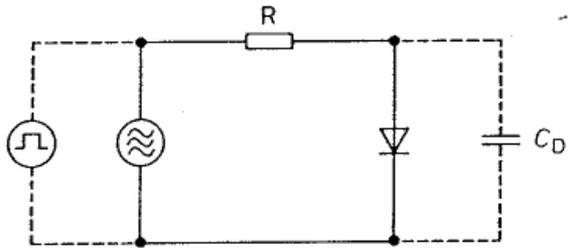


**Bild 1.31** Sperrkennlinie der Diode BAY 45

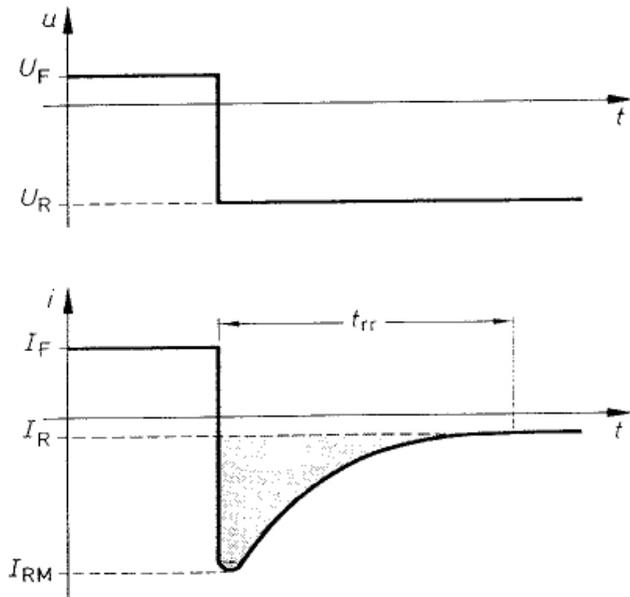


**Bild 1.32** Diodenkapazität in Abhängigkeit von der Sperrspannung für die Dioden BAY 44, BAY 45 und BAY 46

# Vorlesung - Analogelektronik

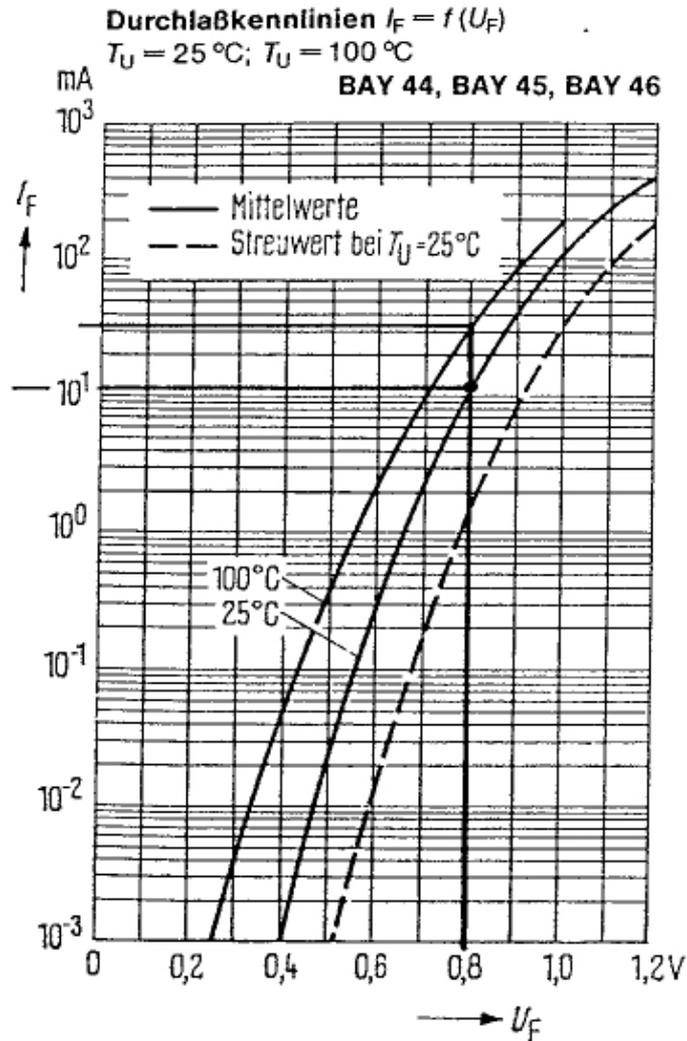


**Bild 1.33** RC-Glied aus der Diodenkapazität und einem Vorwiderstand

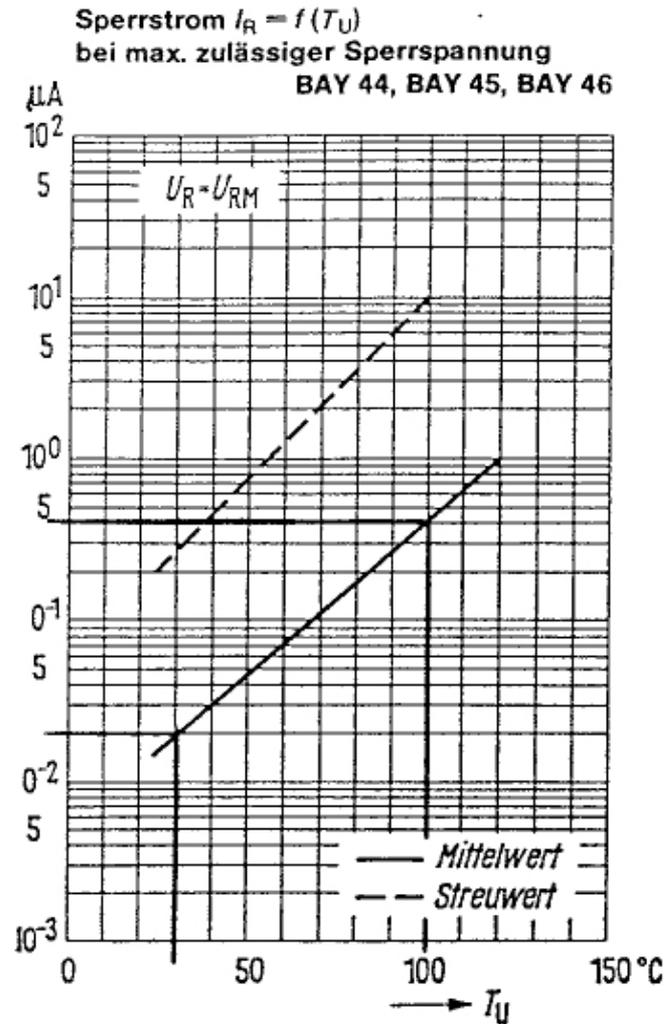


**Bild 1.34** Sperrverzögerungszeit

# Vorlesung - Analogelektronik



**Bild 1.35** Durchlaßkennlinie für die Dioden BAY 44, BAY 45 und BAY 46



**Bild 1.36** Temperaturabhängigkeit des Sperrstromes für die Dioden BAY 44, BAY 45 und BAY 46

# Vorlesung - Analogelektronik

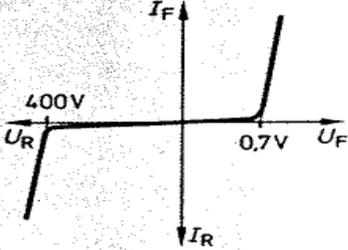
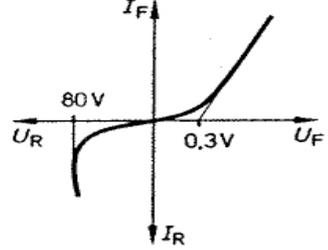
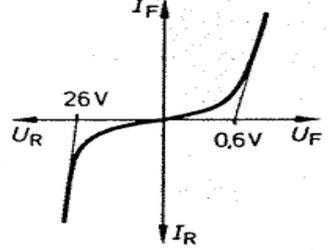
Eigenschaft	Siliziumdiode	Germaniumdiode	Selendiode
Schleusen- spannung $U_s$	0,5 V–0,8 V	0,2 V–0,4 V	0,6 V
max. Sperr- spannung $U_{R\max}$	80 V–1500 V	40 V–100 V	20 V–30 V pro Platte
Höchstzulässige Stromdichte in der Halbleiterschicht	100 A/cm <sup>2</sup>	50 A/cm <sup>2</sup>	0,1 A/cm <sup>2</sup>
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

Bild 1.42 Charakteristische Eigenschaften von Si-, Ge- und Se-Dioden

# Vorlesung - Analogelektronik

Kennzeichnung nach »JEDEC«

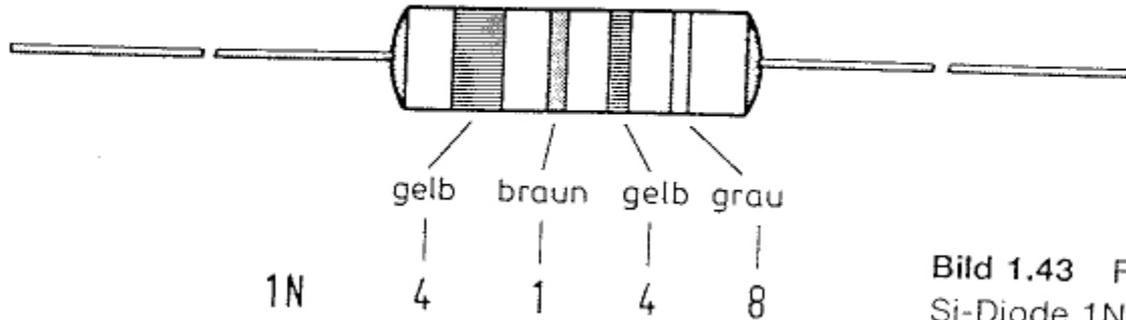


Bild 1.43 FarbKennzeichnung der Si-Diode 1N4148 nach JEDEC

# Vorlesung - Analogelektronik

## Kennzeichnung nach »Pro Electron«

- A = Germanium
- B = Silizium

Durch den 2. Buchstaben wird die Hauptfunktion näher beschrieben:

- A = Allgemeine Kleinsignalgleichrichtung, Schaltodiode
- B = Kapazitätsdiode
- E = Tunneldiode
- G = Oszillatordiode für HF-Anwendung
- H = Diode, die auf ein Magnetfeld anspricht
- X = Vervielfacherdiode
- Y = Leistungsdiode für Netzgleichrichter
- Z = Z-Diode; Referenzdiode

Der 3. Buchstabe wird zur Kennzeichnung von kommerziellen Typen benutzt. Verwendet werden hier überwiegend die Buchstaben X und Y sowie auch Z.

Breite Farbringe		Schmale Farbringe	
1. und 2. Buchstabe	3. Buchstabe	Ziffern	
Braun — AA	Weiß — Z	Schwarz — 0	
Rot — BA	Grau — Y	Braun — 1	
	Schwarz — X	Rot — 2	
	Blau — W	Orange — 3	
	Grün — V	Gelb — 4	
	Gelb — T	Grün — 5	
	Orange — S	Blau — 6	
		Violett — 7	
		Grau — 8	
		Weiß — 9	

Bild 1.44 Farbschlüssel für die Diodenkennzeichnung nach »Pro Electron«

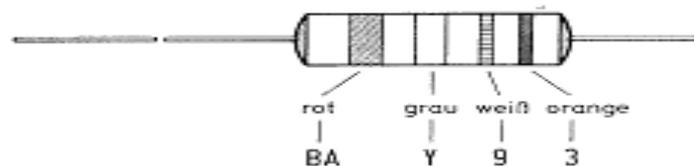


Bild 1.45 Farbkennzeichnung der Diode BAY 93

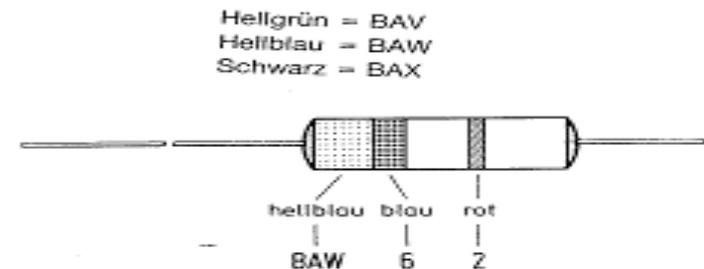


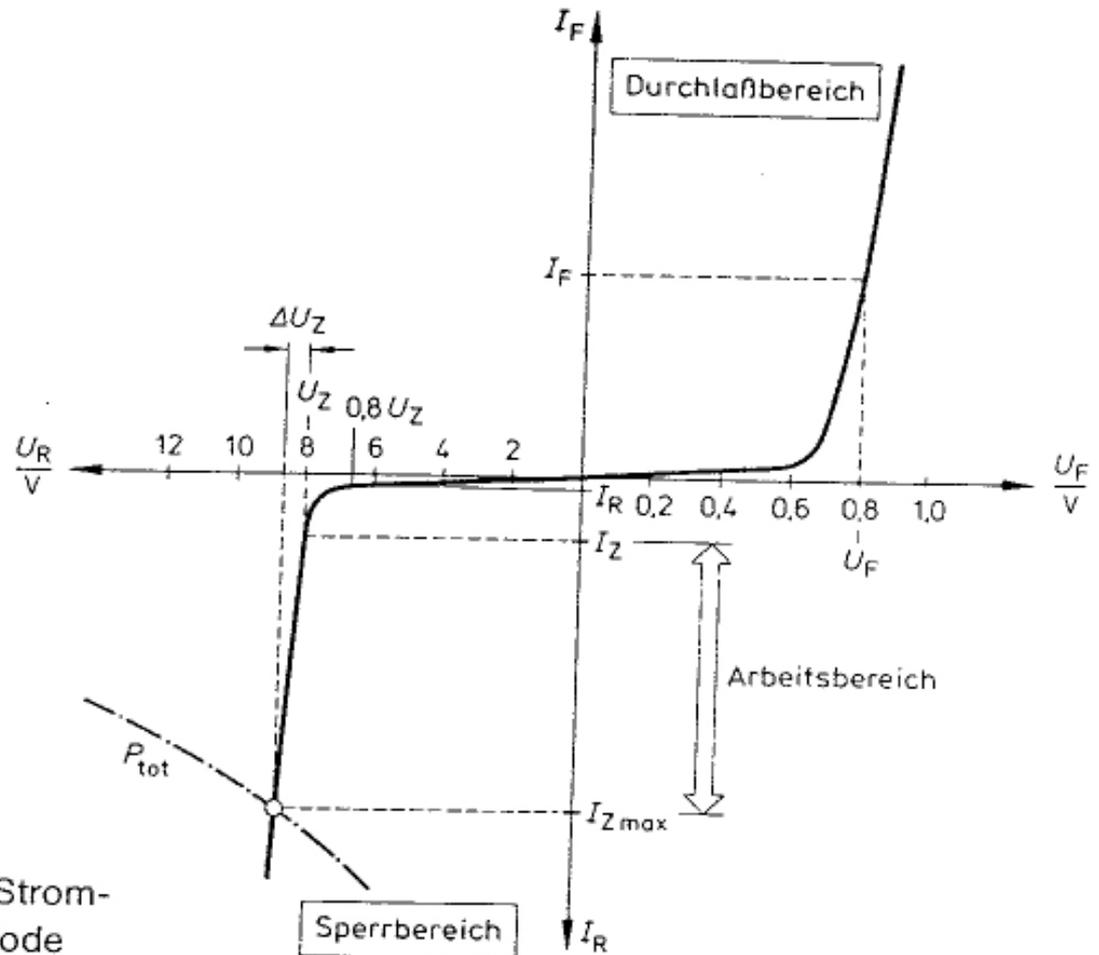
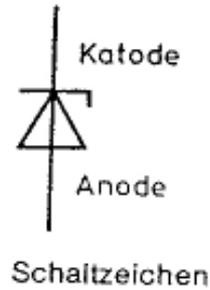
Bild 1.46 Farbkennzeichnung der Diode BAW 62

# 1. Bauelemente der Elektronik

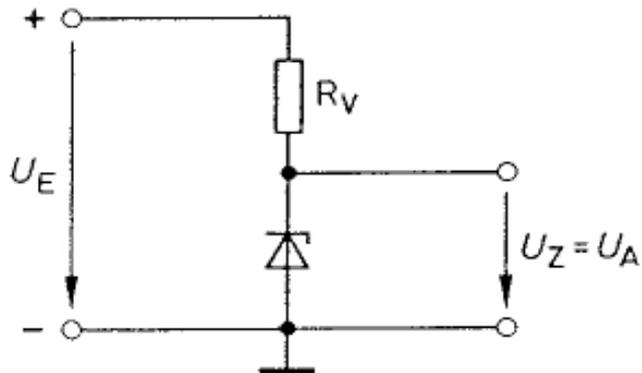
## 1.1. Passive Bauelemente

### 1.1.5. HL – Dioden

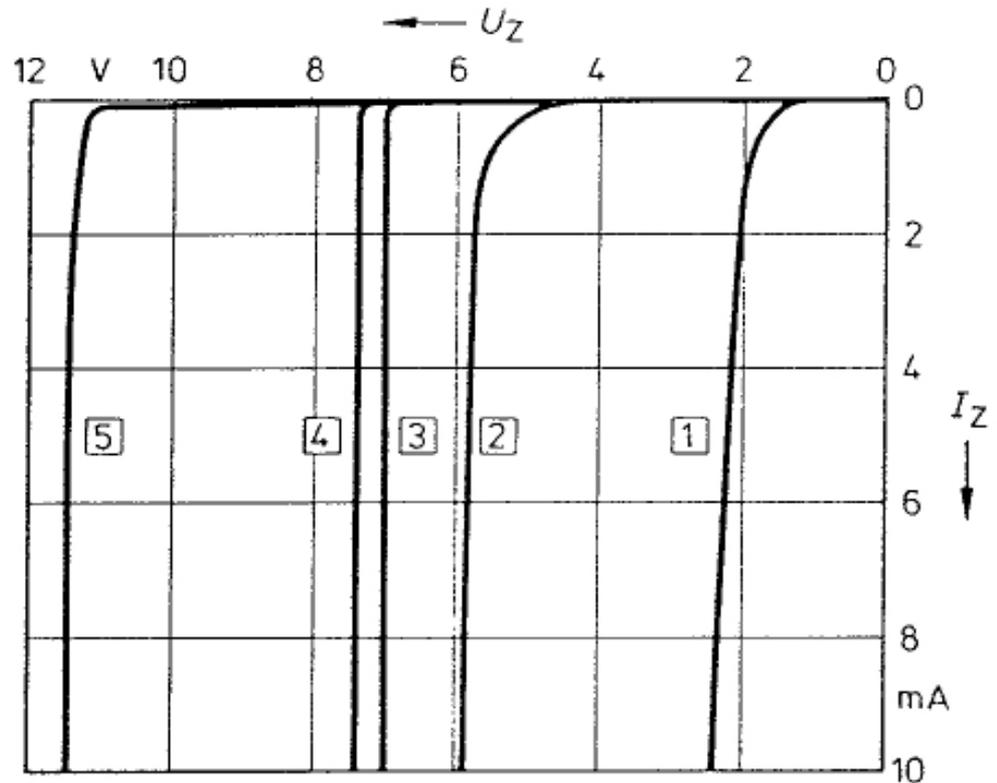
#### 1.1.5.2. Z – Diode



**Bild 1.81** Schaltzeichen und Strom-Spannungskennlinie einer Z-Diode

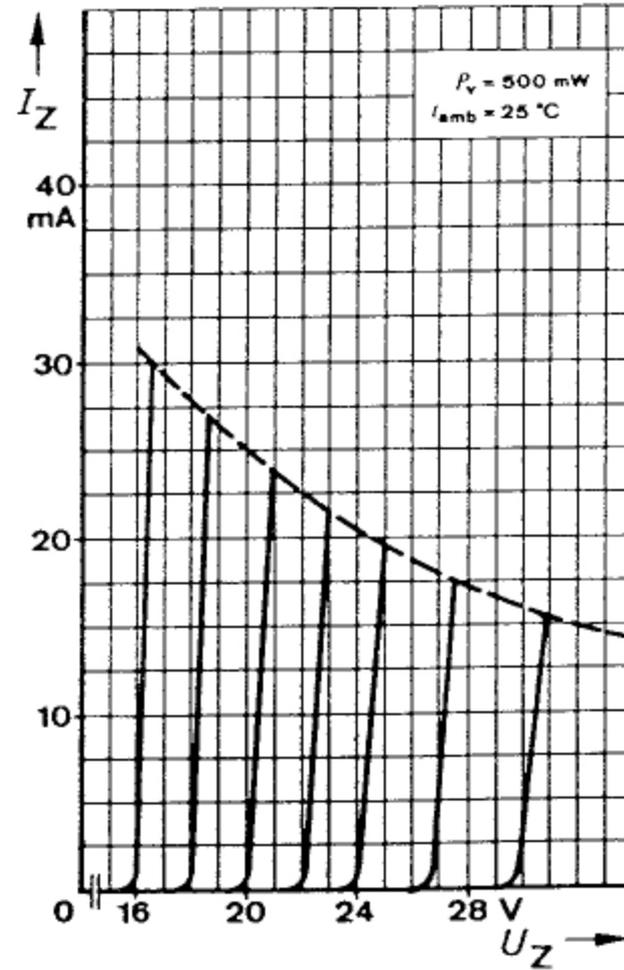
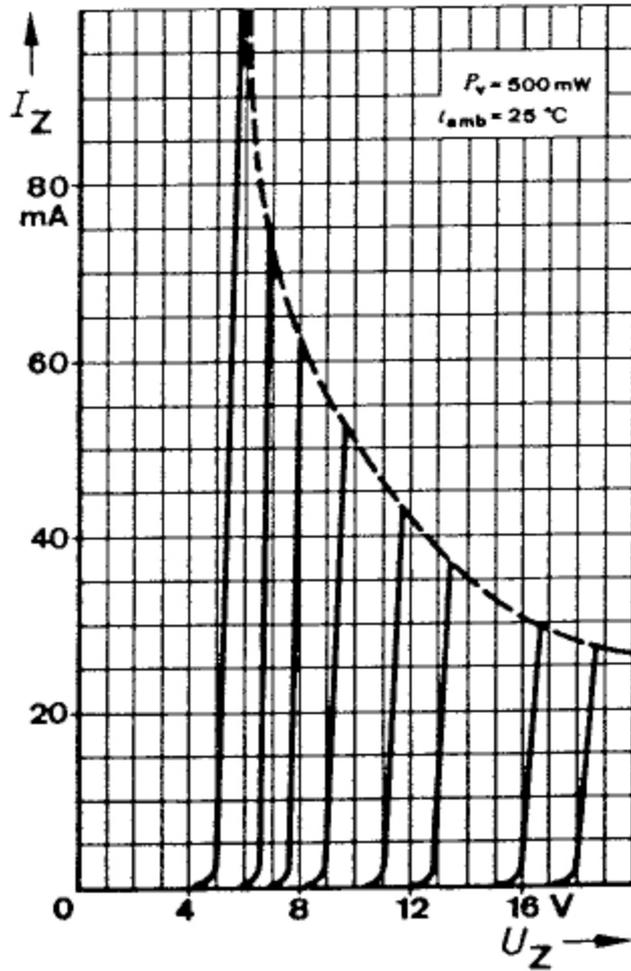


**Bild 1.79** Spannungsstabilisierungsschaltung mit Z-Diode

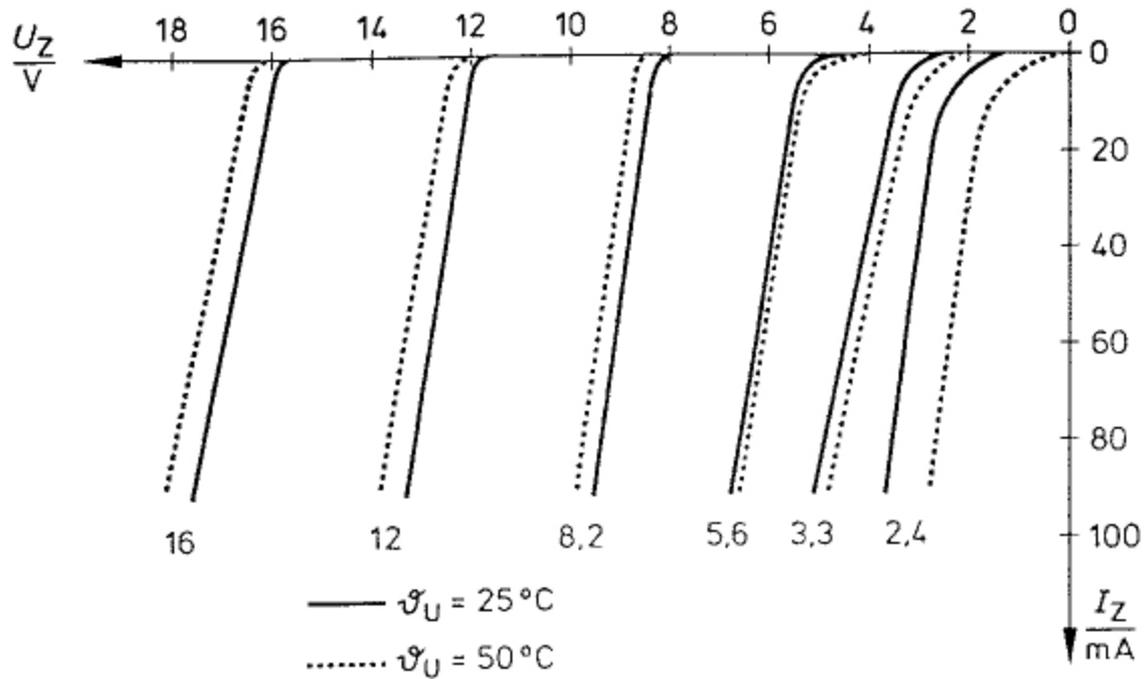


**Bild 1.80** Durchbruchkennlinien verschiedener Z-Dioden

# Vorlesung - Analogelektronik



# Vorlesung - Analogelektronik



**Bild 1.84** Temperaturabhängigkeit der Durchbruchkennlinie von Z-Dioden

# Vorlesung - Analogelektronik

$$U_{Z \text{ warm}} = U_Z + U_Z \cdot TK_{UZ} \cdot \Delta T \\ = U_Z (1 + TK_{UZ} \cdot \Delta T)$$

Temperaturbeiwert  $TK = f(U_Z)$

mit  $U_{Z \text{ warm}}$  = Z-Spannung bei höherer Temperatur als +25 °C

$U_Z$  = Nennspannung der Z-Diode

$TK_{UZ}$  = Temperaturbeiwert der Z-Diode

$\Delta T$  = Temperaturänderung

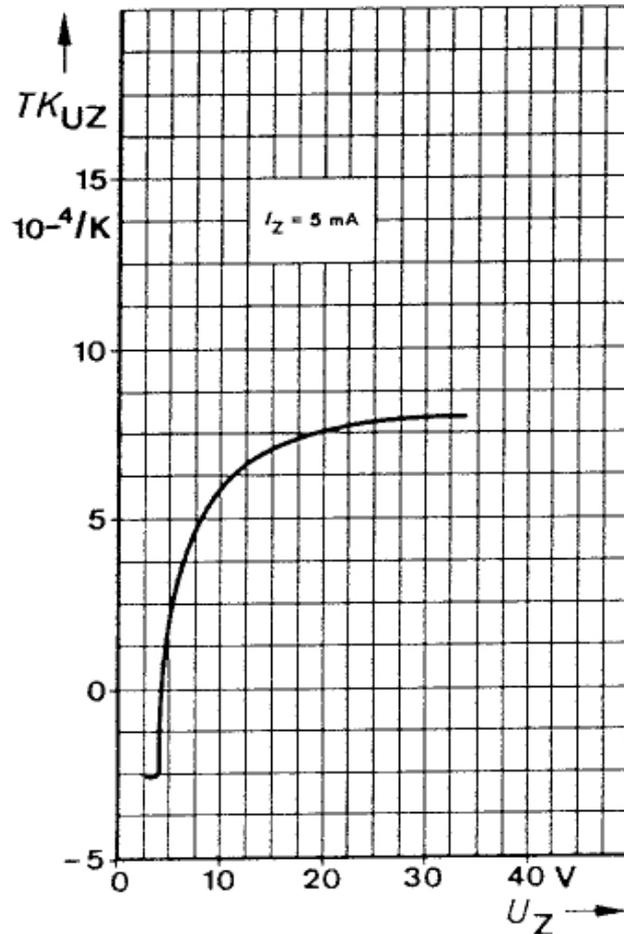
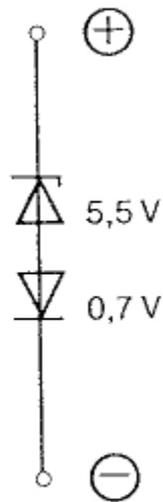
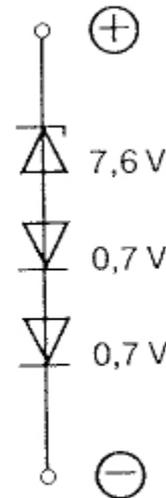


Bild 1.85 Temperaturbeiwert von Z-Dioden in Abhängigkeit von der Z-Spannung

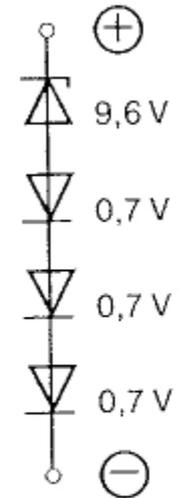
**Bild 1.86** Aufbauschema für Referenzdioden



$U_z = 6,2\text{ V}$   
1N821-Reihe



$U_z = 9,0\text{ V}$   
1N935-Reihe



$U_z = 11,7\text{ V}$   
1N941-Reihe

# Vorlesung - Analogelektronik

BZX83C...

Kenndaten bei  $T_c = 25^\circ\text{C}$

Typ	Nennspannung $U_z$ (V)	Durchbruchspannungsbereich $U_z$ (V)	dyn. Widerstand $f = 1000\text{ Hz}$		Sperrstrom		Maximal zulässiger Z-Strom $I_{z,max}$ (mA)	TK der $U_z$ $\alpha U_z \cdot 10^{-5}/\text{K}$ bei $I_z = 50\text{ mA}$	Durchlaßspannung $U_f$ (V)
			$I_z = 5\text{ mA}$ $r_z$ ( $\Omega$ )	$I_z = 1\text{ mA}$ $r_z$ ( $\Omega$ )	bei $I_{z0}$ ( $\mu\text{A}$ )	$U_{z0}$ (V)			
BZX83 C0V8	0,78	0,73 bis 0,83	<10	-	-	-	-	-	-
BZX83 C2V4	2,4	2,28 bis 2,56	<90	<600	<120	1	<155	-8	<1
BZX83 C2V7	2,7	2,5 bis 2,9	<90	<600	<100	1	<135	-7	<1
BZX83 C3V0	3,0	2,8 bis 3,2	<90	<600	<60	1	<125	-7	<1
BZX83 C3V3	3,3	3,1 bis 3,5	<90	<600	<30	1	<115	-6	<1
BZX83 C3V6	3,6	3,4 bis 3,8	<90	<600	<20	1	<105	-6	<1
BZX83 C3V9	3,9	3,7 bis 4,1	<90	<600	<10	1	<95	-5,5	<1
BZX83 C4V3	4,3	4,0 bis 4,6	<85	<600	<5	1	<90	-4,5	<1
BZX83 C4V7	4,7	4,4 bis 5,0	<80	<600	<2	1	<85	2	<1
BZX83 C5V1	5,1	4,8 bis 5,4	<60	<550	<1	1	<75	2	<1
BZX83 C5V6	5,6	5,2 bis 6,0	<40	<450	<1	1	<70	3	<1
BZX83 C6V2	6,2	5,8 bis 6,6	<10	<200	<1	2	<64	4	<1
BZX83 C6V8	6,8	6,4 bis 7,2	<8	<150	<1	3	<58	4,5	<1
BZX83 C7V5	7,5	7,0 bis 7,9	<7	<50	<1	3,5	<53	5	<1
BZX83 C8V2	8,2	7,7 bis 8,7	<7	<50	<1	4	<47	5,5	<1
BZX83 C9V1	9,1	8,5 bis 9,6	<10	<50	<1	5	<43	6	<1
BZX83 C10	10	9,4 bis 10,6	<15	<70	<1	6	<40	6,5	<1
BZX83 C11	11	10,4 bis 11,6	<20	<70	<1	7	<36	7	<1
BZX83 C12	12	11,4 bis 12,7	<20	<90	<1	8	<31	7	<1
BZX83 C13	13	12,4 bis 14,1	<25	<110	<1	9	<29	7,5	<1
BZX83 C15	15	13,8 bis 15,6	<30	<110	<1	11	<27	7,5	<1
BZX83 C16	16	15,3 bis 17,1	<40	<170	<1	11	<24	8	<1
BZX83 C18	18	16,8 bis 19,1	<55	<170	<1	12	<21	8	<1
BZX83 C20	20	18,8 bis 21,2	<55	<220	<1	14	<20	8	<1
BZX83 C22	22	20,8 bis 23,3	<60	<220	<1	15	<18	8,5	<1
BZX83 C24	24	22,8 bis 25,6	<80	<220	<1	16	<16	8,5	<1
BZX83 C27	27	25,1 bis 28,9	<90	<220	<1	18	<14	8,5	<1
BZX83 C30	30	28 bis 32	<90	<220	<1	20	<13	9	<1
BZX83 C33	33	31 bis 35	<90	<220	<1	22	<12	9	<1
BZX83 C36	36	34 bis 38	<90	<250	<1	25	<11	9	<1
BZX83 C39	39	37 bis 41	<100	<600	<1	27	<10	9	<1
BZX83 C43	43	40 bis 46	<100	<700	<1	30	<9,2	9	<1
BZX83 C47	47	44 bis 50	<120	<1000	<1	33	<8,5	9	<1

Bild 1.89 Datenblatt für die Baureihe BZX83 C ...

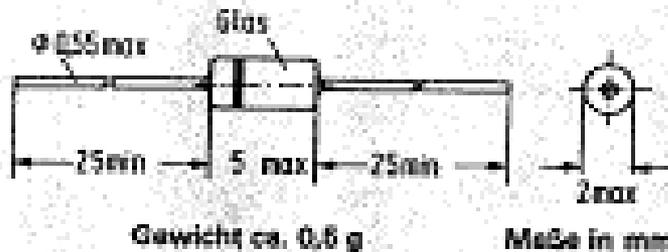
# Vorlesung - Analogelektronik

Kenndaten bei $T_L = 25^\circ\text{C}$									
Typ	Nennspannung $U_Z$ (V)	Durchbruchspannungsbereich $U_Z$ (V)	dyn. Widerstand $f = 1000\text{ Hz}$		Sperrstrom				
			$I_Z = 5\text{ mA}$ $r_Z$ ( $\Omega$ )	$I_Z = 1\text{ mA}$ $r_Z$ ( $\Omega$ )	bei $I_Z$ ( $\mu\text{A}$ )	Maximal zulässiger Z-Strom $I_{Z\text{max}}$ (mA)	TK der $U_Z$ bei $I_Z$ $\alpha U_Z \cdot 10^{-4}/\text{K}$	Durchlaßspannung bei $I_T = 50\text{ mA}$ $U_T$ (V)	
BZX83 C0V8	0,78	0,73 bis 0,83	<10	-	-	-	-	-	-
BZX83 C2V4	2,4	2,28 bis 2,56	<90	<600	<120	1	<155	-8	<1
BZX83 C5V1	5,1	4,8 bis 5,4	<60	<550	<1	1	<75	2	<1
BZX83 C5V6	5,6	5,2 bis 6,0	<40	<450	<1	1	<70	3	<1
BZX83 C6V2	6,2	5,8 bis 6,6	<10	<200	<1	2	<64	4	<1
BZX83 C6V8	6,8	6,4 bis 7,2	<8	<150	<1	3	<58	4,5	<1
BZX83 C7V5	7,5	7,0 bis 7,9	<7	<50	<1	3,5	<53	5	<1
BZX83 C8V2	8,2	7,7 bis 8,7	<7	<50	<1	4	<47	5,5	<1

## Z-Dioden 0,5 W im Glasgehäuse

BZX 83 C ...

BZX 83 ... ist eine epitaktische Silizium-Planar-Z-Diode im Glasgehäuse 56 A2 DIN 41 883 (DO-35). Sie dient zur Stabilisierung und Begrenzung von Spannungen im Bereich von 0,78 bis 47 V sowie zur Erzeugung von Vergleichsspannungen bei kleinem Leistungsbedarf. Durch die moderne Technologie wird ein besonders scharfer Abbruch der Sperrkennlinie, ein niedriges Rauschen und ausgezeichnete zeitliche Stabilität der elektrischen Daten gesichert. Die Kathodenseite wird durch einen Farbring gekennzeichnet.



### Grenzdaten ( $T_U = 25^\circ\text{C}$ )

Lagertemperatur	$T_g$	- 55 bis + 175	$^\circ\text{C}$
Sperrschichttemperatur	$T_j$	max. 175	$^\circ\text{C}$
max. Durchlaßstrom	$I_{F\text{max}}$	400	mA
Maximale Verlustleistung	$P_{\text{tot}}$	500 <sup>1)</sup>	mW
Wärmewiderstand Sperrschicht/Lötstelle	$R_{\text{th,jL}}$	$\leq 250$	K/W

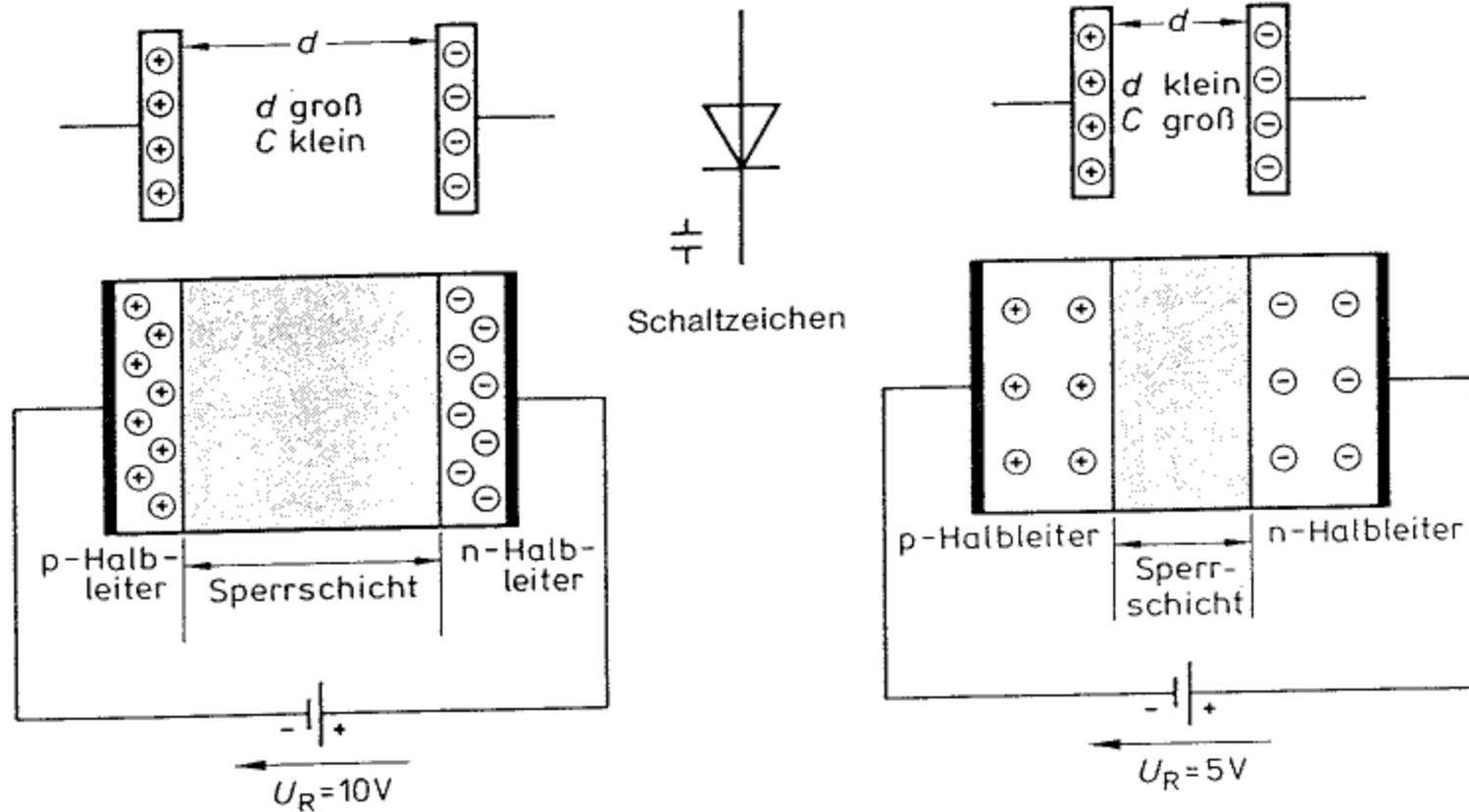
<sup>1)</sup> Diese Werte gelten, wenn die Anschlußdrähte in 6 mm Abstand vom Gehäuse auf  $50^\circ\text{C}$  gehalten werden.

# 1. Bauelemente der Elektronik

## 1.1. Passive Bauelemente

### 1.1.5. HL – Dioden

#### 1.1.5.3. Kapazitätsdiode



**Bild 1.100** Schaltzeichen und Zusammenhang zwischen Sperrspannung, Sperrschichtbreite und Kapazität einer Kapazitätsdiode

# Vorlesung - Analogelektronik

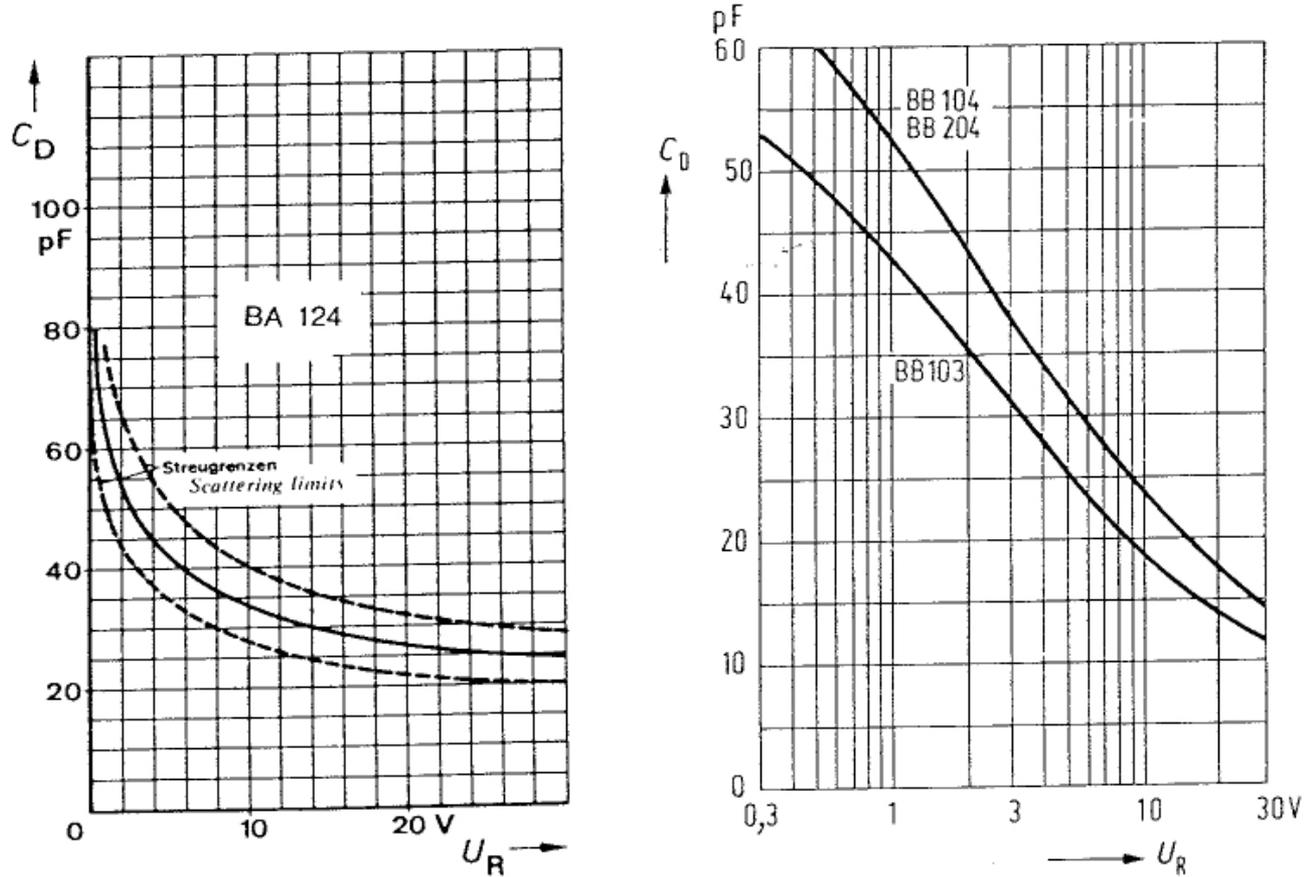


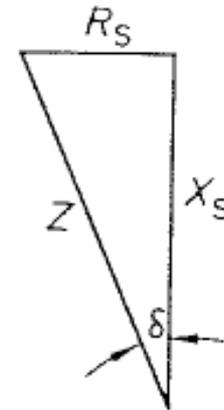
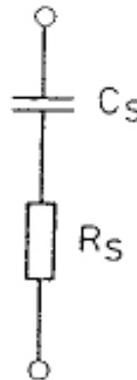
Bild 1.101  $C_D$  als Funktion von  $U_R$  bei Kapazitätsdioden

$C_D \approx 3$  bis  $10$  pF

$C_D \approx 20$  bis  $50$  pF

$C_D \approx 50$  bis  $200$  pF

**Bild 1.102** Vereinfachtes Ersatzschaltbild einer Kapazitätsdiode mit zugehörigem Widerstandsdreieck



## Silizium-Kapazitätsdioden

**BB 105 A**  
**BB 105 B**  
**BB 105 G**

für den UHF/VHF-Bereich

**BB 105 A**, **BB 105 B** und **BB 105 G** sind doppeltdiffundierte epitaktische Silizium-Kapazitätsdioden in Planartechnik mit Kunststoffumhüllung (SOD-23). Sie eignen sich besonders zur Verwendung als Abstimmioden in Fernseh-Kanalwählern.

Die Kathode ist durch einen weißen Farbstrich gekennzeichnet.

**BB 105 A** für UHF-Kanalwähler bis 790 MHz

**BB 105 B** für UHF-Kanalwähler bis 860 MHz

**BB 105 G** für VHF-Kanalwähler, ist durch einen zusätzlichen grünen Farbstrich gekennzeichnet

### Grenzdaten

		<b>BB 105 A</b>	<b>BB 105 B</b>	<b>BB 105 G</b>	
Sperrspannung	$U_R$	28	28	28	V
Sperrspannung Scheitelwert	$U_{RM}$	30	30	30	V
Durchlaßstrom ( $T_U \leq 60^\circ\text{C}$ )	$I_F$	20	20	20	mA
Umgebungstemperatur	$T_U$	- 55 bis + 100			$^\circ\text{C}$

# Vorlesung - Analogelektronik

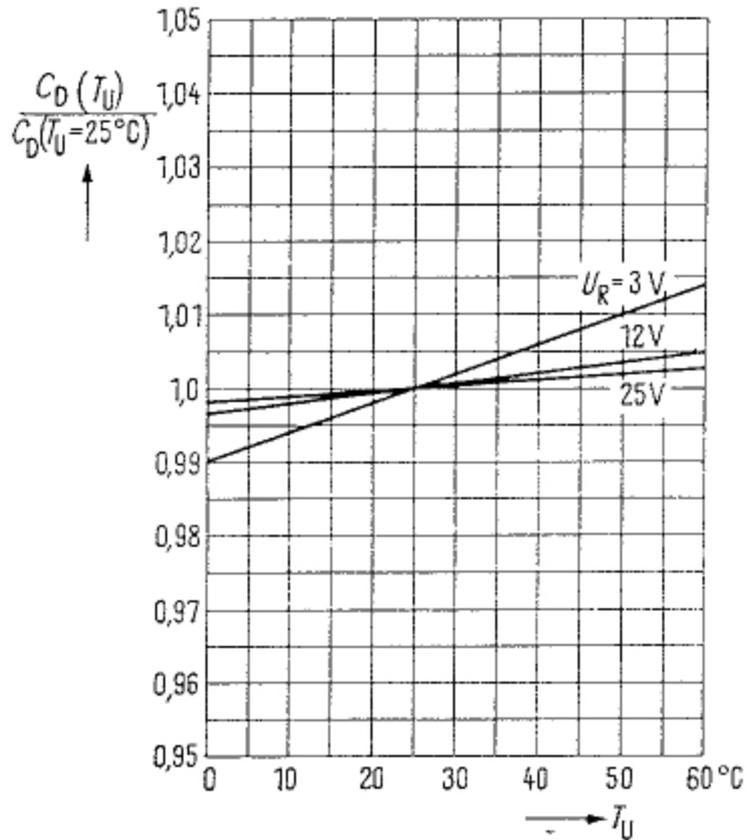
Kenndaten ( $T_U = 25^\circ\text{C}$ )		BB 105 A	BB 105 B	BB 105 G	
Sperrstrom ( $U_R = 28\text{ V}; T_U = 25^\circ\text{C}$ )	$I_R$	$\leq 50$	$\leq 50$	$\leq 50$	nA
Sperrstrom ( $U_R = 28\text{ V}; T_U = 60^\circ\text{C}$ )	$I_R$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	$\mu\text{A}$
Kapazität ( $U_R = 1\text{ V}; f = 500\text{ kHz}$ )	$C_D$	17	17,5	17,5	pF
Kapazität ( $U_R = 3\text{ V}; f = 500\text{ kHz}$ )	$C_D$	11,5	11,5	11,5	pF
Kapazität ( $U_R = 25\text{ V}; f = 500\text{ kHz}$ )	$C_D$	2,3 bis 2,8	2,0 bis 2,3	1,8 bis 2,8	pF
Kapazitätsverhältnis ( $f = 500\text{ kHz}$ )	$\frac{C_{D3V}}{C_{D25V}}$	4 bis 5	4,5 bis 6	4 bis 6	-
Serienwiderstand ( $f = 470\text{ MHz}; C_D = 9\text{ pF}$ )	$R_s$	0,6 ( $\leq 0,8$ )	0,7 ( $\leq 0,8$ )	0,9 ( $\leq 1,2$ )	$\Omega$

# Vorlesung - Analogelektronik

**Temperaturabhängigkeit der Sperrschichtkapazität**

$$\frac{C_D(T_U)}{C_D(25^\circ\text{C})} = f(T_U)$$

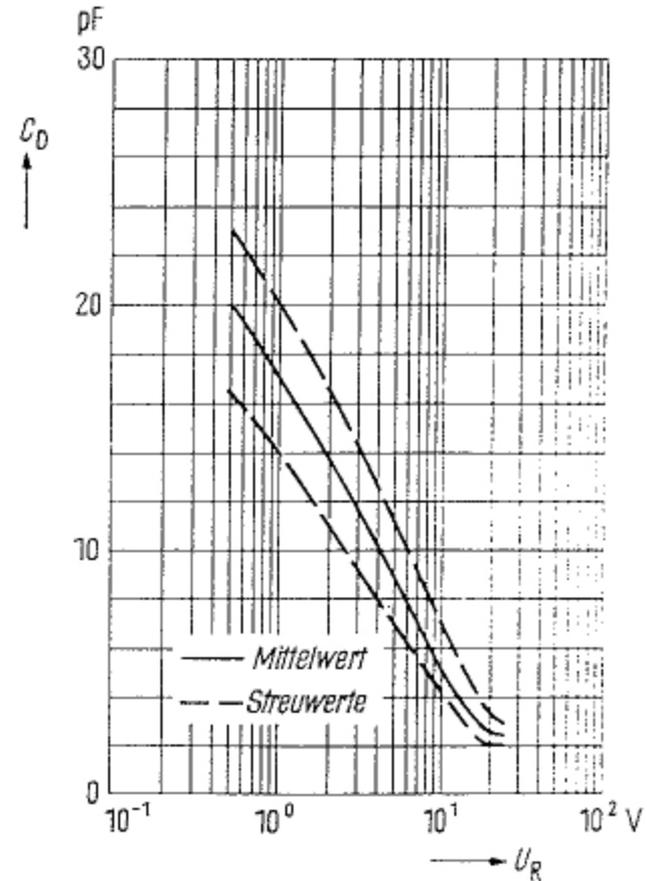
BB 105 A, BB 105 B, BB 105 G



**Spannungsabhängigkeit der Sperrschichtkapazität  $C_D = f(U_R)$**

$$f = 500 \text{ kHz}; T_U = 25^\circ\text{C}$$

BB 105 A



**Bild 1.103** Datenblatt für Kapazitätsdioden

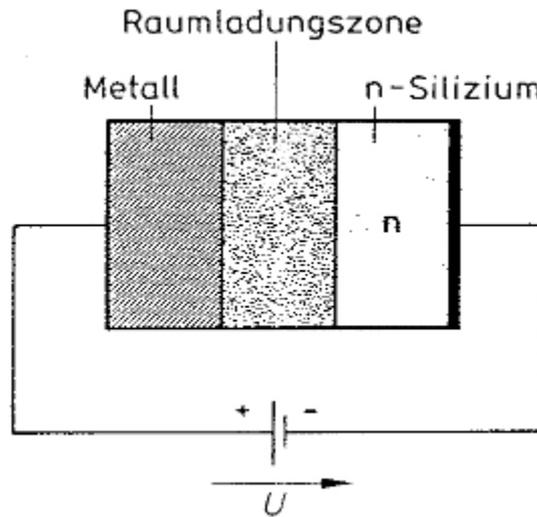
# 1. Bauelemente der Elektronik

## 1.1. Passive Bauelemente

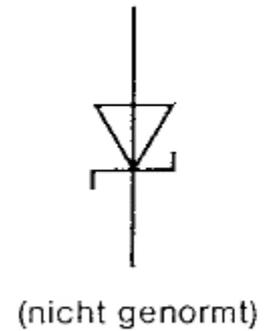
### 1.1.5. HL – Dioden

#### 1.1.5.4. Schottky – Diode

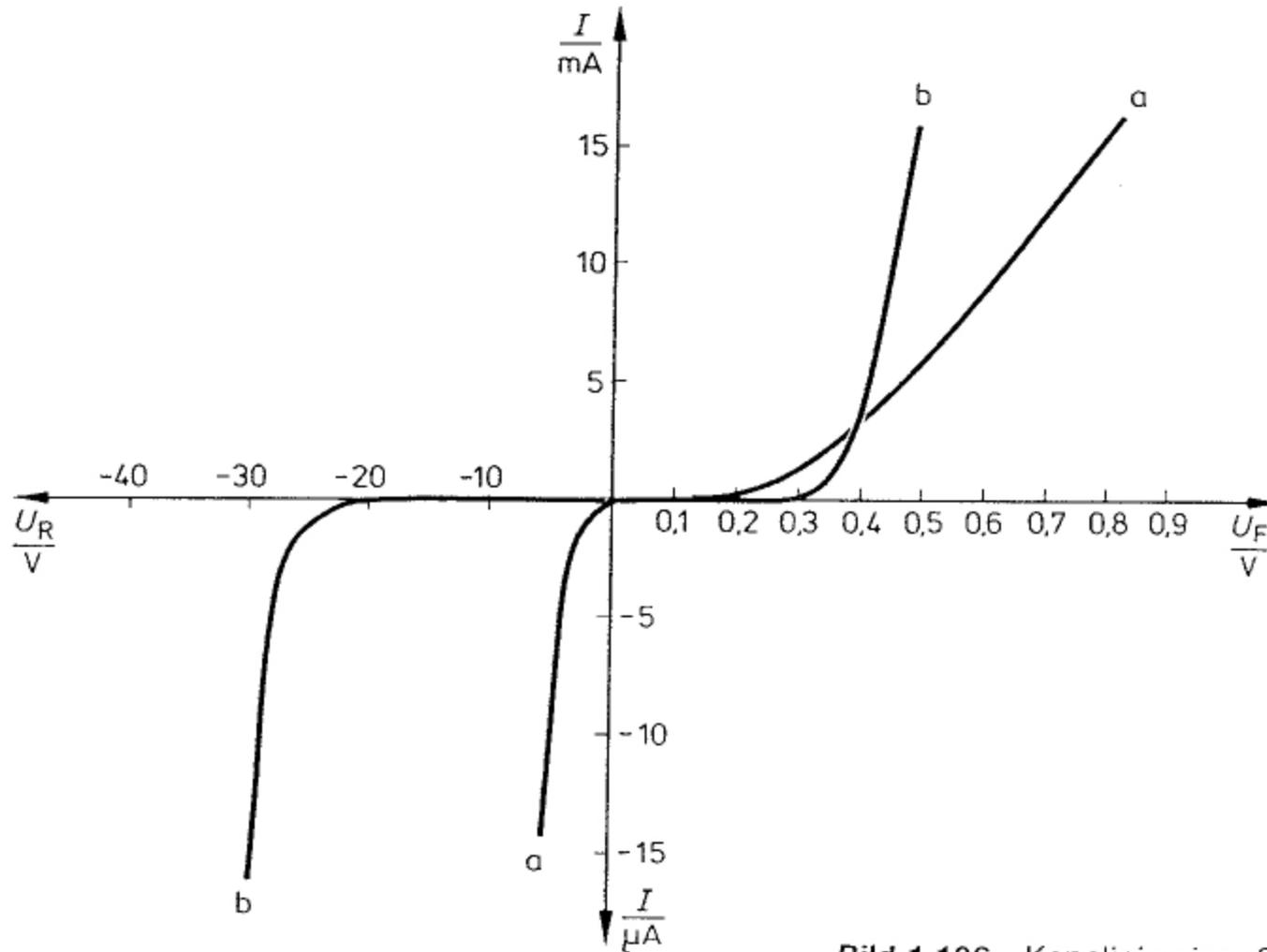
**Bild 1.105** Prinzipaufbau einer Schottky-Diode mit Batteriepolung in Durchlaßrichtung und Schaltzeichen (nicht genormt)



Schaltzeichen



# Vorlesung - Analogelektronik



a) Ge-Spitzendiode, b) Schottky-Diode

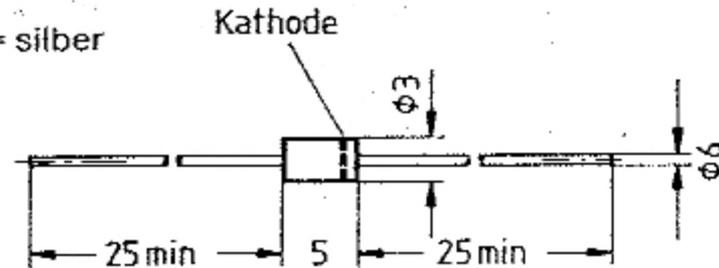
Bild 1.106 Kennlinie einer Schottky-Diode und einer Ge-Spitzendiode

## Silizium-Schottky-Gleichrichterdiode

BYS21

### Schottky-Dioden für 45 V; 1,0 A

Applikation	vorwiegend für den Einsatz in getakteten Niedervolt-Stromversorgungen (5 V bis 12 V) und DC/DC-Wandlern.
Tablette	Silizium, diffundiert
Gehäuse	Kunststoff umpreßt
Kennzeichnung	Kathode = Farbring Spannungsklasse 45 V = Silber



### Technische Daten

Periodische Spitzensperrspannung	$U_{RRM}$	45 V
Stoßspitzensperrspannung	$U_{RSM}$	48 V
Sperrstrom	$I_R$	max. 2 mA
Dauergrenzstrom	$I_{FAV}$	1,0 A
Stoßstrom	$I_{FSM}$	50 A
Durchlaßspannung	$U_F$	max. 0,55 V
Betriebstemperaturbereich	$T_j$	-40 °C bis +125 °C
Lagertemperaturbereich	$T_{stg}$	-40 °C bis +125 °C

### Nebenbedingungen

bei  $U_{RRM}$   
 $T_{amb} = 25 °C$   
 Sinus 50 Hz,  
 bei Nennlast  
 $I_F = 1,0 A$

# Vorlesung - Analogelektronik



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

### Aktive Bauelemente

#### Transistor

- **Bipolar – Q**
- **Sperrschicht FET – J**
- **MOSFET – M**

#### Leistungselektronik

- Thyristor
- Zweirichtungs-Triode (TRIAC)
- IGBT

#### ICs

- Integrierte Schaltungen (Bipolar)
- Integrierte Schaltungen (Unipolar)
- Integrierte Schaltungen (BiCMOS)

#### Optoelektronik

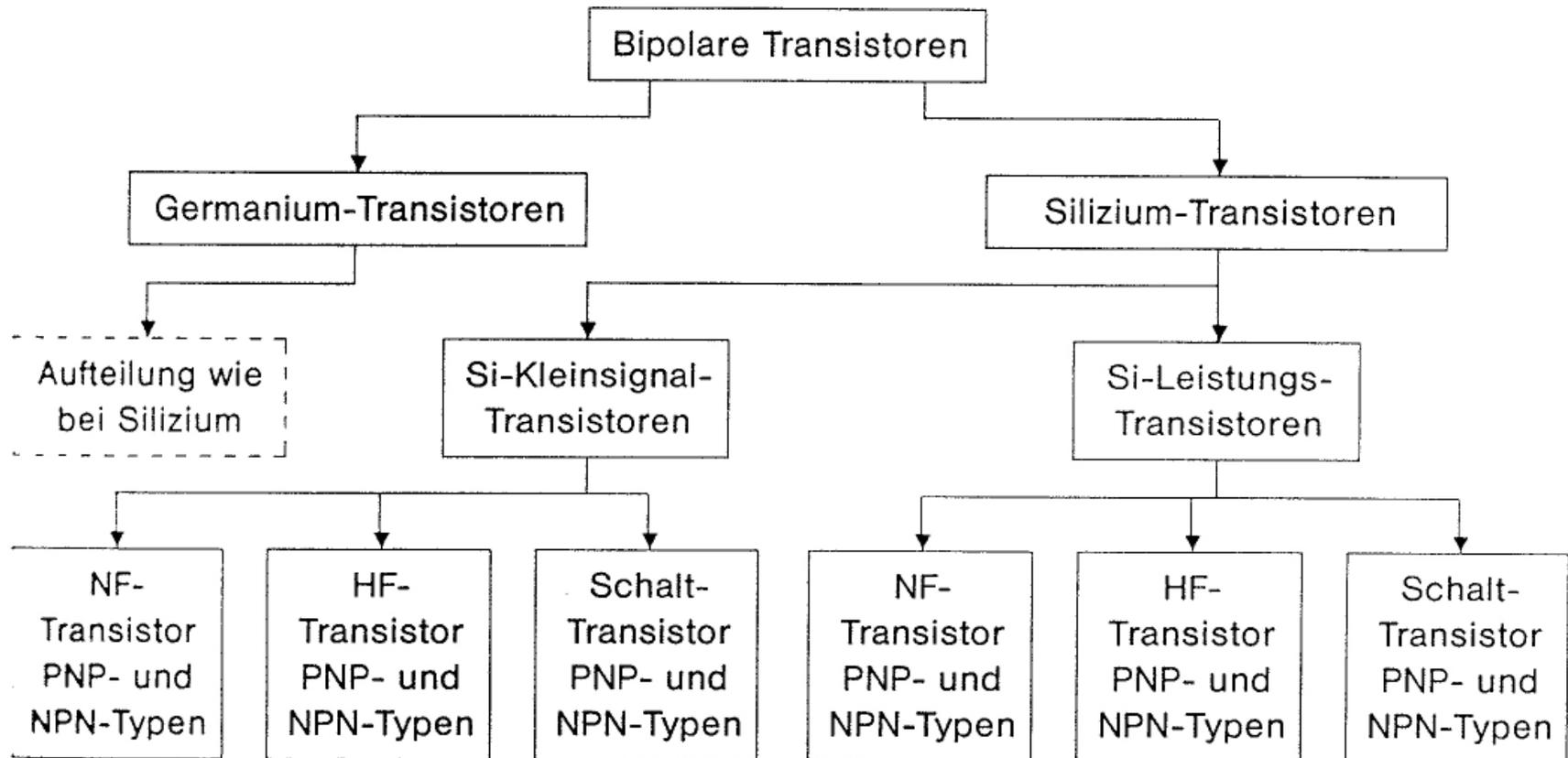
- opt. Empfänger
- opt. Sender
- Laserdiodenmodule

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

### 1.2.1 Bipolartransistor

#### 1.2.1.0 Einteilung der Bipolartransistoren



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

### 1.2.1 Bipolartransistor

#### 1.2.1.1 Historisches, Aufbau und Wirkungsweise

Der Bipolartransistor wurde von den US-Amerikanern Bardeen, Brattain und Shockley erfunden.

Die Präsentation des Transistoreffekts durch das in den Bell-Laboratorien arbeitende Team erfolgte 1947.

1956 erhielten die drei maßgeblichen Erfinder des Transistoreffekts den Nobelpreis.

Der Transistor löste rasch die in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts eingeführte Elektronen-Röhre ab, wegen seiner platzsparenden, robusten, zuverlässigen und mit niedrigen Spannungen auskommenden Eigenschaften.

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

### 1.2.1 Bipolartransistor

#### 1.2.1.1 Historisches, Aufbau und Wirkungsweise

Integrierte Bipolartransistoren kamen ab ca. 1960 auf.

Die Idee der Schaltungsintegration stammt von Noyce, Kilby und Lehovec aus dem Jahre 1959.

Das Bild 1.2.1-1 auf der nächsten Folie zeigt einen integrierten Bipolartransistor mit Basiskontakt, Emitterkontakt und Kollektorkontakt, umgeben von einem Isolationsrahmen (gesperrter pn-Übergang).

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

### 1.2.1 Bipolartransistor

#### 1.2.1.1 Historisches, Aufbau und Wirkungsweise

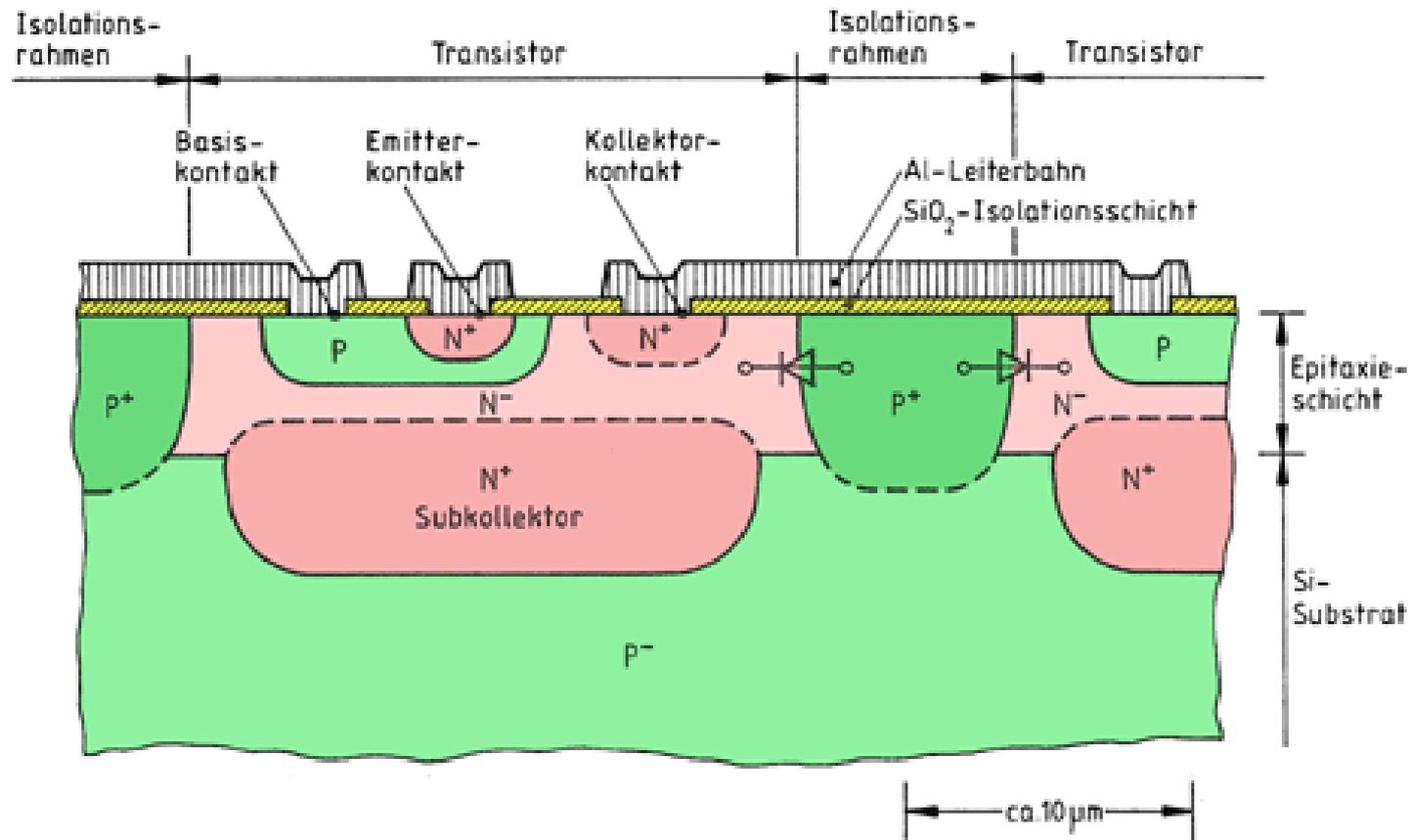


Bild 1.2.1-1 Typischer Aufbau von integrierten npn-Bipolartransistoren

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

### 1.2.1 Bipolartransistor

#### 1.2.1.1 Historisches, Aufbau und Wirkungsweise

Im Folgenden gilt es das Transistorelement, dessen Aufbau und physikalische Wirkungsweise zu erläutern.

Der Bipolartransistor besteht aus zwei pn-Übergängen in ein Si-Halbleiter-Basismaterial (Bild 1.2.1-2a auf der nächsten Folie), die durch Dotierungsprozesse eingebracht sind.

Dabei ist die Basisschicht gegenüber der Emitter- und Kollektorschicht sehr schmal ausgeführt und schwächer dotiert, so dass sich die Raumladungszonen der beiden pn-Übergänge überlagern.

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

### 1.2.1 Bipolartransistor

#### 1.2.1.1 Historisches, Aufbau und Wirkungsweise

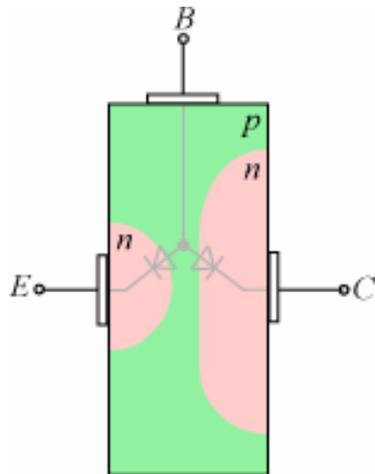
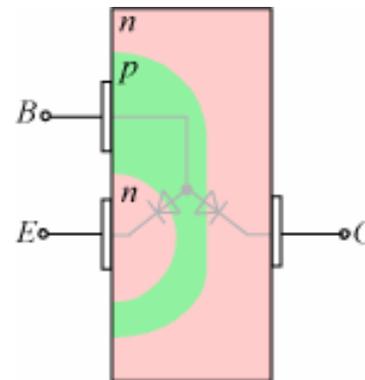


Bild 1.2.1-2a

a1) Emitter- und Kollektorzone  
im Basissubstrat



a2) Basis in Kollektorzone und Emitter  
in Basiszone

Der Emitter "emittiert" Elektronen, die vom Kollektor "aufgefangen" werden, insofern ist die Kollektorzone deutlich größer auszuführen, als die Emitterzone. In Bild 1.2.1-2a2 ist die Kollektorzone in ihrer "Auffangfunktion" günstiger ausgeprägt als in Bild 1.2.1-2a1.

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

### 1.2.1 Bipolartransistor

#### 1.2.1.1 Historisches, Aufbau und Wirkungsweise

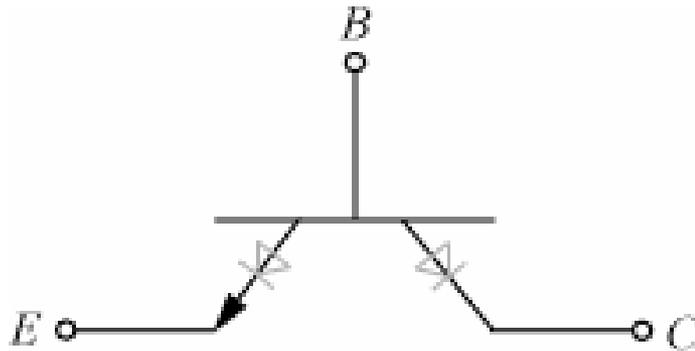


Bild 1.2.1-2b

Bild 1.2.1-2b zeigt das Symbol des Bipolartransistors mit den Diodenstrecken.

Da die Kollektor-Basis Diode im Normalbetrieb gesperrt ist, wird sie im Symbol weggelassen.

Die Diodenstrecke ist als solche immer wirksam.

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

### 1.2.1 Bipolartransistor

#### 1.2.1.1 Historisches, Aufbau und Wirkungsweise

In einer konkreten Schaltung eingebaut stellt sich ein bestimmtes Klemmenverhalten des Transistors ein. Bild 1.2.1-3 zeigt das Klemmenverhalten des npn- bzw. pnp-Transistors.

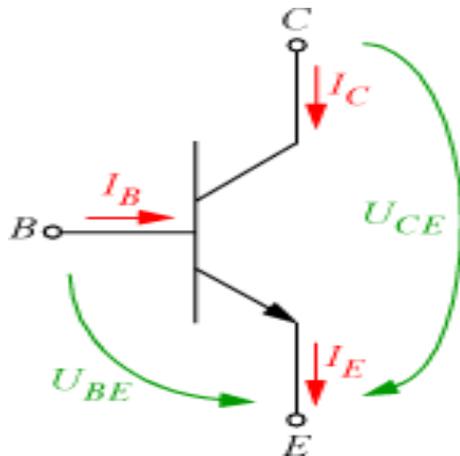


Bild 1.2.1-3a npn - Typ

$$U_{BE} \approx 0,7V; U_{CE} > 0,5V; I_B = I_C/\beta; I_E = I_C/\alpha$$

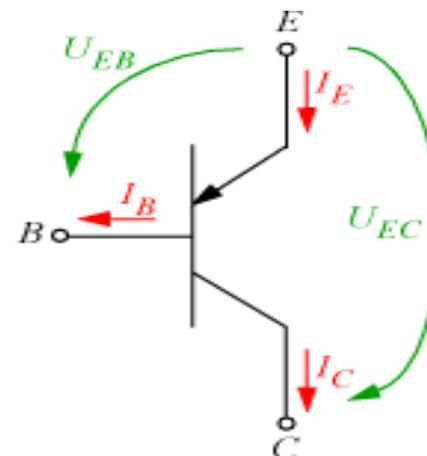


Bild 1.2.1-3b pnp - Typ

$$U_{EB} \approx 0,7V; U_{EC} > 0,5V; I_B = I_C/\beta; I_E = I_C/\alpha$$

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

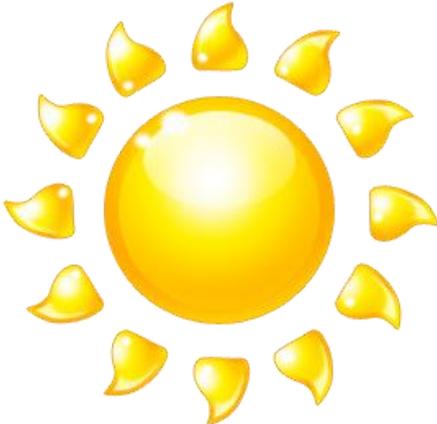
### 1.2.1 Bipolartransistor

#### 1.2.1.1 Historisches, Aufbau und Wirkungsweise

Um den Transistoreffekt wirksam werden zu lassen, muss die Emitter-Basis Diode in Durchlassrichtung ( $U_{BE} > 0,7 \text{ V}$ ) und die Kollektor-Basis Diode in Sperrrichtung ( $U_{CB} > 0,5 \text{ V}$ ) betrieben werden.

(Funktion anhand einer Skizze erklären !!!)

# Vorlesung - Analogelektronik



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

### 1.2.1 Bipolartransistor

#### 1.2.1.2 Strombilanz

Es gilt das 1. Kirchhoffsche Gesetz:

$$I_E + I_C + I_B = 0 \quad \sum I = 0$$

$$-I_E = I_C + I_B$$

Die Steuerung des Bipolartransistors kann sowohl über den Emitterstrom  $I_E$  als auch über den Basisstrom  $I_B$  erfolgen.

Es ergeben sich dabei zwei unterschiedliche Werte der Gleichstromverstärkung (Großsignalverstärkung).

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

### 1.2.1 Bipolartransistor

#### 1.2.1.2 Strombilanz

Gleichstromverstärkung bei Steuerung über den Emitterstrom  $I_E$  :

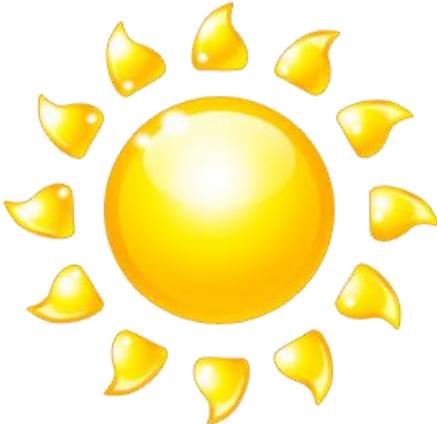
$$A = \frac{I_C}{I_E} \quad , \text{ da } I_C < I_E \text{ ergibt sich auch } \mathbf{A < 1} \text{ (z.B. } A = 0,99\text{).}$$

Gleichstromverstärkung bei Steuerung über den Basisstrom  $I_B$  :

$$B = \frac{I_C}{I_B} = \frac{A}{1 - A} \quad , \rightarrow \mathbf{B \gg 1} \quad , \text{ **echte** Stromverstärkung}$$

(z.B.  $B = 100$ )

# Vorlesung - Analogelektronik



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

### 1.2.1 Bipolartransistor

#### 1.2.1.3 Betriebsfälle

Der Bipolartransistor weist 2 innere Diodenstrecken auf.

Beide Diodenstrecken können jeweils in Durchlaßrichtung bzw. in Sperrrichtung betrieben werden.

Daraus ergeben sich die 4 folgenden Betriebsfälle:

<b>Emitter-Basis-Diode</b>	<b>Kollektor-Basis-Diode</b>	<b>Zustand des Transistors</b>
Durchlaßrichtung	Sperrrichtung	<i>Normalbetrieb</i>
Durchlaßrichtung	Durchlaßrichtung	<i>Sättigungsbetrieb</i>
Sperrrichtung	Durchlaßrichtung	<i>Inversbetrieb</i>
Sperrrichtung	Sperrrichtung	<i>Sperrbetrieb</i>

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

### 1.2.1 Bipolartransistor

#### 1.2.1.3 Betriebsfälle

- **Inversbetrieb:**

Wird in einem Anwendungsfall Kollektor und Emitter vertauscht, so stellt sich der Inversbetrieb ein.

Dabei ist die Kollektor-Basis Diode in Durchlaßrichtung betrieben und die Emitter-Basis Diode gesperrt.

Aufgrund der ungünstigeren Geometrieverhältnisse (siehe Bild 1.2.1-2a) ist der **Injektionsstrom** jetzt  $A_R \cdot I_C$ , wobei  **$A_R$  deutlich kleiner als 1** ist (typisch  $A_R \approx 0,1$ ), d.h. dass sehr viel mehr Elektronen (jetzt vom Kollektor emittiert) in der Basiszone rekombinieren, was den Transistoreffekt deutlich vermindert.

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

### 1.2.1 Bipolartransistor

#### 1.2.1.3 Betriebsfälle

- Inversbetrieb:

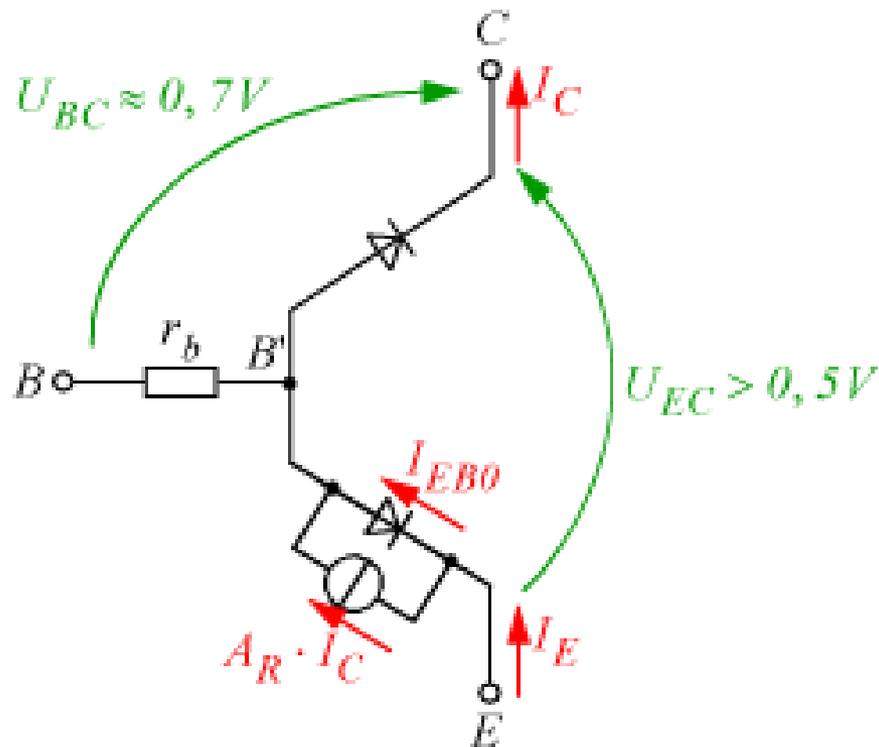


Bild 1.2.1-4a Der npn-Transistor im inversen Betrieb

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

### 1.2.1 Bipolartransistor

#### 1.2.1.3 Betriebsfälle

- **Sättigungsbetrieb:**

Der Sättigungsbetrieb ist dadurch gekennzeichnet, dass (beim npn-Transistor)  $U_{CE} \approx 0,1V$ , also deutlich kleiner 0,5V ist.

Die Stromverstärkung B sinkt im Sättigungsbetrieb erheblich; **B kann kleiner 1** werden.

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

### 1.2.1 Bipolartransistor

#### 1.2.1.3 Betriebsfälle

- **Sättigungsbetrieb :**

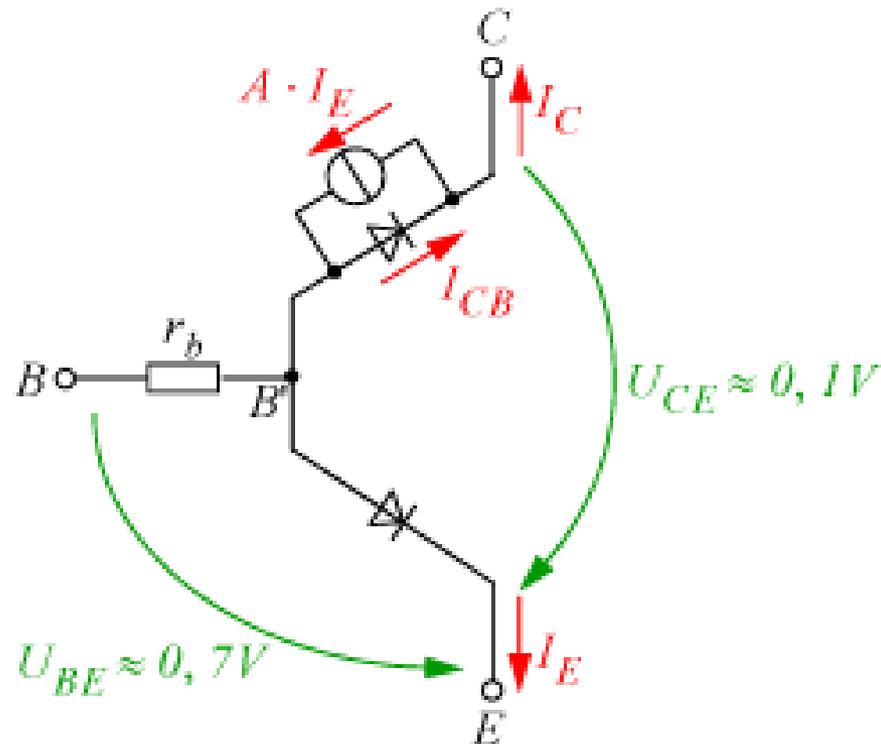
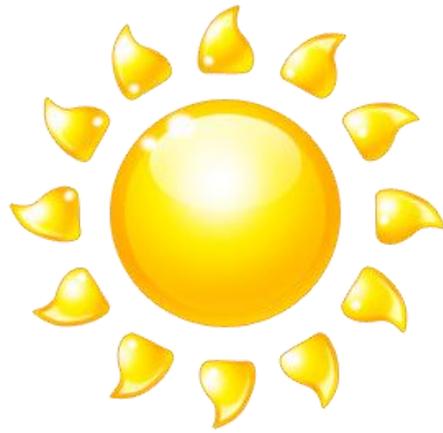


Bild 1.2.1-4b Transistor im Sättigungsbetrieb - Emitter-Basis Diode und Kollektor-Basis Diode sind in Flussrichtung

# Vorlesung - Analogelektronik



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

### 1.2.1 Bipolartransistor

#### 1.2.1.4 Grundsaltungen

##### a. Basisschaltung (Basis-Basis-Schaltung) :

(Zeichnung)

$$I_C = \frac{B}{1+B} \cdot I_E + \frac{1}{1+B} \cdot I_{CE0}$$

##### b. Emitterschaltung (Emitter-Basis-Schaltung) :

(Zeichnung)

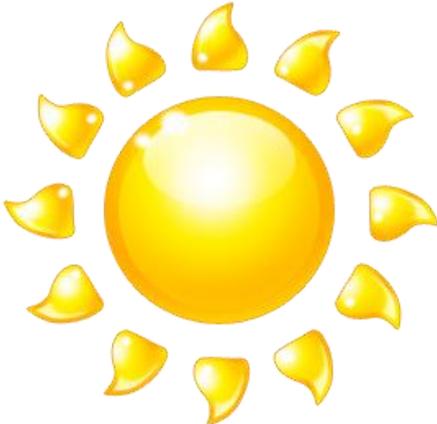
$$I_C = B \cdot I_B + I_{CE0} , \quad I_C \approx A \cdot I_{ES} \cdot \exp \frac{U_{BE}}{U_T}$$

##### c. Kollektorschaltung (Kollektor-Basis-Schaltung) :

(Zeichnung)

$$I_E = (1+B) \cdot I_B + I_{CE0}$$

# Vorlesung - Analogelektronik



# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

### 1.2.1 Bipolartransistor

#### 1.2.1.5 Restströme

##### a. Kollektorreststrom bei „offener“ Basis :

(Zeichnung)

$$I_{CE0} = I_C (I_B = 0)$$

##### b. Kollektorreststrom bei „offenem“ Emitter :

(Zeichnung)  $U_{BE} < U_{CE} \rightarrow U_{BC} < 0 \rightarrow$  KB-Diode in **Sperrrichtung**

Es fließt ein Sperrstrom über die KB-Diode !

$$I_{CB0} = I_C (I_E = 0), \quad I_B = -I_{CB0}$$

Verhältnis von  $I_{CE0}$  zu  $I_{CB0}$  :

$$I_{CE0} = \frac{I_{CB0}}{1 - A} \approx B \cdot I_{CB0}$$

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.2 Aktive Bauelemente

### 1.2.1 Bipolartransistor

#### 1.2.1.5 Restströme

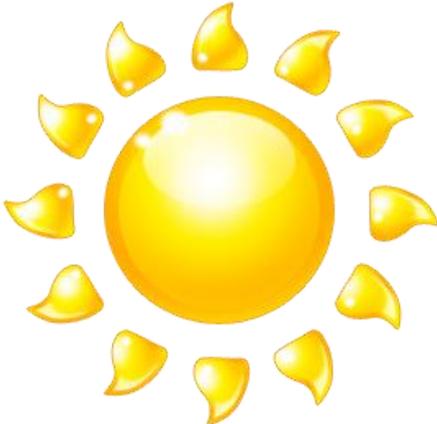
c. Basis-Emitterreststrom bei „offenem“ Kollektor :

EB-Diode in **Sperrrichtung**

Es fließt ein Sperrstrom über die EB-Diode !

$$I_{EB0} = I_E (I_C = 0)$$

# Vorlesung - Analogelektronik

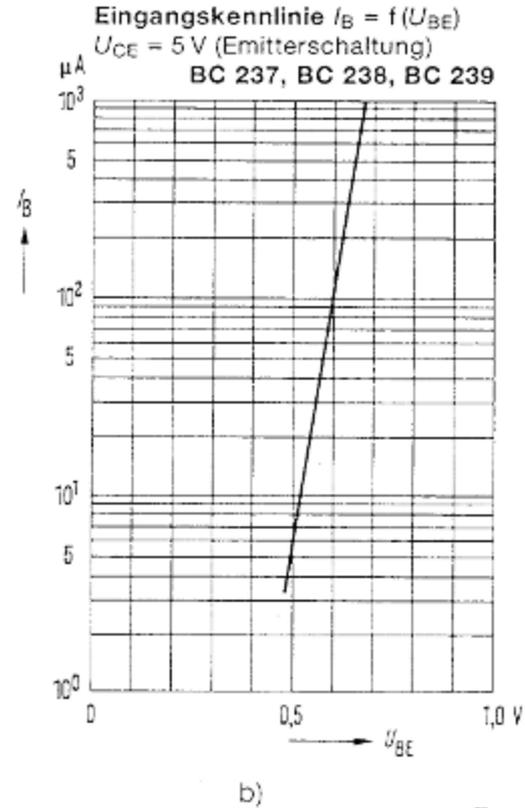
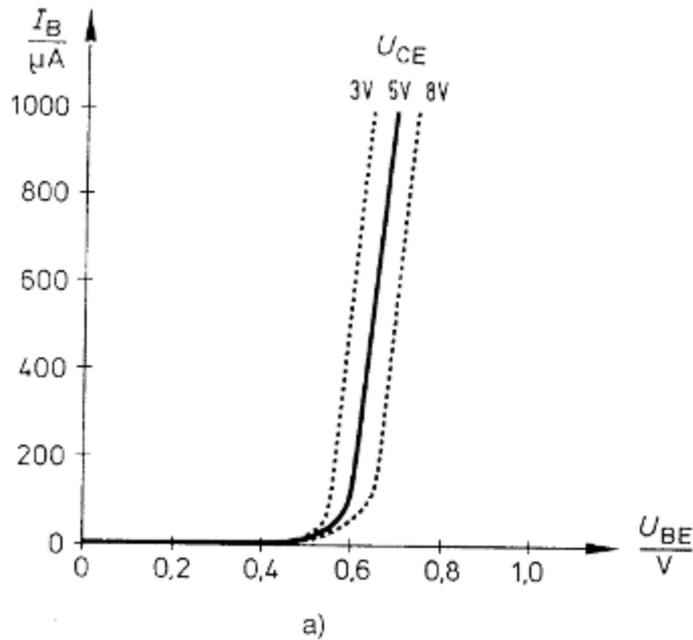


# 1. Bauelemente der Elektronik

## 1.2. Aktive Bauelemente

### 1.2.1. Bipolar - Transistor

#### 1.2.1.6. Kennlinien



**Bild 2.8** Eingangskennlinie eines Si-Transistors  
 a) im doppelt-linearen Maßstab  
 b) im linear-logarithmischen Maßstab

# Vorlesung - Analogelektronik

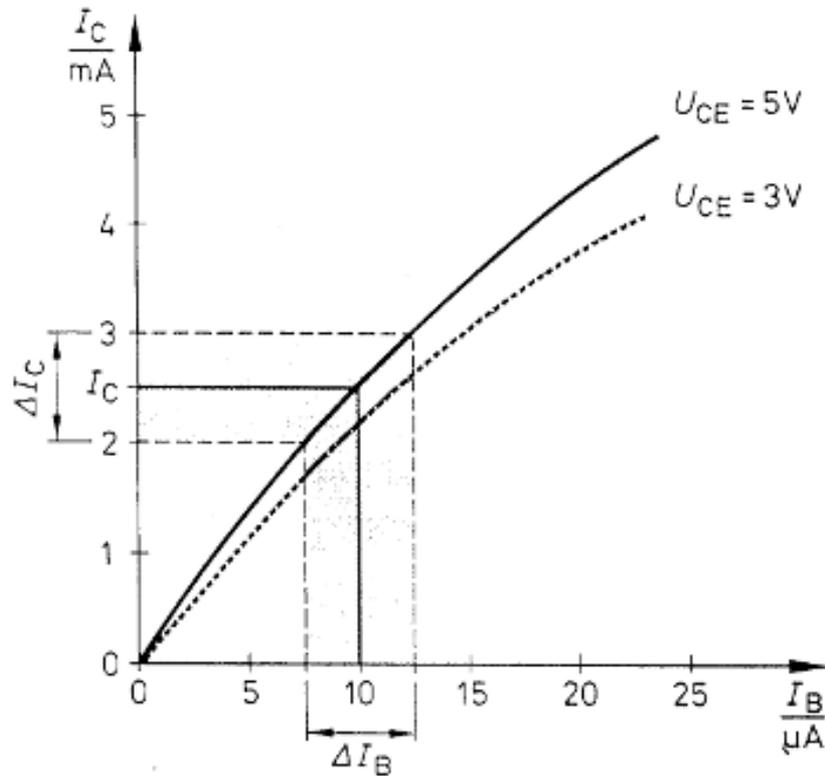


Bild 2.9 Stromverstärkungskennlinie

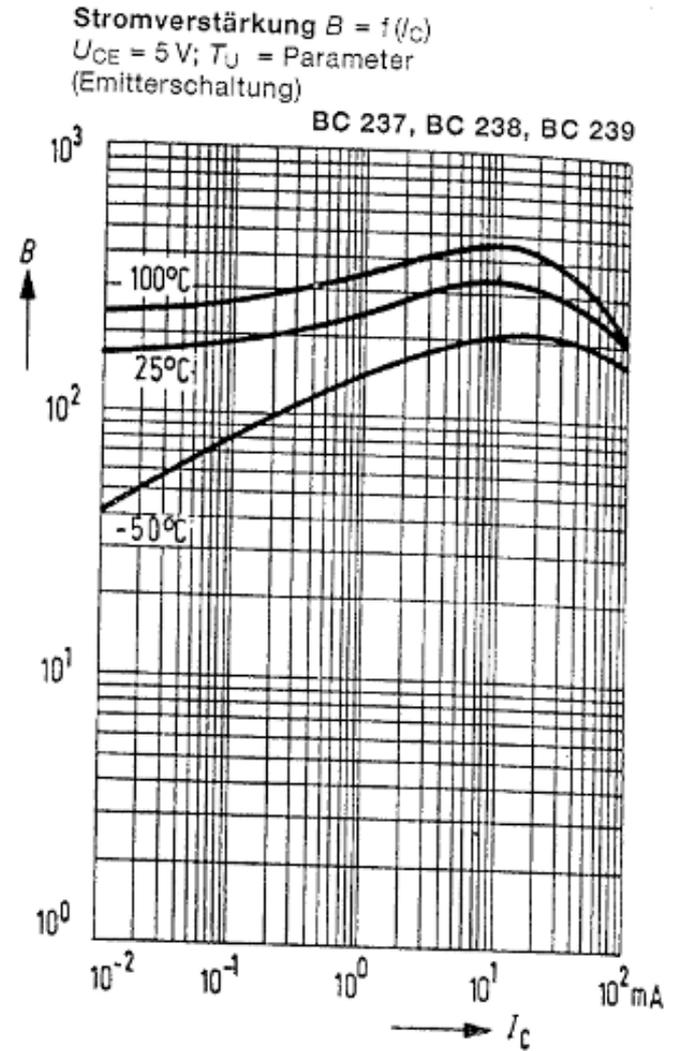
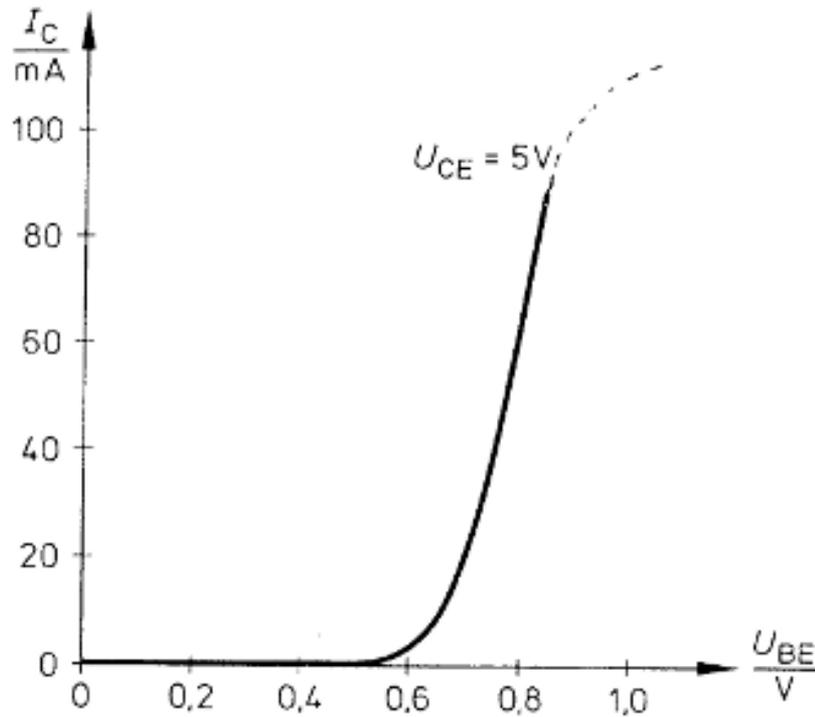
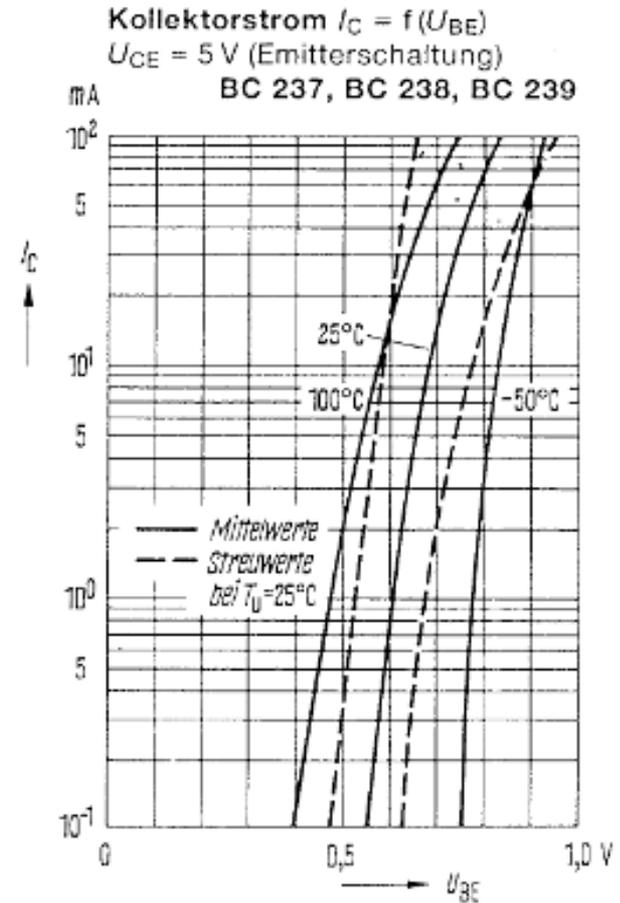


Bild 2.10 Gleichstromverstärkung  $B = f(I_C)$  bei  $U_{CE} = \text{const.}$



**Bild 2.13** Steuerkennlinie  $I_C = f(U_{BE})$ ;  $U_{CE} = \text{const.}$  im linearen Maßstab



**Bild 2.14** Steuerkennlinie  $I_C = f(U_{BE})$ ;  $U_{CE} = \text{const.}$  im linearlogarithmischen Maßstab

# Vorlesung - Analogelektronik

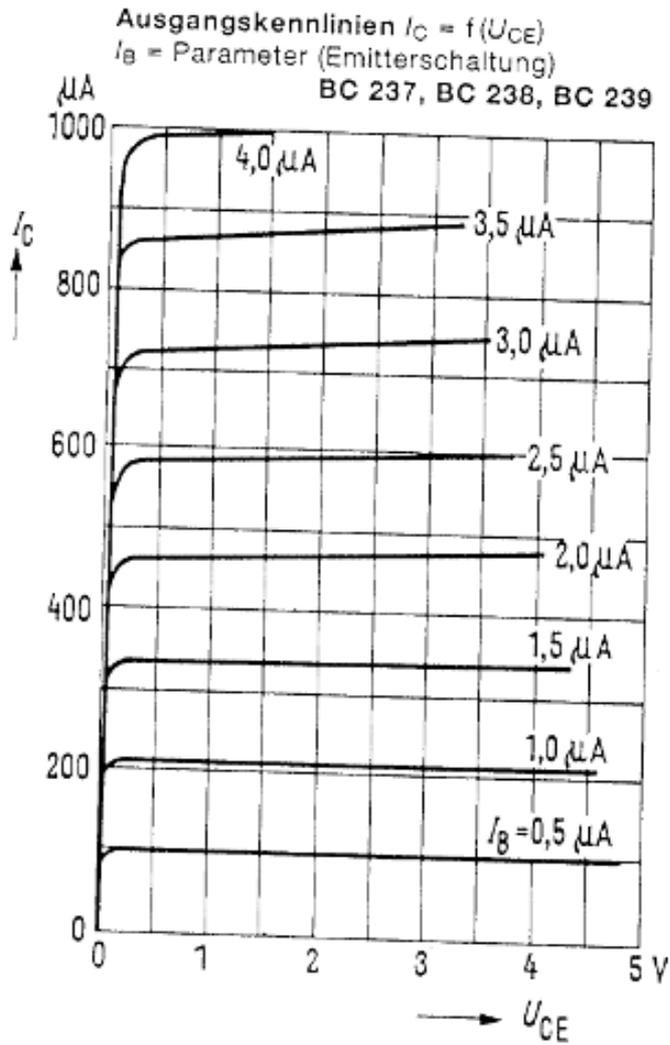


Bild 2.11 Ausgangskennlinie  
 $I_C = f(U_{CE}); I_B = \text{const.}$

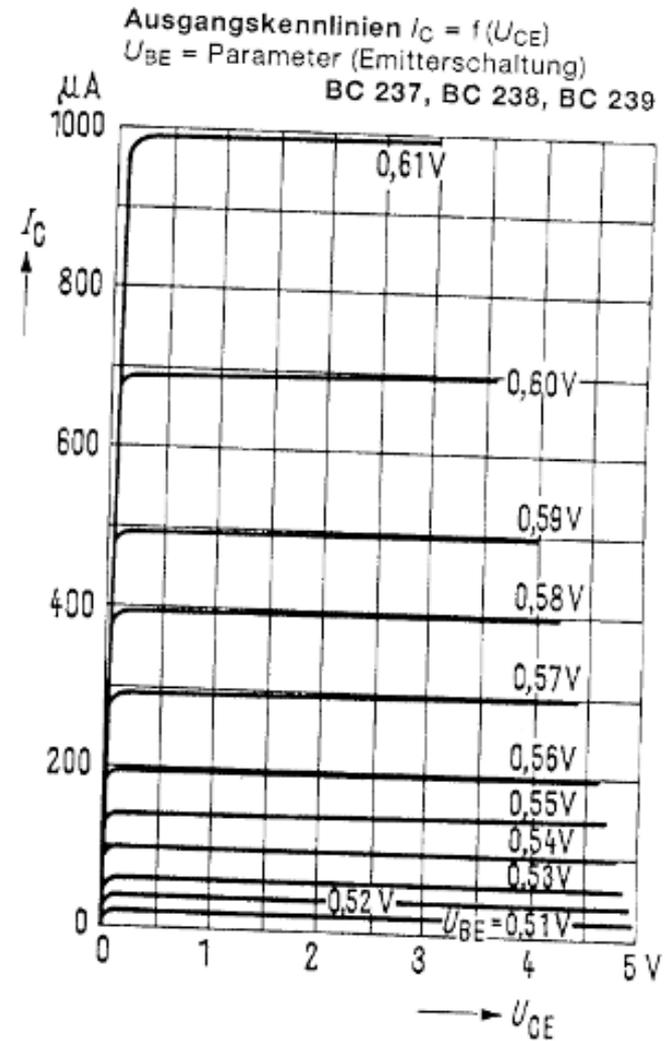
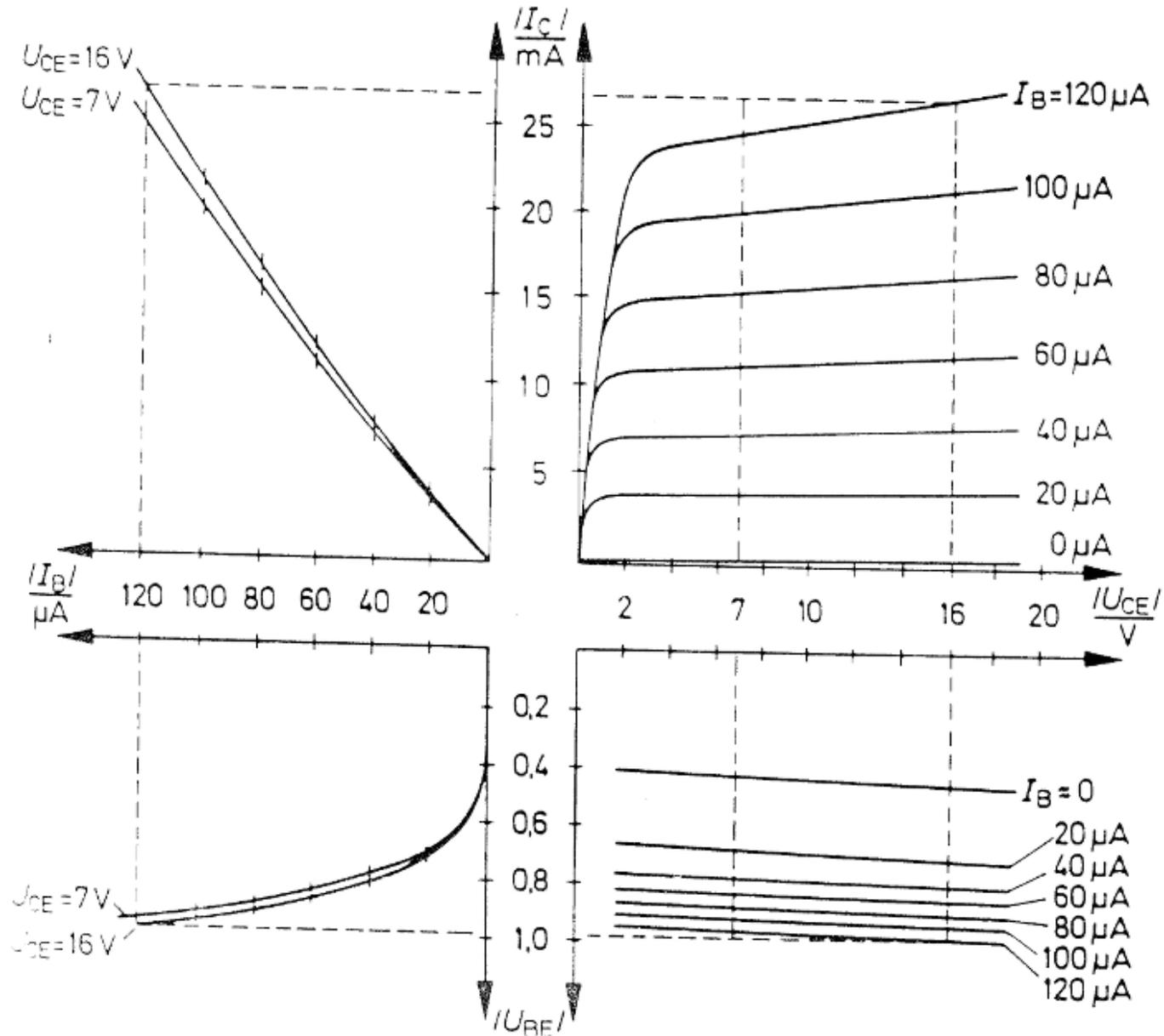


Bild 2.12 Ausgangskennlinie  
 $I_C = f(U_{CE}); U_{BE} = \text{const.}$

# Vorlesung - Analogelektronik



# 1. Bauelemente der Elektronik

## 1.2. Aktive Bauelemente

### 1.2.1. Bipolar - Transistor

#### 1.2.1.7. $A_p$ - Einstellung

# Vorlesung - Analogelektronik

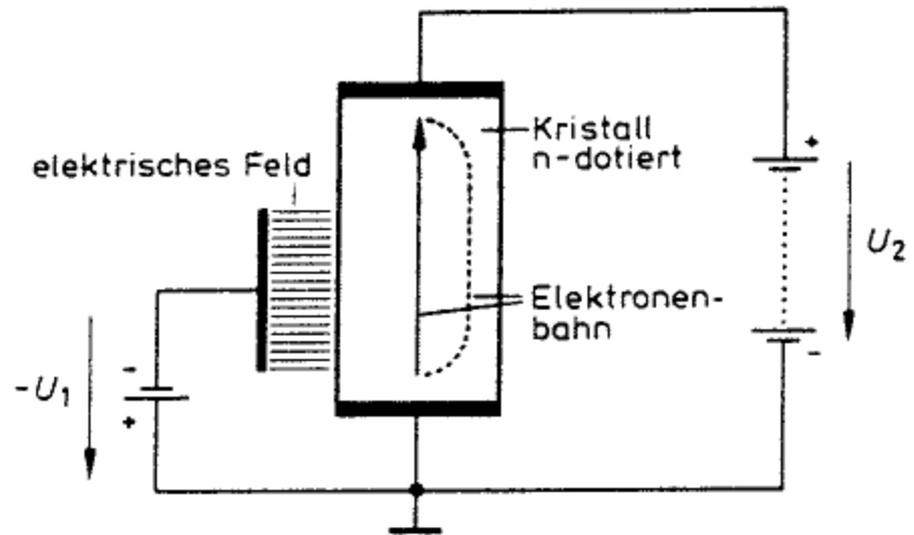
# 1. Bauelemente der Elektronik

## 1.2. Aktive Bauelemente

### 1.2.2. Unipolar – Transistor (Feldeffekttransistoren / FET)

#### 1.2.2.0. Einführung

**Bild 3.1** Grundprinzip der Arbeitsweise von FETs



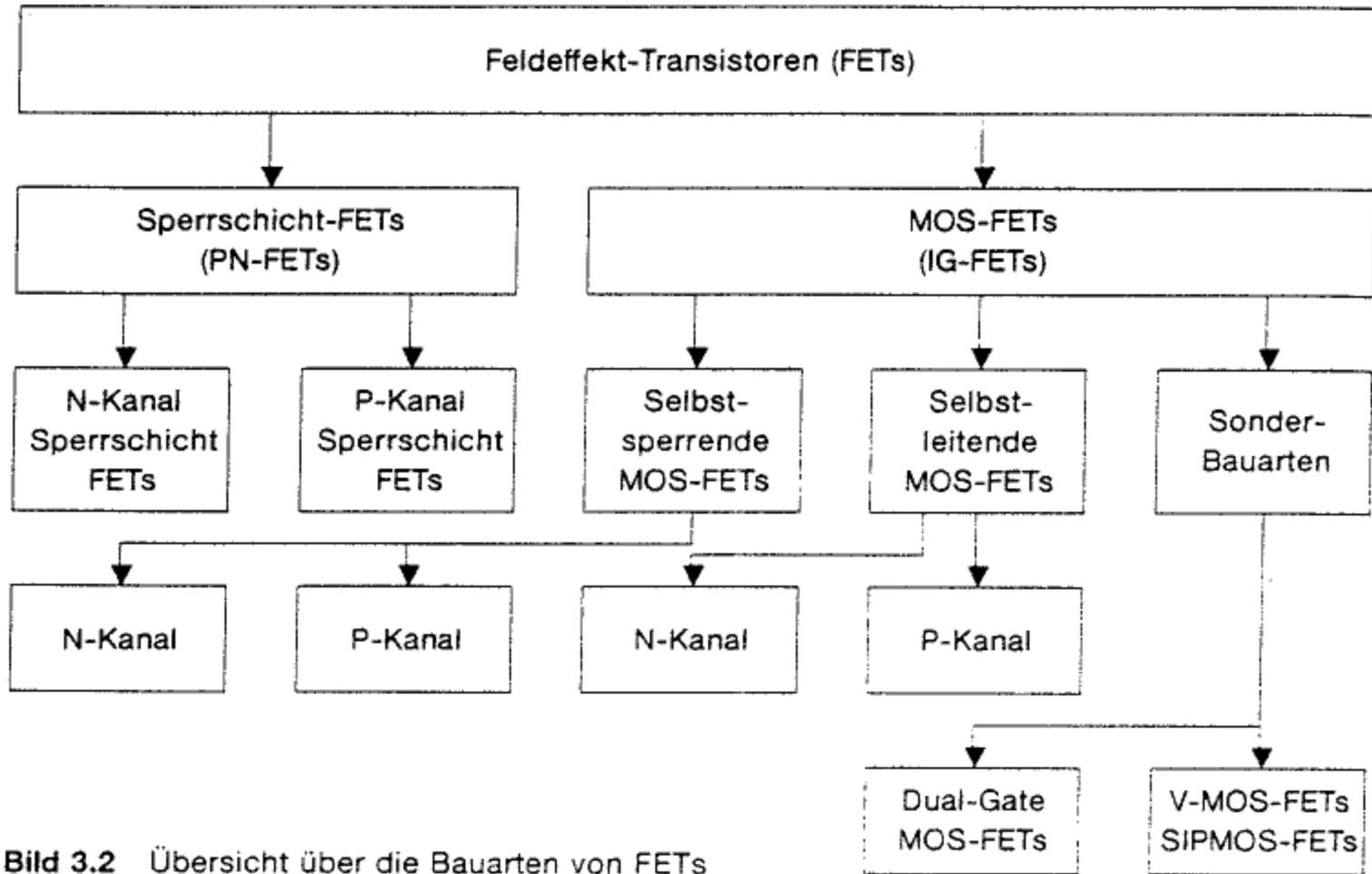


Bild 3.2 Übersicht über die Bauarten von FETs

# Vorlesung - Analogelektronik

Bezeichnung	N-Kanal-Typ	P-Kanal-Typ
Sperrschicht FETs		
Selbstleitende MOS-FETs		
Selbstsperrende MOS-FETs		

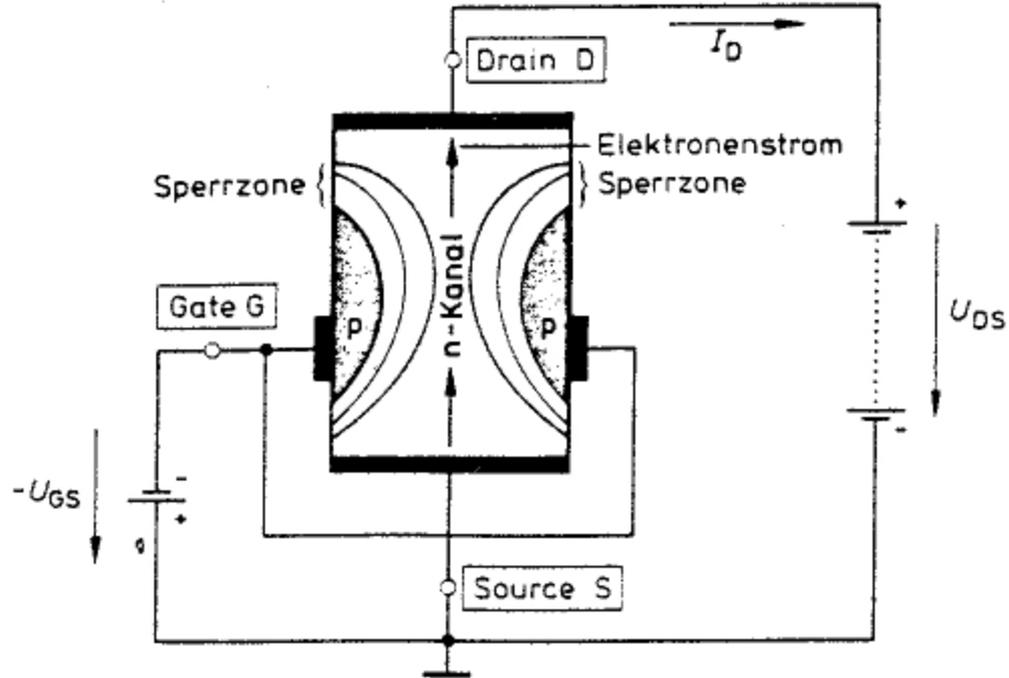
**Bild 3.3** Schaltzeichen für Feldeffekt-Transistoren

# 1. Bauelemente der Elektronik

## 1.2. Aktive Bauelemente

### 1.2.2. Unipolar – Transistor (Feldeffekttransistoren / FET)

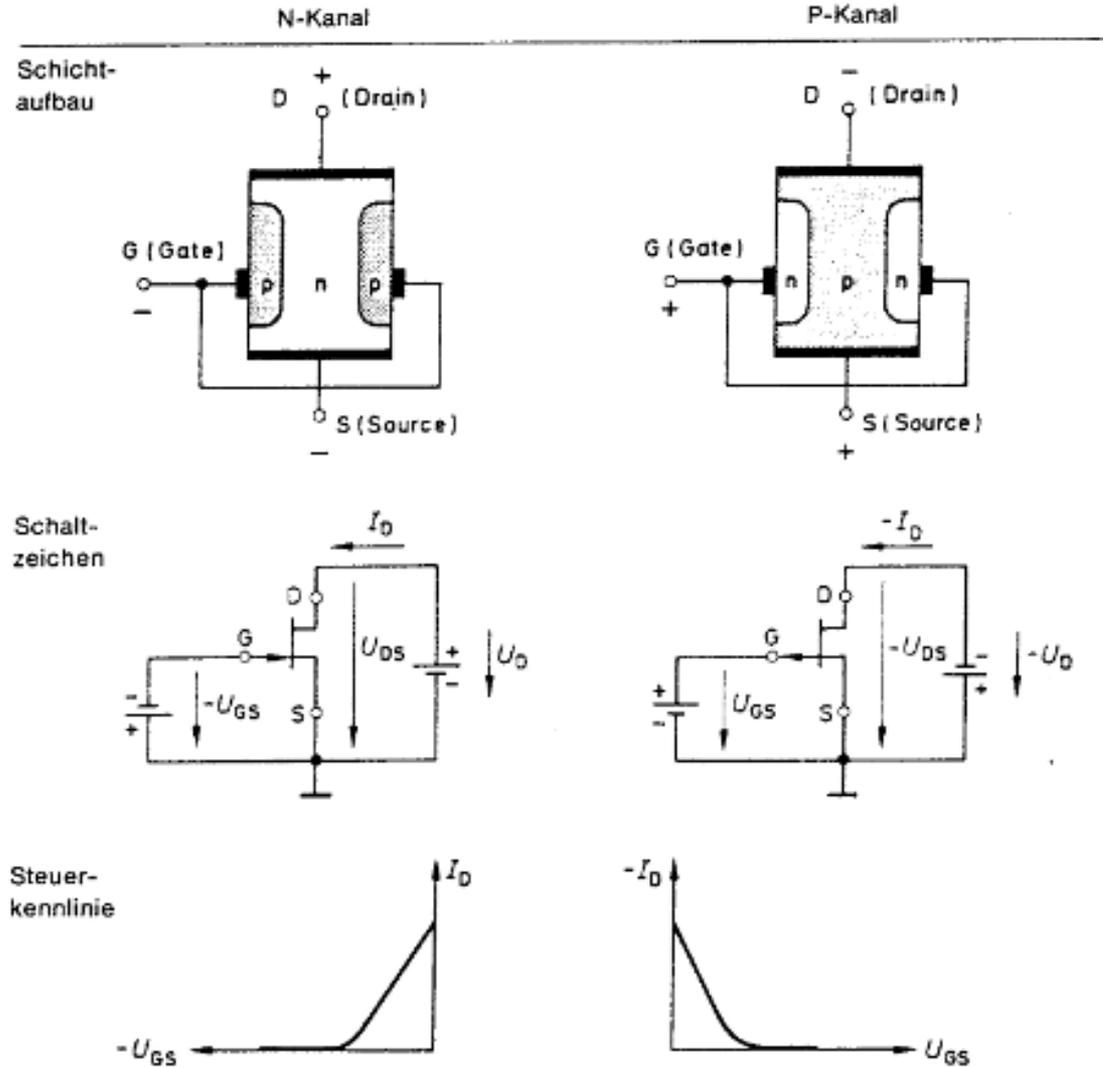
#### 1.2.2.1. Sperrschicht – Feldeffekt – Transistor SFET (JFET)



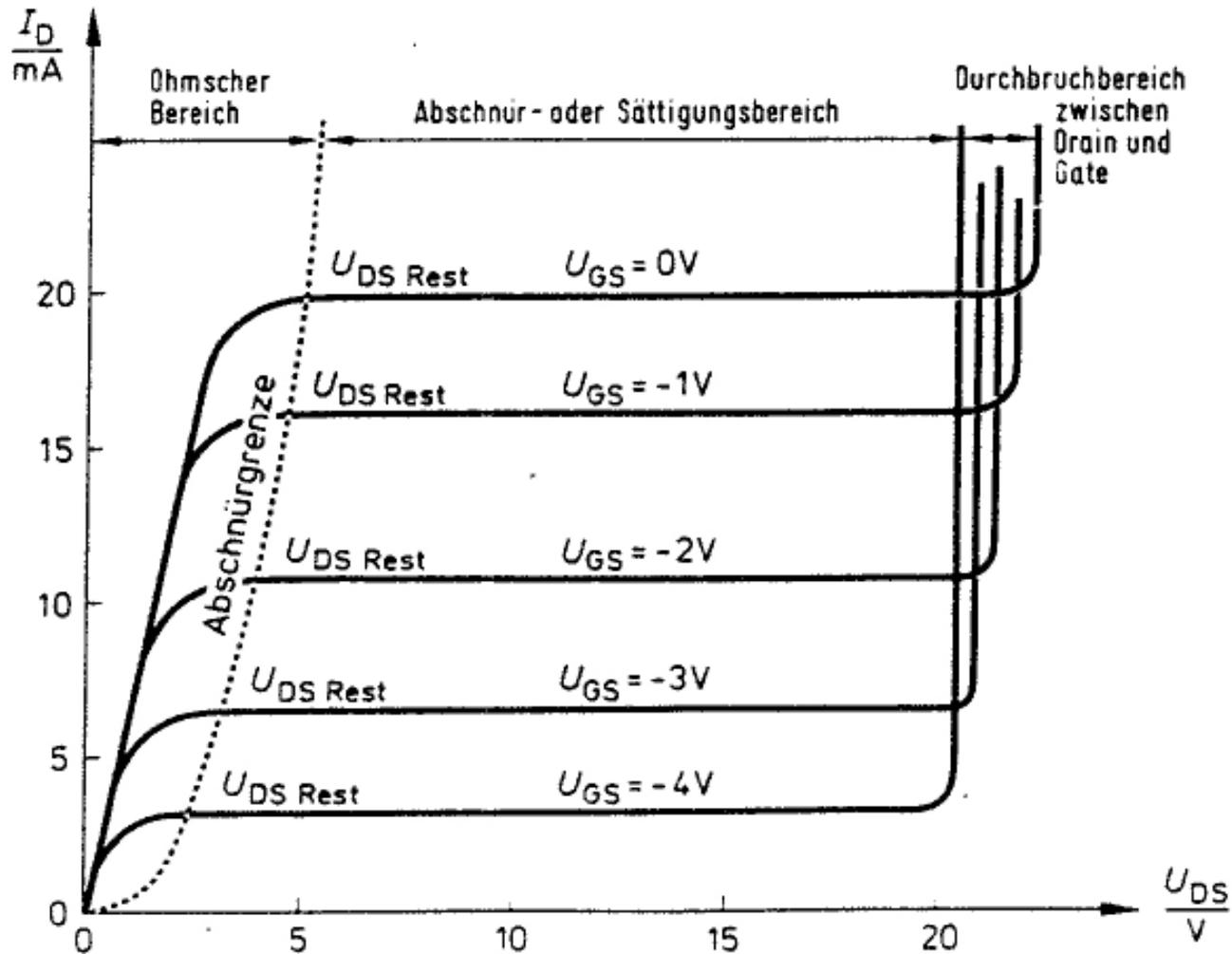
**Bild 3.4** Schnittbild eines N-Kanal-Sperrschicht-FETs

# Vorlesung - Analogelektronik

## Sperrschicht-FET



**Bild 3.5** Schnittbilder, Schaltzeichen und Steuerkennlinien von N-Kanal-FETs und P-Ka



**Bild 3.8** Ausgangskennlinienfeld eines Sperrschicht-FETs

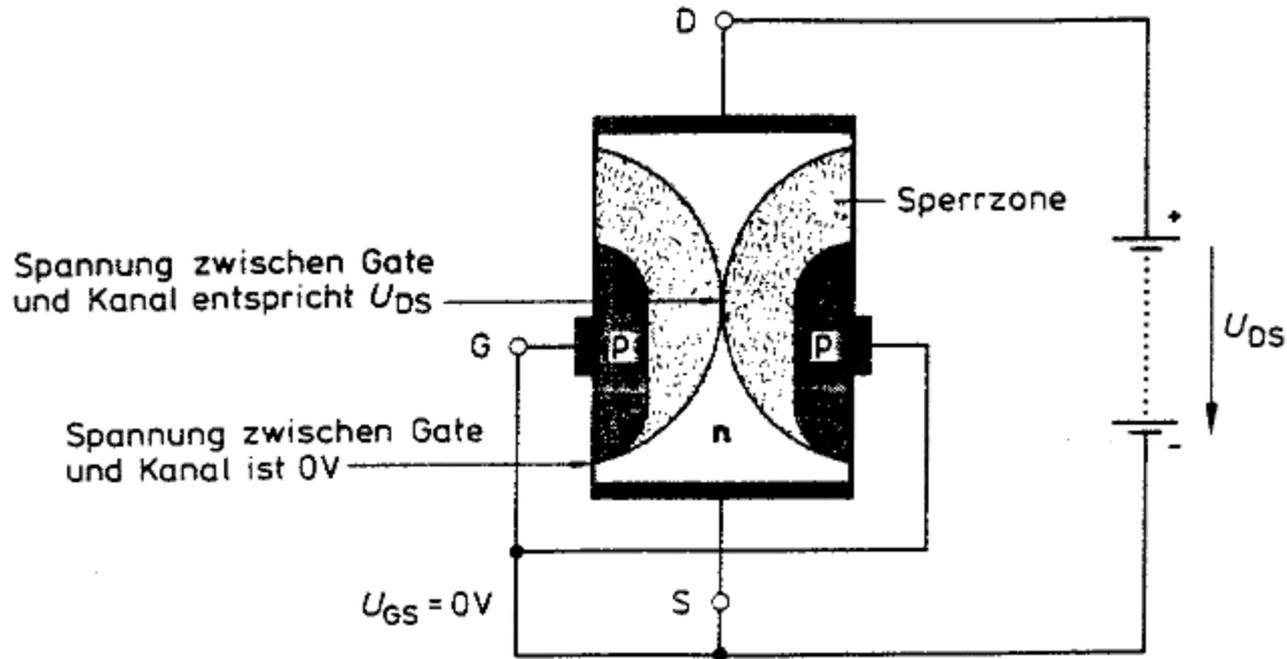


Bild 3.9 Kanalabschnürung durch  $U_{DS}$

## Beispiel

Der FET vom Typ BF 245 C hat eine Abschnürspannung  $-U_p = 6,5 V$ .

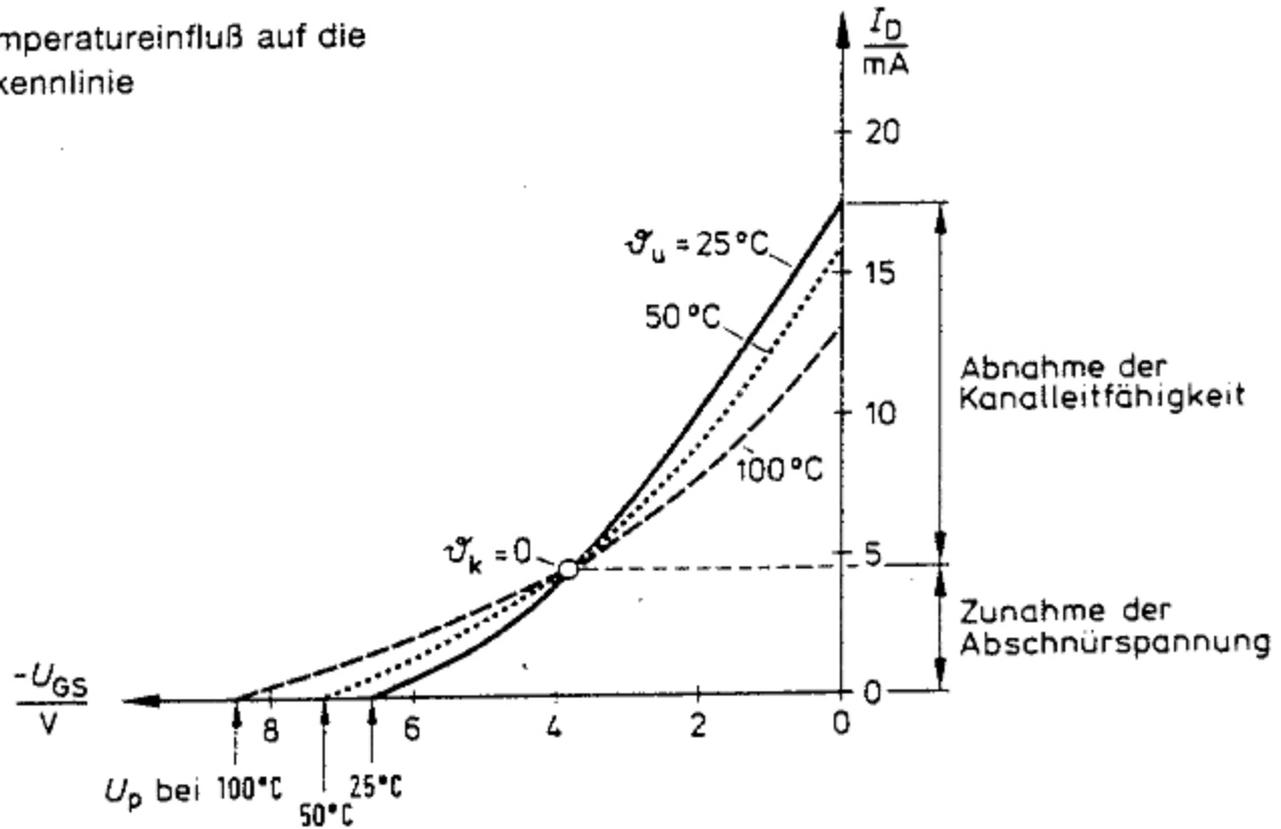
Wie groß ist die Restspannung  $U_{DS\ Rest}$ , wenn die Gate-Source-Spannung  $-U_{GS} = 2 V$  beträgt?

$$\begin{aligned}
 U_{DS\ Rest} &= U_{GS} - U_p \\
 &= -2 V - (-6,5 V)
 \end{aligned}$$

$$U_{DS\ Rest} = +4,5 V$$

Klasse	$I_{D \max}$	$-U_{GS} = U_D$
BF 245 A	2 mA bis 6,5 mA	0,4 V bis 2,2 V
BF 245 B	6 mA bis 15 mA	1,6 V bis 3,8 V
BF 245 C	12 mA bis 25 mA	3,2 V bis 7,5 V

**Bild 3.12** Temperatureinfluf auf die Übertragungskennlinie



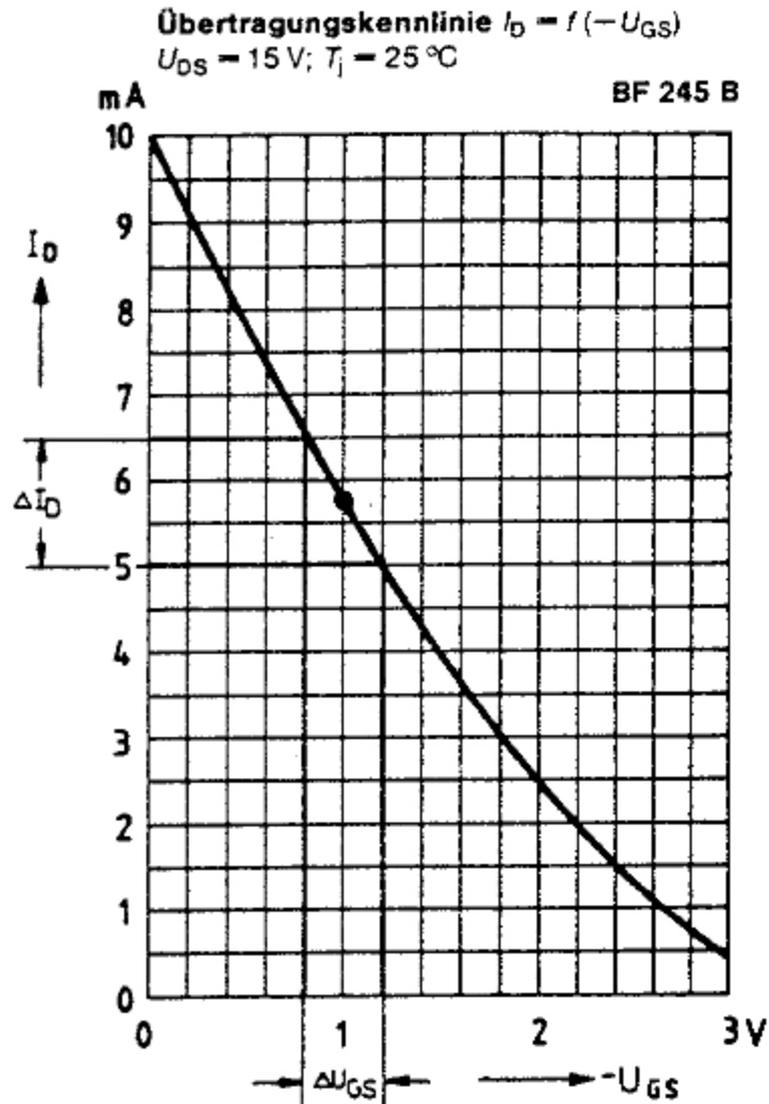
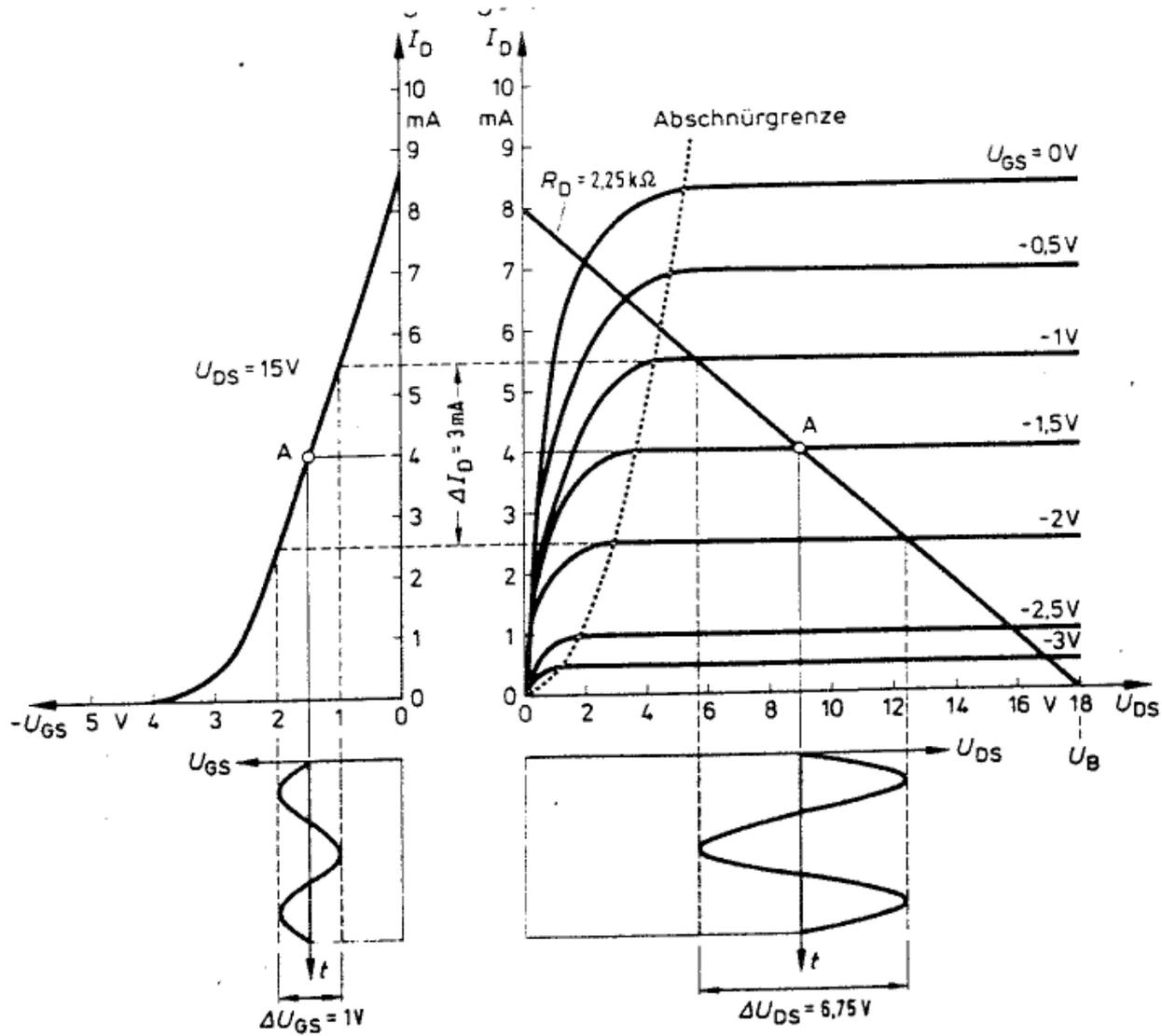


Bild 3.15 Übertragungskennlinie des BF 245 B

# Vorlesung - Analogelektronik



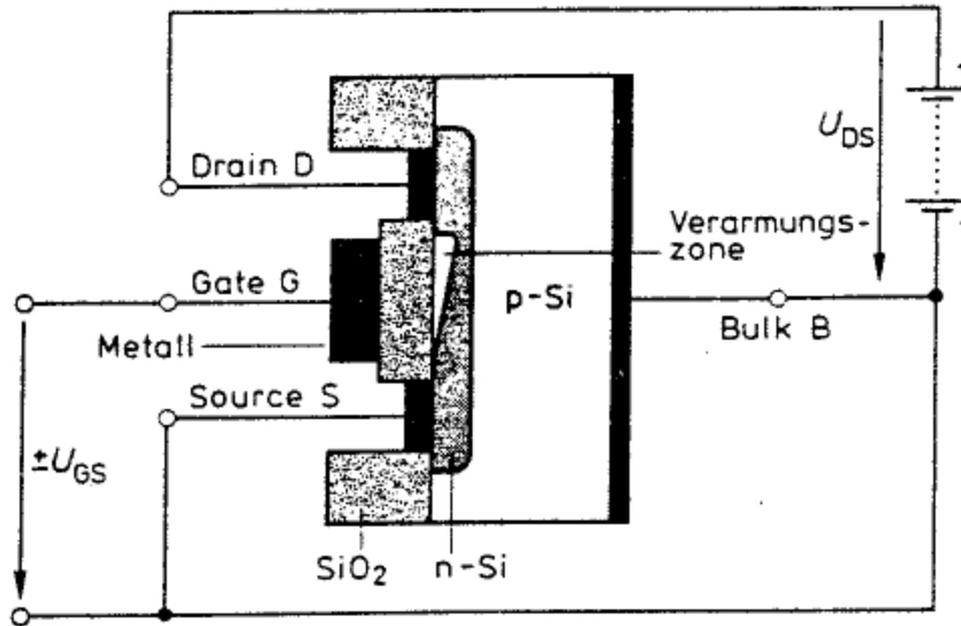
**Bild 3.17** Spannungsverstärkung eines FETs

# 1. Bauelemente der Elektronik

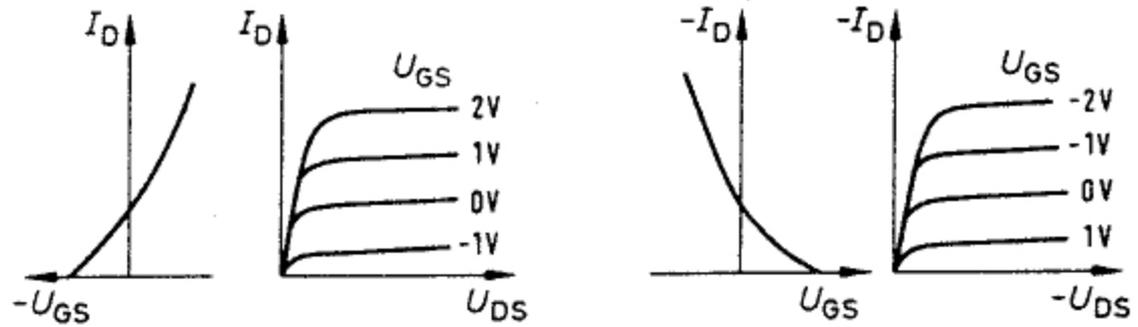
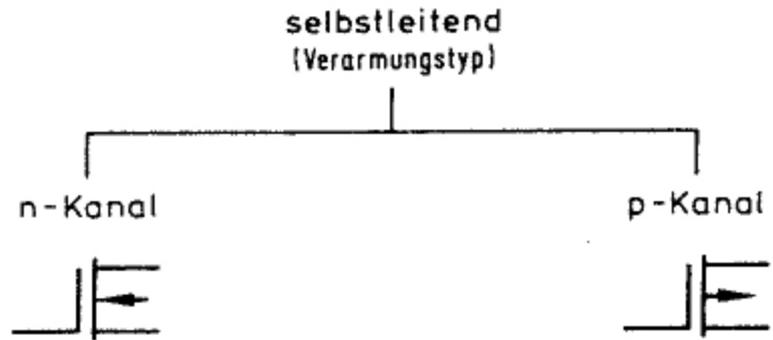
## 1.2. Aktive Bauelemente

### 1.2.2. Unipolar – Transistor (Feldeffekttransistoren / FET)

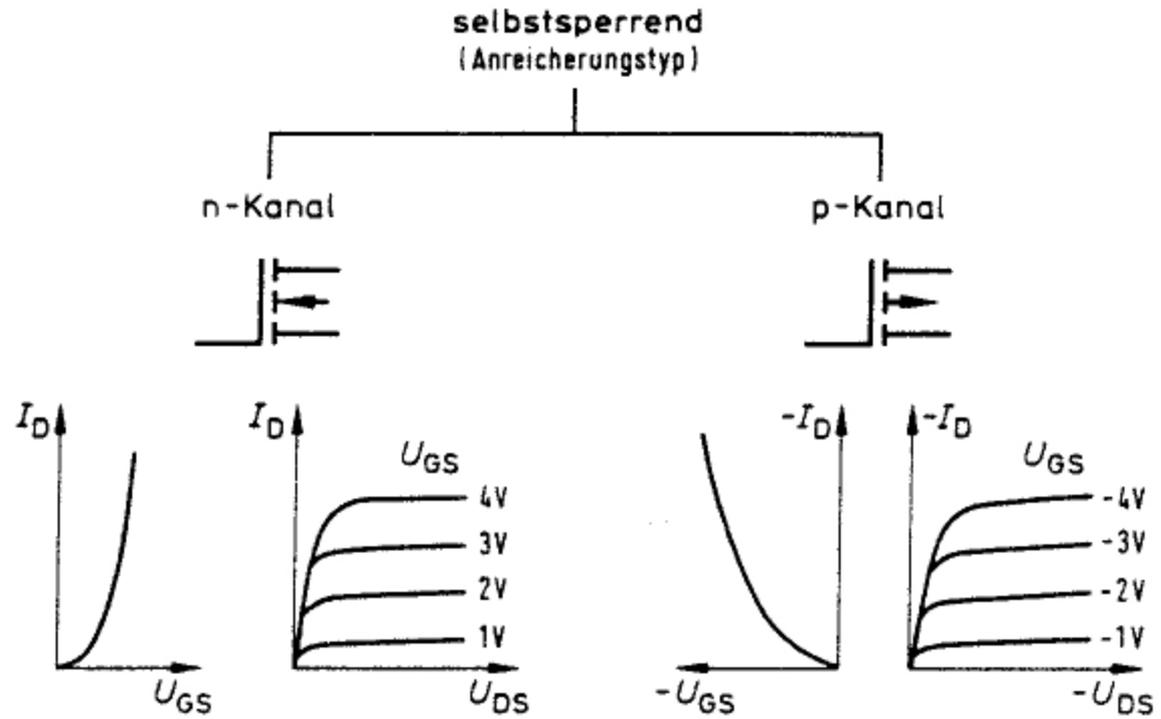
#### 1.2.2.2. Isolierschicht – Feldeffekt – Transistor MOSFET



**Bild 3.21** Aufbau eines selbstleitenden N-Kanal-MOS-FET



**Bild 3.33 a** Selbstleitende MOS-FETs



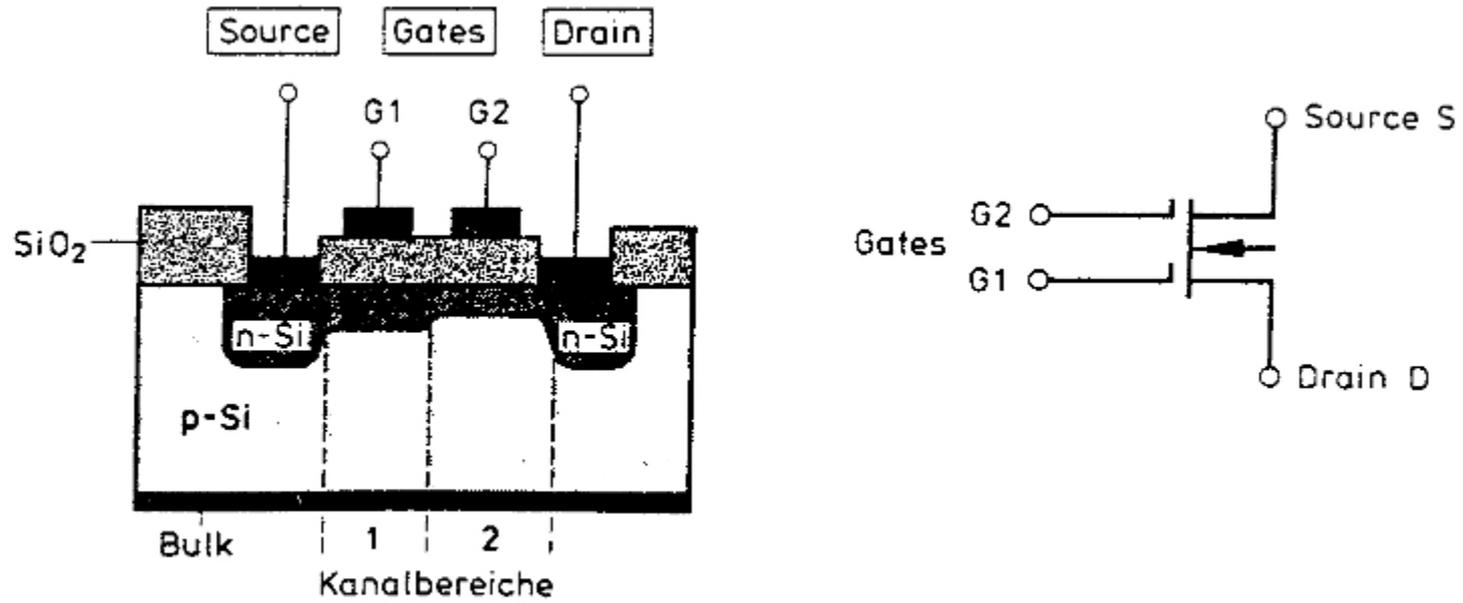
**Bild 3.33 b** Selbstsperrende MOS-FETs

# 1. Bauelemente der Elektronik

## 1.2. Aktive Bauelemente

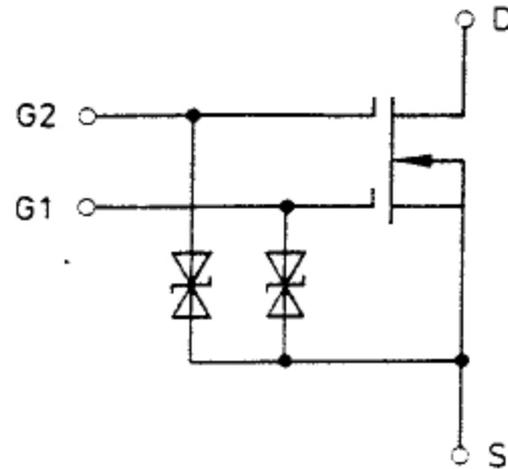
### 1.2.2. Unipolar – Transistor (Feldeffekttransistoren / FET)

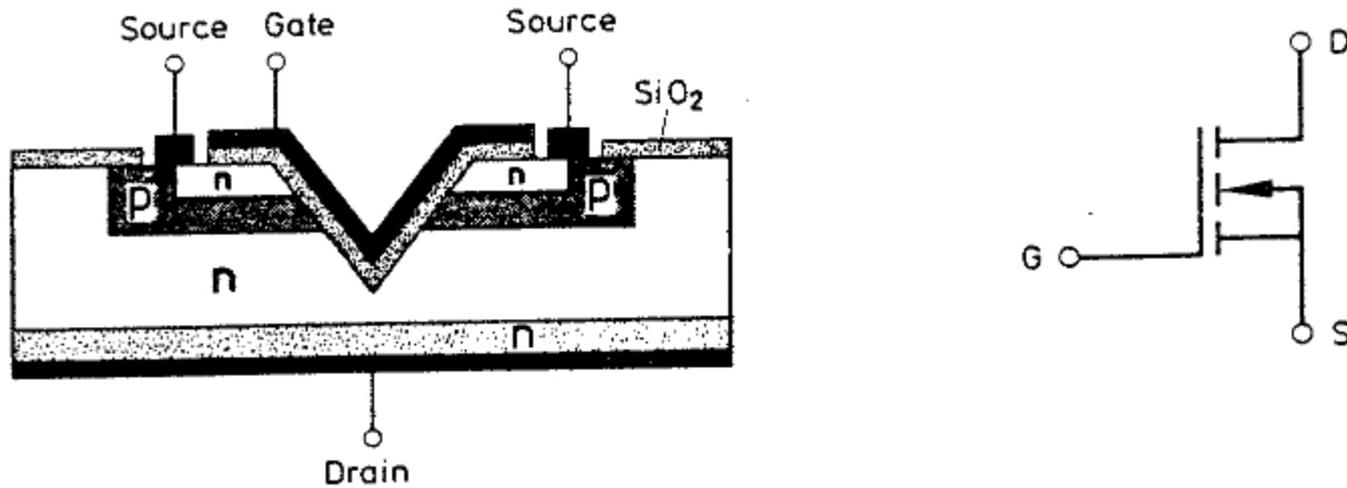
### 1.2.2.3. MOSFET - Sonderbauformen



**Bild 3.34** Aufbau und Schaltzeichen eines selbstleitenden Dual-Gate-MOS-FETs

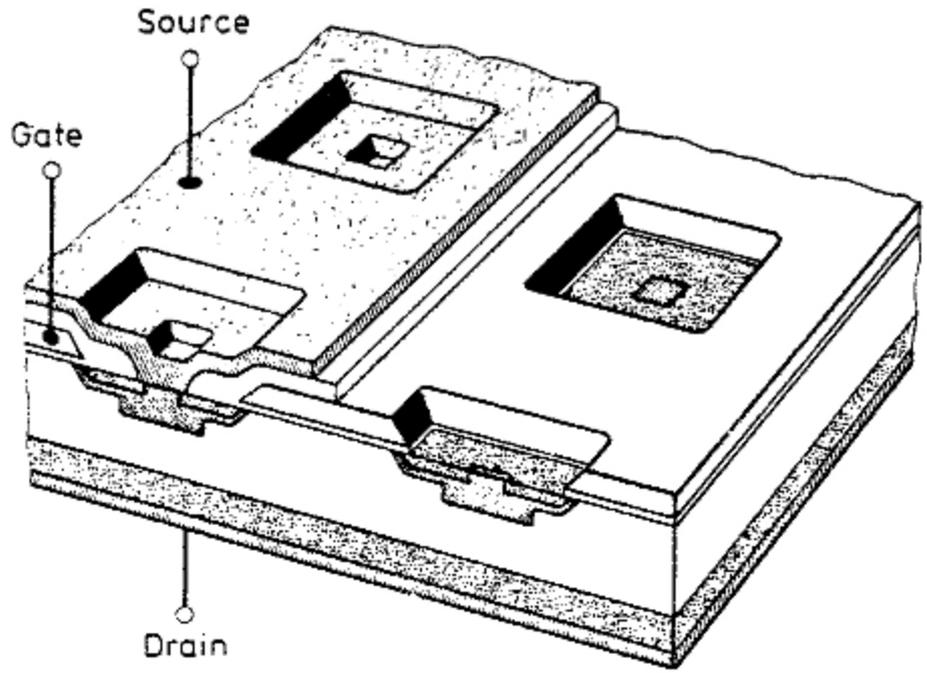
**Bild 3.37** Internes Schaltbild eines Dual-Gate-MOS-FETs vom Typ BF 961



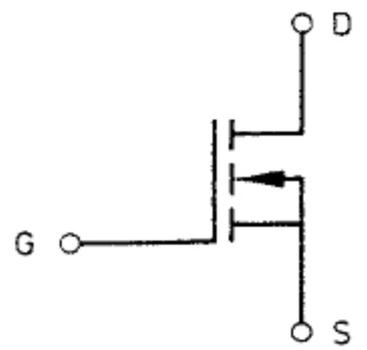


**Bild 3.38** Aufbau und Schaltzeichen eines selbstsperrenden N-Kanal-VMOS-FETs

# Vorlesung - Analogelektronik



-  Metall
-  SiO<sub>2</sub>
-  n<sup>+</sup>Poly.-Si
-  p<sup>+</sup>
-  n<sup>-</sup>
-  n<sup>+</sup>



**Bild 3.40** Aufbau und Schaltzeichen eines SIMOS-FETs

# 1. Bauelemente der Elektronik

## 1.2. Aktive Bauelemente

### 1.2.2. Unipolar – Transistor (Feldeffekttransistoren / FET)

#### 1.2.2.4. $A_p$ - Einstellung

# Vorlesung - Analogelektronik