

## Einführung in die Elektronik

Elektronik ist die technische Grundlage für die Verarbeitung von Signalen und Daten.

Die Elektronik setzt sich hierarchisch zusammen aus  
Bauelementen  
Baugruppen  
Geräten und  
Netzwerken.

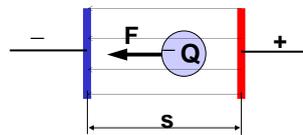
**Der Schlüssel für den Zugang zur Elektronik ist das Ohmsche Gesetz.**

## Begriffe und Denken

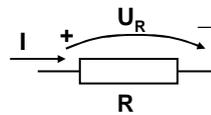
### Spannung – Spannungsabfall

$$U = \frac{W}{Q}$$

$$U = R \cdot I$$



$$W = F \cdot s$$



**Spannung liegt an**

Spannung wird erzeugt durch:

Induktion

Elektrochemie

Optoelektrik

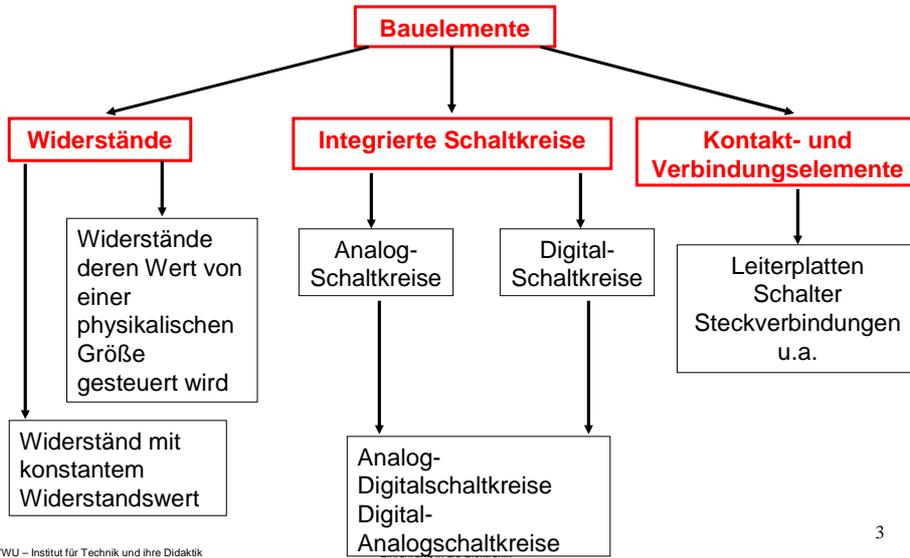
Thermoelektrik

**Spannung fällt ab**

Spannungsabfall wird erzeugt durch:

**Strom durch einen Widerstand**

**Definition:** Elektronische Bauelemente sind funktionell und konstruktiv bestimmbare Grundglieder von elektronischen Funktionseinheiten (Baugruppen).



WWU – Institut für Technik und ihre Didaktik  
TEAM 2006 - Hein

Elektrische Grundgrößen und elektronische Bauelemente

3

## Widerstände

**Definition:** Widerstände sind elektronische Bauelemente, die den elektrischen Energiefluß in einem definierten Maß hemmen. D.h., sie begrenzen Ströme und erzeugen Spannungsabfälle, wobei sie elektrische Energie in Wärme umwandeln.

### Ohmsche Widerstände

Symbol: R

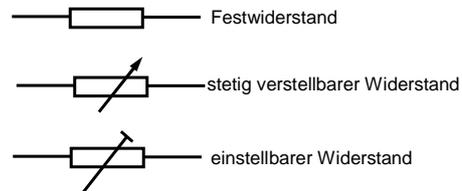
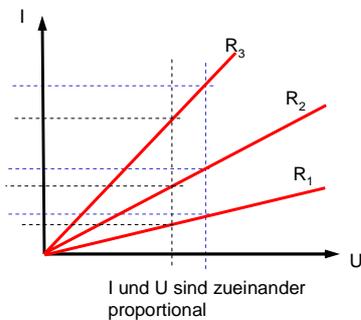
Einheit: 1 V/A = 1 Ω

abgewandelte Einheiten: 1 MΩ = 10<sup>3</sup>kΩ = 10<sup>6</sup> Ω = 10<sup>9</sup> mΩ

Kennlinie:

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{Widerstand allgemein}$$

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad \text{Drahtwiderstand}$$



WWU – Institut für Technik und ihre Didaktik  
TEAM 2006 - Hein

Einführung in die Elektronik  
Elektrische Grundgrößen und elektronische Bauelemente

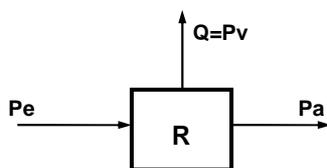
4

### Thermische Belastbarkeit

Die von jedem Widerstand umgewandelte Elektroenergie in Wärme wird als **Verlustleistung  $P_v$**  bezeichnet.

$$P_v = U \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$$

Systemisch gesehen ergibt sich zur Funktion von Widerständen folgendes Modell:



$$P_e = P_a + Q$$

$$Q = P_v$$

### Widerstände, deren Wert durch eine physikalische Größe gesteuert wird - Nichtlineare Widerstände

#### Temperaturabhängige Widerstände - Thermistoren

Heißleiter sind Widerstände mit einem negativen Temperaturkoeffizienten (TC), also kurz - einem NTC.

Bei Kaltleitern liegen die Verhältnissen genau umgekehrt. Sie haben deshalb einen PTC, einen positiven TC.

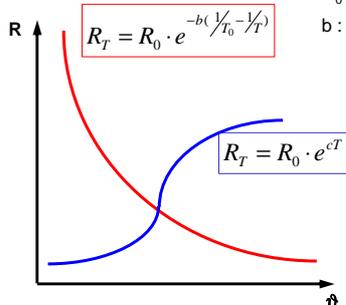
Symbol:  $R_T$

Einheit:  $1 \Omega$

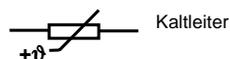
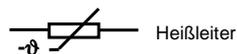
$R_T$  = aktueller Widerstandswert bei T

$R_0$ : Widerstandswert bei  $T = 20^\circ \text{C}$

b : Energiekonstante



Schaltzeichen



### Lichtabhängige Widerstände – Fotowiderstände

Fotowiderstände sind Widerstände, deren Wert von der Beleuchtungsstärke  $E$  abhängt.

Symbol:  $R_F$

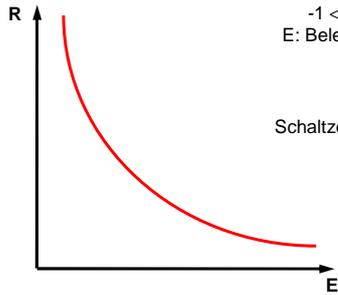
Einheit:  $1 \Omega$

$R_F$  ist proportional zu  $E^{-c}$

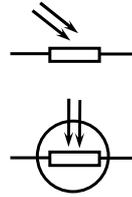
$c$ : Materialkonstante

$-1 < c < -0,5$

$E$ : Beleuchtungsstärke in lx (Lux)



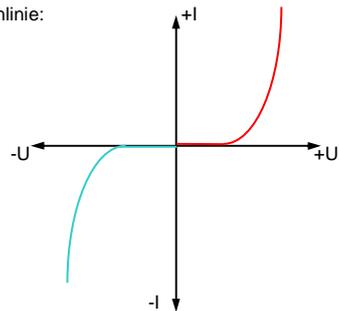
Schaltzeichen:



Ausführungsformen: PbS (Bleisulfid) oder CdS (Kadmiumsulfid) im Kunststoffgehäuse.

### Spannungsabhängige Widerstände - Varistoren

Kennlinie:



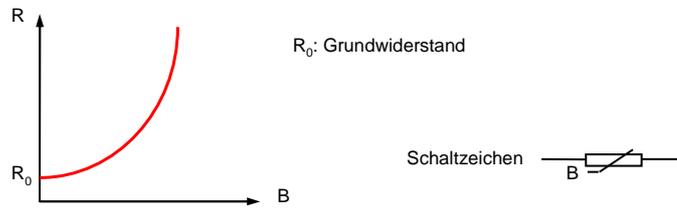
$$I = KU^\alpha$$

$K$ : geometrieabhängige Konstante in  $AV^{-1}$   
 $\alpha$ : Nichtlinearitätsexponent

Schaltzeichen:



## Magnetfeldabhängige Widerstände - Feldplatten

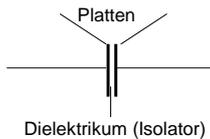


## Frequenzabhängige Widerstände – Kondensatoren

Grundeigenschaft: Speicherfähigkeit von elektrischen Ladungen (elektrisches Feld) - **Kapazität C**.

Kapazität allgemein:

$$C = \frac{Q}{U}$$



Kapazität Plattenkondensator:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

Einheit:  $[C] = \frac{1As}{V} = 1F$

Abgewandelte Einheiten:  $1F = 10^6 \mu F = 10^9 nF = 10^{12} pF$

Strom-Spannungs-Beziehung:  $i = C \cdot \frac{du}{dt}$

Durch einen Kondensator fließt nur ein Strom bei Änderung der Spannung.

Bei Gleichspannung fließt kein Strom.

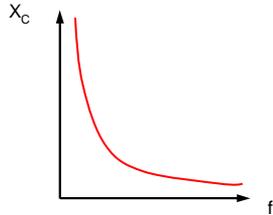
Je schneller die Änderung, desto größer die Stromstärke.

### Blind- und Scheinwiderstand des Kondensators

Die Beziehung beschreibt das frequenzabhängige Verhalten von Kondensatoren bei sinusförmigen Wechselgrößen.

Kennlinie

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

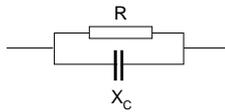


$X_C$ : **Blindwiderstand** eines Kondensators  
f: Frequenz

Durch Messung und Berechnung kann bei sinusförmigen Wechselgrößen der **Scheinwiderstand Z** ermittelt werden.

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

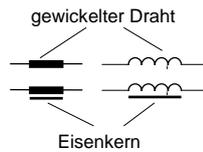
Der Scheinwiderstand Z entsteht durch den ohmschen Widerstand R des Dielektrikums.



### Frequenzabhängige Widerstände – Spulen

Grundeigenschaft: Zeitlich begrenzte Speicherfähigkeit des magnetischen Feldes - **Induktivität L**.

Induktivität allgemein:  $L = \frac{N \cdot \phi}{I}$



Induktivität der Spule:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot A}{l}$$

Einheit:  $[L] = \frac{Vs}{A} = 1H$

Abgewandelte Einheiten:  $1H = 10^3mH = 10^6\mu H$

Strom-Spannungs-Beziehung:  $u = L \cdot \frac{di}{dt}$

In einer Spule entsteht nur eine Induktionsspannung, wenn sich die Stromstärke ändert. Die Induktionsspannung wirkt dem fließenden Strom wie ein Widerstand ( $X_L$ ) entgegen.

Bei Gleichstrom entsteht keine Induktionsspannung.

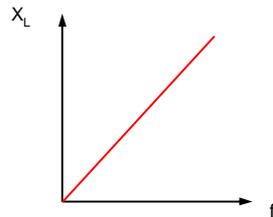
Je schneller die Stromänderung, desto größer die Induktionsspannung.

### Blind- und Scheinwiderstand der Spule

Die Beziehung beschreibt das frequenzabhängige Verhalten von Spulen bei sinusförmigen Wechselgrößen.

Kennlinie

$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

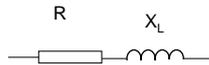


$X_L$ : **Blindwiderstand** einer Spule  
f: Frequenz

Durch Messung und Berechnung kann bei sinusförmigen Wechselgrößen der **Scheinwiderstand Z** ermittelt werden.

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

Der Scheinwiderstand Z entsteht durch den ohmschen Widerstand R des Spulendrahtes.



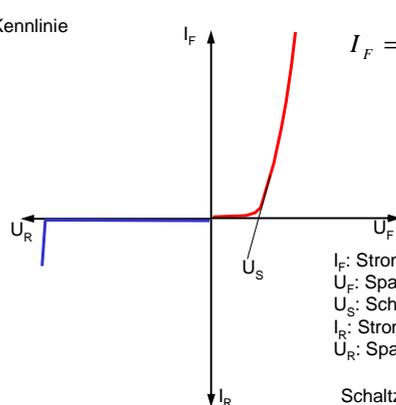
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

### Stromrichtungsabhängige Widerstände - Dioden

Dioden sind Widerstände, deren Widerstandswert von der Stromrichtung abhängt. Sie sind in der Lage, sehr verschiedene Funktionen zu erfüllen.

Dioden besitzen einen pn - Übergang, der je nach Funktion in seiner Ausführung variieren kann. Grundsätzlich sind Dioden wie alle bisher betrachteten Widerstände als Zweipolanordnungen mit Ventilverhalten aufzufassen.

Kennlinie

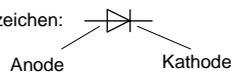


$$I_F = I_S \cdot e^{\frac{U_F}{U_T}}$$

$I_S$ : Sättigungsstrom:  $10^{-15}$  bis  $10^{-6}$  A  
 $U_T$ : Temperaturspannung, bei  $20^\circ\text{C}$  25,84 V

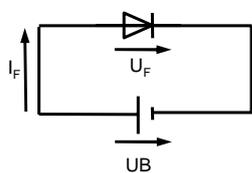
$I_F$ : Strom in Flussrichtung im mA- bis A-Bereich  
 $U_F$ : Spannung in Flussrichtung bis 1,5 V  
 $U_S$ : Schließenspannung 0,7 V Si-Dioden, 0,3 V Ge-Dioden  
 $I_R$ : Strom in Sperrichtung im nA- bis  $\mu\text{A}$ -Bereich  
 $U_R$ : Spannung in Sperrichtung bis einige 1000 V möglich

Schaltzeichen:

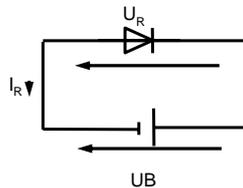


**Betriebsarten:**

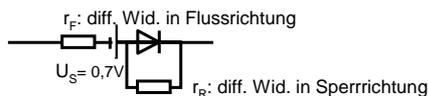
1. Durchlassrichtung:



2. Sperrrichtung



Um das Verhalten einer Diode zu erklären, eignet sich das folgende Ersatzschaltbild:



Durchbrüche: Dioden sind nicht grenzenlos belastbar. Das gilt für den Betrieb in Sperr- und auch in Durchlassrichtung. Während bei Überlastung in Durchlassrichtung die entstehende Stromwärme die Diode zerstört, kann die in Sperrrichtung durch die intensiven elektrischen Felder hoher Spannungen geschehen. Solche Erscheinungen nennt man Durchbrüche:

Durchbruch 1. Art bedeutet, dass der Spannungsabfall über der Diode bei sehr intensiver Erhöhung des Sperrstromes nahezu konstant bleibt. Das Bauelement wird erst dann zerstört, wenn der Sperrstrom ein bestimmtes Maß übersteigt. Der Vorgang ist also reversibel.

Durchbruch 2. Art bedeutet, dass bei Überschreitung einer bestimmten Sperrspannung die Diode zerstört wird. Sie verliert ihren Sperrwiderstand, der Spannungsabfall über ihr bricht zusammen.

**Strom- und Spannungsgesteuerte Widerstände - Transistoren**

Transistoren werden in der Fachliteratur als aktive Bauelemente bezeichnet.

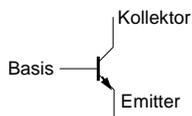
Die Vorteile des Transistors gegenüber der Elektronenröhre sind:

- Kleinheit**
- geringe Betriebsspannung**
- höhere Zuverlässigkeit**
- längere Lebensdauer**
- geringer Preis**

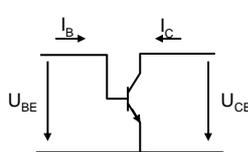
Arten: bipolare und unipolare Transistoren

Um technische Funktionen zu erfüllen, benötigen Transistoren eine äußere Beschaltung. Diese erst versetzt den Transistor in Betriebsbereitschaft.

Schaltzeichen



Der Transistor als Vierpol



**Merke:**  
Die Symbole von Stromstärken werden mit einem, die von Spannungsabfällen mit zwei Indizes angegeben.

**Gleichstromverstärkung B.**

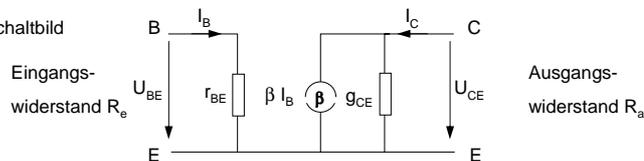
$$B = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_B}$$

$$\beta = \frac{dI_c}{dI_B}$$

für große Signale

für kleine Signale

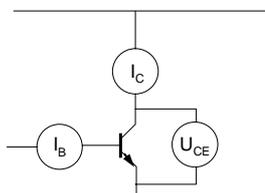
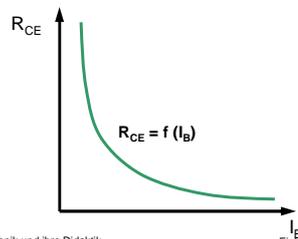
Ersatzschaltbild



Betriebsparameter

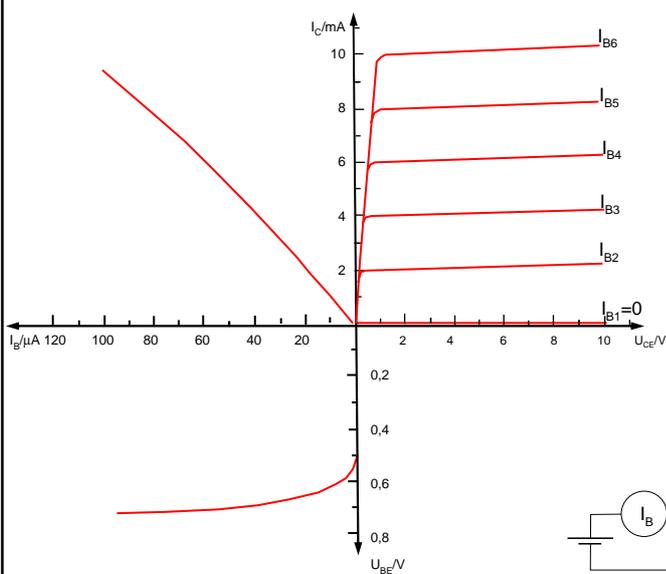
Basis - Emitter - Spannung  $U_{BE}$  : etwa 0,7 V  
 Basisstromstärke  $I_B$  einige 10  $\mu$ A bis einige mA  
 Kollektor - Emitter - Spannung  $U_{CE}$  einige V bis einige 100 V  
 Kollektorstromstärke  $I_C$  einige mA bis einige A

Kennlinie des Transistors

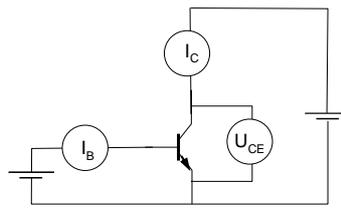


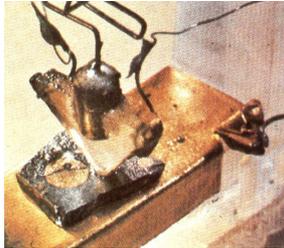
$$R_{CE} = \frac{U_{CE}}{I_C}$$

### Aufnahme des Kennlinienfeldes

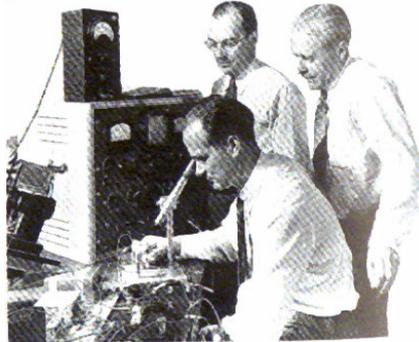


1. Eingangskennlinie  
 $I_B = f(U_{BE}); U_{CE}$ : Parameter
2. Ausgangskennlinienfeld  
 $I_C = f(U_{CE}); I_B$ : Parameter
3. Stromübertragungskennlinie  
 $I_C = f(I_B); U_{CE}$ : Parameter





Prototyp  
(Forschungsmodell)



Thyristor  
für einen  
Dimmer

Transistor für  
eine Hoch-  
frequenzschaltung

Leistungs-  
transistor,  
in Kunst-  
stoff ge-  
gossen

Bauelemente

John Bardeen (1908 - 1991), hinten links

Walter Brattain (1902 - 1987) rechts gehören zu den von William Shockley (1910 - 1989), sitzend, geleiteten Forschungsteam in den Bell Telephon Laboratories in den USA.

Sie erhielten für ihre Erfindung den Nobelpreis.

1948