

# GLEICHSTROMLEHRE

## Einführende Grundlagen - Teil 1

### Elektrische Ladung

$Q = I * t = N * e$	$Q$	elektrische Ladung	$[Q] = As$ (Ampèresekunde) = C (Coulomb)
	$I$	<b>Stromstärke</b>	$[I] = A$ (Ampère)
	$N$	Anzahl Elektronen	$[N] = \{ \}$
	$e$	Elementarladung	$e = 1.602 * 10^{-19}C$ (kleinstmögliche Ladung eines $e^-$ )

### Elektrische Stromdichte

$J = \frac{I}{A}$	$J$	elektrische Stromdichte	$[J] = \frac{A}{m^2}$
	$A$	Querschnittsfläche	$[A] = m^2$

### Strömungsgeschwindigkeit der Elektronen ( $e^-$ )

$Q = e * n * A * l$	$n$	Elektronendichte	$[n] = \frac{1}{m^3}$ für Kupfer: $8.47 * 10^{19}mm^{-3}$
$n = \frac{N_A}{V}$ $V = \frac{m}{\delta}$	$N_A$	Avogadro-Konstante	$6.023 * 10^{23}$
	$V$	Volumen	$[V] = dm^3 = 1l$
	$\delta$	Dichte	$[\delta] = \frac{g}{cm^3} = \frac{kg}{dm^3}$
$q_v = \frac{V}{t}$	$q_v$	Volumenstrom	$[q_v] = \frac{dm^3}{s} = \frac{l}{s}$
$v = \frac{I}{e * n * A}$	$v$	Strömungsgeschwindigkeit	$[v] = \frac{m}{s}$

## Einführende Grundlagen - Teil 2

### Elektrische Spannung

$W = U * Q$	$W$	Wärmeenergie	$[W] = J = Nm$
	$U$	<b>elektrische Spannung</b>	$[U] = V$ (Volt) = $\frac{Nm}{As}$

### Das Ohm'sche Gesetz

$U = R * I$	$R$	<b>elektrischer Widerstand</b>	$[R] = \frac{V}{A} = \Omega$ (Ohm)
$G = \frac{1}{R}$	$G$	<b>elektrischer Leitwert</b>	$[G] = \frac{1}{\Omega} = \frac{A}{V}$

### Spezifischer Widerstand und Leitwert

$R = \frac{\rho * l}{A}$	$\rho$	spezifischer Widerstand (Materialkonstante)	$[\rho] = \frac{\Omega * m^2}{m} = \Omega m$
$\kappa = \frac{1}{\rho}$	$\kappa$	Leitfähigkeit (kappa)	$[\kappa] = \frac{1}{\Omega m} = \frac{S}{m}$

## Einführende Grundlagen - Teil 3

### Die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes

Der elektrische Widerstand von metallenen Leitern nimmt mit der Temperatur zu. (Kaltleiter) → PTC

Der elektrische Widerstand von Halbleiter nimmt mit der Temperatur ab. (Heissleiter) → NTC

$$R_2 = R_1[1 + \alpha_1(\vartheta_2 - \vartheta_1)]$$

$R_1$	Widerstandswert 1 - bekannt	$\Omega$
$R_2$	Widerstandswert 2 - neu	$\Omega$
$\alpha_1$	Temperaturkoeffizient bei 1	$K^{-1}$
$\vartheta_1$	Temperaturwert 1	$K$
$\vartheta_2$	Temperaturwert 2	$K$
$\tau$	Temperaturkennwert	$K$

**Einführende Grundlagen - Teil 4**

**Arbeit, Leistung bei Gleichstrom**

W	Energie (oder Arbeit) [W] = Nm	elektrisch	$W = U * Q = U * I * t$	[W] = V * As = Ws
		mechanisch	$W = F * s = m * g * \Delta l$	[W] = Nm
		thermisch	$W = m * c * \Delta \vartheta$	[W] = J
P	Leistung [P] = W	elektrisch	$P = U * I = \frac{U^2}{R} = I^2 R$	[P] = VA
		mechanisch	$P = \frac{W}{t} = m * g * v = M * \omega$	$[P] = \frac{Nm}{s} = \frac{J}{s} = W$

**Wirkungsgrad**

$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$ $\eta_G = \eta_1 * \eta_2 * \eta_3$	$\eta$	Wirkungsgrad	[ $\eta$ ] = ( )
	$P_{ab}$	Abgegebene Leistung	[ $P_{ab}$ ] = W
	$P_{zu}$	Zugeführte Leistung	[ $P_{zu}$ ] = W
$\omega = 2\pi * n$	$\omega$	Winkelgeschwindigkeit	[ $\omega$ ] = [s <sup>-1</sup> ]
	n	Drehzahl	[n] = [s <sup>-1</sup> ]

**Berechnung von Gleichstromkreisen**

**Pfeilsysteme und Richtungssinn**

Verbraucher-Pfeilsystem	Erzeuger-Pfeilsystem
$U_1 = I_1 * R_1$	$U_2 = -I_2 * R_2$

**Kirchhoff'schen Gesetze**

Knotengleichung	Maschengleichung
$\sum_{k=1}^n I_k = 0$	$\sum_{k=1}^n U_k = 0$

**Strom- und Spannungsquellen**

	Spannungsquelle (konstante Spannung)	Stromquelle (konstanter Strom)
ideale		
reale	<p><math>U = U_q - U_i = U_q - I * R_i</math></p> <p>unbelastet: <math>U_q =</math> Quellen- oder Leerlaufspannung</p>	<p><math>U = I * R_a</math></p> <p><math>I_q =</math> Quellenstrom</p>
Kurzschluss $R_a = 0$	$I_K = \frac{U_q}{R_i}$	$I = I_q = \frac{U_q}{R_i}$
$R_a = \infty$	$U = U_q$	$U = U_q = \frac{I_q}{G_i}$

**Gleichstromkreise**

	Serien- / Reihenschaltung	Parallelschaltung
Ohm'sches Gesetz	$U_1 = I * R_1$	$I_1 = \frac{U}{R_1}$
Strom Spannung Widerstand Leitwert	$I = I_1 = I_2 = I_3$ $U = U_1 + U_2 + U_3$ $R = R_1 + R_2 + R_3$	$I = I_1 + I_2 + I_3$ $U = U_1 = U_2 = U_3$ $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ $R = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$ $G = G_1 + G_2 + G_3$
Zusammenhänge	$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{P_1}{P_2}$ $\frac{U_1}{U} = \frac{R_1}{R}$	$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{G_1}{G_2} = \frac{P_1}{P_2}$
Spannungsteilregel		Stromteilregel
	$\frac{U_2}{U} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$	$\frac{I_1}{I} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

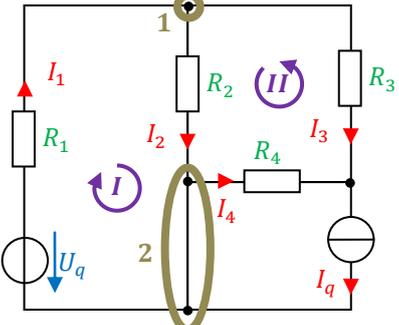
**Bauelemente**

Widerstand	Stromquelle	Spannungsquelle	Diode	Potenziometer
	Ideal 	Ideal 		
veränderbar 		Generator 	ersetzen durch 	ersetzen durch 
		Elektrochemisch 		Extrema: 

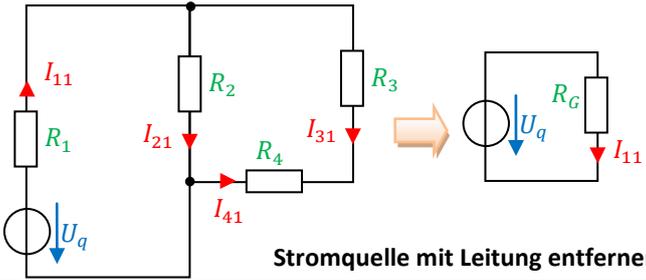
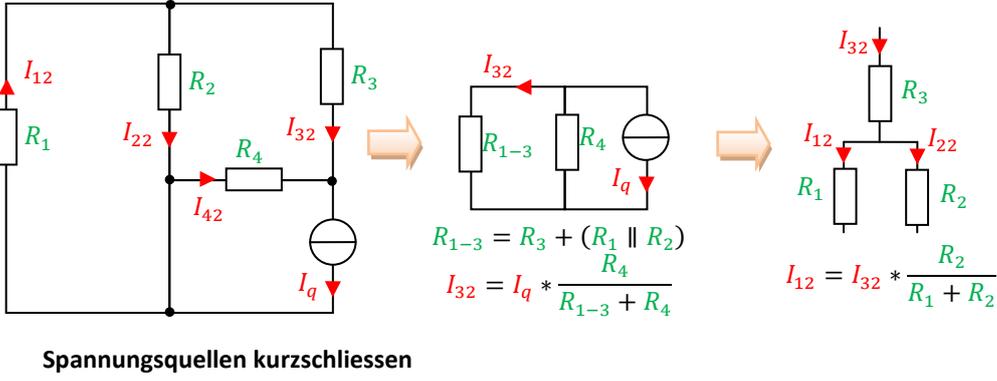
Amperemeter	Voltmeter

**Berechnung von Gleichstromkreisen**

**Maschenstromverfahren**

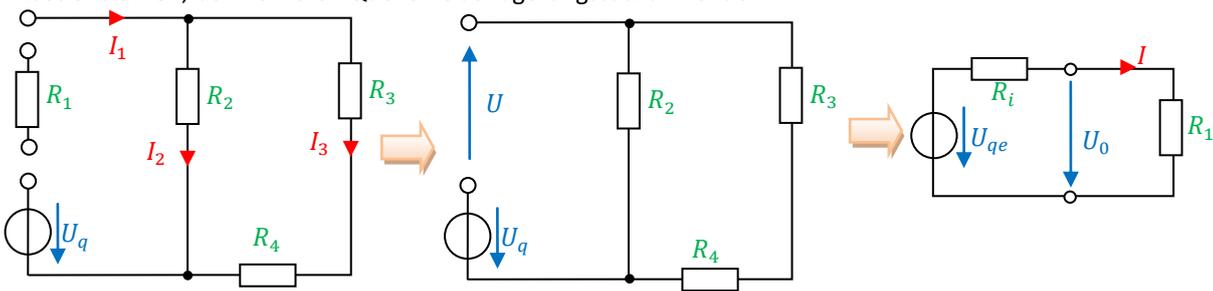
	<p><b>Knotengleichungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Anzahl: Knoten -1</li> <li>Knotenpunkte zusammenführen</li> </ul> <p>1 <math>I_1 - I_2 - I_3 = 0</math>                  2 <math>I_q - I_1 + I_2 - I_4 = 0</math></p>	<p><b>Maschengleichungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Anzahl: Rest</li> <li>Nicht mit Stromquellen</li> </ul> <p>I <math>R_1 * I_1 + R_2 * I_2 - U_q = 0</math>                  II <math>I_2 * R_2 + I_4 * R_4 - I_3 * R_3 = 0</math></p>																									
<p><b>Lineares Gleichungssystem</b></p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td><math>I_1</math></td> <td><math>I_2</math></td> <td><math>I_3</math></td> <td><math>I_4</math></td> <td><math>b</math></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>-1</td> <td>-1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>-1</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>-1</td> <td><math>I_q</math></td> </tr> <tr> <td><math>R_1</math></td> <td><math>R_2</math></td> <td>0</td> <td>0</td> <td><math>U_q</math></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td><math>R_2</math></td> <td><math>-R_3</math></td> <td><math>R_4</math></td> <td>0</td> </tr> </table>		$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$b$	1	-1	-1	0	0	-1	1	0	-1	$I_q$	$R_1$	$R_2$	0	0	$U_q$	0	$R_2$	$-R_3$	$R_4$	0	
$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$b$																							
1	-1	-1	0	0																							
-1	1	0	-1	$I_q$																							
$R_1$	$R_2$	0	0	$U_q$																							
0	$R_2$	$-R_3$	$R_4$	0																							

**Überlagerungssatz (Quellen einzeln berücksichtigen)**

<b>Spannungsquelle</b>	 <p style="text-align: center;"><b>Stromquelle mit Leitung entfernen</b></p> $R_G = R_1 + (R_2 \parallel (R_3 + R_4))$ $I_{11} = \frac{U_q}{R_G}$
<b>Stromquelle</b>	 <p style="text-align: center;"><b>Spannungsquellen kurzschliessen</b></p> $R_{1-3} = R_3 + (R_1 \parallel R_2)$ $I_{32} = I_q * \frac{R_4}{R_{1-3} + R_4}$ $I_{12} = I_{32} * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$
<b>Zusammen</b>	$I_1 = I_{11} + I_{12}$

**Ersatzschaltung**

**1. Last entfernen, bei mehreren Quellen Überlagerungssatz anwenden**



**2. Quellenspannung  $U_{qe}$ :** Vorhandene Klemmenspannung beider Schaltungen im Leerlauf gleichsetzen

$$U_q = U \rightarrow U = U_{qe}$$

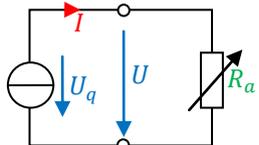
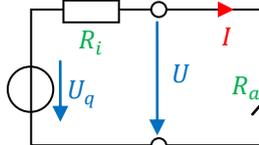
**3. Innenwiderstand  $R_i$ :** Entspricht dem Widerstand zwischen den beiden Klemmen:

$$R_i = R_2 \parallel (R_3 + R_4)$$

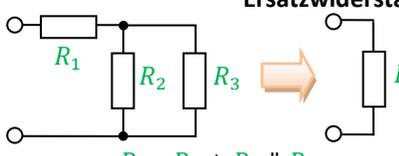
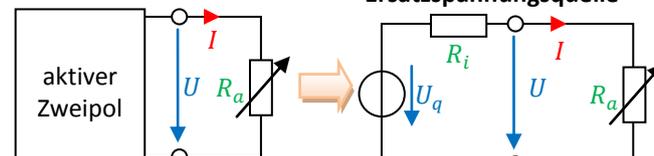
**Spannungsquellen:** kurzschliessen, parallele Widerstände entfernen  
**Stromquellen:** unterbrechen, serielle Widerstände entfernen

$$I = \frac{U_{qe}}{R_i + R_1}$$

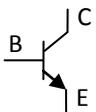
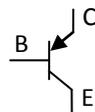
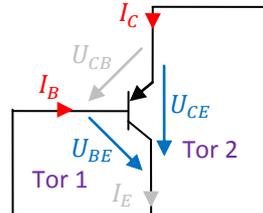
**Leistungsanpassung**

Idee	Stromquelle	Spannungsquelle
max. Leistung $P_{a\ max}$ bei $R_a = R_1$		$P_{a\ max} = \frac{I_q^2 * R_i}{4}$
		
		$P_{a\ max} = \frac{U_q^2}{4 * R_i}$

**Ersatzschaltung**

passiver Zweipol	aktiver Zweipol
ohne Spannungs- oder Stromquelle	mit Spannungs- oder Stromquelle
 $R = R_1 + R_2 \parallel R_3$	

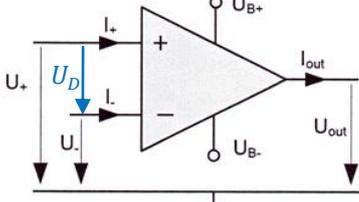
**Transistor**

NPN-Transistor	PNP-Transistor	Emitterschaltung
		
B = Basis C = Kollektor E = Emitter		$I_C > I_B$ $I_C + I_B = I_E$ $U_{CE} = U_{CB} + U_{BE}$ Tor 1: $U_{BE} = f_1(I_B, U_{CE})$ Tor 2: $I_C = f_2(I_B, U_{CE})$
		Fliesst ein Strom $I_B$ , wird die Strecke zwischen Kollektor und Emitter leitend.

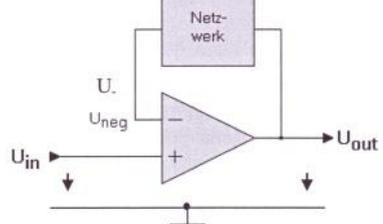
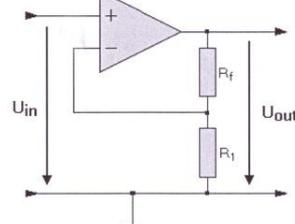
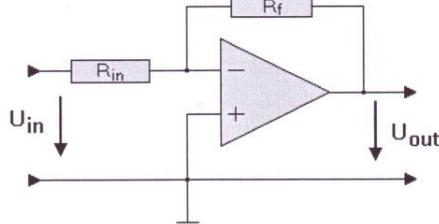
**Kennlinienfelder**

Eingangskennlinienfeld	$U_{BE}$ als Funktion von $I_B$
Ausgangskennlinienfeld	$I_C$ als Funktion von $U_{CE}$
Stromverstärkungskennlinienfeld	Stromverstärkung: $B = I_C / I_B$
Rückwirkungskennlinienfeld	$U_{CE}$ hat keine Auswirkung auf $U_{BE}$

**Operationsverstärker**

	Der Operationsverstärker bildet die Differenz der beiden Eingangsspannungen und verstärkt diese.	$U_D = U_+ - U_-$ $I_+, I_- = 0$
	Verstärkung	$A_v$ ideal: $A_v = \infty$
	Eingangswiderstand	Input $R_{in}$ ideal: $Z_{in} = \infty$
	Ausgangswiderstand	ideal: 0
	Anstiegsgeschwindigkeit	Slew Rate    real: $0.5 - 1000 \frac{V}{\mu s}$

**Mit Gegenkopplung**

Mit Gegenkopplung	Nicht invert. Verstärker	Invertierender Verstärker
		
$U_{out} = A_v * (U_{in} - U_-)$ $U_- = k * U_{out}$ $k = \text{Kopplungsfaktor}$ $A(= \text{Verstärkung}) = \frac{U_{out}}{U_{in}}$	$U_d = 0$ $U_{out} = I * (R_1 + R_f)$ $I_f = I_1 = \frac{U_{in}}{R_1}$ $\frac{U_{out}}{U_{in}} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$	$U_+ = U_- = U_d = 0$ $I_f = I_{in} = \frac{U_{in}}{R_{in}}$ $\frac{U_{out}}{U_{in}} = - \frac{R_f}{R_{in}}$