

# Definitionen der Basiseinheiten

## Meter

Urspr.: 1m = 40millionster Teil des Erdumfangs

Heute: 1m = 1650763,73fache der Wellenlänge der von  $^{86}\text{Kr}$  beim Übergang vom  $5d_5$ - zum  $2p_{10}$ -Niveau ausgesandten Strahlung

## Sekunde

Urspr.: 1s = 86400ster Teil eines mittleren Sonnentages

Heute: 1s = 9192631770fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den Hyperfeinstruktur-niveaus des Grundzustandes von  $^{133}\text{Cs}$  entsprechenden Strahlung

## Kilogramm

Urspr.: 1kg= Masse von einem Liter Wasser bei  $4^\circ\text{C}$

Heute: 1kg= Masse des internationalen Kilogrammprototyps

## Ampere

Urspr.: 1A = 1,118mg/s Ag elektrochemisch aus  $\text{AgNO}_3$ -Lösung abgeschieden

Heute: 1A = Stärke eines Gleichstroms, der in zwei unendlich langen, in 1m Abstand parallel zueinander angeordneten Leitern, pro 1m Leiterlänge die Kraft  $2 \cdot 10^{-7}$  N hervorrufen würde

## Kelvin

1K = 273,16ter Teil der thermodynamischen Temperatur des ersten Tripelpunktes von Wasser

## Candela

1cd = Lichtstärke, mit der  $1/600000$   $\text{m}^2$  der Oberfläche eines schwarzen Strahlers bei der Temperatur des erstarrenden Platins (2024 K) bei einem Druck von  $101325 \text{ Nm}^{-2}$  (1 atm) senkrecht zur Oberfläche leuchtet

## Mol

1mol = Stoffmenge eines Systems, die aus ebensovielen Elementareinheiten besteht, wie Atome in 12 g des Nuklids  $^{12}\text{C}$  enthalten sind

## Zusammenhang zwischen Basisgrößen und Basiseinheiten

| Basisgröße          | gebräuchliches Formelzeichen | Basiseinheit | Kurzzeichen |
|---------------------|------------------------------|--------------|-------------|
| Länge               | $l, s, r$                    | Meter        | m           |
| Masse               | $m$                          | Kilogramm    | kg          |
| Zeit                | $t$                          | Sekunde      | s           |
| elektr. Stromstärke | $I$                          | Ampere       | A           |
| absolute Temperatur | $T$                          | Kelvin       | K           |
| Lichtstärke         | $I_v$                        | Candela      | cd          |
| Stoffmenge          | $n$                          | Mol          | mol         |

## Abkürzungen abgeleiteter Einheiten

| Physikal. Größe mit Formelzeichen | Einheit (SI) und Abkürzung |          | Definition bzw. Umrechnung                     |
|-----------------------------------|----------------------------|----------|--|
| Kraft $F$                         | Newton                     | N        | $1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$             |
| Energie $W$                       | Joule                      | J        | $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$                   |
| Leistung $P$                      | Watt                       | W        | $1 \text{ W} = 1 \text{ Nm/s} = 1 \text{ J/s}$ |
| Druck $p$                         | Pascal                     | Pa       | $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$               |
| Ladung $Q$                        | Coulomb                    | C        | $1 \text{ C} = 1 \text{ As}$                   |
| Spannung $U$                      | Volt                       | V        | $1 \text{ V} = 1 \text{ W/A}$                  |
| Widerstand $R$                    | Ohm                        | $\Omega$ | $1 \Omega = 1 \text{ V/A}$                     |
| Kapazität $C$                     | Farad                      | F        | $1 \text{ F} = 1 \text{ As/V} = 1 \text{ C/V}$ |
| Induktivität $L$                  | Henry                      | H        | $1 \text{ H} = 1 \text{ Vs/A}$                 |
| magnetischer Fluß $F$             | Weber                      | Wb       | $1 \text{ Wb} = 1 \text{ Vs}$                  |
| magnet. Induktion $B$             | Tesla                      | T        | $1 \text{ T} = 1 \text{ Vs/m}^2$               |

## *Einheitenvorsätze*

10<sup>1</sup> ? da = Deka  
10<sup>2</sup> ? h = Hekto  
10<sup>3</sup> ? k = Kilo  
10<sup>6</sup> ? M = Mega  
10<sup>9</sup> ? G = Giga  
10<sup>12</sup> ? T = Tera  
10<sup>15</sup> ? P = Peta  
10<sup>18</sup> ? E = Exa

10<sup>-1</sup> ? d = Dezi  
10<sup>-2</sup> ? c = Zenti  
10<sup>-3</sup> ? m = Milli  
10<sup>-6</sup> ? μ = Mikro  
10<sup>-9</sup> ? n = Nano  
10<sup>-12</sup> ? p = Piko  
10<sup>-15</sup> ? f = Femto  
10<sup>-18</sup> ? a = Atto

## *Regeln zur Verwendung von Vorsätzen und Einheitenkurzzeichen*

- \* Gleichzeitige Verwendung mehrerer Vorsätze ist unzulässig.
- \* Einheit und Vorsatz gelten als *ein* Symbol.  
Dieses kann ohne Verwendung von Klammern zur Potenz erhoben werden.
- \* Einheitenkurzzeichen erhalten keine Indizes.
- \* Kombinationen von Kurzzeichen und ausgeschriebenen Vorsätzen und umgekehrt sind unzulässig.

## Aufgabe 1:

Thema: Einheiten

Die Einheit der Energie  $W$  kann durch verschiedene abgeleitete Einheiten oder durch Basiseinheiten dargestellt werden.

- a) Wie gelangt man von der Einheit  $\text{Nm}$  zur Einheit  $\frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2}$  ?

Eine früher gebräuchliche Einheit für die Leistung war das PS. Es gilt: 1 PS ist diejenige Leistung, die man aufwenden muß, um die Masse von 75 kg in der Zeit 1 s um 1 m anzuheben, wenn gleichzeitig die Normalbeschleunigung wirkt.

- b) Drücken Sie 1 PS durch die Einheit der elektrischen Leistung  $P$  ( $[P] = 1\text{W}$ ) aus.

## Lösung Aufgabe 1:

a)  $1 \text{ Nm} = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2}$

b)  $1 \text{ PS} = 735,5 \text{ W}$

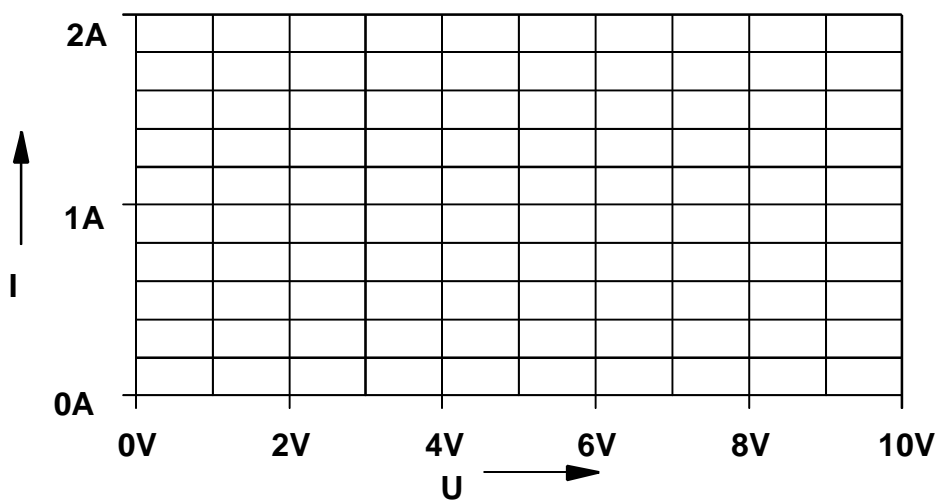
## Aufgabe 2:

Thema: Größengleichungen

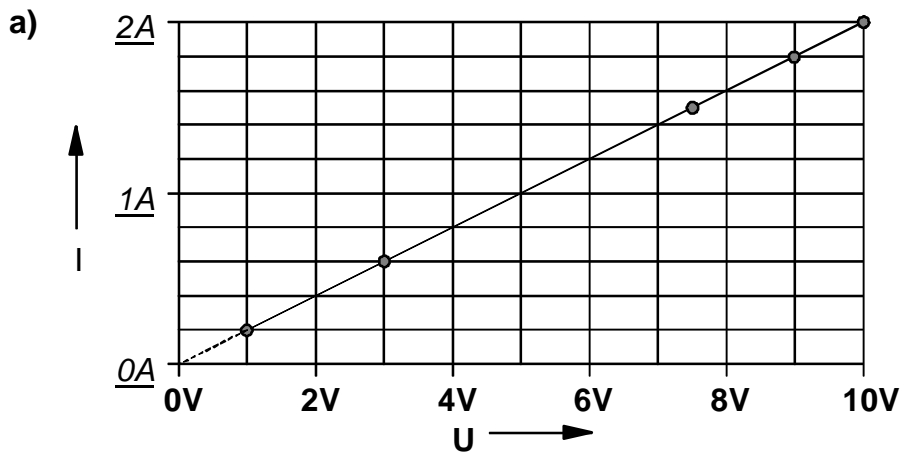
Gegeben ist die Wertetabelle einer Strom- und Spannungsmessung.

|              |       |       |       |       |       |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Spannung $U$ | 1 V   | 3 V   | 7,5 V | 9 V   | 10 V  |
| Strom $I$    | 0,2 A | 0,6 A | 1,5 A | 1,8 A | 2,0 A |

a) Übertragen Sie diese Wertetabelle in eine graphische Darstellung.



b) Geben Sie die Gesetzmäßigkeit  $I=f(U)$  in Form einer Größengleichung an.

**Lösung Aufgabe 2:**

b)  $I = \frac{U}{R}$  mit  $R=5\Omega$

oder

$I = G \cdot U$  mit  $G=0,2S$

### Aufgabe 3:

Thema: Größengleichung → zugeschnittene Größengleichung → Zahlenwertgleichung

Für die Wärmeenergie, die ein Körper bei Erwärmung aufnimmt, gilt folgende Größengleichung:

$$W = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

W = aufgenommene Wärmeenergie,  
c = spezifische Wärme,

m = Masse des Körpers,  
 $\Delta\theta$  = Temperaturdifferenz.

- a) Es soll die zugehörige zugeschnittene Größengleichung bestimmt werden, in der die Größen in folgenden Einheiten angegeben werden:

$$[W] = \text{J} \quad [m] = \text{kg} \quad [c] = \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \quad [\Delta\theta] = \text{K}$$

- b) Wie lautet die entsprechende Zahlenwertgleichung ?

### Lösung Aufgabe 3:

$$\text{a) } \frac{W}{\text{J}} = 10^3 \cdot \frac{m}{\text{kg}} \cdot \frac{c}{\frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}} \cdot \frac{\Delta\theta}{\text{K}}$$

$$\text{b) } W = 10^3 \cdot m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

$$[W] = \text{J}$$

$$[m] = \text{kg}$$

$$[c] = \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$$

$$[\Delta\theta] = \text{K}$$

**Aufgabe 4:**

Thema: Zahlenwertgleichung → zugeschnittene Größengleichung → Größengleichung

Die Zahlenwertgleichung  $M = 9,54 \cdot 10^3 \frac{P}{n}$

M in Nm

P in kW

n in  $\text{min}^{-1}$

ist in die allgemeine Größengleichung  $M = \frac{P}{\omega}$  umzuwandeln.

Es gilt:  $\omega = 2\pi f$  und  $1\text{Nm} = 1\text{Ws}$ .

**Lösung Aufgabe 4:**

Lösung siehe Übung



## Aufgabe 5:

Thema: einfache Vektoroperationen

Gegeben sind die elektrischen Feldstärke-Vektoren  $\vec{E}_1$  und  $\vec{E}_2$  durch folgende Angaben:

$$|\vec{E}_1| = 5,5 \frac{\text{V}}{\text{m}}; \quad \cos(\vec{E}_1, \vec{e}_x) = 0,30; \quad \cos(\vec{E}_1, \vec{e}_y) = 0,37$$

$$|\vec{E}_2| = 8,1 \frac{\text{V}}{\text{m}}; \quad \cos(\vec{E}_2, \vec{e}_x) = 0,82; \quad \cos(\vec{E}_2, \vec{e}_y) = 0,11$$

Sämtliche Komponenten der Vektoren  $\vec{E}_1$  und  $\vec{E}_2$  sind positiv.

- |                |    |                     |                              |
|----------------|----|---------------------|------------------------------|
| Berechnen Sie: | a) | die Vektorsumme     | $\vec{E}_1 + \vec{E}_2,$     |
|                | b) | das skalare Produkt | $\vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2,$ |
|                | c) | den Winkel zwischen | $\vec{E}_1$ und $\vec{E}_2.$ |

## Lösung Aufgabe 5:

$$\text{a) } \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = (8,29 \cdot \vec{e}_x + 2,93 \cdot \vec{e}_y + 9,38 \cdot \vec{e}_z) \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$\text{b) } \vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 = 34,75 \frac{\text{V}^2}{\text{m}^2}$$

$$\text{c) } ? (\vec{E}_1, \vec{E}_2) = 38,74^\circ$$

**Aufgabe 6:**

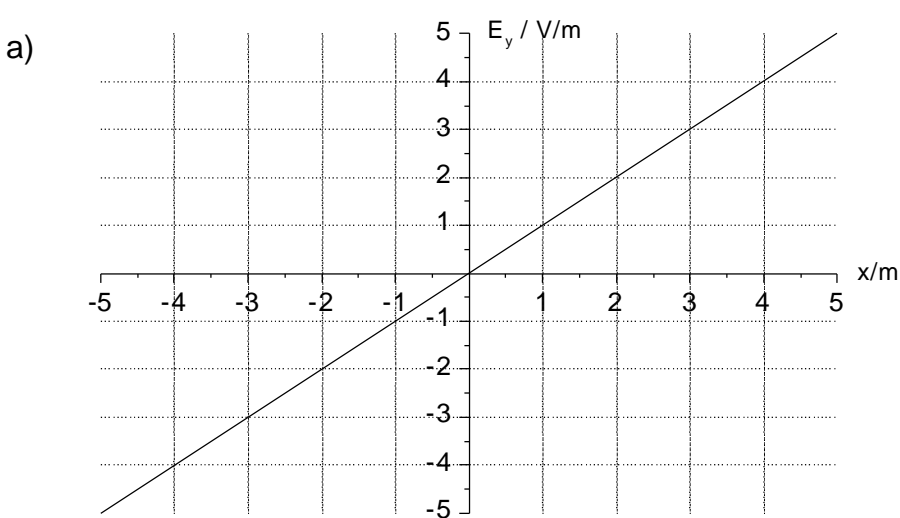
Thema: Umlaufspannung, Elektronenbewegung im elektrischen Feld

Gegeben sei das folgende zweidimensionale Vektorfeld der elektrischen Feldstärke:

$$\vec{E} = \begin{pmatrix} 0 \\ kx \end{pmatrix} \text{ mit } k = 1 \frac{\text{V}}{\text{m}^2}$$

- a) Skizzieren Sie den Verlauf der Komponenten der Feldstärke entlang der x-Achse für  $|x| \leq 5 \text{ m}$
- b) Bestimmen Sie die Umlaufspannung längs eines zum Koordinatenursprung zentrierten, die Achsen senkrecht schneidenden Quadrates mit der Kantenlänge a.
- c) Zum Zeitpunkt  $t_1 = 0 \text{ s}$  bewegt sich vom Punkt  $P_1 (x_1=2\text{m} ; y_1=2\text{m})$  ein Elektron mit der Geschwindigkeit  $v_1 = 5 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  in positive y-Richtung.
  - a) Welche Entfernung von der x-Achse hat das Elektron zu einem Zeitpunkt  $t_2 > t_1$ , wenn seine Geschwindigkeit Null beträgt ?
  - β) Bestimmen Sie den Zeitpunkt  $t_3 > t_2$ , zu dem das Elektron die x-Achse schneidet.

**Lösung Aufgabe 6:**



b)  $U = 1\text{V} \cdot \left(\frac{a}{\text{m}}\right)^2$

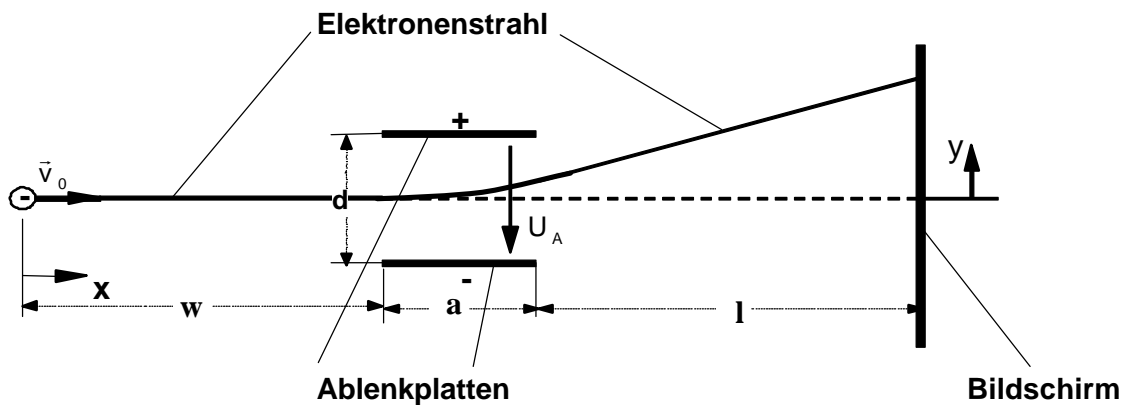
c) α)  $y_U = 2,356 \text{ m}$

β)  $t_3 = 5,08 \mu\text{s}$

## Aufgabe 7:

Thema: Ablenkung eines Elektrons im elektrischen Feld

In einem Oszilloskop wird zur Ablenkung des Elektronenstrahls die Kraftwirkung eines elektrischen Feldes auf ein Elektron (Masse  $m_0$ , Elementarladung  $e$ ) ausgenutzt. Das Prinzip einer solchen Anordnung zeigt die nachfolgende Abbildung:



Bei  $x = 0$  hat der Geschwindigkeitsvektor den Betrag  $v_0$  und seine  $y$ -Komponente ist dort gleich Null.

Zwischen den beiden Ablenplatten mit dem Abstand  $d$  liegt die Gleichspannung  $U_A$  an.

Zahlenwerte:  $w = 2 \text{ cm}$        $d = 2 \text{ cm}$        $a = 2 \text{ cm}$        $l = 10 \text{ cm}$

$U_A = 500 \text{ V}$        $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$

$v_0 = 0,5 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$        $m_0 = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

- a) Beschreiben und erklären Sie den Bahnverlauf des Elektrons für  $0 \leq x \leq w+a+l$ .
- b) Bestimmen Sie die Größe der Ablenkung auf dem Bildschirm in Abhängigkeit von der Ablenkspannung  $U_A$ .

## Lösung Aufgabe 7:

- a) I)  $0 \leq x \leq w$ : keine Kraftwirkung auf Elektron,  $\vec{v} = \vec{v}_0 = \text{const.}$
- II)  $w \leq x \leq w+a$ : elektrische Feldstärke zwischen den Ablenplatten bewirkt Ablenkung des Elektrons in  $y$ -Richtung
- III)  $w+a \leq x \leq w+a+l$ : keine Kraftwirkung auf Elektron,  $\vec{v} = \text{const.}$

b) 
$$y_{\text{Schirm}} = \frac{e \cdot U_A \cdot a}{m_0 \cdot d \cdot v_0^2} \cdot \left( \frac{a}{2} + l \right) = 3,87 \text{ mm}$$

**Aufgabe 8:**

Thema: Driftgeschwindigkeit

Ein in Haushalten oft verwendeter Querschnitt von elektrischen Leitungen ist  $A=1,5 \text{ mm}^2$ . Eine solche Leitung darf nach der VDE-Vorschrift "VDE 0100" mit maximal 10 A abgesichert werden.

- a) Bestimmen Sie die maximal zulässige Stromdichte  $S$  in einer solchen Leitung.
- b) Berechnen Sie unter der Annahme, daß die Dichte der frei beweglichen Leitungselektronen  $n = 10^{23} \text{ cm}^{-3}$  beträgt, die Driftgeschwindigkeit  $v_D$  der Elektronen bei maximaler Stromdichte.

Die Ladung eines einzelnen Elektrons beträgt  $e_- = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

**Lösung Aufgabe 8:**

a) 
$$S_{\max} = 6 \frac{2}{3} \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

## Aufgabe 9:

Thema: Kohleschichtwiderstand

Durch Auftragen einer dünnen Kohleschicht der Stärke  $s$  auf einen zylindrischen, isolierenden Keramikkörper mit dem Durchmesser  $d$  ( $s \ll d$ ) sollen Widerstände mit unterschiedlichem Widerstandswert  $R$  hergestellt werden.

- a) Man bestimme die zugeschnittene Größengleichung zur Berechnung des Widerstandes  $R$  mit folgenden Einheiten:

Widerstand  $R$  in  $\Omega$ ; Zylinderlänge  $l$  in cm; Zylinderdurchmesser  $d$  in mm;

Schichtdicke  $s$  in  $\mu\text{m}$ ; spezifischer Widerstand  $\rho$  der Kohleschicht in  $\Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$ .

- b) Wie groß muß die Länge des Keramikkörpers sein, wenn ein Widerstand von  $10 \Omega$  hergestellt werden soll und folgende Werte vorliegen:

$$\rho = 10 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}; \quad d = 4 \text{ mm}; \quad s = 1,5 \mu\text{m}$$

## Lösung Aufgabe 9:

- a) Querschnittsfläche der Kohleschicht:

$$A \approx \pi \cdot d \cdot s$$

$$\frac{R}{\Omega} = \frac{10}{\pi} \cdot \frac{\rho}{\Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}} \cdot \frac{l}{\text{cm}} \cdot \frac{1}{\frac{d}{\text{mm}}} \cdot \frac{1}{\frac{s}{\mu\text{m}}}$$

- b)  $l = 1,88 \text{ cm}$

b)  $v_D = -4,16 \cdot 10^{-2} \frac{\text{cm}}{\text{s}}$

**Aufgabe 10:**

Thema: Temperaturbeiwerte

An einem ohmschen Widerstand werden bei zwei Temperaturen  $\theta_1$  und  $\theta_2$  folgende Messungen durchgeführt:

$$1.) \theta_1 = 220^\circ\text{C} : \frac{R_{\theta_1}}{R_{20}} = 1,1$$

$$2.) \theta_2 = 2020^\circ\text{C} : \frac{R_{\theta_2}}{R_{20}} = 1,3$$

$R_{20}$  : Widerstandswert bei  $\theta = 20^\circ\text{C}$

Es sollen die Temperaturbeiwerte  $\alpha_{20}$  und  $\beta_{20}$  des Widerstandsmaterials bestimmt werden.

**Lösung Aufgabe 10:**

$$\alpha_{20} = 0,539 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$$

$$\beta_{20} = -1,94 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-2}$$

## Aufgabe 11:

Thema: Temperaturabhängigkeit des ohmschen Widerstandes, Fehlerrechnung

Gegeben sind die Temperaturbeiwerte von Wolfram:

$$\alpha_{20} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$$

$$\beta_{20} = 1 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-2}$$

Der Zusammenhang zwischen dem temperaturabhängigen Widerstand  $R(\theta)$  und der Temperaturdifferenz  $\Delta\theta = \theta - 20^\circ\text{C}$  wird durch die folgende Gleichung beschrieben:

$$R(\Delta\theta) = R_{20} \cdot \left[ 1 + \alpha_{20} \cdot \Delta\theta + \beta_{20} \cdot (\Delta\theta)^2 \right]$$

a) Berechnen Sie  $R(\theta)$  für     $\alpha)$   $\theta_1 = 220^\circ\text{C}$ ;

$\beta)$   $\theta_2 = 2020^\circ\text{C}$ .

b) Bestimmen Sie für die beiden Temperaturdifferenzen  $\Delta\theta_1$  und  $\Delta\theta_2$  den relativen Fehler bei Weglassen des quadratischen Gliedes in der Gleichung für  $R(\theta)$  unter der Annahme, daß der Wert für  $R(\theta)$  gemäß der oben angeführten Gleichung der richtige Wert und der Wert für  $R(\theta)$  bei Weglassen des quadratischen Gliedes der falsche Wert ist.

Hinweis:    Definition des absoluten Fehlers  $F$  :     $F = \text{falscher Wert} - \text{richtiger Wert}$

   Definition des relativen Fehlers  $f$  :     $f = \frac{\text{falscher Wert} - \text{richtiger Wert}}{\text{richtiger Wert}}$

## Lösung Aufgabe 11:

a)                                     $\alpha)$   $R_{\theta_1} = 1,86 \cdot R_{20}$

$\beta)$   $R_{\theta_2} = 13,2 \cdot R_{20}$

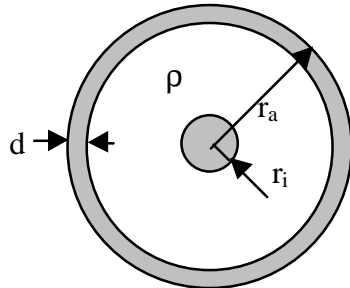
b)                                     $f(\theta = \theta_1) = -0,0215 \quad (\hat{=} -2,15\%)$

$f(\theta = \theta_2) = -0,303 \quad (\hat{=} -30,3\%)$

## Aufgabe 12:

Thema: Koaxialkabel, Widerstandsberechnung

Gegeben sei ein Koaxialkabel der Länge  $l$  mit dem Innenradius  $r_i$  und dem Außenradius  $r_a$ . Die Wandstärke des Außenleiters sei  $d$ .



Das Leitungsmaterial (Kupfer) hat die spezifische Leitfähigkeit  $\sigma$ . Das Isolationsmaterial hat den spezifischen Widerstand  $\rho$ .

Zahlenwerte:

|       |   |        |          |   |                                 |
|-------|---|--------|----------|---|---------------------------------|
| $r_i$ | = | 0,3 mm | $\rho$   | = | $10^{10} \Omega \text{ m}$      |
| $r_a$ | = | 2,8 mm | $\sigma$ | = | $6,4 \cdot 10^5 \text{ S / cm}$ |
| $d$   | = | 0,3 mm | $l$      | = | 10 m                            |

- Bestimmen Sie den Leitwert zwischen Innen- und Außenleiter.
- Wie groß ist der Widerstand des Innenleiters bzw. des Außenleiters?

An einem Ende des Kabels wird nun eine Spannung von 1 V angelegt.

- Welche Leistung wird im Kabel umgesetzt, wenn das andere Ende des Kabels offen bleibt?
- Welche Leistung wird im Kabel umgesetzt, wenn das andere Ende des Kabels kurzgeschlossen wird?

## Lösung Aufgabe 12:

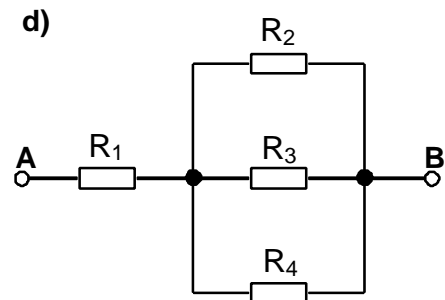
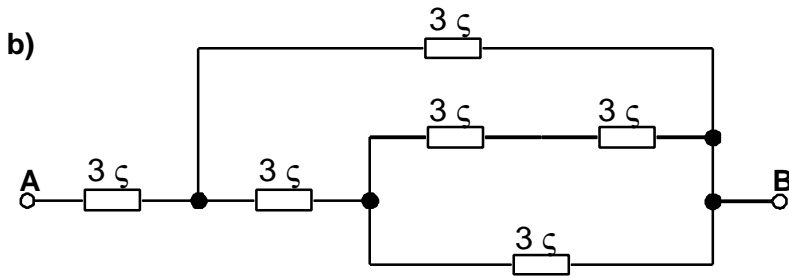
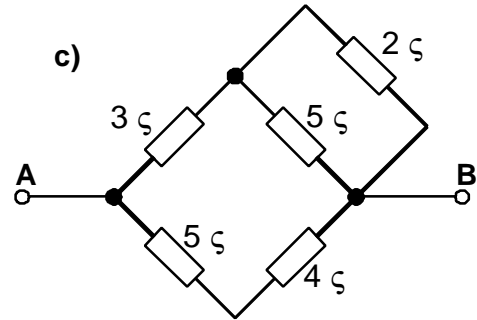
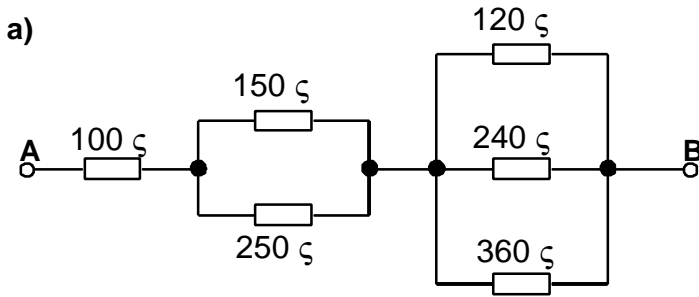
- $G = 2,96 \text{ nS}$
- $R_I = 553 \text{ m}\Omega$       $R_A = 31,3 \text{ m}\Omega$
- $P_{\text{offen}} = 2,96 \text{ nW}$
- $P_{\text{geschlossen}} = 1,71 \text{ W}$



# Aufgabe 13:

Thema: Berechnung von Widerstandsnetzwerken

Man berechne den Widerstand folgender Schaltungen jeweils bezüglich des Klemmenpaares A-B



# Lösung Aufgabe 13:

a)  $R_{AB} = 259,2 \Omega$

b)  $R_{AB} = \frac{39}{8} \Omega$

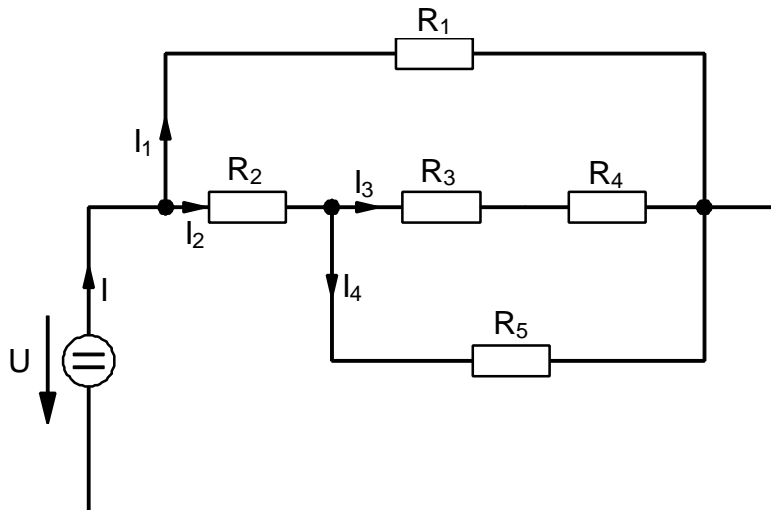
c)  $R_{AB} = 2,97 \Omega$

d)  $R_{AB} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3 \cdot R_4}{R_2 R_3 + R_3 R_4 + R_2 R_4}$

**Aufgabe 14:**

Thema: Stromteilerregel

Gegeben ist das skizzierte Netzwerk:



Zahlenwerte:

$$U = 25 \text{ V}$$

$$R_1 = R_5 = 10 \text{ } \Omega$$

$$R_2 = 5 \text{ } \Omega$$

$$R_3 = 4 \text{ } \Omega$$

$$R_4 = 6 \text{ } \Omega$$

Berechnen Sie die gesamte Stromverteilung im Netzwerk.

**Lösung Aufgabe 14:**

$$I = 5 \text{ A}$$

$$I_1 = 2,5 \text{ A}$$

$$I_2 = 2,5 \text{ A}$$

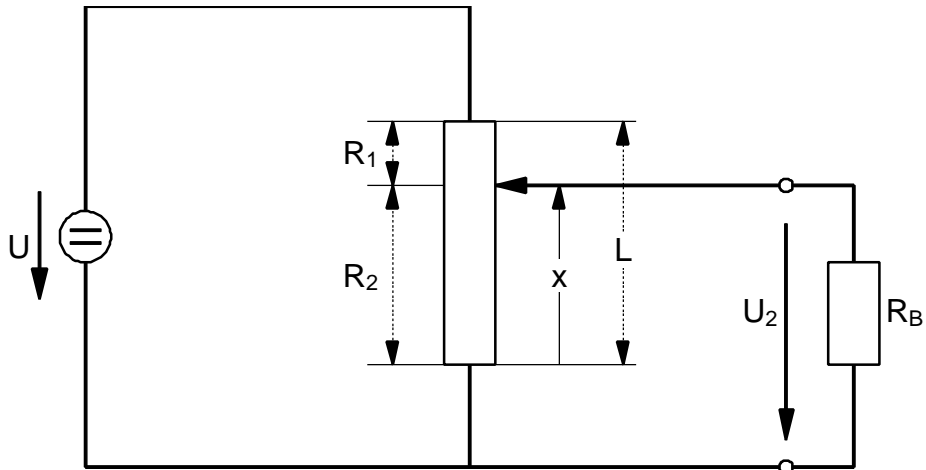
$$I_3 = 1,25 \text{ A}$$

$$I_4 = 1,25 \text{ A}$$

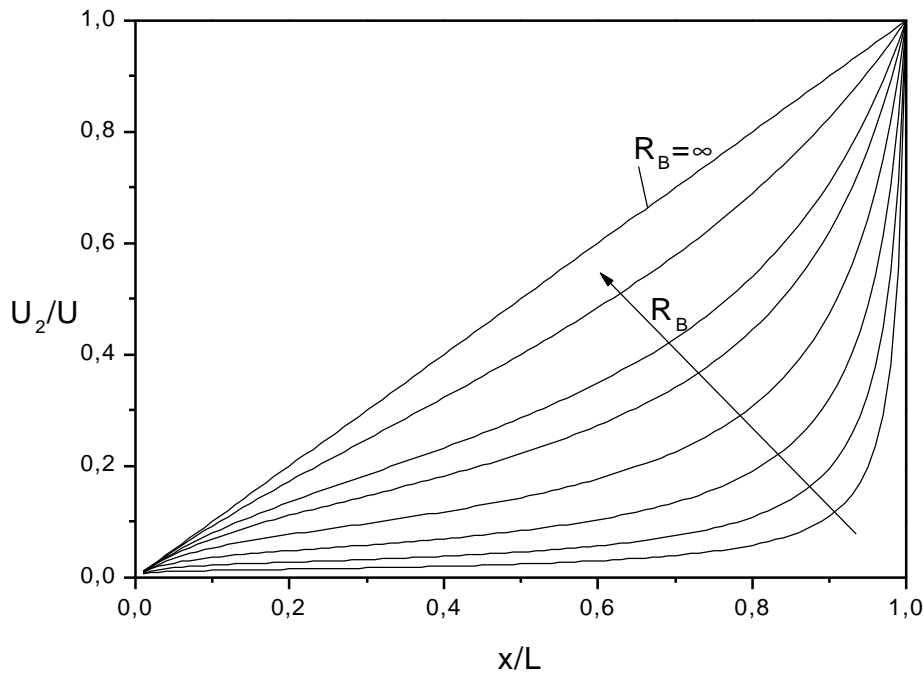
**Aufgabe 15:**

Thema: Spannungsteilerregel

Gegeben ist der skizzierte Spannungsteiler (Potentiometer). Diskutieren Sie den Verlauf der Spannung  $U_2$  in Abhängigkeit von der Schleiferstellung  $\frac{x}{L}$  mit dem Lastwiderstand  $R_B$  als Parameter.



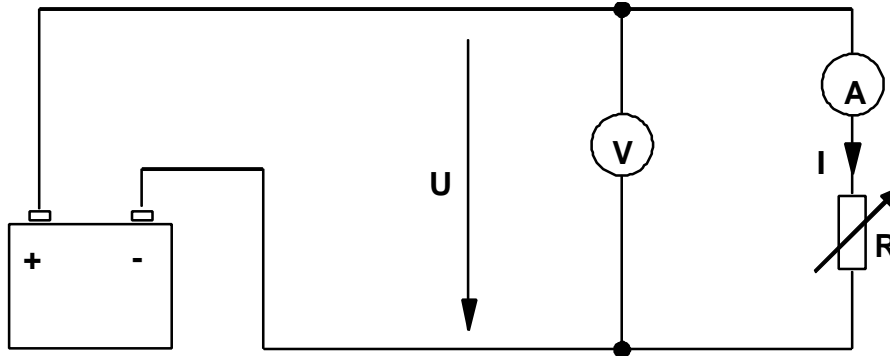
**Lösung Aufgabe 15:**



# Aufgabe 16:

Thema: Reale Spannungsquelle

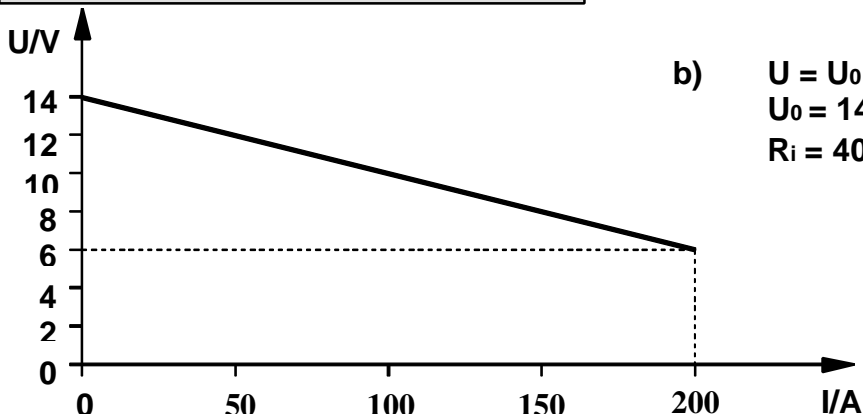
An einer Batterie wird gemäß der dargestellten Schaltung durch Änderung des Belastungswiderstandes R eine Strom-Spannung-Messreihe aufgenommen (s. Tabelle). Die Meßgeräte seien als ideal anzunehmen, das heißt, der Innenwiderstand des Amperemeters ist gleich Null, und der Innenwiderstand des Voltmeters ist unendlich groß.



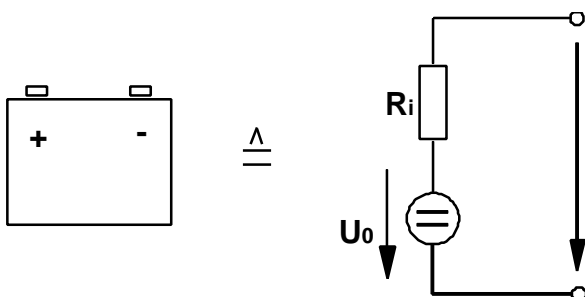
|       |    |    |     |     |     |
|-------|----|----|-----|-----|-----|
| U / V | 14 | 12 | 10  | 8   | 6   |
| I / A | 0  | 50 | 100 | 150 | 200 |

- Skizzieren Sie die Abhängigkeit der Spannung U vom Strom I.
- Beschreiben Sie den Verlauf  $U=f(I)$  durch eine Gleichung.
- Überlegen Sie sich eine elektrische Ersatzschaltung für die Batterie, die der Strom-Spannung-Messreihe und der in b) aufgestellten Gleichung genügt.

# Lösung Aufgabe 16:

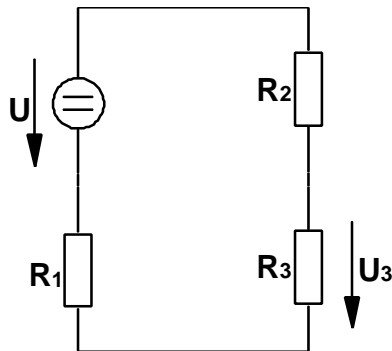


b)  $U = U_0 - R_i \cdot I$   
 $U_0 = 14 \text{ V}$   
 $R_i = 40 \text{ m}\Omega$



## Aufgabe 17:

Thema: Spannungsmessung



Gegeben sei die nebenstehende Schaltung mit folgenden Zahlenwerten:

$$\begin{aligned}
 U &= 100\text{V} \\
 R_1 &= 100\ \Omega \\
 R_2 &= 3,9\ \text{k}\Omega \\
 R_3 &= 6\ \text{k}\Omega
 \end{aligned}$$

- a) Berechnen Sie die Spannung  $U_3$ .
- b) Eine Messung der Spannung am Widerstand  $R_3$  mit einem Spannungsmesser (Meßbereich 100 V, Innenwiderstand 30 k $\Omega$ , Genauigkeitsklasse 1,5) ergibt einen Wert von  $U_{3\text{ Meß}} = 56\text{ V}$ .  
Wie läßt sich die Differenz zu dem unter a) berechneten Wert erklären ?

Hinweis: Die Genauigkeitsklasse eines Meßgerätes gibt den Betrag des absoluten Fehlers bezogen auf den Endwert des Meßbereiches in Prozent an.

## Lösung Aufgabe 17:

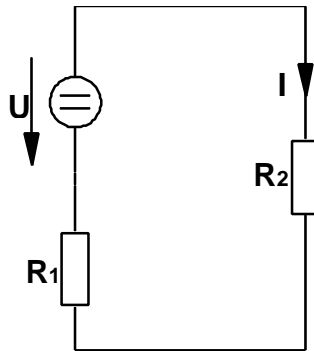
- a)  $U_3 = 60\text{ V}$
- b) Ursachen der Differenz:
  - Systematischer Fehler durch den Innenwiderstand des Spannungsmessers
  - durch die Ungenauigkeit der Meßapparatur bedingter Fehler (spezifiziert durch die Genauigkeitsklasse)

Bei einwandfreier Funktion des Meßgerätes muß der angezeigte Spannungswert im folgenden Bereich liegen:

$$54,1\text{ V} [ U_{3\text{ Anz}} [ 57,1\text{ V}$$

## Aufgabe 18:

Thema: Strommessung



Gegeben sei die nebenstehende Schaltung mit folgenden Zahlenwerten:

$$U = 100 \text{ V}$$

$$R_1 = 2 \text{ } \Omega$$

$$R_2 = 8 \text{ } \Omega$$

- Berechnen Sie den Strom  $I$ .
- In welchem Bereich wird die Anzeige eines Strommessers mit den nachfolgend angegebenen Kennwerten liegen?

Kennwerte des Strommessers:

- Innenwiderstand  $1,1 \text{ } \Omega$
- Messbereichsendwert  $10 \text{ A}$
- Genauigkeitsklasse  $0,5$

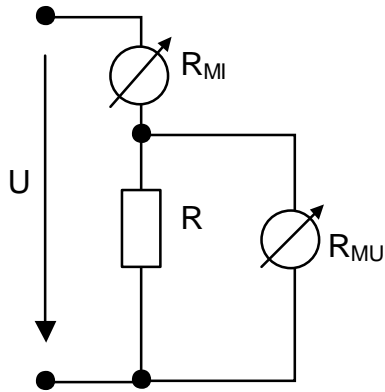
## Lösung Aufgabe 18:

- $I = 10 \text{ A}$
- $8,95 \text{ A} [ I_{\text{Anz}} [ 9,05 \text{ A}$

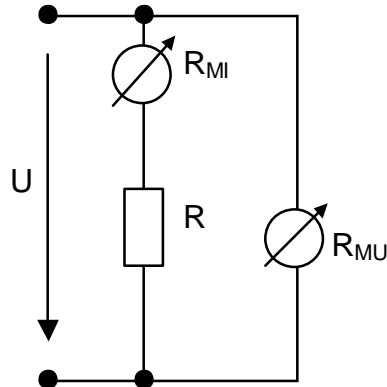
# Aufgabe 19:

Thema: Widerstandsbestimmung durch simultane Strom- und Spannungsmessung

Die Bestimmung eines Widerstandes R kann durch gleichzeitige Spannungs- und Strommessung nach einer der beiden skizzierten Schaltungen (A oder B) erfolgen.



Schaltung A



Schaltung B

$R_{MI}$ : Innenwiderstand des Strommessers

$R_{MU}$ : Innenwiderstand des Spannungsmessers

- a) Wie groß sind die mit den beiden verschiedenen Schaltungen A und B gemessenen Widerstände  $R_{Mess A}$  und  $R_{Mess B}$  in Abhängigkeit von  $R_{MU}$  und  $R_{MI}$ ?
- b) Ermitteln Sie die Beträge der systematischen relativen Messfehler

$$|f| = \left| \frac{R_{Mess} - R}{R} \right| \quad \text{für beide Schaltungen.}$$

# Lösung Aufgabe 19:

a)  $R_{MessA} = \frac{R \cdot R_{MU}}{R + R_{MU}}$

$R_{MessB} = R + R_{MI}$

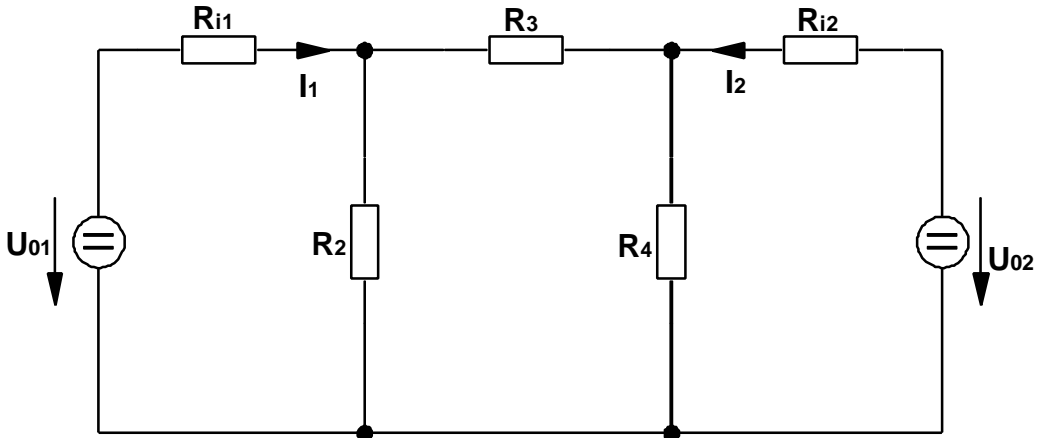
b)  $|f_A| = \frac{1}{1 + \frac{R_{MU}}{R}}$

$|f_B| = \frac{R_{MI}}{R}$

## Aufgabe 20:

Thema: Dreieck-Stern-Umwandlung

Gegeben ist folgendes Netzwerk mit den angegebenen Werten:



$$U_{01} = 10 \text{ V}$$

$$U_{02} = 20 \text{ V}$$

$$R_{i1} = 2 \Omega$$

$$R_{i2} = 4 \Omega$$

$$R_1 = 7 \Omega$$

$$R_2 = 28 \Omega$$

$$R_4 = 14 \Omega$$

Bestimmen Sie die Ströme  $I_1$  und  $I_2$ .

Überlegen Sie, ob die Umwandlung des Dreiecks aus  $R_1$ ,  $R_2$  und  $R_4$  in einen äquivalenten Stern zweckmäßig ist.

## Lösung Aufgabe 20:

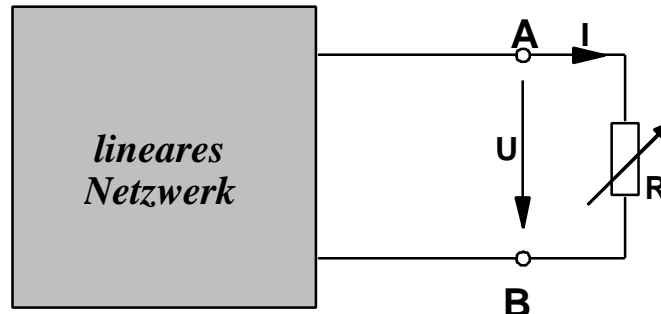
$$I_1 = 0,93 \text{ A};$$

$$I_2 = 1,3 \text{ A}$$



## Aufgabe 21:

Thema: Ersatzschaltungen für ein lineares Netzwerk



Gegeben ist ein lineares Netzwerk, dessen Struktur unbekannt ist und das deshalb durch eine sogenannte "Black-Box" symbolisiert wird. Dieses Netzwerk, welches beliebig viele aktive (Strom- oder Spannungsquellen) und passive (hier nur ohmsche Widerstände) Bauelemente enthält, wird an den Klemmen A-B durch einen variablen Widerstand R belastet. Zwei Messungen des Stromes I und der Spannung U an den Klemmen A-B bei jeweils unterschiedlichem Lastwiderstand R ergeben folgende Werte:

Messung 1:  $I_1 = 10\text{A}$        $U_1 = 90\text{V}$

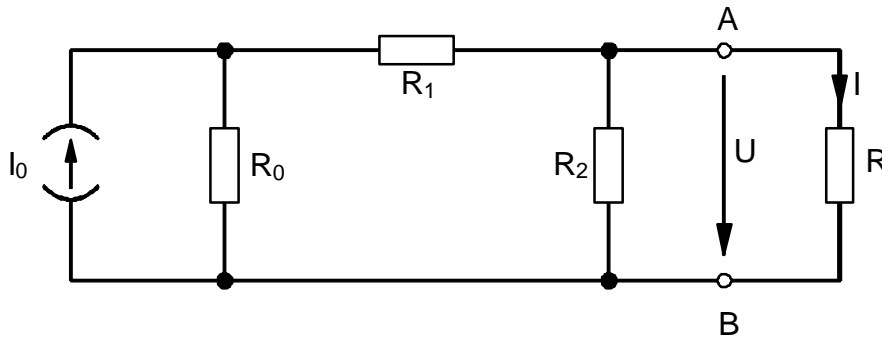
Messung 2:  $I_2 = 20\text{A}$        $U_2 = 80\text{V}$

- a) Ermitteln Sie die Gleichung  $U = f(I)$  der Spannungs-Strom-Kennlinie bezüglich der Klemmen A-B. Skizzieren Sie die Kennlinie und ermitteln Sie die Leerlaufspannung  $U_L$  sowie den Innenwiderstand  $R_i$ .
- b) Man ersetze das Netzwerk bezüglich der Klemmen A-B durch eine Ersatzspannungsquelle mit der Quellenspannung  $U_0$  und dem Innenwiderstand  $R_i$ .
- c) Ermitteln Sie die Gleichung  $I = f(U)$  der Strom-Spannungs-Kennlinie bezüglich der Klemmen A-B. Skizzieren Sie die Kennlinie und ermitteln Sie den Kurzschlußstrom  $I_K$  sowie den Innenleitwert  $G_i$ .
- d) Man ersetze das Netzwerk durch eine Ersatzstromquelle mit dem Quellenstrom  $I_0$  und dem Innenleitwert  $G_i$ .
- e) Zeigen Sie für beide Schaltungen, daß an den Klemmen A-B zwischen der Leerlaufspannung  $U_L$  und dem Kurzschlußstrom  $I_K$  die Beziehung  $U_L = R_i \cdot I_K$  gilt.

## Aufgabe 22:

Thema: Methode der Ersatzspannungsquelle bzw. der Ersatzstromquelle

Gegeben ist folgende Schaltung:



- Berechnen Sie den Strom  $I$  durch Umwandlung der Schaltung in eine Ersatzspannungsquelle bezüglich der Klemmen A - B.
- Berechnen Sie den Strom  $I$  durch Umwandlung der Schaltung in eine Ersatzstromquelle bezüglich der Klemmen A - B.

## Lösung Aufgabe 22:

$$\text{a) } U_L = R_2 \cdot I_0 \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_1 + R_2}$$

$$R_i = R_2 // (R_0 + R_1) = \frac{R_2 \cdot (R_0 + R_1)}{R_0 + R_1 + R_2}$$

$$I = I_0 \cdot \frac{R_0 \cdot R_2}{R_2 \cdot (R_0 + R_1) + R \cdot (R_0 + R_1 + R_2)}$$

$$\text{b) } I_k = \frac{R_0}{R_0 + R_1} \cdot I_0$$

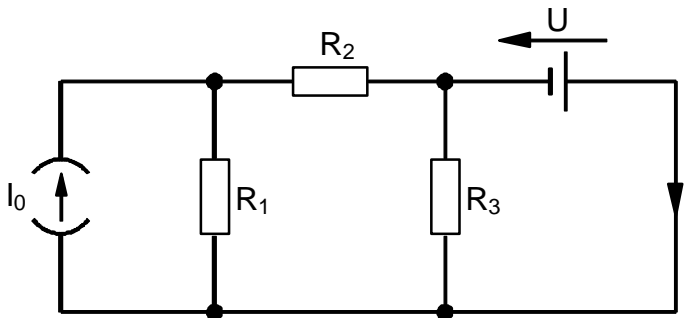
$$G_i = \frac{1}{R_i}$$

$$I = I_k \cdot \frac{R_i}{R + R_i} = I_0 \cdot \frac{R_0 \cdot R_2}{R_2 \cdot (R_0 + R_1) + R \cdot (R_0 + R_1 + R_2)}$$

## Aufgabe 23:

Thema: Überlagerungsverfahren

Gegeben ist die nachfolgend skizzierte Schaltung:



Zahlenwerte:

$$R_1 = R_2 = 5 \, \Omega$$

$$R_3 = 2 \, \Omega$$

ideale Stromquelle mit  $I_0 = 2 \, \text{A}$

technische Spannungsquelle  $U$

mit  $U_L = 10 \, \text{V}$  und  $R_i = 5 \, \Omega$

Berechnen Sie den Strom  $I$  mit Hilfe des Überlagerungsverfahrens.

## Lösung Aufgabe 23:

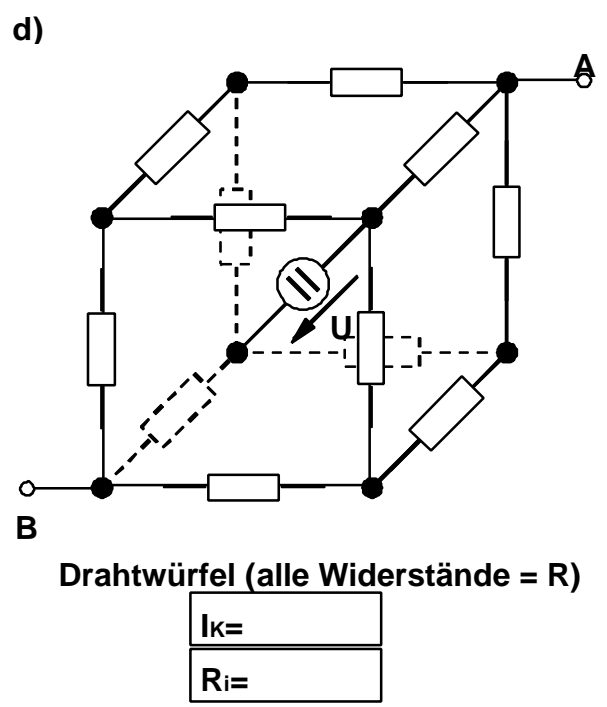
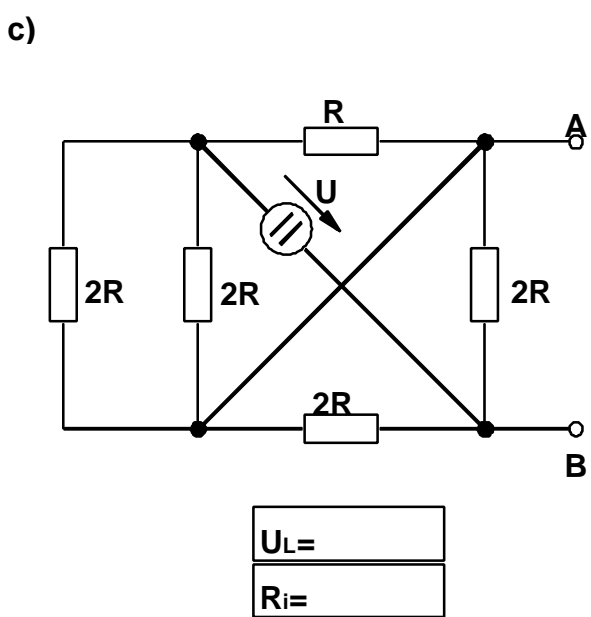
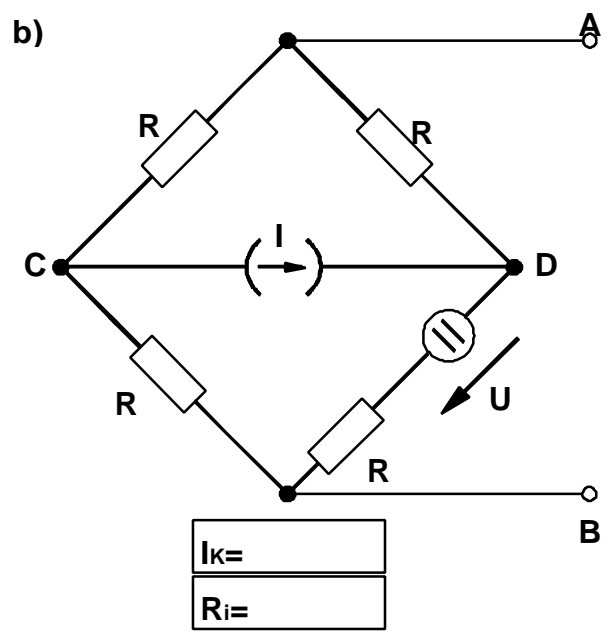
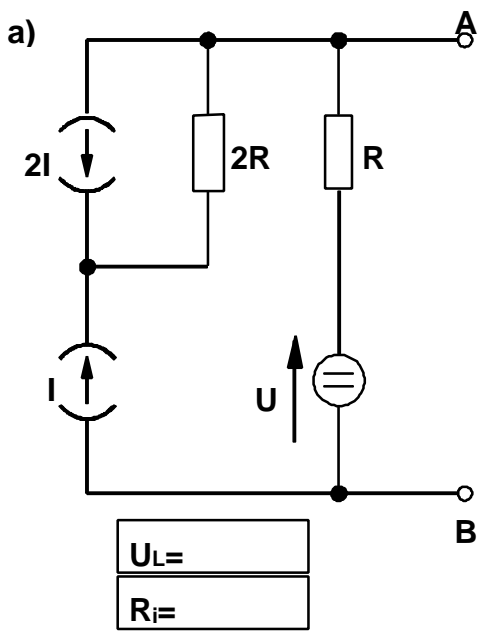
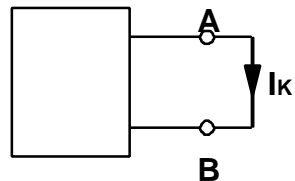
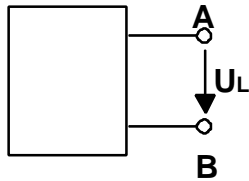
nur  $U_L$  wirksam:  $I' = 1,5 \, \text{A}$

nur  $I_0$  wirksam:  $I'' = 0,25 \, \text{A}$

$$I = I' + I'' = 1,75 \, \text{A}$$

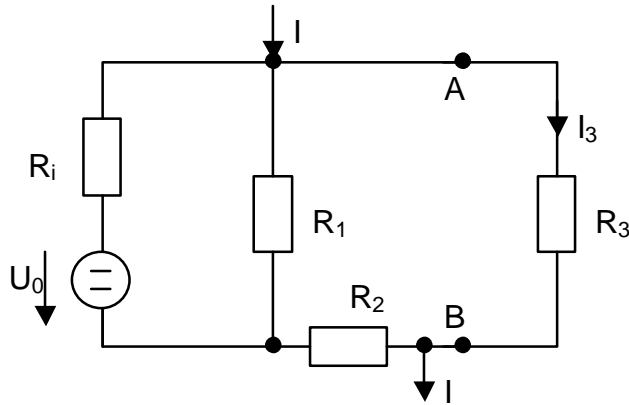
# Aufgabe 24:

Bestimmen Sie für die gegebenen Netzwerke die jeweils geforderten Kenngrößen der Ersatzzweipolquellen bezüglich der Klemmen A und B. Für die Vorzeichen der Ersatzgrößen beachten Sie bitte folgende Konvention:



**Aufgabe 25:**

Thema: Methode der Ersatzspannungsquelle bzw. Ersatzstromquelle, Überlagerungsverfahren (Superposition)



Zahlenwerte:

$$I = 2 \text{ A}$$

$$U_0 = 10 \text{ V}$$

$$R_i = 1 \Omega$$

$$R_1 = R_2 = 4 \Omega$$

$$R_3 = 5 \Omega$$

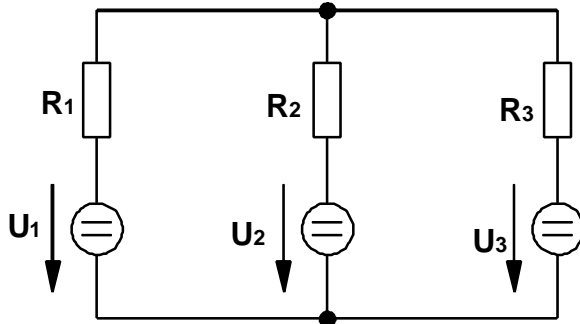
- Bestimmen Sie den Strom  $I_3$  mit Hilfe der Methode der Ersatzspannungsquelle.
- Bestimmen Sie den Strom  $I_3$  mit Hilfe der Methode der Ersatzstromquelle.

**Lösung Aufgabe 25:**

- $I_3 = 1,796 \text{ A}$
- $I_3 = 1,796 \text{ A}$

**Aufgabe 26:**

Thema: Zählfeilsysteme, Leistungsbilanz



**Zahlenwerte:**

- $U_1 = 2V$        $R_1 = 1\Omega$
- $U_2 = 4V$        $R_2 = 2\Omega$
- $U_3 = 6V$        $R_3 = 2\Omega$

- a) Welche Ströme fließen in den Zweigen der oben skizzierten Schaltung ?
- b) Berechnen Sie die Leistungen der einzelnen Spannungsquellen und die in Wärme umgesetzten Leistungen der Widerstände. Stellen Sie anschließend eine Leistungsbilanz für die gesamte Schaltung auf.

**Lösung Aufgabe 26:**

- a) Stromzählpfeile gegensinnig zu den Spannungszählpfeilen angesetzt:

$$I_1 = -\frac{3}{2} A; \quad I_2 = \frac{1}{4} A; \quad I_3 = \frac{5}{4} A;$$

- b) Wähle Erzeugerzählpfeilsystem ( d.h. erzeugte Leistung wird positiv gezählt):

$$P_{Q1} = -3W; \quad P_{Q2} = 1W; \quad P_{Q3} = 7,5W;$$

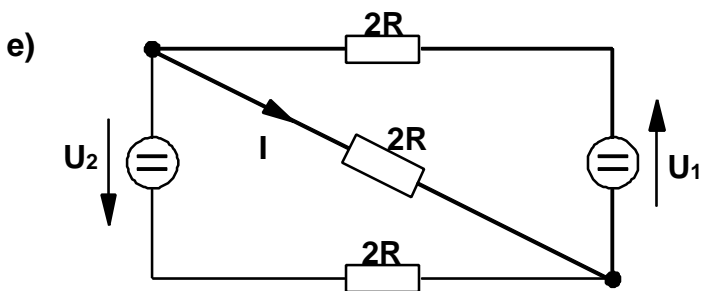
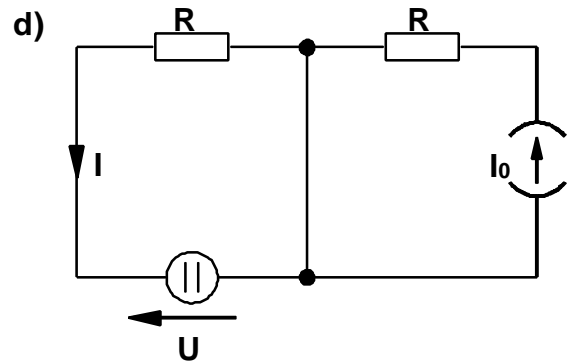
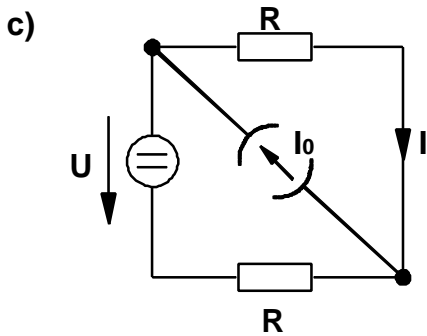
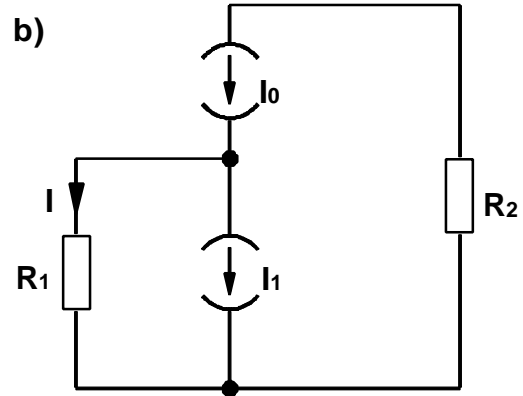
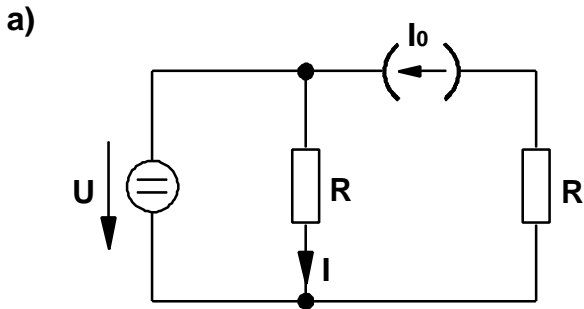
$$P_{R1} = -2,25W; \quad P_{R2} = -0,125W; \quad P_{R3} = -3,125W;$$

Leistungsbilanz:  $P_{Q1} + P_{Q2} + P_{Q3} + P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = 0$

**Aufgabe 27:**

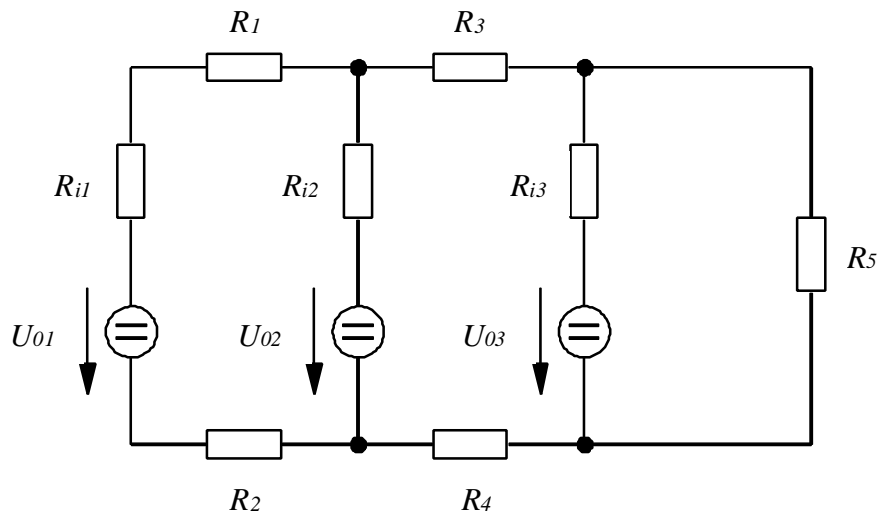
Thema: Überlagerungsverfahren

Gegeben sind die folgenden fünf Netzwerke, in denen jeweils der Strom  $I$  gesucht ist. Bestimmen Sie mit Hilfe des Überlagerungsverfahrens die Anteile der Strom- und Spannungsquellen am gesuchten Strom  $I$ .



## Aufgabe 28:

Thema: Vollständiger Baum



Wie viele unabhängige Gleichungen sind erforderlich, um die gesamte Stromverteilung im gegebenen Netzwerk bestimmen zu können ?  
Geben Sie ein System derartiger Gleichungen an.

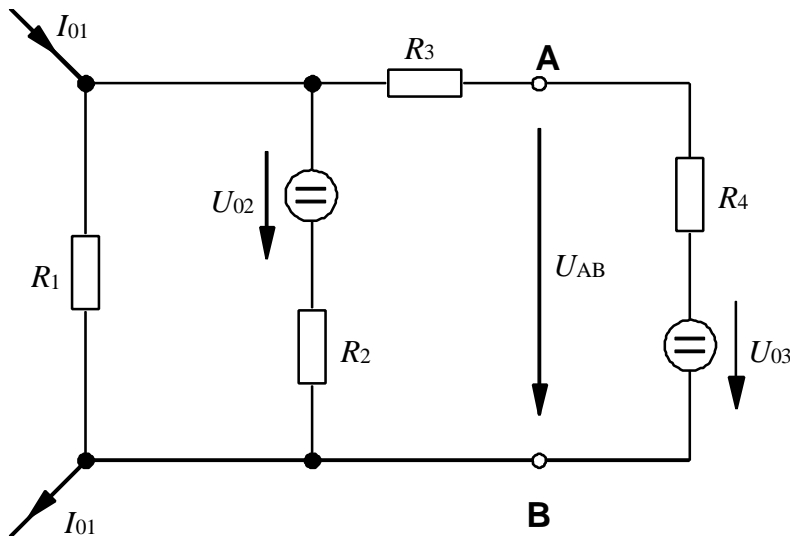
## Lösung Aufgabe 28:

Es sind 6 linear unabhängige Gleichungen erforderlich:  
3 Knotengleichungen und 3 Maschengleichungen.



### Aufgabe 29:

Thema: Direkte Anwendung der Kirchhoffschen Sätze



Zahlenwerte:

$$I_{01} = 2,4 \text{ A}$$

$$U_{02} = 25 \text{ V}$$

$$U_{03} = 23 \text{ V}$$

$$R_1 = R_2 = 10 \text{ O}$$

$$R_3 = 1 \text{ O}$$

$$R_4 = 2,5 \text{ O}$$

In dem gezeichneten Netzwerk ist die Spannung  $U_{AB}$  durch direkte Anwendung der Kirchhoffschen Sätze zu berechnen.

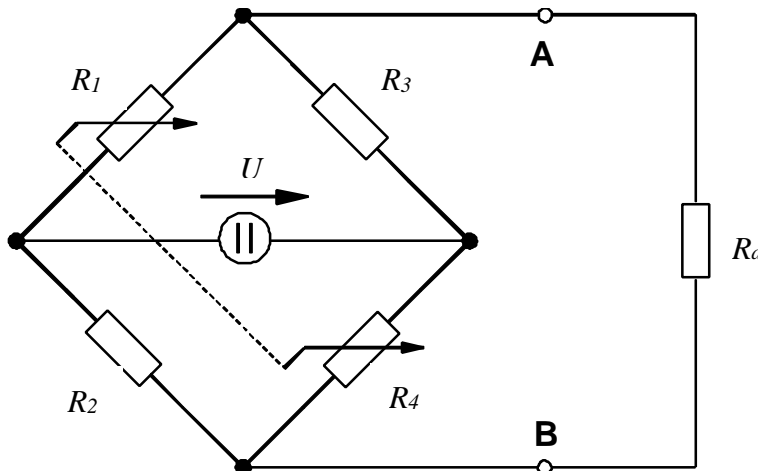
### Lösung Aufgabe 29:

$$U_{AB} = 23,44 \text{ V}$$

**Aufgabe 30:**

Thema: Leistungsanpassung

Ein ohmscher Verbraucher  $R_a$  wird über die Klemmen A-B in der nachstehenden Schaltung betrieben:



Zahlenwerte:

- $R_a = 6 \text{ O}$
- $R_2 = R_3 = 6 \text{ O}$
- $R_1 = R_4 = (0 \dots 10) \text{ O}$
- $U = 12 \text{ V}$

- a) Die Widerstände  $R_1 = R_4$  sind auf den Wert  $3 \text{ O}$  eingestellt. Wie groß ist die vom Widerstand  $R_a$  aufgenommene Leistung  $P_a$ ?
- b) Welchen Wert müsste  $R_a$  aufweisen, damit Leistungsanpassung bezüglich der Klemmen A-B vorliegt, wenn  $R_1 = R_4 = 3 \text{ O}$  eingestellt ist?
- c) Auf welchen Wert müssen die Widerstände  $R_1 = R_4$  eingestellt werden, wenn die Leistung im Verbraucher  $R_a = 6 \text{ O}$  minimal sein soll? Wie groß ist diese Leistung?
- d) Wie groß sind die Widerstände  $R_1 = R_4$  zu wählen, damit die maximal mögliche Leistung in  $R_a = 6 \text{ O}$  umgesetzt wird? Welcher Wirkungsgrad wird dann erreicht?

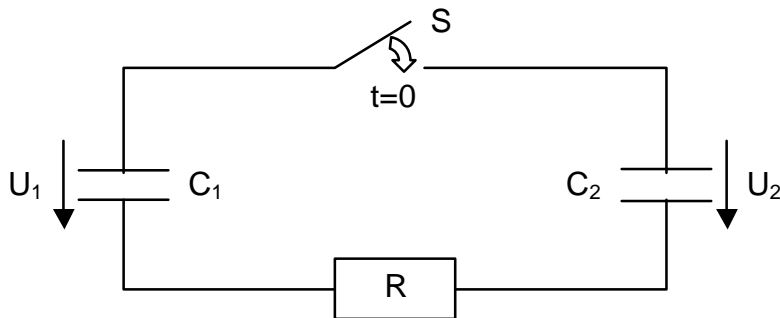
**Lösung Aufgabe 30:**

- a)  $P_a = 0,96 \text{ W}$
- b)  $R_a = 4 \text{ O}$
- c)  $R_1 = R_4 = 6 \text{ O}$
- d)  $R_1 = R_4 = 0$ ;  $h = \frac{1}{3}$

## Aufgabe 31:

Thema: Kondensatorschaltung

Gegeben ist die folgende Schaltung:



Zahlenwerte:

$$U_1 = 120 \text{ V}$$

$$U_2 = 60 \text{ V}$$

$$C_1 = 10 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_2 = 5 \text{ } \mu\text{F}$$

Für  $t < 0$  ist der Schalter S geöffnet und die Kondensatoren  $C_1$  und  $C_2$  sind auf die Spannung  $U_1$  bzw.  $U_2$  aufgeladen. Der Schalter S wird zum Zeitpunkt  $t = 0$  geschlossen.

- a) Wie groß ist die Kapazität der Anordnung?
- b) Auf welchen Wert stellen sich die Spannungen an den beiden Kondensatoren für  $t \rightarrow \infty$  ein, wenn der Schalter geschlossen bleibt?
- c) Bestimmen Sie die vor dem Schaltvorgang ( $t < 0$ ) in den Kondensatoren gespeicherte Energie.
- d) Wie groß ist die in den Kondensatoren gespeicherte Energie für  $t \rightarrow \infty$ ?
- e) Diskutieren Sie die Ergebnisse aus c) und d).

## Lösung Aufgabe 31:

a)  $t \leq 0$ :  $C_{\text{ges}} = 10/3 \text{ } \mu\text{F}$

$t > 0$ :  $C_{\text{ges}} = 15 \text{ } \mu\text{F}$

b)  $U_1 = U_2 = 100 \text{ V}$

c)  $W = \frac{1}{2} C U^2$      $W_1 = 72 \text{ mJ}$     $W_2 = 9 \text{ mJ}$     $W_{\text{ges}} = 81 \text{ mJ}$

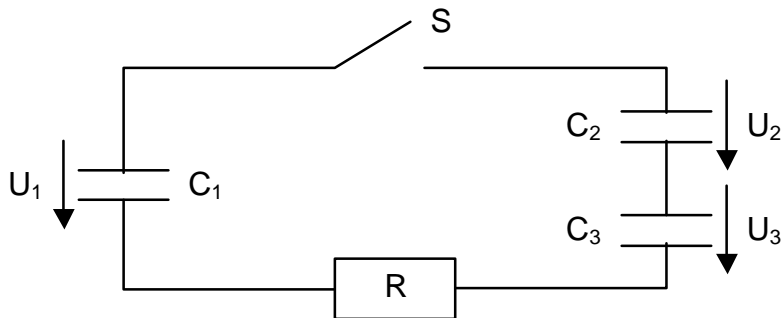
d)  $W_1 = 50 \text{ mJ}$      $W_2 = 25 \text{ mJ}$     $W_{\text{ges}} = 75 \text{ mJ}$

e) Die Energiedifferenz wird am Widerstand umgesetzt.

## Aufgabe 32:

Thema: Kondensatorschaltung

Gegeben ist die folgende Schaltung:



Zahlenwerte:

$$U_1 = 150 \text{ V}$$

$$C_1 = 8 \text{ nF}$$

$$C_2 = 3 \text{ nF}$$

$$C_3 = 6 \text{ nF}$$

Der Kondensator  $C_1$  ist auf die Spannung  $U_1$  aufgeladen. Die Kondensatoren  $C_2$  und  $C_3$  sind nicht geladen.

- a) Wie groß ist die im Kondensator  $C_1$  gespeicherte Ladung?
- b) Bestimmen Sie die aus den Teilkapazitäten  $C_2$  und  $C_3$  resultierende Gesamtkapazität.

Der Schalter S werde nun geschlossen und der Ausgleichsvorgang gelte als abgeschlossen.

- c) Bestimmen Sie die resultierende Kapazität der gesamten Anordnung.
- d) Wie groß ist jetzt die Spannung am Kondensator  $C_1$ ?
- e) Berechnen Sie die Ladungen der Kondensatoren  $C_2$  und  $C_3$ .
- f) Bestimmen Sie die Spannungen  $U_2$  und  $U_3$ .

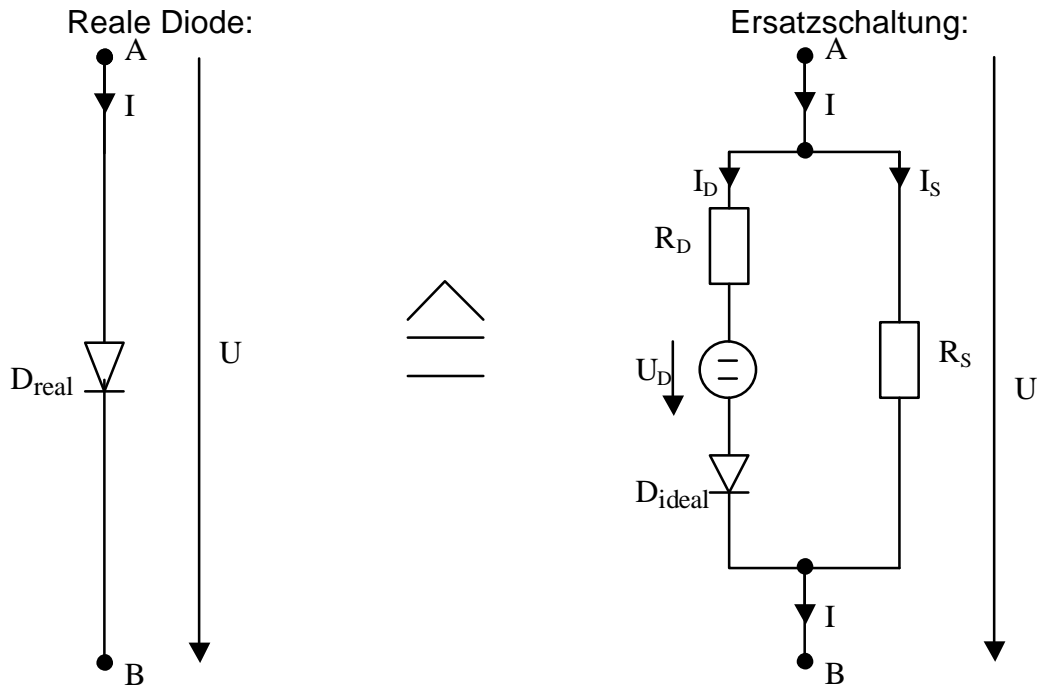
## Lösung Aufgabe 32:

- a)  $Q_1 = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ As}$
- b)  $C_{2,3} = 2 \text{ nF}$
- c)  $C_{\text{ges}} = 10 \text{ nF}$
- d)  $U_1' = 120 \text{ V}$
- e)  $Q_2 = Q_3 = 0,24 \cdot 10^{-6} \text{ As}$
- f)  $U_2 = 80 \text{ V} \quad U_3 = 40 \text{ V}$

# Aufgabe 33:

Thema: Halbleiterdiode, Ersatzschaltung

Eine reale Halbleiterdiode kann durch folgende Ersatzschaltung beschrieben werden (sämtliche angegebenen Spannungen sind positiv):



Dabei bedeuten:

|             |                      |
|-------------|----------------------|
| $R_D$       | Durchgangswiderstand |
| $U_D$       | Durchgangsspannung   |
| $D_{ideal}$ | ideale Diode         |
| $R_S$       | Sperrwiderstand      |

- a) Skizzieren Sie die Kennlinie  $I = f(U)$  einer idealen Diode.
- b) Beschreiben Sie den Verlauf der Kennlinie einer realen Diode mit Hilfe der obigen Ersatzschaltung. Stellen Sie dazu die Funktion  $I(U)$  auf und skizzieren sie diese.

Von einer realen Germanium-Diode (Typ AA 143) wurden folgende Messwerte einer Strom-/Spannungskennlinie aufgenommen:

|       |            |            |             |   |      |      |      |
|-------|------------|------------|-------------|---|------|------|------|
| U / V | -20        | -10        | -5          | 0 | 0,4  | 0,5  | 0,6  |
| I / A | -3,0 $\mu$ | -1,5 $\mu$ | -0,75 $\mu$ | 0 | 10 m | 30 m | 50 m |

- c) Berechnen Sie anhand der Messwerte die Ersatzschaltungsgrößen ( $R_S$ ,  $R_D$ ,  $U_D$ ).
- d) Welche Leistung wird in der realen Diode umgesetzt, wenn man eine Spannung von  $U = 1V$  bzw.  $-1V$  anlegt?

## Lösung Aufgabe 33:

f)  $U \leq 0: I(U) = 0$

$U > 0: I(U) = \infty$

g)

$$U \leq U_D : I(U) = \frac{U}{R_S}$$

$$U \geq U_D : I(U) = U \cdot \left( \frac{1}{R_D} + \frac{1}{R_S} \right) - \frac{U_D}{R_D}$$

h)  $R_S = 6,7 \text{ M}\Omega$

$R_D = 5 \text{ }\Omega$

$U_D = 0,35 \text{ V}$

i)  $P_{-1V} = 150 \text{ nW}$

$P_{+1V} = 130 \text{ mW}$

## Lösung Aufgabe 34:

a) Leitet auch im Sperrbetrieb bei Überschreitung der Zenerspannung  $U_Z$

ESB: ideale Spannungsquelle mit  $U_Z$  als Spannung

b) ESB: reale Spannungsquelle mit  $U_Z$  als Spannung und der Steigung der Kennlinie als Innenwiderstand

c) Ein kleiner Innenwiderstand

d)  $R = 45 \text{ }\Omega$

e)  $R_i = 13,8 \text{ }\Omega$        $U_0 = 10,9 \text{ V}$

$U_{\text{Aus}}(R_{\text{Last}} \rightarrow \infty) = 10,9 \text{ V}$

$U_{\text{Aus}}(R_{\text{Last}}=35\Omega) = 7,8 \text{ V}$

## Lösung Aufgabe 35:

a)  $100\mu\text{A} \leq I_Z \leq 600\mu\text{A}$

$9,6\text{V} \leq U_{\text{aus}} \leq 9,8\text{V}$

b)  $I_V = (U_{\text{ein}} - U_{\text{aus}}) / R_V$

c) Siehe Übung

d)  $I_C = P / U_{\text{CE}}$

e)  $I_C = U_{\text{aus}} / R_C - U_{\text{CE}} / R_C$

$R_C = 22 \text{ }\Omega$

f)  $I_C$  ist im Leerlauf maximal!

$R_V = 15 \text{ }\Omega$

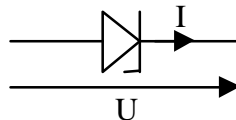
g)  $U_{\text{Aus}}(R_{\text{Last}} \rightarrow \infty) = 9,81 \text{ V}$

$U_{\text{Aus}}(R_{\text{Last}}=35\Omega) = 9,60 \text{ V}$

# Aufgabe 34:

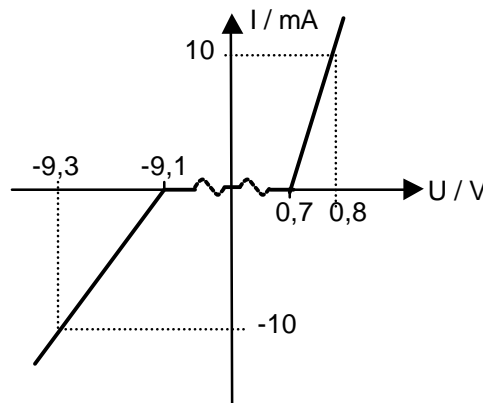
Thema: Zenerdiode, stabilisierte Spannungsquelle

Das Schaltungssymbol einer Zenerdiode, auch Z-Diode genannt, sieht wie folgt aus:



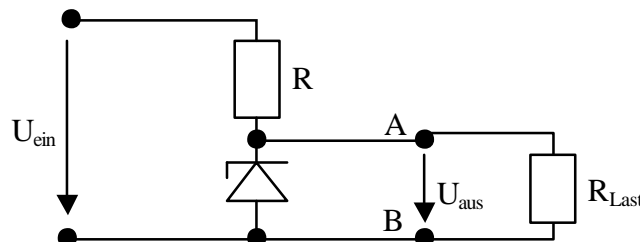
- a) Worin unterscheidet sich eine Zenerdiode von einer „normalen Halbleiterdiode“? Skizzieren Sie dazu die Kennlinie einer idealen Zenerdiode. In welcher Betriebsart wird eine Zenerdiode normalerweise angeschlossen? Skizzieren Sie für diese Betriebsart das Ersatzschaltbild einer idealen Zenerdiode.

Sie haben nun eine reale Zenerdiode mit folgender Kennlinie gegeben:  
Anmerkung: Die Diode besitzt den Aufdruck 9V1, womit angezeigt wird, dass sie eine Zenerspannung von 9,1 V besitzt.



- b) Zeichnen Sie ein geeignetes Ersatzschaltbild, das den Sperrbetrieb ( $I < 0$ ) der Diode beschreibt und bestimmen Sie die Elemente.

Mit Hilfe der obigen 9,1 V Zenerdiode soll aus einer gegebenen Spannung von  $U_{\text{ein}} = 15\text{V}$  eine stabilisierte Spannungsquelle von 10 V realisiert werden, die eine Last zwischen  $35\Omega$  und  $\infty$  versorgen soll. Dazu wird die Diode nun wie folgt verschaltet:

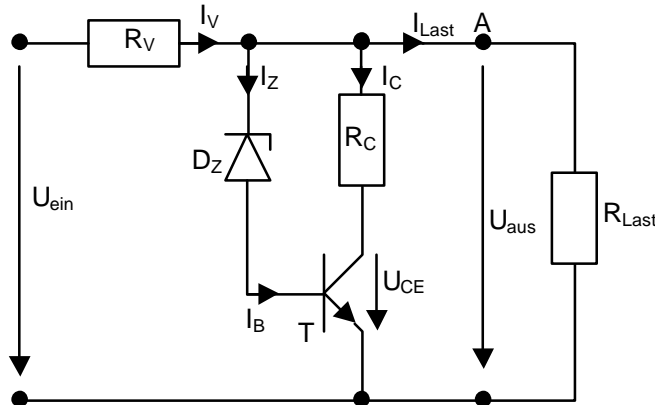


- c) Was zeichnet allgemein die Leistungsfähigkeit einer realen Spannungsquelle aus?  
d) Optimieren Sie die obige Schaltung bezüglich dieses Kriteriums durch geeignete Wahl von R. Dabei ist zu beachten, dass die Diode eine maximale Verlustleistung von 1 W besitzt.  
e) Bestimmen Sie die Größen der Ersatzspannungsquelle bzgl. der Klemmen A und B. Wie groß ist die Ausgangsspannung der Spannungsquelle für  $R_{\text{Last}} = 35\Omega$  bzw.  $R_{\text{Last}} \rightarrow \infty$ ?

# Aufgabe 35:

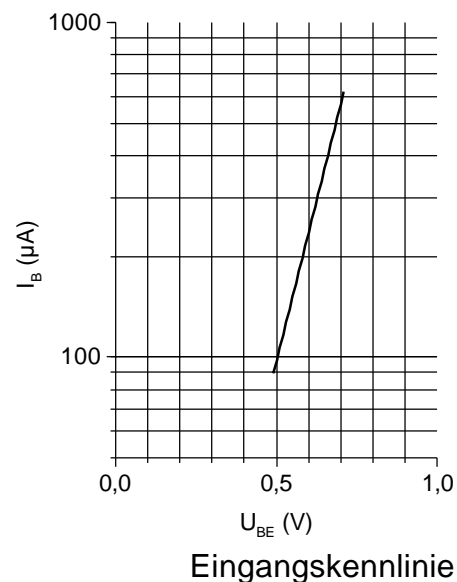
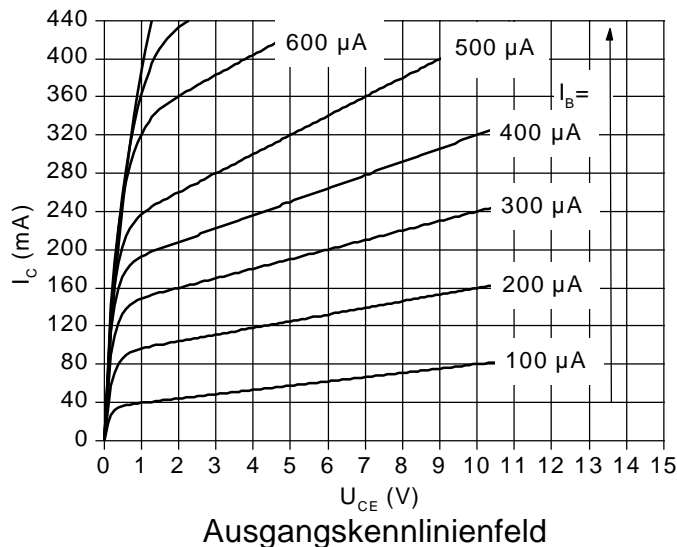
**Thema:** Transistorschaltung, stabilisierte Spannungsquelle

Die folgende Schaltung stellt eine stabilisierte Spannungsquelle mit Hilfe der Zenerdiode aus Aufgabe 34 und eines npn-Bipolar-Transistors dar:



$U_{\text{ein}} = 15 \text{ V}$   
 $R_{\text{Last}} = 35 \Omega \dots \infty \Omega$

Der Transistor besitzt folgende Kennlinien:



Zunächst soll die Funktionsweise der Schaltung untersucht werden. Gehen Sie dabei davon aus, dass der Transistor immer im gegebenen Kennlinienbereich betrieben wird.

- a) In welchem Bereich bewegt sich der Strom durch die Zenerdiode in dieser Schaltung? Schätzen Sie die Ausgangsspannung  $U_{\text{aus}}$  anhand einer geeigneten Masche ab.
- b) Von welchen Größen hängt  $I_V$  bei gegebenen  $U_{\text{ein}}$  und  $U_{\text{aus}}$  ab?
- c) Erklären Sie das Funktionsprinzip dieser Parallelstabilisierung.

Nun sollen die fehlenden Größen der Schaltung bestimmt werden.

- d) Der Transistor hat die gleiche maximale Verlustleistung wie die Diode aus Aufgabe 43 ( $P_{\text{Max}}=1\text{W}$ ). Zeichnen Sie die zugehörige Verlusthyperbel in das Ausgangskennlinienfeld.
- e) Bestimmen Sie  $I_C$  als Funktion von  $U_{\text{CE}}$ ,  $R_C$  und  $U_{\text{aus}}$ . Wie klein darf  $R_C$  minimal sein, so dass die Arbeitsgerade  $I_C(U_{\text{CE}})$  noch im erlaubten Bereich liegt? (graphische Lösung)



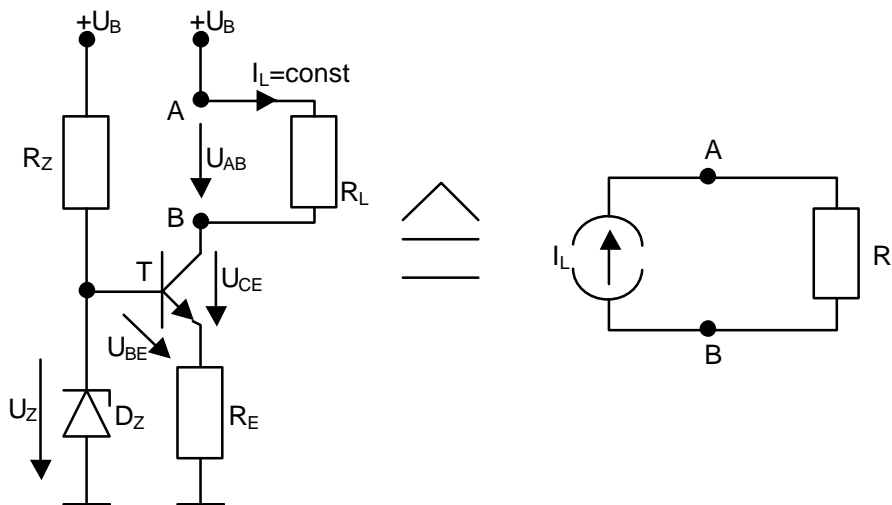
- f) In welchem Lastfall fließt der größte Kollektorstrom  $I_C$ ? Berechnen Sie daraus  $R_V$ .
- g) Welche Ausgangsspannung stellt sich für  $R_{\text{Last}} = 35 \Omega$  bzw.  $R_{\text{Last}} \rightarrow \infty$  genau ein?

## Aufgabe 36:

Thema: Transistorschaltung, Stromquelle

- a) Durch welche Schaltung kann man am einfachsten eine gegebene Spannungsquelle in eine Stromquelle umwandeln?  
 Dimensionieren Sie diese Schaltung mit einer idealen Spannungsquelle von 15 V auf einen Kurzschluss-Strom von 1 mA.  
 Welcher Strom fließt bei einer Last von 10 kΩ?  
 Wie kann man die Schaltung verbessern?

Die folgende Schaltung stellt eine Stromquelle unter Verwendung des Transistors BC107 dar. Der Transistor habe eine statische Stromverstärkung von  $B=300$  und eine Sättigungsspannung  $U_{CEsat} = 0,2$  V.



- b) Wie groß ist der Strom  $I_L$  in Abhängigkeit von  $U_Z$ ,  $U_{BE}$  und  $R_E$ ?  
 Wie ist  $R_E$  zu wählen, um die Schaltung bzgl. Lastschwankungen zu optimieren?  
 c) Sie wollen die Schaltung mit einer Spannungsquelle ( $U_B$ ) von 15 V auf einen Kurzschluss-Strom von 1 mA bei einer maximalen Last von 10 kΩ dimensionieren. Bestimmen Sie  $R_E$ ,  $U_Z$  und  $R_Z$  so, dass die Schaltung in den gegebenen Grenzen optimal funktioniert.  
 d) Wie groß sind die Ausgangsstromänderungen, wenn  $U_{BE}$  durch Lastwechsel maximal in den Grenzen von 0,5 V bis 0,7 V schwankt?

## Lösung Aufgabe 36:

- a) Reihenschaltung eines möglichst hohen Widerstand  $R_i$ .  $R_i = 15$  kΩ  
 $I (R_{Last}=10k\Omega) = 0,6$  mA  
 Verbesserung durch Einsatz eines Transistors als Innenwiderstand. (Siehe Ausgangskennlinienfeld)
- b)  $I_L = U_Z/R_E - U_{BE}/R_E$        $R_E$  ist möglichst groß zu wählen.
- c)  $R_E = 4,8$  kΩ       $U_Z = 5,4$  V  
 $R_Z = 10$  kΩ (stabiler Sperrbetrieb bei  $I_Z \approx 1$  mA)
- d)  $0,98$  mA  $\leq I_L \leq 1,02$  mA

# Aufgabe 37:

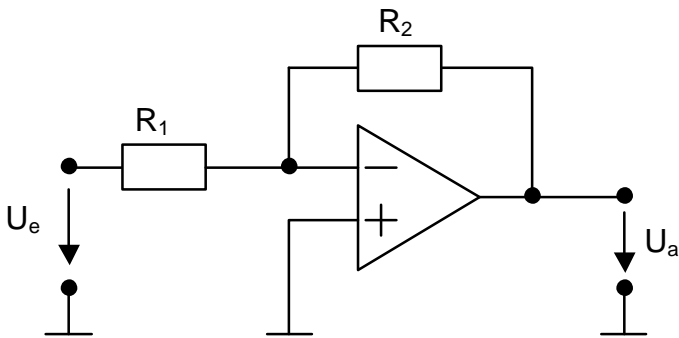
Thema: Operationsverstärker

a) Beschreiben Sie das prinzipielle Verhalten eines Operationsverstärkers:

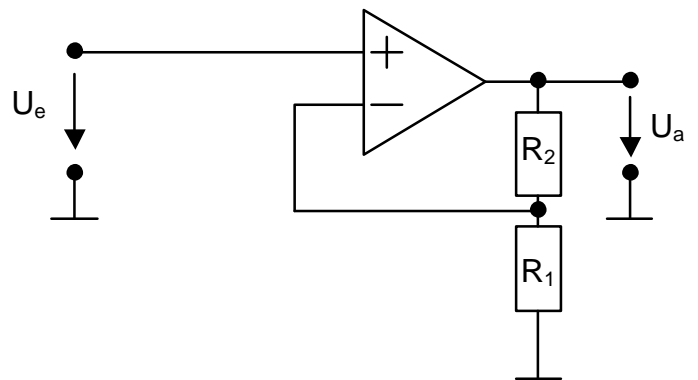
1. unbeschaltet
2. linear mitgekoppelt
3. linear gegengekoppelt

b) Untersuchen und beschreiben Sie das Verhalten der folgenden sechs Grundschaltungen:

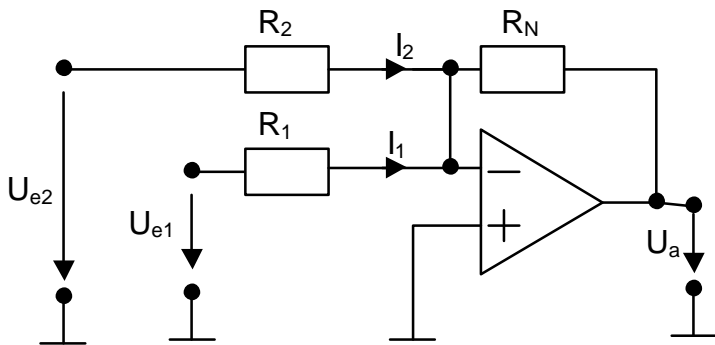
Invertierender Verstärker:



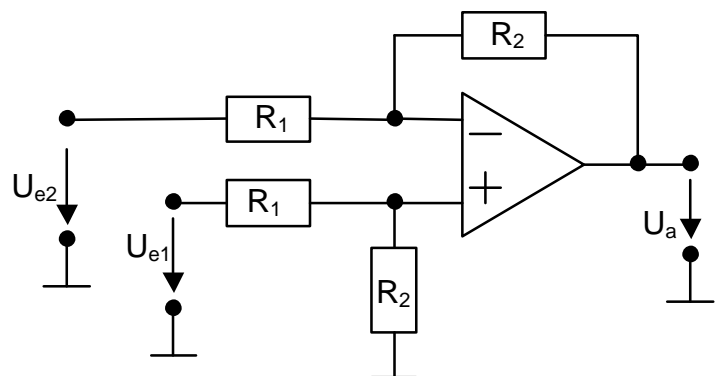
Nicht-invertierender Verstärker:



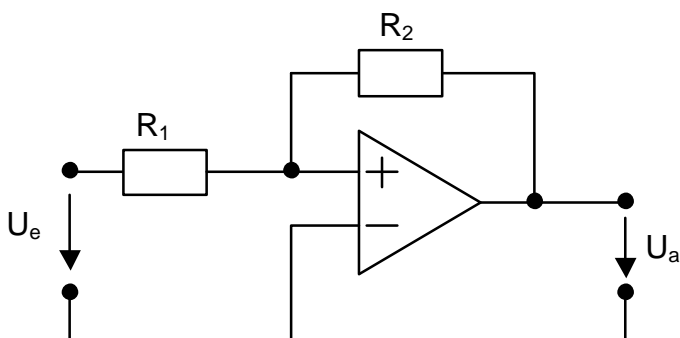
Addierer:



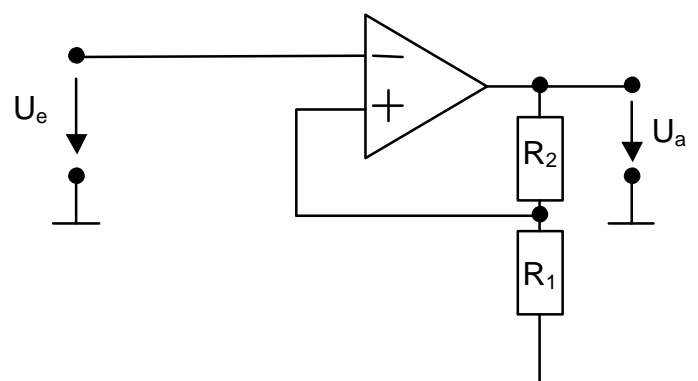
Subtrahierer:



Nicht-invertierender Schmitt-Trigger:



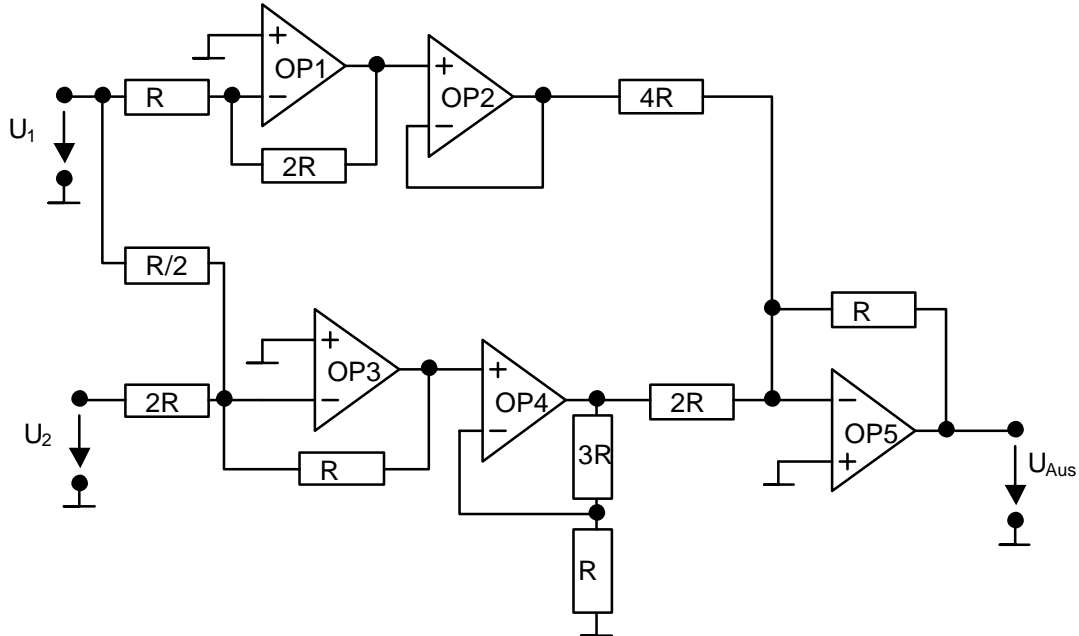
Invertierender Schmitt-Trigger:



### Aufgabe 38:

Thema: Operationsverstärkerschaltungen

a) Berechnen Sie  $U_{\text{aus}}$  in Abhängigkeit von  $U_1$  und  $U_2$ .



b) Zeichnen Sie eine Operationsverstärkerschaltung, die folgende Verknüpfung realisiert:  $U_{\text{aus}} = 0,5 \cdot U_1 - 4 \cdot U_2$

### Aufgabe 39:

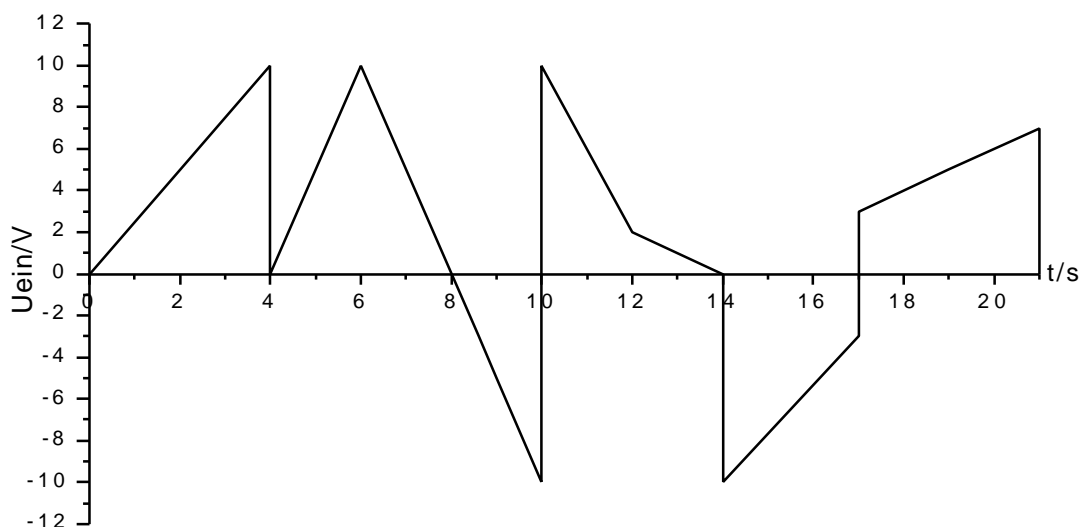
Thema: Schmitt-Trigger

a) Gegeben ist ein invertierender Schmitt-Trigger nach Aufgabe 37 mit den Werten  $R_1 = 5\text{k}\Omega$  und  $R_2 = 7\text{k}\Omega$ . Der Operationsverstärker wird mit einer Betriebsspannung von  $\pm U_B = \pm 12\text{V}$  betrieben.

Die Eingangsspannung  $U_e$  habe nun den untenstehenden Verlauf.

Bestimmen Sie den Verlauf der Ausgangsspannung  $U_a$ , wenn  $U_a(t=0) = +U_b$  ist (positive Sättigung).

b) Lösen Sie den Aufgabenpunkt a) für den nichtinvertierenden Schmitt-Trigger aus



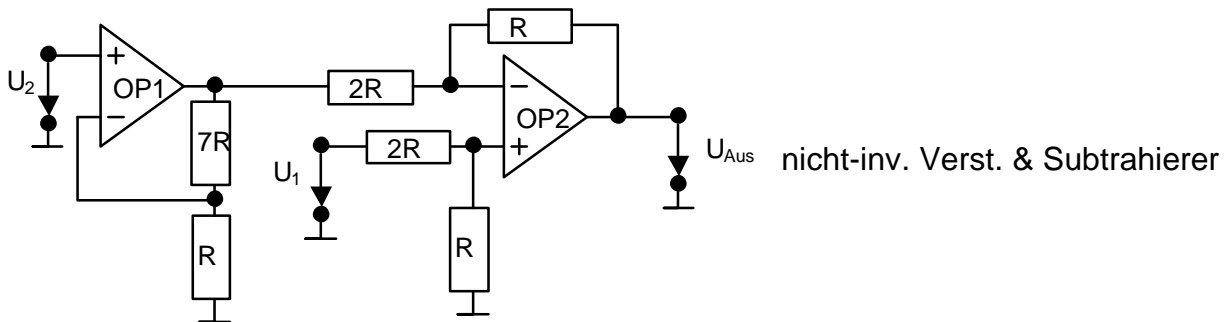
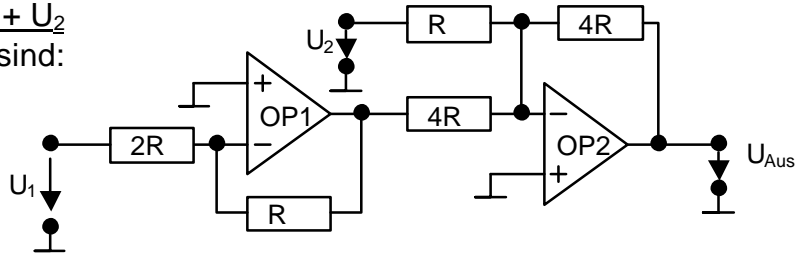
Aufgabe 37 mit den Widerstandswerten  $R_1 = 5\text{k}\Omega$  und  $R_2 = 20\text{k}\Omega$ .

# Lösung Aufgabe 38:

- a) Im folgenden werden die Ausgangsspannungen der OPs mit  $U_{OPx}$  bezeichnet.  
 $U_{OP1} = U_1 \cdot (-2)$  (invertierender Verstärker)  
 $U_{OP2} = U_{OP1}$  (nicht-invert. Verst.:  $R_1=0$ ;  $R_2=\infty$ ; Impedanzwandler)  
 $U_{OP3} = -(U_1 \cdot 2 + U_2 \cdot 1/2)$  (Addierer)  
 $U_{OP4} = U_{OP3} \cdot (1+3)$  (nicht-invertierender Verstärker)  
 $U_{OP5} = U_{aus} = -(U_{OP2} \cdot 1/4 + U_{OP4} \cdot 1/2)$  (Addierer)  
 zusammen:  $U_{aus} = 4,5 \cdot U_1 + U_2$

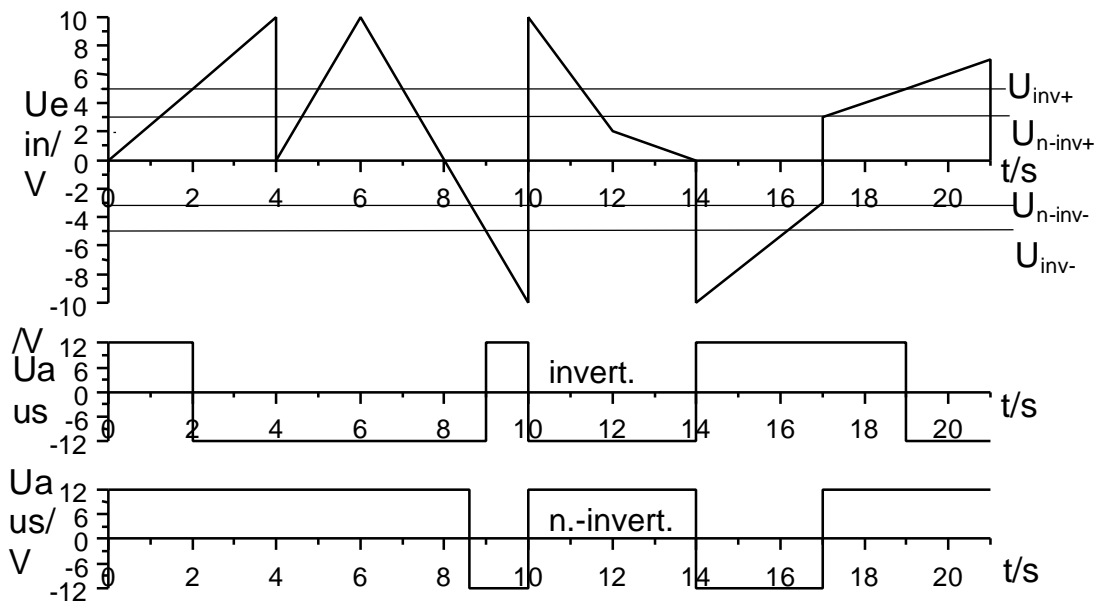
- b) Zwei mögliche Lösungen sind:

inv. Verst. & Addierer



# Lösung Aufgabe 39:

- a) Die Schaltschwellen sind  $U_{inv+} = R_1 / (R_1 + R_2) \cdot U_B = +5V$  und  $U_{inv-} = -R_1 / (R_1 + R_2) \cdot U_B = -5V$ .  
 b) Die Schaltschwellen sind  $U_{n-inv+} = R_1 / R_2 \cdot U_B = +3V$  und  $U_{n-inv-} = -R_1 / R_2 \cdot U_B = -3V$ .



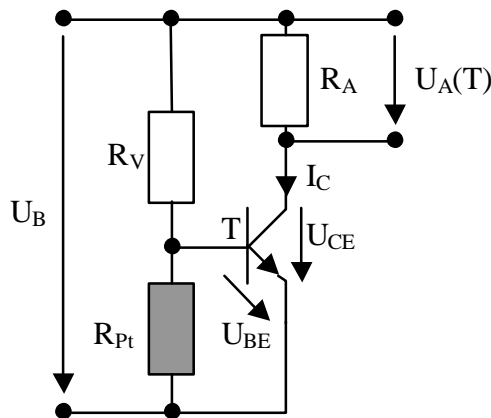
### Aufgabe 8

(13 Punkte)

Gegeben ist ein Platinwiderstandsdraht mit der Länge  $L = 1 \text{ m}$ , dem Durchmesser  $D = 50 \text{ }\mu\text{m}$  und dem spezifischen Widerstand bei einer Temperatur von  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  von  $r_{20} = 9,81 \times 10^{-6} \text{ Wcm}$ . Der lineare Temperaturkoeffizient beträgt  $\alpha = 3,91 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .

8.1 Berechnen Sie den Widerstand des Platindrahtes bei  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  und bei  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ . (3 Pkt.)

Mit Hilfe des obigen Platinwiderstandes soll möglichst genau die Temperatur gemessen werden. Dazu wird die untenstehende Transistor-Schaltung verwendet. Der Platinwiderstand wird durch  $R_{Pt}$  dargestellt.

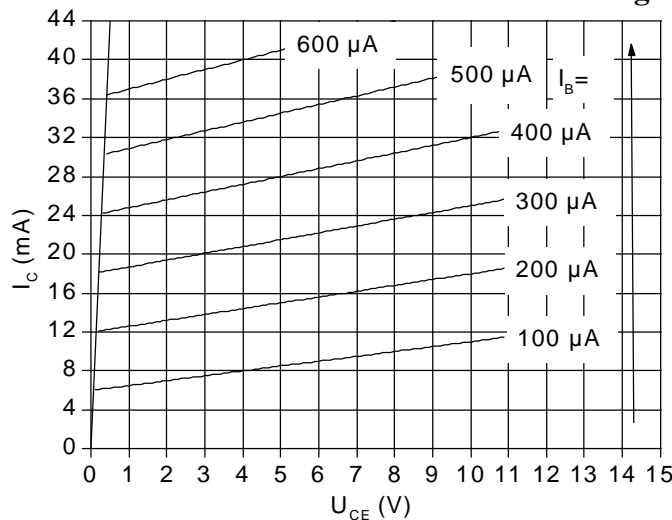


$$U_B = 10 \text{ V}$$

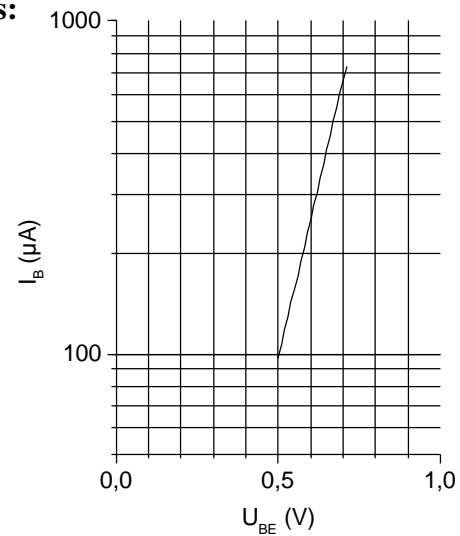
$$R_V = 950 \text{ }\Omega$$

$$R_A = 250 \text{ }\Omega$$

Die Kennlinien des Transistors T sehen wie folgt aus:



Ausgangskennlinienfeld



Eingangskennlinie

8.2 Berechnen Sie  $I_C$  in Abhängigkeit von  $U_{CE}$ ,  $U_B$  und  $R_A$  mit Hilfe eines geeigneten Maschenumlaufs. Zeichnen Sie diese Funktion als Arbeitsgerade in das Ausgangskennlinienfeld. (3 Pkt.)

8.3 Welche Basis-Emitter-Spannungen stellen sich für die oben berechneten Werte von  $R_{Pt}$  bei  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  bzw.  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  unter Vernachlässigung des Basisstroms ein? (Falls Sie den ersten Aufgabenpunkt nicht gelöst haben, rechnen Sie mit  $R_{Pt}(20^\circ\text{C}) = 50 \text{ }\Omega$  bzw.  $R_{Pt}(120^\circ\text{C}) = 70 \text{ }\Omega$  weiter.)

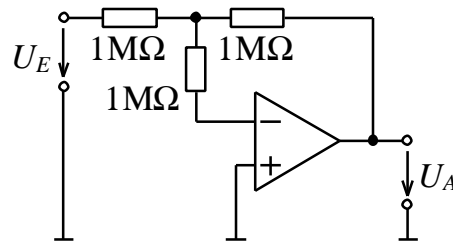
Bestimmen Sie mit Hilfe des Eingangskennlinienfeldes die zugehörigen Arbeitspunkte des Transistors und zeichnen Sie diese ins Ausgangskennlinienfeld. Welche Ausgangsspannungen  $U_A(T)$  stellen sich für  $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  bzw.  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  ein? (6 Pkt.)

8.4 Ist das Ausgangssignal  $U_A(T)$  linear zur Temperatur? (Begründung!) (1 Pkt.)

**Aufgabe 4**

(13 Pkt.)

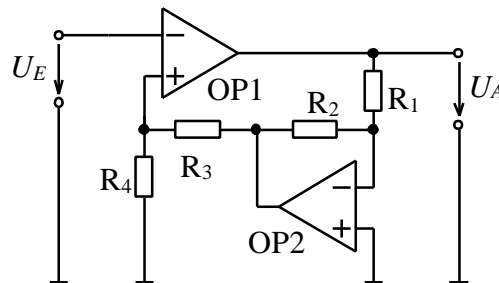
Gegeben ist ein idealer Operationsverstärker in Schaltung 1:



4.1 Geben Sie  $U_A(U_E)$  für Schaltung 1 an.

(2 Pkt.)

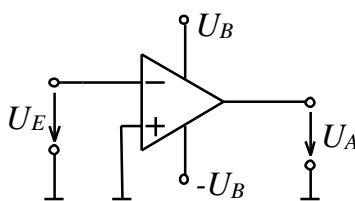
Schaltung 2 beinhaltet zwei ebenfalls ideale Operationsverstärker:



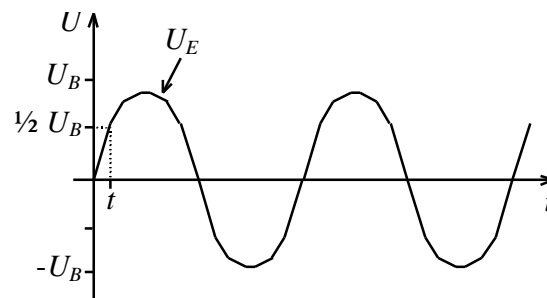
4.2 Leiten Sie  $U_A(U_E, R_1, R_2, R_3, R_4)$  für Schaltung 2 her. Warum ist OP1 gegengekoppelt? (6 Pkt.)

Betrachtet werde nun Schaltung 3: Der Operationsverstärker hat einen unendlich großen Innenwiderstand und wird mit der Spannung  $U_B$  betrieben. In Skizze 1 ist der Verlauf der Eingangsspannung  $U_E$  in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  angegeben.

Schaltung 3:



Skizze 1:



4.3 Tragen Sie in Skizze 1 den Verlauf der Ausgangsspannung  $U_A$  für Schaltung 3 ein.

(2 Pkt.)

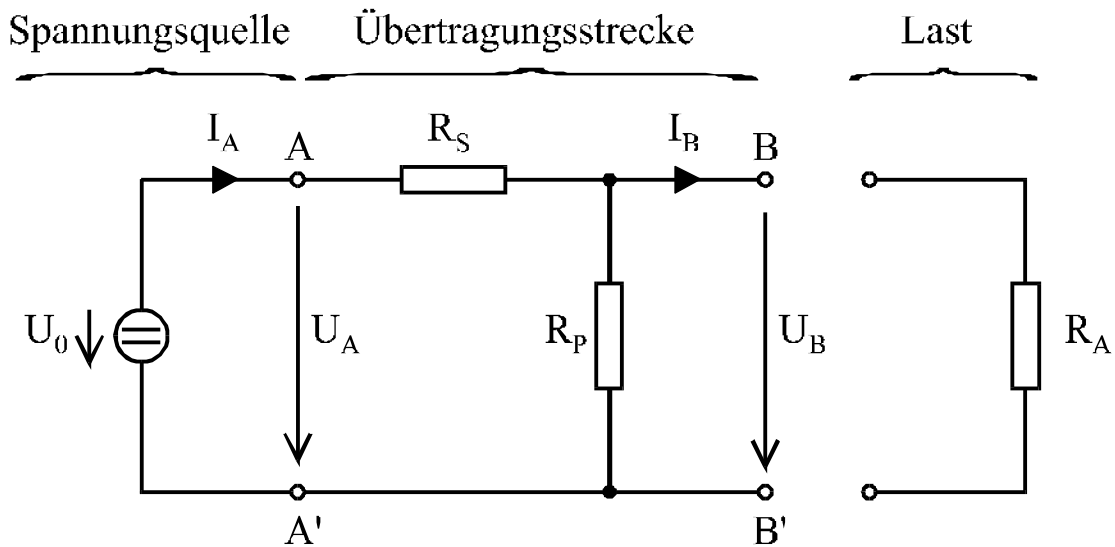
4.4 Geben Sie eine Operationsverstärker-Schaltung mit zwei Widerständen  $R$  an, deren Ausgangsspannung relativ zur Ausgangsspannung der Schaltung 3 auf der Zeitachse um  $t$  nach rechts verschoben werden kann. Wie nennt man diese Schaltung? (3 Pkt.)



## Aufgabe 8:

(13 Punkte)

Ein Netzwerk bestehe aus einer idealen Spannungsquelle  $U_0$  mit den Anschlussklemmen AA' und einer Übertragungsstrecke zwischen den Klemmen AA' und BB'. Die Übertragungsstrecke wird durch den Serienwiderstand  $R_S$  und den Parallelwiderstand  $R_P$  beschrieben.

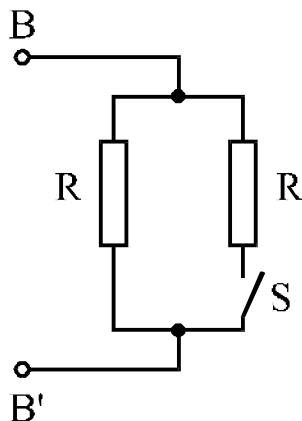


Zunächst wird der Widerstand  $R_A$  an die Klemmen BB' angeschlossen.

- Bestimmen Sie die Kurzschlussleistung  $P_K$  der Spannungsquelle für  $R_A=0$ . Bestimmen Sie  $U_B(U_A, R_P, R_S, R_A)$  und  $I_B(U_A, R_P, R_S, R_A)$  für beliebige  $R_A$ .
- Bestimmen Sie nun die in  $R_A$  umgesetzte Leistung  $P_A(U_0, R_P, R_S, R_A)$  und berechnen Sie für Leistungsanpassung den Widerstand  $R_A$  (d.h.  $R_A=R_A(P_{A,\max})$ ).
- Bestimmen Sie Wirkungsgrad  $\eta=\eta(R_P, R_S)$  bei Leistungsanpassung.
- Berechnen Sie  $R_A$  und  $\eta$  bei Leistungsanpassung, wenn  $R_P=\infty$  ist.

**Hinweis:** Der folgende Aufgabenteil kann unabhängig von b) - d) gelöst werden!

Es wird nun folgende Last an die Klemmen BB' angeschlossen:



Wird der eine der beiden äußeren Widerstände  $R$  durch den Schalter  $S$  abgeschaltet, so verbraucht der verbleibende Widerstand die gleiche Leistung wie vorher beider Widerstände zusammen.

- Welchen Wert haben die Widerstände  $R$ , wenn  $R_P$  und  $R_S$  gegeben sind?

# Information für alle Informatikstudenten mit Nebenfach Elektrotechnik

Für die Zulassung zur Vordiplomsprüfung müssen folgende Prüfungsleistungen erbracht werden:

**Leistungsnachweis in Grundgebiete der Elektrotechnik 2**  
**Elektrotechnisches Praktikum 3**

Die Vordiplomsprüfung umfasst die Vorlesungen:

**Grundgebiete der Elektrotechnik 2**  
**Grundgebiete der Elektrotechnik 4**

Die Vorlesung  
**Grundgebiete der Elektrotechnik 1**  
dient zur Vorbereitung der oben genannten prüfungspflichtigen Vorlesungen.

Es besteht keine Prüfungsverpflichtung in dieser Vorlesung.

## **Fachstudienberatung Informatik:**

Dr. W. Unger, Di 18-19 Uhr und Do von 10.30-11.30 Uhr  
sowie nach Ankündigung  
Lehrstuhl für Informatik, Ahornstr. 55, Zi 4022,  
Telefon 80-21111

# INSTITUT FÜR WERKSTOFFE DER ELEKTROTECHNIK

Dozenten: Prof. Dr. W. Mokwa Prof. em. Dr. K.A. Hempel  
 Prof. Dr. R. Waser Prof. em. Dr. G. Arlt

## Sommersemester 2001

| Nr. lt.<br>Vorlesungs-<br>verzeichnis | Bezeichnung der<br>Lehrveranstaltung   | Vortrag<br>bzw. Übung<br>Anzahl | Tag und<br>Stunde                             | Beginn   | Hörsaal |
|---------------------------------------|--|---------------------------------|---|----------|---------|
| 1.51300                               | <b>Werkstoffe der<br/>Elektrotechnik II</b><br>Waser   | V 2                             | Mo 15.45-17.15                                | 23.4.01  | Aula 1  |
| 4.51310                               | Übung dazu<br>Waser u. W.M.  | Ü 1                             | Mo 17.30-18.15                                | 23.4.01  | Aula 1  |
| 4.51330                               | <b>Übungsanleitung zu<br/>Werkstoffe der Elektro-<br/>technik I u. II</b><br>(in kleinen Gruppen)<br>Waser u. W.M. | Ü 2                             | n. Übereink.                                  |          |         |
| 1.51370                               | <b>Sensoren u.<br/>Sensormeßtechnik I<br/>(ab 8. Semester)</b><br>Waser  | V 2                             | Do 14.00-15.30                                | 26.4.01  | WSH S2  |
| 4.51380                               | Übung dazu<br>Waser u. W.M.  | Ü 1                             | Do 15.30-16.15                                | 26.4.01  | WSH S2  |
| 1.51390                               | <b>Neue Materialien u. Bau-<br/>Elemente in der<br/>Informationstechnik II</b><br>Waser, Schröder u.W.M.           | V 2                             | n. Übereink.                                  |          | WSH S1  |
| 4.51391                               | Übung dazu<br>Waser u. W.M.  | Ü 1                             | n. Übereink.                                  |          | WSH S1  |
| 6.51400                               | <b>Seminar über Werkstoffe<br/>der Elektrotechnik</b><br>Mokwa, Waser,<br>Arlt, Hempel                             | Ü 1                             | Mi 16.30-18.00<br>(14täglich)<br>n. Übereink. |          |         |
| 6.51415                               | <b>Projekt: Vom Material zum<br/>Device</b><br>Waser u. W.M.   | Ü4                              | n. Übereink.                                  |          |         |
| 7.51420                               | <b>Praktikum über Werk-<br/>stoffe der Elektrotechnik</b><br>Mokwa, Waser u. W.M.                                  | TÜ 4                            | n. Übereinkunft                               |          |         |
| 1.51495                               | <b>Silizium-Mikrosysteme I</b><br>Mokwa  | V 2                             | Mo 15.00-16.30                                | 23.4. 01 | WSH S2  |
| 4.51496                               | Übung dazu<br>Mokwa u. W.M.  | Ü 1                             | n. Übereink.                                  |          |         |

# INSTITUT FÜR WERKSTOFFE DER ELEKTROTECHNIK

Dozenten: Prof. Dr. W. Mokwa Prof. em. Dr. K.A. Hempel  
 Prof. Dr. R. Waser Prof. em. Dr. G. Arlt

## Sommersemester 2001

| Nr. lt.<br>Vorlesungs-<br>verzeichnis | Bezeichnung der<br>Lehrveranstaltung   | Vortrag<br>bzw.<br>Übung<br>Anzahl | Tag und<br>Stunde            | Beginn                 | Hörsaal    |
|---------------------------------------|--|------------------------------------|------------------------------|------------------------|------------|
| 6.51500                               | <b>Seminar über aktuelle<br/>Anwendungen der<br/>Mikrosystemtechnik</b><br>Mokwa   | TÜ 4                               | Mo 16.30-18.00               | 23.4.01<br>15.00-16.30 | WSH S2     |
| 1.32675                               | <b>Herstellungsprozesse für<br/>Mikrosysteme II</b><br>Mokwa, Klocke, Michaeli<br>Poprawe                                  | V 2                                | Di 13.30-15.00               | 24.4.01                | ILT R 1047 |
| 4.32676                               | Übung dazu   | Ü 1                                | Di 15.15 –16.00              |                        | ILT R 1047 |
| 4.32677                               | Übungsergänzung für<br>Maschinenbauer  | Ü 1                                | Di 16.00 –16.45              |                        | ILT R 1047 |
| 1.33850                               | <b>Machinen u. Geräte zur<br/>Herstellung von Mikro-<br/>Systemen I</b><br>Mokwa, Michaeli, Pfeifer<br>Poprawe, Weck       | V 2                                | Do 10.00-11.30               | 19.4.01                | ILT R 1047 |
| 4.33851                               | Übung dazu   | Ü 1                                | Do 11.45-12.30               |                        | ILT R 1047 |
| 4.33852                               | Übungsergänzung für<br>Maschinenbauer  | Ü 1                                | Do 12.30-13.15               |                        | ILT R 1047 |
| 7.51505<br>7.51510                    | <b>Mikrotechnisches Labor<br/>Labor über Prozesse u.<br/>Bauelemente d. Mikro-<br/>systemtechnik</b><br>Mokwa, Waser, Kurz | TÜ 2<br>TÜ 2                       | n. Übereink.<br>n. Übereink. |                        |            |
| 7.51515                               | <b>Mikrosystemtechnisches<br/>Praktikum</b><br>Mokwa, u.a. Dozenten  | TÜ 4                               | n. Übereink.                 |                        |            |
|                                       | <b>Anleitung zu selbst.<br/>wissenschaftl. Arbeiten</b>  |                                    |                              |                        |            |
| 24.51430<br>24.51440                  | <b>Studienarbeiten</b><br>Mokwa u. W.M.<br>Waser u. W.M.   | Ü 4<br>Ü 4                         | n. Übereinkunft              |                        |            |
| 24.51450<br>24.51460                  | <b>Diplomarbeiten</b><br>Mokwa u. W.M.<br>Waser u. W.M.  |                                    | gzt. n.<br>Übereink.         |                        |            |
| 40.51480<br>40.51490                  | <b>Doktorarbeiten</b><br>Waser<br>Mokwa  |                                    | gzt. n. Übereink             |                        |            |

(Prof. Dr. rer. nat. W. Mokwa)

(Prof. Dr.-Ing. R. Waser)