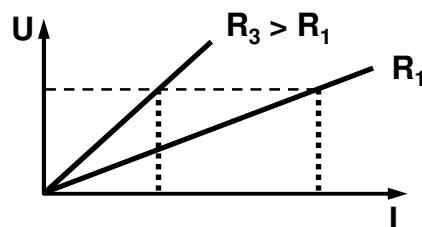


- ◆ **Gleichstrom**
- ◆ **Grundsschaltungen**

4

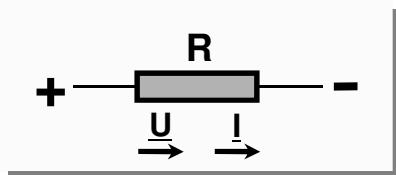
Wiederholung: Vorlesung 03

Das Ohmsche Gesetz

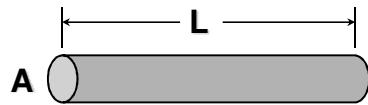


$$U = R \cdot I$$

- ◆ Einheit des elektrischen Widerstandes: Ohm = $[\Omega] = V/A$



Spezifischer Widerstand, Elektrische Leitfähigkeit



$$R \sim L/A \rightarrow R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

Einheit des spezifischen Widerstandes ρ :
[$\Omega \text{ m}$] bzw. [Vm/A]

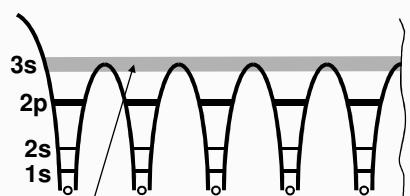
$$R = \frac{L}{\kappa A} \rightarrow \kappa = \frac{1}{\rho}$$

Einheit der elektrischen Leitfähigkeit κ :
[S/m] bzw. [A/Vm]

Ursache der elektrischen Leitfähigkeit

- Ursache der elektrischen Leitfähigkeit κ :
Dichte der freien Ladungsträger n [N/cm^3]
und deren Beweglichkeit b [cm^3 / Vs] :

$$\kappa = nqb$$

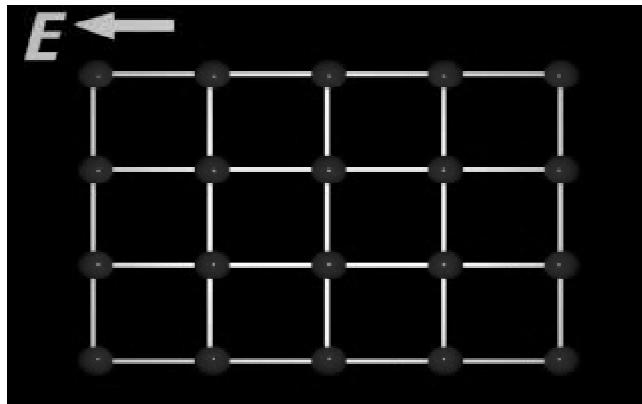


Energieband (3s) durch die Aufspaltung
der Einzelniveaus im Kristallgitter

Ursache für freie Ladungsträger:
Durch die periodische Anordnung
der Atome im Kristallgitter
überlappen die äußersten
Elektronenbahnen (hier 3s) mit der
Folge, daß sie sich im gesamten
Kristall "quasi-frei" bewegen
können.

Ursache der Beweglichkeit:
Stöße der Elektronen mit dem Gitter

Wiederholung Vorlesung 3



Temperaturabhängigkeit
der elektrischen Leitfähigkeit

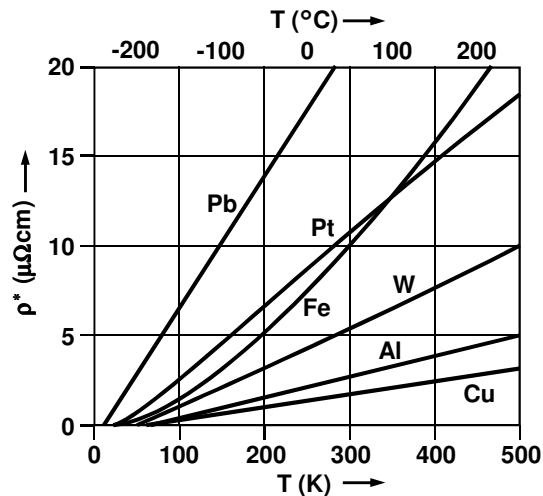
Wiederholung Vorlesung 3

$$\rho(T) = \rho(T_0) \cdot [1 + \alpha(T - T_0)]$$

$$\text{mit } \alpha = \frac{1}{\rho(T_0)} \cdot \frac{d\rho(T)}{dT}$$

α = Temperaturkoeffizient; Einheit: [1/K]
- für reine, nicht ferromag. Metalle ca. $3 \cdot 10^{-3}$ 1/K

Widerstandsthermometer: Beispiele



Wiederholung Vorlesung 3



Arbeitsgebiet
Mikrostrukturtechnik

A. Neyer, GET, SS 10, Vorlesung 04

Folie 7

Inhalt Vorlesung 4: Gleichstrom-Grundschatungen

- ◆ Elektrischer Stromkreis
- ◆ Kirchhoff'sche Gesetze
 - Knotenregel
 - Maschenregel
- ◆ Schaltungen mit Widerständen
 - Reihenschaltung
 - Parallelschaltung
- ◆ Quellen und Ersatzschaltungen
 - Spannungsquelle
 - Stromquelle
- ◆ Messung von Strom, Spannung und Widerstand



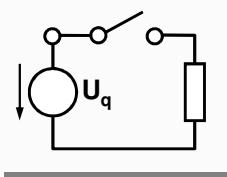
Arbeitsgebiet
Mikrostrukturtechnik

A. Neyer, GET, SS 10, Vorlesung 04

Folie 8

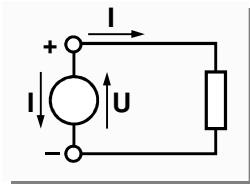
Elektrischer Stromkreis

- ◆ Stromkreis setzt sich aus mehreren Schaltelementen mit jeweils zwei Anschlüssen (Klemmen, Pole), Zweipole genannt, zusammen.
- ◆ Spannungsquelle: z.B. Batterie
- ◆ Hin- und Rückleitungen für Verbindung mit Verbraucher
- ◆ Spannung U_q durch Spannungspfeil gekennzeichnet (zeigt von + nach -)
- ◆ Öffnen des Schalters unterbricht Stromfluß
- ◆ Die Quellenspannung U_q ist die Ursache des Elektronenstroms



Elektrischer Stromkreis

- ◆ Strompfeil entgegengesetzt der Bewegungsrichtung der Elektronen
- ◆ positiver Strom fließt
 - im Erzeuger von – nach +
 - im Verbraucher von + nach –
- ◆ Betrag des Stroms hängt ab von
 - Quellspannung U_q
 - elektrischer Gesamtwiderstand
- ◆ Gesamtwiderstand setzt sich zusammen aus
 - Generatorwiderstand
 - Widerstand der Hin- und Rückleitung
 - Widerstand des Verbrauchers
- ◆ Hier: Zuleitungen widerstandslos (ideale Leiter)



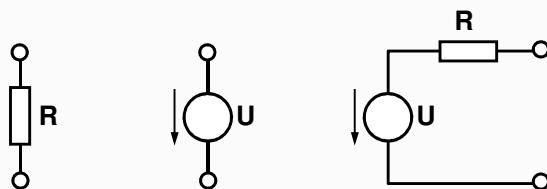
Elektrischer Stromkreis

- ◆ Ein Zweipol ist ein beliebiges Netzwerk mit zwei äußeren Klemmen

- ◆ Symbole:



- ◆ Beispiele:



Elektrischer Stromkreis (Ohmsches Gesetz)

- ◆ Zusammenhang zwischen Spannung U, Strom I und Widerstand R:

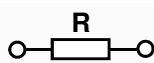
Ohmsches Gesetz

$$U = R \cdot I \quad (4.1)$$

- ◆ Einheit des elektrischen Widerstandes:

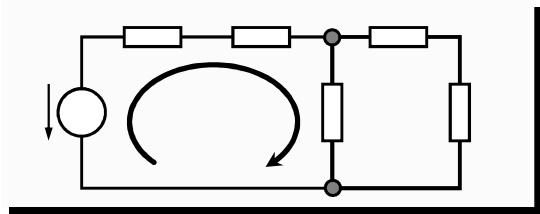
$$1\text{Ohm} = 1\Omega = 1 \frac{\text{V}}{\text{A}}$$

- ◆ Symbol:



Elektrischer Stromkreis

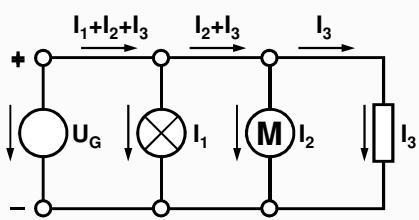
- ◆ Eine Schaltung stellt i.a. ein Netzwerk dar.
- ◆ Zweig: leitende Verbindung zwischen zwei Knoten
- ◆ Ein Zweig enthält ein oder mehrere Elemente
- ◆ Masche: in sich geschlossene Kette von Zweigen



Knotenregel (1. Kirchhoff'sches Gesetz)

- ◆ Verzweigter Stromkreis mit drei Verbrauchern:
Glühlampe L, Motor M, Widerstand R
angeschlossen an die Pole + und – des Generators
- ◆ An jedem der 4 Knotenpunkte (Stromverzweigungspunkte)
gilt die Knotenregel:

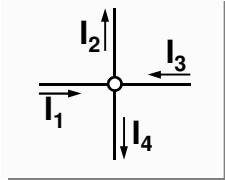
$$\sum I_{zu} = \sum I_{ab} \quad (4.2)$$



Knotenregel (1. Kirchhoff'sches Gesetz)

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4$$

$$I_1 + I_3 - I_2 - I_4 = 0$$



An jedem Knoten einer elektrischen Schaltung ist die Summe der zufließenden Ströme gleich der Summe der abfließenden Ströme.

$$\sum I_{zu} = \sum I_{ab}$$

Oder (abfließende Ströme negativ):

$$\sum I = 0 \quad (4.3)$$

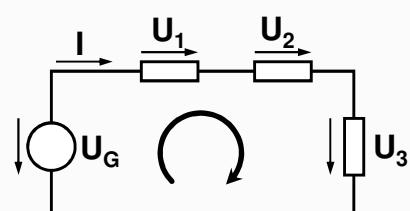
Maschenregel (2. Kirchhoff'sches Gesetz)

In einer Masche ist die Summe aller Spannungen gleich Null.

$$\sum U = 0 \quad (4.4)$$

$$U_1 + U_2 + U_3 = U_G \Leftrightarrow$$

$$U_1 + U_2 + U_3 - U_G = 0$$



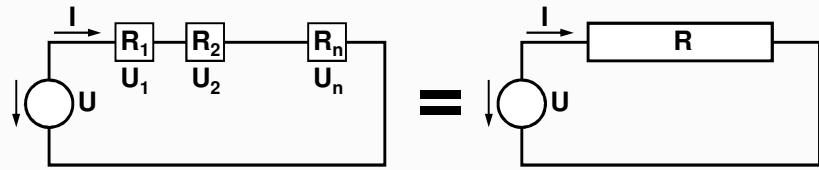
Maschenregel (2. Kirchhoff'sches Gesetz)

- ◆ Man erhält an den Widerständen auftretende Teilspannungen, wenn man den Strom mit den Teilwiderständen multipliziert ($U=RI$).
- ◆ Die Spannungspfeile zeigen stets in Richtung der Strompfeile.
- ◆ Die Summe aller Spannungen längs eines beliebig geschlossenen Stromkreises (Masche) ist gleich Null.
- ◆ Zuerst Festlegung der Umlaufrichtung.
- ◆ Beträge in Umlaufrichtung werden positiv, entgegen der Umlaufrichtung werden negativ eingesetzt.

Kirchhoff'sche Gesetze

- ◆ Maschen- und Knotenregel bilden die Grundlage für das Berechnen von Spannungen und Strömen in elektrischen Stromkreisen.
- ◆ Voraussetzung: Spannungs- und Strompfeile sind eindeutig gerichtet.
- ◆ Maschen- und Knotengleichungen gelten allgemein
 - auch bei nichtlinearen Bauelementen
 - auch bei veränderlichen Strömen und Spannungen

Reihenschaltung (Serienschaltung)



- ◆ **Gesucht:** Gesamt- bzw. Ersatzwiderstand $R = U / I$
- ◆ Alle Widerstände werden vom Strom I durchflossen!
- ◆ Ohmsches Gesetz: $U_1 = I R_1 \quad U_2 = I R_2 \quad U_n = I R_n$
- ◆ **Maschenregel:**

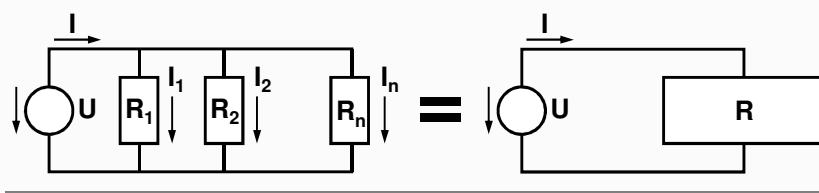
$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$U = I (R_1 + R_2 + \dots + R_n)$$

$$U = I \cdot R \text{ mit } R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

$$R = \sum R_k \quad (4.5)$$

Parallelenschaltung



- ◆ **Gesucht:** Gesamtwiderstand $R = U / I$
- ◆ An allen Widerständen liegt die Spannung U an!
- ◆ Ohmsches Gesetz: $I_1 = U / R_1 \quad I_2 = U / R_2 \quad I_n = U / R_n$
- ◆ **Knotenregel:**

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$I = U (1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n)$$

$$I = U / R \text{ mit } 1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$$

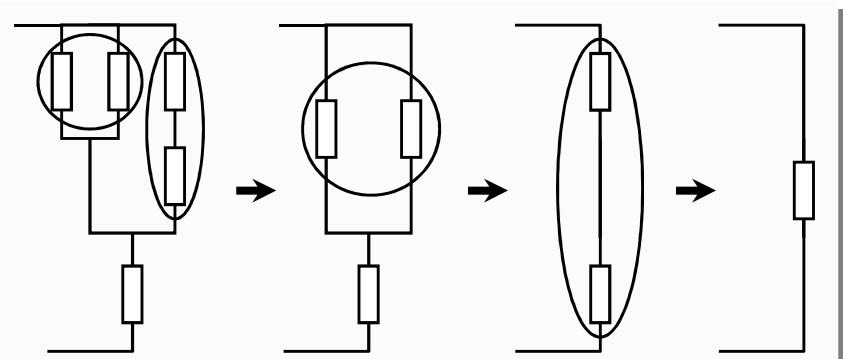
$$\frac{1}{R} = \sum \frac{1}{R_k} \quad (4.6)$$

Reihen- und Parallelschaltung

- ◆ Mehrere Schaltungen können zu einer Ersatzschaltung mit nur einem Widerstand vereinfacht werden.
- ◆ Die Ersatzschaltung nimmt bei Anschluß an die Spannung U ...
 - den gleichen Strom I,
 - die gleiche Leistung P,
 - und in der gleichen Zeit die gleiche Energie W
 auf wie die ursprüngliche Schaltung mit mehreren Widerständen.
- ◆ Widerstände in Reihe addieren sich

Zusammengesetzte Schaltungen

- ◆ Bei komplexeren Schaltungen:
Zerlegung in Reihen- und Parallelschaltungen:



Beispiele

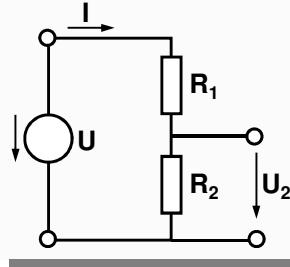
- ◆ **Unbelasteter Spannungsteiler**

$$U_2 = R_2 \cdot I$$

Bestimmung von I mit Maschenregel:

$$U = I (R_1 + R_2)$$

$$I = U / (R_1 + R_2)$$



$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad \frac{U_2}{U} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (4.9)$$

- ◆ **Spannungen verhalten sich wie die Widerstände**

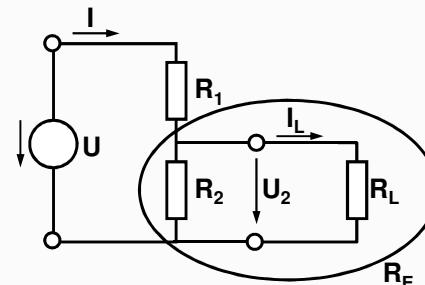
- ◆ „Spannungsteilerformel“

Beispiele

- ◆ **Belasteter Spannungsteiler**

Ersatzwiderstand R_E für parallele R_2 und Last:

$$R_E = \frac{R_2 R_L}{R_2 + R_L}$$

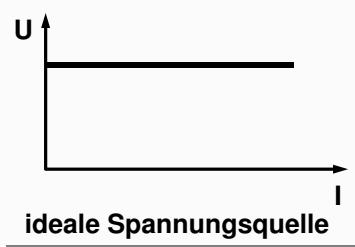


$$\frac{U_2}{U} = \frac{R_E}{R_1 + R_E} \quad (4.10)$$

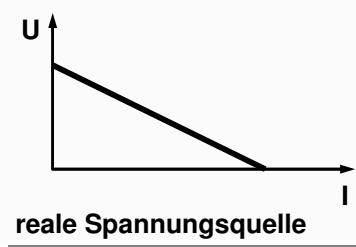
Spannungsquellen

- ◆ **Elektrodynamische Spannungsquellen (Generatoren)**
 - Synchronmaschine
 - Asynchronmaschine
- ◆ **Elektrochemische Spannungsquellen**
 - Galvanische Elemente (Naß- und Trockenbatterie)
 - Akkumulatoren (Blei-, NiCd-, Li-Ion-Akkus)
- ◆ **Lichtelektrische Spannungsquellen**
 - Photoelemente
 - Siliziumzellen (Solarzellen)

Spannungsquellen

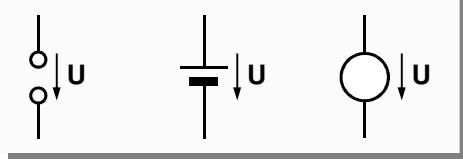


ideale Spannungsquelle



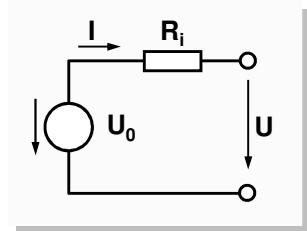
reale Spannungsquelle

Symbole:

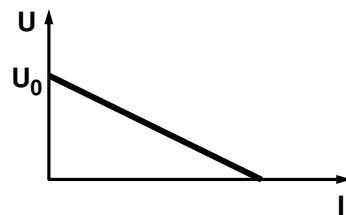


Spannungsquellen

◆ Reale Spannungsquelle: Ersatzschaltbild

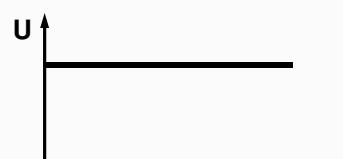


$$U = U_0 - R_i \cdot I \quad (4.11)$$

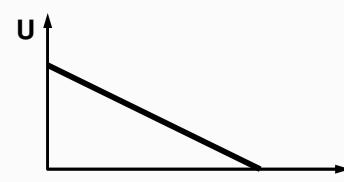


U_0 : Urspannung, eingeprägte Spannung

Stromquellen

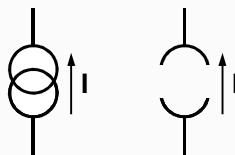


ideale Spannungsquelle



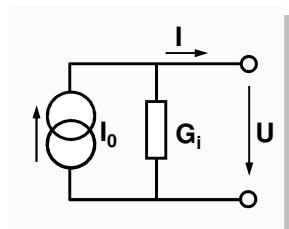
reale Spannungsquelle

Symbole:

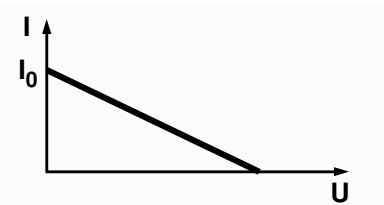


Stromquellen

- ◆ **Reale Stromquelle: Ersatzschaltbild**



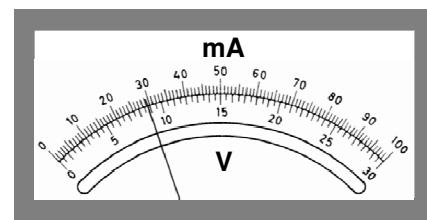
$$I = I_0 - G_i \cdot U \quad (4.12)$$



I_0 : Urstrom, eingeprägter Strom

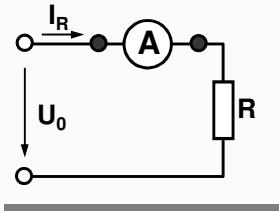
Strom- und Spannungsmessung

- ◆ Für Messungen in Gleichstromkreisen: meist Drehspulinstrumente. Oft Vielfachmeßinstrumente mit umschaltbaren Meßbereichen.
- ◆ Dasselbe Instrument kann als Strom- und Spannungsmesser eingesetzt werden:
- ◆ Die Meßwerkspule habe z.B. den Widerstand 200Ω
- ◆ Fließen $3mA$, geht der Zeiger auf Vollausschlag
→ Verwendung als Strommesser
- ◆ Bei Vollausschlag liegt die Spannung $3mA \cdot 200\Omega = 0,6V$ an
→ Verwendung auch als Spannungsmesser
→ andere Skala

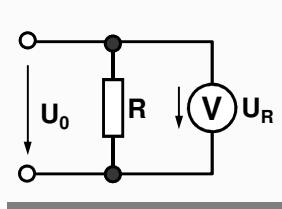


Strom- und Spannungsmessung

- ◆ **Strommessung:**
Meßinstrument ist so in den Stromkreis einzufügen, daß der zu messende Strom durch das Instrument fließt (Serien schaltung).

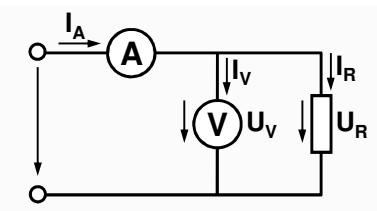


- ◆ **Spannungsmessung:**
Die beiden Klemmen des Meß instruments sind an die beiden Punkte der Schaltung anzuschließen, zwischen denen die Spannung gemessen werden soll (Parallelschaltung).

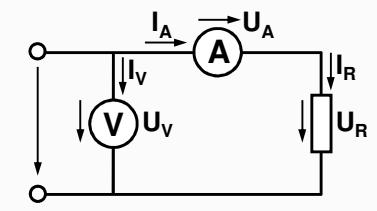


Widerstandsmessung

- ◆ $U_V = U_R$ richtig
- ◆ $I_A = I_V + I_R$ falsch
- ◆ „Stromfehlerschaltung“



- ◆ $I_A = I_R$ richtig
- ◆ $U_V = U_R + U_A$ falsch
- ◆ „Spannungsfehlerschaltung“



Messung mit kleinem Fehler:

Widerstandsmessung nach Wheatstone

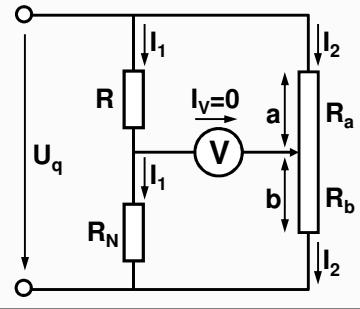
Nach Abgleich: $I_V = 0$
Maschenregel:

$$I_1 R - I_2 R_a = 0$$

$$I_1 R_N - I_2 R_b = 0$$

$$I_1 R = I_2 R_a$$

$$I_1 R_N = I_2 R_b$$



Division beider Gleichungen:

$$R = R_N \frac{R_a}{R_b} = R_N \frac{a}{b} \quad (4.15)$$

Unabhängig von Quellenspannung U_q !

Widerstandsmessung nach Wheatstone

- ◆ Vergleich des zu messenden Widerstandes mit bekannten, geeichten Widerständen
- ◆ Abgleich bis Meßinstrument keinen Ausschlag mehr zeigt ($I = 0$)
- ◆ → keine Belastung durch Meßinstrument!
- ◆ → unbekannter R lässt sich aus Abgleicheinstellung berechnen

Verständnisfragen zur Vorlesung 04

- ◆ Wie werden die Strom- und Spannungspfeile in einem Stromkreis gesetzt?
- ◆ Wie setzt sich der Gesamtwiderstand eines Stromkreises zusammen?
- ◆ Wie lautet das Ohmsche Gesetz?
- ◆ Was besagen die Maschen- und die Knotenregel?
- ◆ Wie bestimmt man den Ersatzwiderstand einer Widerstandsreihenschaltung und Widerstandsserienschaltung?
- ◆ Welchen Vorteil bietet die Wheatston'sche Brücke zur genauen Messung von Widerständen?

Übungsaufgaben zu 04: 1,2

Aufgabe 1

Zwei Widerstände R_1 und R_2 werden in Reihe parallel geschaltet.

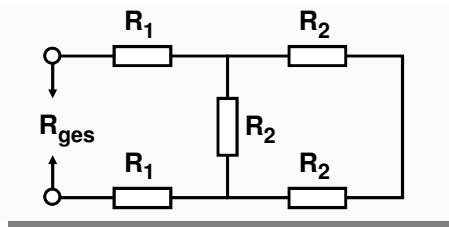
Wie groß wird der Ersatzwiderstand für jede Schaltungsart, wenn R_1 wesentlich größer ist als R_2 (Beispiel: $R_1=100 R_2$) ?

Wie groß wird in beiden Fällen der Ersatzwiderstand, wenn R_1 gleich R_2 ist ?

Aufgabe 2

Eine Schaltung ist aufgebaut wie in Abbildung 1.

Berechne den Gesamtwiderstand für $R_1 = 10$ und $R_2 = 30$.



Übungsaufgaben zu 04: 3,4

Aufgabe 3:

Zwei Glühlampen mit unterschiedlichen Innenwiderständen ($R_1 = 4 R_2$) aber gleicher Nennspannung werden in Reihe an ein Netzteil mit der doppelten Spannung gelegt.

Warum brennt eine Lampe nach kurzer Zeit durch ?

Aufgabe 4:

Bestimme den Gesamtwiderstand dieses Netzwerks.

Hinweis: Knotenpunkte gleichen Potentials können verbunden oder getrennt werden, da dort kein Strom fließt.

