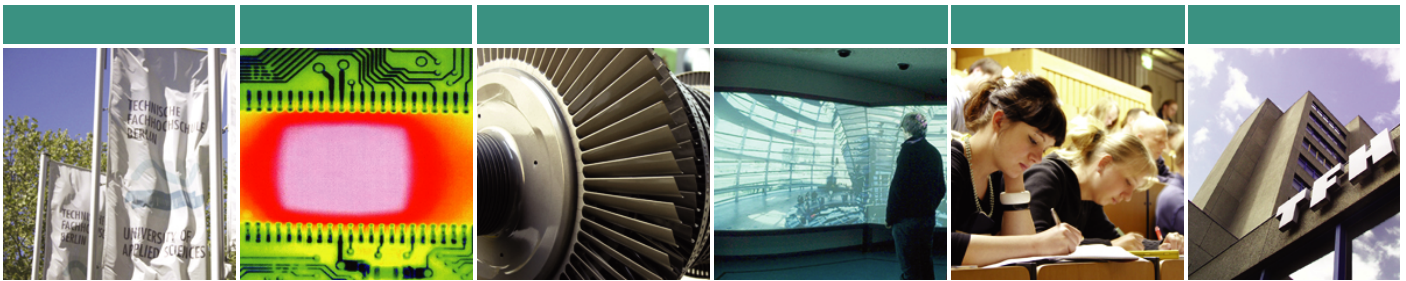


Grundlagen der Elektrotechnik I

Prof. Dr.-Ing. Sven Tschirley

University of Applied Sciences Berlin



Prof. Dr.-Ing. Sven Tschirley

GdE I

1 / 42

Teil I

Grundbegriffe

- 1 Motivation
- 2 Physikalische Größen und deren Einheiten
- 3 Elektrische Größen
 - Elektrische Ladung
 - Elektrischer Strom
 - Elektrische Spannung
 - Energie und Leistung
 - Elektrischer Widerstand
- 4 Grundelemente in elektrischen Netzwerken
 - Signalformen
 - Netzwerkelemente

Abschnitt 1.1

Motivation

Elektrotechnik

Elektrotechnik ist die Lehre von der Anwendung der Energieform Elektrizität

Elektrizität

Die Elektrizität ist eine Energieform, die aus **potenziellen** und **kinetischen** Energiezuständen von Elektronen und deren Änderung resultiert.

Teilgebiete der Elektrotechnik

- **Energietechnik** Erzeugung, Verteilung, Verwendung elektrischer Energie
- **Nachrichtentechnik** Erfassung, Aufbereitung, Übertragung, Wiedergabe von Informationen
- **Elektronik** Verarbeitung elektrischer Signale bei Verwendung des Flusses von Elektronen

Stoffauswahl

Grundlage für die Tätigkeit in den drei Teilgebieten

- Energietechnik
- Nachrichtentechnik
- Elektronik

Abschnitt 1.2

Physikalische Größen und deren Einheiten

Größengleichungen



1.2 – PHYSIKALISCHE GRÖSSEN UND DEREN EINHEITEN

Definition (Physikalische Größen)

- Beschreibung einer physikalischen Erscheinung
- Symbolische Darstellung durch ein Buchstabensymbol:
 P als Symbol für elektrische Leistung
- Quantifizierbare Darstellung als **Produkt aus Zahlenwert und Einheit**

$$P = 10W$$

- Die Einheiten sind frei wählbar,
- sollten sich aber an gebräuchlichen **Einheitensystemen** orientieren.
- Basis ist das SI-System (MKSA-System)

Definition (Einheitensysteme)

Einheitensysteme fassen abgestimmte Einheiten verschiedener physikalischer Größen geeignet zusammen.

- Basis sind **Meter, Kilogramm, Sekunde, Ampère**
- seit 1954 in Anwendung
- seit 1970 als SI-System weltweit gültige Norm

Größe	Formelzeichen	Definition		Einheit	
		Größe	Einheit	Name	Symbol
Strom	i, I	Basisgröße		Ampère	A
Spannung	u, U	$U = \frac{W}{Q} = \frac{P}{I}$	$1V = \frac{1W}{1A}$	Volt	V
Widerstand	R	$R = \frac{U}{I}$	$1\Omega = \frac{1V}{1A}$	Ohm	Ω
Leitwert	G	$G = \frac{I}{U}$	$1S = \frac{1A}{1V}$	Siemens	S
Ladung	Q	$Q = I \cdot t$	$1C = 1A \cdot 1s$	Coulomb	C
Kapazität	C	$C = \frac{Q}{U}$	$1F = \frac{1C}{1V}$	Farad	F
Induktivität	L	$L = \frac{\Phi}{I}$	$1H = \frac{1Vs}{1A}$	Henry	H



Benennung	Kurzzeichen	Faktor
Femto	f	10^{-15}
Pico	p	10^{-12}
Nano	n	10^{-9}
Mikro	μ	10^{-6}
Milli	m	10^{-3}
		10^0
Kilo	k	10^3
Mega	M	10^6
Giga	G	10^9
Tera	T	10^{12}
Peta	P	10^{15}



Definition

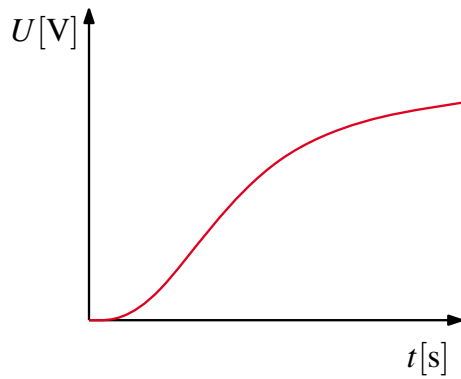
Größengleichungen Alle Gleichungen sind als Größengleichungen zu behandeln

- Rechnen mit Symbolen
- Ergebnisermittlung durch Einsetzen von Wert **und** Einheit

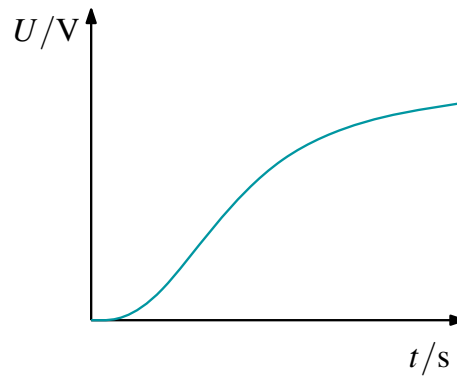
Beispiele

- Größengleichung
- Einheitenumwandlung

Alte Darstellungsform



Neue Darstellungsform



- Elektrizität selbst ist nicht sichtbar
- Erkennbar sind nur Wirkungen
 - Anziehende Kräfte auf Ladungen
 - Ladungsausgleichsvorgänge
- Elektrische Ladung ist, wie die Masse, eine **Grundeigenschaft der Bausteine der Materie**

■ **Leichte Transportierbarkeit**

- Transport über große Entfernungen
- Hoher Wirkungsgrad, verglichen mit dem Transport mechanischer oder thermischer Energie
- Schnelle Verfügbarkeit durch hohe Verbreitungsgeschwindigkeit

■ **Leichte Transformierbarkeit** in andere Energieformen:

- mechanische Energie (Motore)
- thermische Energie (Lichtbogenschweißgeräte)
- chemische Energie (Elektrolyse)
- akustische Energie (Schallwandler)

■ **Leichte Teilbarkeit** bei Transport unterschiedlicher Leistungen über ein Netz

- Effizienter als mechanische Systeme (Keilriemenantriebe)

■ **Leichte Konzentrierbarkeit / hohe Leistungsdichte** der elektrischen Energie z.B.

- beim Schweißen oder Induktionserwärmen
- beim Transport großer Mengen elektrischer Energie durch dünne Leitungen

■ **Leichte Skalierbarkeit** durch Steuerung und Regelung

- Leistungselektronik

■ **Möglichkeit der einfachen Übertragung von Signalen**

- Einfache Transportierbarkeit erlaubt Fernsteuerungen auf Basis elektrischer Signale
- Informationscodierung durch Modulation
- Übertragung durch elektromagnetische Wellen

■ **Gute Messbarkeit** durch viele bekannte elektrische Verfahren zur messtechnischen Bestimmung von physikalischen Größen

- Messung elektrische Größen
- Messung nicht-elektrischer Größen

- **Aufwandsarme Wartung und hohe Zuverlässigkeit elektrischer Systeme**
- **Hohe Betriebssicherheit** durch Selbstschutz
- **Speichermöglichkeit von elektrischer Energie und elektronischen Daten**
 - Elektrische Informationsspeicherung mit hoher Dichte möglich
 - Effiziente aufwandsarme Speicherung großer Mengen elektrischer Energie **existiert nicht**
 - Speicherung ist nur durch Umwandlung in andere Energieformen möglich

Abschnitt 1.3

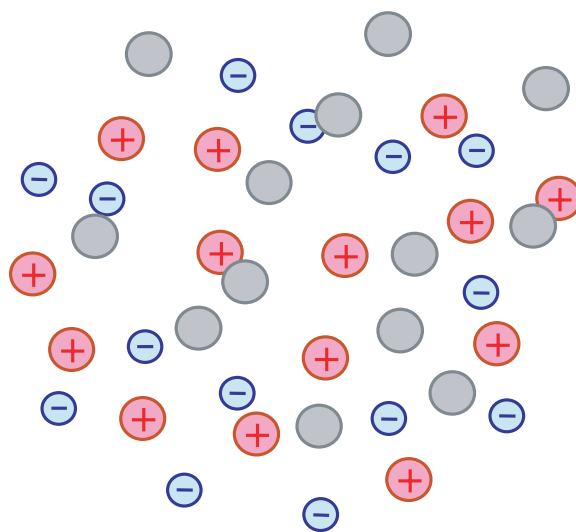
Elektrische Größen

Wirkungen ruhender Ladungen

- Eine elektrische Ladung übt auf andere elektrische Ladung Kräfte aus.
- Der Teil eines Raumes, in dem eine solche Kraftwirkung nachweisbar ist, ist ein Raum, in dem ein **elektrisches Feld** wirkt.
- **Jede** Ladung ist von einem elektrischen Feld umgeben.

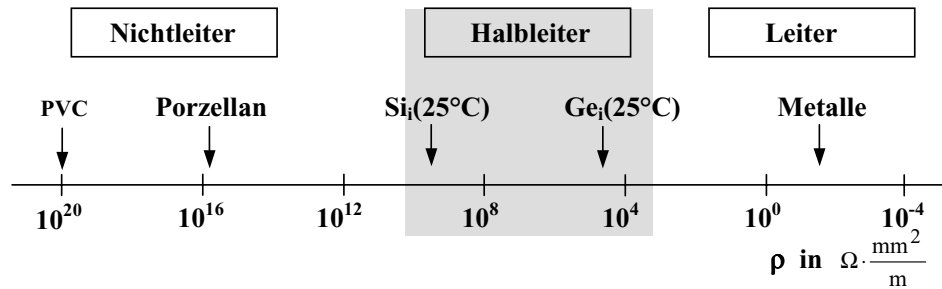
Wirkungen bewegter Ladungen

- Bewegte elektrische Ladungen üben auf andere bewegte elektrische Ladungen Kräfte aus
- Der Teil eines Raumes, in dem eine solche Kraftwirkung nachweisbar ist, ist von einem **magnetisches Feld** durchsetzt.
- **Jede** bewegte Ladung ist von einem magnetischen Feld umgeben.



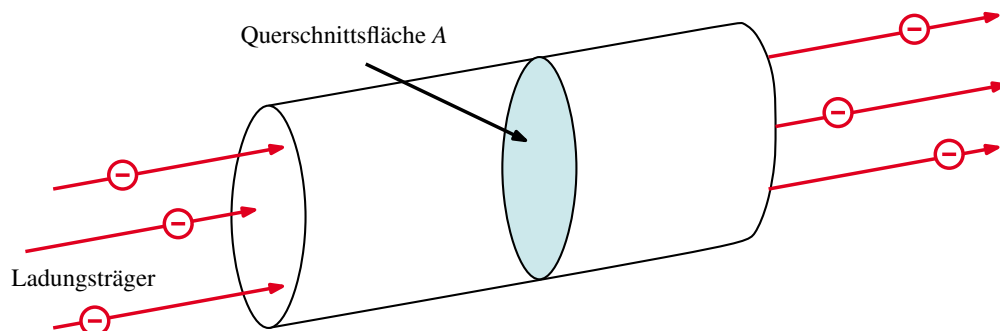
Elementarladung: $q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$

- Bohrsches Atommodell
- Valenzelektronen können aufgenommen und abgegeben werden
 - Metalle
 - Isolatoren
 - Halbleiter



- Abgabe von Elektronen (e^-) hinterläßt Ionen
- Freie Elektronen sind von besonderen Interesse:
Transport elektrischer Ladungen

- Erscheinung der **gerichteten Bewegung** von Ladungsträgern
- Bestimmungsgröße ist die **Stromstärke**



Wirkungen des Elektrischen Stromes

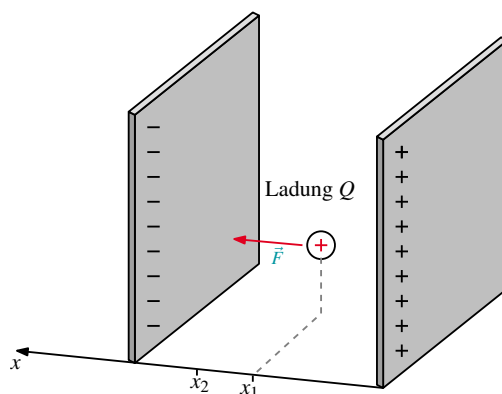
- Die **positive Stromrichtung** wird allgemein in Richtung der **positiven Ladungsträger** festgelegt.
- Stromdurchflossene Leiter sind von einem *Magnetfeld* umgeben
- Beim Stromfluss in Leiter entsteht Wärme
- Nur beim Transport von Ionen (z.B. in Flüssigkeiten) wird auch Materie transportiert

Definition (Einheit des Elektrischen Stromes)

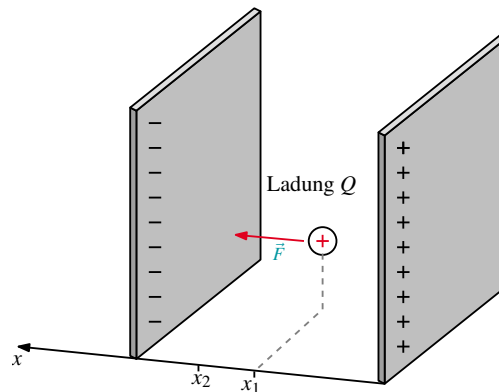
1 Ampère ist die Stärke eines zeitlich unveränderlichen Stroms, der, durch zwei im Vakuum parallel im Abstand von 1 m voneinander angeordnete, geradlinige, unendlich lange Leiter von vernachlässigbar kleinem, kreisförmigem Querschnitt fließend, zwischen diesen Leitern je 1m Leiterlänge elektrodynamisch die Kraft $0,2 \cdot 10^{-6} \text{N}$ hervorrufen würde.

(9. Generalkonferenz für Maß und Gewicht, 1948)

- Elektrische Spannung ist die Ursache für die Bewegung von Ladungsträgern
- Einrichtungen, die diese Ursache bereitstellen sind **Spannungsquellen** oder Generatoren



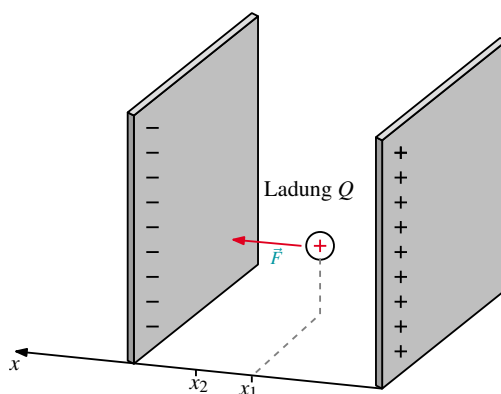
- Die **positive Richtung** wird festgelegt, wenn die Probeladung sich zur entgegengesetzt geladenen Platte bewegt



Begriffseinführung durch Wirkungs Betrachtung

Zur Definition der elektrischen Spannung wird die Kraftwirkung auf eine Probeladung im elektrischen Feld betrachtet.

$$\vec{E} = \frac{1}{Q} \vec{F}$$



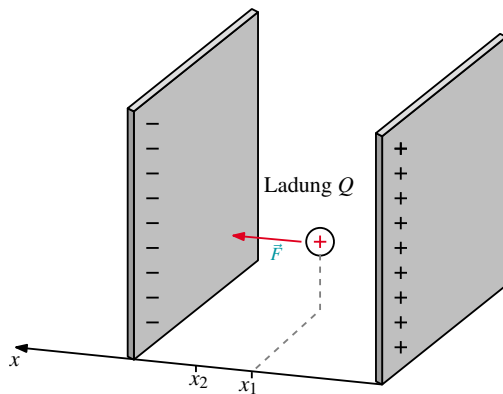
Definition (Elektrisches Potenzial)

Das Potenzial $V(x)$ ist der Energiebetrag, der frei wird, wenn die Ladung zu einem Punkt anderen Potenzials verschoben wird. Das Potenzial ist eine *skalare Größe*.

Das Vorzeichen wird **positiv** gewählt, so dass bei Verschiebung von niedrigem zu höherem Potenzial positive Energie bedeutet.

Definition (Potenzialdifferenz)

Eine Potenzialdifferenz $V(x_2) - V(x_1)$ wird **elektrische Spannung** genannt.



■ Energie: Formelbuchstabe W

$$W = U \cdot I \cdot t$$

■ Leistung: Formelbuchstabe P

$$P = U \cdot I$$

Transportrichtung legt das Vorzeichen fest

■ Transport in Feldrichtung

$$W_{1,2} = Q \int_{x_1}^{x_2} \vec{E} d\vec{x} = U_{1,2} \cdot I \cdot t$$

■ Transport entgegen der Feldrichtung

$$W_{2,1} = Q \int_{x_2}^{x_1} \vec{E} d\vec{x} = -U_{1,2} \cdot I \cdot t$$

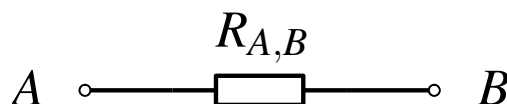
Im freien Raum kann eine Ladung frei bewegt werden:

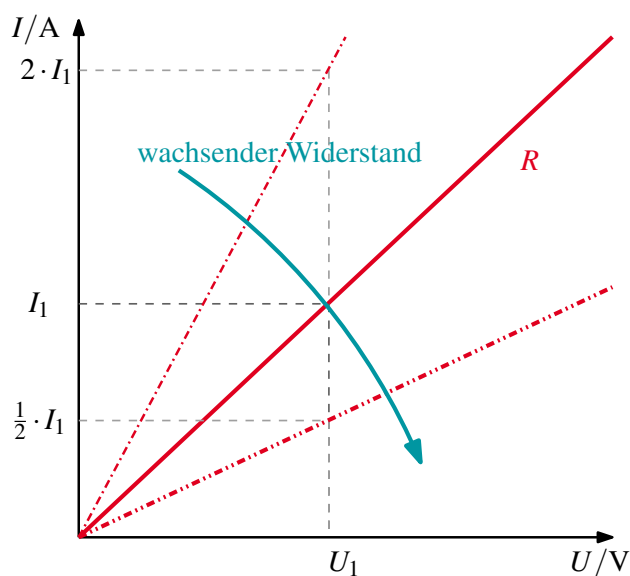
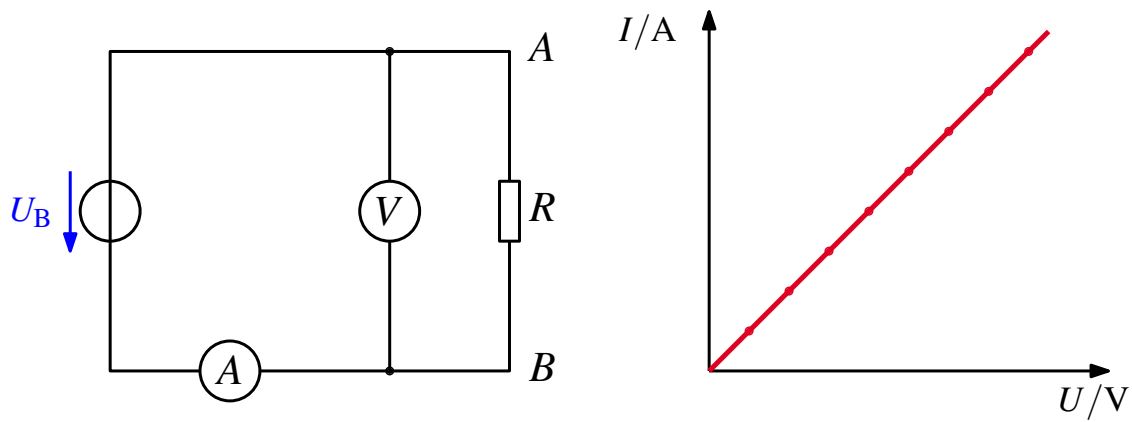
$$W_{1,2} = Q(V_1 - V_2) = Q \cdot U_{1,2} = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

➔ Im Festkörper ist die freie Bewegung nicht möglich.

Der elektrische Widerstand zwischen zwei Punkten ist

$$R_{A,B} = \frac{U_{A,B}}{I}$$



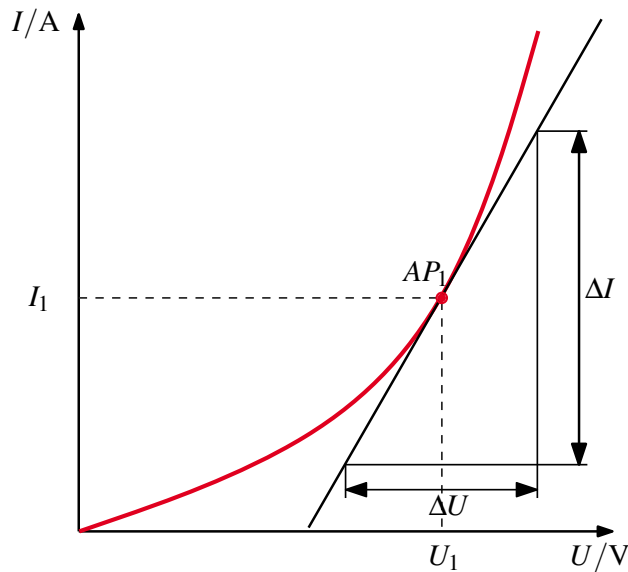


Linearer Widerstand

- Bei Metallen und Legierungen:

$$R = \frac{U}{I} = \text{const.}$$

- Der Widerstand ist **linear**



nichtlinearer Widerstand

- $R \neq \text{const.}$
- Gleichstromwiderstand

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1}$$

- Differenzieller Widerstand

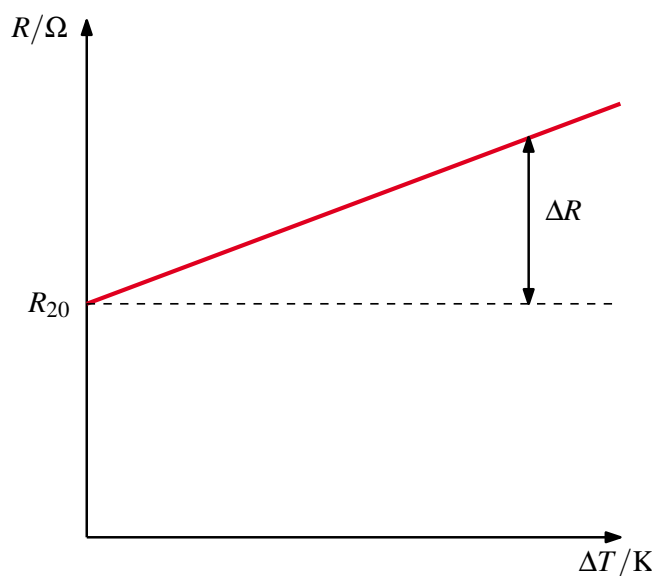
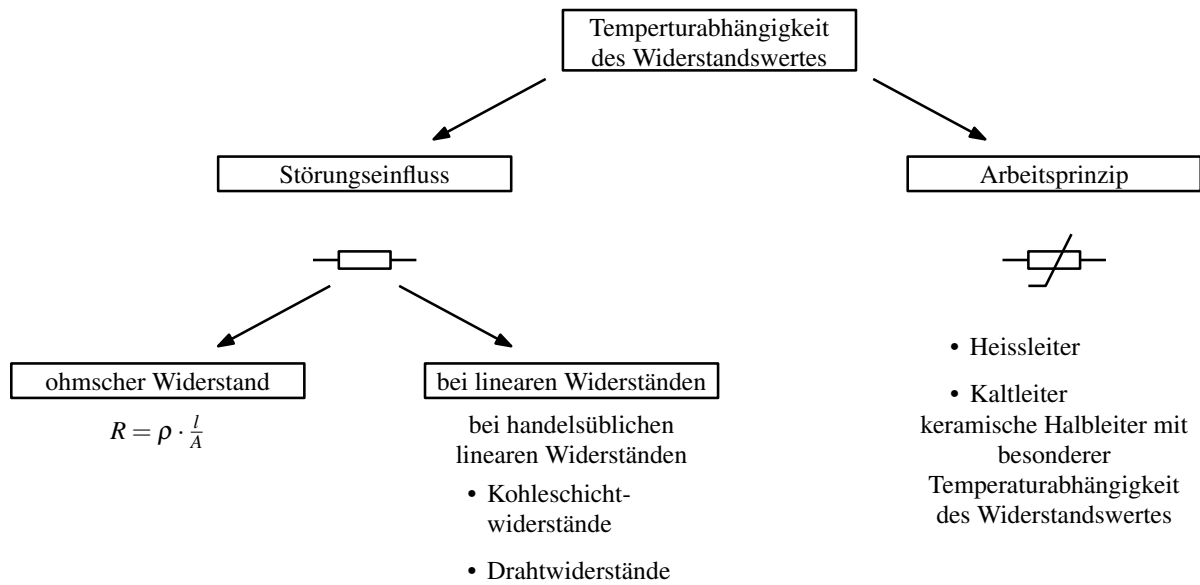
$$r = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

- r gilt im Arbeitspunkt AP_1

Widerstandsberechnung für einen Leiter

$$R = \varrho \cdot \frac{l}{A} = \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{l}{A}$$

- ϱ : Spezifischer Widerstand, Einheit $\frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$
- κ : Spezifischer Leitwert, Einheit $\frac{\text{Sm}}{\text{mm}^2}$



Lineare Modellierung der Temperaturabhängigkeit

$$R_T = R_{20} + \alpha_{20} \cdot \Delta T \cdot R_{20}$$

α_{20} ist der **Temperaturkoeffizient** des verwendeten Materials

Material	κ in $\frac{\text{Sm}}{\text{mm}^2}$	ϱ in $\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$	α in %/K
Reine Metalle			
Aluminium	36	0,0278	+0,4
Kupfer	56	0,0178	+0,39
Silber	60,5	0,0165	+0,41
Wolfram	18,2	0,0550	+0,46
Widerstandslegierungen			
Konstantan	2	0,5	$\pm 0,003$
Manganin	2,3	0,43	$\pm 0,001$
Lineare Widerstände			
Kohleschicht	0,033	30	-0,05
Metallschicht	1	1	$\pm 0,01$

Widerstandsberechnung

Ein isolierter Kupferdraht der Länge 44m und einem Durchmesser von 0,1mm befindet sich aufgerollt auf einer Kabeltrommel. Welchen Widerstand messen Sie bei Raumtemperatur?

Temperaturabhängigkeit

Ein Kupferdraht hat bei $T = 20^\circ\text{C}$ einen Widerstand von $R_{20} = 15\Omega$. Bei welcher Temperatur ist der Widerstand um 10% angestiegen?

Widerstandsberechnung II

Ein Lautsprecherkabelring mit doppeladriger Leitung ($l = 25\text{m}$, $A = 2,5\text{mm}^2$) soll als Lastspule verwendet werden. Für die Funktion der Schaltung muss der ohmsche Widerstand bekannt sein. Die Doppeladern werden an beiden Enden verlötet. Welchen ohmschen Widerstand hat die Leitung?

Abschnitt 1.4

Grundelemente in elektrischen Netzwerken

Gleichgrößen



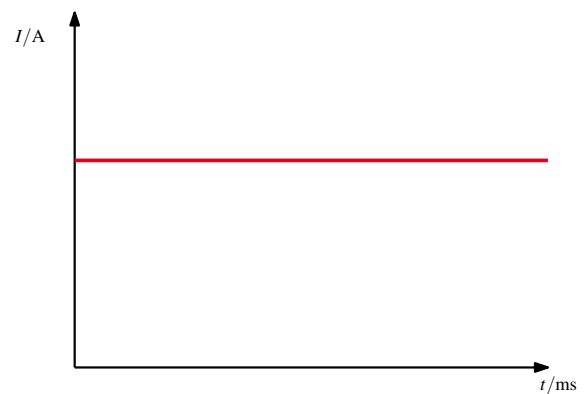
Gleichgrößen

- Keine Zeitabhängigkeit

$$I \neq f(t) = \text{const}$$

- Notation in Großbuchstaben

I



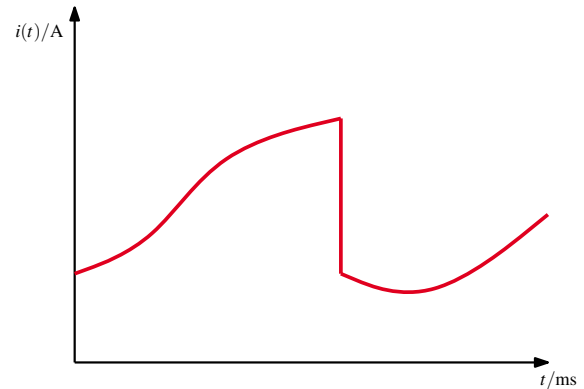
Wechselgrößen

■ Zeitabhängigkeit

$$i(t) = f(t)$$

■ Notation in Kleinbuchstaben

$$i(t) = i$$



■ ■ ■ ■ Periodische Wechselgrößen

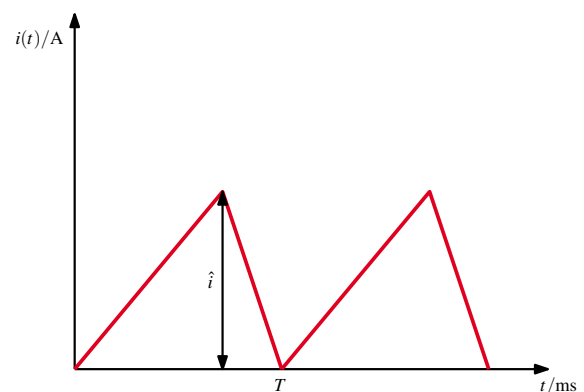


Periodische Wechselgrößen

■ Periodisch wiederkehrendes Muster

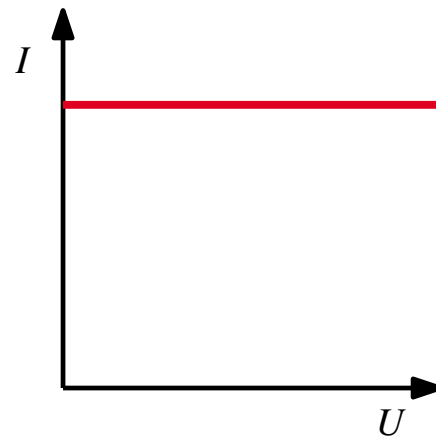
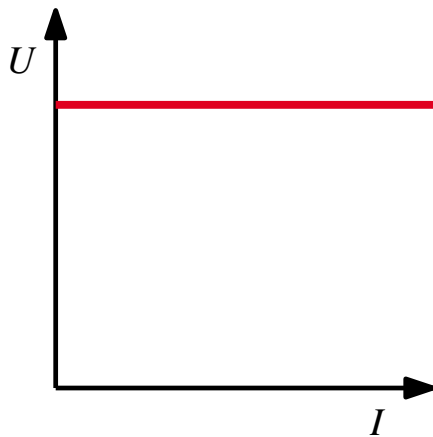
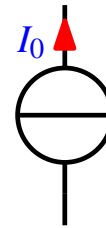
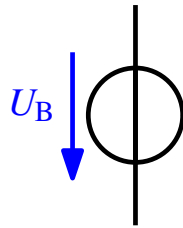
$$i(t) = i(t + nT)$$

■ Sonderfall: Sinusförmige Größen heißen **harmonische Größen**



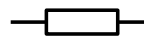
Begriffe

- T Periodendauer
- f Frequenz
- $\omega = 2\pi f$ Kreisfrequenz
- \hat{i} Scheitelwert



■ Ohmscher Widerstand (resistor)

$$u = R \cdot i$$



■ Induktivität (inductor)

$$u = L \cdot \frac{di}{dt}, \text{ Einheit 1H(Henry)}$$



■ Kapazität (capacitor)

$$i = C \cdot \frac{du}{dt}, \text{ Einheit 1F(farad)}$$

