



Technische Grundlagen der Informatik
WS 2023/24
Teil 1: Elektrotechnik

1- Grundbegriffe der Elektrotechnik

Dr. Solveig Schüßler



1. Grundbegriffe der Elektrotechnik
2. Stromkreis-(gesetze) und
Arbeit und Leistung
3. Elektrisches Feld und Kondensator
4. Magnetisches Feld und Spule
5. Wechselspannung und Wechselstrom
6. Leitungsmodell für Halbleiter und
pn-Übergang / Diode
7. Transistor und Klausurvorbereitung



- [Bü1] Büttner, Wolf-Ewald: *Grundlagen der Elektrotechnik 1*; Oldenbourg-Verlag, ISBN 3-486-27295-0
- [Bü2] Büttner, Wolf-Ewald: *Grundlagen der Elektrotechnik 2*; Oldenbourg-Verlag, ISBN 3-486-27296-9
- [Mei] Meister, Heinz: *Elektronische Grundlagen*; Vogel Buchverlag; ISBN 3-8023-1519-7
- [Schü] Schütt, Reiner Johannes: *Elektrotechnische Grundlagen für Wirtschaftsingenieure*; Springer Vieweg
- [Pla] Plaßmann, Wilfried und Schulz, Detlef: *Handbuch Elektrotechnik*; Springer Vieweg

- [Beu] Beuth, Klaus und Beuth, Olaf: *Elementare Elektronik*; Vogel Buchverlag; ISBN 3-8023-1536-7



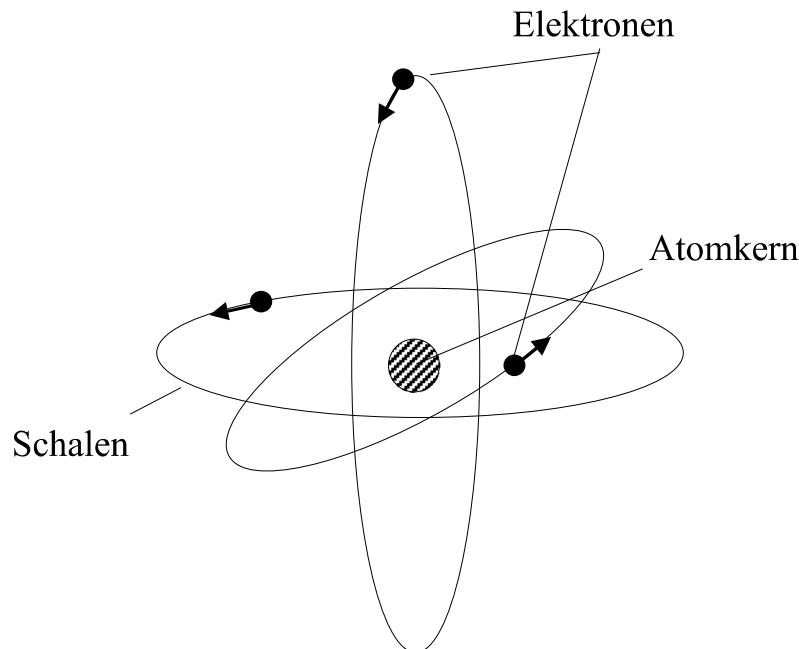
1. Grundbegriffe der Elektrotechnik



- Elektrische Ladung
- Elektrische Stromstärke
- Stromdichte
- Elektrische Spannung
- ...



Atome und Elektronen – Ein einfaches Atommodell



- Atomkern und Elektronen ziehen sich an: es wirken elektrische Kräfte

Valenzelektronen:

- sind die Elektronen der äußeren Schale
- Bestimmen das elektrische und chemische Verhalten des Stoffes



Elektrische Ladung Q

- Ursache für die elektrischen Kräfte sind elektrische Ladungen (und das Feld, das diese Ladung aufbaut)
- ! Es gibt zwei entgegengesetzte Ladungen
- Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab



- Ungleichnamige Ladungen ziehen sich an



Definition:

- Ladung des Atomkerns: positiv
- Ladung der Elektronen: negativ



Elektrische Ladung Q

- Kleinste Ladung:

$$\text{Elementarladung } e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

- Ladung eines Elektrons

$$Q_{\text{Elektron}} = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

- Ladung eines Protons:

$$Q_{\text{Proton}} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$



Eigenschaften: Elektrische Ladung Q

- Formelzeichen Q
- $[Q] = C$ (Coulomb) = A·s
- $Q = \underline{N}^*e$ $N \in \mathbb{N}$; ganzzahlig positiv
- $Q = 1C$ entspricht ungefähr der Ladung von $\underline{\underline{6,25 \cdot 10^{18}}}$ Elementarladungen e

- Die Ladung Q ändert sich nur durch Ladungszufluss oder -abfluss
- Die Ladung ist stetig und springt nicht

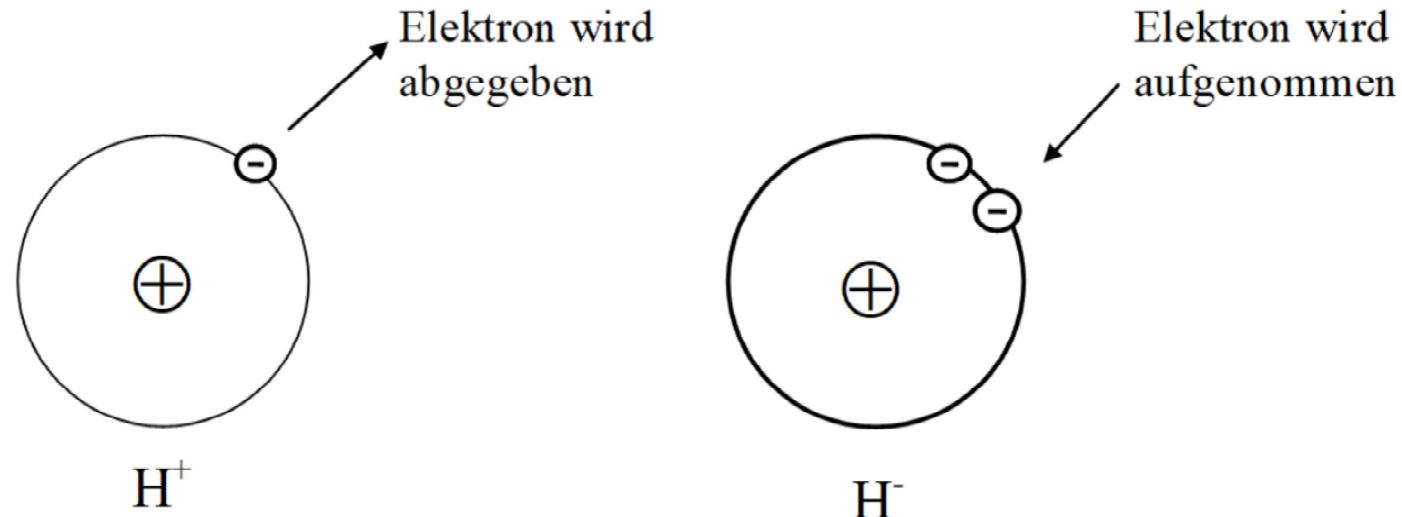




Erinnerung / Begriffe

Ionen:

- positiv oder negativ geladene „Atome“
(sie haben eine bestimmte Ladung Q)
- sie entstehen durch Abgabe oder Aufnahme von Elektronen





Elektrischer Strom

- Elektrischer Strom = gerichtete Bewegung von Ladungen
- In Elektrotechnik meist Bewegung von Elektronen
- Damit elektrischer Strom fließen kann, müssen genügend **frei bewegliche Ladungsträger** vorhanden sein!

= Träger der Ladung → in Elektrotechnik meist Elektronen!



Leitertypen

(nach Dichte der frei beweglichen Ladungsträger)

Leiter

Hohe Dichte
frei beweglicher
Ladungsträger

Ionenleiter:

Elektrolyte

Elektronenleiter:

Metalle

Halbleiter

Leiten nur unter bestimmten Bedingungen Valenzelektronen durch Energiezufuhr (Licht, Wärme, El. Energie...) frei

Bsp: Si, Se, Ge, GaAs

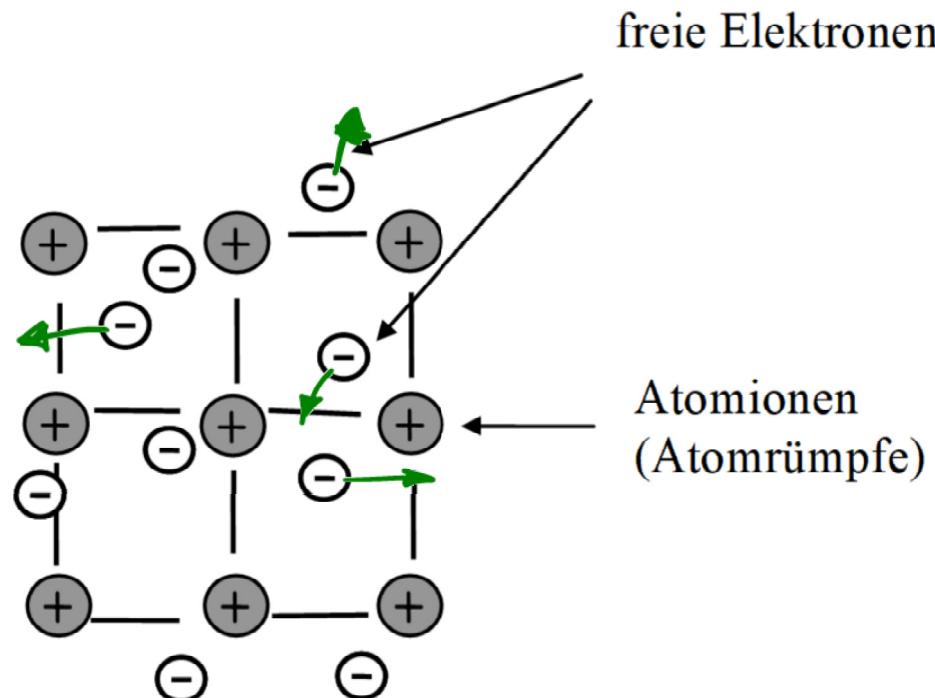
Nichtleiter

Nur wenige frei bewegliche Ladungsträger

Bsp: Kunststoffe, Gummi, Glas, Porzellan, reines Wasser, bestimmte Gase



Metallbindung



Viele freie/frei bewegliche Elektronen ermöglichen

- gute elektrische Leitfähigkeit
- gute Wärmeleitfähigkeit

Wärmeleitfähigkeit wird zudem auch durch die Schwingungen des Metallgitters ermöglicht

Nur durch eine äußere Kraft (Spannung) werden die frei beweglichen Elektronen in eine bestimmte Richtung bewegt
→ elektrischer Strom



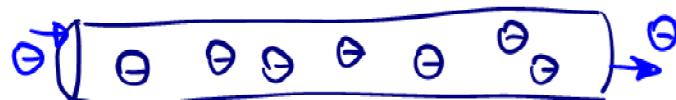
Elektronenleiter (Bemerkungen)

(1) Elektronengeschwindigkeit in Metallen $\approx 3\text{mm/s}$

Aber Ausbreitung des Anstoßimpulses:

Lichtgeschwindigkeit $c \approx 300.000\text{km/s} = 30\text{cm/ns}$

\Rightarrow also 30cm pro ns ($1\text{ns} = 10^{-9}\text{s}$)



1 Gigahertz = 1GHz $\Rightarrow 10^9$ Schwingungen pro Sekunde

Also Ausbreitung der Elektronen

1 GHz: 30cm pro Takt

10 GHz : 3cm pro Takt



Elektronenleiter (Bemerkungen)

(2) Anzahl beweglicher Ladungsträger in 10cm Kupferdraht mit $2,5\text{mm}^2$ Querschnitt

$(\rho_{Cu} = 8,96 \text{ g/cm}^3, M_{Cu} = 64 \text{ g/mol}, N_A = 6,022 \cdot 10^{22} \text{ 1/mol}$
Kupfer kann 1 Valenzelektron abgeben)



$$V = 2,5\text{mm}^2 \cdot 10\text{cm} = 0,025\text{cm}^2 \cdot 10\text{cm} = 0,25\text{cm}^3$$

② $\boxed{\frac{64\text{g}}{\text{Cu}}} \hat{=} 6,02 \cdot 10^{22} \text{ Cu-Atome bzw. freie Elektronen}$

$$\text{③ } m_{Cu} = \rho_{Cu} \cdot V = 8,96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 0,25 \text{cm}^3 = 2,24\text{g}$$

Also in 10cm Kupferdrahd d.Q $2,5\text{mm}^2$ sind $\cancel{\times 2 \cdot 10^{21}}$ freie Elektronen.

④

$$\frac{N_{Cu}}{2,24\text{g}} = \frac{6,02 \cdot 10^{22}}{64\text{g}}$$

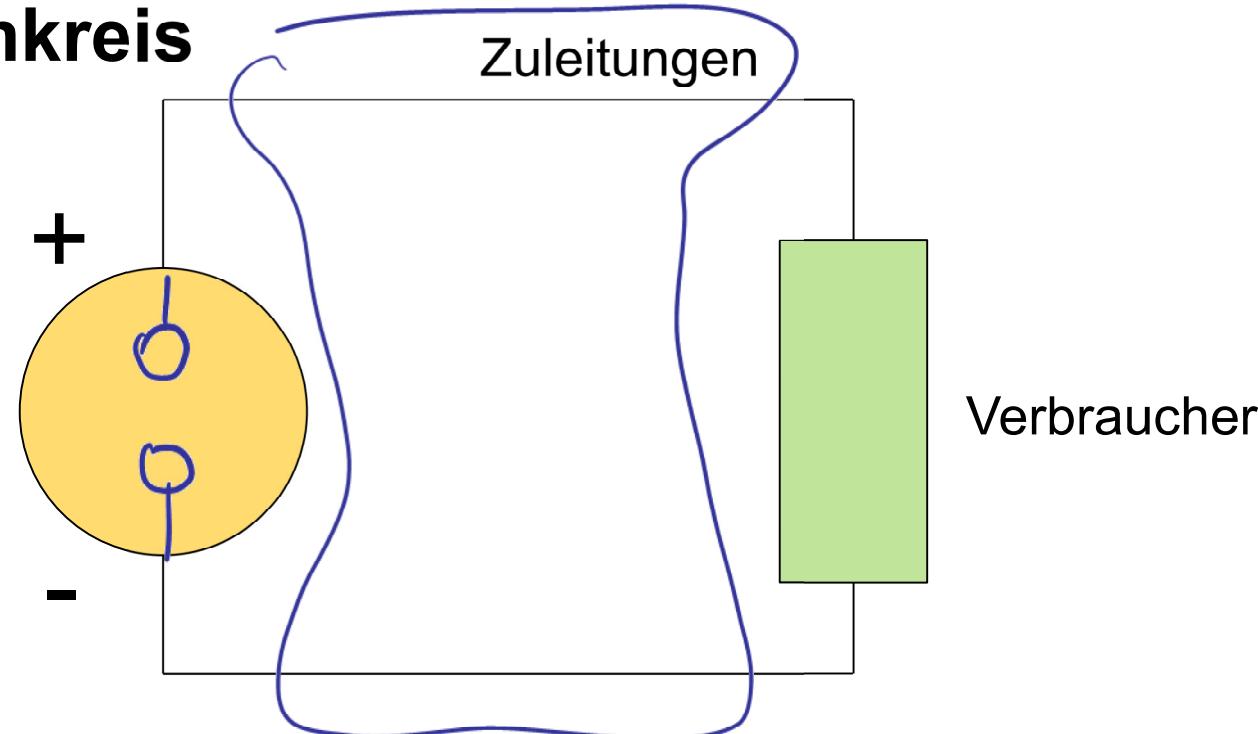
$$N_{Cu} = \frac{6,02 \cdot 10^{22} \cdot 2,24}{64\text{g}}$$

$N_{Cu} = 2,1 \cdot 10^{21}$



Der Stromkreis

Spannungs-
Erzeuger/
Spannungs-
quelle
/ Batterie

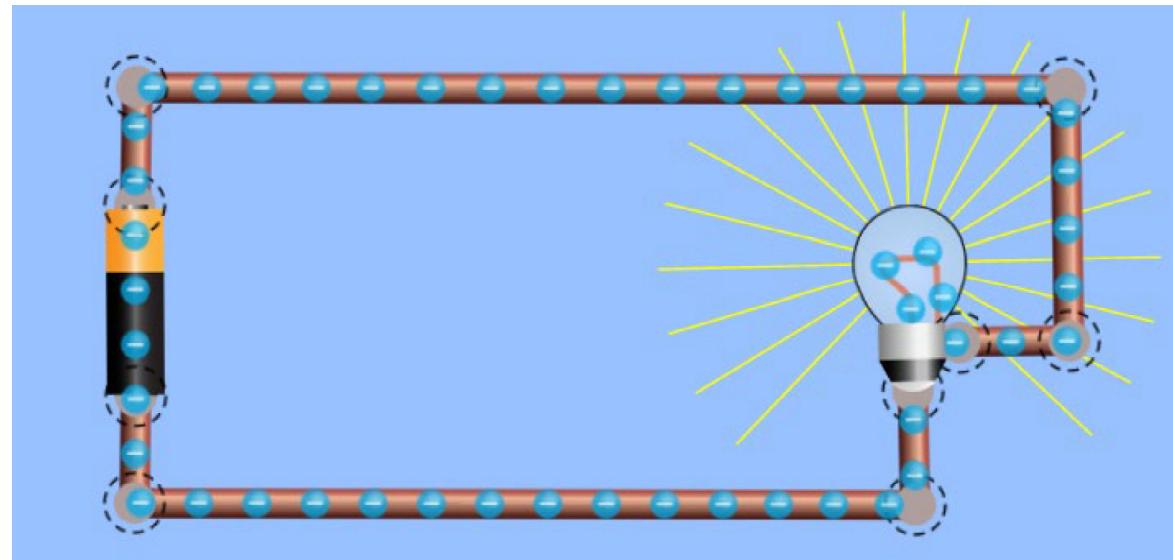


Damit ein Stromfluss zustande kommt, sind folgende Bedingungen notwendig:

- Es muss eine Kraft geben, die die gerichtete Bewegung der **freien Ladungsträger** verursacht.
- Der Stromfluss kommt nur bei einem **geschlossenen Stromkreis** zustande.



<https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/einfache-stromkreise/downloads/stromkreise-simulation>





Stromkreis – Technische Stromrichtung/ Physikalische Stromrichtung

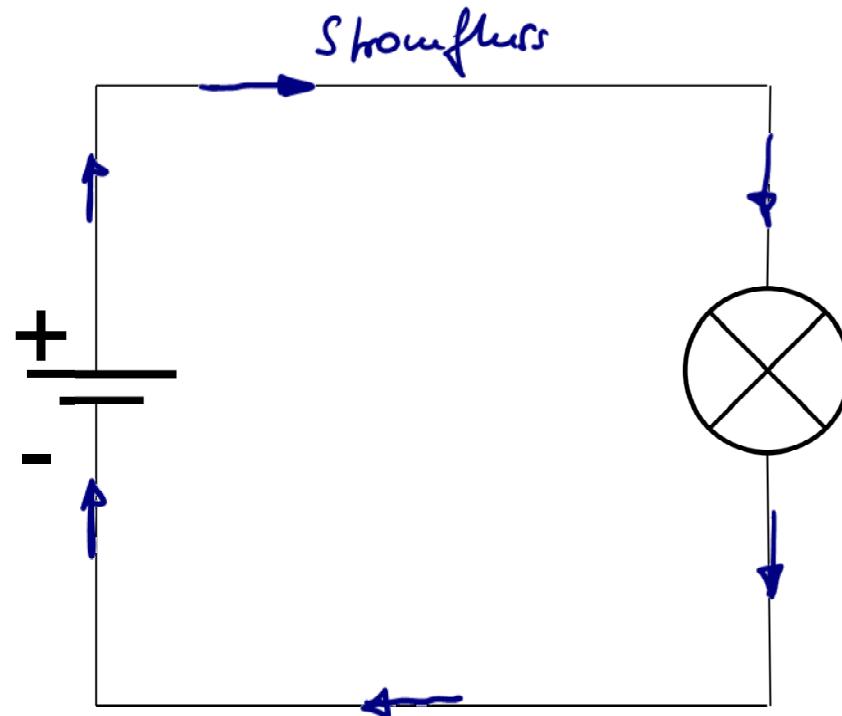
Warum diese Verwirrung?

- Die Stromflussrichtung wurde definiert, bevor die physikalische Ursache des Stromflusses bekannt war (nur Effekte bekannt).
- André-Marie Ampère legte die Stromrichtung willkürlich von fest (von Plus zu Minus)
→ Dies wird als Technische Stromflussrichtung bezeichnet
- Erst später stellte man fest, dass der Stromfluss eine Bewegung von Elektronen in die entgegengesetzte Richtung ist.

Trotzdem wird weiterhin zur Analyse elektrischer Schaltungen die **technische Stromrichtung** verwendet!



Stromkreis – Technische Stromrichtung



Willkürliche Festlegung!
Deshalb merken und beachten!

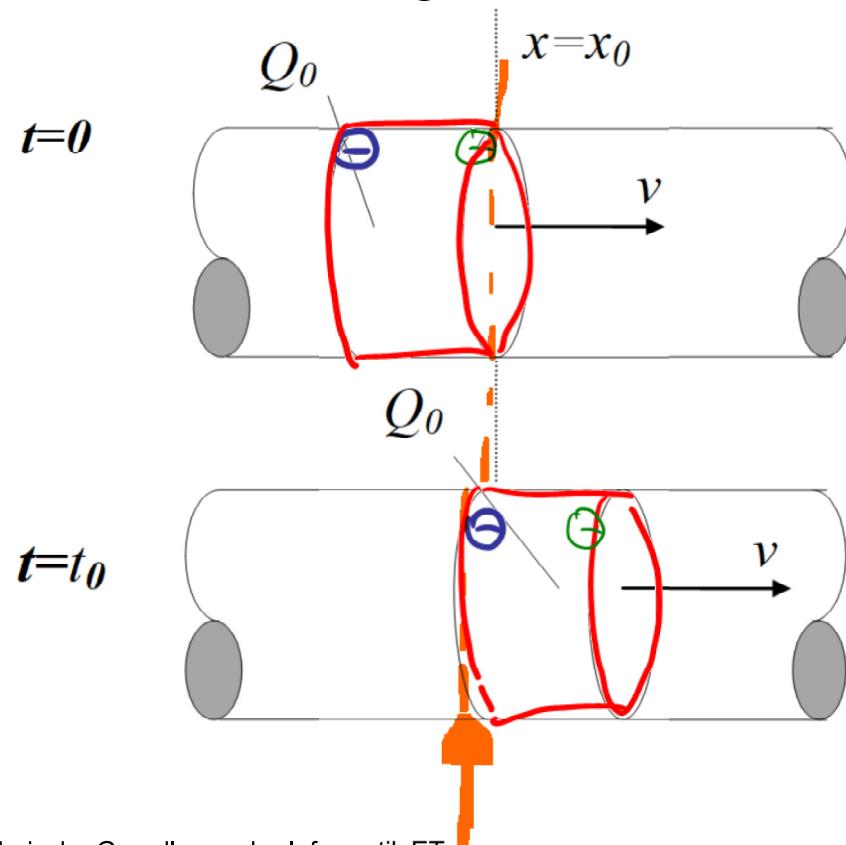
Merke:
Die Elektronenstromrichtung
und die technische Stromrichtung
sind entgegengesetzt!

Falls nichts anderes angegeben ist ,
ist i.d.R. die technische Stromrichtung
gemeint!



Elektrische Stromstärke I

- Annahme: Die Elektronen bewegen sich mit konstanter Geschwindigkeit v durch den Leiter



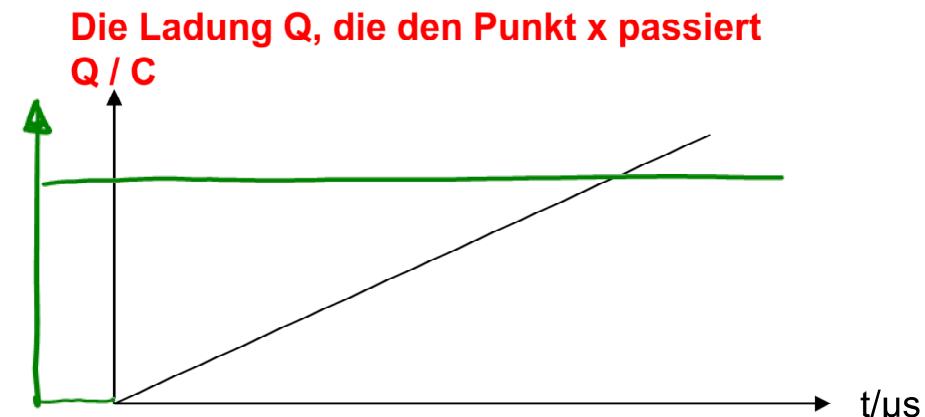


Elektrische Stromstärke I

Annahme: Die Elektronen bewegen sich mit konstanter Geschwindigkeit v durch den Leiter

- In der Zeit Δt wird dann eine bestimmte Ladung ΔQ verschoben
- Es fließt ein konstanter Strom mit der konstanten Stromstärke

$$I(t) = I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$





Elektrische Stromstärke I

$q(t)$: Funktion des Ladung
in Abhängigkeit der Zeit

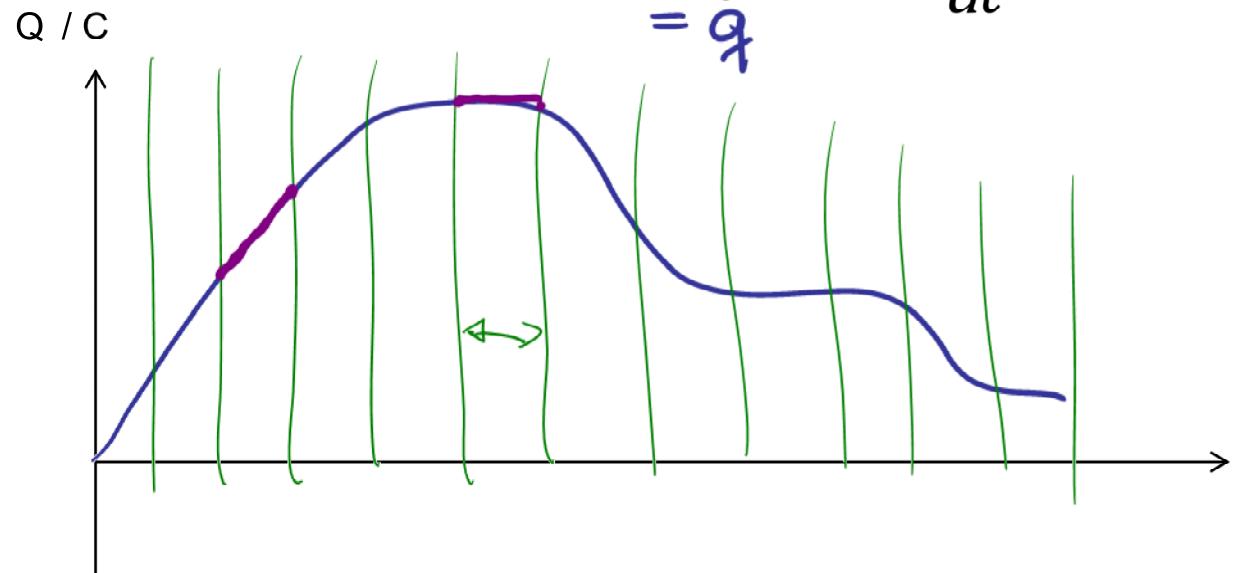
Allgemeiner Fall:

kein konstanter Stromfluss / kein konstanter Ladungstransport

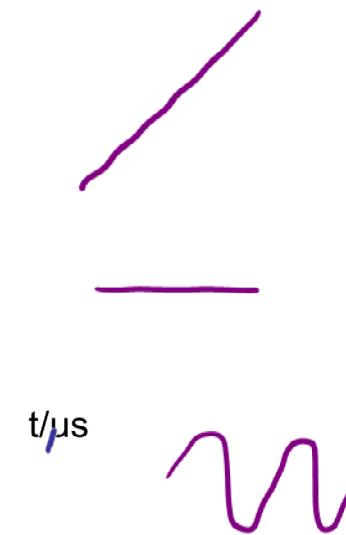
➤ $\Delta t \rightarrow dt$

$$I(t) = \dot{q}(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

$= q'$
 $= \dot{q}$



1. Ableitung $\hat{=}$
Anstieg der Funktion $q(t)$



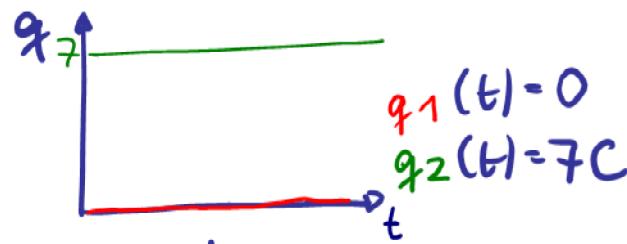
* Die Ladung Q , die den Pkt x_0 passiert

Einschub $\frac{dq}{dt}$ $q'(t)$; $\dot{q}(t)$; $\frac{dg(t)}{dt}$

1. Ableitung und Anstieg



① $q(t) = \text{konstant}$

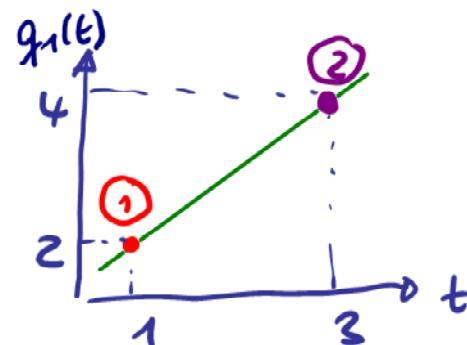


$$I(t) = \frac{dq(t)}{dt} = 0$$

Merke: Die erste Ableitung einer Konstanten ist immer Null.

② $q(t)$ ist eine Gerade $\hat{=}$ lineare Funktion

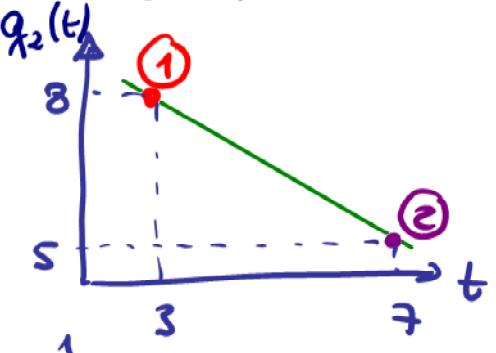
$$q(t) = m \cdot t + b$$



$$m_1 = \frac{4 - 2}{3 - 1} = 1$$

$$I_1 = \frac{dq_1}{dt} = 1 \text{ A}$$

$$m = \frac{q_2 - q_1}{t_2 - t_1}$$



$$m_2 = \frac{5 - 8}{7 - 3} = -\frac{3}{4}$$

$$I_2 = \frac{dq_2}{dt} = -\frac{3}{4} \text{ A}$$

Merke: die erste Ableitung einer linearen Funktion ist ihr Anstieg.



Elektrische Stromstärke I

Allgemeiner Fall:

kein konstanter Stromfluss / kein konstanter Ladungstransport

➤ $\Delta t \rightarrow dt$

$$I(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

1. Ableitung \triangleq
Anstieg der Funktion $q(t)$

- Die Ladungsmenge Q_0 , die in der Zeit t_1 bis t_2 die Ort x_0 passiert, errechnet sich damit zu:

nur zur Information →

$$Q_0 = \int_{t_1}^{t_2} I(t)dt$$



Elektrische Stromstärke

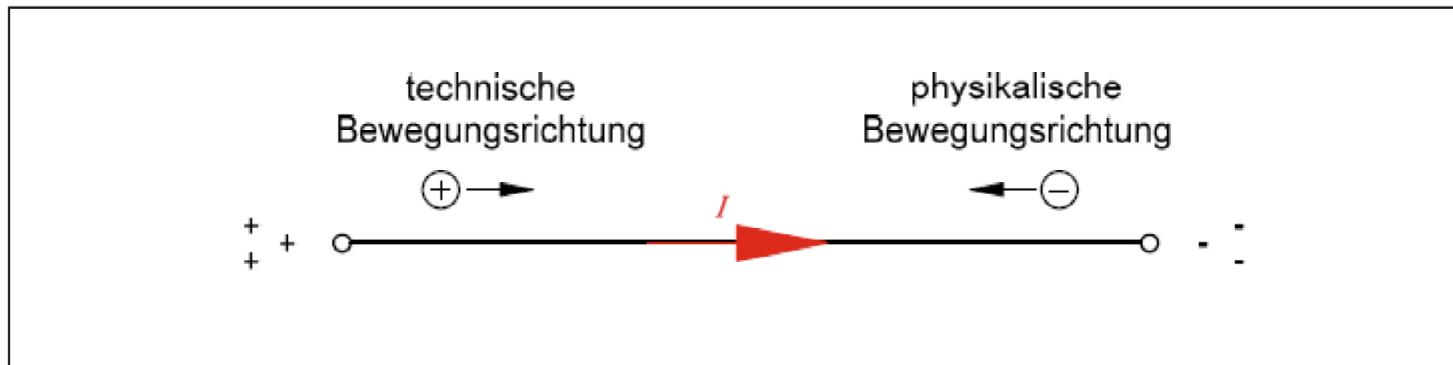
- Formelzeichen: I $= \frac{1 \text{ As}}{1 \text{ s}}$
- Einheit: $[I] = \frac{[Q]}{[t]} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ A}$ A - Ampere
- **GLEICHSTROM** (zeitlich konst. Verschiebung der Ladung)

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{Q_0}{t_0}$$

- Beliebige Stromverläufe $i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$
- I hat eine Richtung!
- Im unverzweigten Stromkreis ist I konstant



Elektrische Stromstärke (Strom)



Größenordnung typ. Ströme

Beispiel	Größenordnung
Blitzstrom	einige kA
PKW-Startermotoren	einige $10A$
Bemerkbarer Strom durch einen Menschen	einige mA
LCD-Quarzuhr	einige μA



Gemeinsame Übung (ähnlich Aufgabe 1)

In 1 h wird eine Ladung von 360C über eine Leitung transportiert.

- Wie groß ist die Stromstärke, wenn von einem gleichmäßigen Ladungstransport ausgegangen werden kann?
- Wie viele Elektronen wurden in der Zeit insgesamt bewegt?

$$a) I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{360 \text{ As}}{1 \text{ h}} = \frac{360 \text{ As}}{3600 \text{ s}} = \underline{\underline{0,1 \text{ A}}}$$

$$b) 1 \text{ Elektron} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad \text{Anzahl Elektronen } n = \frac{360 \text{ C}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}}$$

Ende 24.10.23

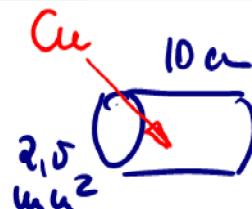
$$\underline{\underline{n = 2,24 \cdot 10^{21}}}$$

31.10.23

Wiederholung / Zusammenfassung

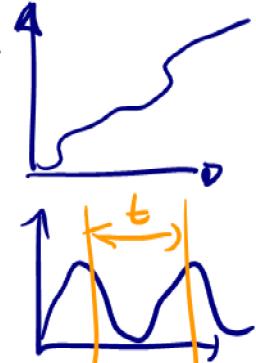
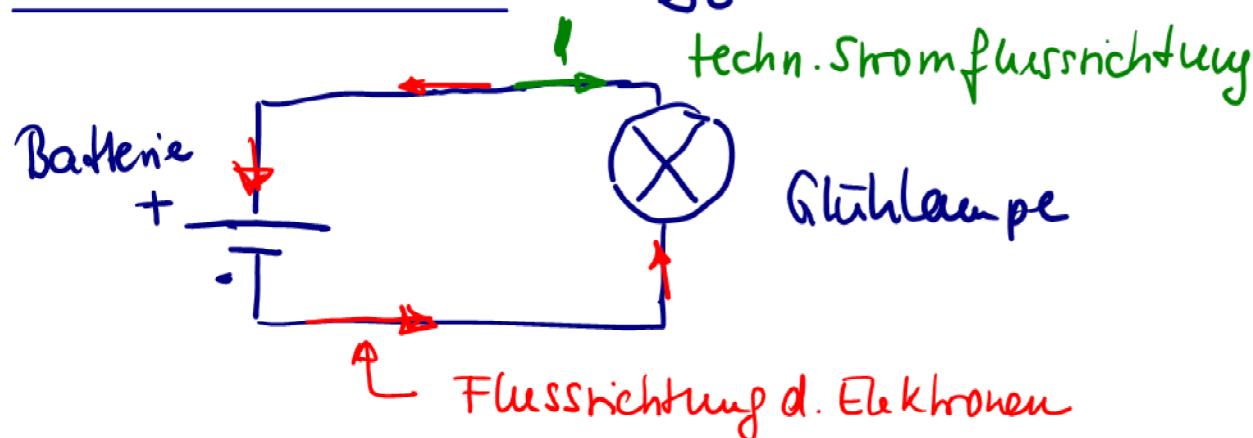
Ladung Q $[Q] = C = As$

Ladung eines Elektrons:
 $e = 1,602 \cdot 10^{-19} C$



$2 \cdot 10^{21}$ Atome / freie Elektronen

el. Stromstärke $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ $[I] = A$ $i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$





Aufgabe 1:

Über eine Leitung wurde in 10 h eine Ladung von 500 C transportiert. Wie groß war die mittlere Stromstärke? Wie viele Elektronen wurden insgesamt bewegt?

Hinweis: Elementarladung $e = 1,602 \cdot 10^{-19} C$

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{500 C}{10} = \frac{500 A \cancel{s}}{36000 \cancel{s}} = \underline{\underline{13,9 \cdot 10^{-3} A}} = \underline{\underline{13,9 \mu A}} = \underline{\underline{0,0139 A}} \\ = \underline{\underline{0,014 A}}$$

[I] = A

[Q] = As = C

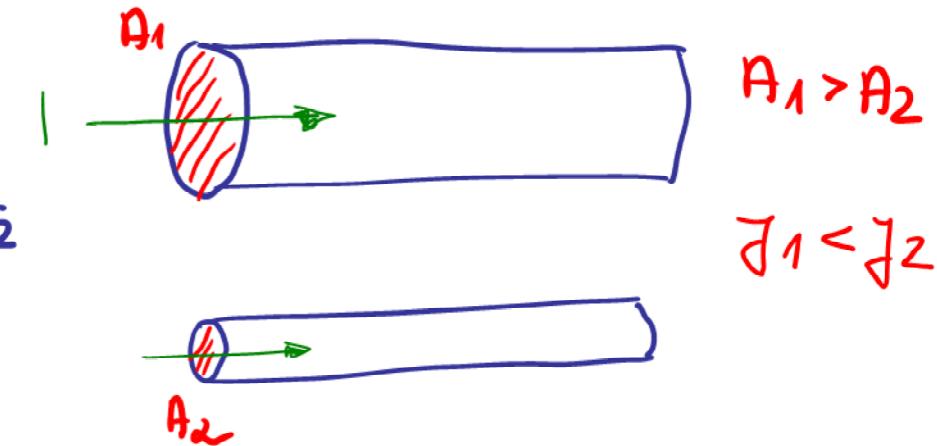
Wenige Elektronen: $\frac{500 C}{e} = 3,1207 \cdot 10^{21}$ Elektronen

[e] = C



Stromdichte J

- Stromstärke pro durchströmter Flächeneinheit
- Formelzeichen: J
- Einheit: $[J] = \frac{A}{mm^2} = \frac{A}{m^2}$
- $J = \frac{I}{A}$
- Wichtigste Belastungsgröße für elektrische Leiter.





Durch einen Kupfer-Leiter mit dem Querschnitt $1,5\text{mm}^2$ fließt ein Strom von $I=12\text{A}$. (ähnlich Aufgabe 3)

- a) Bestimmen Sie die Stromdichte im Leiter.

$$J = \frac{I}{A} = \frac{12\text{A}}{1,5\text{mm}^2} = 8 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

- b) Welchen Querschnitt müsste der Leiter haben, um eine zulässige Stromdichte von $J = 7,5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$ nicht zu überschreiten? Welchen Durchmesser hat dann der Kupferdraht?

... nächste Seite

- b) Welchen Querschnitt müsste der Leiter haben, um eine zulässige Stromdichte von $J = 7,5 \text{ A/mm}^2$ nicht zu überschreiten? Welchen Durchmesser hat dann der Kupferdraht?

Fläche eines Kreises:

$$A = \pi r^2$$

$$J \leq 7,5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \rightarrow \frac{1}{A} \leq 7,5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{1}{7,5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}} \leq A$$

$$\frac{12 \cancel{A}}{7,5 \cancel{A}} \leq A$$

$$A \geq 1,6 \text{ mm}^2$$

$$\pi r^2 \geq 1,6 \text{ mm}^2$$

$$r^2 \geq \frac{1,6 \text{ mm}^2}{\pi}$$

$$r \geq \sqrt{\frac{1,6 \text{ mm}^2}{\pi}} \rightarrow r \geq 0,71 \text{ mm} \rightarrow d \geq 1,42 \text{ mm}$$



Stromdichte J

Zu große Stromdichten führen zu unzulässig hoher Erwärmung von Leiter und Isolationsmaterial und u.U. zur Zerstörung.

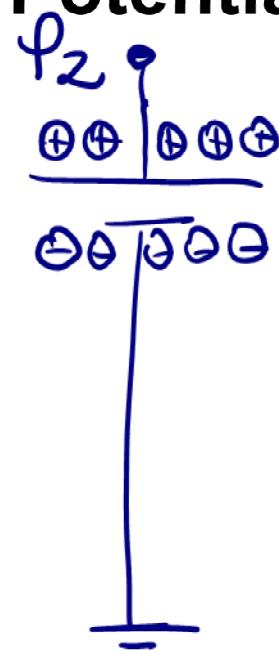
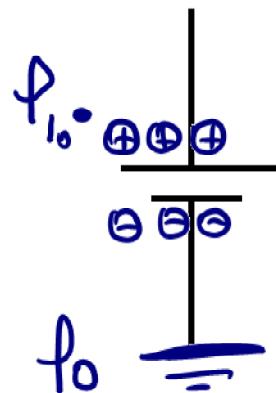
- Mehradrige Kupferleitungen müssen folgendermaßen geschützt sein
(nach VDE 0100 Teil 430.6.81):
10 A bei Leiterquerschnitt $1,5 \text{ mm}^2$,
20 A bei $2,5 \text{ mm}^2$.



Aufgabe 2 und 3 – Hausaufgabe



Elektrisches Potential φ / Elektrische Spannung U



$$\begin{aligned} \varphi_4 & \xrightarrow{\quad} U_4 = \varphi_4 - \varphi_3 \\ \varphi_3 & \xrightarrow{\quad} U_3 = \varphi_3 - \varphi_0 \\ \varphi_0 & \end{aligned}$$

(φ_1 , φ_2 , φ_3 , φ_4)

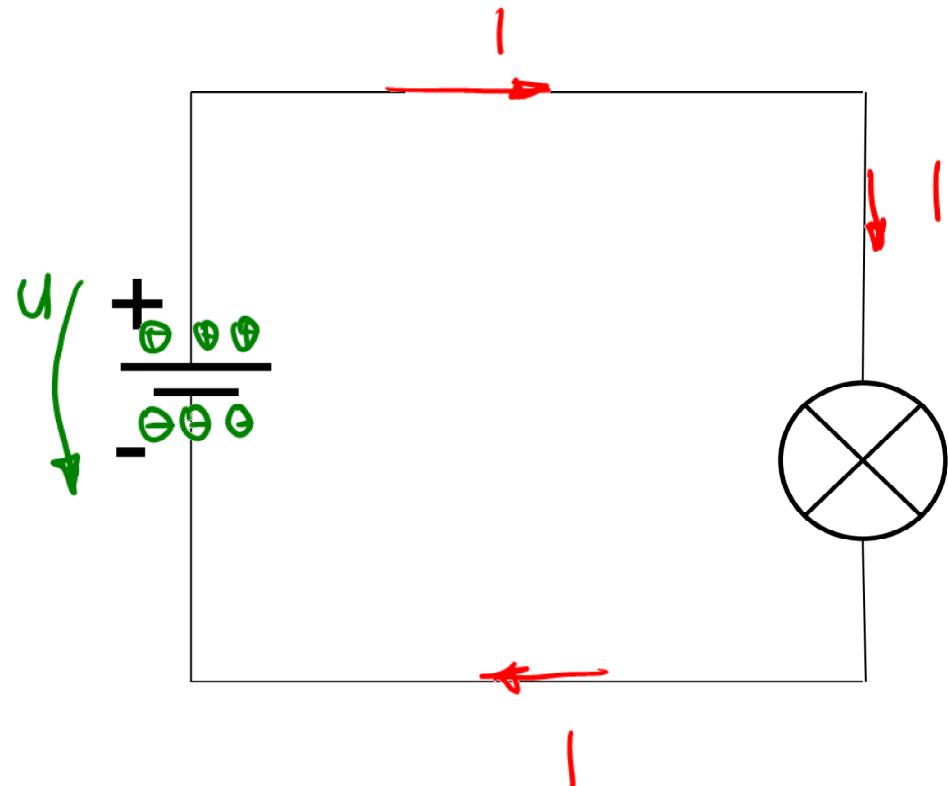
Es gilt z.B.: $\varphi_{10} = \frac{W_{10}}{Q}$

$$U_{21} = \varphi_{20} - \varphi_{10} = \frac{W_{21}}{Q}$$

Spannung = Potentialdifferenz



Elektrisches Potential φ / Elektrische Spannung U





Elektrische Spannung U

- zwischen 2 Punkten ist gleich der Differenz ihrer Potentiale
- ist die Ursache für den elektrischen Strom
- Entspricht einem Unterschied in Elektronenkonzentration („elektrische Druck“)
- $U = \frac{W}{Q}$ Die Spannung gibt an, wieviel Arbeit pro Ladung Q für die Trennung aufgebracht wurde bzw. wieviel Arbeit pro Ladung geleistet wird



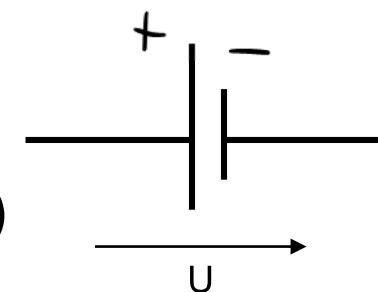
Elektrische Spannung U

- Formelzeichen: U
- Einheit:

$$[U] = \frac{[W]}{[Q]} = 1 \frac{J}{C} = 1 \frac{W * s}{A * s} = 1 \frac{N * m}{A * s} = 1 \frac{kg * m^2}{A * s^3}$$

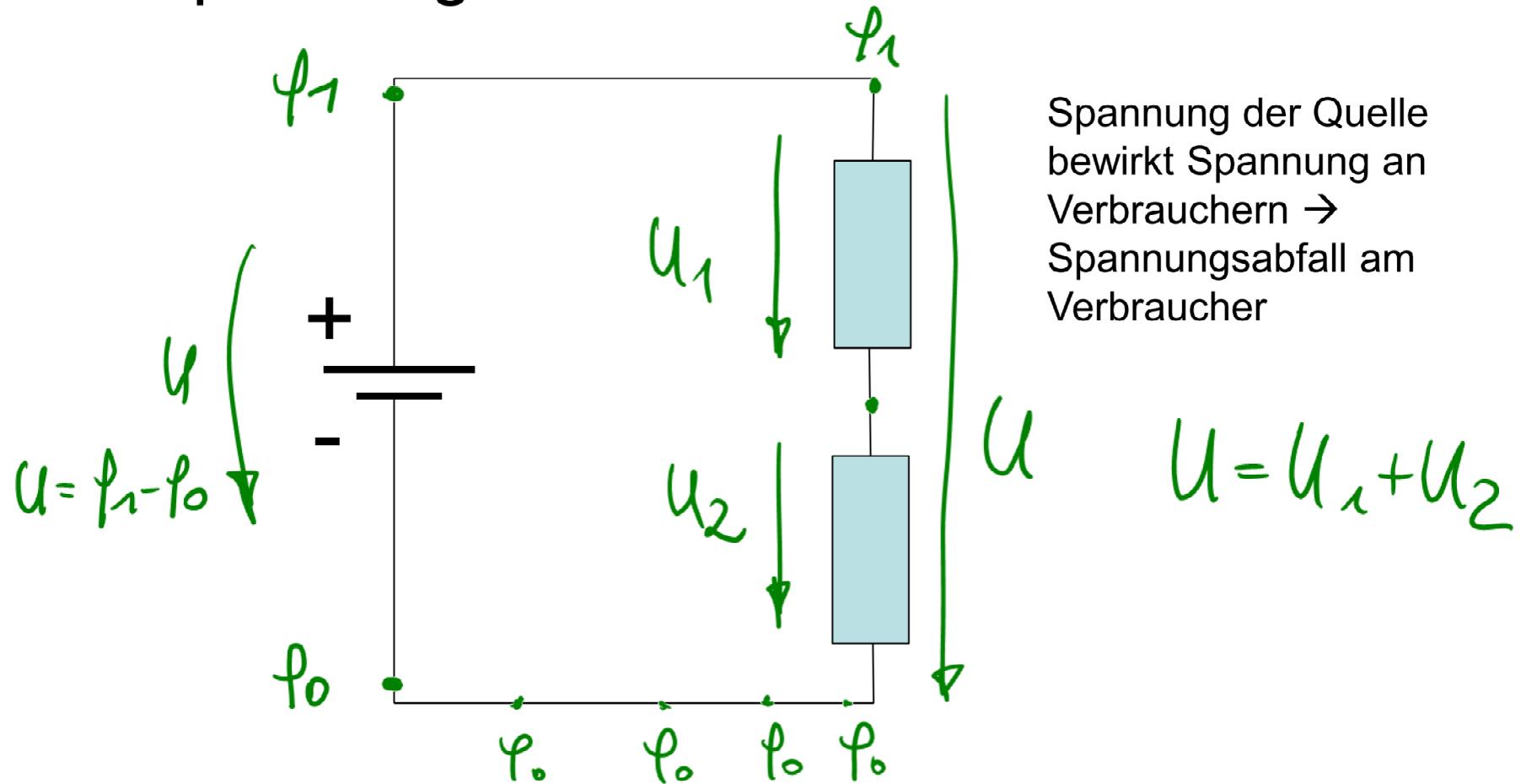
$$[U] = 1V$$

- U hat eine Richtung (+ → -)
(vom größeren zum kleineren Potential)





- Spannungen im Stromkreis





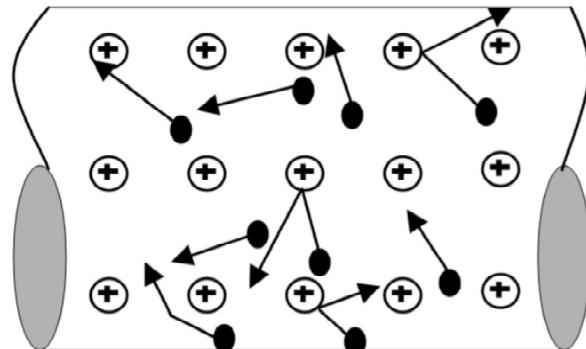
Größenordnungen typischer Spannungen (aus (2))

Beispiel	Größenordnung	Hinweis
Eingangsspannung Empfangsantenne	einige $10 \mu V$	Hochfrequenzspannung
Monokristalline Solarzelle	$0,5 V =$	Gleichspannung
Autobatterie	$12 V =$	Gleichspannung
Typische zulässige Berührungsspannung	$50 V \sim$	Wechselspannung
Netzspannung (Haushalt)	$1 x 230 V \sim$	Einphasige Wechselspannung
Niederspannung	$3 x 400 V \sim$	Dreiphasige Wechselspannung
Mittelspannung	$3 x 20 kV \sim$	Dreiphasige Wechselspannung
Hochspannung	$3 x 110 kV \sim$	Dreiphasige Wechselspannung
Höchstspannung	$3 x 380 kV \sim$	Dreiphasige Wechselspannung
Elektrostatische Aufladung bei einem Gewitter	bis zu einigen $100 MV$	Gleichspannung



Elektrischer Widerstand

- Ladungsträger können Leiter nicht ungehindert durchströmen



Elektronenbewegung
im Metall

- ist ein Maß dafür, wie stark die Bewegung der Ladungsträger gehemmt wird
- Ist abhängig von Materialeigenschaften und Geometrie des Leiters

https://www.schule-bw.de/faecher-und-schularten/mathematisch-naturwissenschaftliche-faecher/physik/unterrichtsmaterialien/e_lehre_1/ohm/spezwider.htm



Elektrischer Widerstand R

- Bestimmung aus Geometrie- und Materialeigenschaften
(für einen Metalldraht)

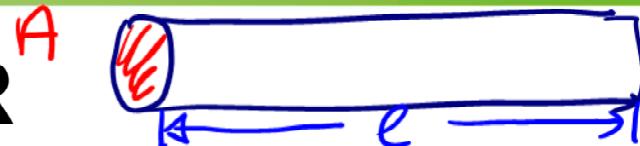
$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

ρ → spezifischer Widerstand
 l → Länge des Drahtes
 A → Querschnittsfläche
 κ → spezifischer Leitwert
 ρ → spezifischer Widerstand

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

κ ↑ κappa

l – Länge des Drahtes
 A – Querschnittsfläche
 κ - spezifischer Leitwert
 ρ – spezifischer Widerstand
 $(\kappa, \rho$ - Materialkonstanten)

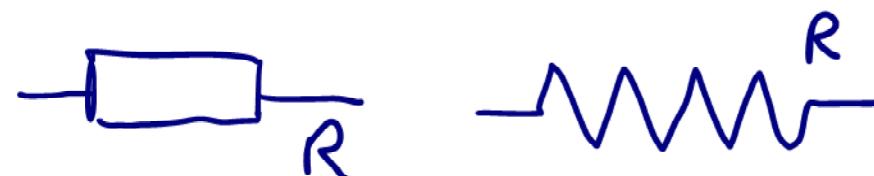
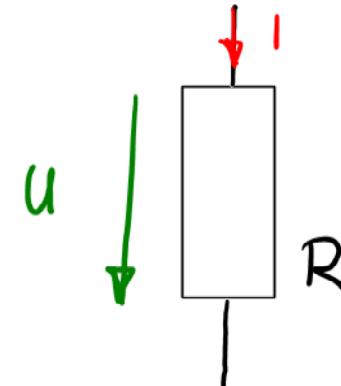


	spezifischer Widerstand ρ $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ $= \mu\Omega \cdot \text{m}$ <i>für 20°C</i>	Leitfähigkeit κ $\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$ $= 1/\Omega \cdot \text{m}$ 1MS/m
Silber	0,016	62
Kupfer	0,018	56
Gold	0,022	44
Aluminium	0,028	36
Zink	0,06	16,7
Messing	0,07	14,3
Eisen	0,1	10
Platin	0,106	9,4
Zinn	0,11	9,1
Blei	0,208	4,8
Kohle	66,667	0,015



Elektrischer Widerstand

- Formelzeichen: R
- $[R] = 1\Omega$ (1 Ohm) = $1V / 1A$
- Elektrische Definition:
Der elektrische Widerstand R beträgt 1Ω , wenn bei einer Spannung von $1V$ genau $1A$ durch den Leiter fließt.
- Schaltsymbol des elektrischen Widerstandes:

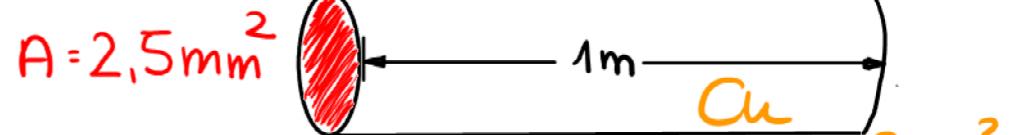


$R \geq 0\Omega$!!! Der Widerstand ist NIE negativ!

2. Stromkreisgesetze



Beispielrechnung



① Wie groß ist der Widerstand des Drahtes? $R_{\text{Cu}} = 0,018 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} = 0,018 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{1\text{m}}{2,5 \text{mm}^2} = 0,018 \cdot \frac{1}{2,5} \Omega = 7,2 \cdot 10^{-3} \Omega = 7,2 \mu\Omega$$

② Wie groß ist der Widerstand des Drahtes bei doppelter Länge?

$$R_2 = 2 \cdot R_1 = 14,4 \mu\Omega$$

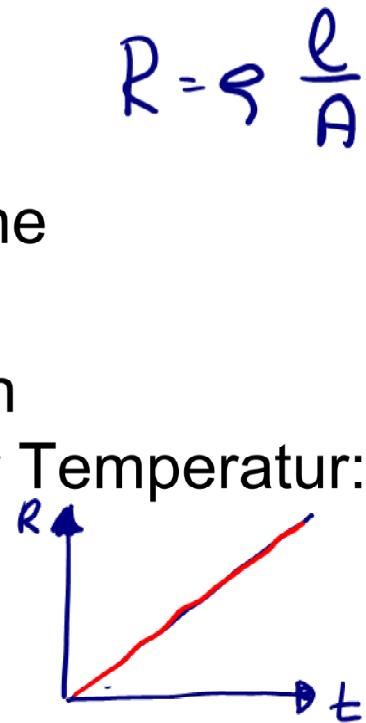
③ Wie groß ist der Widerstand des Drahtes bei doppeltem Querschnitt?

$$R_3 = \frac{1}{2} R_1 = 3,6 \mu\Omega$$



Temperaturabhängigkeit des Elektrischen Widerstands

- Der elektrische Widerstand eines Materials ist temperaturabhängig!
- Der spezifischer Widerstand ρ wird daher für eine Normtemperatur angegeben. 20°C
- Angabe der relativen Änderung des elektrischen Widerstandes eines Materials bei Änderung der Temperatur:
linearer Widerstands-Temperaturkoeffizient α
- α ist materialabhängig, z.B.
- $\alpha_{cu} \sim 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$
- $\alpha_{Konstantan} \sim 0,01 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$
- $\alpha_{Si} \sim -75 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$



$$R_{20} = \rho_{20} \frac{l}{A}$$

Widerstand bei 20°
da ρ_{20}



Temperaturabhängigkeit des Elektrischen Widerstands

- Für metallische Leiter gilt näherungsweise:

$$R_{20} = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

$$R(T) = R_{20}(1 + \alpha \cdot (T - 20 \text{ °C}))$$

oder

$$R(T) = R_{20}(1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

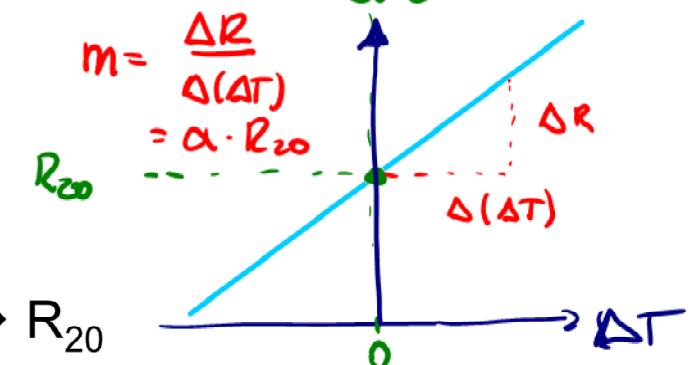
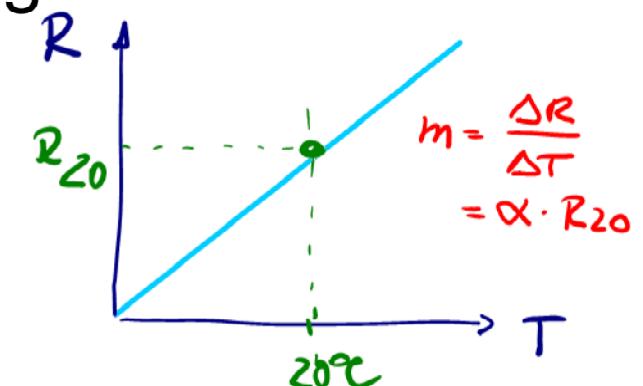
(ΔT – Temperaturänderung zu 20 °C)

$$= R_{20} + \underbrace{\alpha \cdot R_{20}}_m \Delta T$$

Erhöhung

Vorgehen:

- Bestimmen des Widerstand bei $T=20^\circ \text{ C} \rightarrow R_{20}$
- Berechne auf Basis dieses Widerstandes R_{20} den Widerstand bei der gegebenen Temperatur $R(T)$





Temperaturabhängigkeit des Elektrischen Widerstands

- Kaltleiter (PTC): $\alpha > 0$
 - Leiten im kalten Zustand besser
 - Widerstand steigt mit steigender Temperatur
 - z.B.: alle Metalle, verschiedene Verbindungshalbleiter
 - Platin - Resistorstände (PT...), *selbstrückstellende Sicherung*
 - Heißleiter (NTC): $\alpha < 0$
 - Leiten im heißen Zustand besser
 - Widerstand sinkt mit steigender Temperatur
 - z.B. reine Halbleiter, verschiedene Verbindungshalbleiter, verschiedene metallische Legierungen, *Metalloxide von Mangan, Nickel, Kobalt, Eisen, Kupfer*
 - *Temperatursensoren, Einschaltstrom-Begrenzer, T.I.a.u*
- z.B. Hartortsteuerer-
fühler in Kfz*
- ↑ Ende 30.10.2023 Temperaturkompensation



Elektrischer Leitwert

- Umkehrwert des Widerstandes R
- Gibt an, wie gut die Ladungsträger das Material „durchqueren“ können
- Formelzeichen: G
- $G = \frac{1}{R}$
- Einheit: $[G] = 1S = \frac{1}{1\Omega} = 1 \frac{A}{V}$ S – Siemens

Aufgabe 4:

Ein Kupferdraht der Länge $l=3\text{m}$ hat eine Querschnittsfläche von $A=2,5\text{ mm}^2$. Bei 20°C beträgt der spezifische Widerstand des Kupfers $\rho_{\text{Cu}}=1,8 \cdot 10^{-2} \Omega \text{mm}^2/\text{m}$. Der Temperaturkoeffizient von Kupfer hat einen Wert von $\alpha_{\text{Cu}}=4,0 \cdot 10^{-3} 1/\text{C}$.



- a) Wie groß ist der Widerstand des Drahtes bei 20°C ?

Es fließt nun ein Strom I von 500 mA durch den Kupferdraht. Man kann beobachten, dass sich die Temperatur des Kupferdrahtes als Folge des Stroms ändert.

- b) Warum ändert sich die Temperatur des Kupferdrahtes (kurze physikalische Erklärung)? Erniedrigt oder erhöht sich die Temperatur?

Die Temperatur hat sich durch den Strom um 10°C geändert.

- c) Wie groß ist jetzt der Widerstand?

$$a) R_{20} = \rho \frac{l}{A} = 1,8 \cdot 10^{-2} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{3\text{m}}{2,5 \text{mm}^2} = 2,16 \cdot 10^2 \Omega = 21,6 \cdot 10^{-3} \Omega \\ = \underline{\underline{21,6 \text{m}\Omega}} = 0,0216 \Omega$$

$$c) R(30^\circ\text{C}) = R_{20} (1 + \alpha \Delta T) \\ = R_{20} (1 + \alpha (30^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})) = 2,16 \cdot 10^2 \Omega (1 + 4 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{C}} \cdot 10^\circ\text{C}) \\ = \underline{\underline{22,46 \text{m}\Omega}}$$

Grundbegriffe der

4 Ringe

Farbe	1. Ring	2. Ring	3. Ring	Multiplikator	Toleranz
Schwarz	0	0	0	$\times 1 \Omega$	
Braun	1	1	1	$\times 10 \Omega$	$\pm 1\%$
Rot	2	2	2	$\times 100 \Omega$	$\pm 2\%$
Orange	3	3	3	$\times 1.000 \Omega (1 k\Omega)$	
Gelb	4	4	4	$\times 10.000 \Omega (10 k\Omega)$	
Grün	5	5	5	$\times 100.000 \Omega (100 k\Omega)$	$\pm 0,5\%$
Blau	6	6	6	$\times 1.000.000 \Omega (1 M\Omega)$	$\pm 0,25\%$
Lila	7	7	7	$\times 10.000.000 \Omega (10 M\Omega)$	$\pm 0,1\%$
Grau	8	8	8		$\pm 0,05\%$
Weiß	9	9	9		
Gold				$\times 0,1 \Omega$	$\pm 5\%$
Silber				$\times 0,01 \Omega$	$\pm 10\%$

5 Ringe

1.000 Ω
 $\pm 5\%$

2. rrs 0 b
220 · 1k Ω $\pm 1\%$

220 k Ω $\pm 1\%$

2.700 Ω
 $\pm 1\%$