

Elektrizitätslehre 2.



Energieumwandlung (Arbeit) im elektrischen Feld

Bewegung einer Ladung gegen die Feldstärke:

Bewegen einer Ladung
im elektrischen Feld

$W = F_{\text{Hub}} s$ $\vec{F}_{\text{Hub}} = -\vec{F}_q$

$W = qEs$

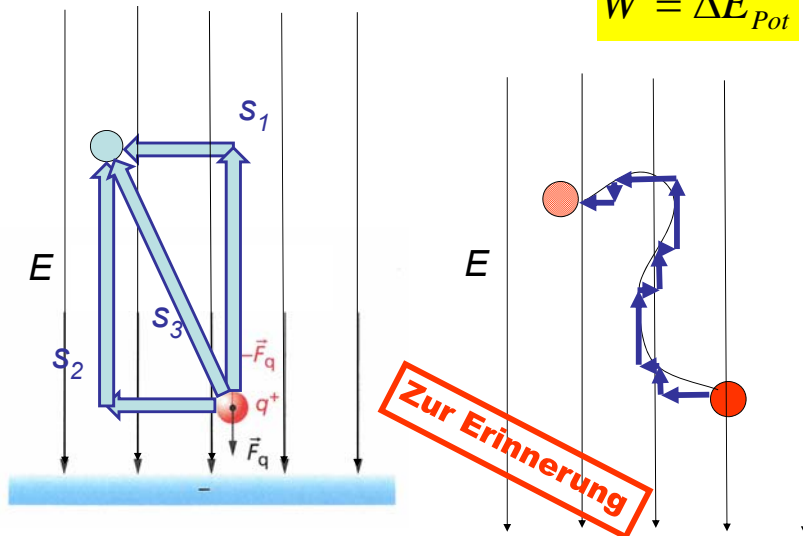
Heben eines Körpers
im Gravitationsfeld

$F_{\text{Hub}} = Eq$

Zur Erinnerung

W ist unabhängig vom Weg!

$W = \Delta E_{\text{Pot}}$



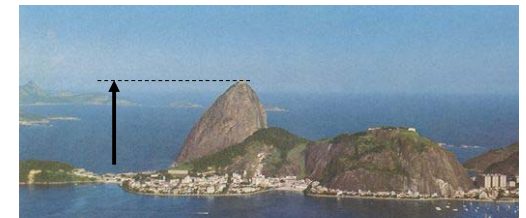
Elektrisches Potential

Man braucht $W_{0 \rightarrow i}$ Energie um eine q Probeladung aus einem P_0 Bezugspunkt zum Punkt P_i zu bringen.

$\frac{W_{0 \rightarrow i}}{q}$ ist unabhängig von der Probeladung und vom Weg!

Elektrisches Potential:
Einheit: Volt [V]

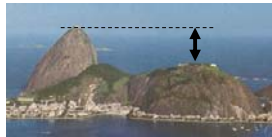
$$\varphi_i = \frac{W_{0 \rightarrow i}}{q} \quad 1\text{V} = \frac{1\text{J}}{1\text{C}}$$



Spannung

Elektrische Spannung zwischen zwei Punkten P_1 P_2
(Spannung des Punktes P_2 gegenüber P_1)

$$U_{21} = \frac{W_{1 \rightarrow 2}}{q} \quad \text{Einheit: Volt [V]}$$



Bemerkungen:

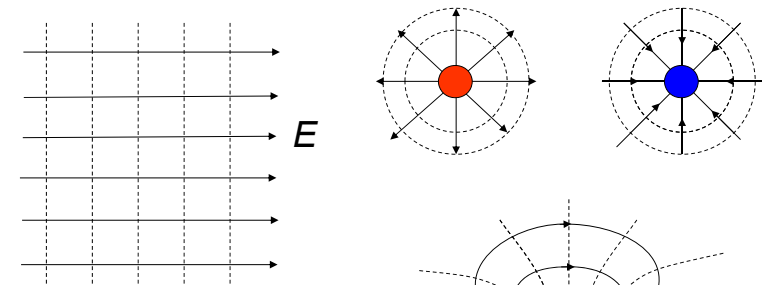
$$U_{21} = \varphi_2 - \varphi_1$$

Wenn $U_{21} > 0 \Rightarrow P_2$ ist „positiver“ als P_1

$$U_{21} = -U_{12}$$

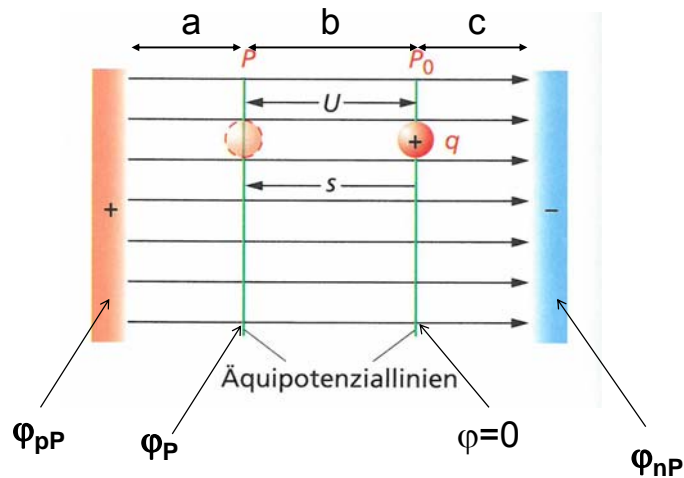
In homogenem Feld: $U_{21} = \frac{W_{1 \rightarrow 2}}{q} = \frac{q|\vec{E}|s}{q} = Es$

Äquipotentialflächen



Äquipotentialflächen
verlaufen senkrecht zu den
Feldlinien

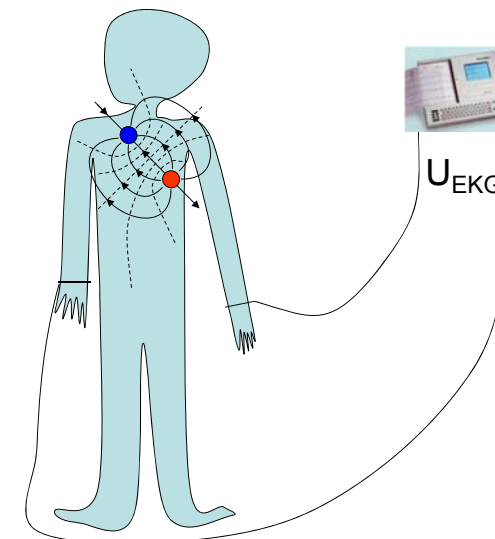
Bewegung an einer Äquipotentialfläche: keine Arbeit!



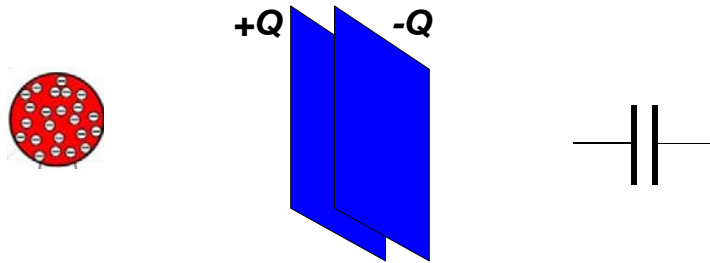
zB: $E = 140 \text{ N/C}$, $a = 2 \text{ cm}$, $b = 3 \text{ cm}$, $c = 2 \text{ cm}$

$\varphi_{pP} = ?$ $\varphi_P = ?$ $\varphi_{nP} = ?$

Medizinische Anwendung: EKG



Ladungsspeiherung



Kondensator

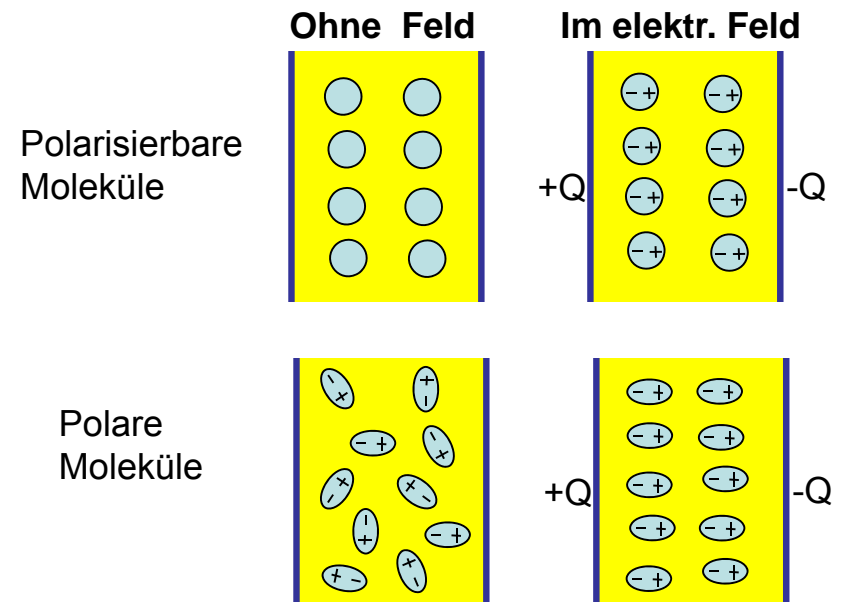
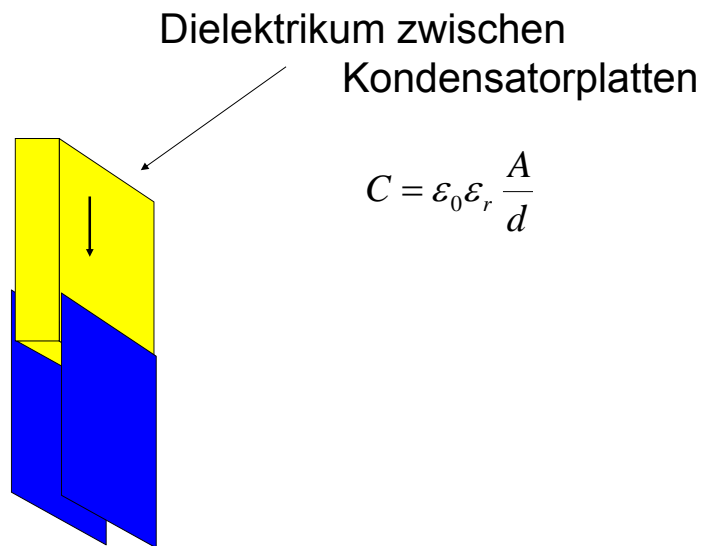
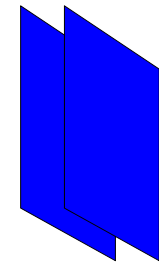
Kapazität des Kondensators

$Q = C U$
Ladungsspeicherungsfähigkeit

$C = \frac{Q}{U}$
Einheit: Farad, F
 $1F = \frac{1C}{1V}$

Für Plattenkondensator gilt:

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$



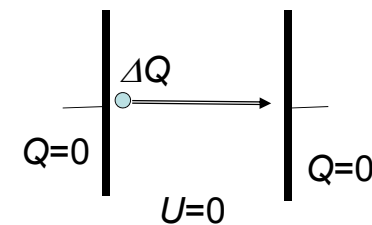


Energiespeicherung im Kondensator

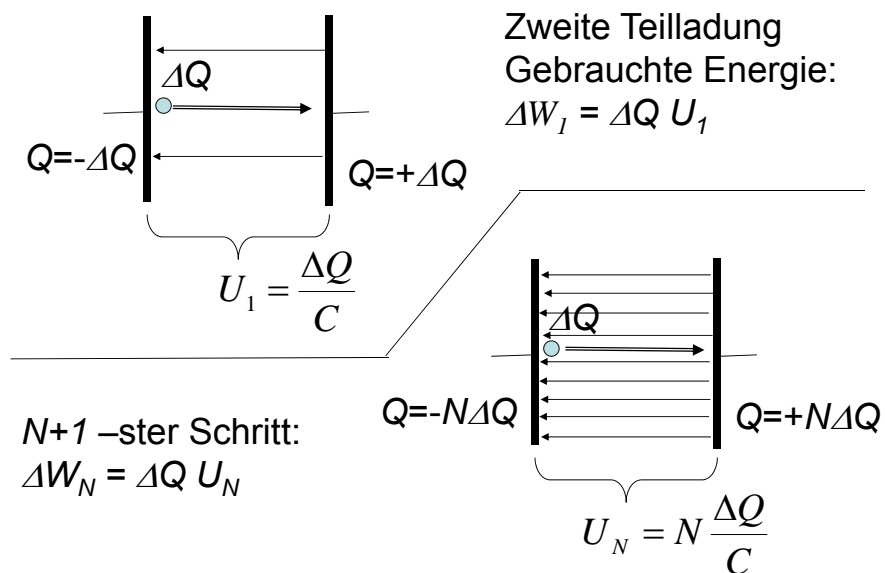
Welche Energie ist nötig um einen Kondensator mit Q Ladung an U Spannung aufzuladen?

Aufladung in kleinen Schritten:

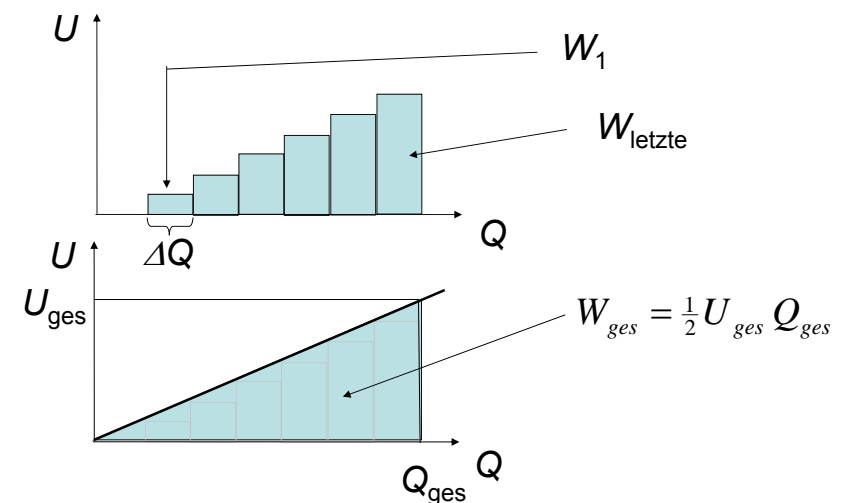
ΔQ Teilladung wird von einer Platte zur anderen Platte gebracht



Erste Teilladung:
Ohne Energie!
Kein Feld !



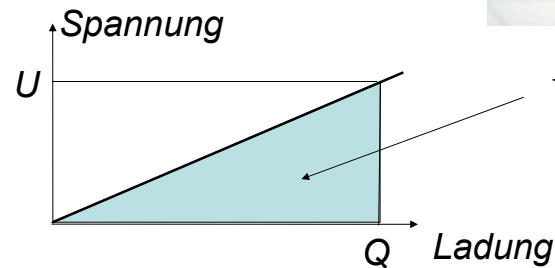
Graphische Darstellung der Aufladungsenergie



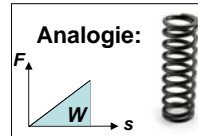
Die in dem Kondensator gespeicherte Energie:

$$W = \frac{1}{2} U Q = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

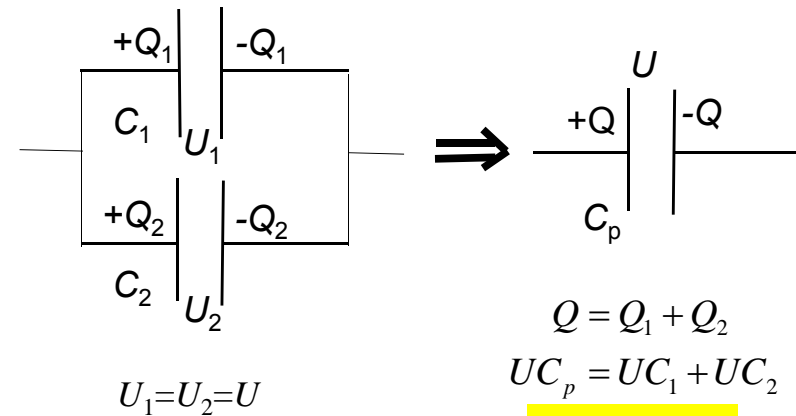
$$(Q = UC)$$



$$W = \frac{1}{2} U Q$$



Parallelschaltung von Kondensatoren:

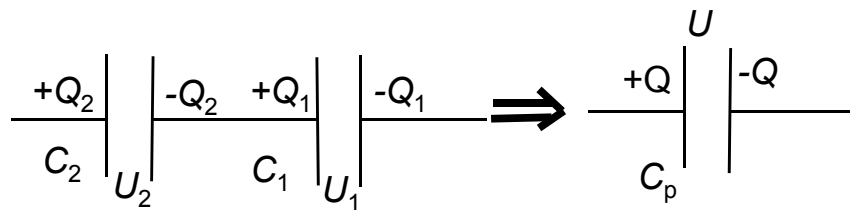


$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$UC_p = UC_1 + UC_2$$

$$C_p = C_1 + C_2$$

Reihenschaltung von Kondensatoren:



$$U = U_1 + U_2$$

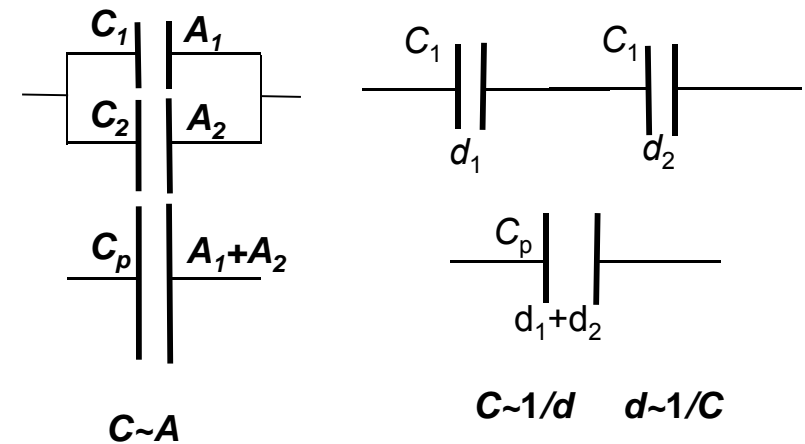
$$\frac{Q}{C_r} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

$$Q_1 - Q_2 = 0$$

$$Q_1 = Q_2 = Q$$

$$\frac{1}{C_r} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Parallel und Reihenschaltung von Kondensatoren:



$$C \sim A$$

$$C_p = C_1 + C_2$$

$$C \sim 1/d \quad d \sim 1/C$$

$$\frac{1}{C_r} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Parallel- und Reihenschaltung von mehreren Kondensatoren:

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

$$\frac{1}{C_r} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$



Elektrischer Strom

Elektrischer Strom

Strom = Bewegung der Ladungen

Strom im Vakuum

Strom im Gas

Strom in Flüssigkeit (Lösung)

Strom im Festkörper

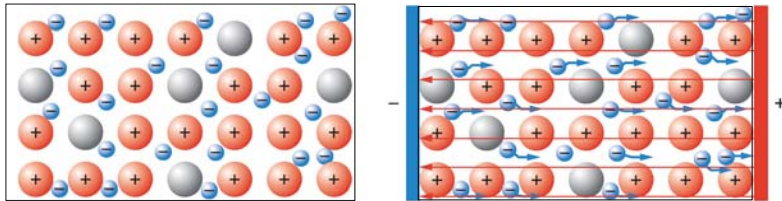
Der Leitungsvorgang hängt ab von:

- Art und Anzahl der beweglicher Ladungsträger
- der Behinderung der Bewegung durch andere Teilchen
- der anliegenden Spannung

Leiter	Halbleiter	Nichtleiter
besitzen eine große Anzahl beweglicher Ladungsträger (Elektronen, Ionen).	besitzen bewegliche Ladungsträger (Elektronen, Defektelektronen).	besitzen nur wenige oder keine beweglichen Ladungsträger.
Metalle Elektrolyte ionisierte Gase	Silicium Germanium Verbindungen (GaAs, PbS)	Vakuum Isolatoren (Porzellan, Papier, Gummi) Gase („normale“ Luft)
Bei Metallen kommt auf ein Atom im Mittel ein bewegliches Elektron.	Bei Halbleitern kommt auf $10^4 - 10^7$ Atome ein beweglicher Ladungsträger.	Bei Nichtleitern kommt auf mehr als 10^{10} Atome ein beweglicher Ladungsträger.

Strom in Metalle

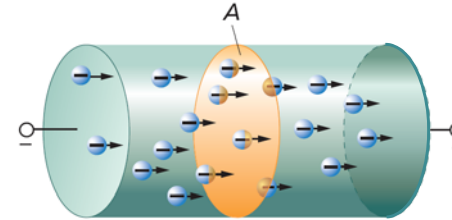
Metall: Feste Atomkerne mit geschlossenen Elektronenhüllen
Die Elektronen der äußeren Hüllen bewegen sich frei. (Sie sind „kollektive“ Elektronen)



Elektrische Stromstärke*

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

Durch den Leiterquerschnitt während Δt Zeit durchgeflossene Ladung



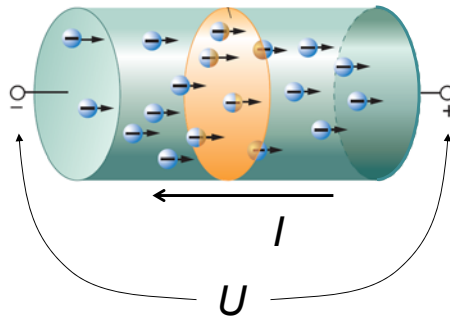
Einheit: Ampere (A)
 $1\text{A} = 1\text{C}/1\text{s}$

Konventionelle (technische) Stromrichtung:
Bewegungsrichtung der positiven Ladungen.

*diese definition ist allgemein, unabhängig davon in welchem Medium der Strom fließt (Metall, Gas, Vakuum..)

Bei Metallen:

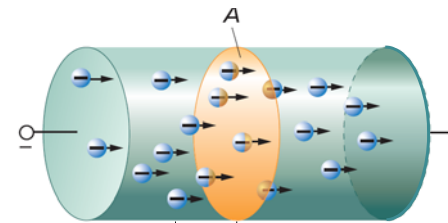
$$I \sim U$$



d.h. U/I ist konstant. Diese Konstante wird als **Widerstand** bezeichnet:

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{Einheit: Ohm } \Omega = \frac{\text{V}}{\text{A}}$$

Ohmsches Gesetz



$$\Delta Q = n \cdot e \cdot A \cdot v \cdot \Delta t$$

Ladungsträgerdichte
Anzahl der Ladungsträger
/ Volumen

Geschwindigkeit
Querschnittsfläche

$$\Delta Q = n \cdot e \cdot A \cdot v \cdot \Delta t$$

Die Stromstärke:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = n \cdot e \cdot A \cdot v$$

Die durchschnittliche Geschwindigkeit:

$$v \sim E = \frac{U}{l}$$

$$I \sim n \cdot e \cdot A \cdot \frac{U}{l}$$

$$I \sim n \cdot e \cdot A \cdot \frac{U}{l}$$

$$\frac{U}{I} \sim \frac{l}{n \cdot e \cdot A} = R$$

$$R = \text{const} \frac{l}{A} = \rho \frac{l}{A}$$

Spezifischer Widerstand

Einheit: Ωm oder $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

Spezifische Widerstandswerte:

Stoff	ρ ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)	Stoff	ρ ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)
Silber	0,016	Kohlenstoff	≈ 35
Kupfer	0,017	Dest. Wasser	10^{10}
Gold	0,023	Transforma-	
Aluminium	0,028	torenöl	$10^{15}-10^{16}$
Eisen	0,1	Porzellan	10^{18}
Wolfram	0,05	Quarzglass	$5 \cdot 10^{22}$
Konstantan	0,5		

Elektrische Leitfähigkeit: $\sigma = \frac{1}{\rho}$

Spezifische Widerstandswerte:

Stoff	ρ ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)	Stoff	ρ ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)
Silber	0,016	Kohlenstoff	≈ 35
Kupfer	0,017	Dest. Wasser	10^{10}
Gold	0,023	Transforma-	
Aluminium	0,028	torenöl	$10^{15}-10^{16}$
Eisen	0,1	Porzellan	10^{18}
Wolfram	0,05	Quarzglass	$5 \cdot 10^{22}$
Konstantan	0,5		

Elektrische Leitfähigkeit: $\sigma = \frac{1}{\rho}$

Bemerkung

Strom = **geordnete** Bewegung der Ladungsträgern
Wärmebewegung ~ km/s
Strombewegung ~ mm/s (Driftgeschwindigkeit)

Analogie: Warenhaus



1 Stunde

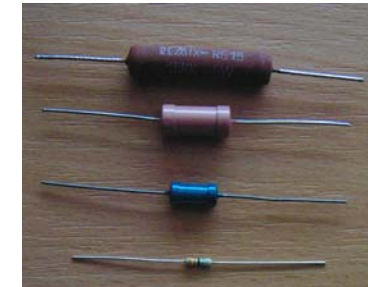


20 m

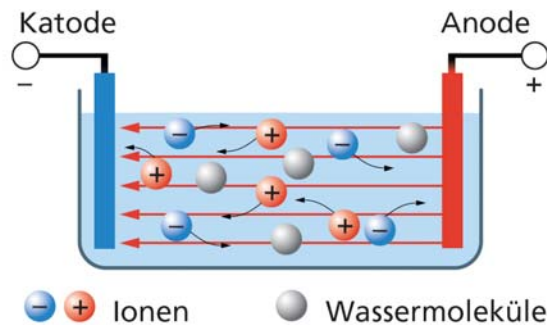


Widerstand als physikalische Größe und Schaltelement

$$R = \frac{U}{I} \quad [\Omega]$$



Strom in Flüssigkeiten



Ladungsträgern
entstehen durch
Dissoziation

zB: Cl^- und Na^+

$$Q = n z F$$

Stoffmenge (mol)
Wertigkeit der Ionen

Strom in Gasen

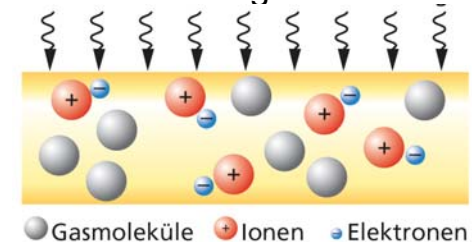
Entstehung von beweglichen Ladungsträger:

- Ionisation durch äußeren Einwirkungen:

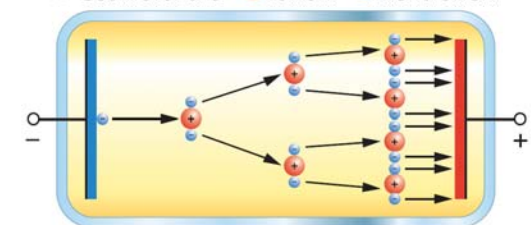
Strahlung

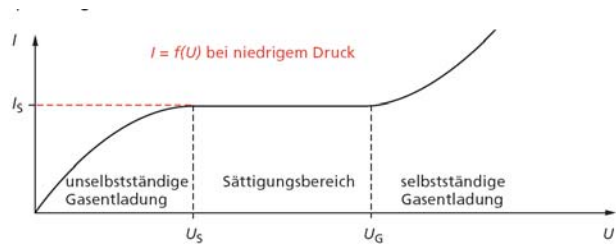
Wärme

...



- Stoßionisation

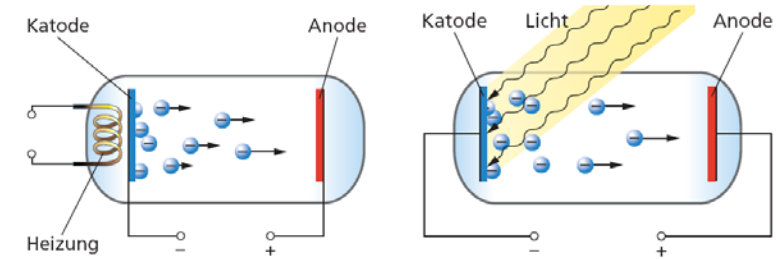




Strom in Vakuum

Freie Ladungsträger: Elektronen

- Glühelektrischer Effekt
- Lichtelektrischer Effekt



Röntgenröhre, Braunsche Röhre: S. Vorlesung 2!

