

Elektrizitätslehre 2.



Wechselwirkung zwischen den Ladungen

Zur Erinnerung

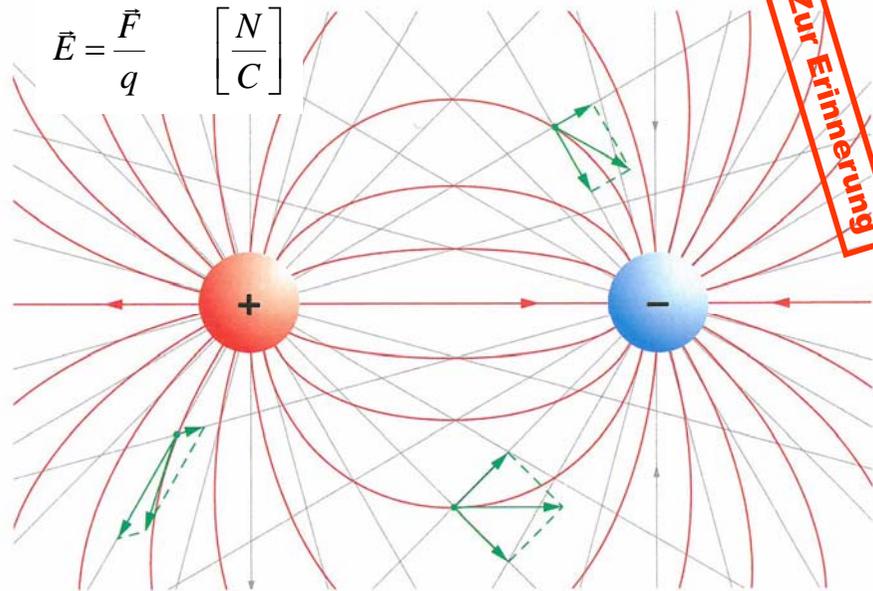
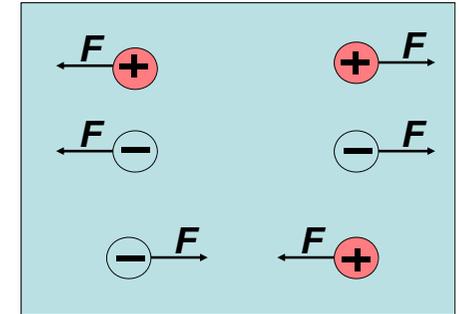
Quantitativ: die Kraft zwischen der Ladungen Q_1 und Q_2 , die voneinander im Abstand r liegen beträgt:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad \text{oder} \quad F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

ϵ_0 = elektrische Feldkonstante

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

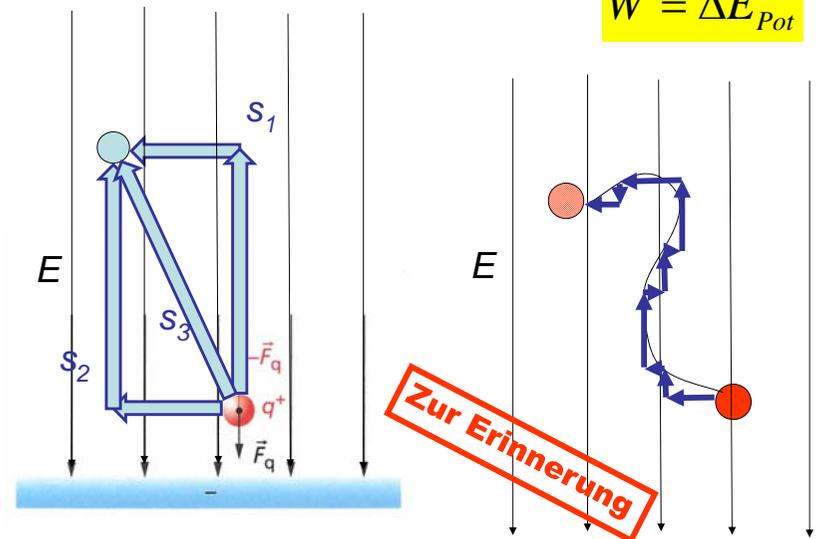
$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$



$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \left[\frac{N}{C} \right]$$

W ist unabhängig vom Weg!

$W = \Delta E_{Pot}$



Spannung

Zur Erinnerung

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:

$$U_{21} = \phi_2 - \phi_1$$

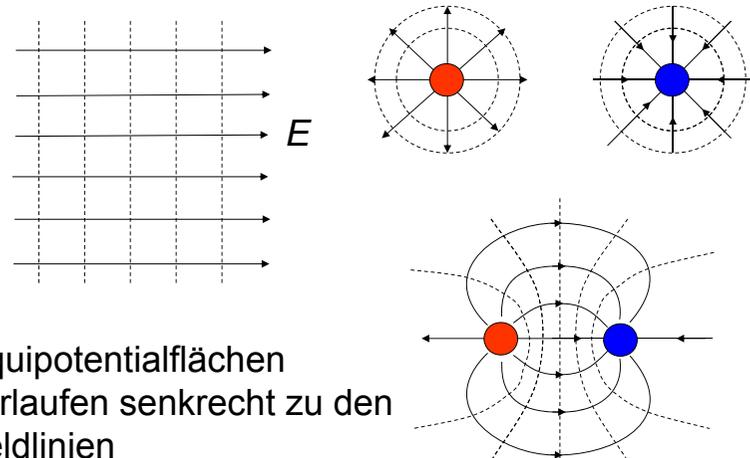
Wenn $U_{21} > 0 \Rightarrow P_2$ ist „positiver“ als P_1

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

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

Äquipotentialflächen

Zur Erinnerung



Äquipotentialflächen verlaufen senkrecht zu den Feldlinien

Bewegung an einer Äquipotentialfläche: keine Arbeit!

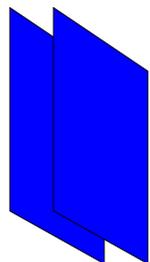
Kapazität des Kondensators

Zur Erinnerung

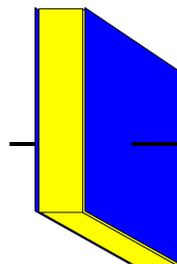
$$Q = C U \quad \text{Ladungsspeicherungsfähigkeit}$$

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

Für Plattenkondensator gilt:



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



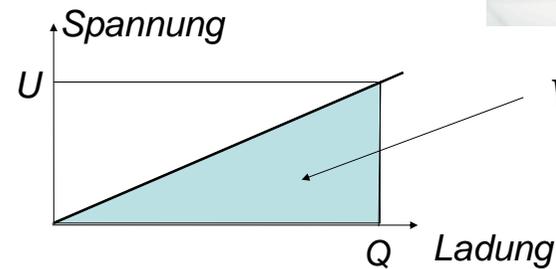
$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

Zur Erinnerung

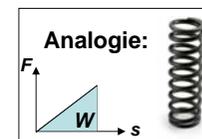
Die in dem Kondensator gespeicherte Energie:

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

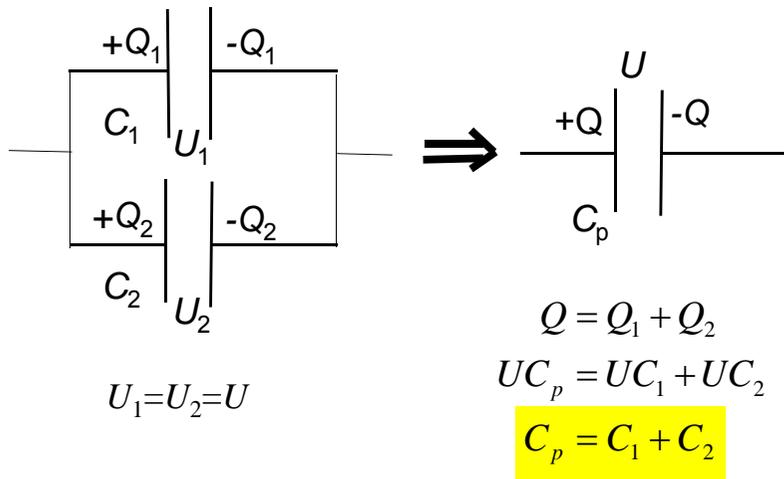
($Q = UC$)



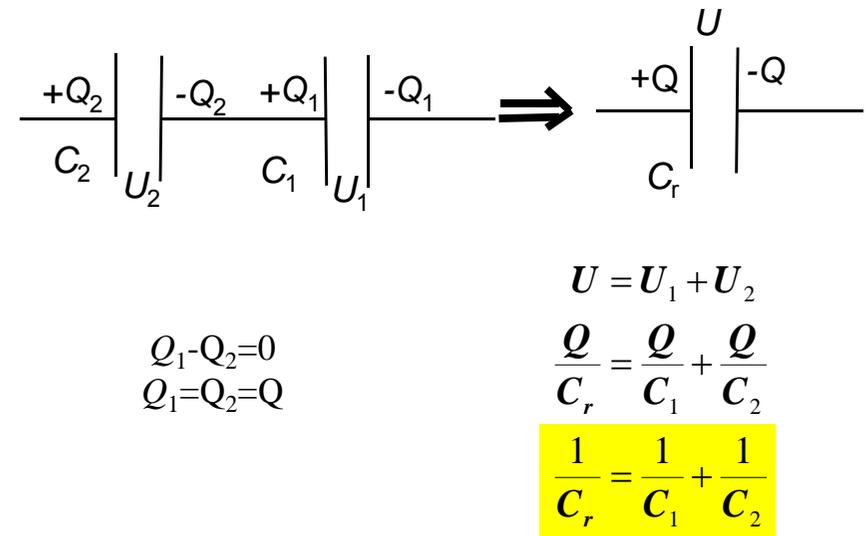
$$W = \frac{1}{2} U Q$$



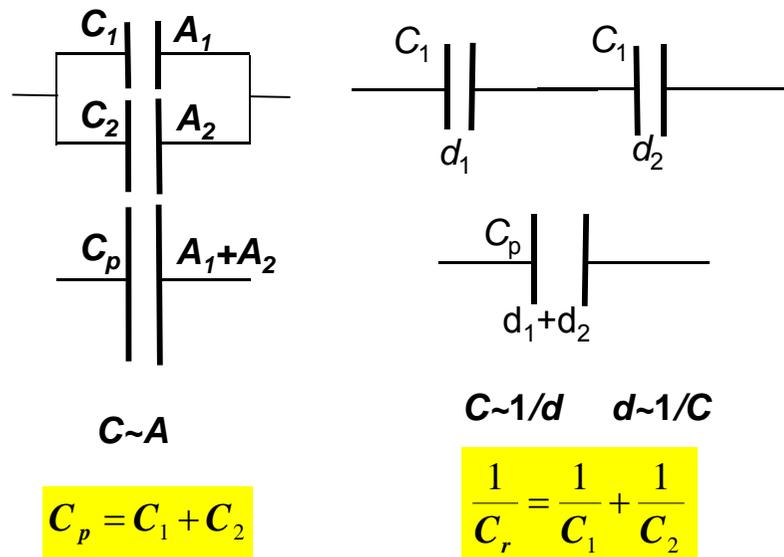
Parallelschaltung von Kondensatoren:



Reihenschaltung von Kondensatoren:



Parallel und Reihenschaltung von Kondensatoren:



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 = Eine geordnete Bewegung der Ladungen

Strom im Vakuum

Strom im Gas

Strom in Flüssigkeit (Lösung)

Strom im Festkörper

Bemerkung

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

Analogie: Warenhaus



1 Stunde



20 m



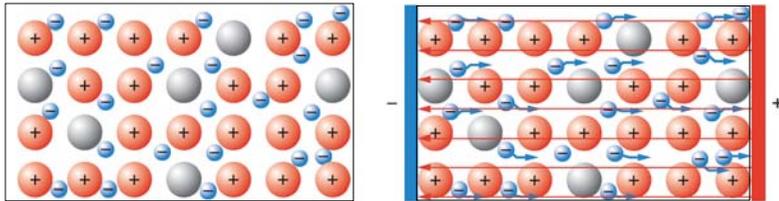
Der Leitungsvorgang hängt ab von:

- 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

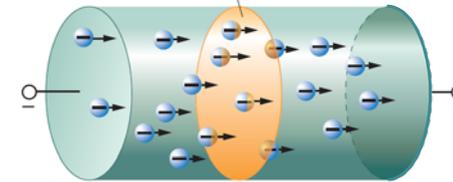
Metall: Feste Atomkerne mit geschlossenen Elektronenhüllen
Die Elektronen der äußere Hüllen bewegen sich frei. (Sie sind „kollektive“ Elektronen)



Elektrische Stromstärke*

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

Durch den Leiterquerschnitt während Δt Zeit durchgeflossene Ladung



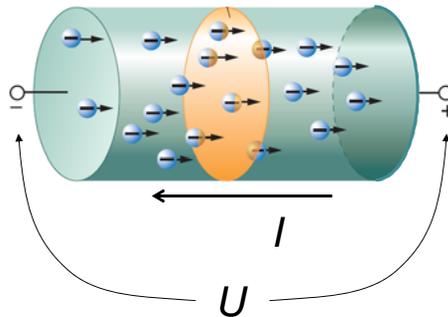
Einheit: Ampere (A)
 $1A = 1C/1s$

Konventionelle (technische) Stromrichtung:
Bewegungsrichtung der positive Ladungen.

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

Bei Metallen:

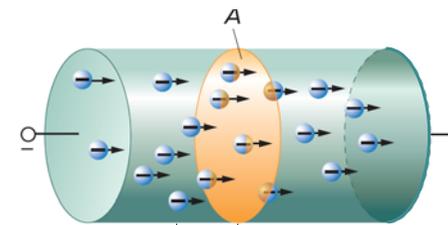
$$I \sim U$$



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

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

Ohmsches Gesetz



$$v \cdot \Delta t$$

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

Ladungsträgerdichte
Anzahl der Ladungsträgern
/ 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 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

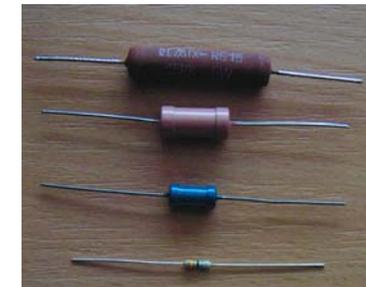
Spezifische Widerstandswerte:

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		

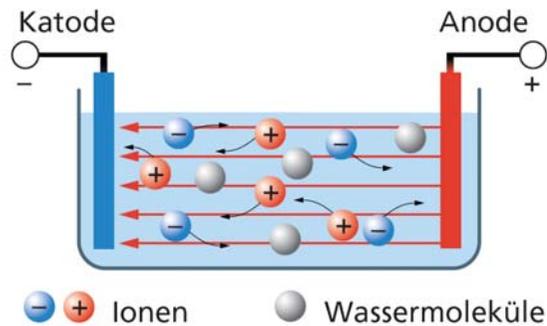
Elektrische Leitfähigkeit: $\sigma = \frac{1}{\rho}$

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) n
Wertigkeit der Ionen z

Strom in Gasen

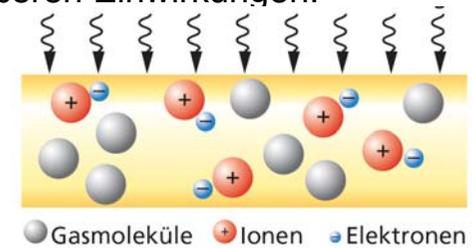
Entstehung von beweglichen Ladungsträger:

- Ionisation durch äußeren Einwirkungen:

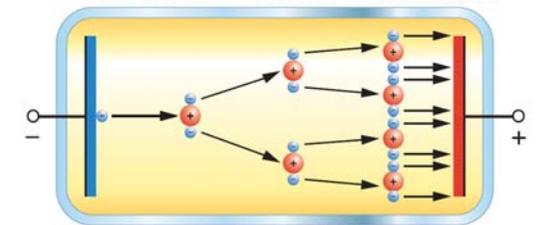
Strahlung

Wärme

...



- Stoßionisation

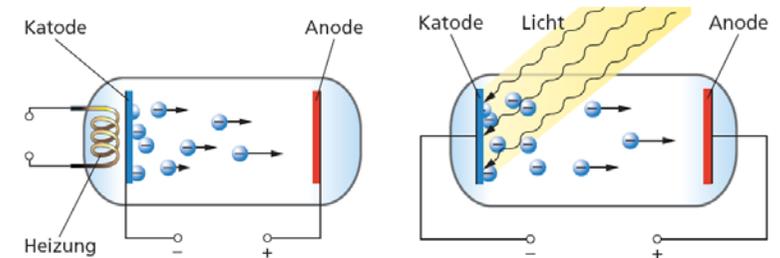


Strom in Vakuum

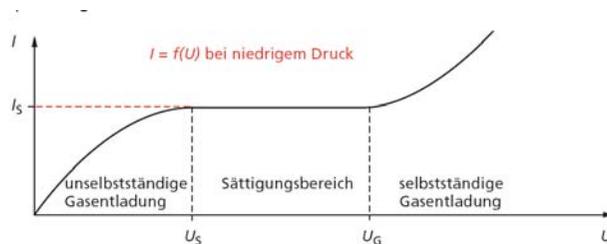
Freie Ladungsträger: Elektronen

- Glühelektrischer Effekt

- Lichtelektrischer Effekt



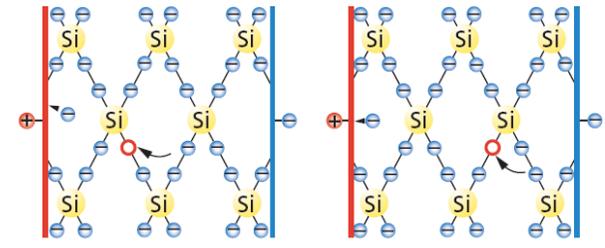
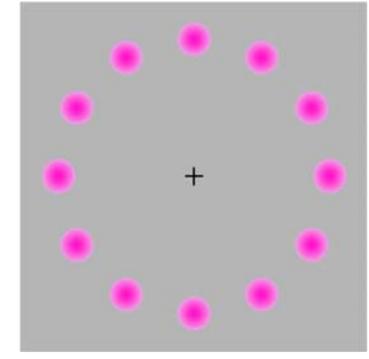
Röntgenröhre, Braunsche Röhre: S. Vorlesung 2!



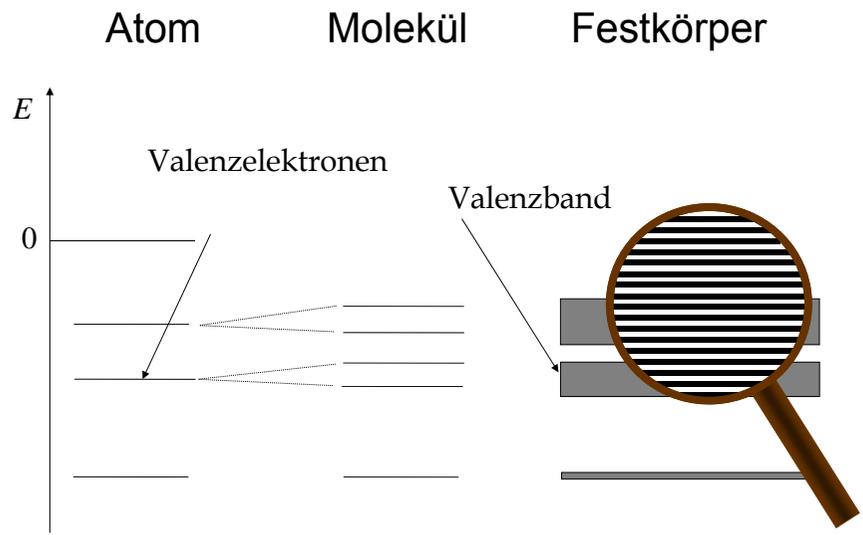


Strom in Halbleitern

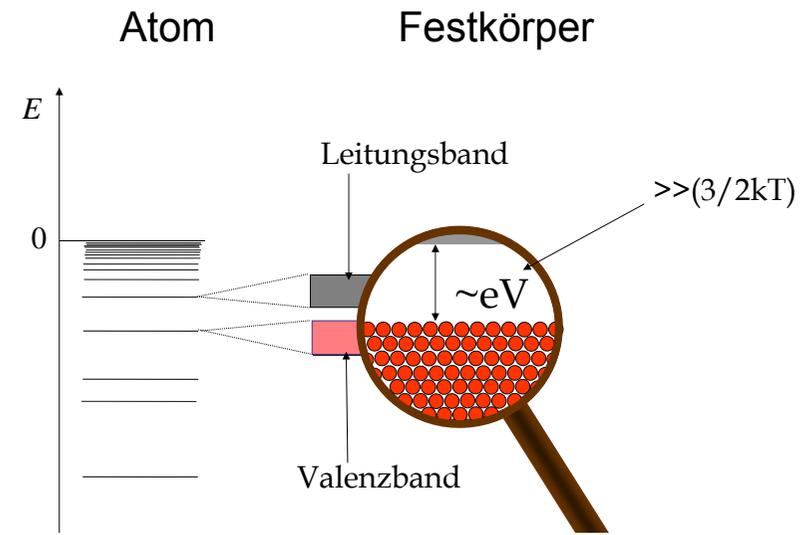
Ladungsträgern:
Elektronen und
Löchern



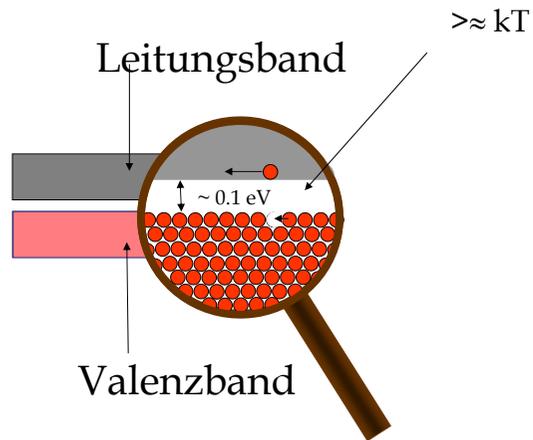
Bändermodell:



Isolatoren



Halbleiter (reiner Halbleiter)

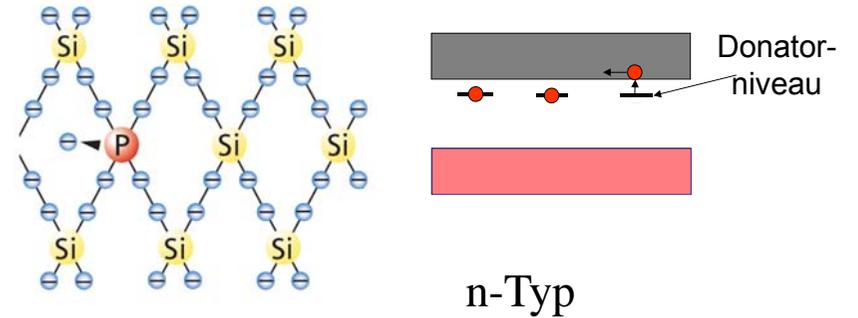


Dotierte Halbleiter

Halbleiter: Si, Ge, (Spalte IV)

Donator

P, As (Spalte V.)

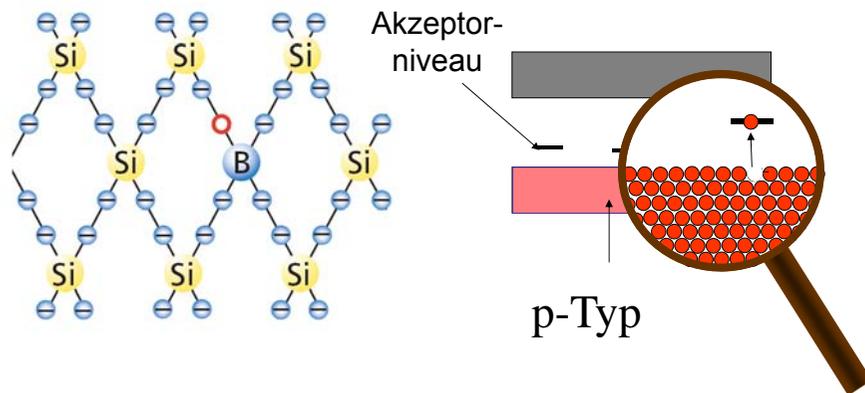


Dotierte Halbleiter

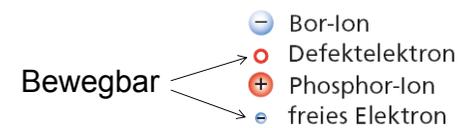
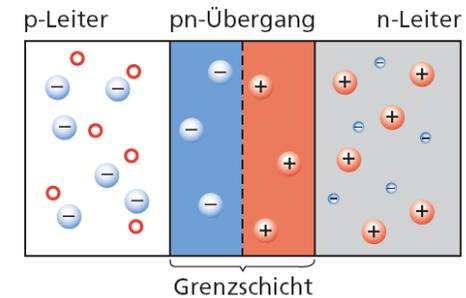
Halbleiter: Si, Ge, (Spalte IV)

Akzeptor

B, Al (Spalte III.)

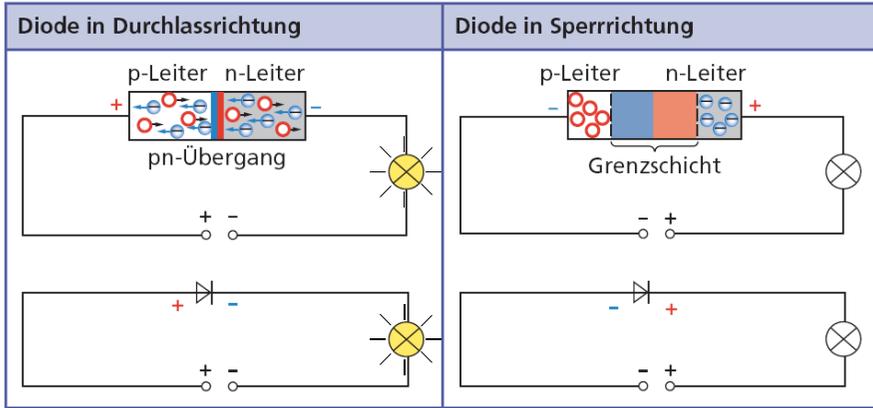


Halbleiterdiode



Halbleiterdiode

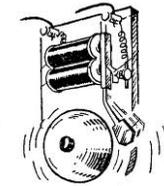
Leitet nur in einer Richtung



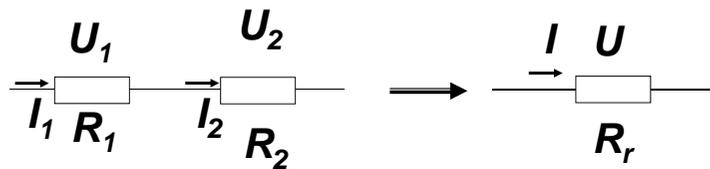
Wirkungen des Stromes

Wärmewirkung
Chemische Wirkung
Magnetische Wirkung

(Biologische Wirkung)
(Lichtwirkung)



Reihenschaltung von Widerständen



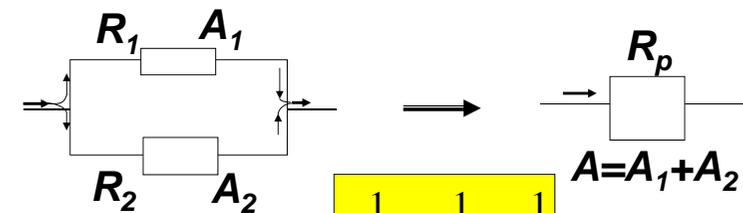
$$I_1 = I_2 = I$$

$$U = U_1 + U_2$$

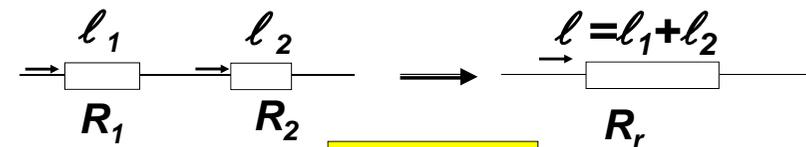
$$IR_r = I_1 R_1 + I_2 R_2 = IR_1 + IR_2$$

$$R_r = R_1 + R_2$$

Parallel- und Reihenschaltung von Widerständen



$$R \sim 1/A \quad A \sim 1/R \Rightarrow \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$



$$R \sim l \Rightarrow R_r = R_1 + R_2$$

Spannung und Stromstärke



Angel Wasserfall
 ≈ 1000 m



Niagara Wasserfall
55m