

## Elektrizitätslehre 2.



### Wechselwirkung zwischen den Ladungen

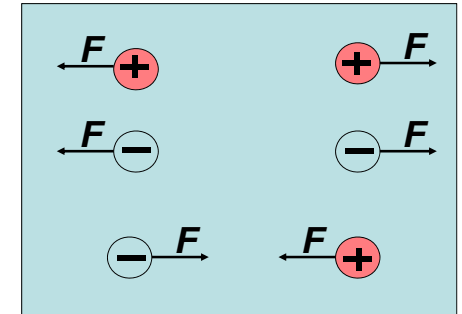
Quantitativ: die Kraft zwischen der Ladungen  $Q_1$  und  $Q_2$ , die voneinander im Abstand  $r$  liegen beträgt:

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

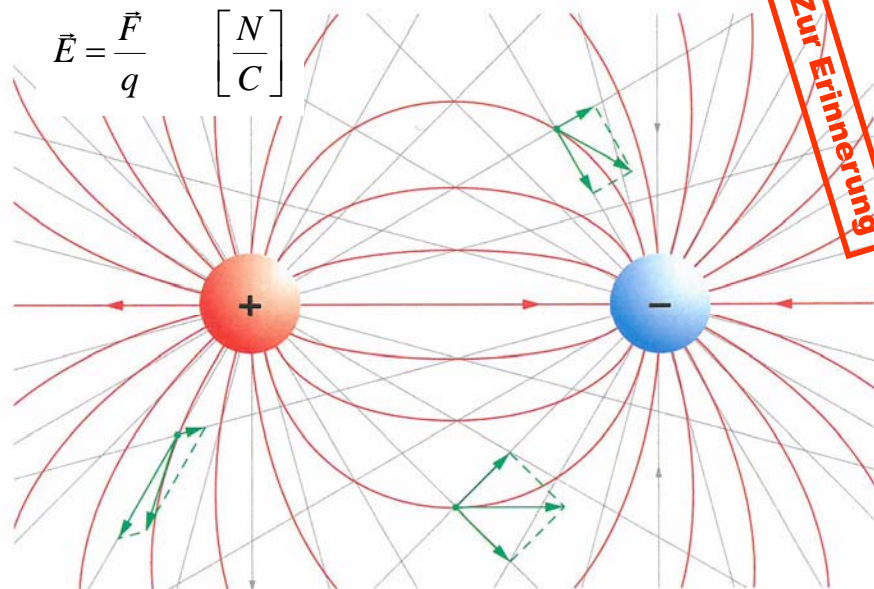
$\epsilon_0$  = elektrische  
Feldkonstante

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

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



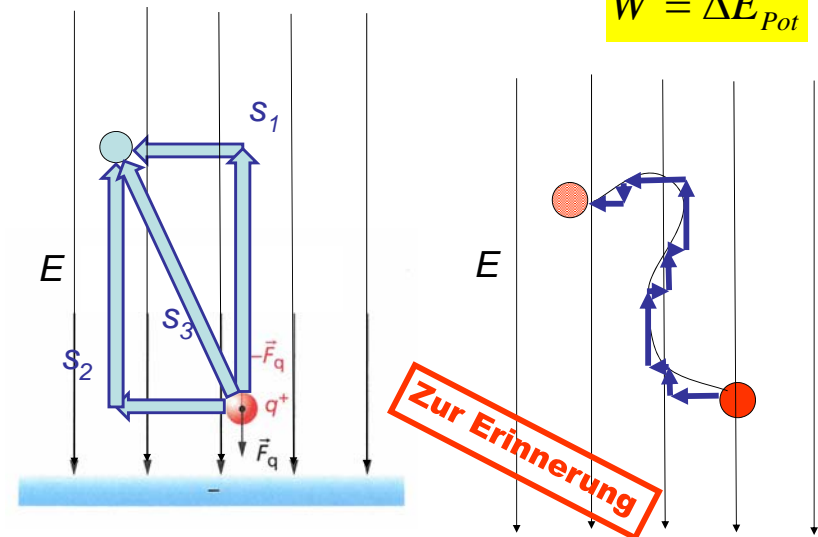
Zur Erinnerung



Zur Erinnerung

$W$  ist unabhängig vom Weg!

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



Zur Erinnerung

## 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:

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

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

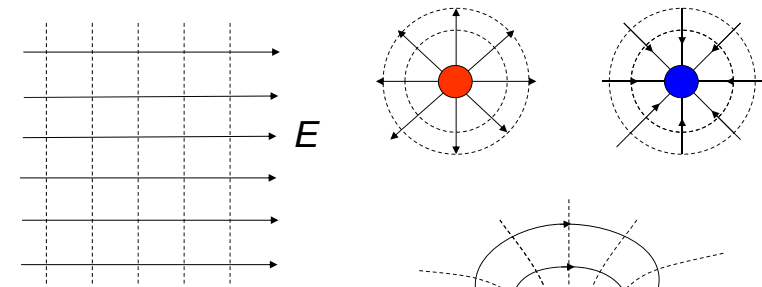
$$U_{21} = -U_{12}$$

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



## Äquipotentialflächen

Zur Erinnerung



Äquipotentialflächen  
verlaufen senkrecht zu den  
Feldlinien

Bewegung an einer Äquipotentialfläche: keine Arbeit!

## Kapazität des Kondensators

Zur Erinnerung

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

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

Für Plattenkondensator gilt:

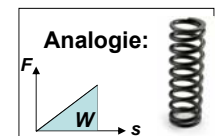
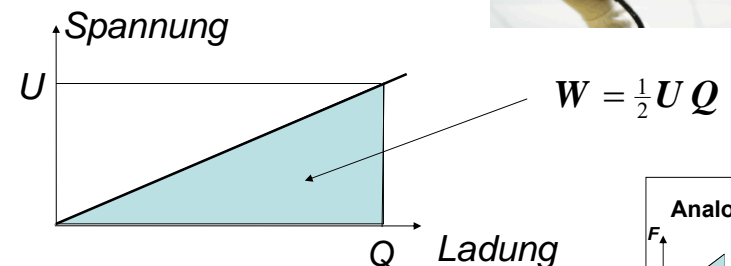
$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

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

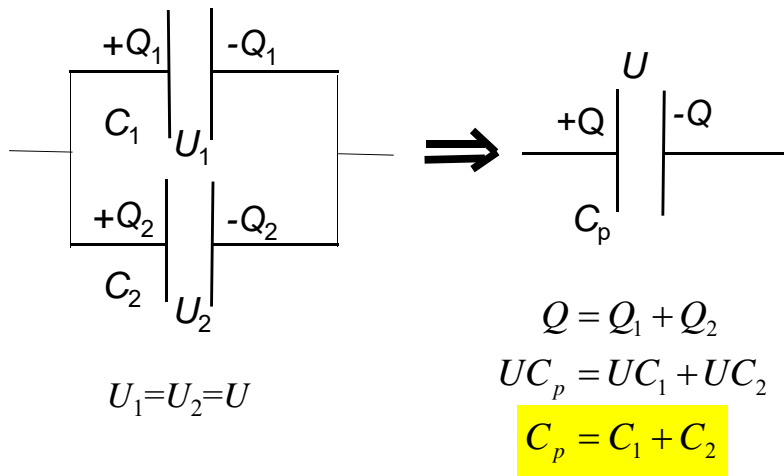
Die in dem Kondensator gespeicherte Energie:

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

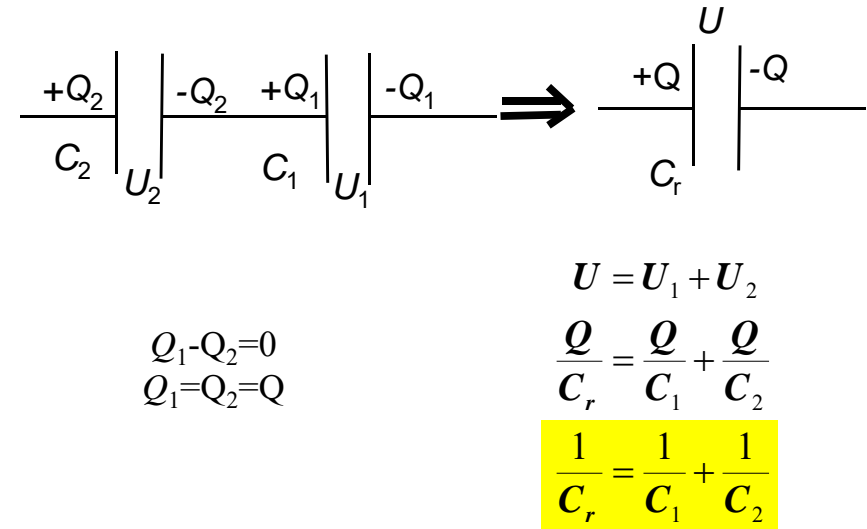
( $Q = UC$ )



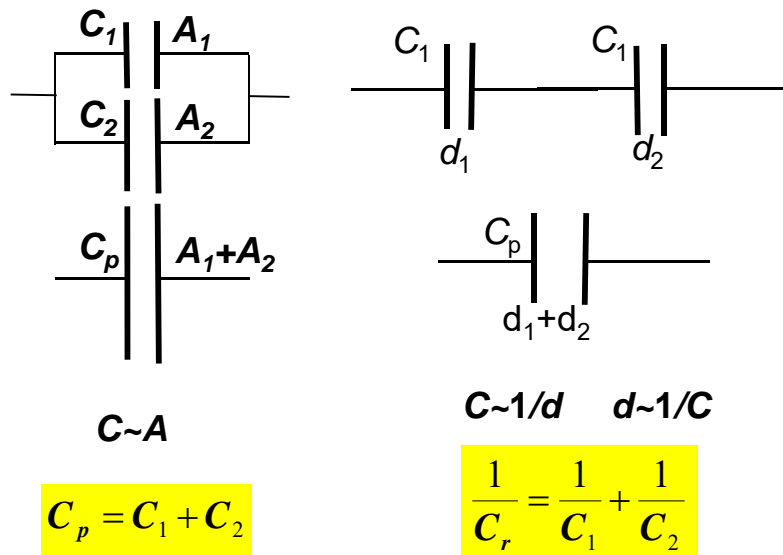
### Parallelschaltung von Kondensatoren:



### 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  $\sim \text{km/s}$   
 Strombewegung  $\sim \text{mm/s}$  (Driftgeschwindigkeit)

## Analogie: Warenhaus



1 Stunde



20 m



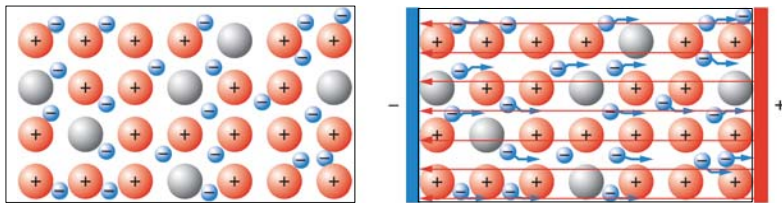
## Der Leitungsvorgang hängt ab von:

- 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

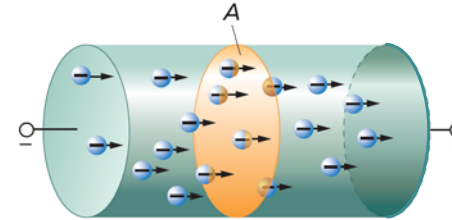
Metall: Feste Atomkerne mit geschlossenen Elektronenhüllen  
Die Elektronen der äußeren Hüllen bewegen sich frei. (Sie sind „kollektive“ Elektronen)



## Elektrische Stromstärke\*

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

Durch den Leiterquerschnitt während  $\Delta t$  Zeit durchgeflossene Ladung



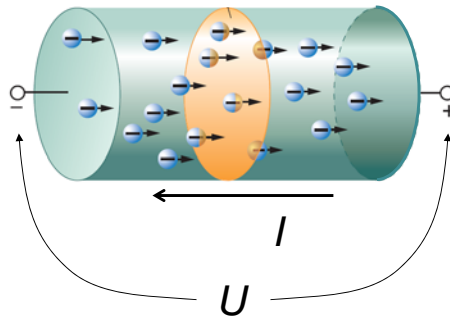
Einheit: Ampere (A)  
 $1\text{A} = 1\text{C}/1\text{s}$

Konventionelle (technische) Stromrichtung:  
Bewegungsrichtung der positiven Ladungen.

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

Bei Metallen:

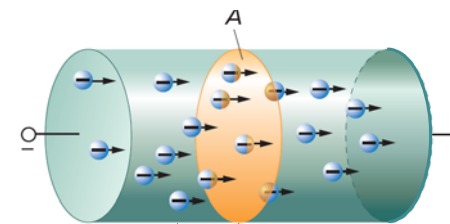
$$I \sim U$$



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



$$v \cdot \Delta t$$

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

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

Spezifische Widerstandswerte:

Stoff	$\rho$ ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ )	Stoff	$\rho$ ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ )
Silber	0,016	Kohlenstoff	$\approx 35$
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:  $\sigma = \frac{1}{\rho}$

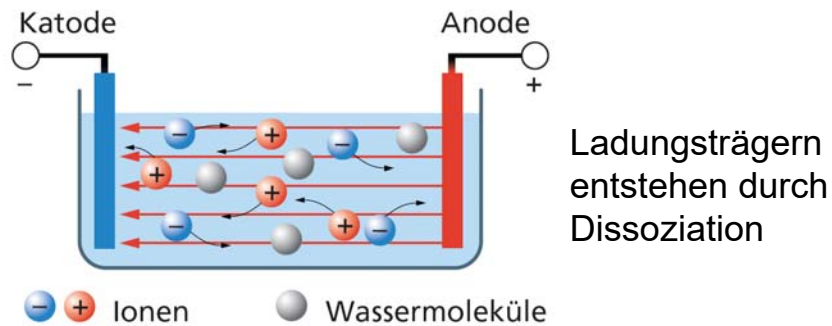
Widerstand als physikalische Größe  
und Schaltelement

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





## Strom in Flüssigkeiten



Ladungsträgern  
entstehen durch  
Dissoziation

zB:  $\text{Cl}^-$  und  $\text{Na}^+$

$$Q = n z F$$

Stoffmenge (mol)  
Wertigkeit der Ionen

## Strom in Gasen

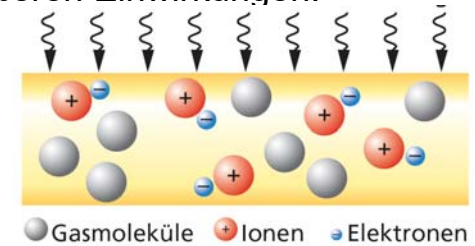
Entstehung von beweglichen Ladungsträger:

- Ionisation durch äußeren Einwirkungen:

Strahlung

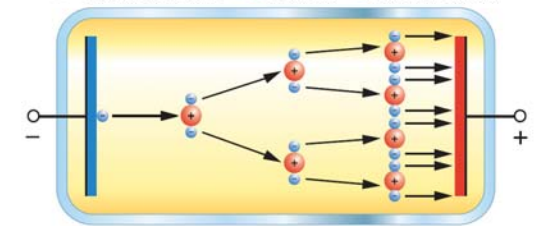
Wärme

...



● Gasmoleküle ● Ionen ● Elektronen

- Stoßionisation

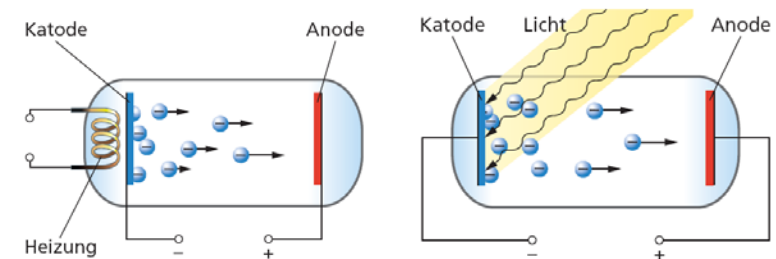


## Strom in Vakuum

Freie Ladungsträger: Elektronen

- Glühelektrischer Effekt

- Lichtelektrischer Effekt

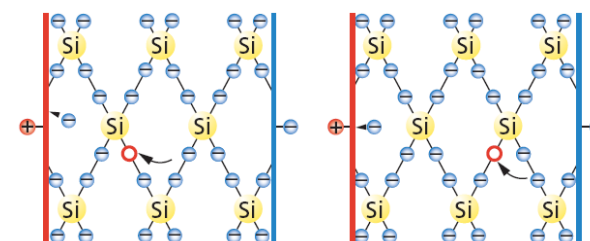
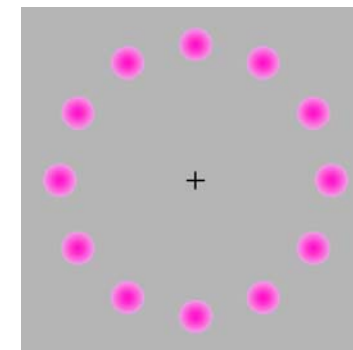


Röntgenröhre, Braunsche Röhre: S. Vorlesung 2!



## Strom in Halbleitern

Ladungsträgern:  
Elektronen und  
Löchern

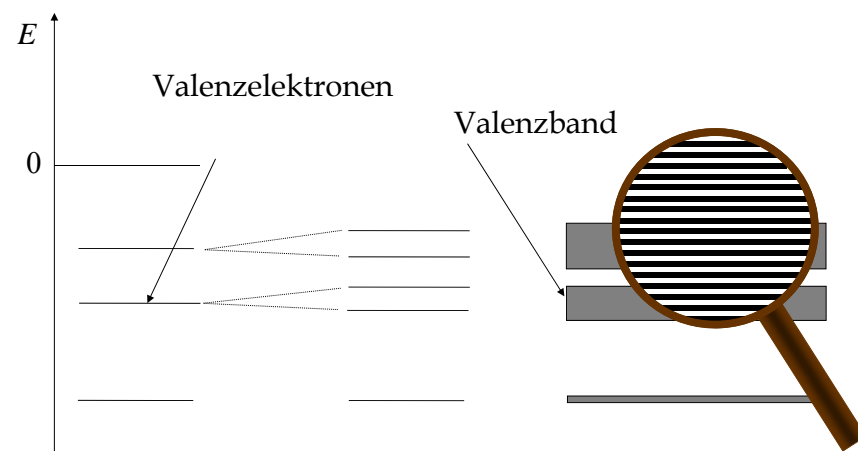


## Bändermodell:

Atom

Molekül

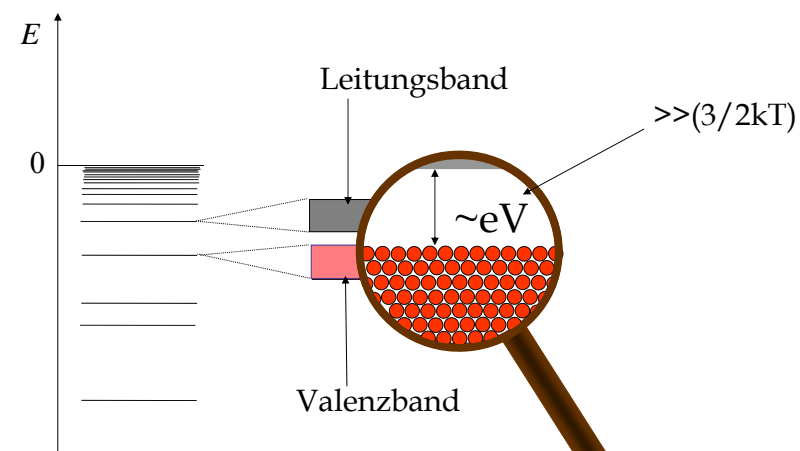
Festkörper



## Isolatoren

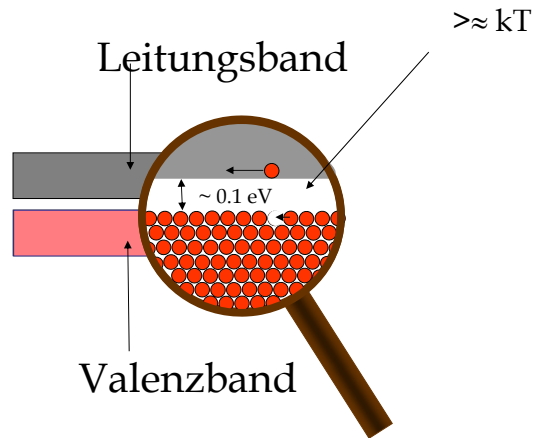
Atom

Festkörper





## Halbleiter (reiner Halbleiter)

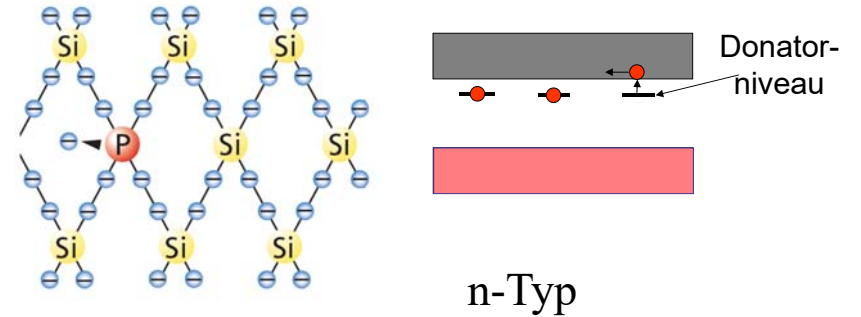


## Dotierte Halbleiter

Halbleiter: Si, Ge, (Spalte IV)

Donator

P, As (Spalte V.)

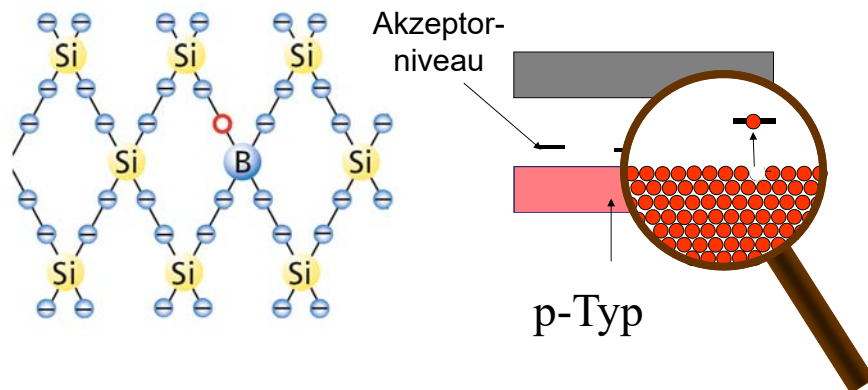


## Dotierte Halbleiter

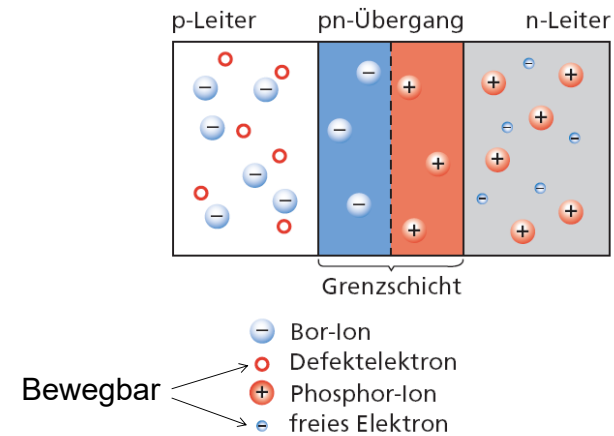
Halbleiter: Si, Ge, (Spalte IV)

Akzeptor

B, Al (Spalte III.)

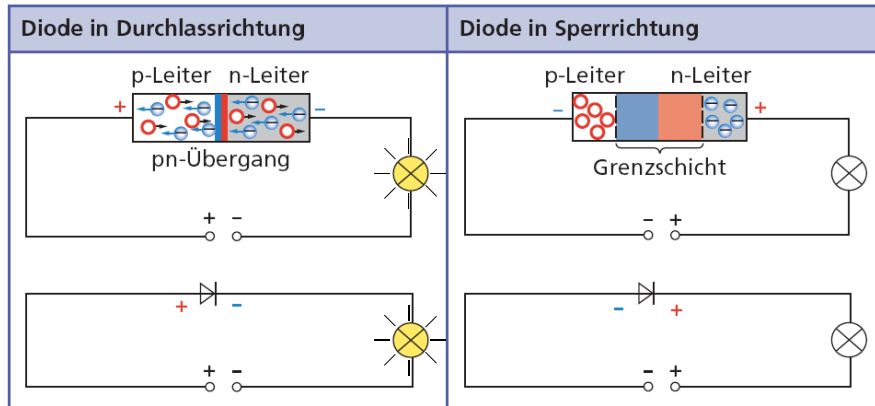


## Halbleiterdiode



# Halbleiterdiode

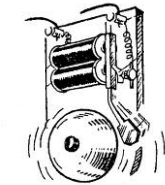
Leitet nur in  
einer Richtung



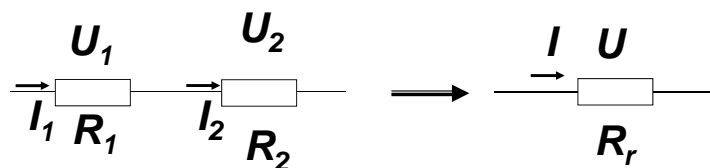
## Wirkungen des Stromes

Wärmewirkung  
Chemische Wirkung  
Magnetische Wirkung

(Biologische Wirkung)  
(Lichtwirkung)



## Reihenschaltung von Widerständen



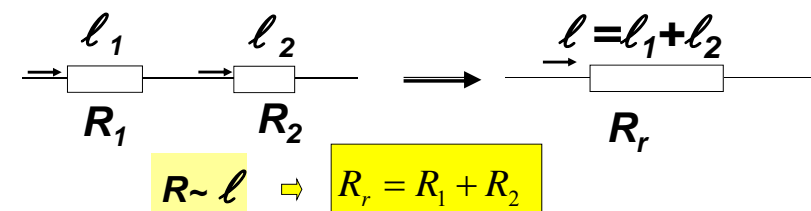
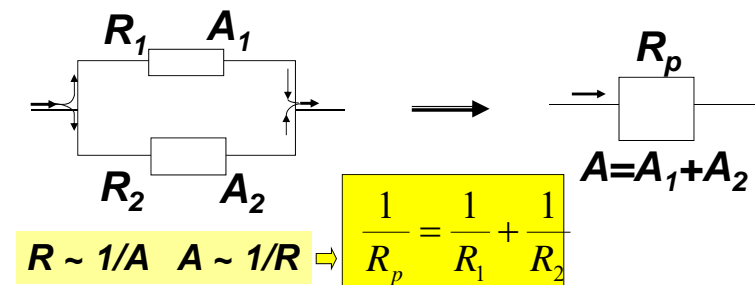
$$I_1 = I_2 = I$$

$$U = U_1 + U_2$$

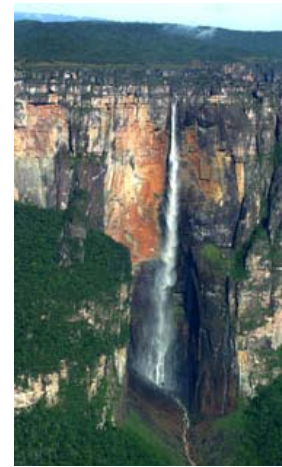
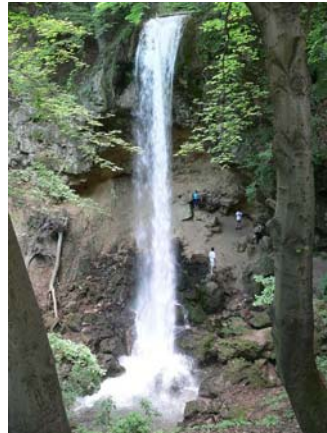
$$IR_r = I_1 R_1 + I_2 R_2 = IR_1 + IR_2$$

$$R_r = R_1 + R_2$$

## Parallel- und Reihenschaltung von Widerständen



# Spannung und Stromstärke



Angel Wasserfall  
 $\approx 1000$  m



Niagara Wasserfall  
55m