

# Elektrizitätslehre



**Ladung:** eine wesentliche Eigenschaft der Materie  
(wie z.B. die Masse)

Elementarteilchen:  
Proton Neutron Elektron  
+ 0 -

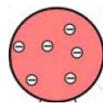
Zur Erinnerung

**Elementarladung:** Ladung des Protons  
Das Elektron hat -1 Elementarladung.  
**SI Einheit** der Ladung ist **Coulomb (C)**  
1 Elementarladung =  $1.6 \cdot 10^{-19}$  C

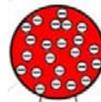
Wie groß ist die Ladung von einem Mol Elektronen? (Faraday Konstante)

geladene Körper = Makroskopische Ladungen

Positive Ladung: Elektronenmangel



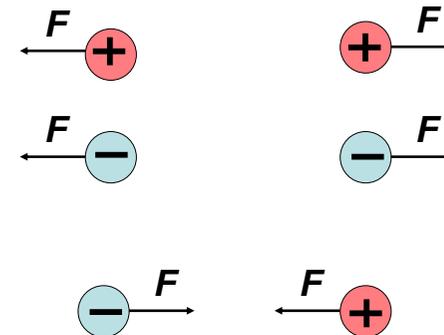
Negative Ladung: Elektronenüberschuss



Zur Erinnerung

## Wechselwirkung zwischen den Ladungen

Qualitativ:



Zur Erinnerung

Eine der elektrischen Grundeigenschaften der Körper:

Leiter: bewegbare Ladungen (z.B. Metalle)

Isolator: unbewegbare Ladungen (z.B. Kunststoff)

Bemerkung: Newton III !

## 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

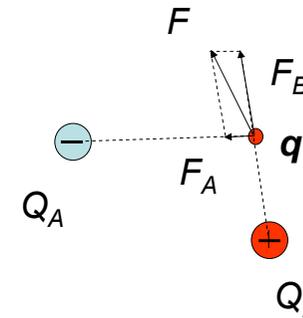
$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

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

Zur Erinnerung

## Mehrere Ladungen

Die Kräfte addieren sich als Vektorgrößen.



Zur Erinnerung

## Elektrische Feldstärke

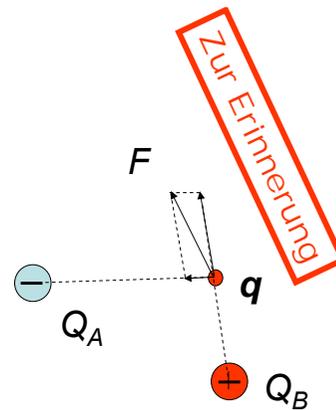
Probeladung  $q$

Resultierende Kraft  $F$

Alle Kräfte sind proportional zur  $q$ .  $\Rightarrow F/q$  hängt nur von der Größe und Anordnung der Ladungen an, die auf  $q$  mit der Kraft  $F$  wirken.

Elektrische Feldstärke (Vektorgröße, Ortabhängig)

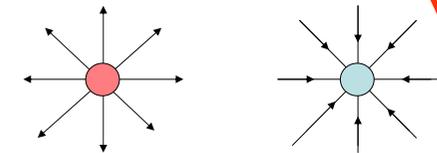
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \left[ \frac{N}{C} \right]$$



Zur Erinnerung

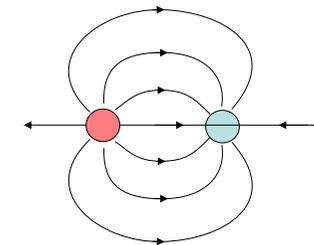
Typische Ladungsanordnungen:

Punktladung: (Radialfeld)



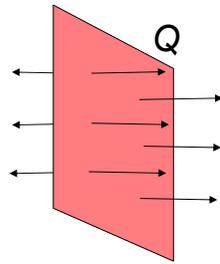
Zur Erinnerung

Dipol



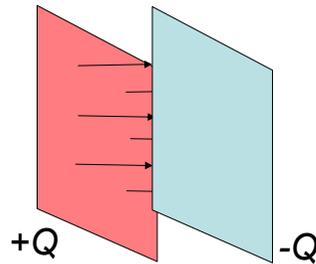
Typische Ladungsanordnungen:

Geladene Ebene



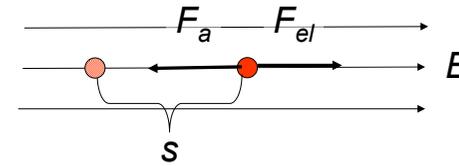
Zur Erinnerung

Kondensator  
(Homogenes Feld)



Energieumwandlung (Arbeit) im elektrischen Feld

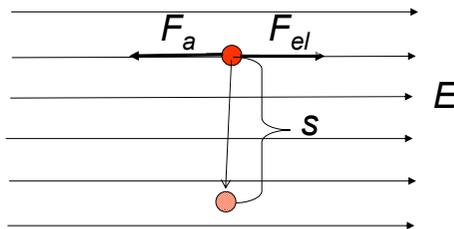
Bewegung einer Ladung gegen die Feldstärke:



$$W = |\vec{F}_a| \cdot s = |\vec{F}_{el}| \cdot s = q|\vec{E}|s = qEs$$

Energieumwandlung (Arbeit) im elektrischen Feld

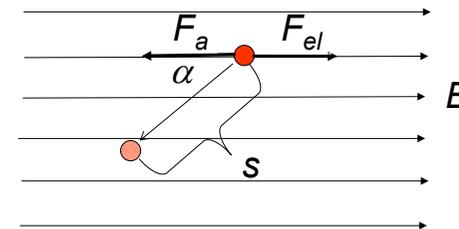
Bewegung einer Ladung senkrecht zu den Feldlinien:



$$W = |\vec{F}_a| \cdot s \cdot \cos \alpha = 0$$

Energieumwandlung (Arbeit) im elektrischen Feld

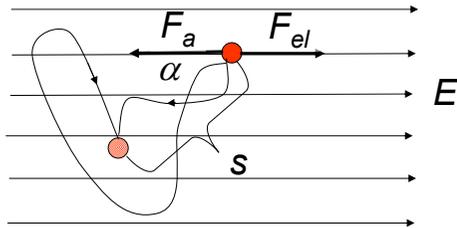
Bewegung einer Ladung schräg zu den Feldlinien:



$$W = |\vec{F}_a| \cdot s \cdot \cos \alpha = qEs \cdot \cos \alpha$$

## Energieumwandlung (Arbeit) im elektrischen Feld

Bewegung einer Ladung im elektrischen Feld:



$W$  ist unabhängig vom Weg!

## 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:

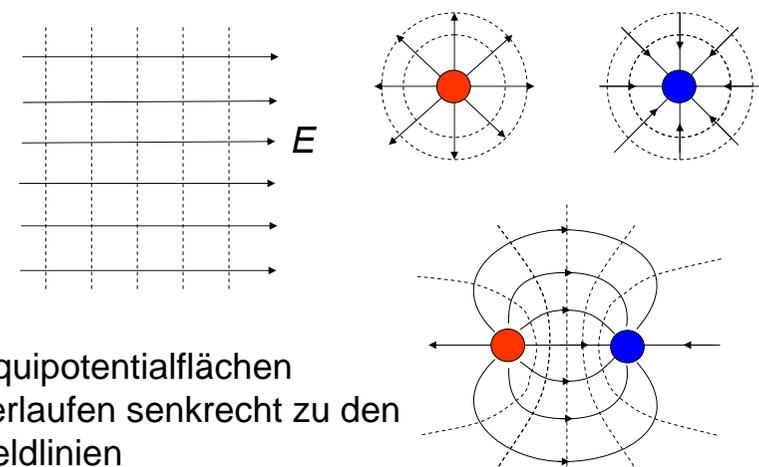
$$U_{21} = \varphi_2 - \varphi_1$$

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

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

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

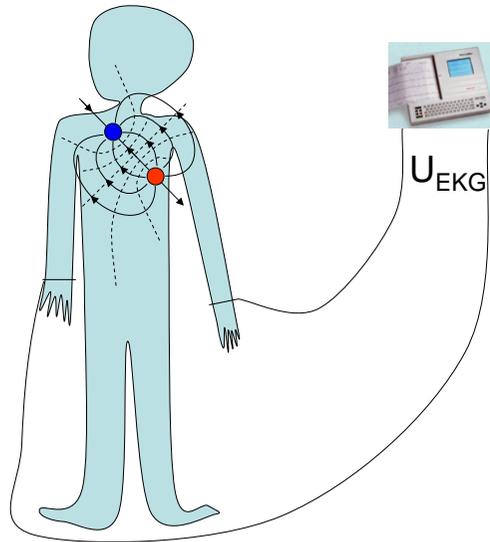
## Äquipotentialflächen



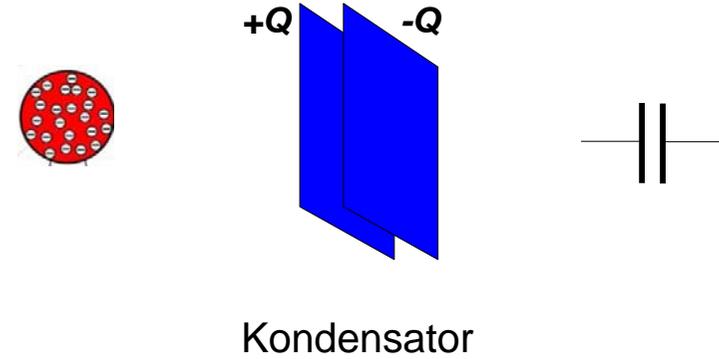
Äquipotentialflächen verlaufen senkrecht zu den Feldlinien

Bewegung an einer Äquipotentialfläche: keine Arbeit!

## Medizinische Anwendung: EKG



## Ladungsspeicherung



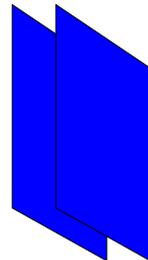
## **Kapazität** des Kondensators

$Q = C U$       Ladungsspeicherungsfähigkeit

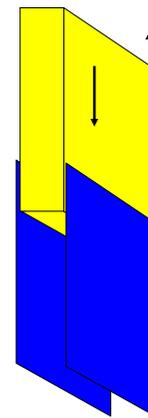
$C = \frac{Q}{U}$       Einheit: Farad, F       $1\text{F} = \frac{1\text{C}}{1\text{V}}$

Für Plattenkondensator gilt:

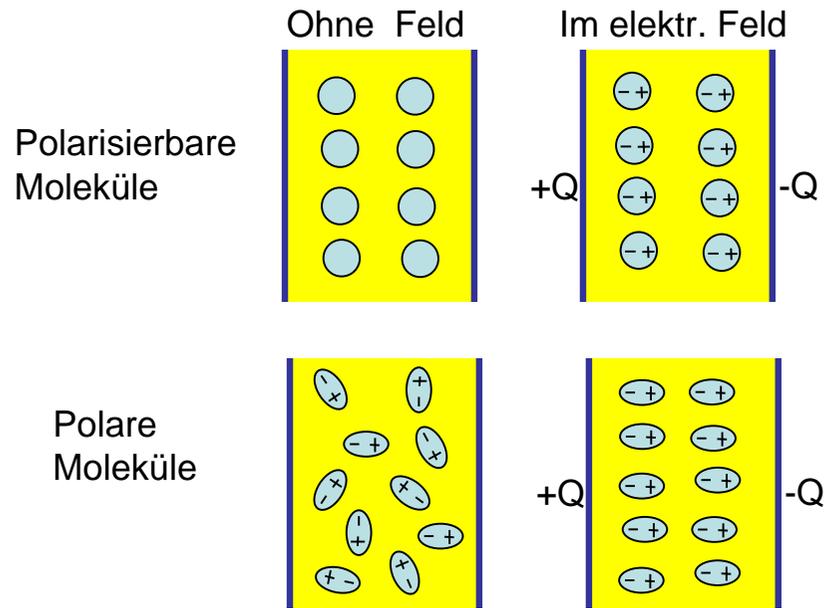
$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$



Dielektrikum zwischen  
Kondensatorplatten



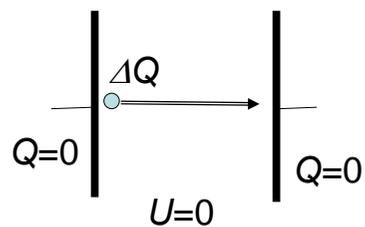
$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$



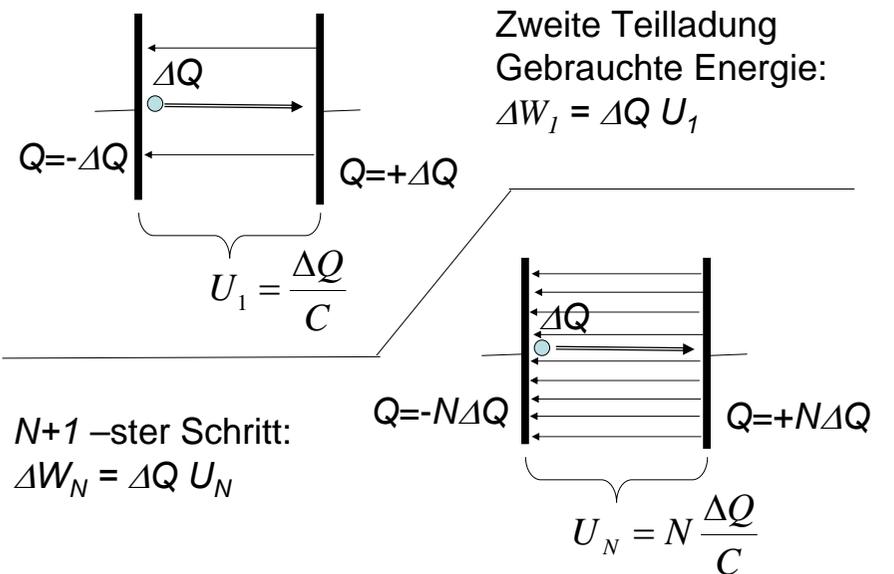
### Energiespeicherung im Kondensator

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

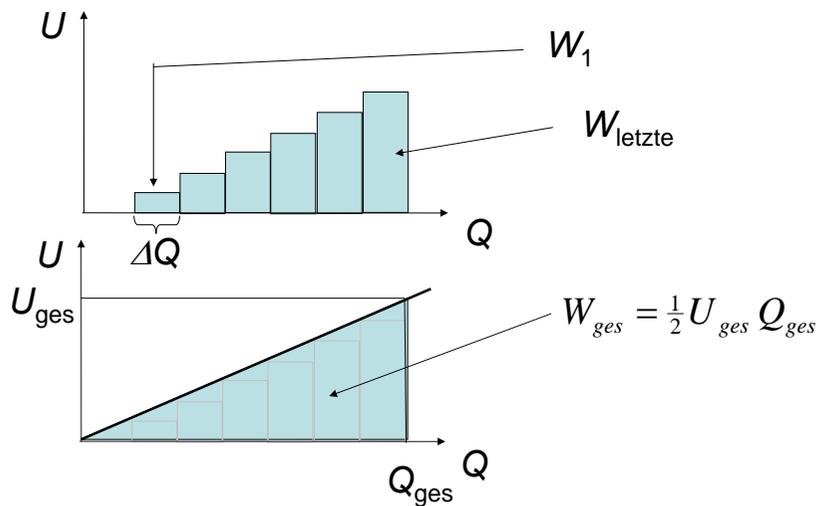
Aufladung in kleinen Schritten:  
 $\Delta Q$  Teilladung wird von einer Platte zur anderen Platte gebracht



Erste Teilladung:  
 Ohne Energie!  
 Kein Feld!



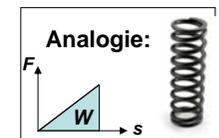
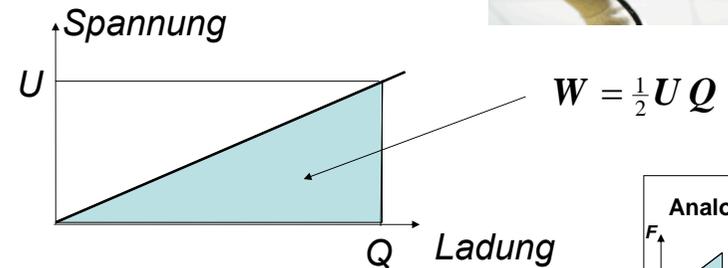
### Graphische Darstellung der Aufladungsenergie



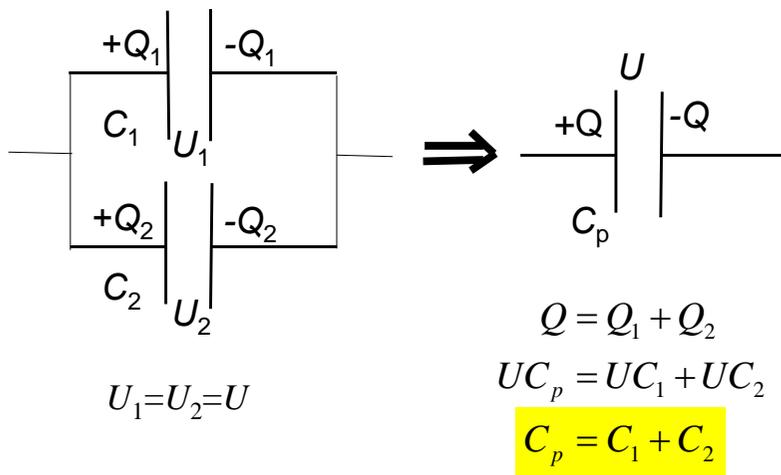
### Die in dem Kondensator gespeicherte Energie:

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

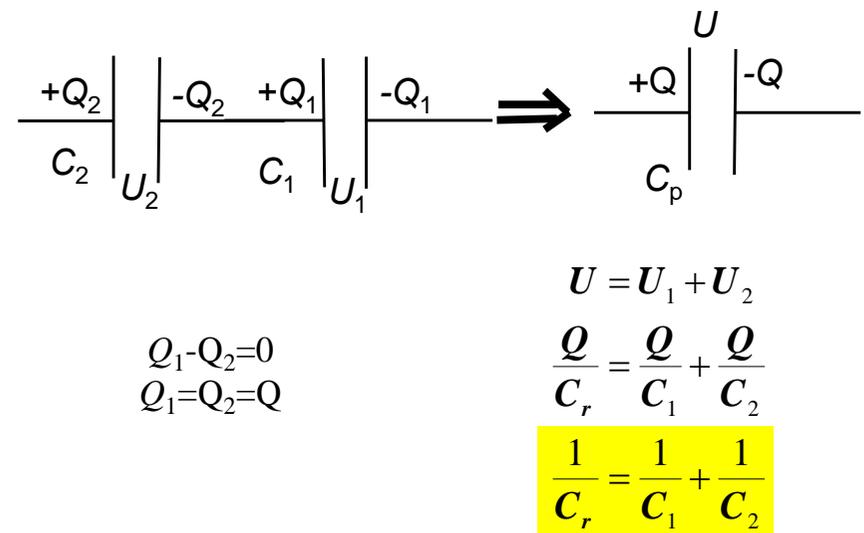
$(Q=UC)$



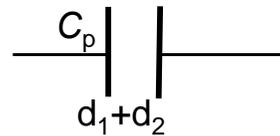
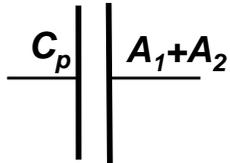
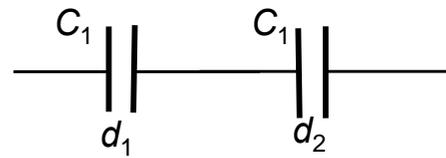
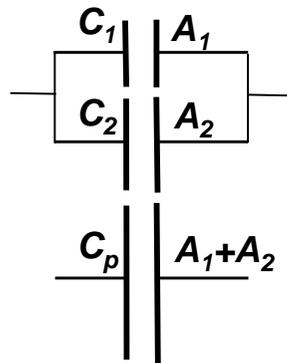
### Parallelschaltung von Kondensatoren:



### Reihenschaltung von Kondensatoren:



Parallel und Reihenschaltung von Kondensatoren:



$C \sim A$

$C \sim 1/d$     $d \sim 1/C$

$$C_p = C_1 + C_2$$

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

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

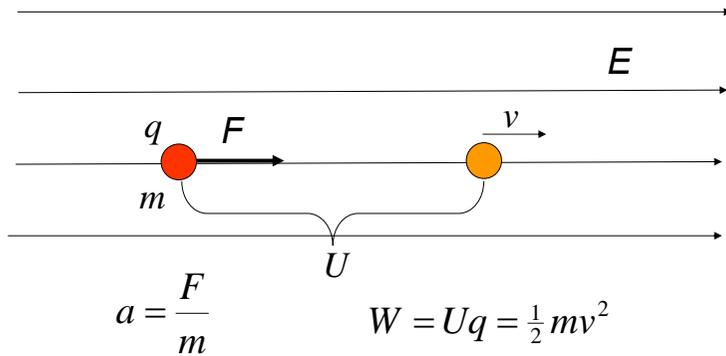
Strom in Flüssigkeit (Lösung)

Strom im Festkörper

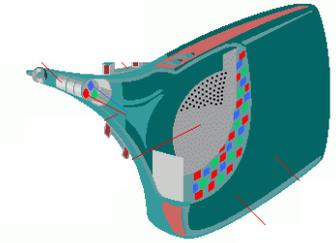


### Strom im Vakuum:

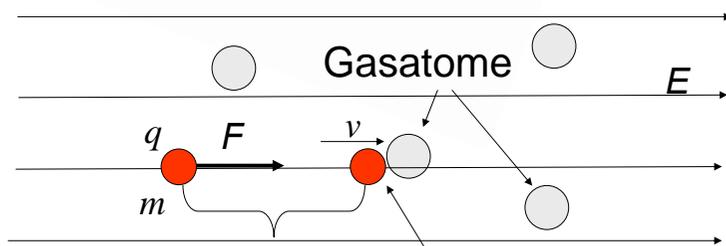
Freie Ladungsträger werden im elektrischen Feld beschleunigt :



Elektrische Energie => mechanische Energie



Strom im Gas  
Ladungsträger: Ionen und Elektronen



Freier Weg  
(Beschleunigung)

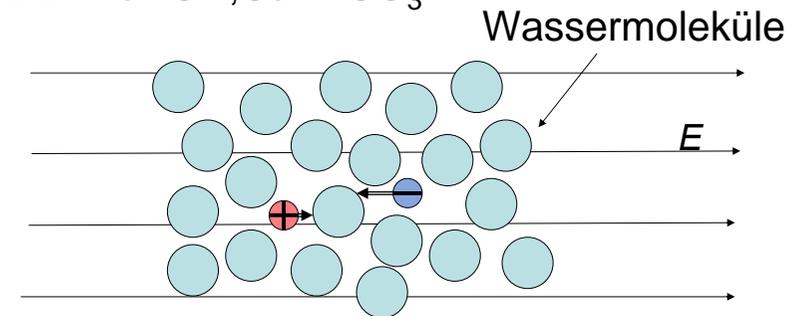
Elastischer  
Zusammenstoß

Abbremsung, Energieübergabe  
=> Wärme, Licht

T~ durchschnittliche kin. E

### Strom in Lösungen

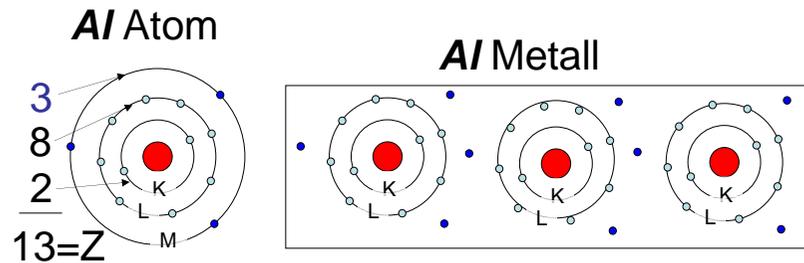
Elektrolyt: Ionen + und -  
z.B.  $\text{Na}^+$   $\text{Cl}^-$  ;  $\text{Ca}^{2+}$   $\text{CO}_3^{2-}$



Elektrische Energie => Wärme  
+chemische Energie

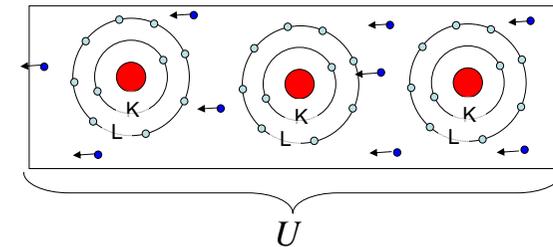
## Strom in Metalle

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



## Strom in Metalle:

Wanderung der Elektronen.



Zusammenstoß mit der Atome =>

=> Wärme

Elektrische Energie => Wärmeenergie

Bemerkung: Wärmebewegung (km/s)

Strombewegung (mm/s)

(Driftgeschwindigkeit)

Analogie: Warenhaus

## Elektrische Stromstärke

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

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

Einheit: Ampere (A)

1A = 1C/1s

Konventionelle Stromrichtung: Bewegungs-  
richtung der positive Ladungen.

## Wirkungen des Stromes

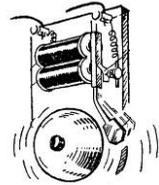
Wärmewirkung

Chemische Wirkung

Magnetische Wirkung

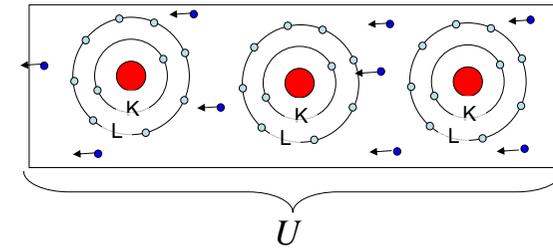
(Biologische Wirkung)

(Lichtwirkung)



## Strom in Metalle:

Wanderung der Elektronen.



Zusammenstoß mit der Atome =>

=> Wärme

Elektrische Energie => Wärmeenergie

Bei Metallen gilt ein Zusammenhang zwischen der Spannung und Stromstärke:

$$I \sim U$$

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

