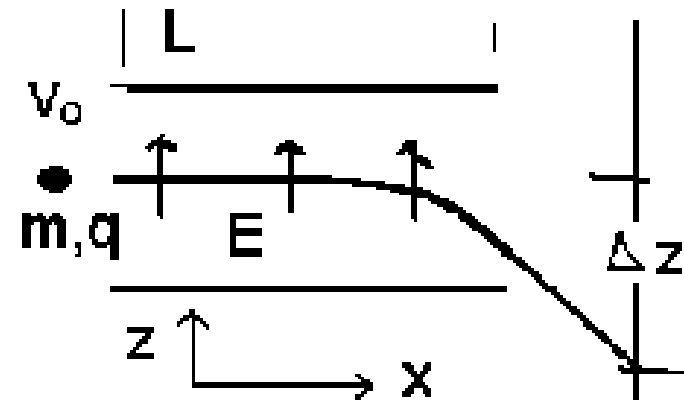


6.9. Ablenkung von Elektronen und Ionen in elektrischen Feldern

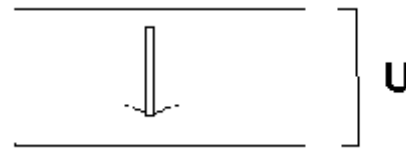
$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

Vergleich mit $m \cdot g$ im Erdfeld!



$$\Delta z(x) = \frac{1}{2} a \cdot t^2 = \frac{q \cdot E}{2 \cdot m} \cdot \frac{x^2}{v_x^2} \quad \text{oder bei } x=L$$

$$\boxed{\Delta z(L) = \frac{E \cdot L^2}{4 \cdot U}} \quad \text{wieso das?}$$



Teilchen im Potentialfeld $\frac{m}{2} v^2 = e \cdot U;$

U %durchfallene%Spannung

daher auch **Elektronenvolt als Energie!**

$$\frac{m}{2} v^2 = e \cdot U \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

7. Der elektrische Strom

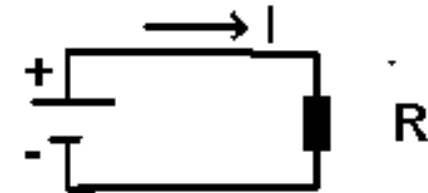
7.1. Stromstärke

Ex: Verschiedene Wirkungen

$$I = \frac{dQ}{dt}; [I] = \text{Ampere}; [Q] = A \cdot s$$

Gleichstrom: I zeitlich konstant: $I = \frac{Q}{t}$

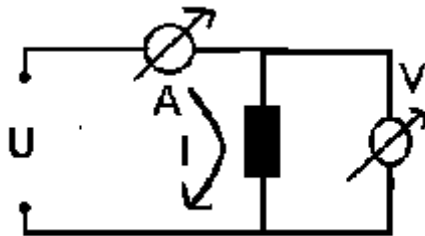
Stromkreis:



R: Widerstand

7.2. Das Ohmsche Gesetz

Zusammenhang Strom \leftrightarrow Spannung



Amperemeter nutzt meistens die magnetischen Wirkungen des Stroms!

Bei vielen Leitern $I \sim U$ oder $I = \frac{U}{R}$

$$[R] = \Omega(\text{Ohm}) = \frac{V}{A}$$

Mikroskopisches Modell
Analog zur Strömungslehre

$$\vec{j} = n \cdot q \cdot \vec{v} = \rho \cdot \vec{v}$$

$$\vec{j} = n \cdot q \cdot \vec{v} = \rho \cdot \vec{v}$$

Zahl der Ladungen pro s durch die Eintrittsfläche

Ladungen pro Vol.* Geschw.

Ladungs-Dichte* Geschw.

Mittlere Geschwindigkeit $\langle \vec{v} \rangle = \frac{1}{n} \sum_k n_k \cdot v_k$ mit $n = \sum_k n_k$

$$\Rightarrow \vec{j} = \rho \cdot \langle \vec{v} \rangle \quad \text{Ladungserhaltung: } \int_A \vec{j} \cdot d\vec{A} = -\frac{dQ}{dt}$$



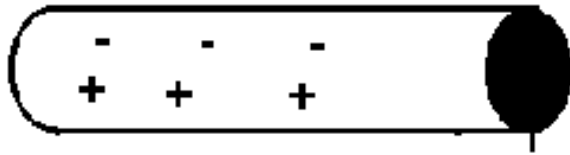
Ladung aus geschlossener Fläche = Abnahme der Ladung im Innern

$$U = I \cdot R \quad L \cdot \vec{E} = \vec{j} \cdot A \cdot \rho_0 \cdot \frac{L}{A}; \rho_0 = \text{spezifischer Widerstand}$$

$$\Rightarrow \vec{E} = \vec{j} \cdot \rho_0; \text{ mit } \frac{1}{\rho_0} = \sigma_0 \text{ (Leitfähigkeit)}$$

$$\Rightarrow \vec{j} = \sigma_0 \cdot \vec{E} = n \cdot q \cdot \langle \vec{v} \rangle; \langle \vec{v} \rangle = \vec{v}_D \text{ (Driftgeschwindigkeit)}$$

Aus dem Ohmschen Gesetz \rightarrow die Driftgeschwindigkeit



Metallgitter

Elektronen + Ionen

Kraft auf e^- : $q = -e$: $q \cdot \vec{E}$

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{q \cdot \vec{E}}{m} \Rightarrow \vec{v} = \frac{q \cdot \vec{E}}{m} \cdot t + \vec{v}_0 (= 0)$$

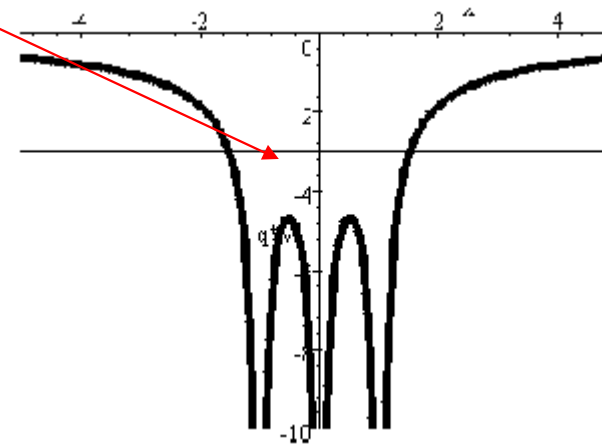
$$\Rightarrow \vec{v}_D = \frac{q \cdot \vec{E}}{m} \tau; \tau =$$

mittlere Zeit zwischen den Stößen

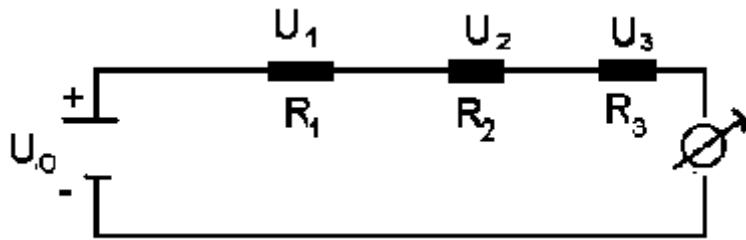
Gültigkeitsbereich $\sqrt{\langle v_e^2 \rangle} \gg v_D$

z.B:Na: $2.5 \cdot 10^{22}$ "freie" Elektronen/cm³

$$\sqrt{\langle v_e^2 \rangle} \approx 10^6 \text{ m/s}; \tau \approx 3 \cdot 10^{-14} \text{ s}$$

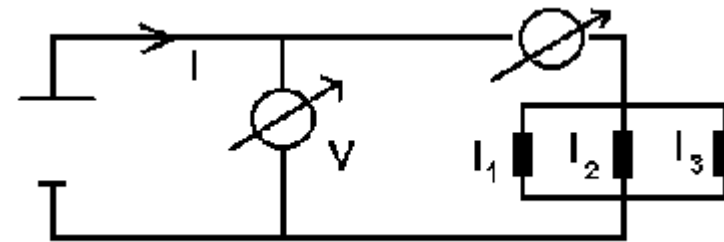


Serienschaltung von Widerständen



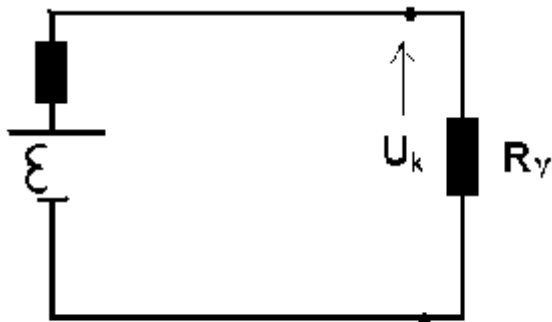
$$U_0 = \sum_i U_i \Rightarrow R = \sum_i R_i$$

Parallelschaltung



$$I = \sum I_i \Rightarrow \frac{1}{R} = \sum_i \frac{1}{R_i}$$

Spannungsquellen: Umwandlung von chemischer oder mechanischer Energie in elektrische Energie



ε : Elektromotorische Kraft,

R_i : Innenwiderstand R_V : Verbraucher

U_k : Klemmspannung,

Normalfall: $I > 0; U_k < \varepsilon$ $\varepsilon = R_i \cdot I + R_V \cdot I; *, R_V \cdot I = U_k$

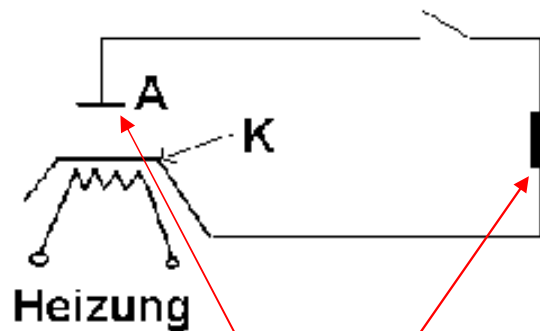
$$\Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{R_i + R_k}$$

oder mit * $U_k = * R_V / R_i + R_k$

Grenzfälle: a) $R_V \rightarrow \infty$ "Leerlauf" $U_k = \varepsilon$

b) $R_V \rightarrow 0$ "Kurzschluß"

Beispiel für EMK: Vakuumröhre: (Druck $\leq 10^{-5} mb$ oder $10^{-3} P$)



Elektronen aus der Kathode K

$E_{kin}^{e^-} \approx kT$ Anoden(A)spannung U_A

Wächst bis $E_{kin} \approx e \cdot U_A \Rightarrow$

$I = \frac{U_A}{R}$ Strom getrieben durch "elektromotorische" Kraft

$\approx 20\%$ effizient! EX:Innenwid.,NTC

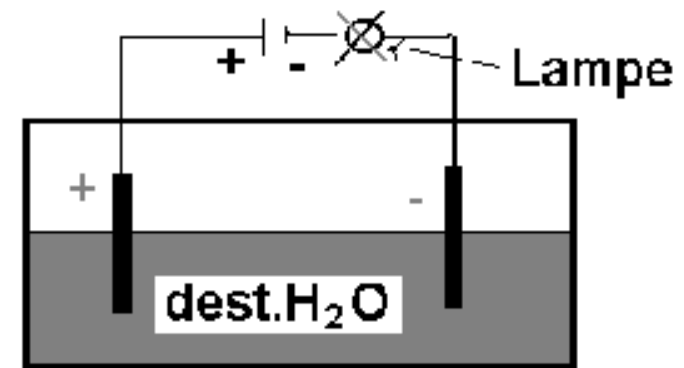
7.3. Elektrolytische Stromleitung

Leitfähigkeit von Flüssigkeiten

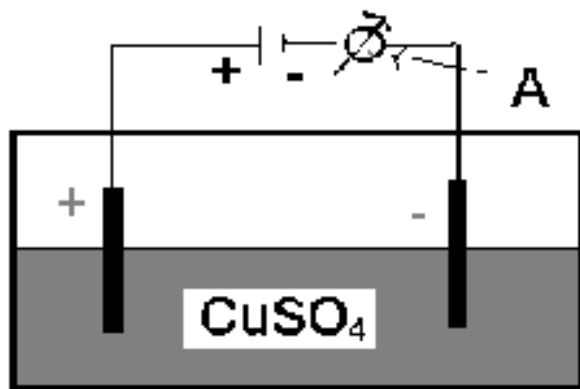
Elektroden: + Anode, - Kathode

a) Dist. Wasser → "Kein" Strom

b) NaCl-Zugabe → Lampe leuchtet auf



Galvanisieren:



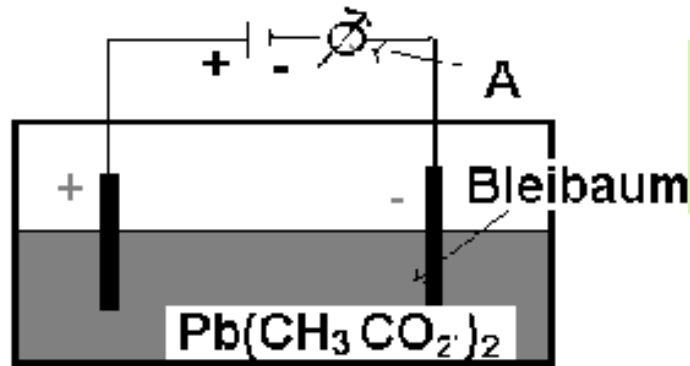
Beobachtung: a) Es fließt Strom

b) An der Anode entsteht Gas (hier O₂)

c) Auf der Kathode schlägt sich Kupfer nieder

CuSO₄ -Lösung

Exp.: "Bleibaum"



Bleiazetatlösung, Elektroden
aus Blei

Fazit aus den Experimenten:

a) Lösungen von Stoffen ("Elektrolyte")
können Strom leiten

b) Ladungstransport ist verbunden
mit Materietransport

Faradaysche Gesetze

1. Die abgeschiedene Stoffmasse M ~ der durchgegangenen

Ladung $Q = I \cdot t$, d.h.: $M = k \cdot I \cdot t$

mit k als elektrochemischen Äquivalent, für Silber z.B:

$$1.118 \cdot 10^{-3} \text{ g/C}$$

d.h.: bei einem Strom von 1 A werden 1.118 mg Silber
in einer Silbernitratlösung pro Sekunde abgeschieden

2. Gleiche Elektrizitätsmengen (Q) scheiden in verschiedenen Elektrolyten chemisch äquivalente Mengen ab.

1 Grammäquivalent \approx 1 Grammatom/Wertigkeit

Beispiel:

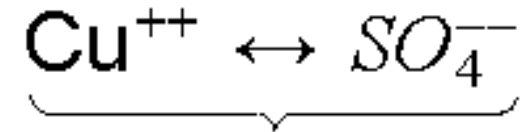
	Ag	Cu
1 Grammatom	107.9g	63.6g
Wertigkeit	1	2
1 Grammäquivalent	107.9g	31.9g

Um ein Grammäquivalent auszuscheiden benötigt man immer die gleiche Ladung:

$F=96484$ C/Grammäquivalent
Faraday-Konstante

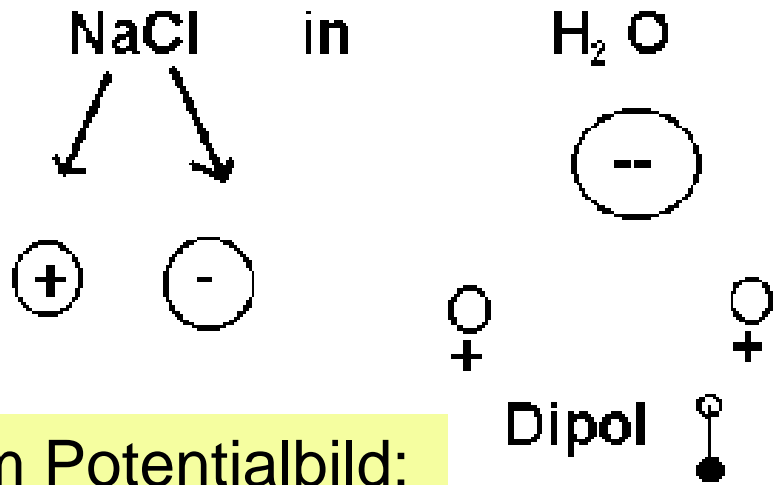
Lösungen: Erklärung: Beispiel CuSO₄ (Kristall)

heteropolare Bindung

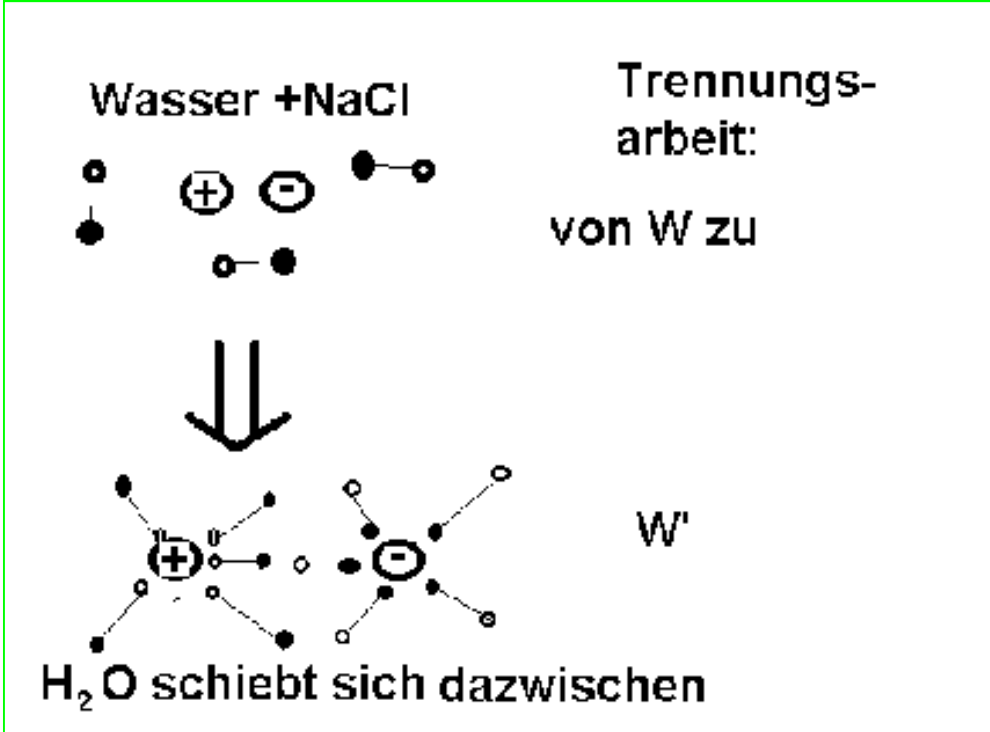
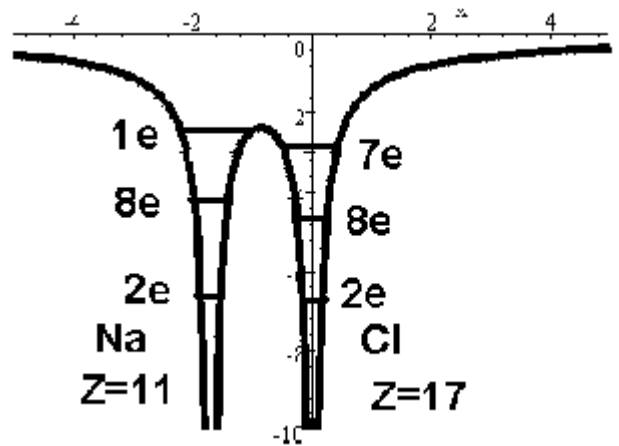


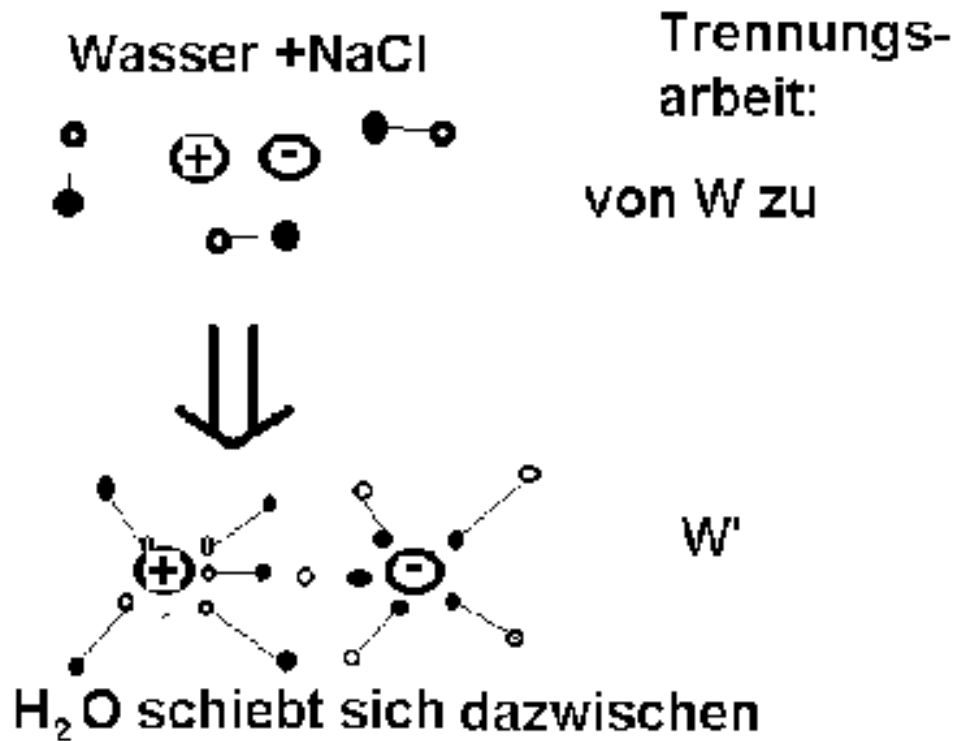
oder NaCl: $\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{Cl}^-$

Was passiert?



Im Potentialbild:





$$W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r_0}$$

$$\text{für } r_0 \simeq 2 \cdot 10^{-10} m$$

$$\text{zu } W' = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \cdot \epsilon} \cdot \frac{e^2}{r_0}$$

$$\epsilon(H_2O) \approx 80$$

$$W' \simeq 10^{-20} J$$

Thermische Energie der Ionen:

$$\frac{3}{2}kT \approx 6 \cdot 10^{-21} J \Rightarrow \text{"leicht" Dissoziation!}$$

Für Abschätzungen:

1eV	$\simeq 1.6 \cdot 10^{-19} J$
	$\simeq 11600 K$

Bei Zimmertemperatur $\simeq \frac{1}{40} eV$

Ebenso für Cu^{++}, SO_4^{--}

Bei angelegtem Feld:

$Cu^{++} \rightarrow$ Kathode: "Kationen"

$SO_4^{--} \rightarrow$ Anode: "Anionen"

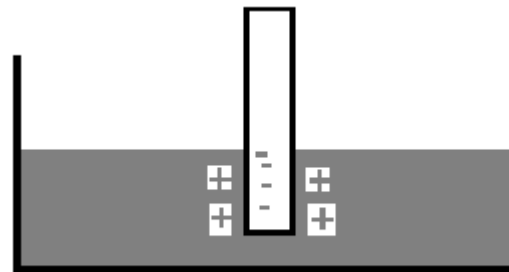
Prozesse an den Elektroden:

Kathode: $\Rightarrow Cu^{++} + 2e$

schlägt sich als neutrales
Kupferatom nieder

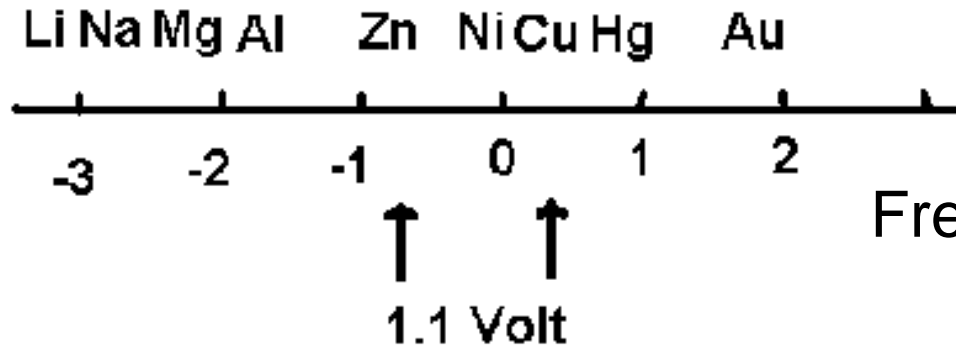
Anode: $\rightarrow H_2O$ - Molekül dissoziiert H_2SO_4 bleibt in Lösung!

Auflösung von Metallen:
Hier gibt es keine freien
Elektronen!



An den Grenzflächen: Starkes Potential, je nach Element
verschieden: Lösungstension!

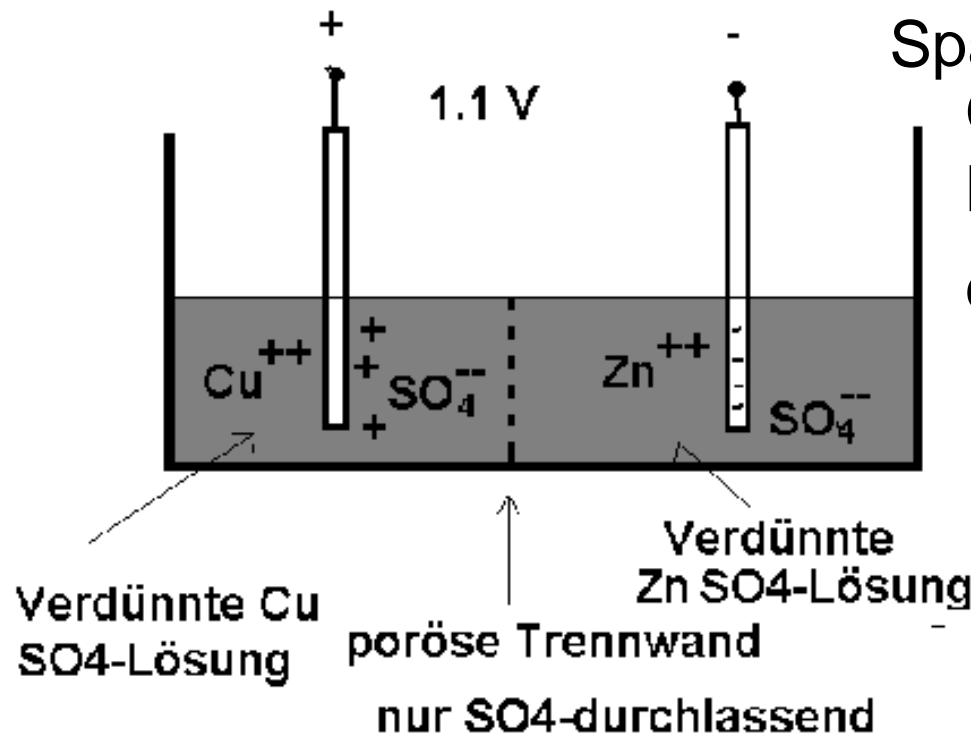
Ein Maß dafür ist die elektrochemische Spannungsreihe!



z.B.: Daniell-Element

Frei wird chemische Energie!

⇒ Batterie



Spannung am Daniell-Element
Galvanisches Element:

Liefert in $t \cdot s$

eine Ladung $I \cdot t : I \cdot t = 96484C$

1 Grammäquivalent
des Materials der neg.
Elektrode geht in Lösung

Zn^{++} , 1 Grammäquivalent
scheidet sich ab

$$\text{Energie} = \underbrace{\frac{1}{2}(\text{Zn}, \text{SO}_4, \text{H}_2\text{O}) - \frac{1}{2}(\text{Cu}, \text{SO}_4, \text{H}_2\text{O})}_{\text{chemische Bindungs- bzw. Trennwärme}}; \frac{1}{2}$$

chemische Bindungs- bzw. Trennwärme wegen ++

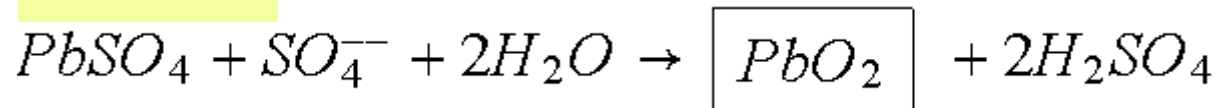
$$= (53045 - 27980) \text{ cal} = 25065 = 25065 \cdot 4.18 = 1.0477 \times 10^5 \text{ Ws}$$

$$\Rightarrow \text{Spannung } U = \frac{1.0477 \times 10^5}{96484} = 1.0859 \text{ V}$$

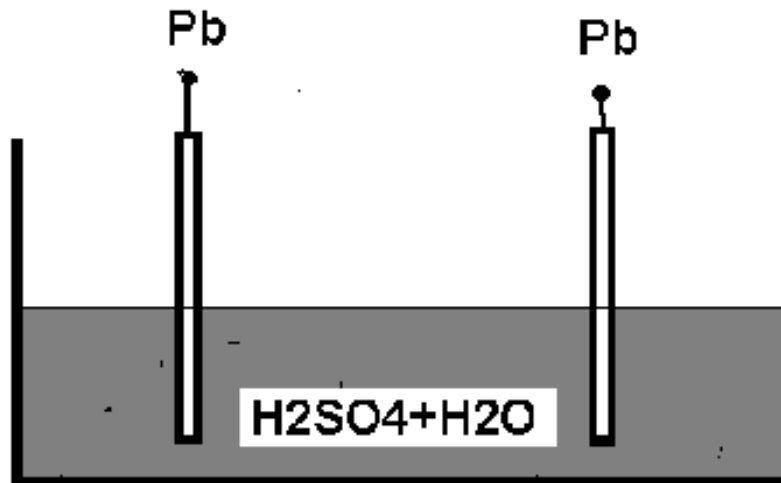
Bleibatterie:

Oberfläche: $\text{Pb} \rightarrow \text{PbSO}_4$; Spannung = 0

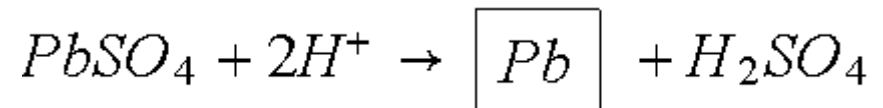
Anode:



Laden: Spannung = 2.4 V



Kathode:

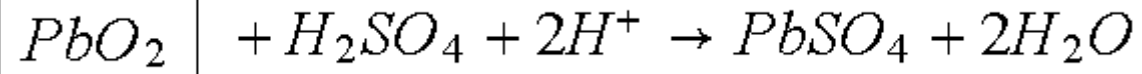


ungleiche Elektroden \Rightarrow

Spannungsquelle: 2V

Entladen:

Anode:



Kathode:

