

What comes down must go up

Eine einheitliche Beschreibung der
Wasserstoff-Brennstoff-Zelle und des
Thermoelements

Michael Pohlig
WHG-Durmersheim – Didaktik der Physik
an der Uni-KA

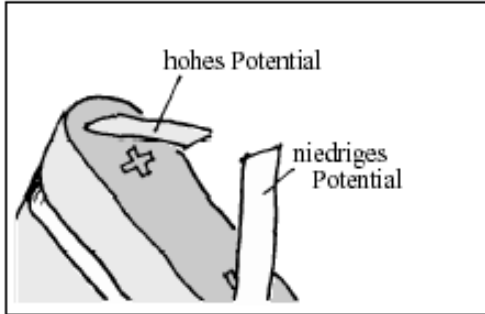
michael@pohlig.de

What goes up, must come down.

What comes down, must go up.

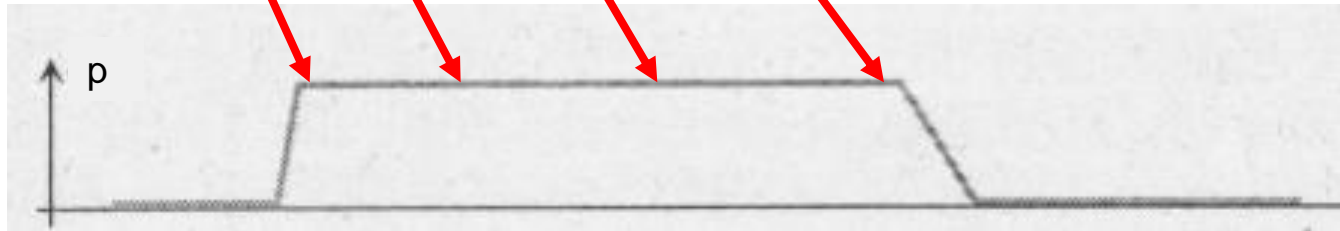
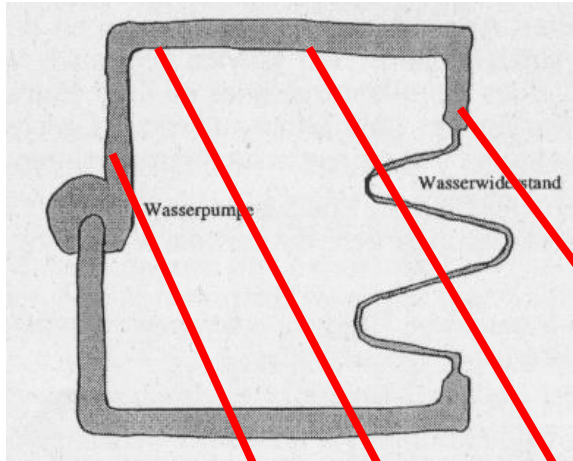


Was treibt einen elektrischen Strom an?

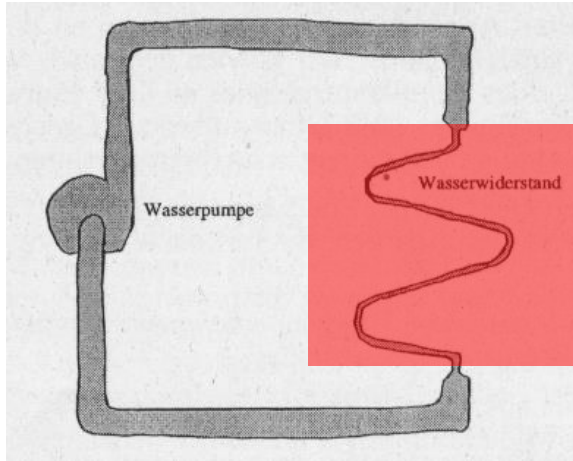


Elektrizität strömt freiwillig von Stellen höheren zu Stellen tieferen Potentials (el. Feld)

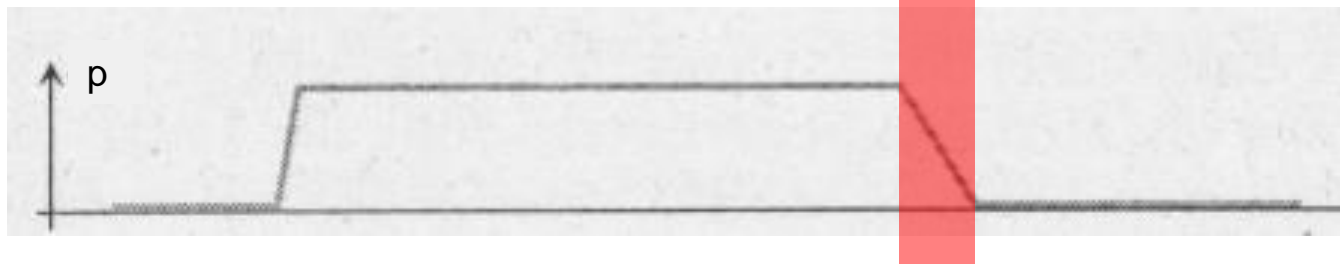
Wasser-Stromkreis



Wasser-Stromkreis



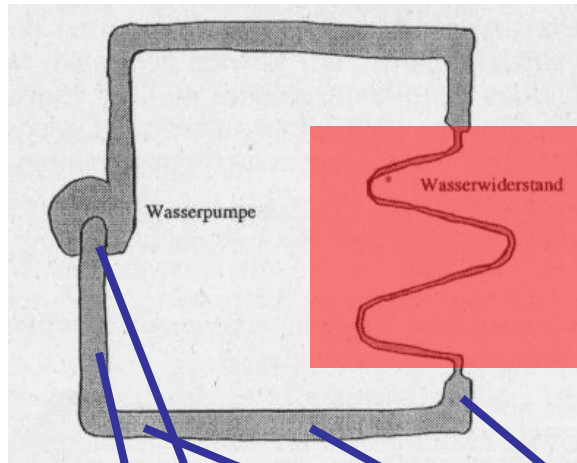
What comes down...



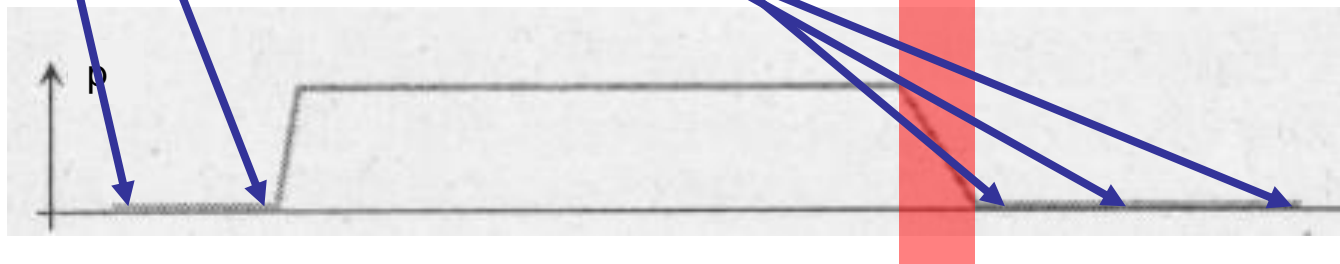
29.06.2013

What comes down, must go up

Wasser-Stromkreis



What comes down...

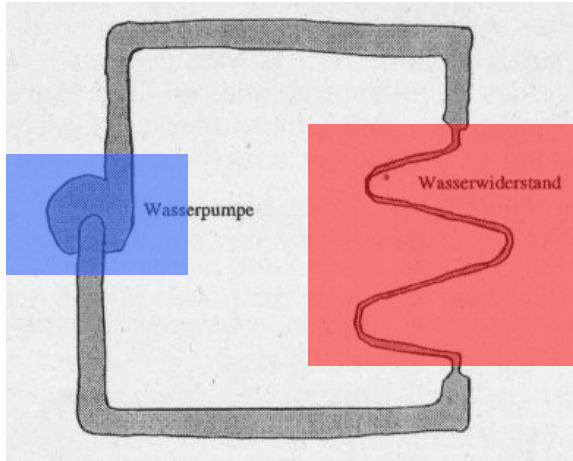


29.06.2013

What comes down, must go up

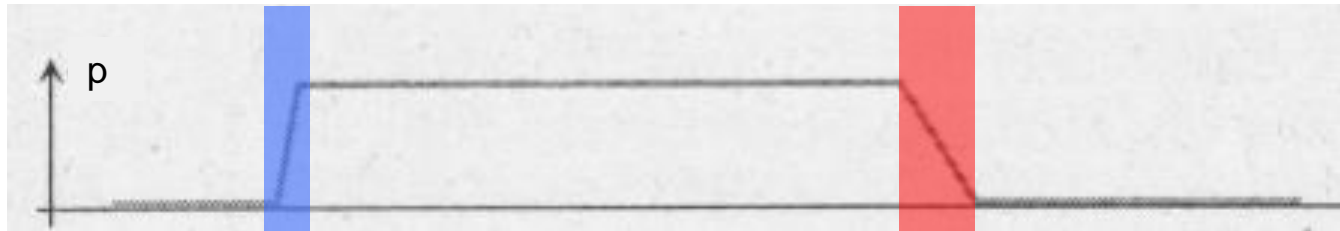
physics meets chemistry

Wasser-Stromkreis

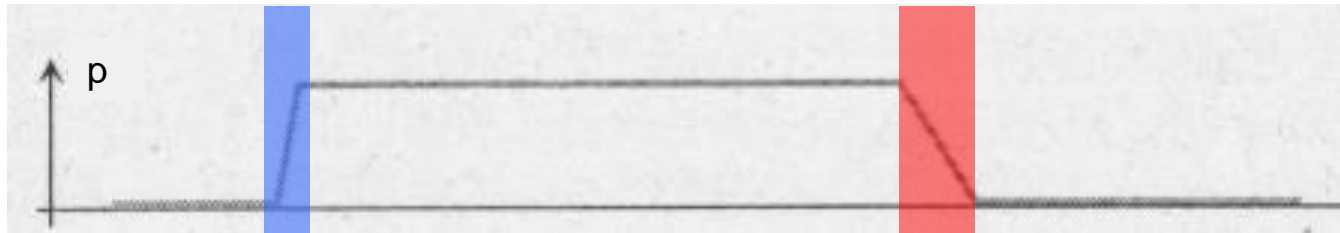
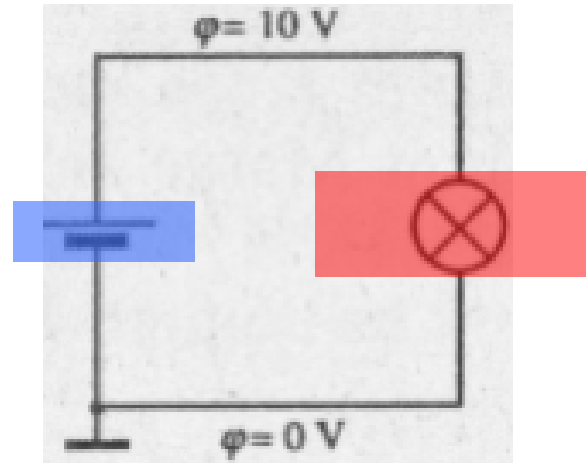
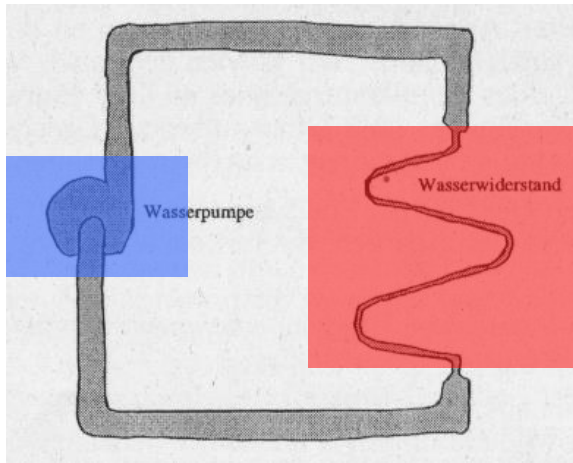


What comes down...

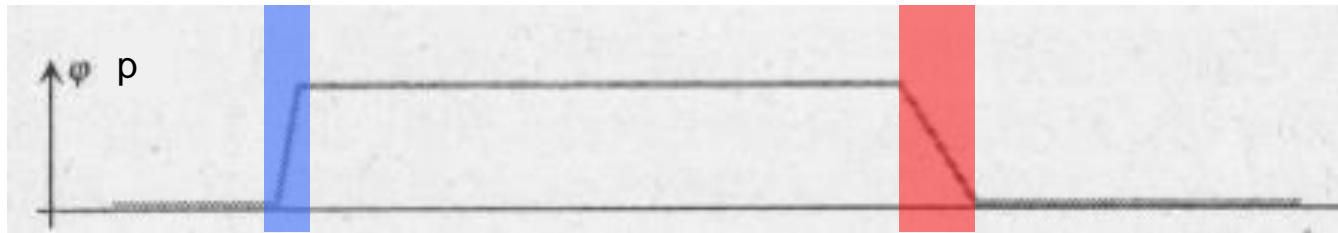
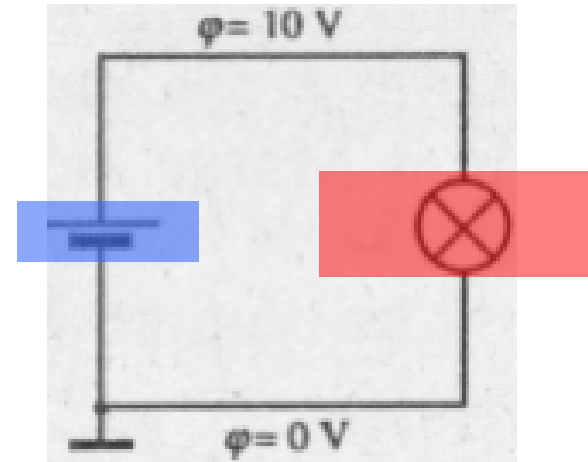
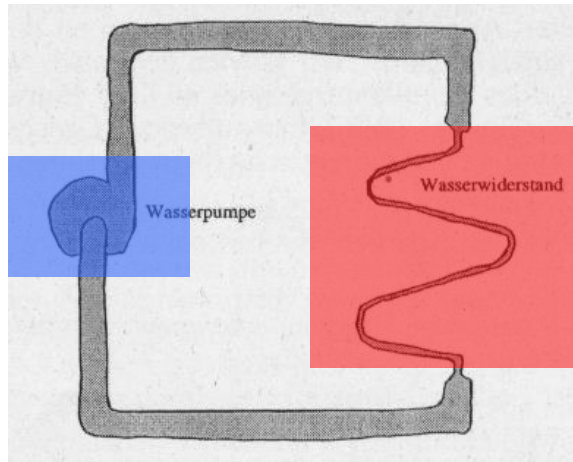
... must go up



elektrischer-Stromkreis



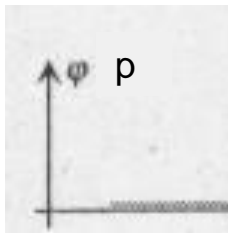
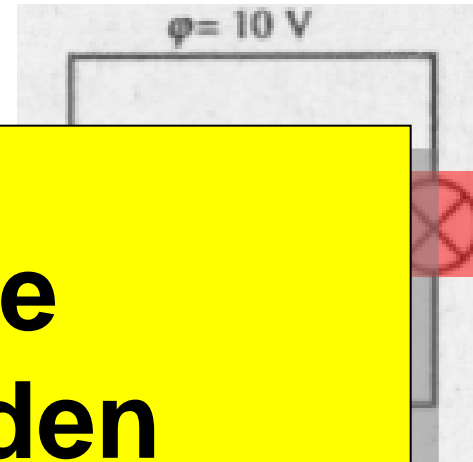
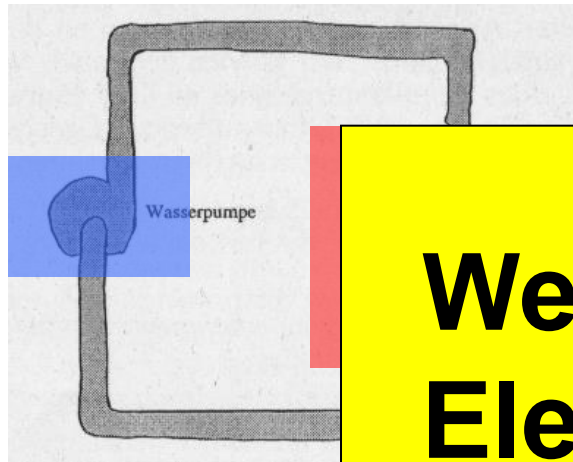
elektrischer-Stromkreis



In einer **Pumpe** strömt **Wasser** den **Druckberg** hoch.

In einer **Batterie** strömt **Elektrizität** den **Potenzialberg** hoch.

elektrischer-Stromkreis

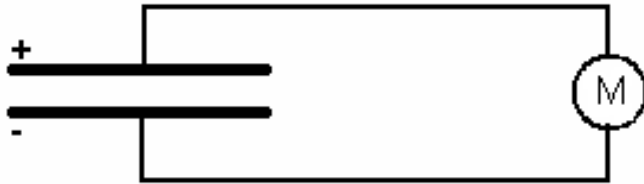


**Wer zieht die
Elektrizität den
Potenzialberg
hoch?**

In einer **Pu**

In einer **Batterie** strömt **Elektrizität** den **Potenzialberg** hoch.

Ein etwas ungewöhnlicher Stromkreis



Kondensator
mit großer
Kapazität

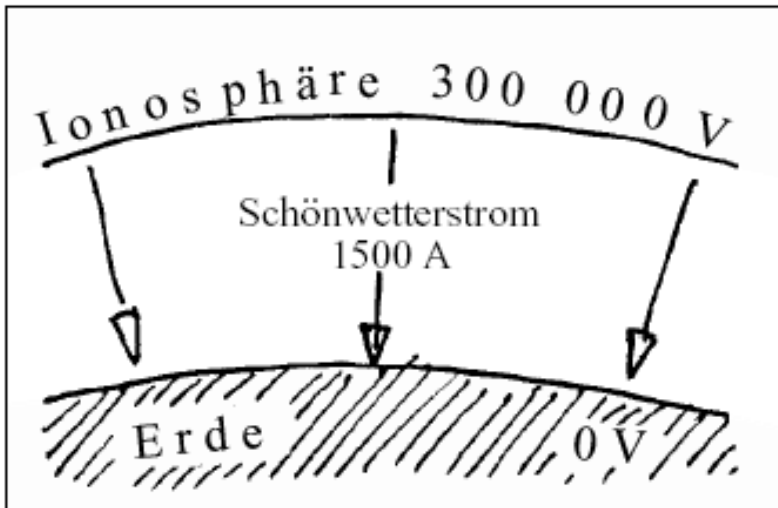
Ein derartiger
Stromkreis ist gar
nicht so
ungewöhnlich!

Der Vorgang endet nach einer gewissen Zeit, wenn nicht...

- Elektrizität wird mit einem Träger transportiert.
- Suche einen Träger, für den es innerhalb des Kondensators einen Antrieb von der unteren zur oberen Platte gibt.
- Dann dreht sich der Motor weiter.



Erde als Kugelkondensator



Die Leitfähigkeit der Atmosphäre in Bodennähe ist sehr gering und nimmt in großen Höhen (Ionosphäre) stark zu.

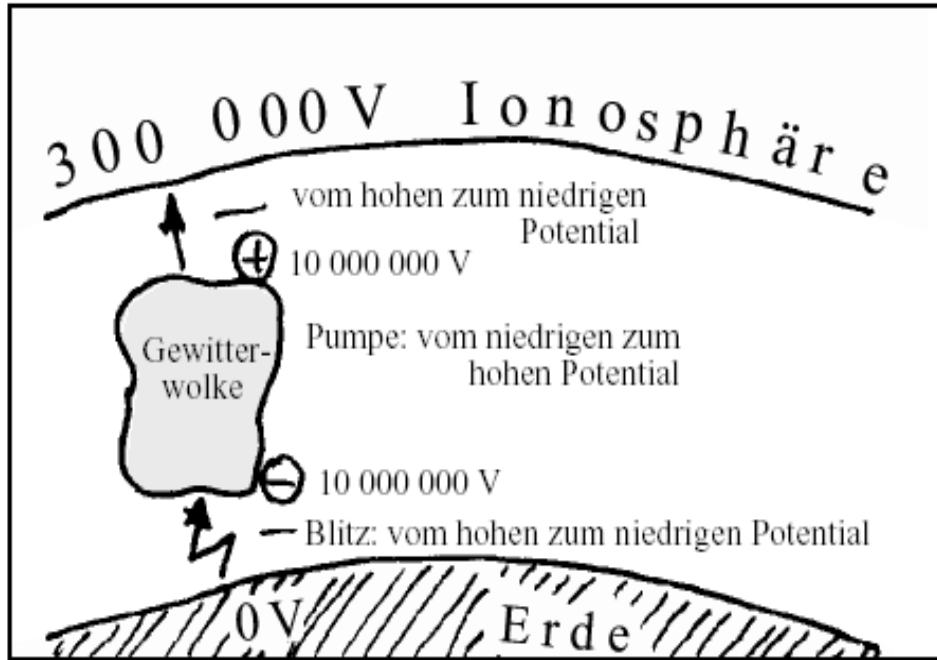
Ionosphäre und Boden wirken als Platten eines riesigen Kondensators

Die Luftschicht zwischen den Platten hat einen Widerstand von ca. 200Ω .

Stromdichte = $9 \cdot 10^{-12} \text{ A/m}^2$

Welcher Mechanismus lädt den Kondensator?

Ladevorgang des Erd-Kugelkondensators



Gewitterwolken sind ein Bestandteil des Ladevorgangs

In der Wolke:
Wassertröpfchen und Eiskristalle.

kleine Körper tragen **positive**
große Körper **negative** Ladung.

Starke Winde tragen die positiv geladenen Teilchen nach oben – die schweren negativen fallen als große Tropfen, Graupel oder Hagel nach unten.

Positive Ladung strömt über die gut leitende Schicht in die Ionosphäre. In Blitzen strömt Ladung von der Erde zum unteren Teil der Wolke.



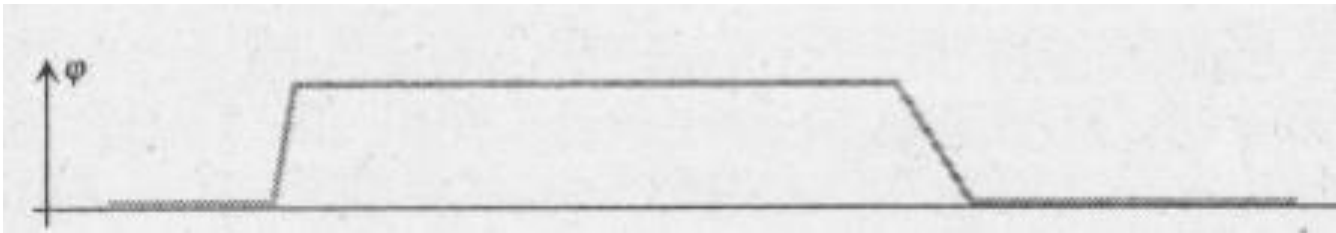
physics meets chemistry

<http://elf.gi.alaska.edu>



Erste Folgerungen

Um einen Stromkreis zu verstehen, **reicht es nicht die elektrische Ladung allein** zu betrachten.



Dass el. Ladung den Potenzialberg 'hochläuft', setzt voraus, dass sie an Teilchen gebunden ist: **Ladungsträger**

Ladungsträger tragen neben el. Ladung noch weitere Größen: **Masse, Impuls, Entropie, Drehimpuls, Stoffmenge, ...**

Neben einem el. **Ladungsstrom** haben wir immer noch einen **Massenstrom, Impulsstrom, Entropiestrom, Drehimpulsstrom, Stoffmengenstrom, ...**

Wer zieht am Ladungsträger?

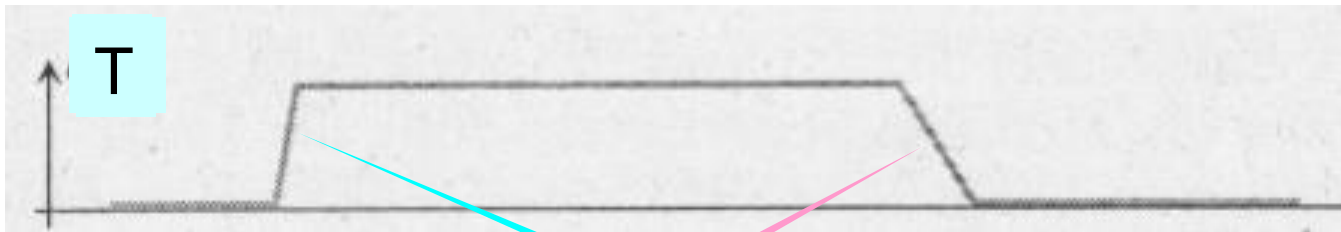
An wem wird gezogen?	Zugehöriges Potenzial	Wer zieht? – Gradient
Q	φ	des elektrischen Potentials
m	$gh^{5)}$	des Gravitationspotentials
S	T	der Temperatur
n	μ	des chemischen Potentials

Nütze in einer elektrischen Energiequelle den Antrieb für eine andere mengenartige Größe des Ladungsträgers.

Aber!

Aber...

was für die Elektrizität gilt, gilt auch für die anderen mengenartigen Größen und ihre 'Potenziale'.



What comes down, must go up

Das zweite Gefälle darf nur auf einem Teil des Weges wirksam sein, nämlich dort, wo die Ladungsträger zu höherem el. Potenzial wandern sollen → Gewitterwolke

Die Energiequellen dieses Vortrags

Was wir an Prinzipien über den Strom und seinen Antrieb in der Atmosphäre gelernt haben, lässt sich auf andere el. Energiequellen übertragen.

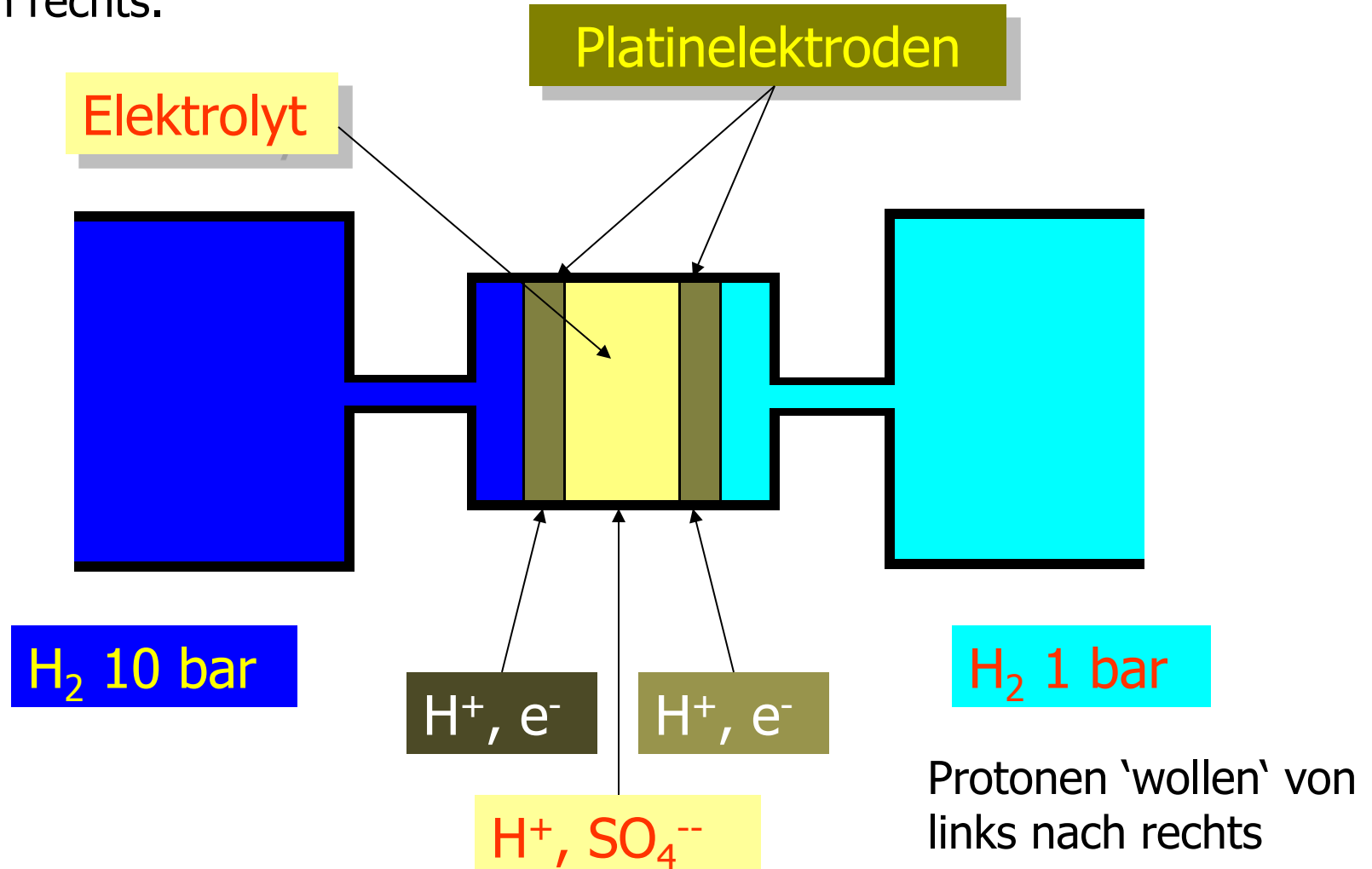
Energiequelle	Lokaler Antrieb
Elektrochemische Zelle	chem. Potenzialunterschied
Thermoelement	Temperaturunterschied
Solarzelle	chem. Potenzialunterschied

chem. Potenzial:
Konzentration der
Stoffmenge

physics meets chemistry

Variante 1: Wasserstoff-Druckzelle (1)

Wasserstoff 'will' von links nach rechts.



physics meets chemistry

Protonen 'wollen' von links nach rechts

Variante 1: Wasserstoff-Druckzelle (2)

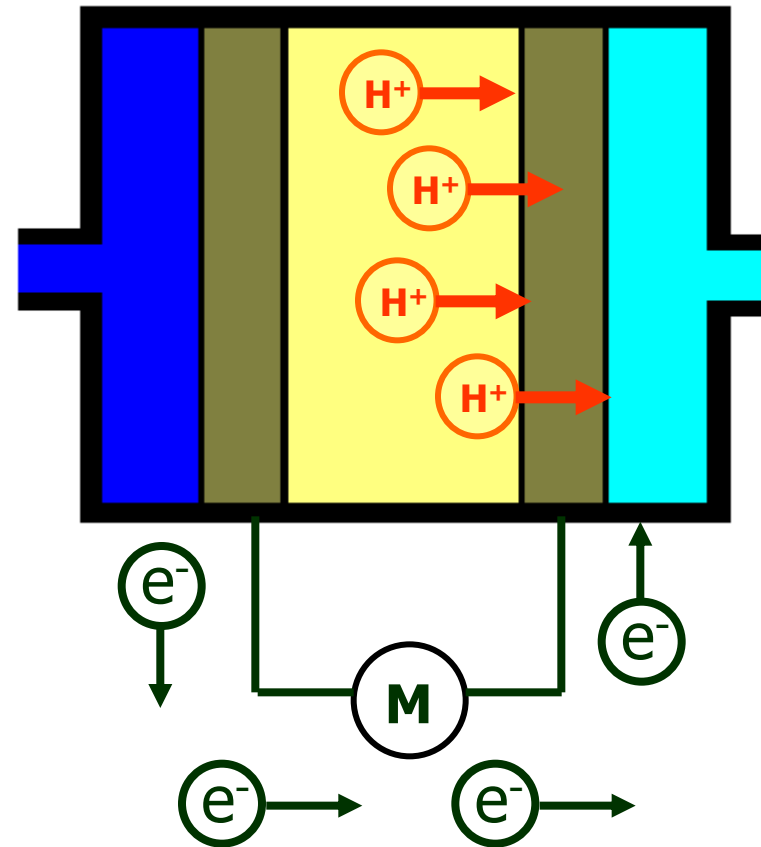
**Elektrolyt ist selektiver
Leiter:**

**leitet Protonen
leitet Elektronen nicht**

**Kupfer ist selektiver
Leiter:**

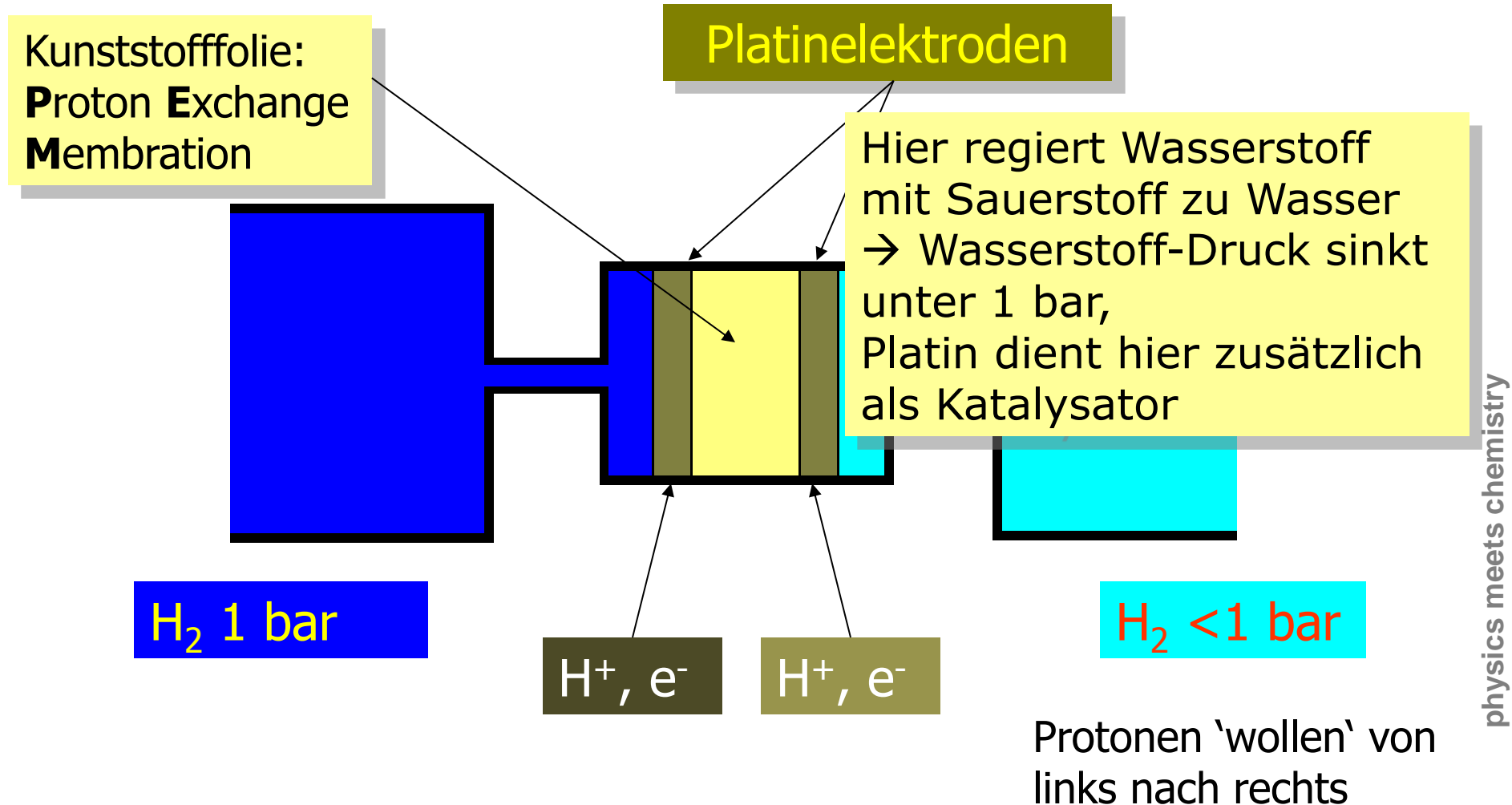
**leitet Protonen nicht
leitet Elektronen**

**Die Wasserstoff-
Druckzelle gibt es nicht,
aber sie macht vieles
klar.**



Variante 2: Wasserstoff-Sauerstoff-Brennzelle

Wasserstoff 'will' von links nach rechts.





100.8164 € 249,00

physics meets chemistry

Variante 2: Wasserstoff-Sauerstoff-Brennzelle

Die zweite mengenartige Größe die das Geschäft des Antriebs in der Energiequelle macht, ist die **Stoffmenge** (H^+), der Antrieb für sie ist das **chem. Potenzial** (Dichte).
Kopplung von elektrischer Ladung an Stoffmenge geht über das 'Erzeugen' und 'Vernichten' von Protonen. **Stoffmenge ist keine Erhaltungsgröße.**

Thermoelement

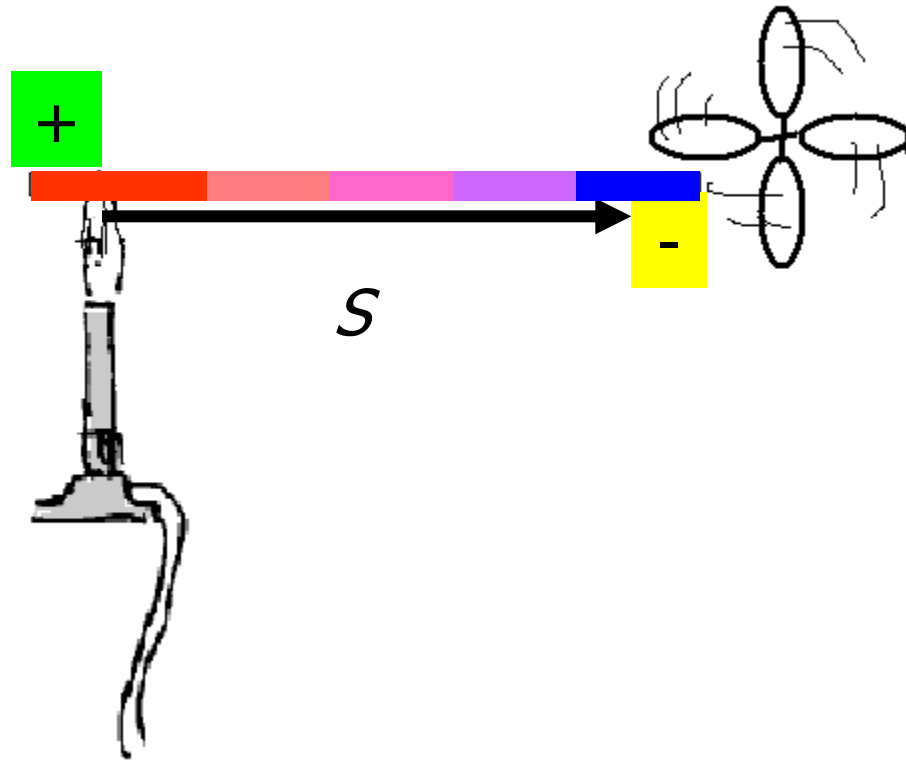
Bisher:

Ladungsträgerstrom in der Energiequelle gekoppelt an einen **Stoffmengentransport**, der von einem Konzentrationsgefälle (**chem. Potenzialgradient**) angetrieben wurde.

Jetzt:

Ladungsträgerstrom in der Energiequelle gekoppelt an einen **Entropietransport**, der von einem **Temperaturgefälle** angetrieben wird.

Kopplung der Ladungsträger (Elektronen) an die Entropie



Der Entropiestrom ist (schwach) auch an die Elektronen gekoppelt. Er versucht die **Elektronen samt ihrer Ladung**, Masse, Stoffmenge etc. mitzunehmen.

Es entsteht ein el. Feld (el. **Potenzialgefälle**) entlang dem Leiter und dieser Gegenantrieb **stoppt** den **Ladungsträgertransport**.

Entropie **fließt** aber **weiter!**

Modell



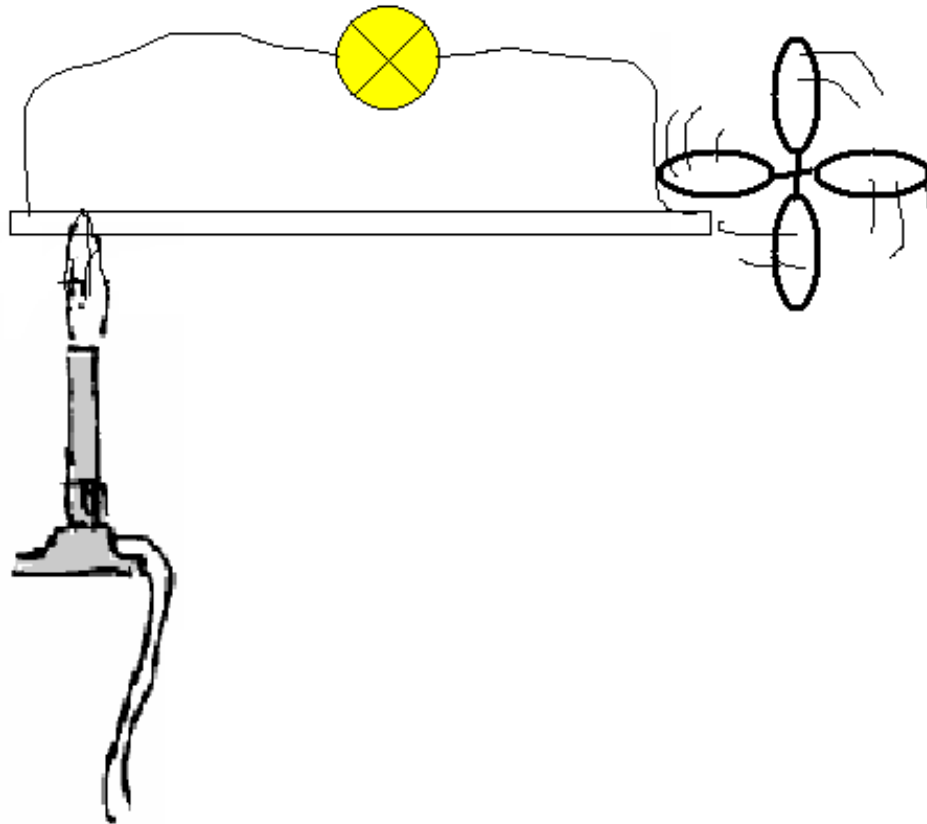
Hände \leftrightarrow Entropie

Seil \leftrightarrow el. Ladungsträger

physics meets chemistry

Erster Versuch

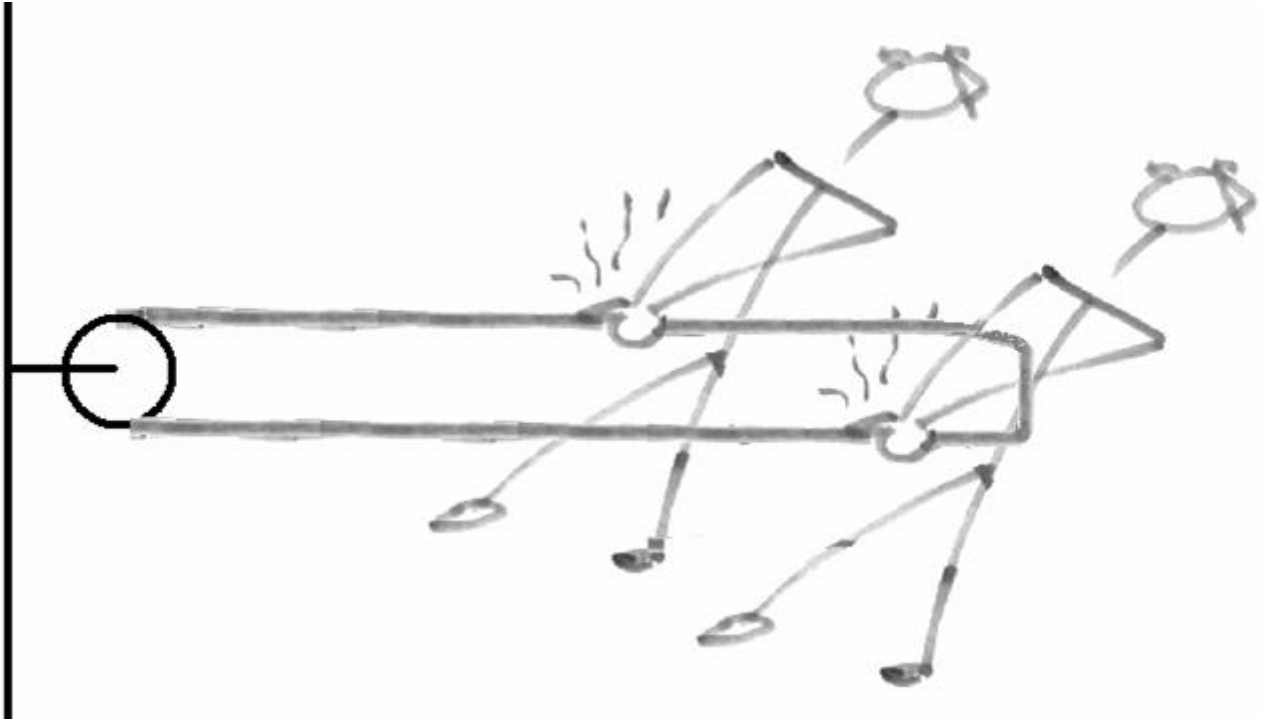
??



Ein Draht zurück behebt den Stau. Die Entropie kann gekoppelt an Elektronen weiter fließen

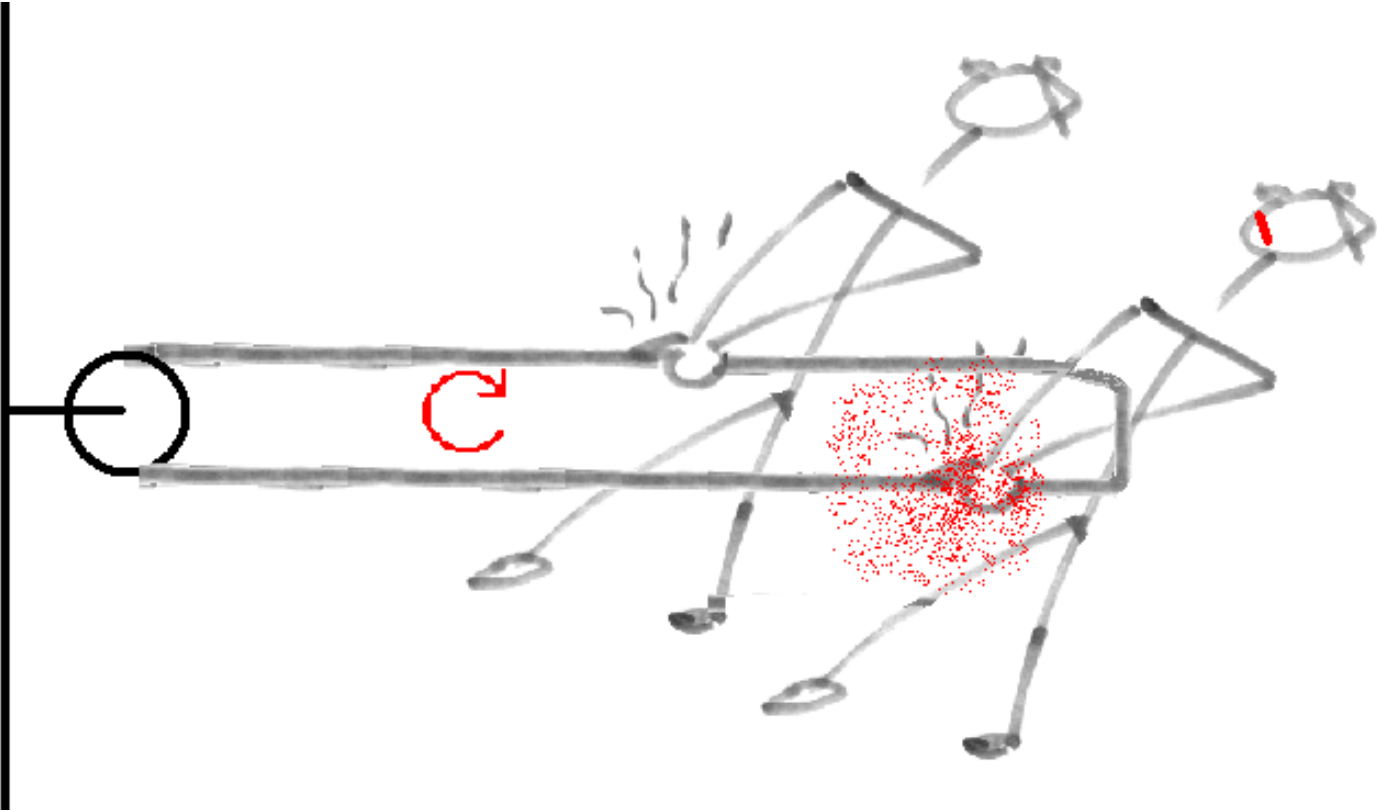
Wir erinnern uns:
Was für die el. Ladung gilt, gilt nun auch für die Entropie, sie müsste wieder den 'Berg' hoch.

Modell II



physics meets chemistry

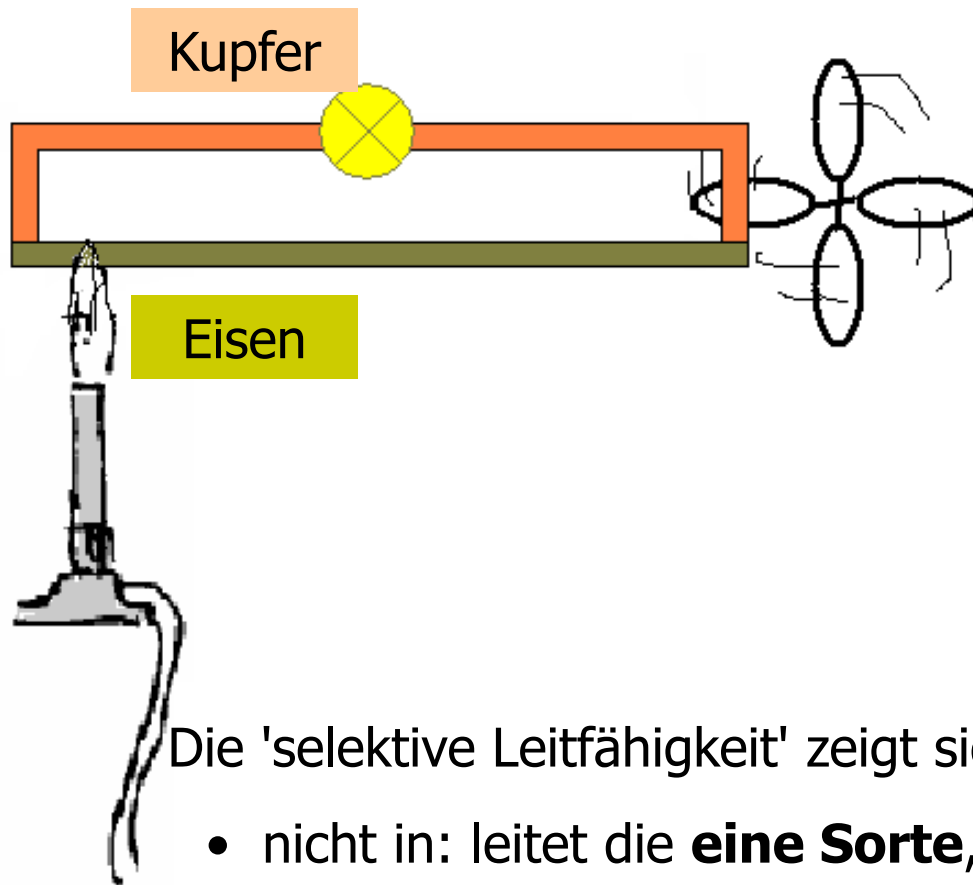
Modell III



physics meets chemistry



Fertiges Thermoelement



Verwende **zwei Materialien**, die sich darin unterscheiden, dass die **Kopplung** der **Entropie** an die **Elektronen unterschiedlich** stark ist.

In **Eisen** zieht die Entropie **fast 10 mal** so stark an den Elektronen als in **Kupfer**

Die 'selektive Leitfähigkeit' zeigt sich jetzt

- nicht in: leitet die **eine Sorte**, leitet die **andere Sorte** nicht.
- sondern in: 'leitet' die **gleiche Sorte** in der einen Umgebung besser, in der anderen schlechter.

What comes down must go up

Eine einheitliche Beschreibung der
Wasserstoff-Brennstoff-Zelle und des
Thermoelements

Vortrag als Aufsatz in PdN
Physik Heft 2/55 März 2006

