

πάντα ῥεῖ alles fließt
Karlsruhe 18.12.2012

Konvektive und konduktive Ströme

*Peter Schmäzle
Staatliches Seminar für Didaktik und
Lehrerbildung (Gymnasien) Karlsruhe
p_schmaelzle@web.de*

Traditionell übliches Vorgehen in der Wärmelehre:

Unterscheidung zwischen

„drei Arten des Wärmetransports“

Wärmeleitung – Konvektion – Wärmestrahlung

Wärmeleitung – Konvektion – Wärmestrahlung

Blick in aktuelle Schulbücher:

Dorn-Bader (9/10):

Wärmeleitung: „Energie wandert durch Materie“

Konvektion: „Energie wandert mit Materie“

Temperaturstrahlung: „Energiefluss ohne Materie“

Wärmeleitung – Konvektion – Wärmestrahlung

Blick in aktuelle Schulbücher:

Spektrum (9/10):

Energietransport durch

- **Leitung:** „Bei Leitung wird die Energie innerhalb des Körpers übertragen, ohne dass Stoff transportiert wird“
- **Mitführung** (Konvektion): „Bei Konvektion wird Energie von strömenden Flüssigkeiten oder Gasen mitgenommen“
- **Strahlung:** „Bei Strahlung gelangt Energie ohne Mitwirkung eines Stoffes von einem Ort zu einem anderen“

Wärmeleitung – Konvektion – Wärmestrahlung

Blick in aktuelle Schulbücher:

Impulse (9/10):

Energieleitung: „Energie strömt durch Materie hindurch“

Energiemitführung: „Energietransport zusammen mit Materie“
(Konvektion)

Energiestrahlung: „Energie kann auch ohne Materie als Träger transportiert werden“

Energietransport durch Leitung, Konvektion, Strahlung

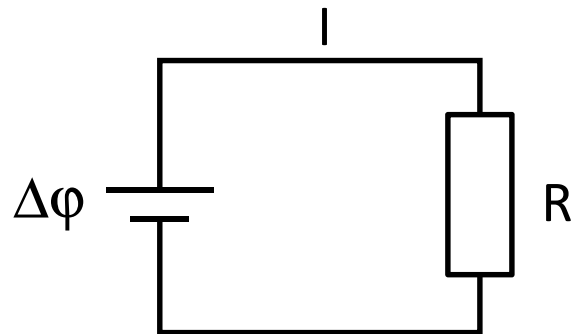
- Der Energie kommt eine Sonderrolle zu!
- Bei Übertragungen und Strömen anderer Größen wird nicht zwischen unterschiedlichen Arten der Übertragung unterschieden.

Ziel meines Vortrags:

Auch bei Strömen anderer Größen ist eine Unterscheidung verschiedener Arten der Übertragung möglich.

Dadurch lassen sich Gemeinsamkeiten erkennen und gewinnbringende Analogien nutzen.

Blick auf andere Ströme



Antrieb

$$\Delta\varphi = U$$

Stromstärke

I

Widerstand

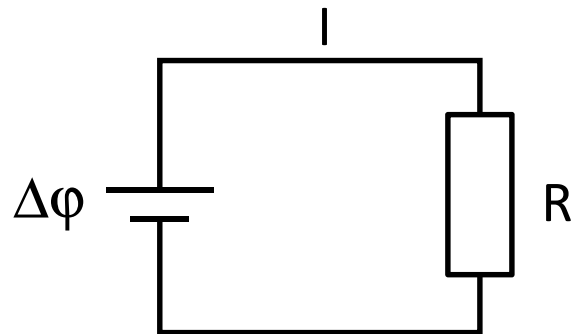
R

$$U = R \cdot I$$

Anschauliche Modellvorstellung:

Antrieb – Strom – Widerstand

Blick auf andere Ströme



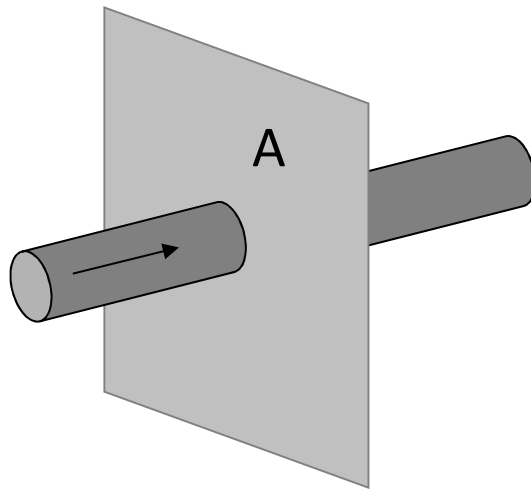
Antrieb	$\Delta\varphi = U$
Stromstärke	I
Widerstand	R

$$U = R \cdot I$$

Lokale Interpretation im Sinne von Ursache und Wirkung:

$\text{grad } \varphi$ ist die Ursache für \vec{j}_Q

Ladungsstrom



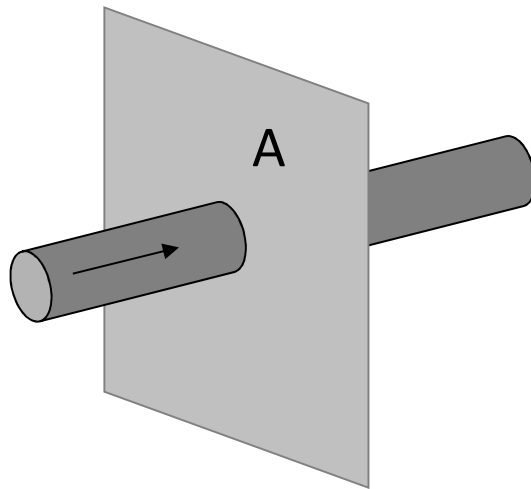
Antrieb	$\text{grad } \varphi$
Stromdichte	\vec{j}
Leitfähigkeit	σ

$$\vec{j} = \sigma \cdot \text{grad } \varphi$$

Lokale Interpretation im Sinne von Ursache und Wirkung:

$\text{grad } \varphi$ ist die Ursache für \vec{j}_Q

Ladungsstrom



Antrieb $\text{grad } \varphi$
 Stromdichte \vec{j}
 Leitfähigkeit σ

$$\vec{j} = \sigma \cdot \text{grad } \varphi$$

Mengenartige Größe	elektrische Ladung	Q
Stromdichte		\vec{j}_Q
zugehörige intensive Größe	elektrisches Potenzial	φ
Leitfähigkeit		σ_Q

Verallgemeinerung

Allgemein: Strom einer mengenartigen Größe X
mit zugehöriger intensiver Größe ξ

Oft gehört zu einem X -Strom ein ξ -Gefälle:

Anschauliche Deutung:

Antrieb für den X -Strom ist eine ξ -Differenz

Lokale Interpretation im Sinne von Ursache und Wirkung:

$\text{grad } \xi$ ist die Ursache für \vec{j}_X

Ströme, die sich so beschreiben lassen, werden
nachfolgend **konduktive Ströme** genannt.

Beispiel: Konduktive Entropieströme

Mengenartige Größe: Entropie S
zugehörige intensiver Größe: absolute Temperatur T

Kennzeichen eines konduktiven Entropiestroms:

Ein Temperaturgradient lässt sich als Ursache dieses Entropiestroms deuten.

Beispiel: Entropiestrom durch die Wand eines Heizkörpers bei der Zentralheizung

→ „~~Wärmeleitung~~“ gehört dazu!

Besser: Entropieleitung

Beispiel: Konduktiver Mengenstrom

Mengenartige Größe: Stoffmenge n
zugehörige intensiver Größe: chemisches Potenzial μ

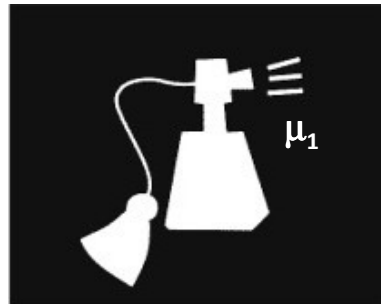
Materiestrom durch Pipeline



Beispiel: Konduktiver Mengenstrom

Mengenartige Größe: Stoffmenge n
zugehörige intensiver Größe: chemisches Potential μ

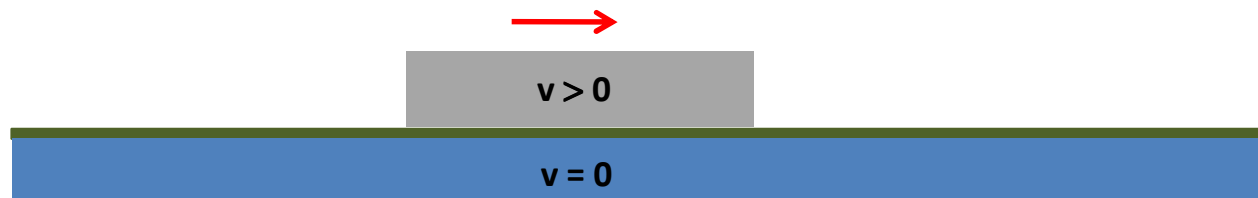
Diffusionsvorgänge



Beispiel: Konduktiver Impulsstrom

Mengenartige Größe: Impuls p
zugehörige intensiver Größe: Geschwindigkeit v

Abbremsvorgang durch Reibung:



Kennzeichen konduktiver Ströme

Gemeinsamkeit der bisherigen Beispiele:

- es ist ein Antrieb vorhanden
- es ist eine „leitende Verbindung“ vorhanden
- der Vorgang ist dissipativ

Mengenartige Größe	X
Stromdichte	\vec{j}_X
zugehörige intensive Größe	ξ
Leitfähigkeit	σ_ξ

$$\vec{j}_X = \sigma_X \cdot \text{grad } \xi$$

Begriffsklärung: **Konvektive Ströme**

Erinnerung: Bei Energieübertragungen steht Konvektion für
„Mitführung der Energie durch einen Materiestrom“

Auch andere mengenartige Größen können durch Mitführung von
einem Ort A zu einem anderen Ort B gelangen.

Begriffsklärung: **Konvektive Ströme**

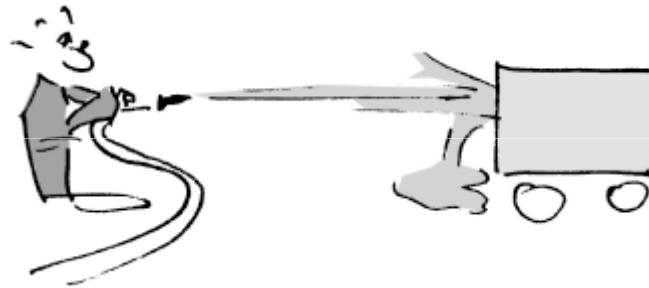
Beispiel: Konvektiver Ladungstransport
beim Bandgenerator



Ladung wird vom Gummiband mitgenommen

Begriffsklärung: **Konvektive Ströme**

Beispiel: Konvektiver Impulsstrom



Impuls wird vom strömenden Wasser mitgenommen.

Begriffsklärung: **Konvektive Ströme**

Beispiel: Konvektiver Mengenstrom



Stoffmenge wird vom Tanker bzw. Tanklaster mitgenommen.

Konduktive und konvektive Ströme

Zusätzliche Fachbegriffe!

Hilfreiche Ordnungsbegriffe!

Sie erlauben die Betonung von

- Gemeinsamkeiten
- Unterschieden

Konduktive Ströme
(mit Dissipation):

$$P = U \cdot I$$

$$P = v \cdot F$$

$$P = T \cdot I_s$$

Konduktive und konvektive Ströme

Zusätzliche Fachbegriffe!

Hilfreiche Ordnungsbegriffe!

Sie erlauben die Betonung von

- Gemeinsamkeiten
- Unterschieden

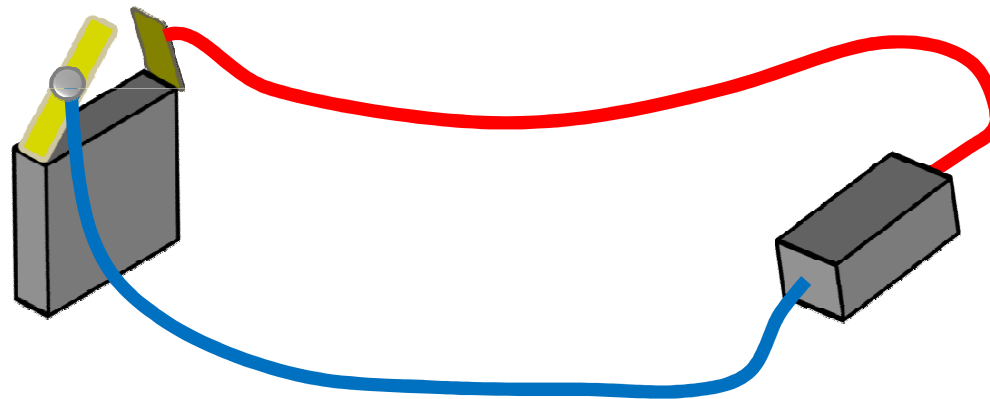
Besonderheit

konvektiver Ströme:

Sie verschwinden bei
geeigneter Wahl des
Bezugssystems

Ausblicke

Geschlossene Stromkreise (mit Dissipation)

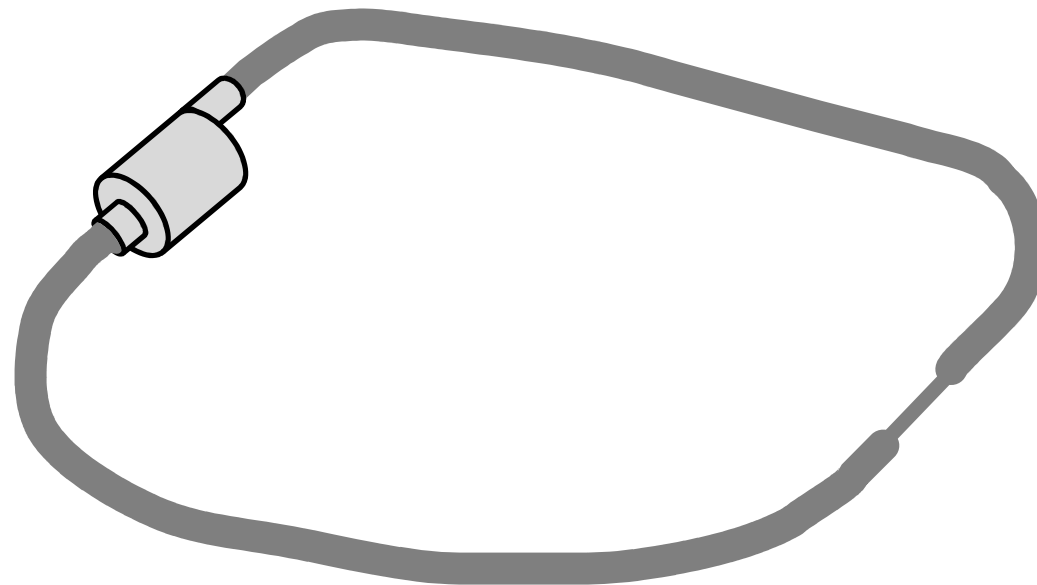


Außerhalb der Batterie: Konduktiver Ladungsstrom

Durch die Batterie: Ladung fließt vom niederen zum höheren elektrischen Potenzial!

Ausblicke

Geschlossene Stromkreise (mit Dissipation)

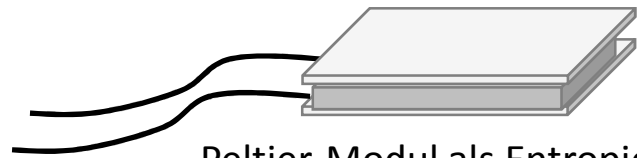


Außerhalb der Pumpe: Konduktiver Mengenstrom

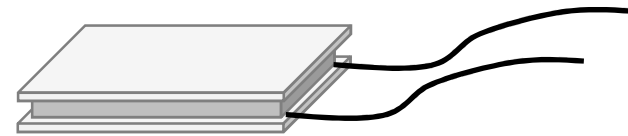
Durch die Pumpe: Stoffmenge strömt vom niederen zum höheren chemischen Potenzial!

Ausblicke

Geschlossene Stromkreise (mit Dissipation)



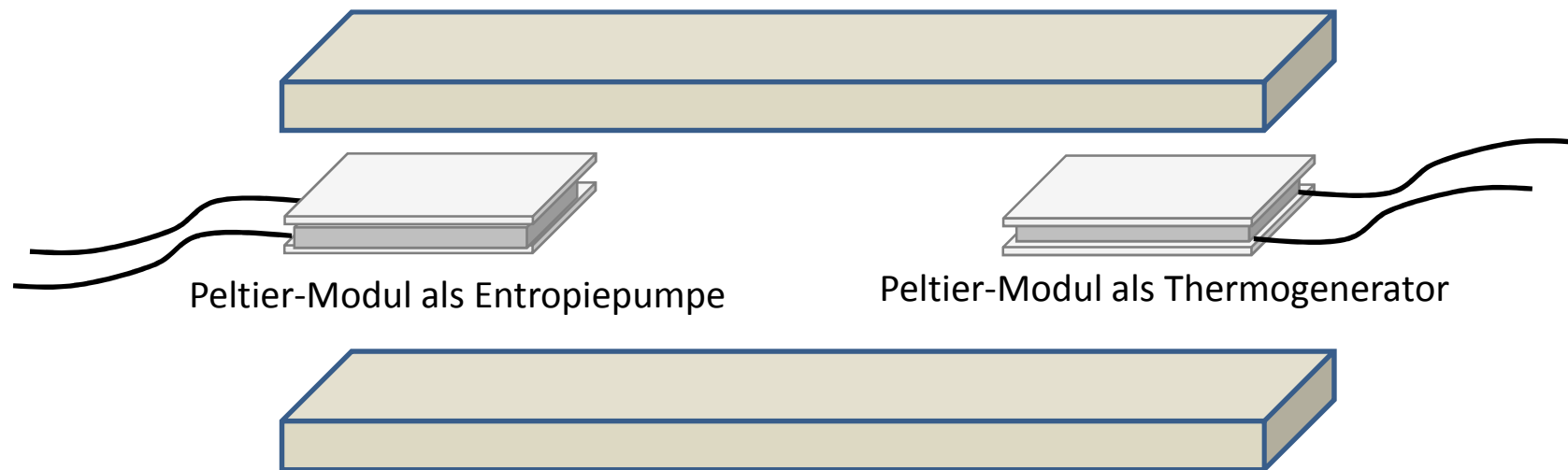
Peltier-Modul als Entropiepumpe



Peltier-Modul als Thermogenerator

Ausblicke

Geschlossene Stromkreise (mit Dissipation)



Ausblicke

Geschlossene Stromkreise (mit Dissipation)



Peltier-Modul als Entropiepumpe

Peltier-Modul als Thermogenerator

Außerhalb der Entropiepumpe:

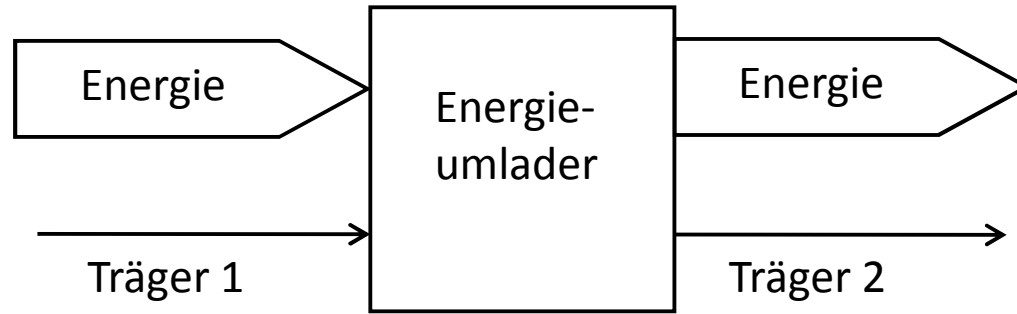
Konduktiver Entropiestrom

Durch die Entropiepumpe:

Entropie strömt von niederer zu höherer Temperatur

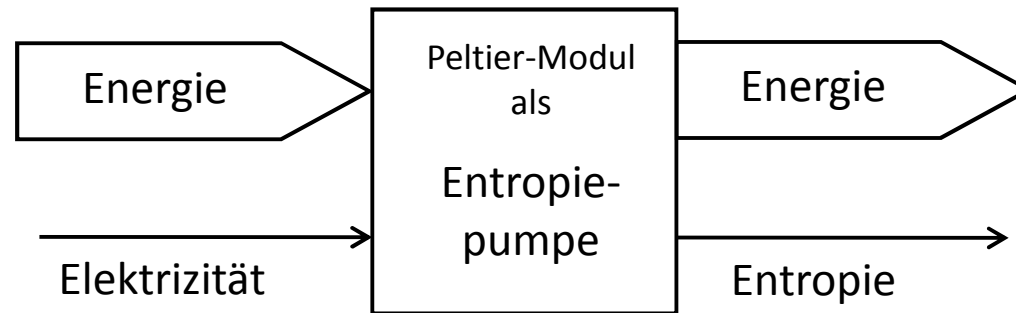
Ausblicke

Energieumlader



Ausblicke

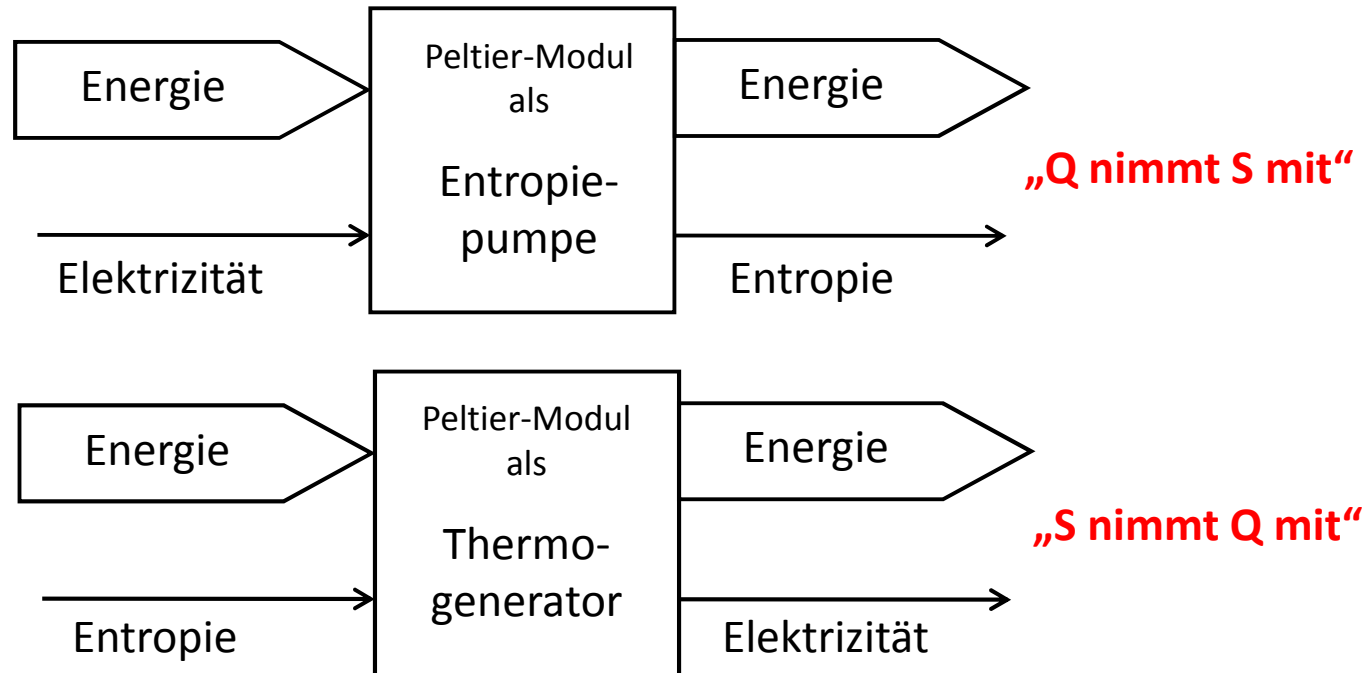
Energieumlader (durch Kopplung von Strömen)



„Q nimmt S mit“

Ausblicke

Energieumlader (durch Kopplung von Strömen)



Ausblicke

Nichtdissipative Energietransporte

→ Ströme ohne Entropieerzeugung

Mögliche Realisierungen:

Bewegung im Vakuum

Elektronen in einer Vakuumröhre

Licht im Vakuum

} Ströme im Vakuum

Ausblicke

Nichtdissipative Energietransporte

→ Ströme ohne Entropieerzeugung

Mögliche Realisierungen:

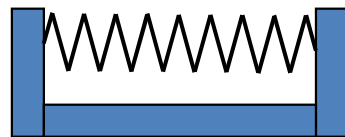
Bewegung im Vakuum

Elektronen in einer Vakuumröhre

Licht im Vakuum

} Ströme im Vakuum

Supraströme



für den Unterricht

– Eine Kompetenz der Bildungsstandards (Ba-Wü) lautet :

„9. STRUKTUREN UND ANALOGIEN

Die Schülerinnen und Schüler können Strukturen und Analogien erkennen.

Inhalte

- *qualitativ: Strom, Antrieb (Ursache) und Widerstand“*

Für die Ausbildung dieser Kompetenz kann eine Betrachtung von konduktiven und konvektiven Strömen hilfreich sein.

Wie nützlich ist eine Unterscheidung zwischen konduktiven und konvektiven Strömen?

Zusätzliche Fachbegriffe ↔ Hilfreiche Vereinheitlichung

Vermeintliches Ordnungsschema ↔ Nachvollziehbare Kriterien
(„Drei Arten des Wärmetransports“)

„Wärmestrahlung“ – Thema eines eigenen Vortrags!

Hinweis auf empfehlenswerte Literatur:

- (1) Altlasten der Physik (18): Wärmestrahlung
Physik in der Schule, Heft 7/8 (1996), Pädagogischer Zeitschriftenverlag
- (2) Was ist Wärmestrahlung?
Praxis der Naturwissenschaften PhidS, Heft 5/54 (2005), Aulis-Verlag
- (3) Altlasten der Physik (103): Drei Arten des Wärmetransports
Praxis der Naturwissenschaften PhidS, Heft 2/57 (2008), Aulis-Verlag

Autor ist jeweils F. Herrmann