

Der Karlsruher Physikkurs

Holger Hauptmann

Abteilung für Didaktik der Physik

www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de

holger.hauptmann@physik.uni-karlsruhe.de

1. Ausgangspunkt

2. Physikalische Grundlagen

3. Beispiel Wärmelehre

1. Ausgangspunkt

Strategien für einen neuen Physikkurs:

1. Historische „Altlasten“ entfernen
2. Analogien innerhalb der Physik ausnutzen

Beim Lernen der Physik wird der historische Entwicklungsprozess reproduziert. Dieser enthält Umwege und überflüssige Konzepte. Er ist unnötig schwierig.

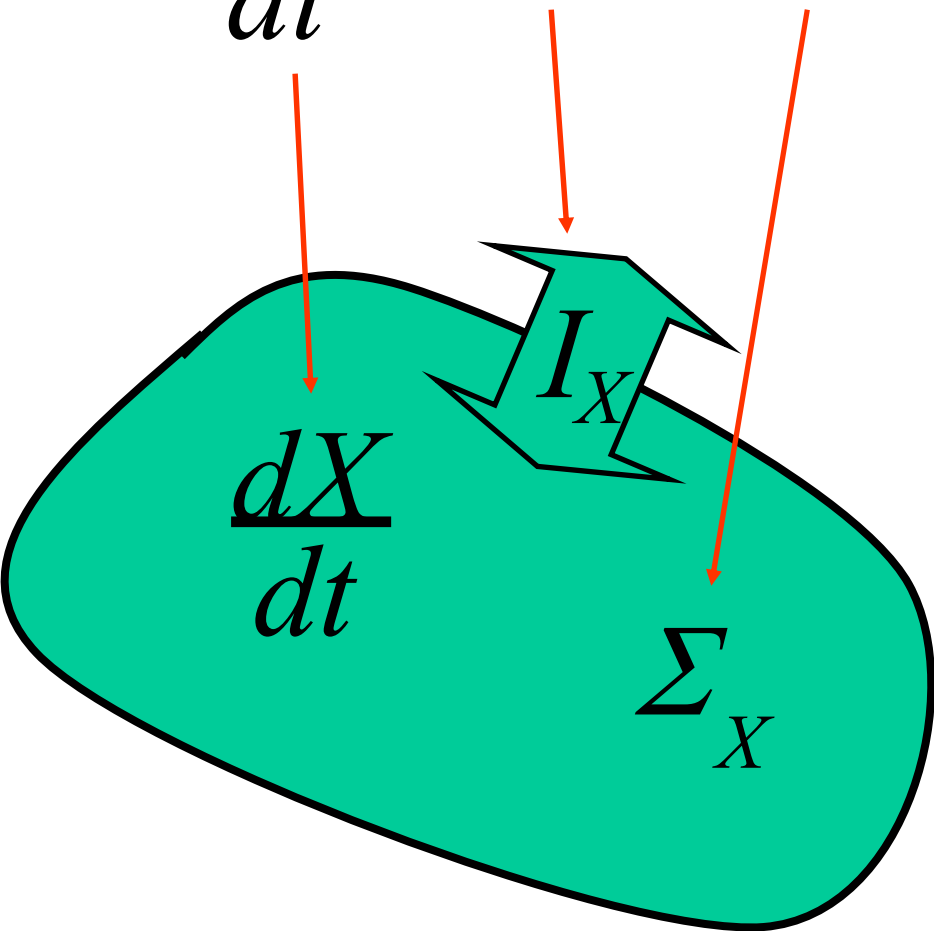
2. Physikalische Grundlagen

extensive physikalische Größen

Beispiele:

- Energie E
- elektrische Ladung Q
- Impuls p
- Drehimpuls L
- Entropie S
- Stoffmenge n

$$\frac{dX}{dt} = I_X + \Sigma_X$$



$$\frac{\partial \rho_X}{\partial t} + \operatorname{div} j_X^r = \sigma_X$$



Kontinuitätsgleichung

$$\frac{dX}{dt} = I_X + \Sigma_X$$

Bilanzgleichung

Stoffmodell:

X : Maß für Menge des Stoffs

dX/dt : Änderungsrate der Menge

I_X : Wieviel geht durch die Oberfläche;
Stromstärke von X

Σ_X : erzeugte Menge pro Zeit

weitere Bezeichnung für extensive Größen:

„mengenartige Größen“

für manche X ist Σ_X immer gleich null:

erhaltene Größen

$$\frac{dQ}{dt} = I$$

elektrische Stromstärke

$$\frac{dp}{dt} = F$$

Impulsstromstärke, Kraft

$$\frac{dE}{dt} = P$$

Energiestromstärke, Leistung

$$\frac{dS}{dt} = I_S + \Sigma_S$$

Entropiestromstärke

$$\frac{dn}{dt} = I_n + \Sigma_n$$

Stoffstromstärke

Vorteile durch extensive Größen als Basisgrößen

1. Einfache Sprache

Kraft: wird ausgeübt, wirkt

Arbeit: wird verrichtet, wird geleistet

elektrische Ladung:

Körper enthält sie

geht von A nach B

Körper hat sie

verlässt A

sie steckt in ihm drin

kommt in B an

es ist viel/wenig/keine drin

häuft sich an

fließt

konzentriert sich

strömt

verteilt sich

2. Strukturen in der Physik werden deutlich

extensive Größe

intensive Größe

E-Lehre

elektr. Ladung Q

elektr. Potenzial φ

Mechanik

Impuls p

Geschwindigkeit v

Wärmelehre

Entropie S

Temperatur T

Chemie

Stoffmenge n

chem. Potenzial μ

E-Lehre: der Teil der Physik, bei dem es um die elektrische Ladung und ihre Ströme geht

Mechanik: der Teil der Physik, bei dem es um den Impuls und seine Ströme geht

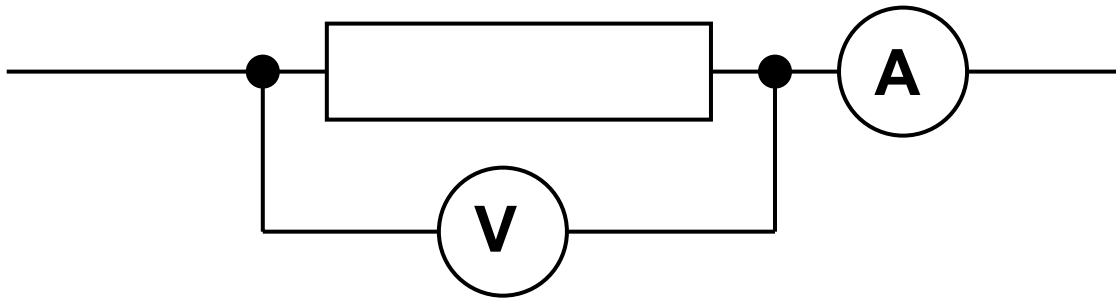
Wärmelehre: der Teil der Physik, bei dem es um die Entropie und ihre Ströme geht

Chemie: der Teil der Naturwissenschaft, bei dem es um die Stoffmenge und ihre Ströme und Reaktionen geht

	<i>ext. Größe</i>	<i>int. Größe</i>	<i>Strom</i>	<i>Energie- strom</i>	<i>Widerstand</i>	<i>Kapazität</i>
<i>E-Lehre</i>	Q	φ	I	$P = U \cdot I$		
<i>Mechanik</i>	p	v	F	$P = v \cdot F$		
<i>Wärmelehre</i>	S	T	I_S	$P = T \cdot I_S$		
<i>Chemie</i>	n	μ	I_n	$P = \mu \cdot I_n$		

Energie fließt nie allein
„Energieträger“

Strom, Antrieb, Widerstand



je größer U , desto größer I

je größer I , desto größer U

Interpretation

I Stromstärke, Maß für Ergiebigkeit

R behindert Strom, Widerstand

U Antrieb, Ursache des Stroms

Konsequenz für den Unterricht:

Beginne die Mechanik mit dem Impuls.

Beginne die Wärmelehre mit der Entropie.

3. Beispiel Wärmelehre

	<i>ext. Größe</i>	<i>int. Größe</i>	<i>Strom</i>
<i>E-Lehre</i>	Q	φ	I
<i>Mechanik</i>	p	v	F
<i>Wärmelehre</i>	S	T	I_S
<i>Chemie</i>	n	μ	I_n

Wärmelehre ohne Entropie und Entropieströme ist wie Elektrizitätslehre ohne elektrische Ladung und elektrischen Strom

Was versteht man in der Physik unter „Wärme“?

Energieform $T \cdot dS$ (Prozessgröße)

Zur Geschichte des Wärmebegriffs

Black (1728-1799): „heat“ (Zustandsgröße, extensiv)

Carnot (1796-1832): „chaleur“, „calorique“

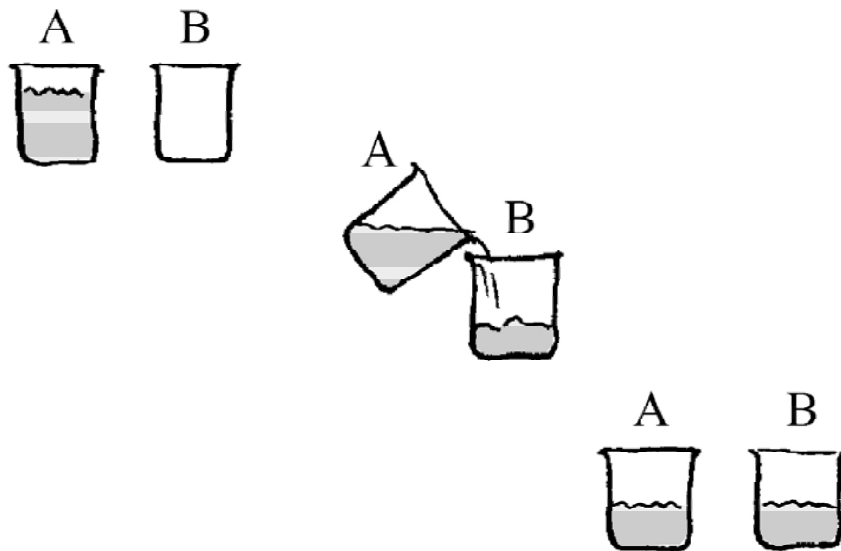
Clausius (1822-1888): Neueinführung der alten Größe mit neuem Namen „Entropie“

Callendar 1911: Entropie entspricht Carnots chaleur

Entropie als Wärme

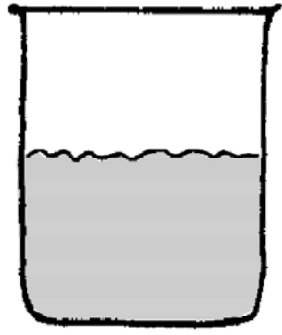
10. Entropie und Entropieströme

10.1 Entropie und Temperatur

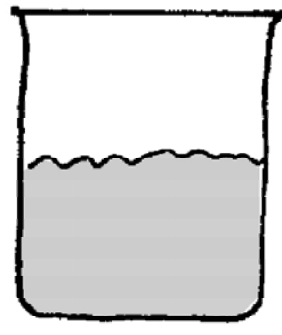


Entropie S

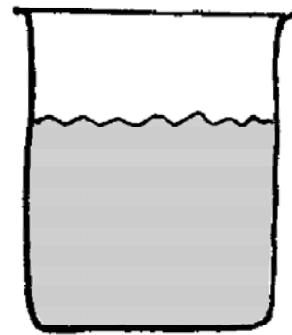
Maßeinheit: Carnot (Ct)



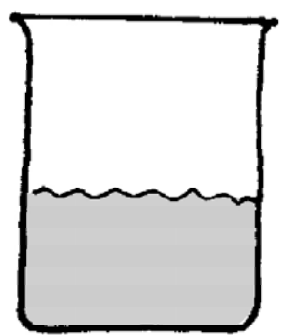
70°C



10°C



20°C



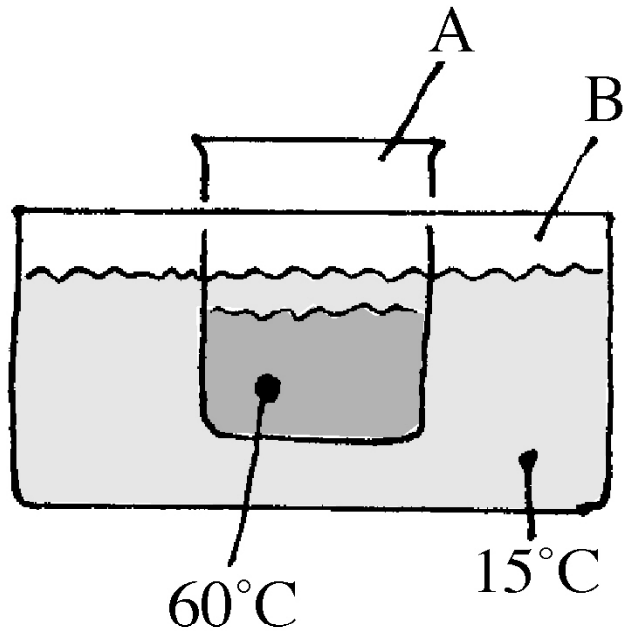
20°C

Je höher die Temperatur eines Gegenstandes ist, desto mehr Entropie enthält er.

Je größer die Masse eines Gegenstandes ist, desto mehr Entropie enthält er.

1 cm³ Wasser von Normaltemperatur enthält etwa 4 Ct.

10.2 Der Temperaturunterschied als Antrieb für einen Entropiestrom

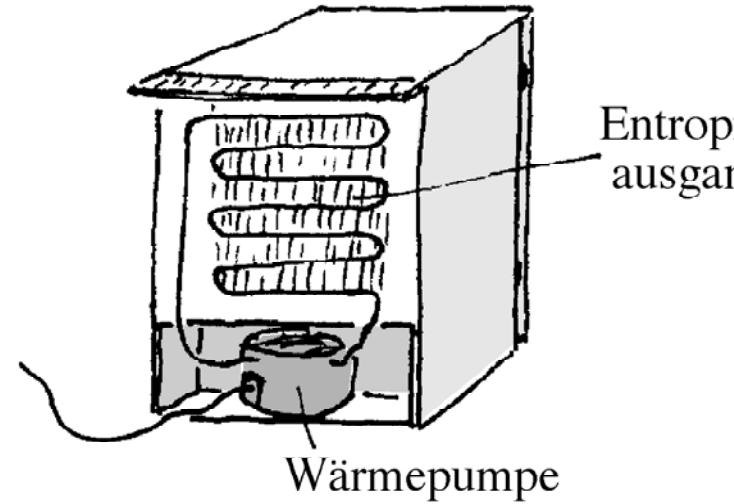
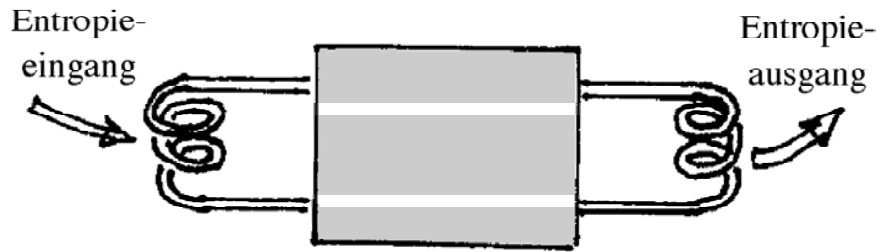


Entropie strömt von selbst von Stellen höherer zu Stellen niedrigerer Temperatur.

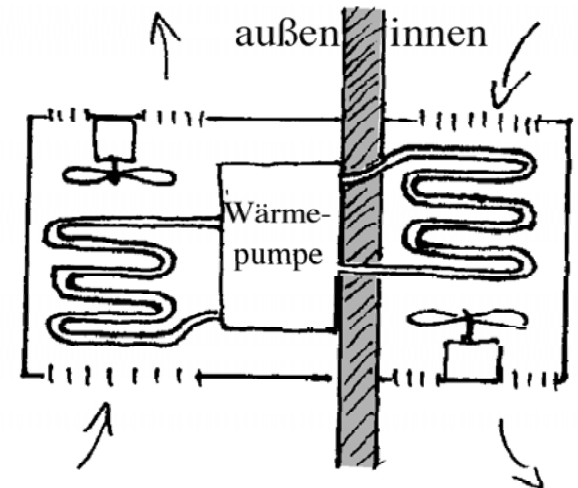
Ein Temperaturunterschied ist ein Antrieb für einen Entropiestrom.

thermisches Gleichgewicht

10.3 Die Wärmepumpe



Eine Wärmepumpe befördert Entropie von Stellen niedrigerer zu Stellen höherer Temperatur.

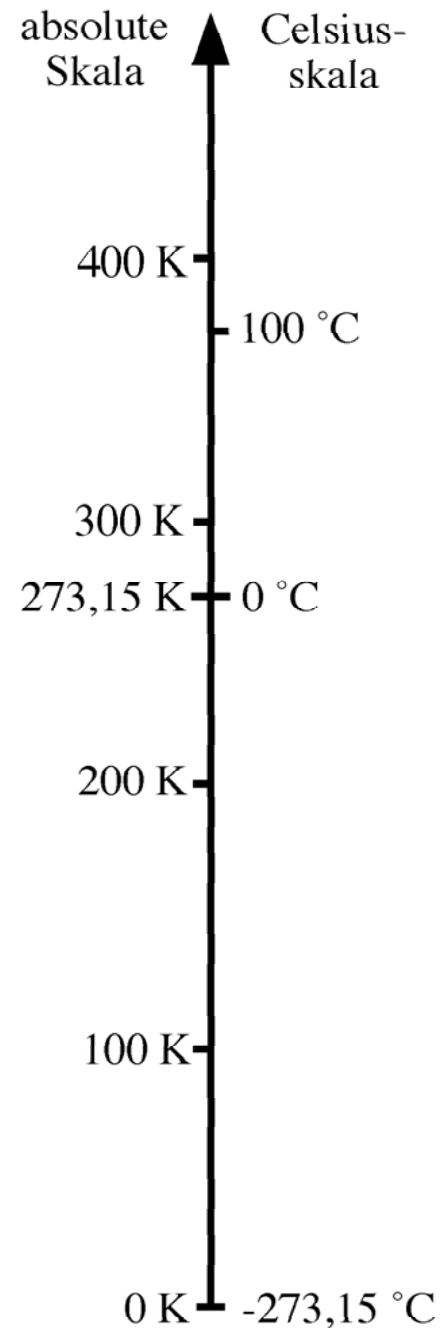


10.4 Die absolute Temperatur

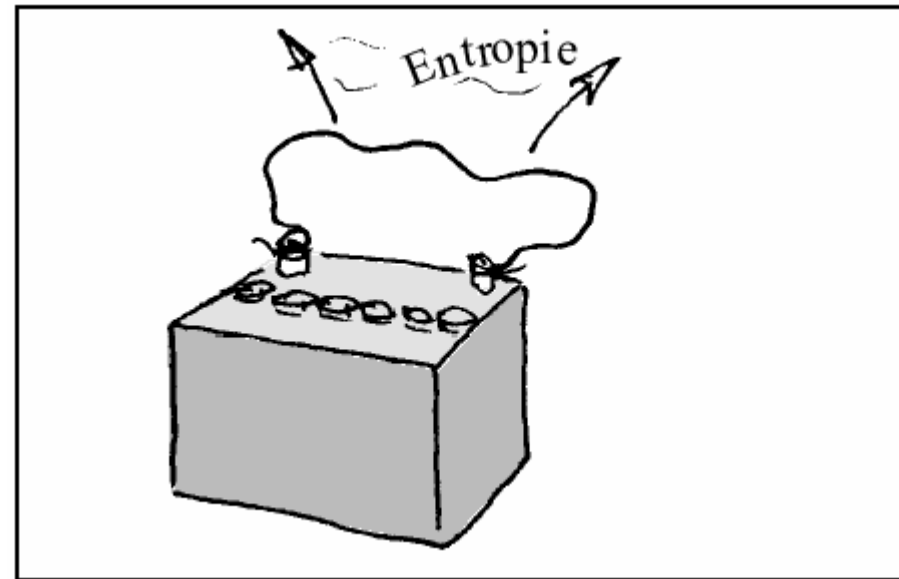
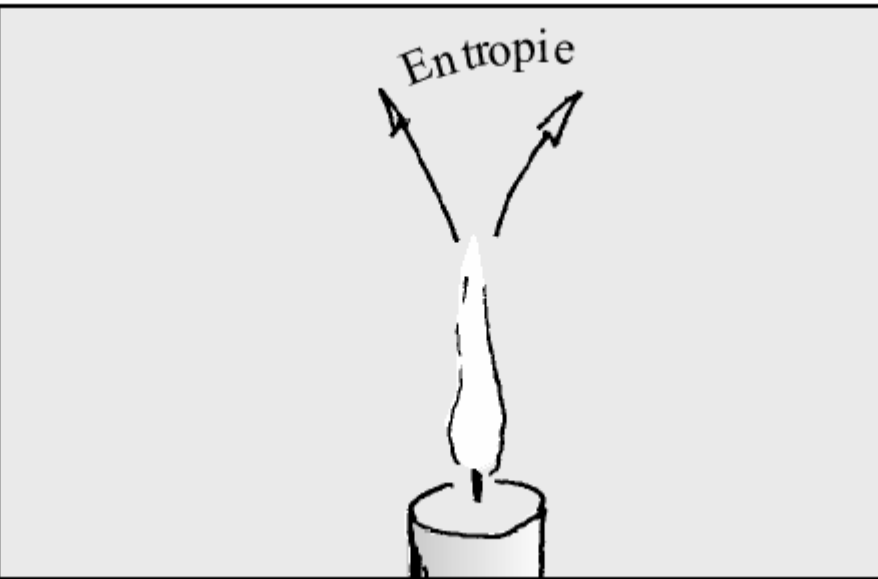
Die tiefste Temperatur, die ein Gegenstand haben kann, ist $-273,15\text{ °C}$. Bei dieser Temperatur enthält er keine Entropie mehr.

Bei $\vartheta = -273,15\text{ °C}$ ist $S = 0\text{ Ct}$.

Der Nullpunkt der absoluten Temperaturskala liegt bei $-273,15\text{ °C}$. Die Maßeinheit der absoluten Temperatur ist das Kelvin.



10.5 Entropieerzeugung



Entropie kann erzeugt werden

- bei einer chemischen Reaktion (z. B. Verbrennung);
- in einem Draht, durch den ein elektrischer Strom fließt;
- durch mechanische Reibung.

Entropie kann erzeugt, aber nicht vernichtet werden.

Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden.

Impuls kann weder erzeugt noch vernichtet werden.

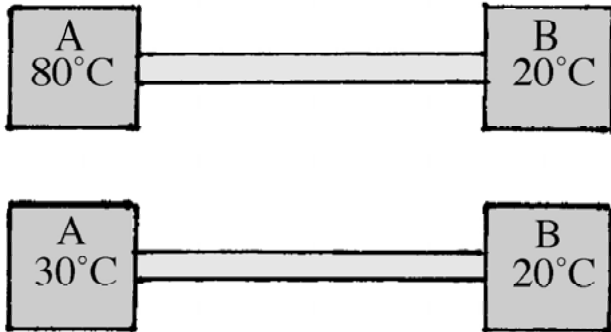
Vorgänge, bei denen Entropie erzeugt wird, sind nicht umkehrbar.



10.6 Die Entropiestromstärke

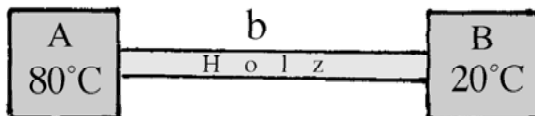
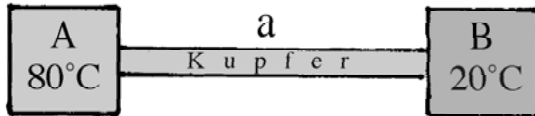
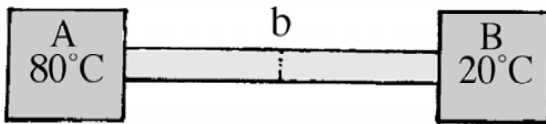
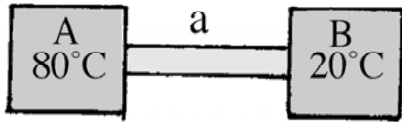
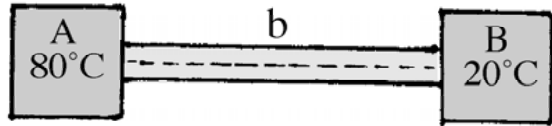
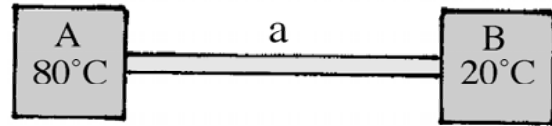
$$\text{Entropiestromstärke} = \frac{\text{Entropie}}{\text{Zeitdauer}} \cdot$$

$$I_S = \frac{S}{t} \cdot$$

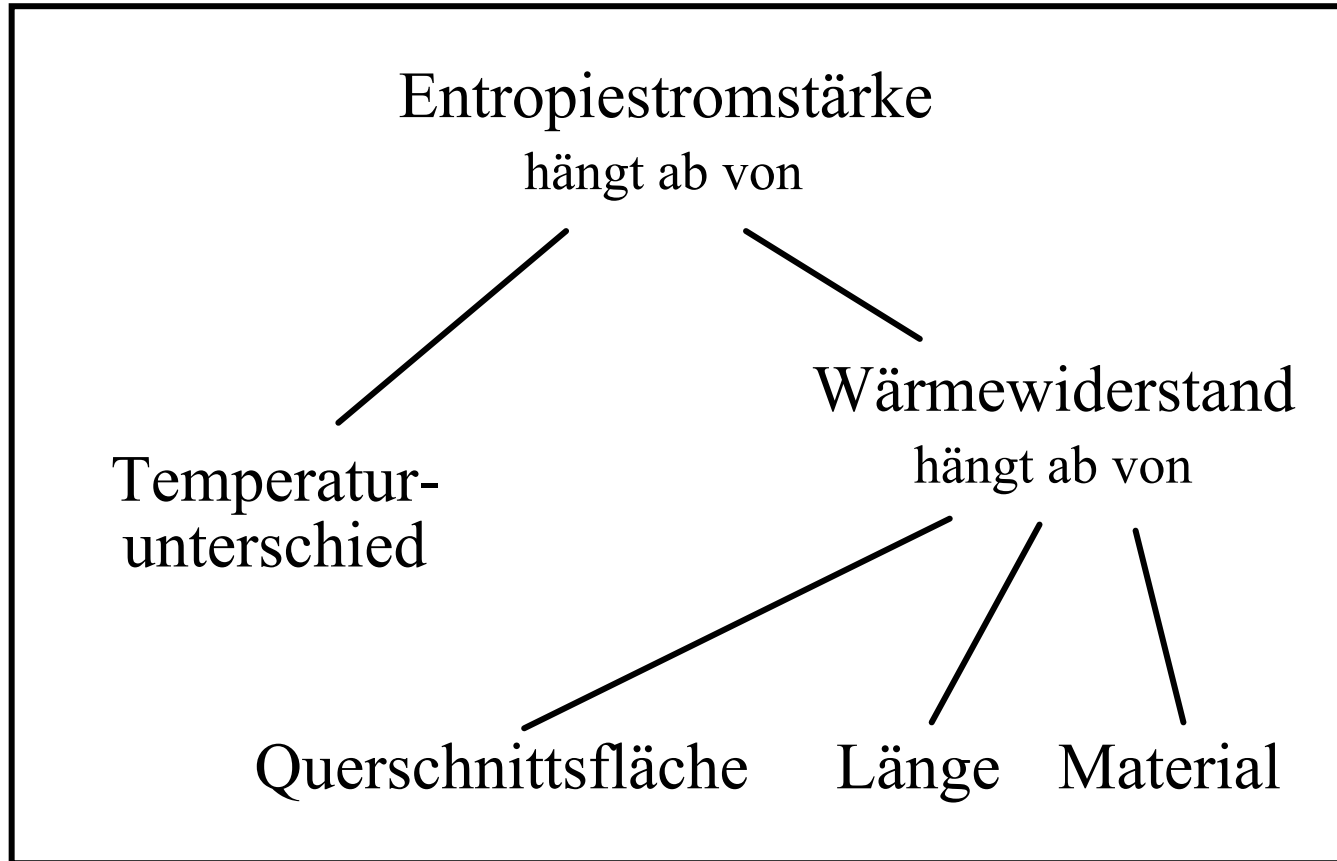


Je größer die Temperaturdifferenz zwischen zwei Stellen (je größer der Antrieb) ist, desto stärker ist der Entropiestrom, der von der einen zur anderen Stelle fließt.

10.7 Der Wärmewiderstand



Jede Leitung setzt dem hindurchfließenden Entropiestrom einen Widerstand entgegen. Dieser Wärmewiderstand ist umso größer, je kleiner der Querschnitt der Leitung und je größer ihre Länge ist. Er hängt außerdem vom Material der Leitung ab.



10.8 Entropietransport durch Konvektion

Konvektiver Entropietransport: Die Entropie wird von einer strömenden Flüssigkeit oder einem strömenden Gas mitgenommen. Für einen konvektiven Entropietransport wird kein Temperaturunterschied gebraucht.

Alle Entropietransporte über große Entfernungen sind konvektiv.



11. Entropie und Energie

11.1 Die Entropie als Energieträger

11.2 Der Zusammenhang zwischen Energie- und Entropiestrom

$$P = T \cdot I_S$$

11.3 Entropieerzeugung durch Entropieströme

Fließt Entropie durch einen Wärmewiderstand, so wird zusätzliche Entropie erzeugt.

11.6 Der Energieverlust

Energieverluste beruhen meist auf Entropieerzeugung.
Vermeide Entropieerzeugung!



11.6 Der Zusammenhang zwischen Entropieinhalt und Temperatur

Wie viel Entropie muss man einem Liter Wasser zuführen, um ihn von 10 °C auf 50 °C zu erhitzen?

Versuch: Erhitzen mit Tauchsieder ($P = 800 \text{ W}$), miss zugeführtes ΔS

$$\Delta S = I_S \cdot \Delta t \quad \text{mit } I_S = P / T$$

Problem: I_S nicht konstant, verwende Mittelwert $I_{S,mittel} = P / T_{mittel}$



Friedrich Herrmann

Gottfried Falk

Georg Job

Doktoranden:

Peter Schmälzle

Lorenzo Mingirulli

Petra Zachmann

Karen Haas

Matthias Laukenmann

Holger Hauptmann