

Hans M. Strauch

Entropie und Temperatur

Entropie und Temperatur

Wir beginnen die Wärmelehre mit 2 Größen:

1. Die **Temperatur** ist bekannt, sie charakterisiert den Zustand des Warmseins (oder auch des Kaltseins) eines Körpers, **unabhängig** von dessen Größe. Das Symbol für Temperatur ist ϑ , die Einheit ist $^{\circ}\text{C}$.
2. Die **Entropie** ist in etwa das, was wir umgangssprachlich Wärme nennen. **Entropie** ist etwas, das in einem Körper enthalten ist, **abhängig** von dessen Größe, Masse, etc.. Diesen Aspekt der Wärme kann man durch eine Art Substanz repräsentieren, die man sich in den Gegenständen enthalten denkt, eine Art „wärmendes Zeug“ (ähnlich wie man das Wasser in einem Wasserbehälter als „füllendes Zeug“ auffassen kann).

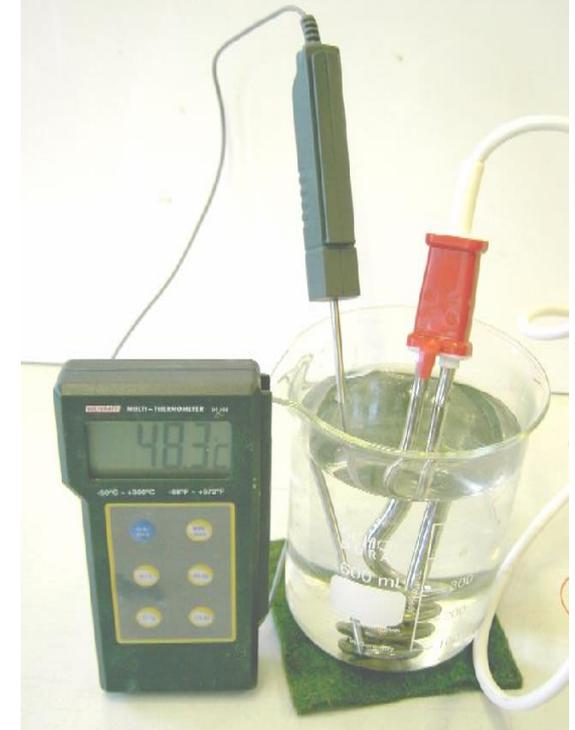
Das Symbol für **Entropie** ist **S**, sie wird in der Einheit **1 Carnot (Ct)**
Sadi Carnot (1796 – 1832)

1 cm^3 Wasser von Zimmertemperatur enthält etwa 4 Ct.

Entropie und Temperatur

Mit der Hand kann man die Wärme fühlen, die aus einer Heizplatte, einem Heizkörper, einem Feuer etc. kommt.

Wenn wir Wasser erhitzen, führen wir ihm Wärme zu. Je länger der Tauchsieder in Betrieb ist, desto mehr Wärme führen wir dem Wasser zu, desto wärmer wird es.



Entropie und Temperatur

So wie Wasser aus einer Leitung in ein Gefäß fließt und darin angehäuft wird.



Oder wie Luft aus einer Pumpe in einen Reifen strömt und darin angehäuft wird.



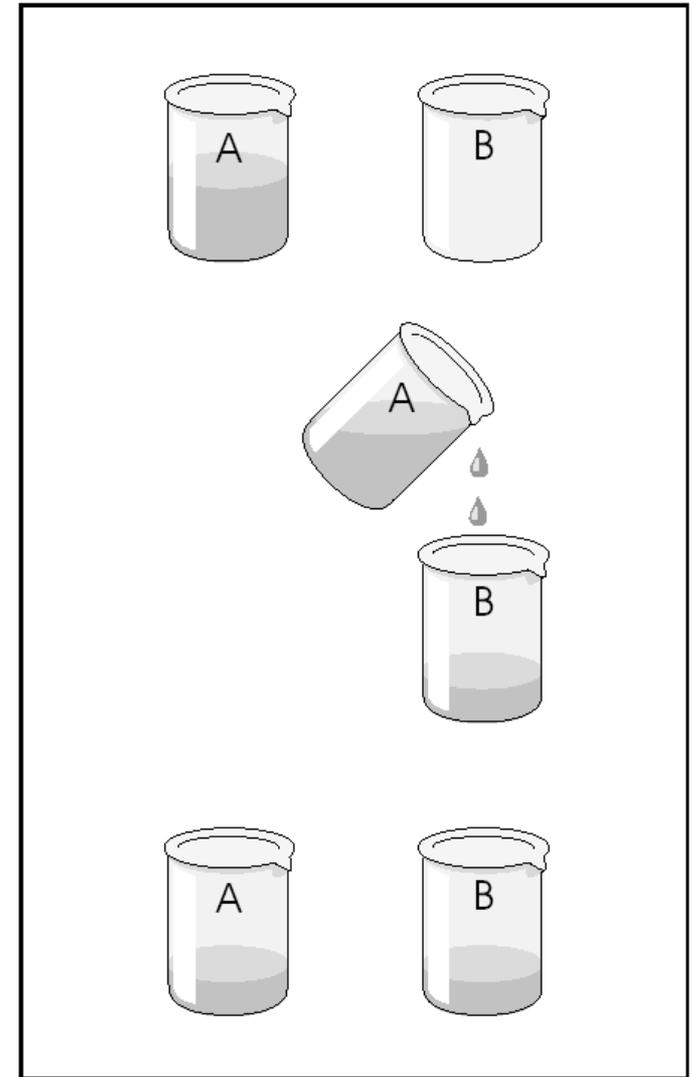
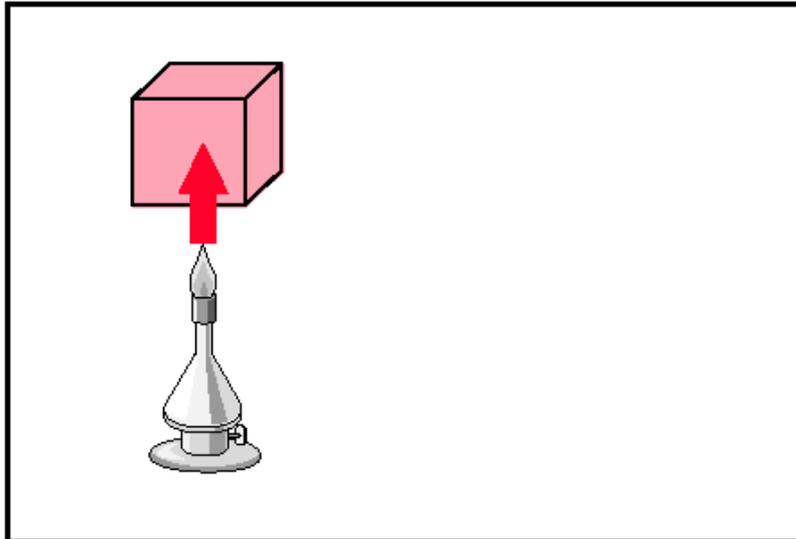
Entropie und Temperatur

Füllen wir dann heißes Wasser in eine Wärmeflasche, eine Thermoskanne oder in eine Tasse um, dann enthält nun die Wärmeflasche, die Thermoskanne, die Tasse die Wärme.

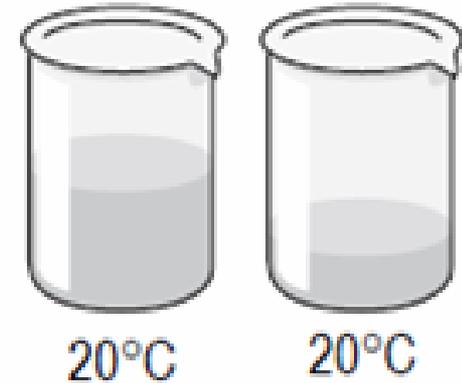
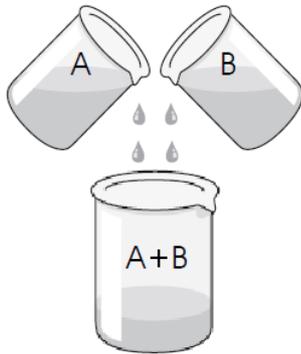


Entropie und Temperatur

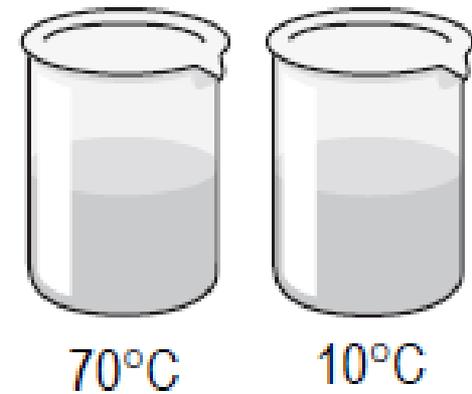
Unterscheide sorgfältig



Regeln für Entropie



(1) Je größer die **Masse** eines Gegenstandes ist, desto mehr **Entropie** enthält er.

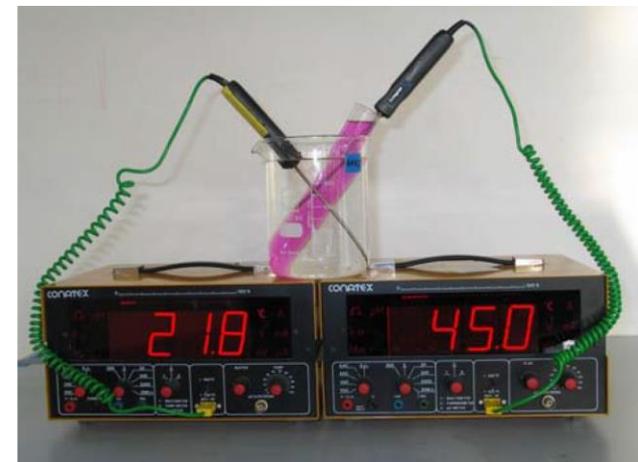


(2) Je höher die **Temperatur** eines Gegenstandes ist, desto mehr **Entropie** enthält er.

Der Temperaturunterschied als Antrieb für einen Entropiestrom

- Flüssigkeiten und Gase strömen von selbst von Stellen höheren zu Stellen niedrigeren Drucks.
- Der Druckunterschied ist ein **Antrieb** für einen Gas- oder Flüssigkeitsstrom.

- Entropie strömt von selbst von Stellen höherer zu Stellen niedrigerer Temperatur.
- Ein Temperaturunterschied ist ein **Antrieb** für einen Entropiestrom.

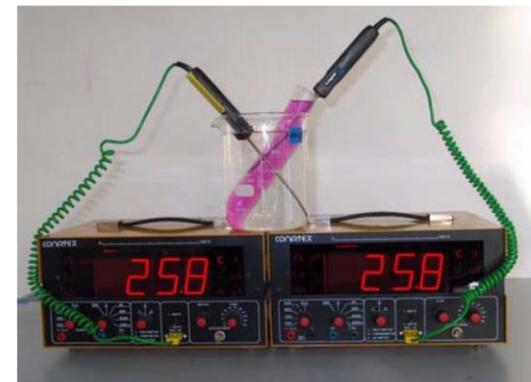


Der Temperaturunterschied als Antrieb für einen Entropiestrom

- Den Endzustand, in dem Gas oder Flüssigkeit nicht mehr strömen, nennt man **Druckgleichgewicht**.

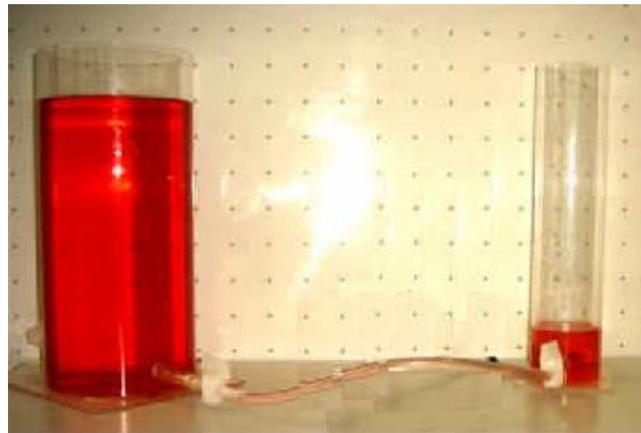


- Den Zustand der Temperaturgleichheit, der sich am Ende einstellt, nennt man **thermisches Gleichgewicht**.



10.2 Der Temperaturunterschied als Antrieb für einen Entropiestrom

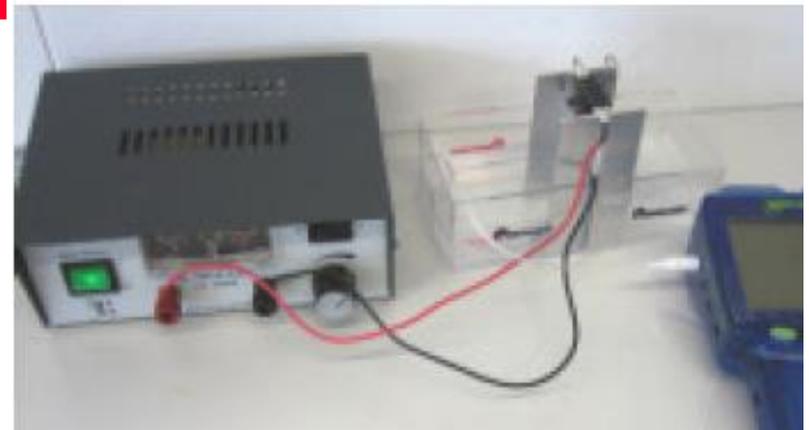
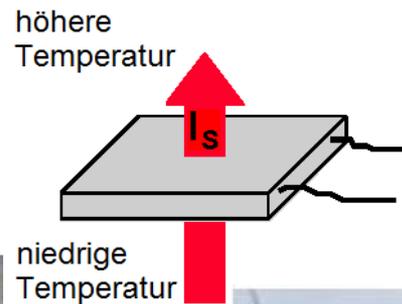
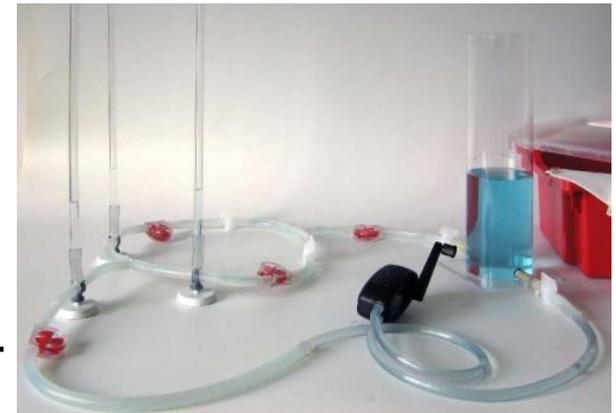
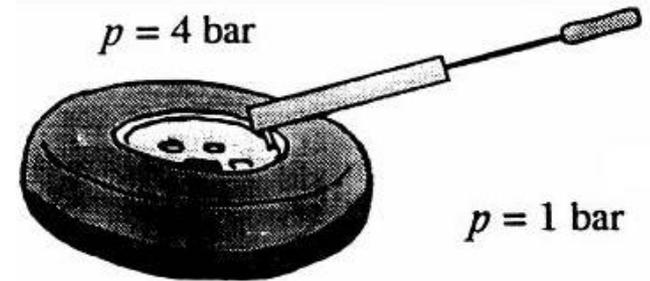
- Entropie strömt **von selbst** von Stellen höherer zu Stellen niedrigerer Temperatur.
- Ein Temperaturunterschied ist ein **Antrieb** für einen Entropiestrom.
- Den Zustand der Temperaturgleichheit, der sich am Ende einstellt, nennt man **thermisches Gleichgewicht**.



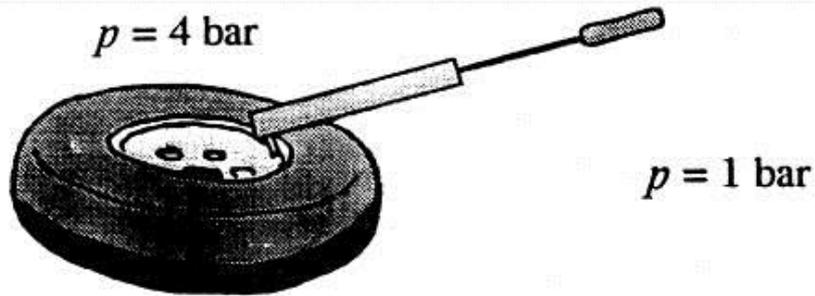
Die Wärmepumpe

Von Stellen höheren zu Stellen niedrigeren Drucks strömen Flüssigkeiten und Gase von **selbst**. In der umgekehrten Richtung benötigt man eine **Pumpe**.

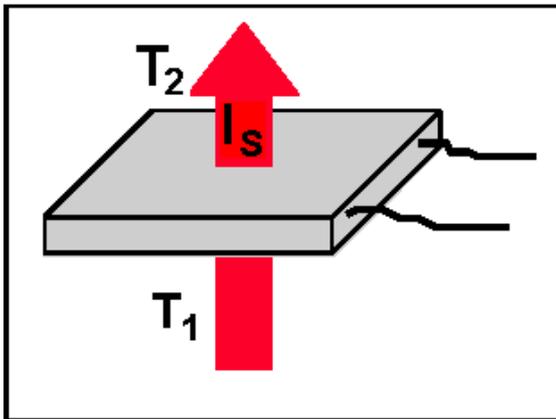
Soll Entropie von Stellen niedrigerer zu Stellen höherer Temperatur befördert werden, benötigt man eine Wärmepumpe.



10.3 Die Wärmepumpe



- Eine Wärmepumpe befördert Entropie von Stellen niedrigerer zu Stellen höherer Temperatur.
- Eine Wärmepumpe benötigt Energie



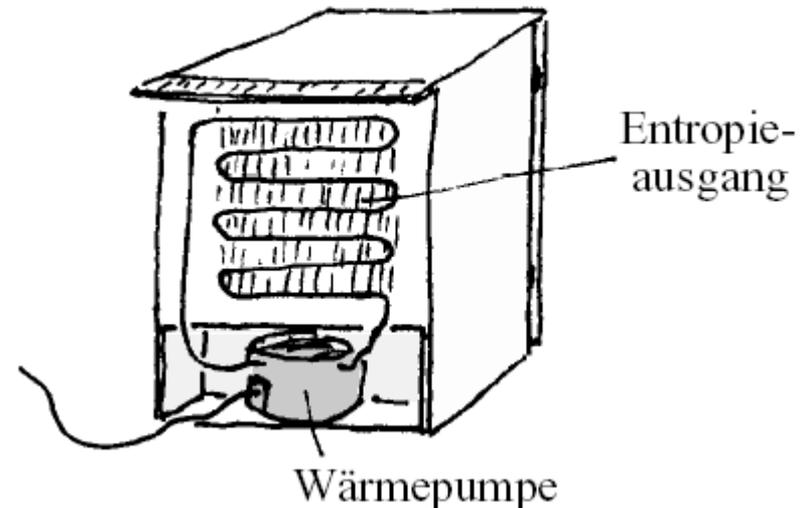
Die Wärmepumpe

Der Druck am Eingang einer Luft- oder Wasserpumpe ist niedriger als der Druck am Ausgang.

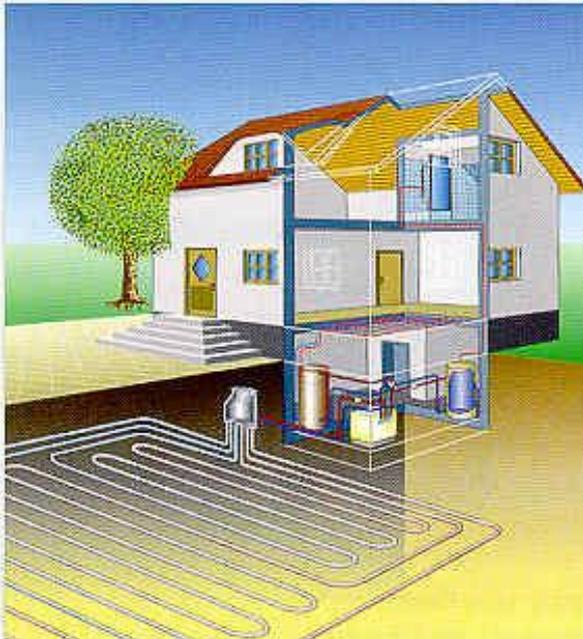
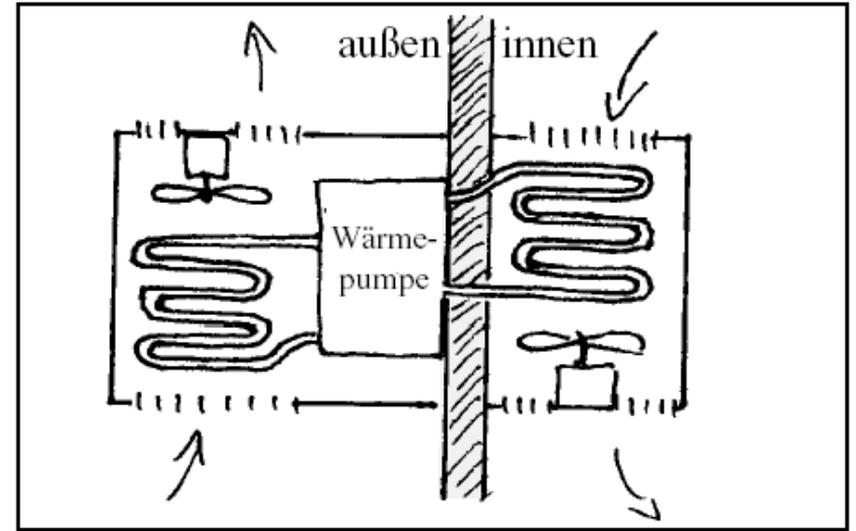
Die Temperatur am Entropieausgang ist **höher** als die Temperatur am Entropieeingang.

Eine Luft- oder Wasserpumpe benötigt Energie.

Eine Wärmepumpe benötigt Energie.



Die Wärmepumpe



Die absolute Temperatur

Wie viel Luft kann man aus einem geschlossenen Gefäß herausholen?

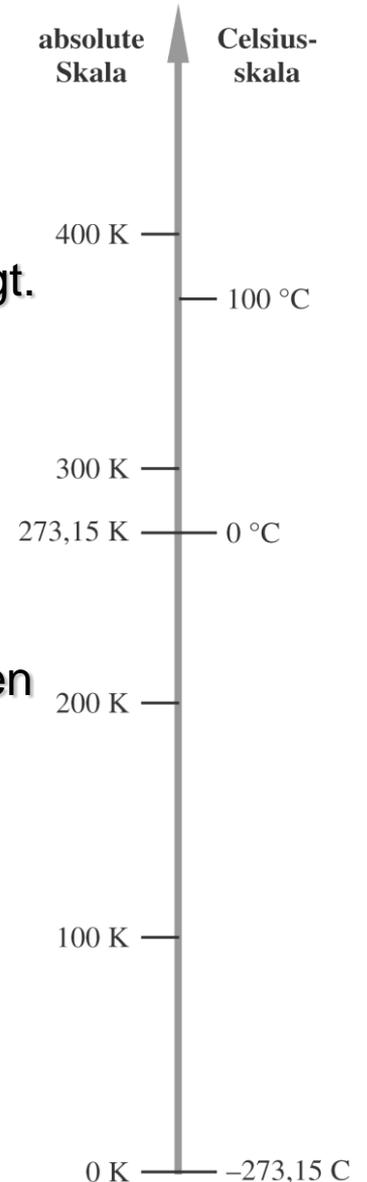


Wie viel Entropie kann man aus einem Gegenstand herausholen?



Die absolute Temperatur

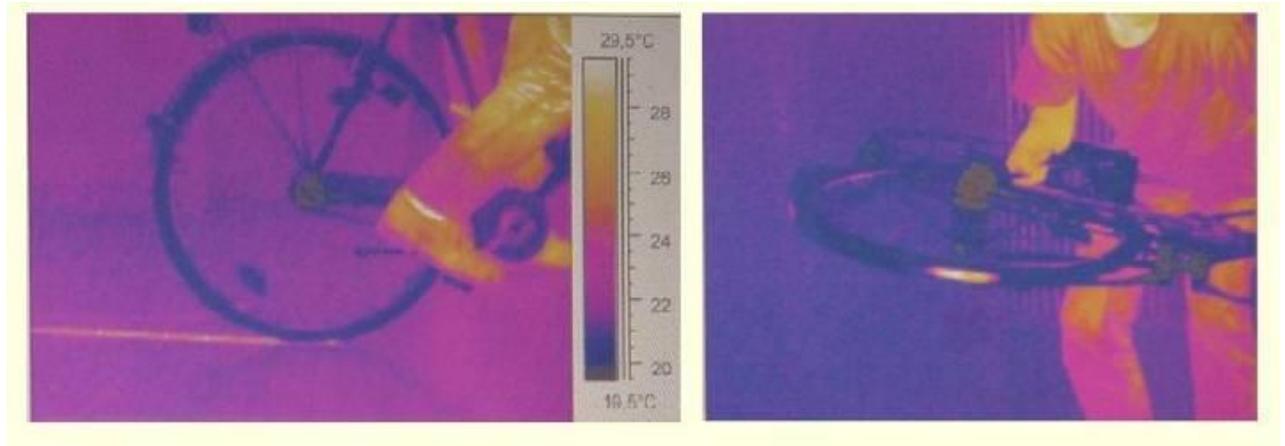
- Man kommt der Temperatur $-273,15\text{ °C}$ beliebig nahe, kann sie aber nicht unterschreiten, so sehr man sich auch anstrengt. Die tiefste Temperatur, die ein Gegenstand haben kann, ist $-273,15\text{ °C}$.
- Bei dieser Temperatur enthält er keine Entropie mehr:
Bei $\vartheta = -273,15\text{ °C}$ ist $S = 0\text{ Ct}$.
- Die tiefste mögliche Temperatur wird als Nullpunkt einer neuen Temperaturskala festgelegt, der absoluten Temperatur.
Einheit: K Symbol: T



Entropieerzeugung

Entropie kann erzeugt werden

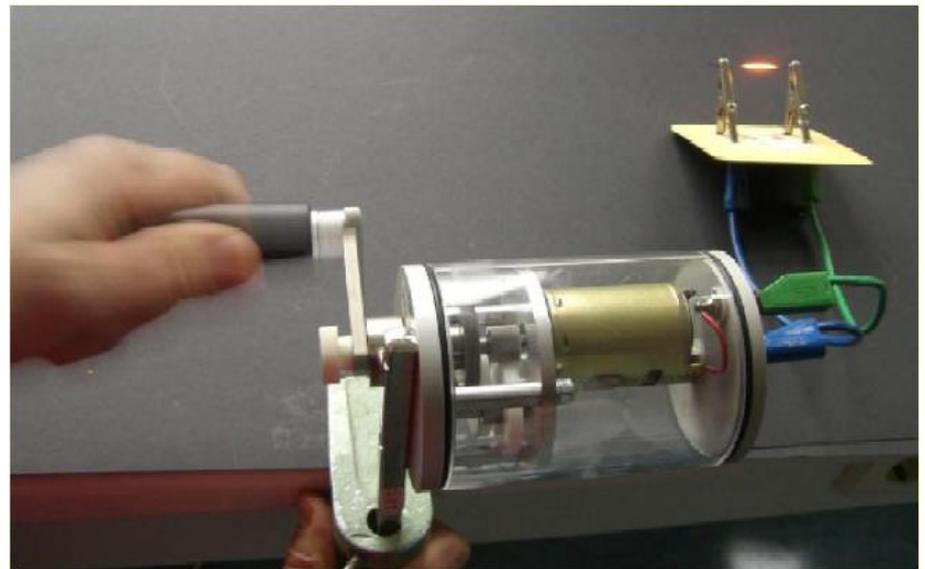
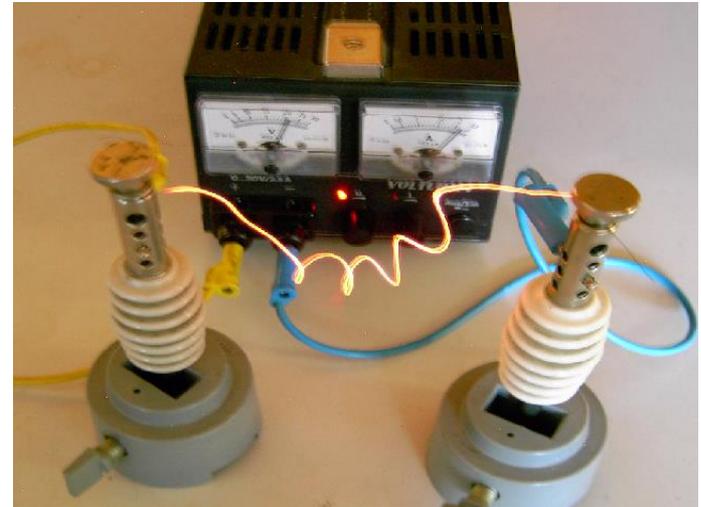
- bei einer chemischen Reaktion,
- durch mechanische Reibung.



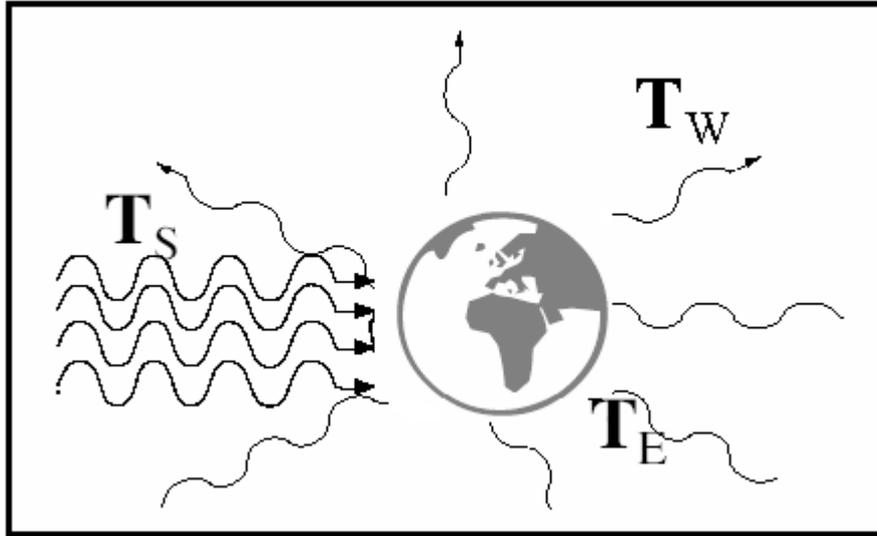
Entropieerzeugung

Entropie kann erzeugt werden

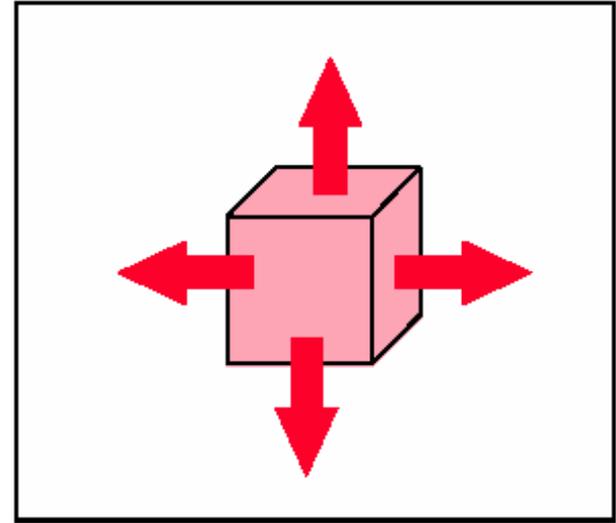
- in einem Draht, durch den ein elektrischer Strom fließt;
- um Entropie zu erzeugen, braucht man Energie.



Entropieerzeugung



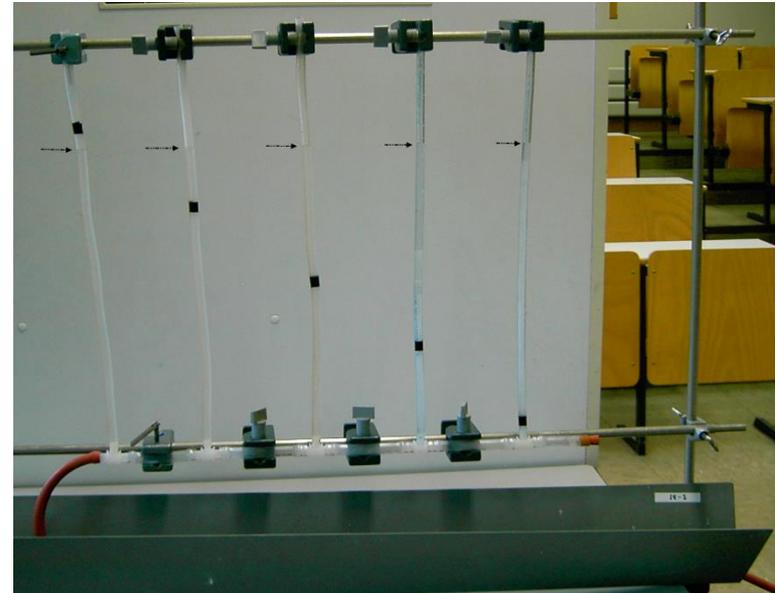
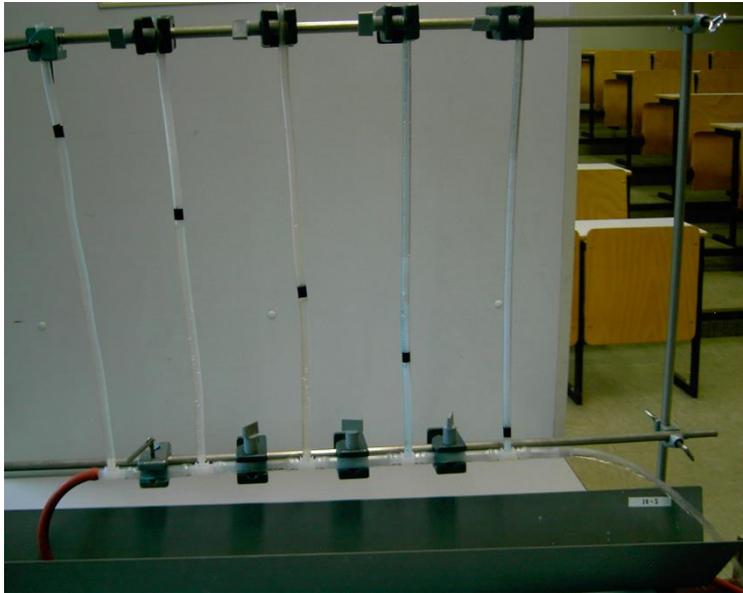
Entropieerzeugung bei Absorption



Entropieabgabe

- **Entropie** kann *erzeugt*, aber **nicht** *vernichtet* werden.
- **Energie** kann *weder erzeugt noch vernichtet* werden.
- **Impuls** kann *weder erzeugt noch vernichtet* werden.

Entropieerzeugung durch fließende Entropie



Flüssigkeiten fließen **von selbst** immer von Stellen höheren zu Stellen tieferen Drucks.

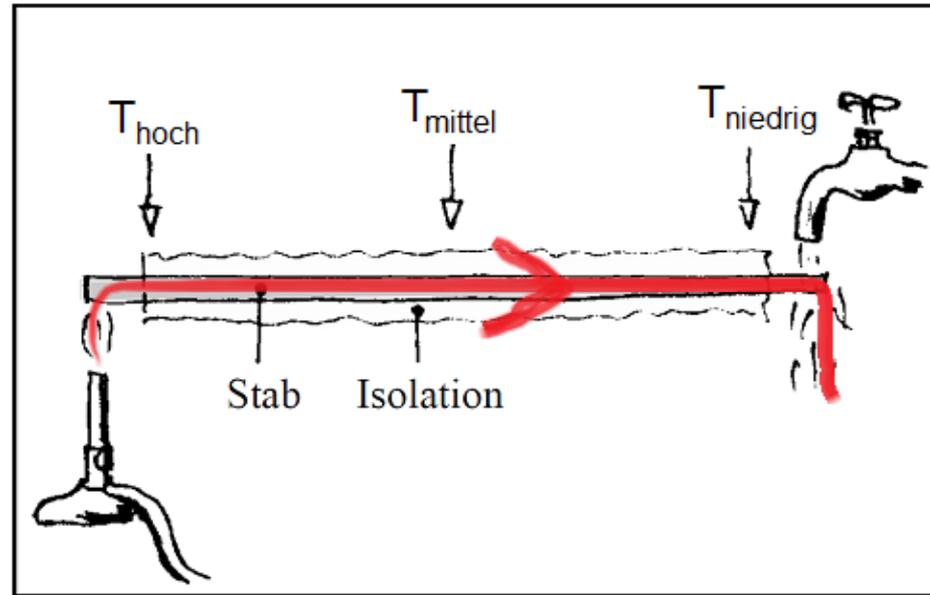
Ohne Druckdifferenz fließt eine Flüssigkeit nicht und umgekehrt.

Es handelt sich um einen **irreversiblen** Vorgang.

Deshalb ist der Vorgang mit **Entropieerzeugung** verbunden.

Fließt eine Flüssigkeit durch einen Leitungswiderstand, so wird Entropie erzeugt.

Entropieerzeugung durch fließende Entropie



Entropie fließt **von selbst** immer von Stellen höherer zu Stellen tieferer Temperatur.

Es handelt sich also um einen **irreversiblen** Vorgang.

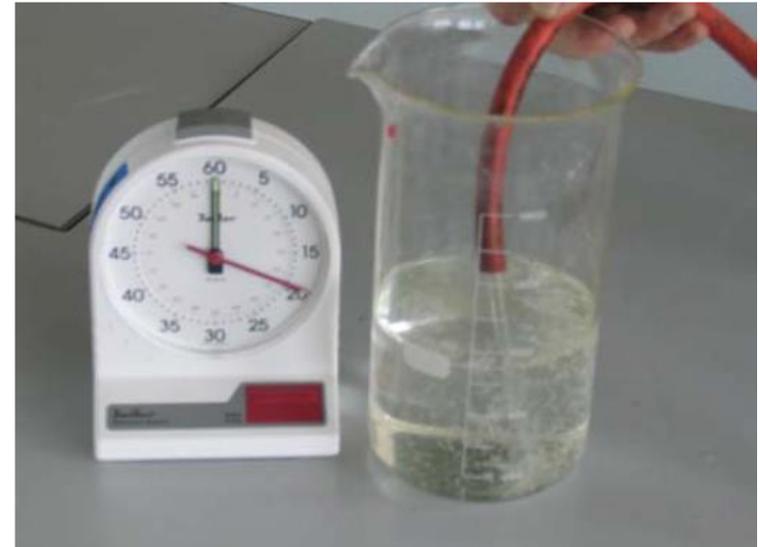
Deshalb ist der Vorgang mit **Entropieerzeugung** verbunden.

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

Die Entropiestromstärke

$$\text{Wasserstromstärke} = \frac{\text{Wassermenge}}{\text{Zeit}}$$

$$I_V = \frac{V}{t} \text{ in } \frac{l}{s}$$



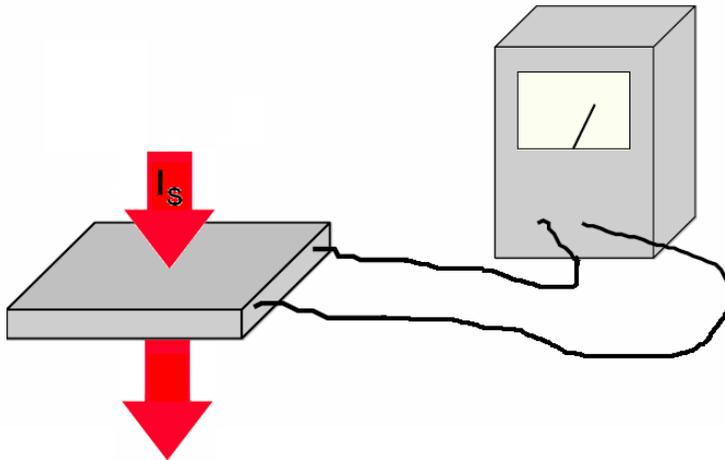
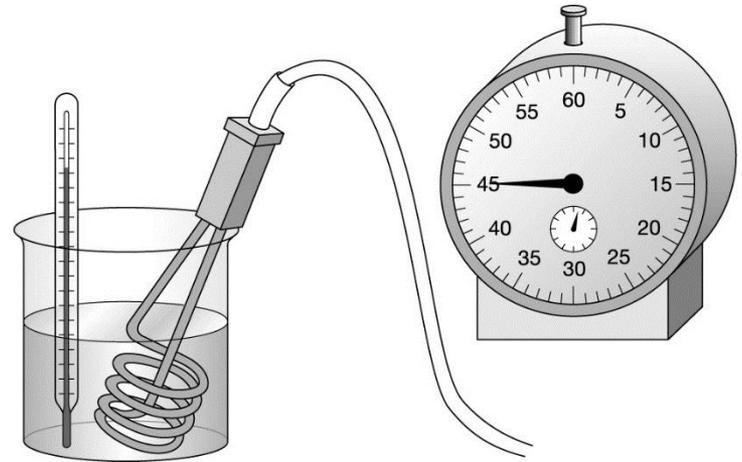
Mit Strömungsanzeigern kann man die Stärke von Flüssigkeitsströmen messen



Die Entropiestromstärke

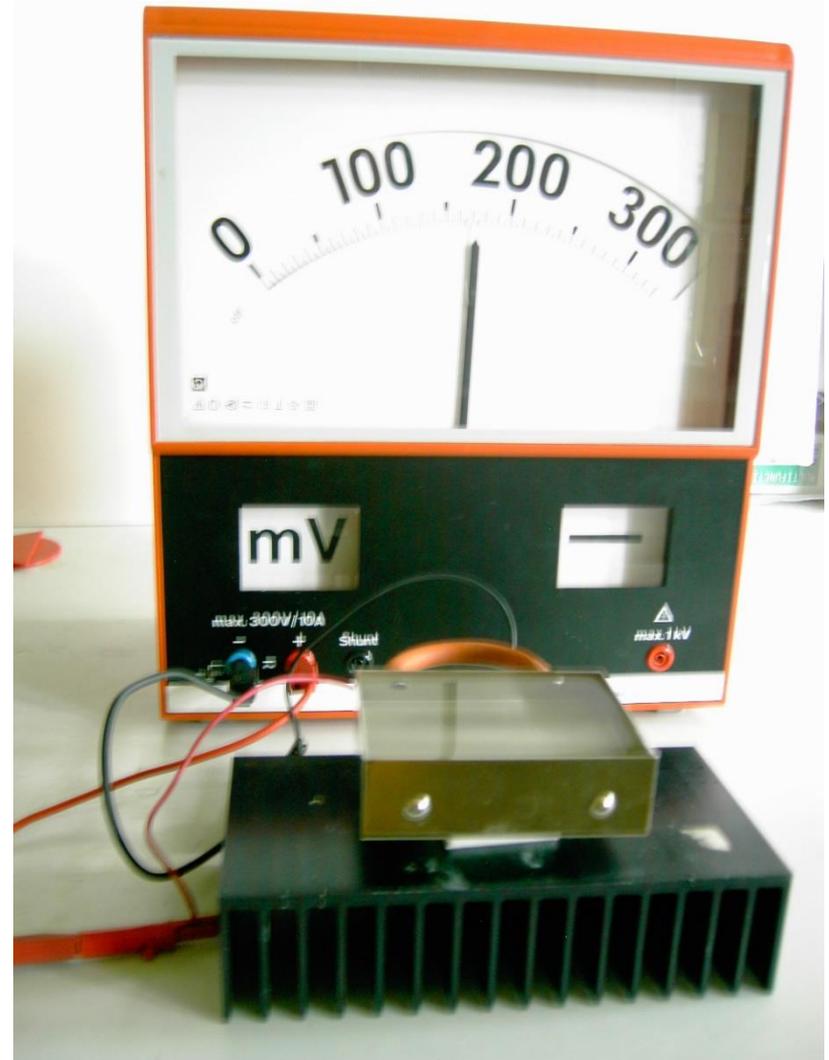
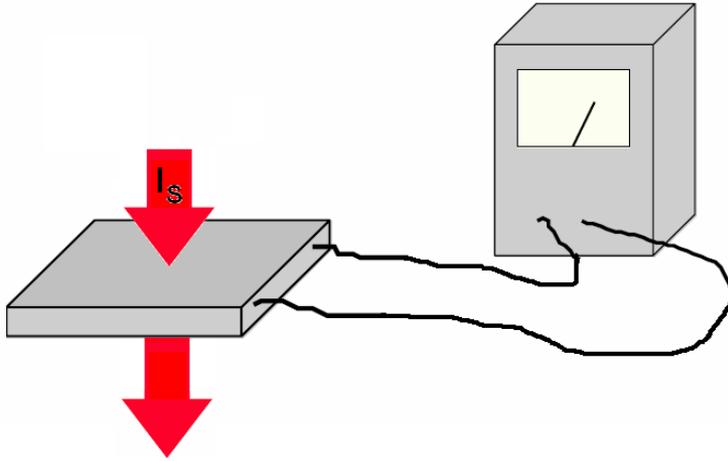
$$\text{Entropiestromstärke} = \frac{\text{Entropie}}{\text{Zeit}}$$

$$I_s = \frac{S}{t} \text{ in } \frac{\text{Ct}}{\text{s}}$$



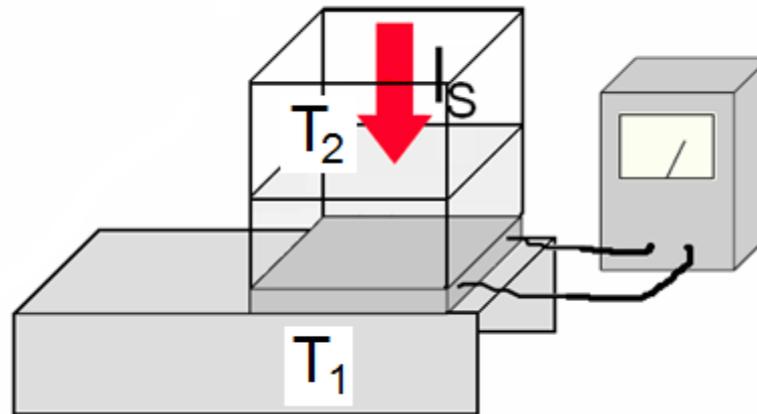
Mit Peltierelementen kann man die Stärke von Entropieströmen messen

Messung von Entropiestromstärken



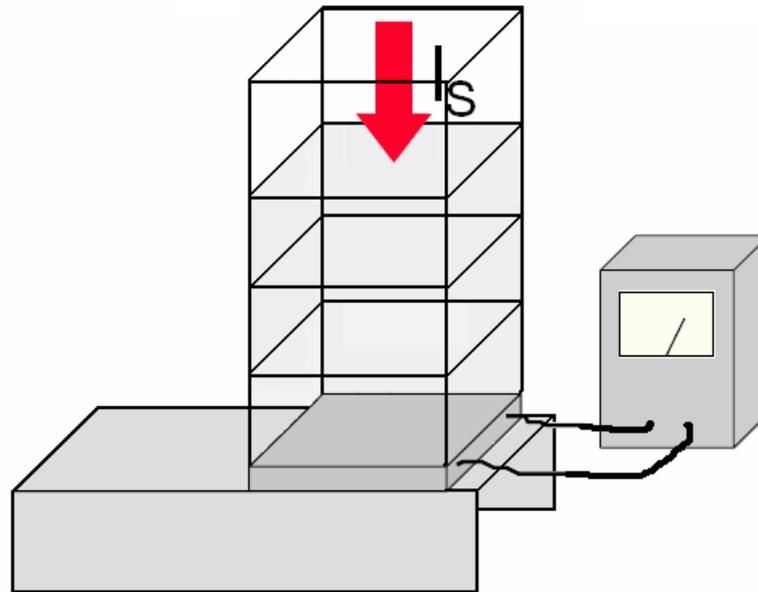
Messung der Abhängigkeiten von Entropiestromstärken

Die Temperatur T_2 wird variiert und I_S gemessen



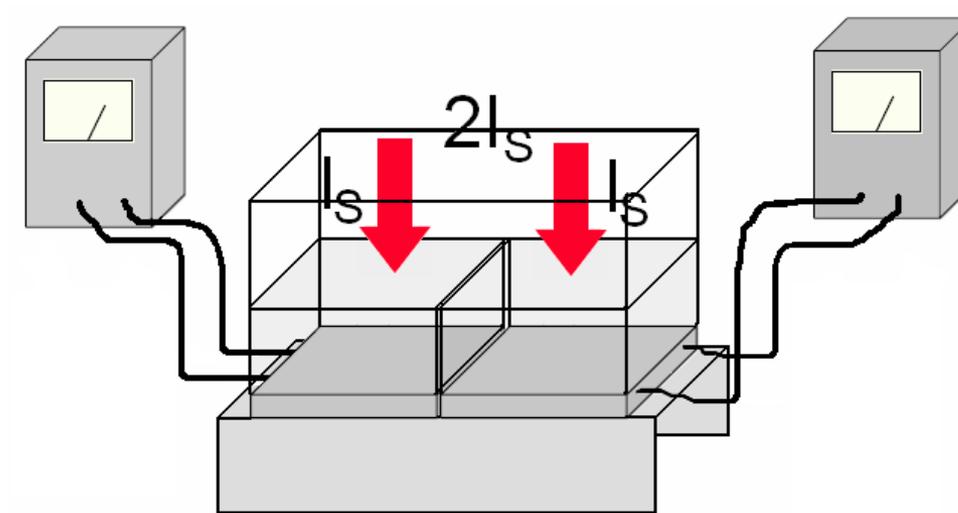
Messung der Abhängigkeiten von Entropiestromstärken

Die Anzahl der Wärmeleiter wird variiert (3, 2 und 1) und I_S gemessen



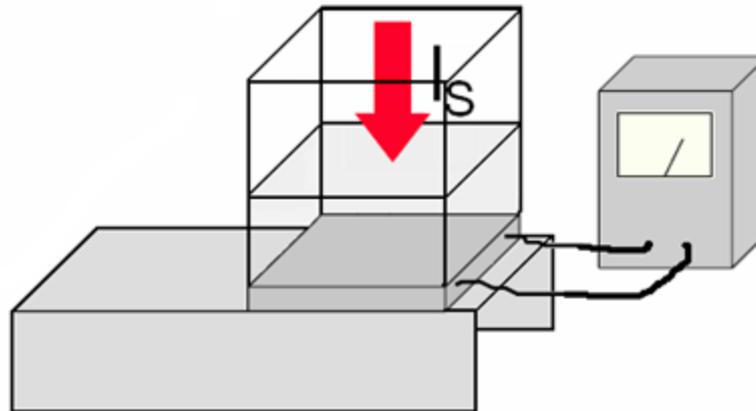
Messung der Abhängigkeiten von Entropiestromstärken

Durch nebeneinanderlegen wird die Querschnittsfläche des Wärmeleiters variiert und I_s gemessen



Messung der Abhängigkeiten von Entropiestromstärken

Das Material des Wärmeleiters wird variiert (Glas, Metall, Holz etc.) und I_S gemessen



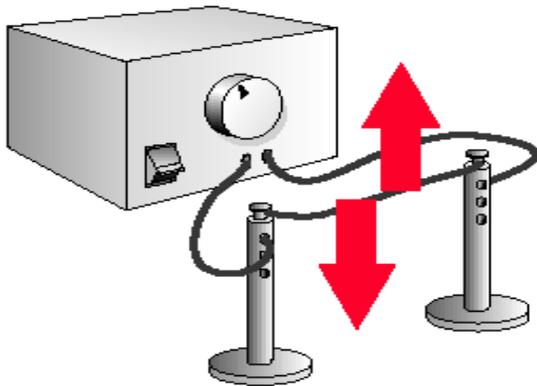
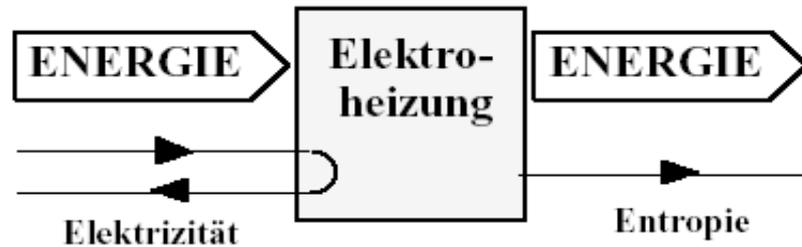
Der Wärmewiderstand

Entropiestromstärke
hängt ab von

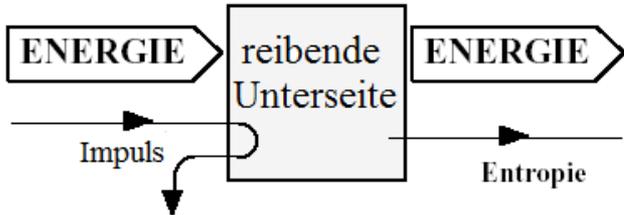
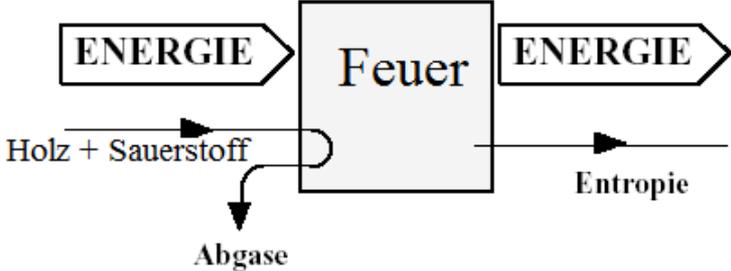
Entropie als Energieträger

Der stromdurchflossene Leiter gibt Energie ab

Entropie ist dabei der Energieträger



Entropie als Energieträger



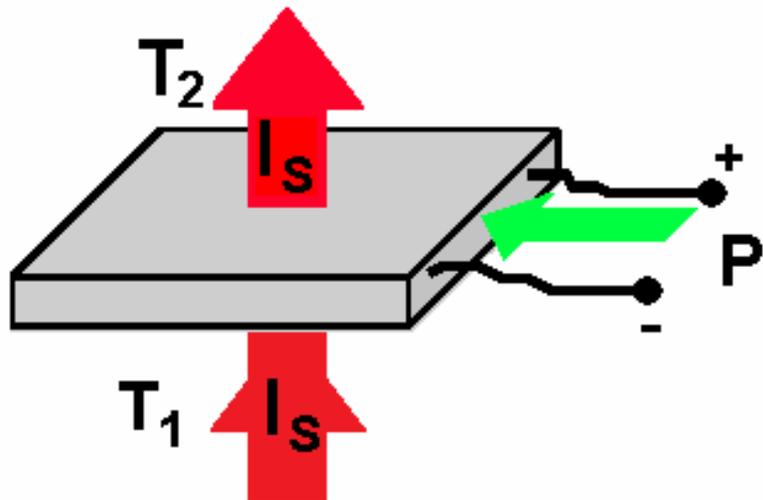
Entropie als Energieträger



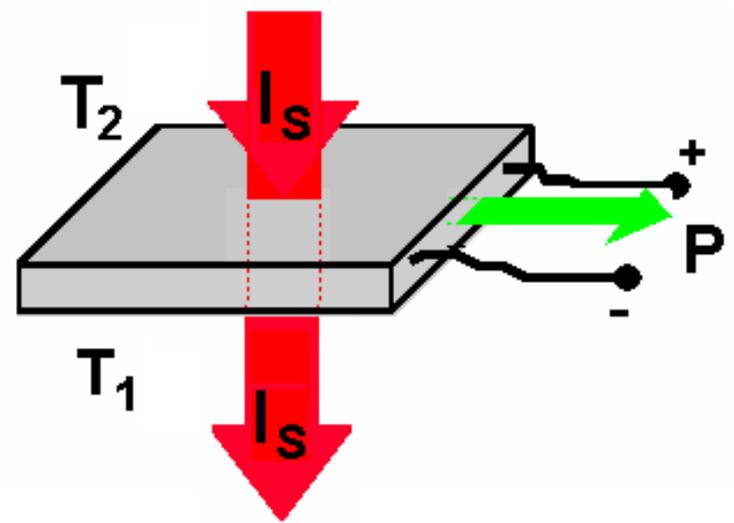
Experimente



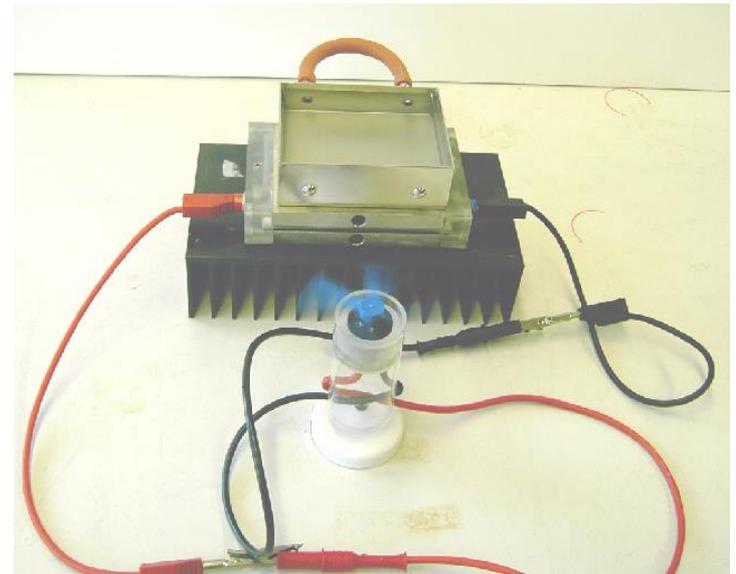
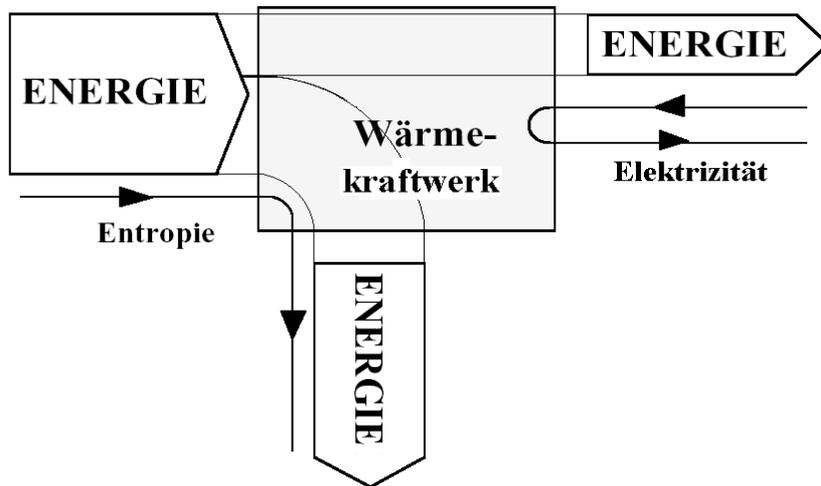
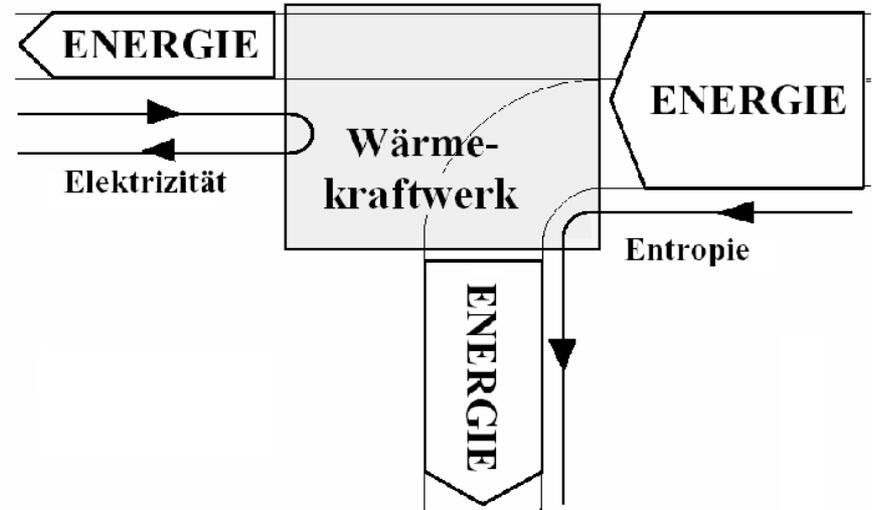
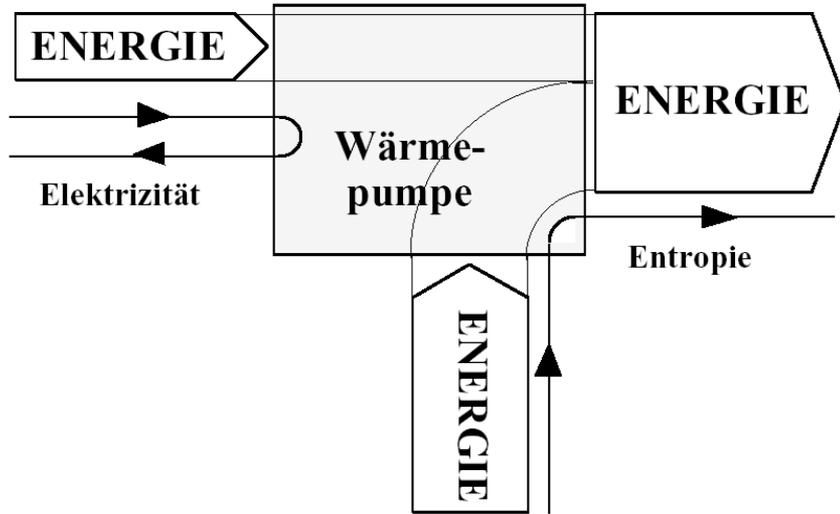
Wärmepumpe



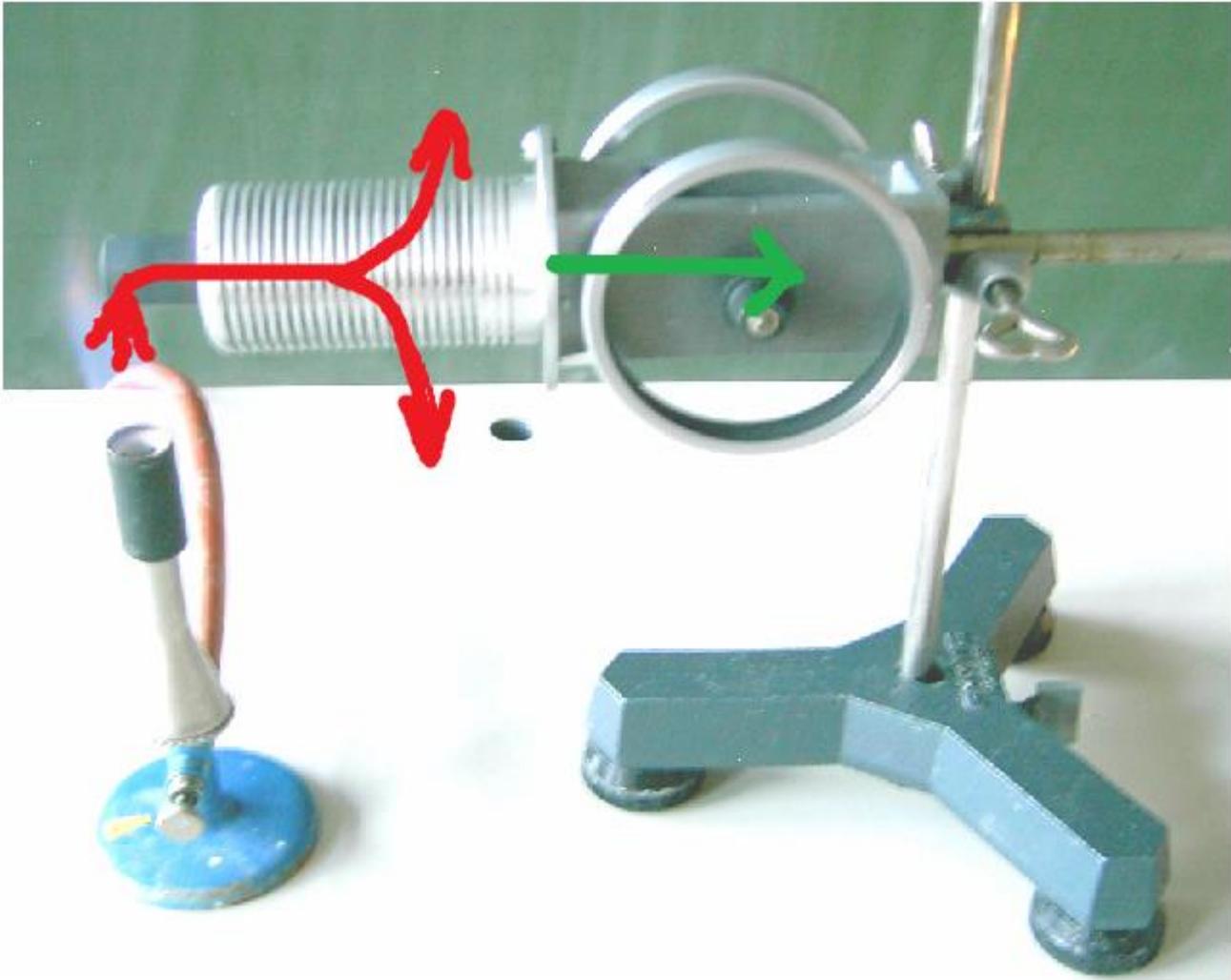
Wärmeleistungwerk / Thermogenerator



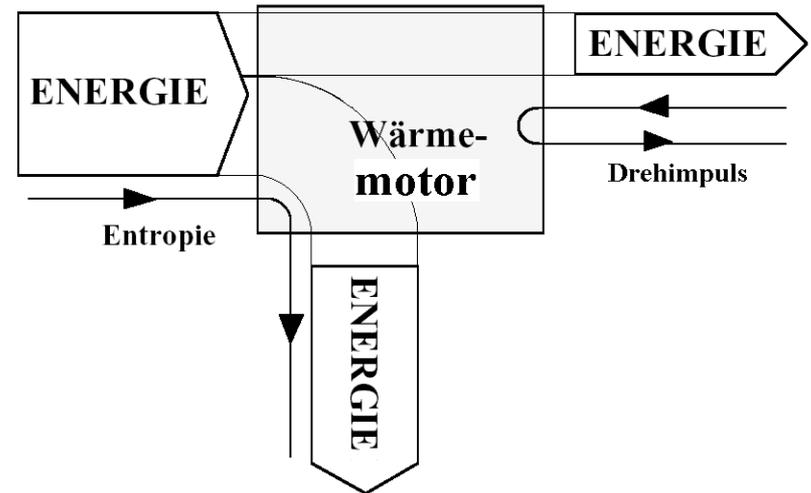
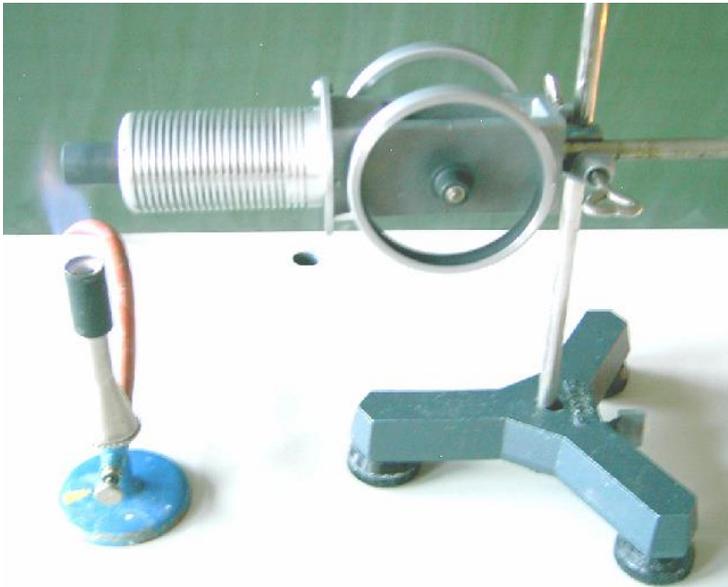
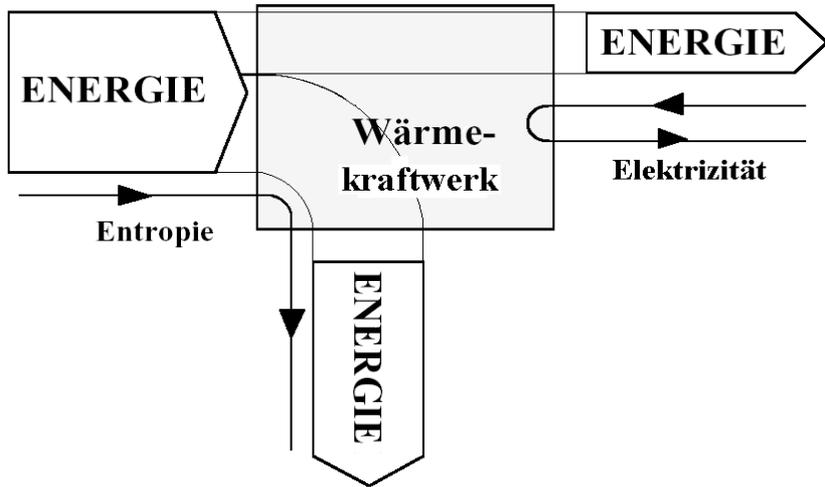
Thermogenerator



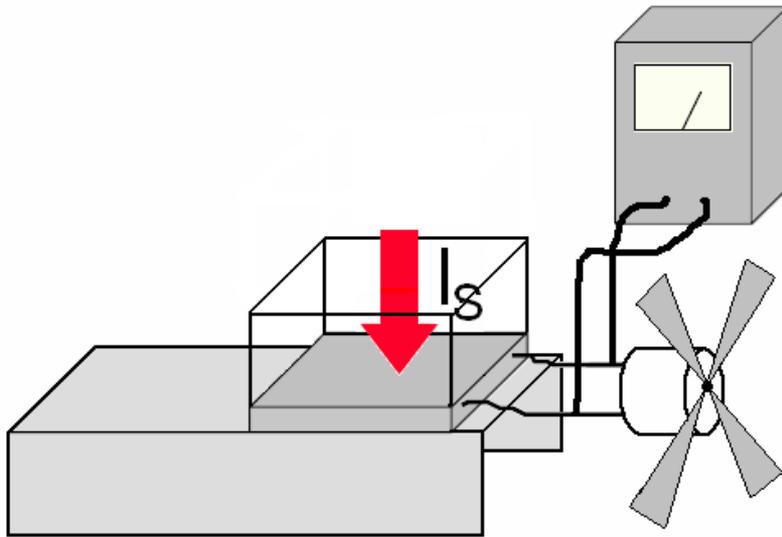
Wärmemotor



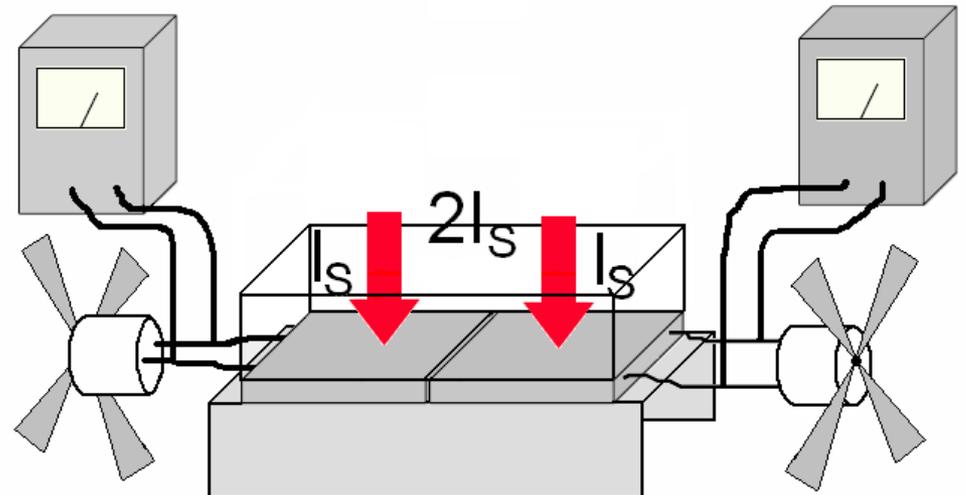
Wärmemotor



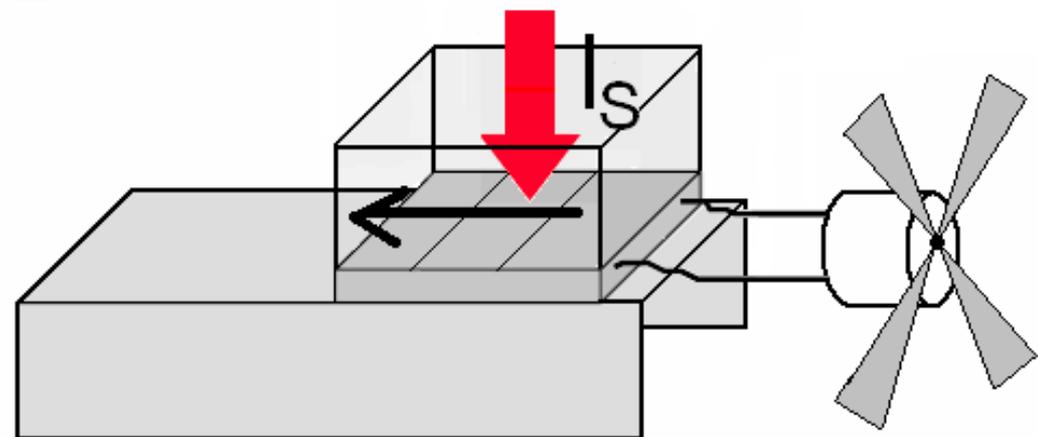
Zusammenhang zwischen Energiestromstärke P und Entropiestromstärke I_s



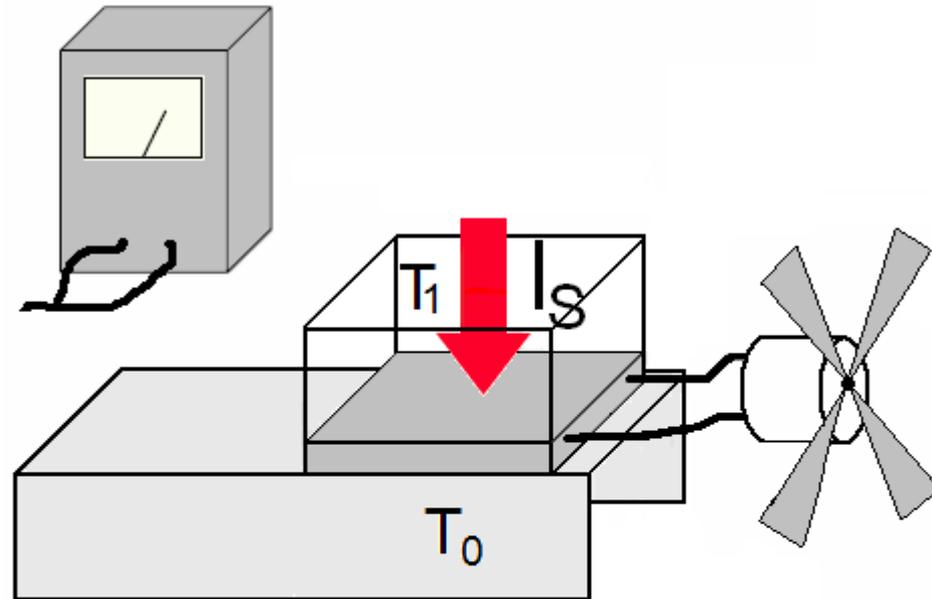
$P \sim I_s$
(bei gleichem ΔT)



Zusammenhang zwischen Energiestromstärke P und Entropiestromstärke I_s (Varianten)



Zusammenhang zwischen Energiestromstärke P und Entropiestromstärke I_S



ΔT	$\Delta T = T_1 - T_0$
P	P

$P \sim \Delta T$ (bei gleichem I_S)

Zusammenhang zwischen Energiestromstärke P und Entropiestromstärke I_S

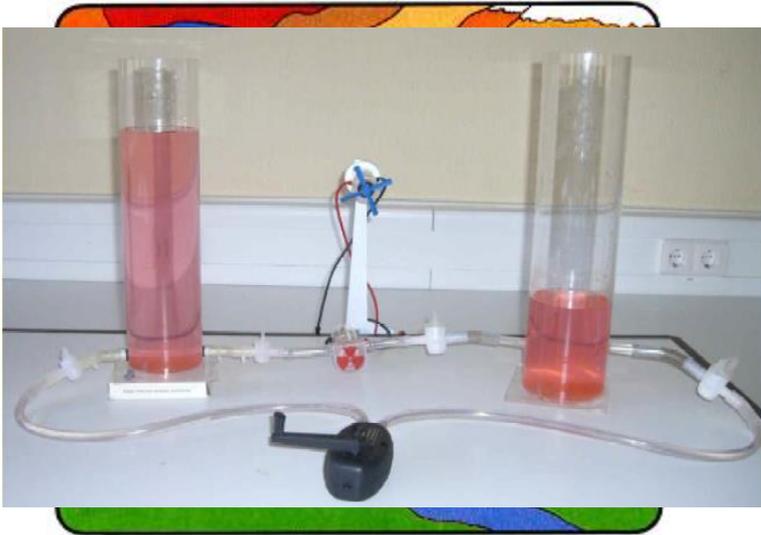
$$(1) P \sim I_S \text{ (bei gleichem } \Delta T)$$

$$(2) P \sim \Delta T \text{ (bei gleichem } I_S)$$

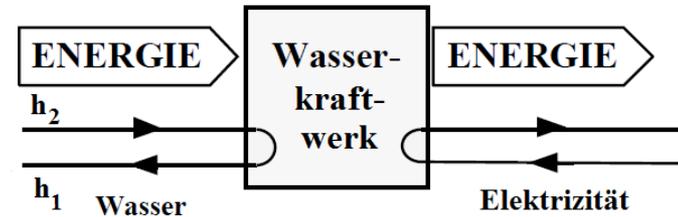
$$P = \Delta T \cdot I_S = (T_2 - T_1) \cdot I_S$$

$$\text{Spezialfall } T_1 = 0K : P = T \cdot I_S$$

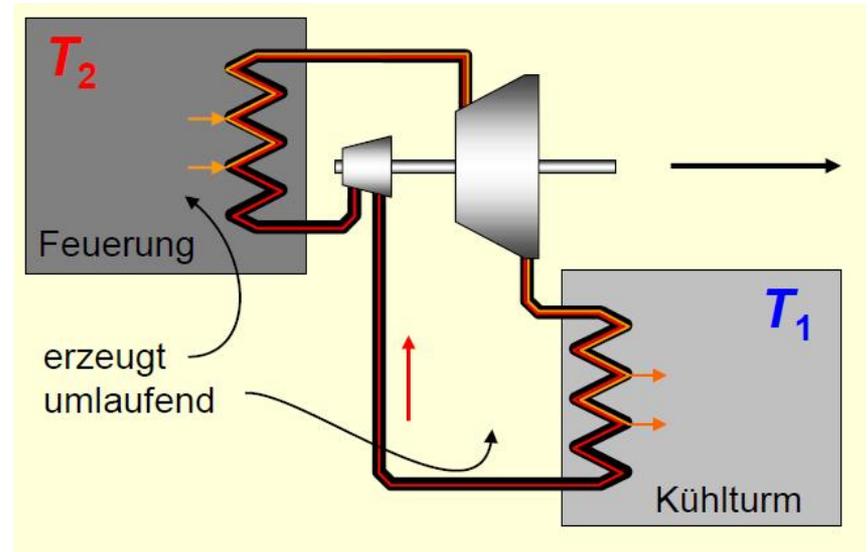
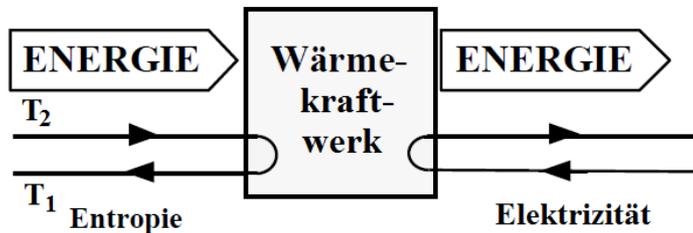
Vergleich Wasserkraftwerk - Wärmekraftwerk



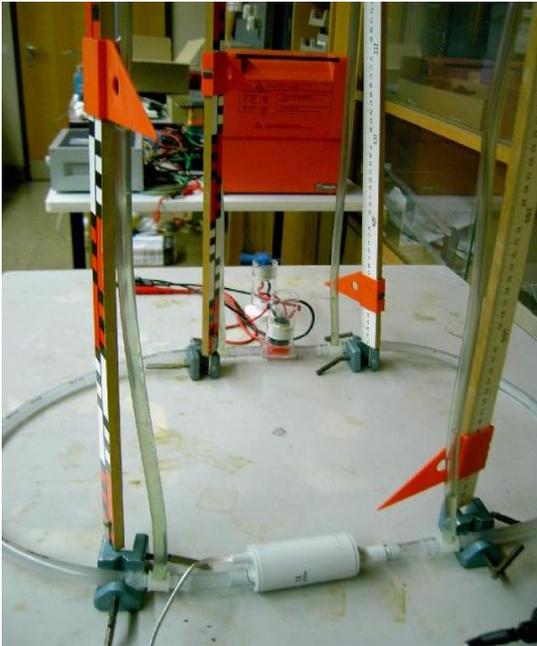
- Je stärker der **Wasserstrom** I_m ist, der durch das Wasserkraftwerk läuft, desto stärker ist der **Energiestrom**, den man vom Wasserstrom abladen kann.
- Je größer die **Höhendifferenz** $\Delta h = h_2 - h_1$ ist, desto stärker ist der Energiestrom, den man vom Wasserstrom abladen kann: $P = \Delta h \cdot g \cdot I_m$



- Je stärker der **Entropiestrom** ist, desto stärker ist der **Energiestrom**, den man vom Wasserstrom abladen kann.
- Je größer die **Temperaturdifferenz** $\Delta T = T_2 - T_1$ ist, desto stärker ist der Energiestrom, den man vom Wasserstrom abladen kann: $P = \Delta T \cdot I_s$

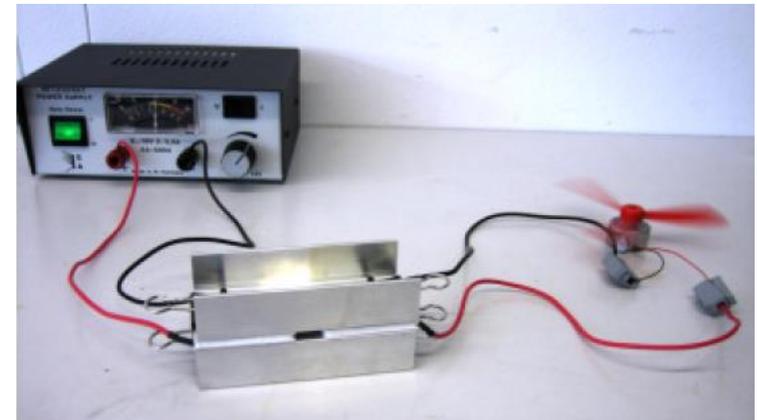


Hydraulischer Energieträger Stromkreislauf

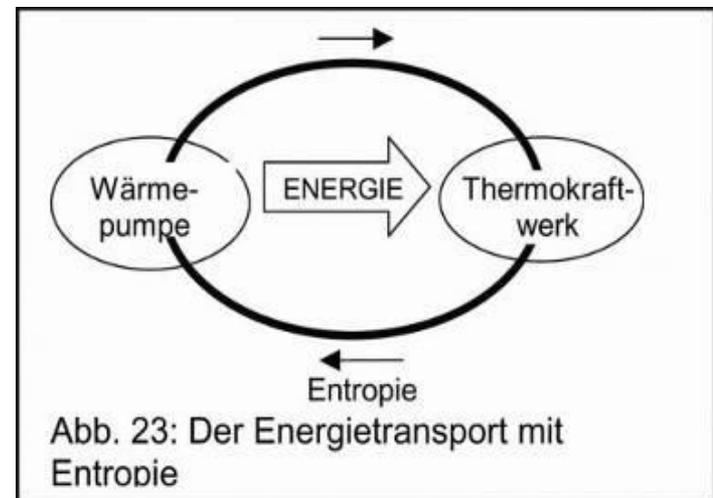
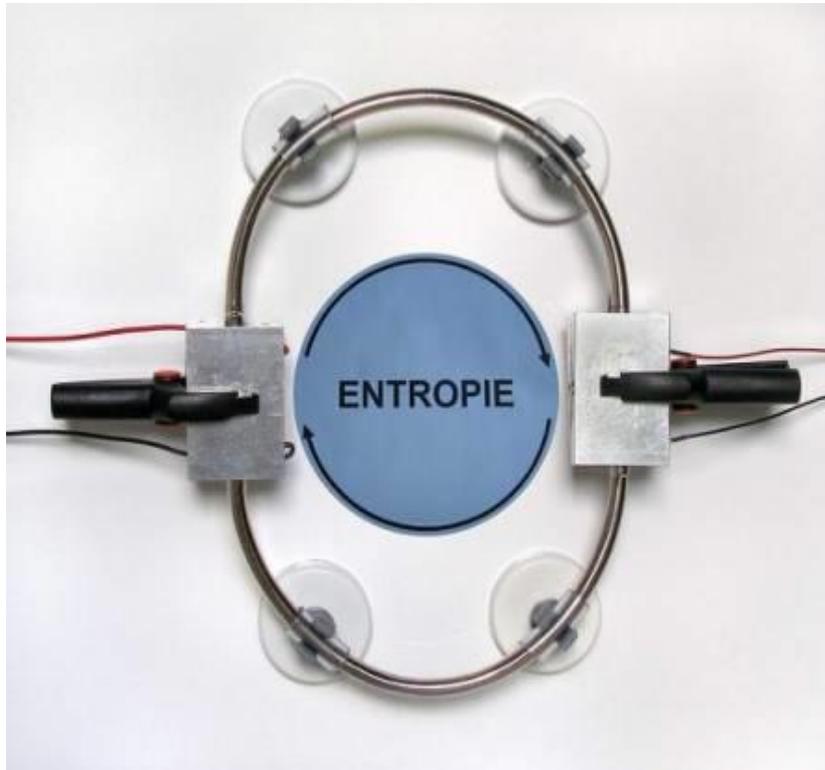


- Die **Pumpe** belädt das **Wasser** mit **Energie**. Dadurch ist der **Druck** nach der Pumpe (links) höher als vor der Pumpe (rechts).
- Das Wasser fließt mit der Energie zur **Turbine** und lädt dort die **Energie** wieder ab. Dadurch ist der **Druck** nach der Turbine (rechts) niedriger als vor der Turbine (links).
- Der **Druck** ist also ein **Beladungsmaß** des Wassers mit Energie.

- Die **Wärmepumpe** belädt die **Entropie** mit **Energie**. Dadurch ist die **Temperatur** nach der Wärmepumpe (oben) höher als vor der Wärmepumpe (unten).
- Die Entropie fließt mit der Energie zum **Wärmegenerator** und lädt dort die Energie wieder ab. Dadurch ist die **Temperatur** nach dem Wärmegenerator (unten) niedriger als vor dem Wärmegenerator (oben).
- Die Temperatur ist also ein **Beladungsmaß** der Entropie mit Energie.



Thermischer Energieträger Stromkreislauf



Messung der Entropie

$$P = T \cdot I_S$$

$$I_S = \frac{P}{T}$$

$$\Delta S = I_S \cdot \Delta t$$



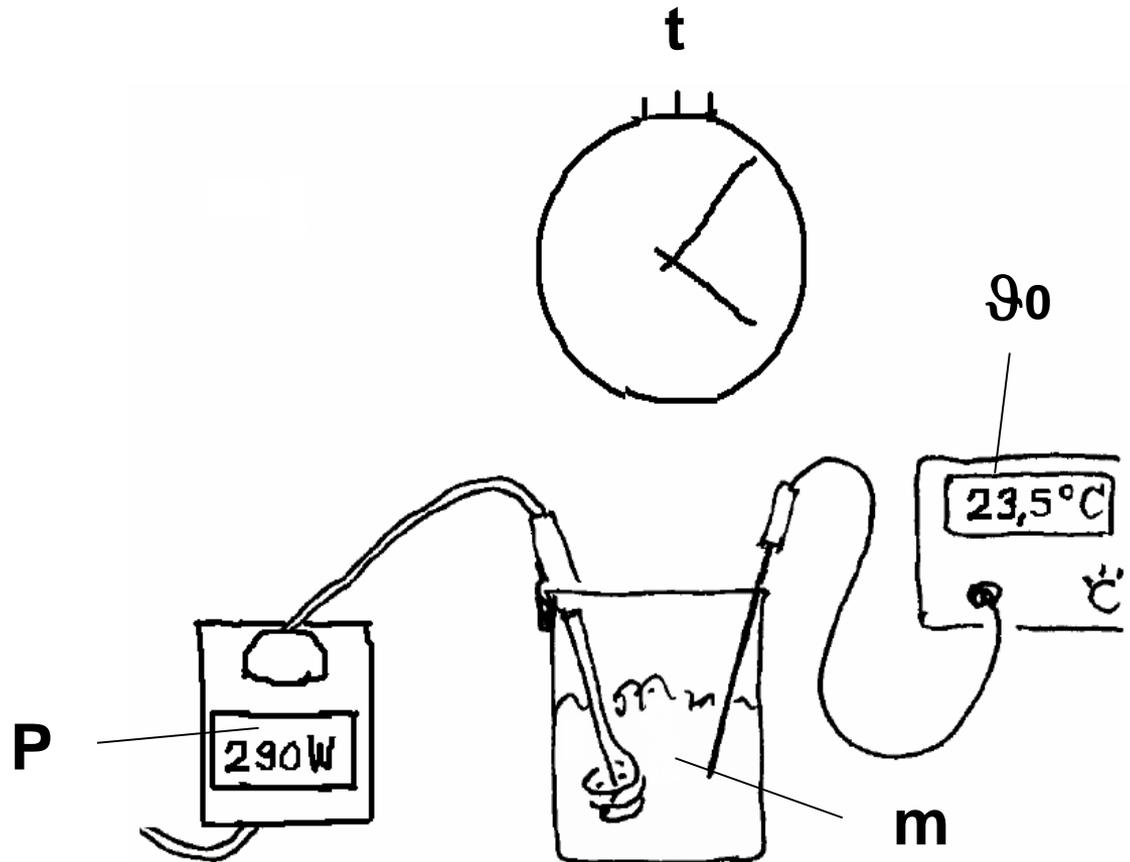
Messung durchführen

Vor Beginn:

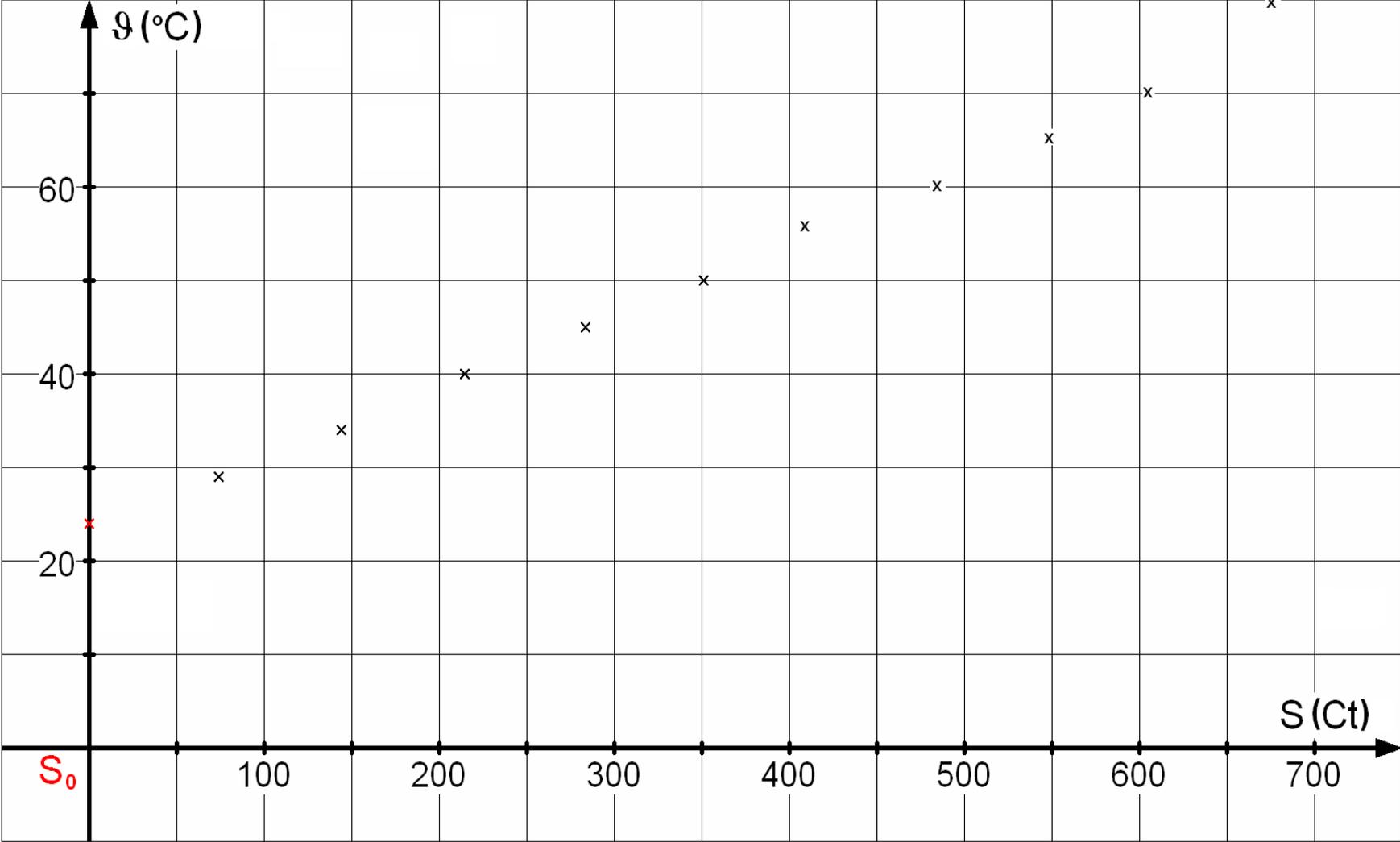
- Wassermasse m
- Anfangstemperatur ϑ_0
- Energiestromstärke P

Während der Messung:

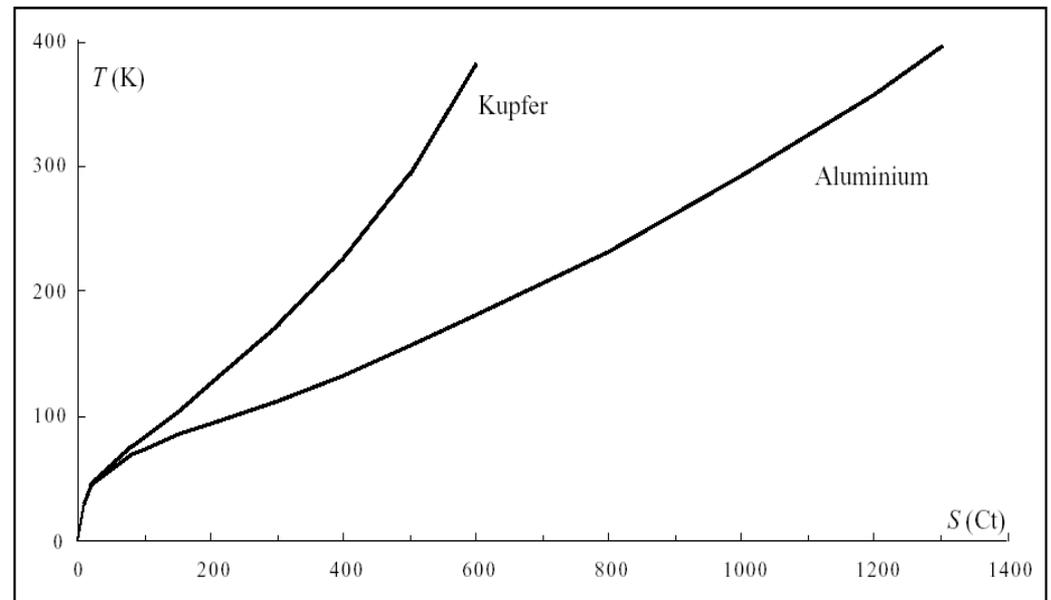
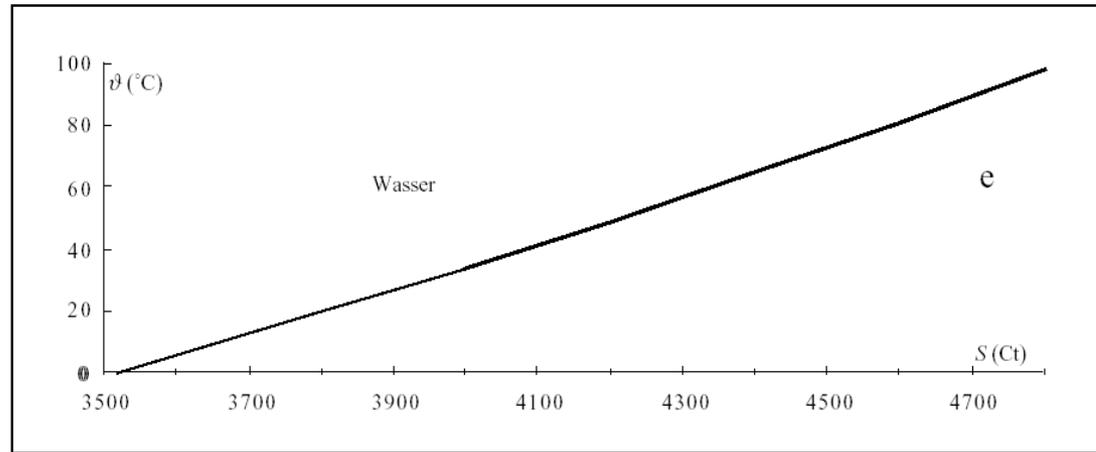
In Zeitschritten Δt die
Temperatur ablesen



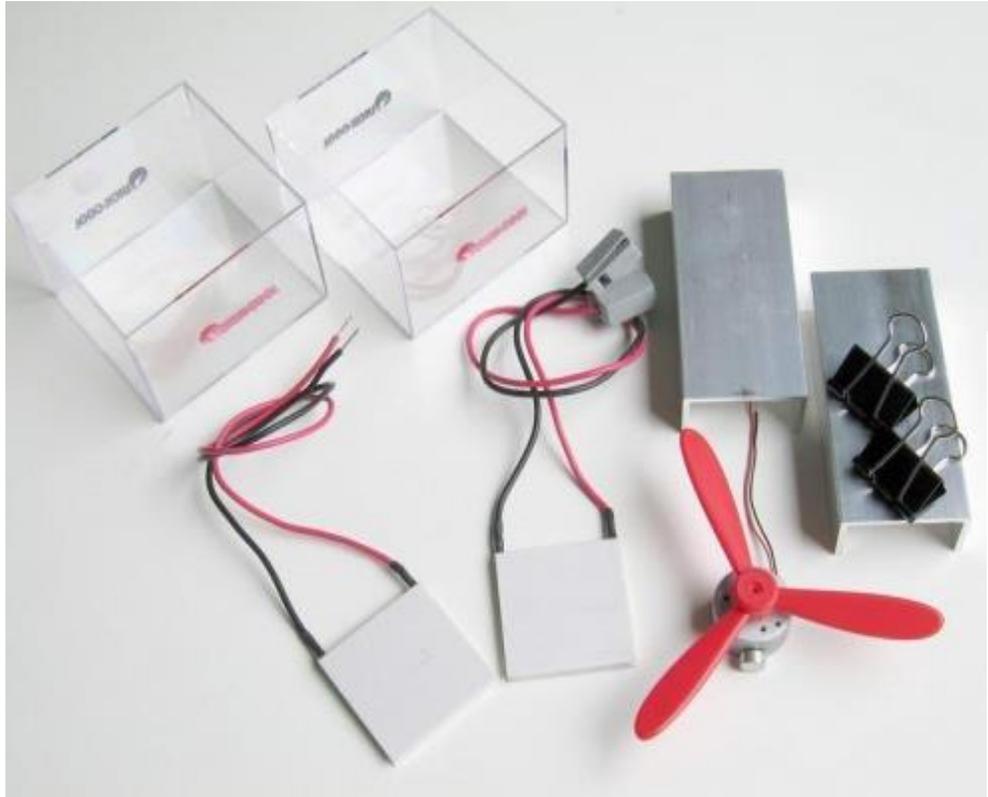
Graphische Darstellung der Auswertung



Der Zusammenhang zwischen Entropieinhalt und Temperatur



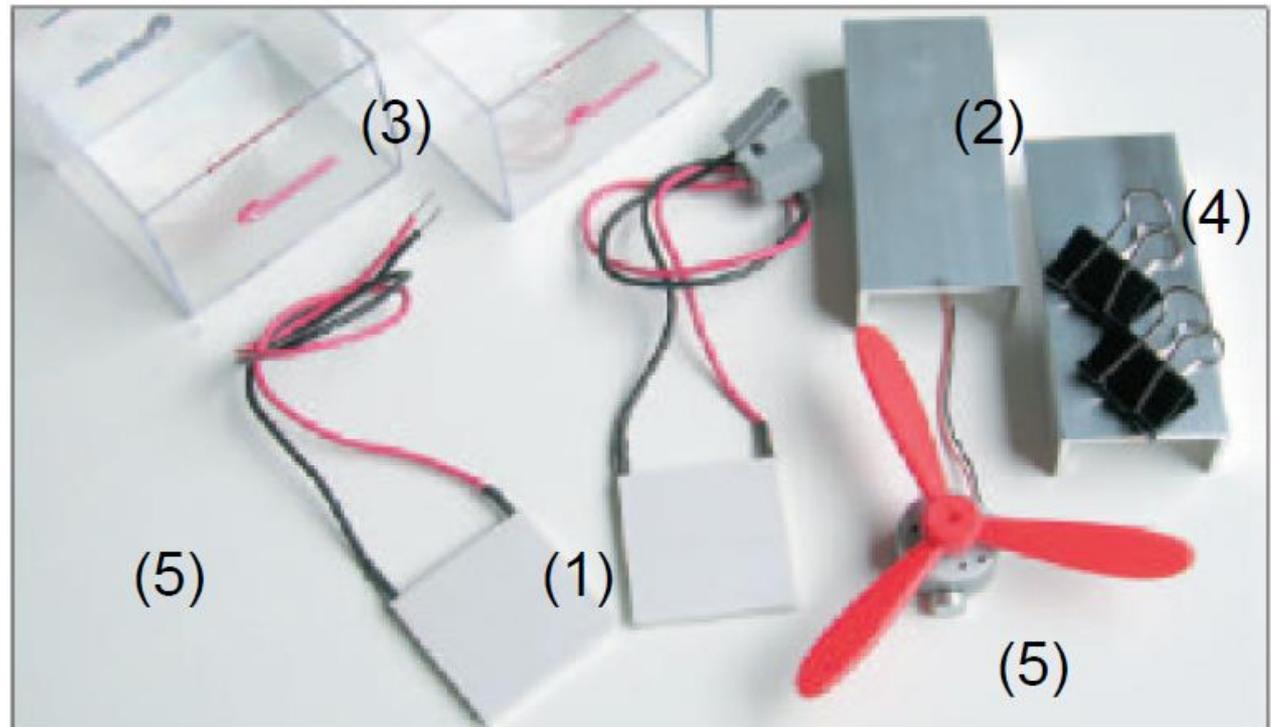
Modell Wärmekraftwerk



Das Quick-Cool-ThermoSchülerSet

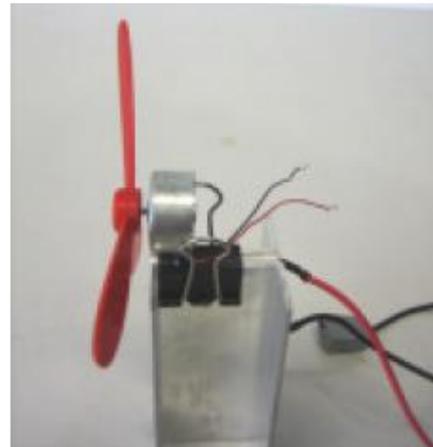
Das Quick-Cool-ThermoSchülerSet besteht aus

- zwei Peltierelementen (1),
- zwei Aluprofilen (2),
- zwei Behältern (3),
- zwei Kammern (4),
- einem Motor mit Propeller (5) mit einem Magnet zur Befestigung des Motors.



Versuchsaufbau:

1. Lege das mit den Anschlussklemmen versehene Peltierelement auf ein Aluminiumprofil, dann das andere Aluminiumprofil auf das Peltierelement. Die Anschlüsse sollen seitlich heraus-schauen.
2. Mit der Kammer das Peltierelement zwischen den Aluminiumprofilen festklemmen.
3. Den Magneten ganz vorne an der Klammer befestigen. Den Motor darauf geheftet, nachdem den Propeller auf der Achse gedrückt wurde. Der Propeller muss sich frei drehen können.
4. Die Anschlüsse von Motor und Peltierelement verbinden. Dazu die Klemme ganz eindrücken und das Kabel des Motors in die freigewordene Öffnung **tief** hineinstecken.
5. Die Behälter nebeneinander stellen und die Aluminiumprofile über die Behälterränder ziehen, so dass in jedem Behälter ein Profil steht.



Die verschiedenen Gesichter der Entropie

A



A: Das alltägliche Gesicht

Jeder Mensch spürt sie als Wärme.

B: Das philosophische Gesicht

Der Philosoph erblickt in ihr die Herrschaft des Zufalls.

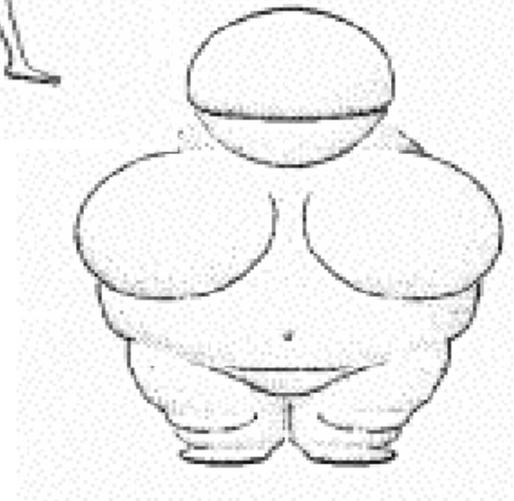
B



C

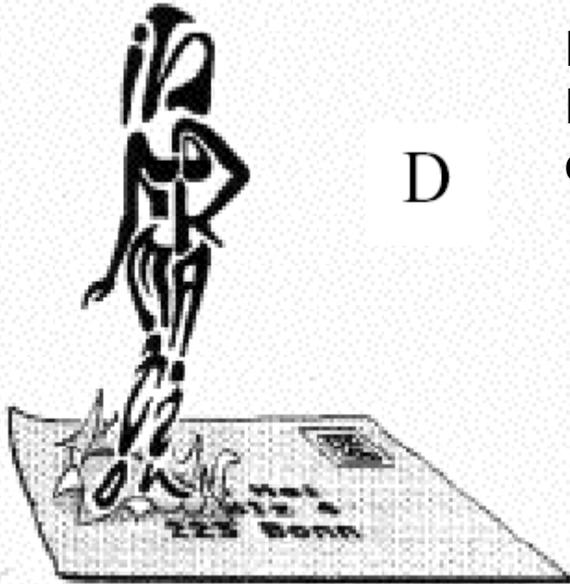
C: Das statistische Gesicht

Für den statistischen Physiker repräsentiert sie ein vieldimensionales Volumen.



Die verschiedenen Gesichter der Entropie

D



D: Das informationstheoretische Gesicht

Der Informatiker beschreibt mit ihr den Umfang einer Nachricht.

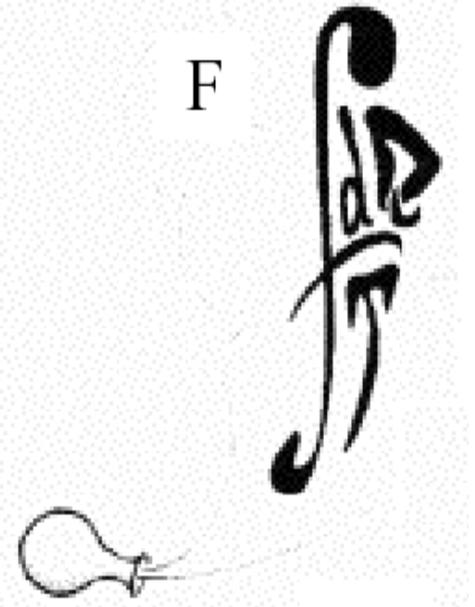
E



E: Das chemische Gesicht

Für den Chemiker ist sie Inbegriff der Unordnung.

F



F: Das thermodynamische Gesicht

Der traditionelle Thermodynamiker sublimiert daraus eine formalistische Essenz.

Vielen Dank für Ihr Interesse!