

# Thermodynamik

*Bemerkungen*

*Unterricht*



[www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de](http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de)  
[www.kpk-akademie.de](http://www.kpk-akademie.de)

	extensive Größe	intensive Größe	Strom	Energie- strom
<b>Elektrizität</b>	$Q$	$\phi$	$I$	$P = U \cdot I$
<b>Mechanik</b>	$p$	$v$	$F$	$P = v \cdot F$
<b>Wärmelehre</b>	$S$	$T$	$I_S$	$P = T \cdot I_S$
<b>Chemie</b>	$n$	$\mu$	$I_n$	$P = \mu \cdot I_n$

Die Thermodynamik ist der Teil der Physik, bei dem es um die Entropie und Entropieströme geht.

**Entropie von Anfang an!**

Entropie ist ein schwieriger Begriff

Hüfner und Löhken – MNU Juni 2011

Das Konzept der Entropie ist ohne Zweifel eins der okkultesten Konzepte der Physik

H. Heuser – Unendlichkeiten 2010

If you can live with entropy you can live with anything.

amerikanischer Cartoonist zitiert v. H.Heuser

Entropie kann man auf eine Art einführen **“which every schoolboy could understand”**

(Callendar, 1911).



Callendar  
(1863-193)

Die Wärme in der Alltagssprache

Die Wärme als physikalische  
(Prozess) Größe

$$dU = \delta Q + \delta W = TdS + pdV$$

$$dS = \int \frac{\delta Q_{\text{rev}}}{T}$$

$$S = k_B \ln \Omega$$

Wieviel Entropie enthält ein Liter Wasser bei einer Temperatur von 20°C?

Wieviel Entropie ist nötig um 1 Liter heißes Wasser zu verdampfen?

Wieviel Wärme enthält ein Liter Wasser bei einer Temperatur von 20°C?

Wieviel Wärme ist nötig um 1 Liter heißes Wasser zu verdampfen?

**leicht oder schwer?**

**gute oder schlechte Fragen?**


Die Wärme in der Alltagssprache

Die Wärme als physikalische  
(Prozess) Größe

$$dU = \delta Q + \delta W = TdS + pdV$$

$$dS = \int \frac{\delta Q_{\text{rev}}}{T}$$

$$S = k_B \ln \Omega$$



Widerspruch

“Es ist also korrekt zu sagen, dass ein System eine große Menge an innerer Energie enthält, aber es ist nicht korrekt wenn man sagt, dass ein System eine große Menge Wärme oder einer große Menge Arbeit enthält. Wärme ist nicht etwas, das in einem System enthalten sein kann. Eher ist sie ein Maß für die Energie, die in Folge einer Temperaturdifferenz von einem zu einem anderen System fließt.” (Tipler, 2003)

Die Wärme in der Alltagssprache



passt



Entropie

Die Wärme als physikalische  
(Prozess) Größe

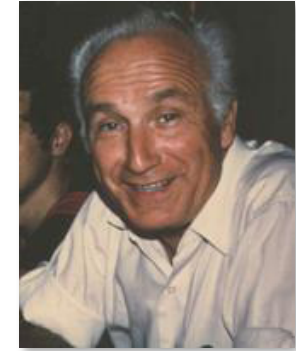
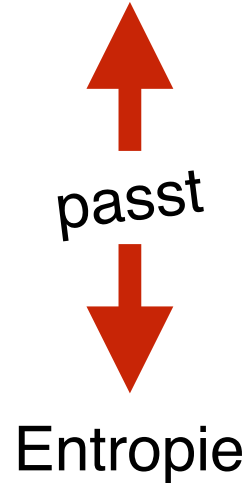
$$dU = \delta Q + \delta W = TdS + pdV$$

$$dS = \int \frac{\delta Q_{\text{rev}}}{T}$$

$$S = k_B \ln \Omega$$

Dass Entropie und Wärmemenge („Umgangssprache“) lediglich zwei verschiedene Namen für dieselbe Größe sind, ist nicht nur für die Geschichte der Physik von Bedeutung, sondern sollte es vor allem für die Didaktik sein - besagt es doch, dass die Entropie anschaulich verstanden werden kann als Menge der Wärme. Diese wie eine Art Substanz betrachtete Wärme befolgt einen halben Erhaltungssatz: Sie kann zwar erzeugt, aber nicht vernichtet werden.“

Die Wärme in der Alltagssprache



G. Falk

Dass Entropie und Wärmemenge („Umgangssprache“) lediglich zwei verschiedene Namen für dieselbe Größe sind, ist nicht nur für die Geschichte der Physik von Bedeutung, sondern sollte es vor allem für die Didaktik sein - besagt es doch, dass die Entropie anschaulich verstanden werden kann als Menge der Wärme. Diese wie eine Art Substanz betrachtete Wärme befolgt einen halben Erhaltungssatz: Sie kann zwar erzeugt, aber nicht vernichtet werden.“

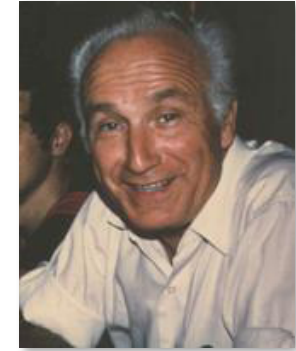
Die Wärme in der Alltagssprache



passt



Entropie



G. Falk



G. Job

Job: "Neudarstellung der Wärmelehre – Die Entropie als Wärme". (1972)



## 10.1 Entropie und Temperatur



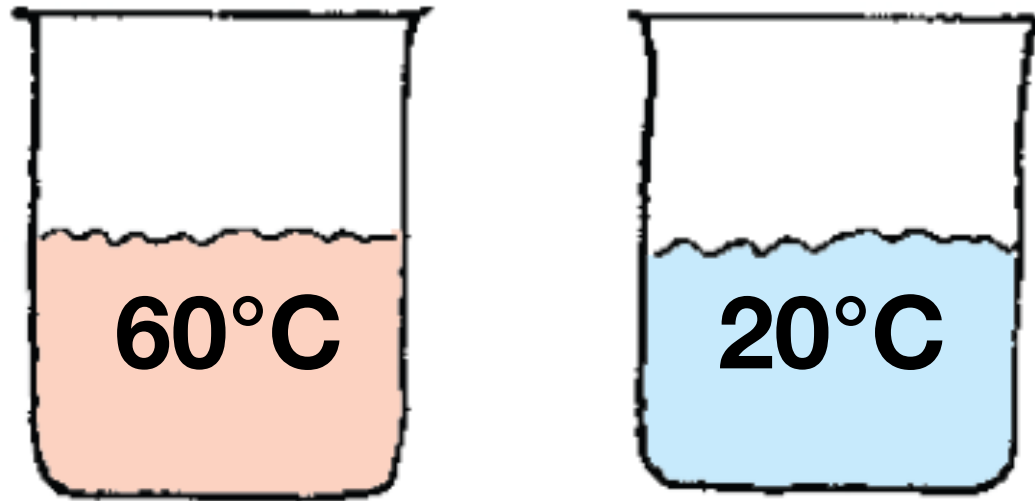
mehr *Wärme*  
mehr Entropie



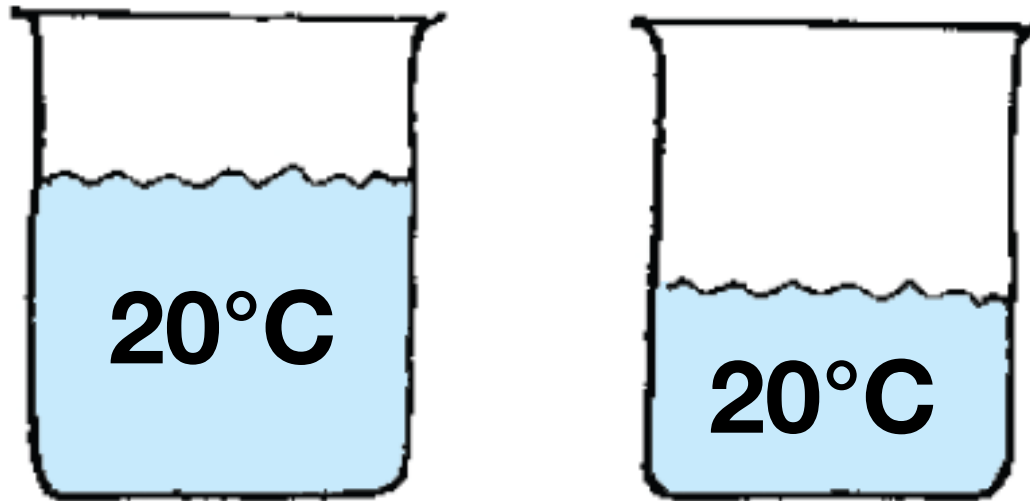
weniger *Wärme*  
weniger Entropie

Temperatur  $\vartheta$  Grad Celsius  $^{\circ}\text{C}$

Entropie  $S$  Carnot  $\text{Ct}$



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

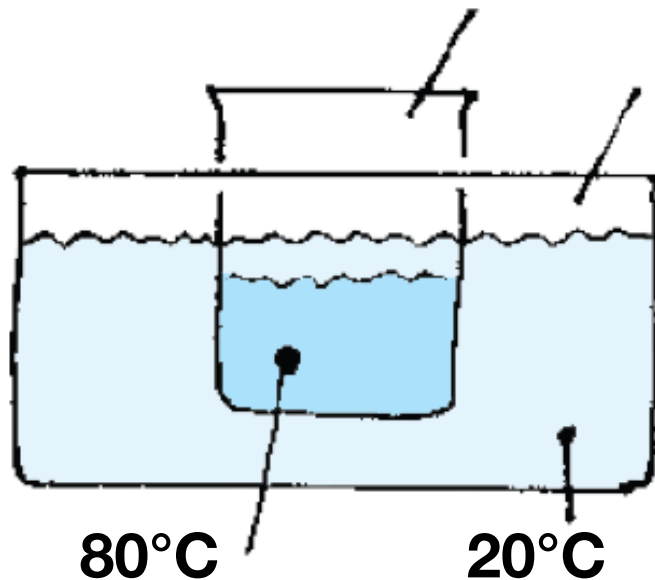


Je größer ein Körper, desto mehr Entropie enthält er.

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

## 10 Entropie und Entropieströme

### 10.2 Der Temperaturunterschied als Antrieb für einen Entropiestrom

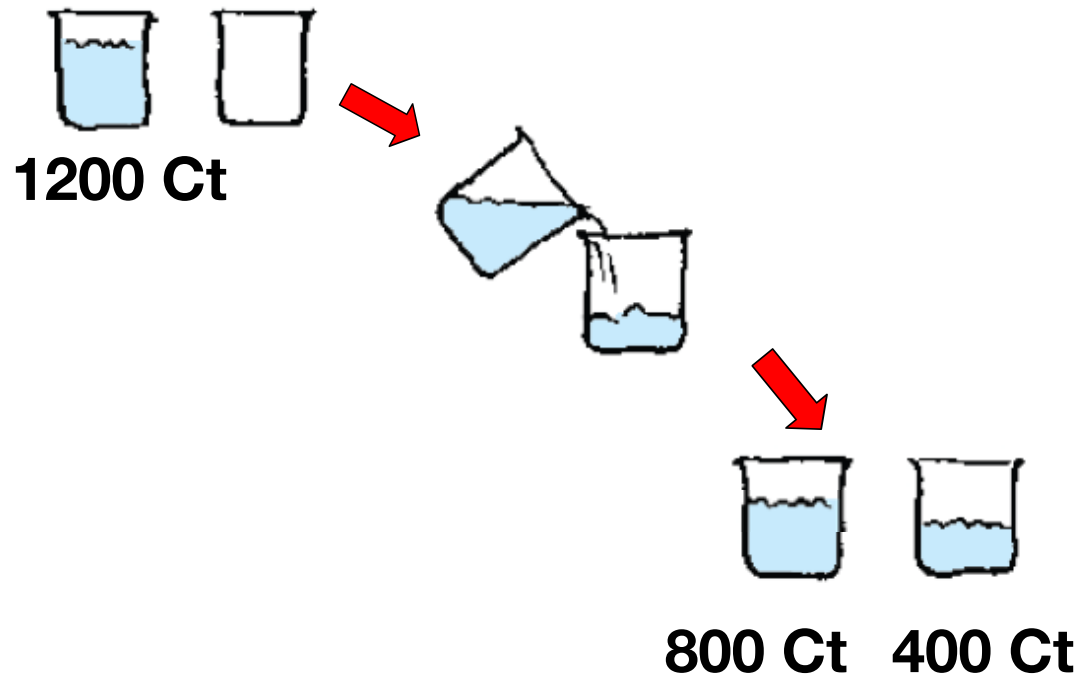


Entropie fließt freiwillig von Stellen höherer zu niedrigerer Temperatur.

Der Temperaturunterschied ist ein Antrieb für einen Entropiestrom.

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

Je größer ein Körper, desto mehr Entropie enthält er.



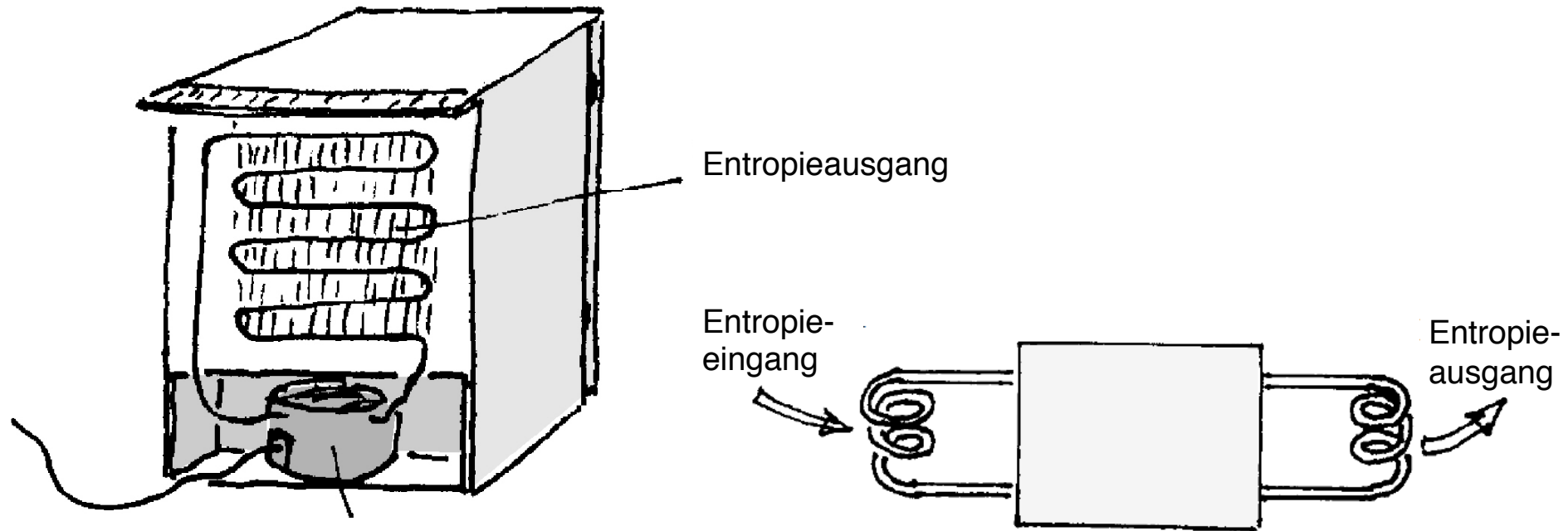
mengenartig -  
stoffartig

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

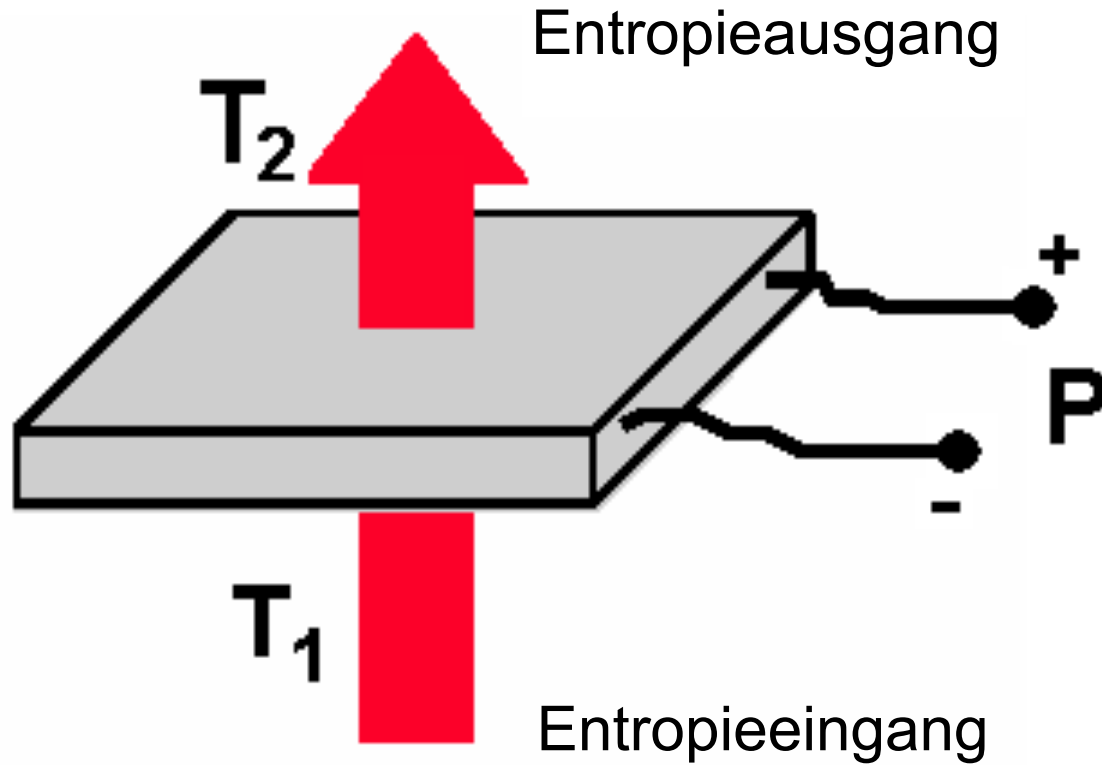
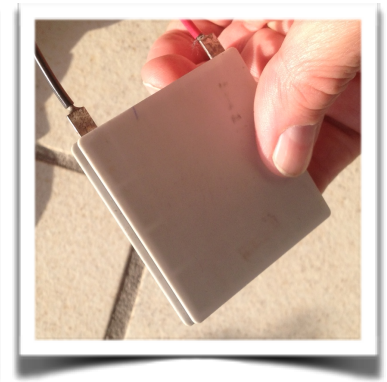
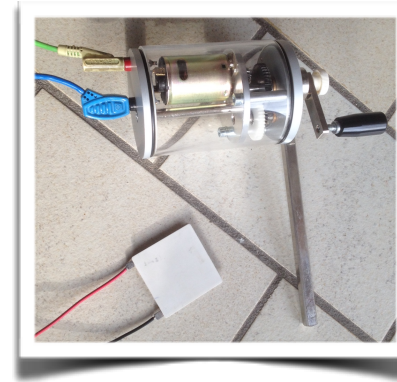
Je größer ein Körper, desto mehr Entropie enthält er.

Entropie fließt freiwillig von Stellen höherer zu niedrigerer Temperatur.

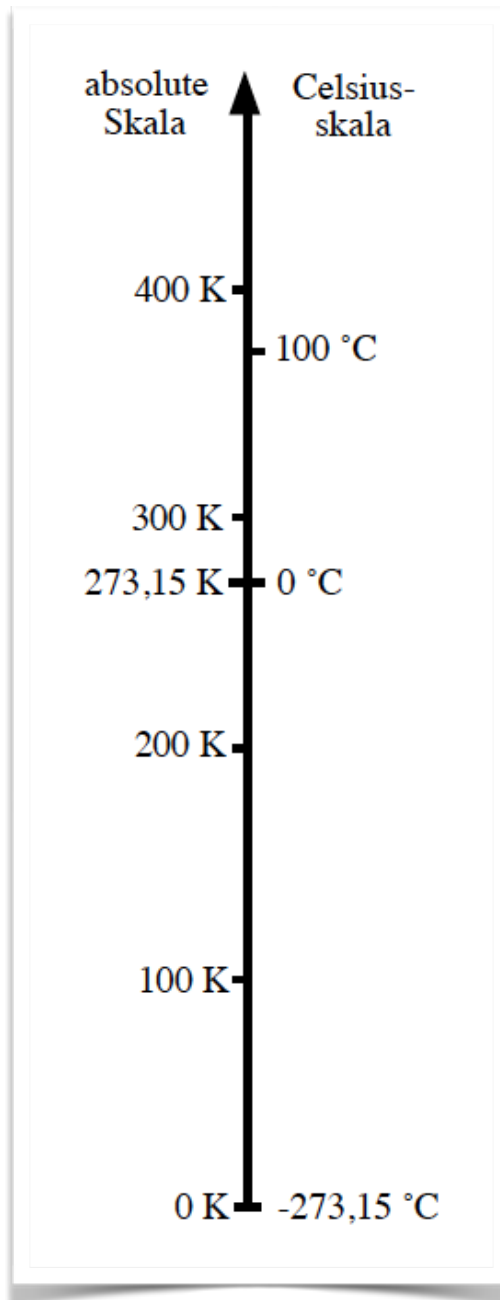
Der Temperaturunterschied ist ein Antrieb für einen Entropiestrom.



Damit Entropie von Stellen tieferer zu Stellen höherer Temperatur fließt, benötigt man eine Pumpe.

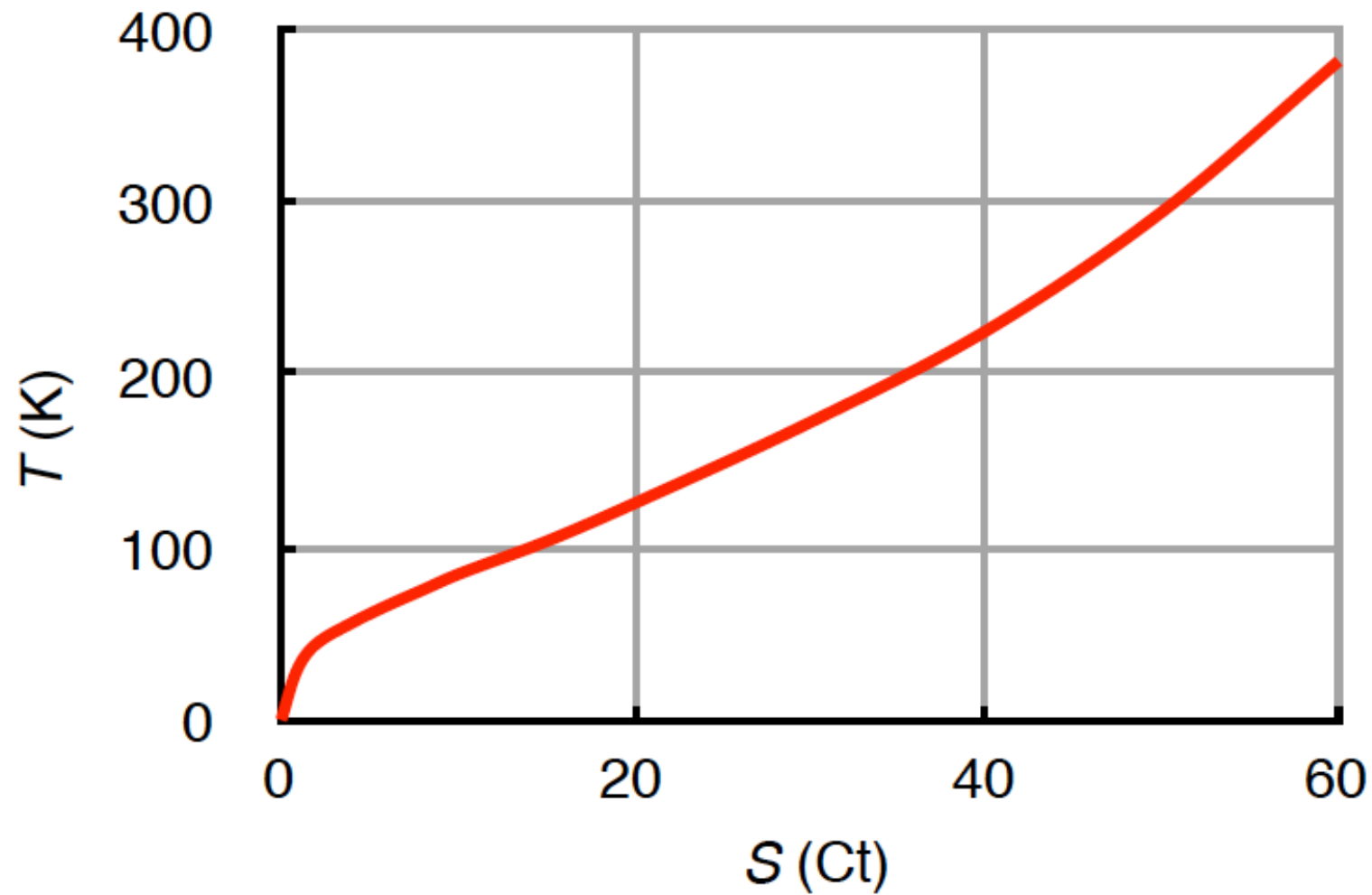






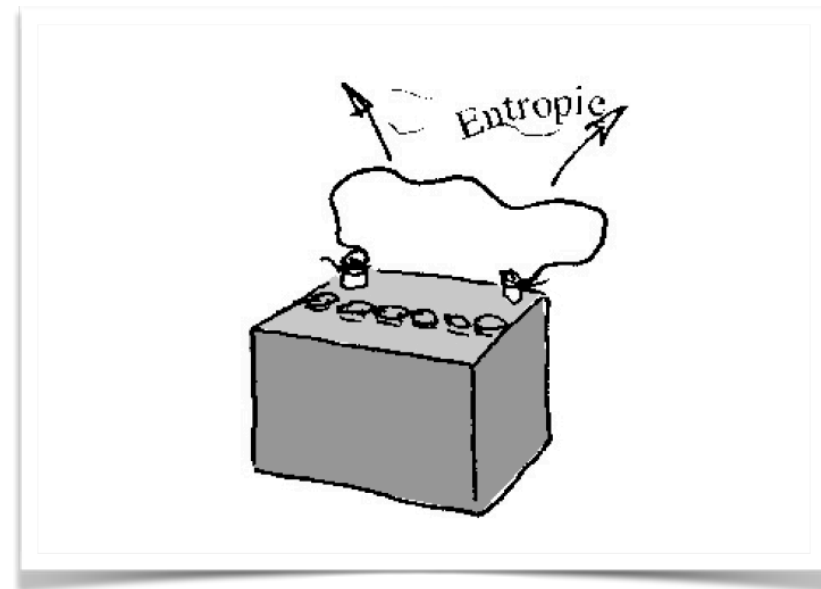
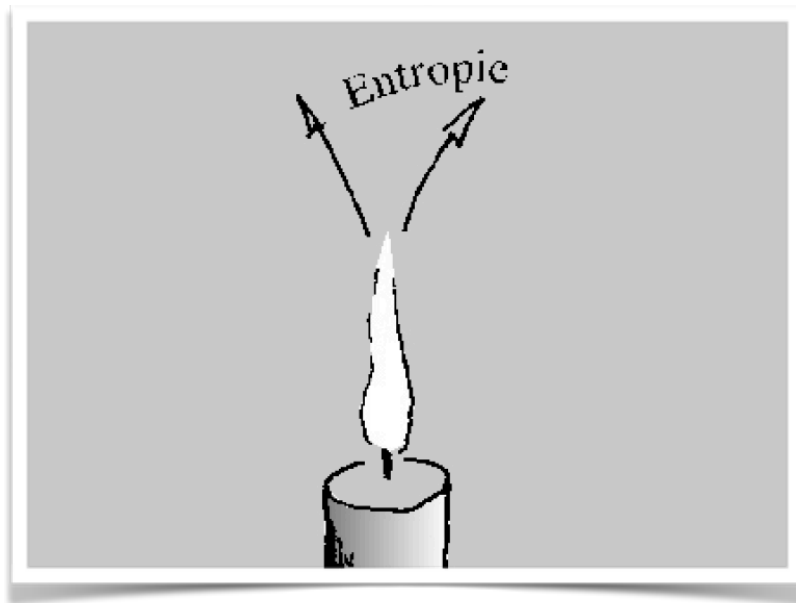
Die tiefste Temperatur die ein Gegenstand haben kann ist  $273.15^{\circ}\text{C}$ . Bei dieser Temperatur enthält der Gegenstand keine Entropie mehr.

## Absolute Temperatur



### Entropie kann erzeugt werden

- bei chemischen Reaktionen (z.B. Verbrennen);
- in einem Draht, durch den ein elektrischer Strom fließt;
- bei mechanischer Reibung.



$$\frac{dX}{dt} + I_x = \sum_x$$

Entropie kann erzeugt aber nicht zerstört werden.  $\sum_x \geq 0$

Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden.  $\sum_x = 0$

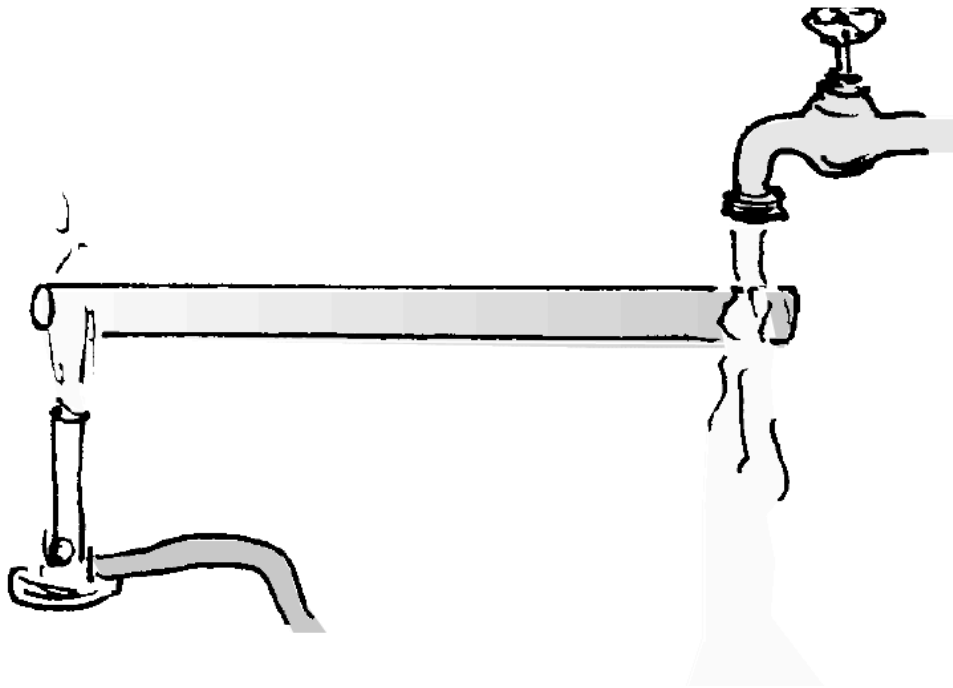
Impuls kann weder erzeugt noch vernichtet werden.

el. Ladung kann weder erzeugt noch vernichtet werden.

Stoffmenge kann sowohl erzeugt als auch vernichtet werden.  $\sum_x \neq 0$

Vorgänge, bei denen Entropie erzeugt wird, sind nicht umkehrbar (irreversibel).

## 2. Hauptsatz der Thermodynamik im Unterricht?



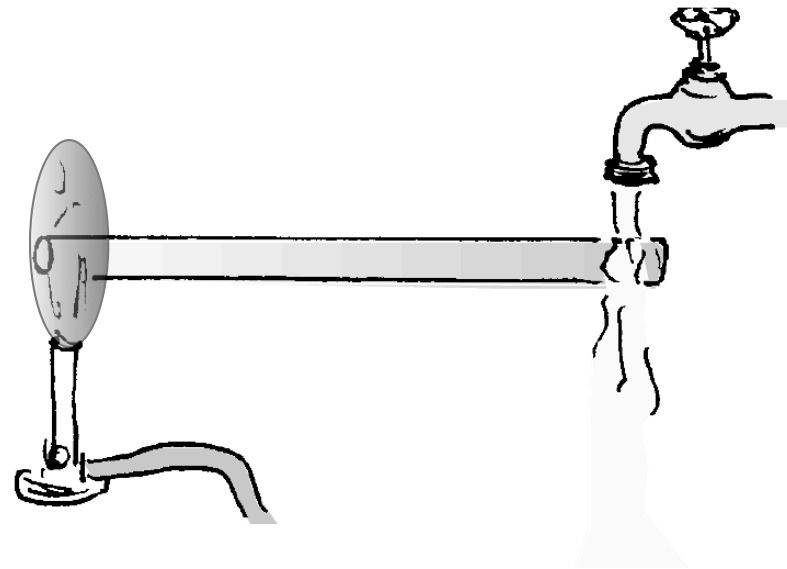
$$I_s = \frac{S}{t}$$

Temperatur	$\vartheta$	Grad Celsius	$^{\circ}\text{C}$
Entropie	$S$	Carnot	Ct
Entropiestrom	$I_s$	Carnot/Sekunde	Ct/s

$$I_s = \frac{S}{t}$$

$$I_Q = \frac{Q}{t}$$

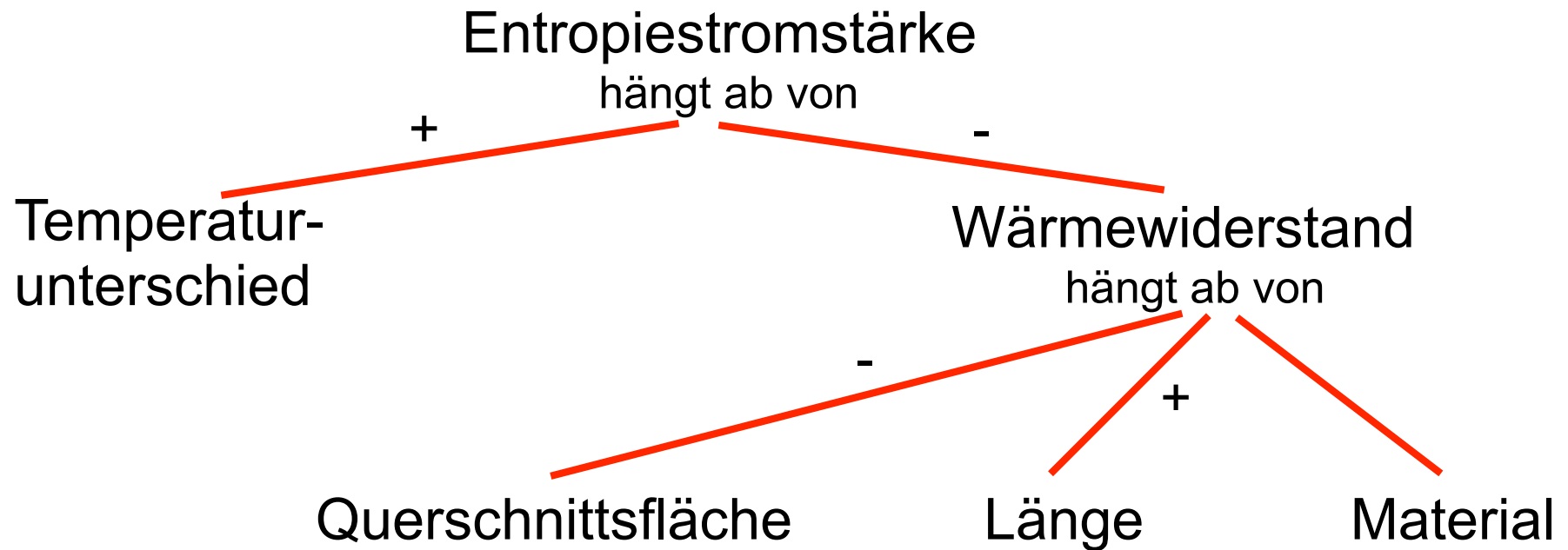
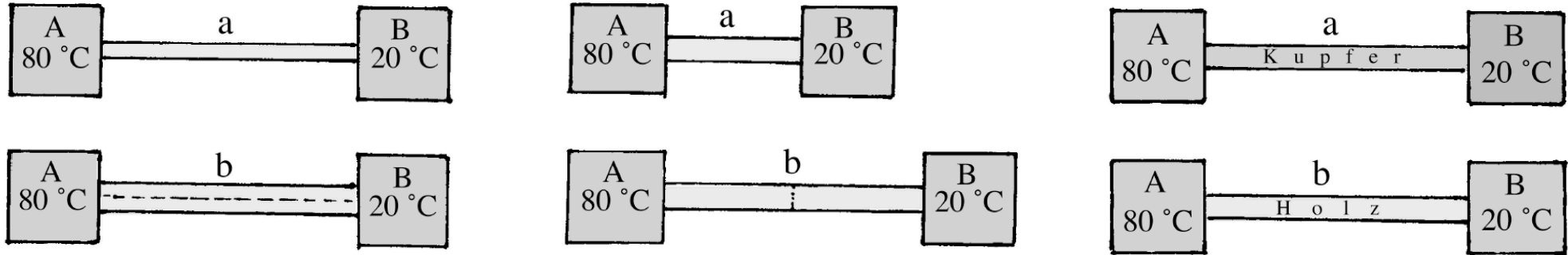
$$I_p = \frac{p}{t} = F$$

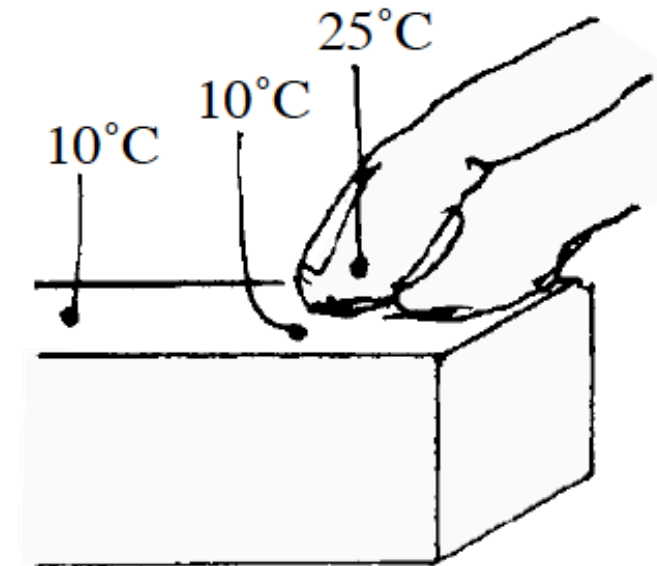
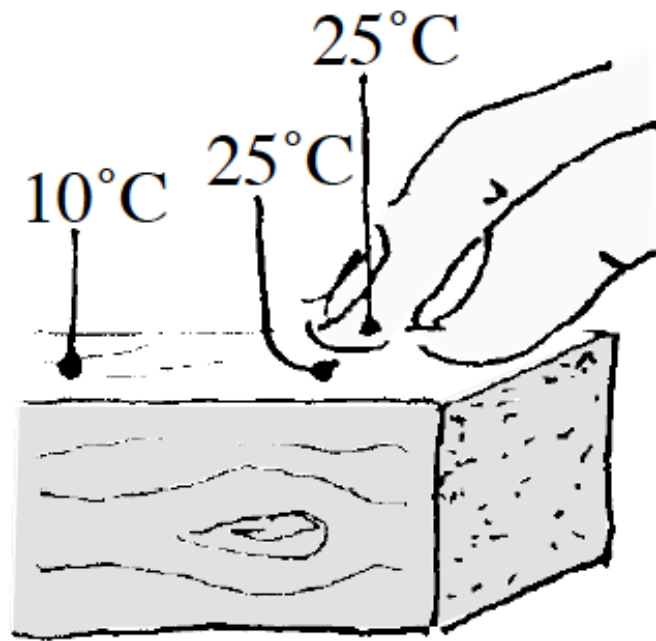


Ströme beziehen sich auf eine Fläche



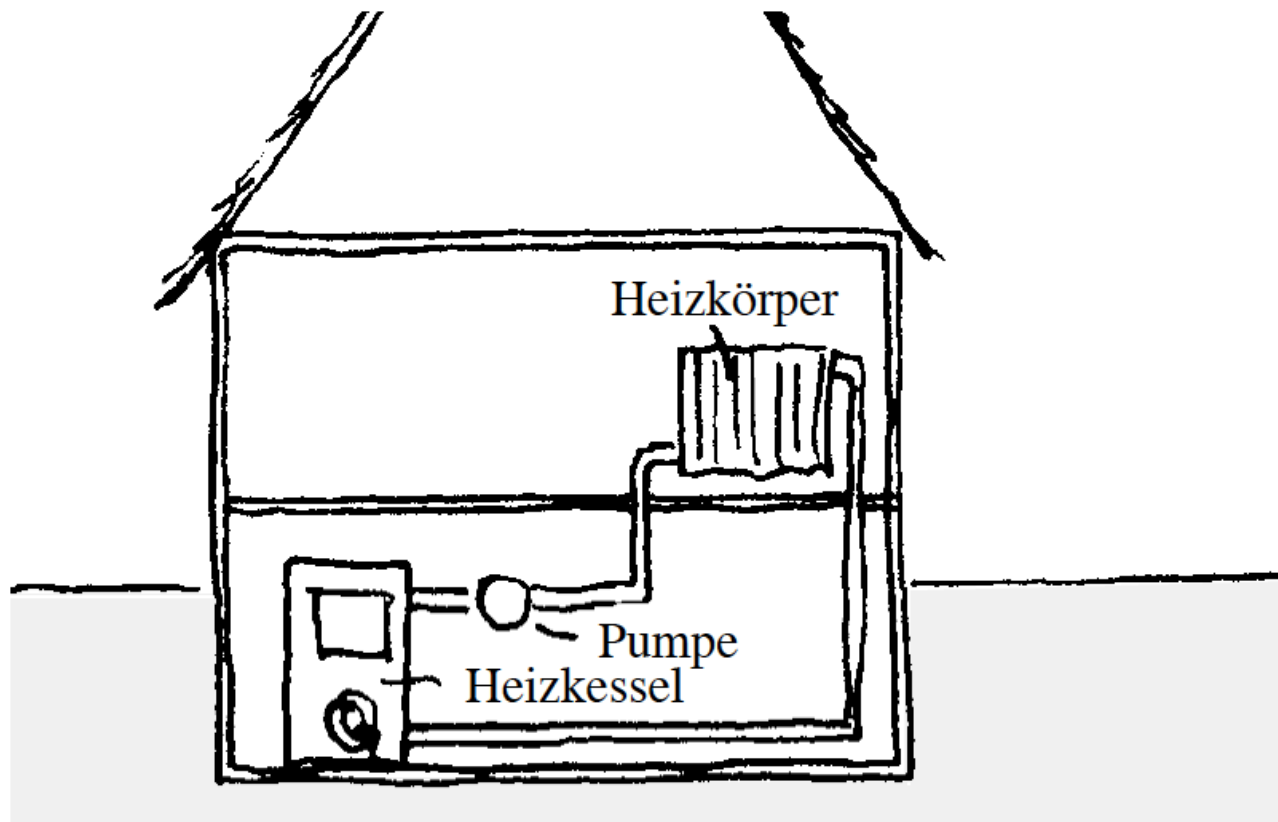
## 10.7 Wärmewiderstand





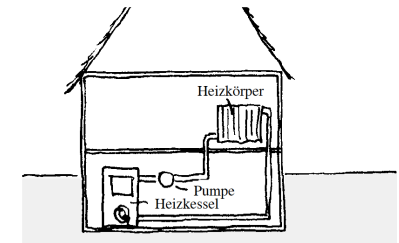
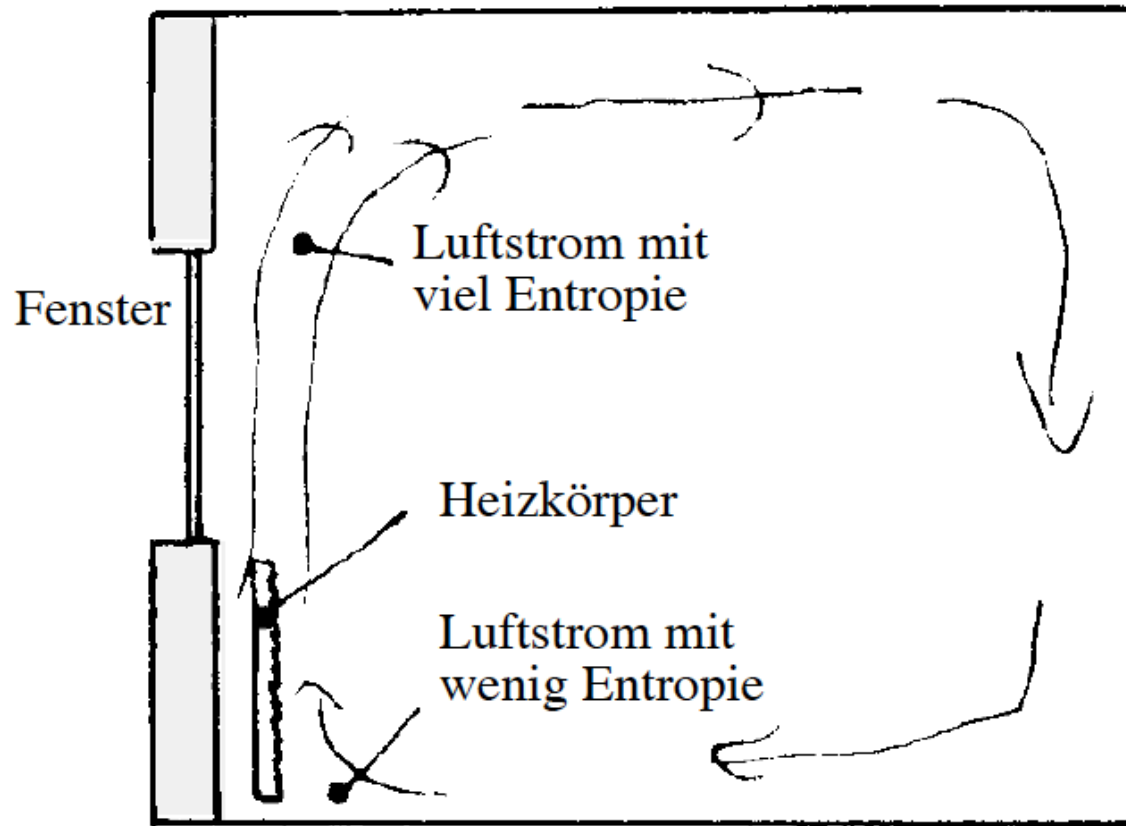
# 10 Entropie und Entropieströme

## 10.8 Entropietransport durch Konvektion



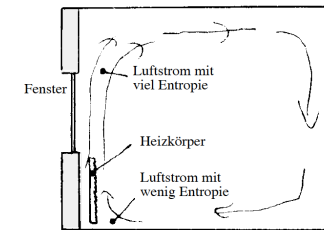
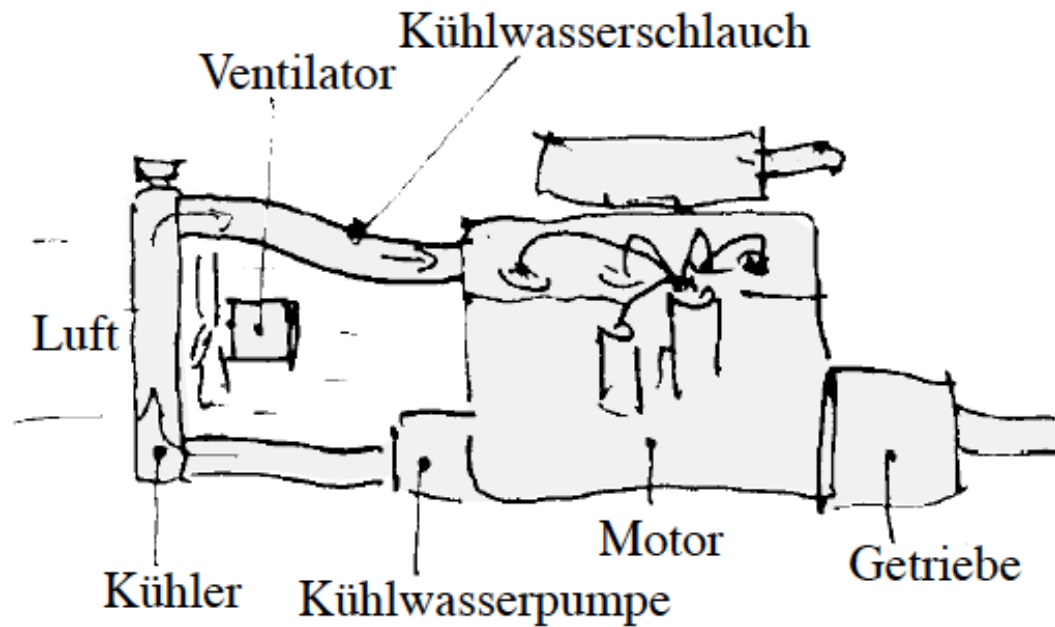
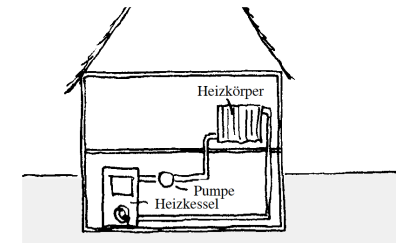
# 10 Entropie und Entropieströme

## 10.8 Entropietransport durch Konvektion



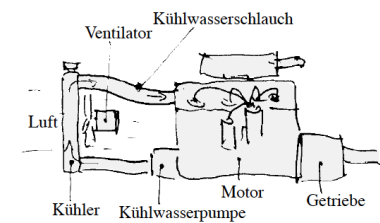
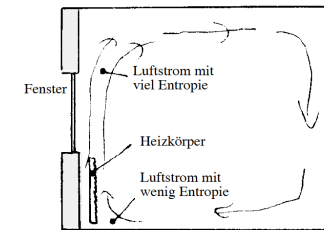
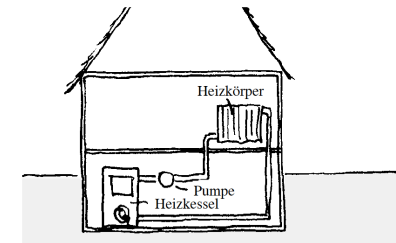
# 10 Entropie und Entropieströme

## 10.8 Entropietransport durch Konvektion



# 10 Entropie und Entropieströme

## 10.8 Entropietransport durch Konvektion



## 11 Entropie und Energie

11.1 Die Entropie als Energieträger

11.5 Entropiequellen für Wärmemotoren

11.2 Der Zusammenhang  
zwischen Energiestrom  
und Entropiestrom

11.6 Der Energieverlust

11.3 Entropieerzeugung durch  
Entropieströme

11.7 Der Zusammenhang zwischen  
Entropieinhalt und Temperatur

11.4 Wärmemotoren

11.8 Der Zusammenhang zwischen  
Energiezufuhr und Temperaturänderung

## 12 Phasenübergänge

**ENDE**