

# Wärmelehre Teil I

Matthias Laukenmann



# Wärmelehre

Phänomene (Nicht spezifisch KPK; trotzdem gut)

## *Aufgabe*

- Eine Tasse mit einem heißen Getränk wird mit der **rechten** Hand umfasst.
- Nach einiger Zeit hält man die rechte **und** die linke Hand **für kurze Zeit** an eine Wange.
- Danach umfasst die rechte Hand längere Zeit die linke.
- Nach einiger Zeit hält man wieder beide Hände an eine Wange.

*Beobachtungen? Was fühlt man?*

## *Beobachtungen? Was fühlt man?*

- Beim Anfassen der Tasse fühlt sich die Tasse heiß an.
- Beim Berühren der Wange fühlt sich die rechte Hand wärmer an als die linke.
- Beim Umfassen der linken Hand fühlt sich anfangs die rechte Hand warm an, die linke kühl. Nach einiger Zeit fühlt man keinen Unterschied mehr zwischen den Händen.
- Beim Berühren der Wange fühlen sich beide Hände gleich warm an.

# Wärmelehre

*Daraus können wir schließen:*

- Wenn die rechte Hand die Tasse mit dem heißen Getränk umfasst, wird sie wärmer.
- Wenn die warme Hand die kalte Hand umfasst, wird die warme Hand kälter und die kalte Hand wärmer,
- bis beide Hände gleich warm sind.

*Beobachtungen in ähnlichen Situationen:*

- Den Tisch unter einer heißen Tasse berühren
- Eine Wärmflasche an die kalten Füße halten
- Einen Kühlbeutel an ein verletztes Körperteil halten
- Eine kalte Getränkeflasche berühren
- Den Tisch unter der kalten Getränkeflasche berühren

# Wärmelehre

*Beobachtung in allen Fällen:*

Wenn sich ein warmer und ein kalter Gegenstand berühren,

- dann wird der warme Gegenstand kälter
- und gleichzeitig der kalte Gegenstand wärmer
- bis beide gleich warm sind.

*Kennen Sie (Alltags-) Situationen folgender Art?*

Ein warmer und ein kalter Gegenstand berühren sich. Dabei wird

- der warme Gegenstand wärmer
- und der kalte Gegenstand kälter.

# Wärmelehre

---

*Erklärung?*

Gesucht ist ein Modell, mit dem sich diese verschiedenartigen Beobachtungen und Erfahrungen beschreiben lassen.

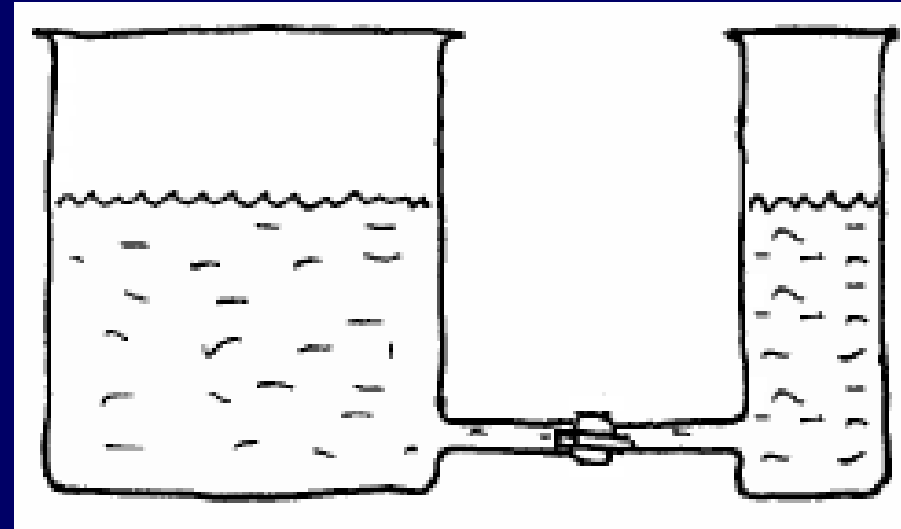
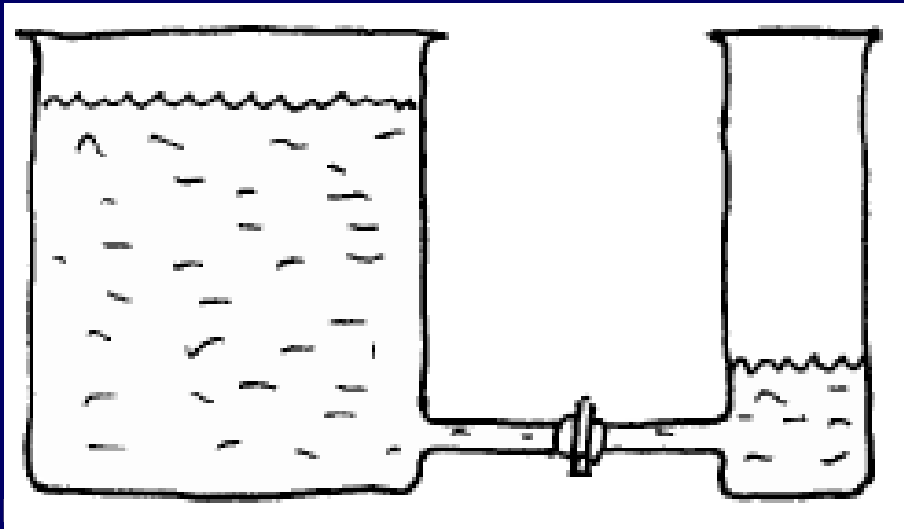
# Wärmelehre

Bei Bedarf: Analogie als Lernhilfe

*2 Wasserbehälter*

*Beobachtungen nach dem Öffnen des Ventils?*

- Der Füllstand im Behälter mit dem höheren Füllstand sinkt,
- gleichzeitig steigt er im Behälter mit dem niedrigeren Füllstand,
- bis beide denselben Füllstand haben.



# Wärmelehre

Bei Bedarf: Analogie als Lernhilfe

*2 Wasserbehälter*

*Beobachtungen nach dem Öffnen des Ventils?*

- Der Füllstand im Behälter mit dem höheren Füllstand sinkt,
- gleichzeitig steigt er im Behälter mit dem niedrigeren Füllstand,
- bis beide denselben Füllstand haben.

*Erklärung?*

Wasser fließt von selbst von Stellen höheren Drucks (Auslauf des Gefäßes mit dem höheren Füllstand) zu Stellen niedrigeren Drucks.

Wenn kein Druckunterschied mehr besteht (gleicher Füllstand), fließt kein Wasser mehr.



# Wärmelehre

Formale Ähnlichkeit der Beobachtungen

## *Behälterphänomen*

Wenn zwischen den beiden Behältern eine Verbindung besteht,

- dann sinkt der Füllstand im Behälter mit dem höheren Füllstand
- und steigt gleichzeitig im Behälter mit dem niedrigeren Füllstand,
- bis beide denselben Füllstand haben.

## *Wärmephänomene*

Wenn sich ein warmer und ein kalter Gegenstand berühren,

- dann wird der warme Gegenstand kälter
- und gleichzeitig der kalte Gegenstand wärmer,
- bis beide gleich warm sind.

# Wärmelehre

Formale Ähnlichkeit der Erklärungen

## *Behälterphänomen*

Wasser fließt von selbst vom Behälter mit dem höheren Füllstand in den Behälter mit dem niedrigeren Füllstand.

Wenn beide denselben Füllstand haben, fließt kein Wasser mehr.

## *Wärmephänomene*

Wärme fließt von selbst vom wärmeren Gegenstand in den kälteren Gegenstand.

Wenn beide gleich warm sind, fließt keine Wärme mehr.

# Wärmelehre

*Einen entscheidenden Schritt zum heutigen physikalischen Verständnis von Wärmephänomenen haben die Physiker getan, als sie gelernt haben, dass es sinnvoll, ja notwendig ist, zu unterscheiden zwischen einem intensiven Aspekt (der „Stärke“ der Wärme):*

Wie warm oder kalt ist ein Gegenstand?

*und einem extensiven Aspekt (der Menge der Wärme):*

Wie viel Wärme enthält ein Gegenstand?

*(Joseph Black (1728-1799), Chemiker und Arzt).*

*Verdeutlichen an einem Phänomen*

Große und kleine Wärmeflasche, mit heißem Wasser aus demselben Gefäß gefüllt.

# Wärmelehre

---

Wie warm oder kalt ist ein Gegenstand?

Wie viel Wärme enthält ein Gegenstand?

# Wärmelehre

Die Temperatur gibt an, wie warm oder kalt ein Gegenstand ist.

Einheit: °C                      Symbol:  $\vartheta$

Wie viel Wärme enthält ein Gegenstand?

*Behauptungen* (sehr spezifisch für den KPK)

- Den extensiven 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).
- Die physikalische Größe Entropie ist ein gutes Maß für die Menge an diesem „wärmenden Zeug“, das man sich in den Gegenständen enthalten denkt.

# Wärmelehre als Entropielehre

## *Appell*

Versuchen Sie zunächst *nicht*, Ihre bisherige Auffassung von der Entropie mit meinen Behauptungen in Einklang zu bringen (darauf können wir später noch zu sprechen kommen),

sondern fassen Sie den Begriff „Entropie“ als Label für die Menge eines „wärmenden Zeugs“ auf, das man sich in Gegenständen enthalten denkt.

Ein gutes Label für das gedachte wärmende Zeug wäre der Begriff „Wärme“. Dieser Begriff ist aber in der Physik bereits anderweitig belegt.

# Wärmelehre als Entropielehre

Die Temperatur gibt an, wie warm oder kalt ein Gegenstand ist.

Einheit: °C

Symbol:  $\vartheta$

Die Entropie gibt an, wie viel Wärme ein Gegenstand enthält.

Einheit: Carnot (Ct)

Symbol:  $S$

Wenn die Einheiten Joule und Kelvin bereits eingeführt wurden, kann man selbstverständlich auch J/K als Einheit verwenden. Aus didaktischen Gründen ziehe ich das Carnot vor.

Die Einheit ist nach dem französischen Physiker und Ingenieur Sadi Carnot (1796-1832) benannt.

# 1. Entropie und Temperatur

Die Temperatur gibt an, wie warm oder kalt ein Gegenstand ist.

Einheit: °C

Symbol:  $\vartheta$

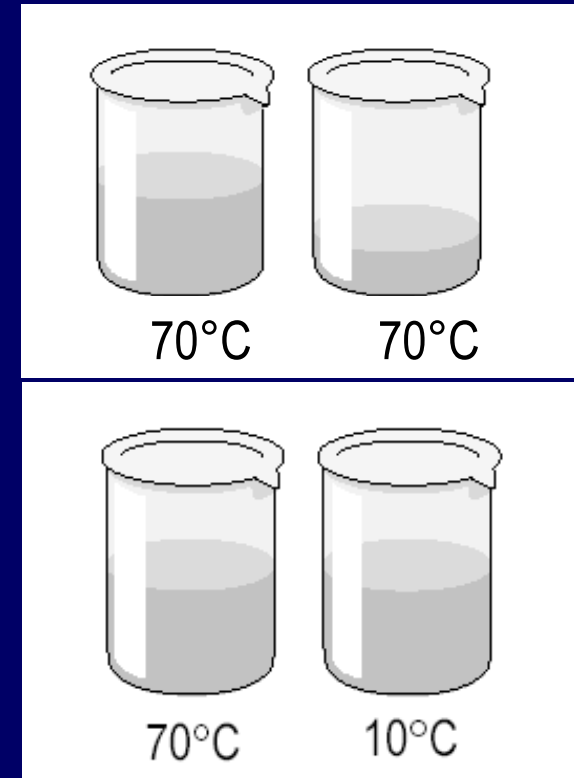
Die Entropie gibt an, wie viel Wärme ein Gegenstand enthält.

Einheit: Carnot (Ct)

Symbol:  $S$

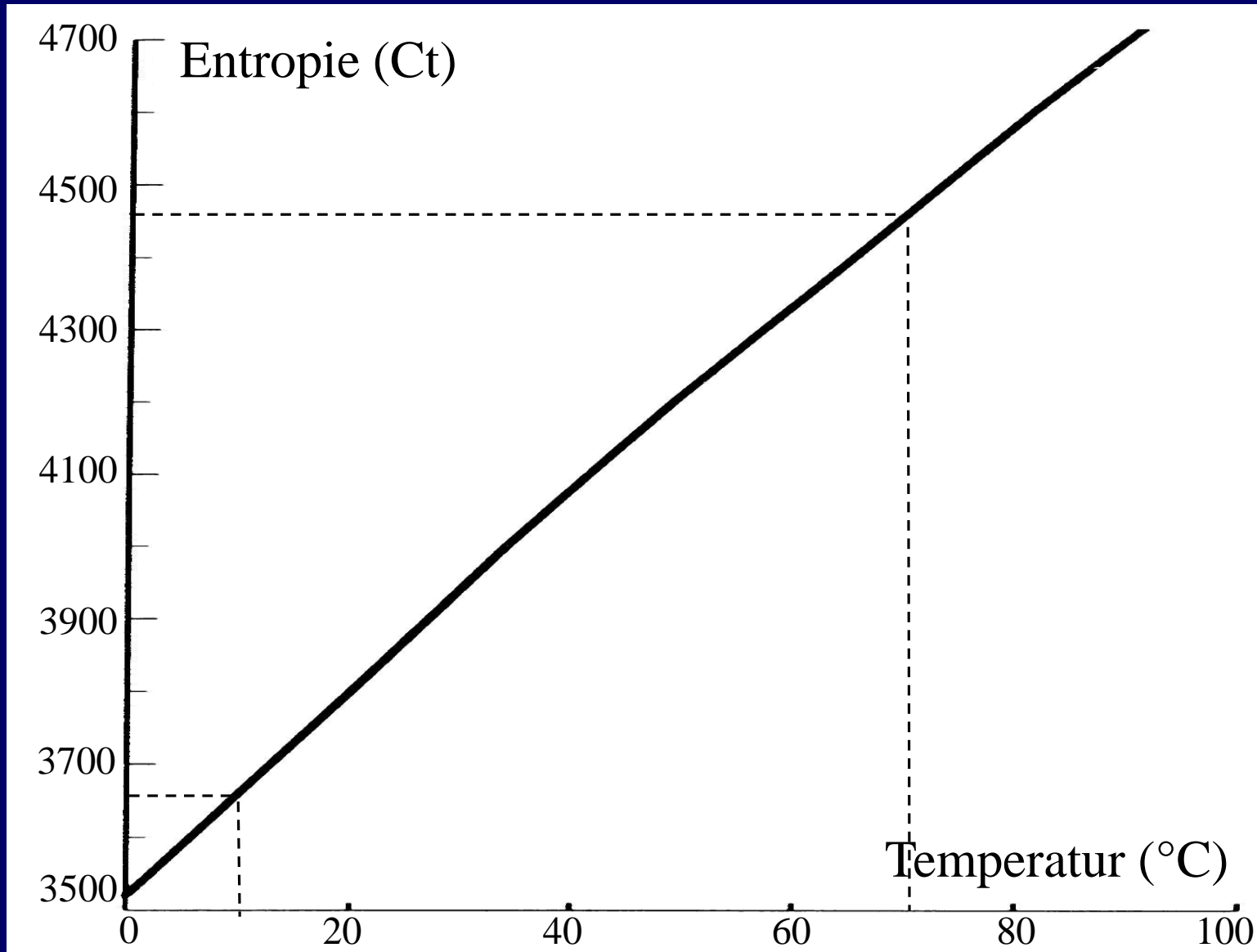
Ein Gegenstand enthält umso mehr Entropie

- je größer seine Masse ist.
- je höher seine Temperatur ist





# 1. Entropie und Temperatur



Entropieinhalt als Funktion der Temperatur für 1 kg Wasser.

# 1. Entropie und Temperatur

Der Entropieinhalt hängt vom Material ab:

1 kg Wasser (bei 20 °C) ca.	4 000 Ct
1 kg Aluminium (bei 20 °C) ca.	1 000 Ct
1 kg Kupfer (bei 20 °C) ca.	500 Ct

1 Ct ist diejenige Entropiemenge, mit der man bei Normaldruck 0,822 Gramm Eis schmilzt.

## 2. Entropieströme

*Was wir bereits formuliert haben, nämlich:*

Wärme fließt von selbst vom wärmeren zum kälteren Gegenstand.

*können wir jetzt präziser und allgemeiner ausdrücken:*

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

*Die Beobachtung:*

Die Temperaturen zweier Gegenstände ändern sich nur, wenn die Temperaturen beider Gegenstände nicht gleich sind.

*können wir erklären, wenn wir den Temperaturunterschied als Antrieb für den Entropiestrom auffassen:*

Ein Temperaturunterschied ist ein Antrieb für einen Entropiestrom.

## 2. Entropieströme

### *Phänomen*

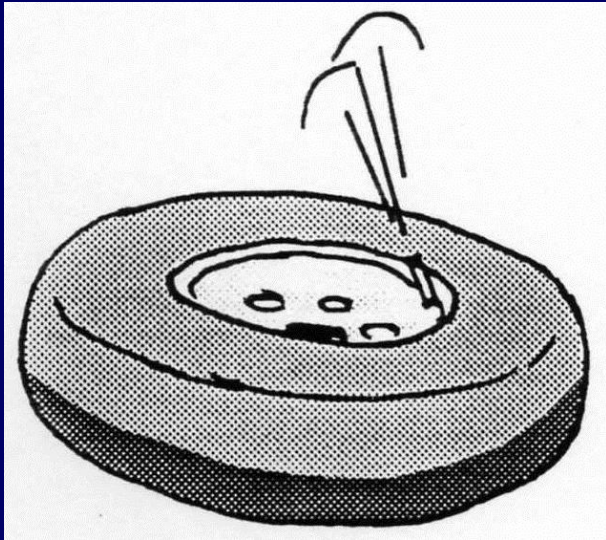
Peltier-Modul an Dynamot

### *Beobachtungen*

- Anfangs haben beide Seiten des Peltier-Moduls dieselbe Temperatur.
- Wenn man am Dynamot kurbelt, wird eine Seite warm, die andere kalt.
- Kurbelt man stärker, wird die kalte Seite noch kälter, die warme noch wärmer.
- Welche Seite warm und welche kalt wird, hängt von der Drehrichtung ab.

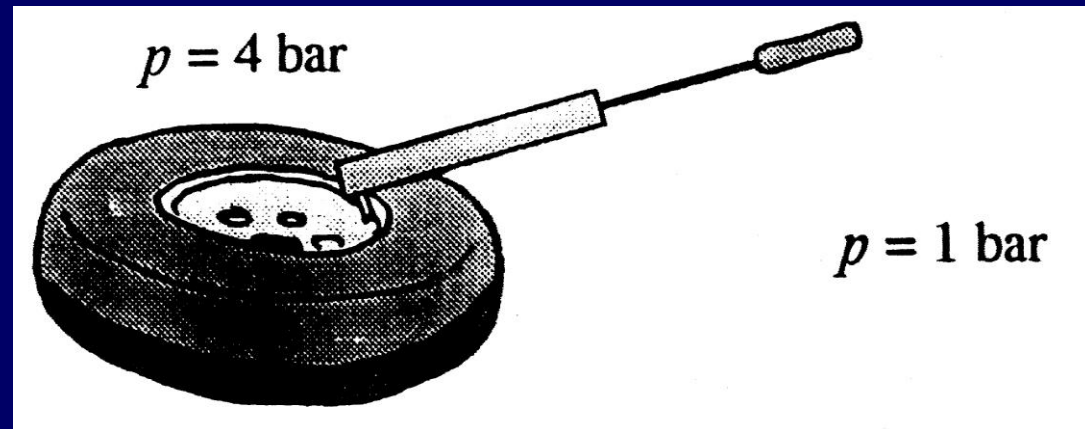
### *Erklärung?*

*Analogie* (vgl. Vortrag Schmäzle „Strömungen ...“)



Luft strömt von selbst von Stellen höheren zu Stellen niedrigeren Drucks.

Eine Luftpumpe befördert Luft von Stellen niedrigeren zu Stellen höheren Drucks.

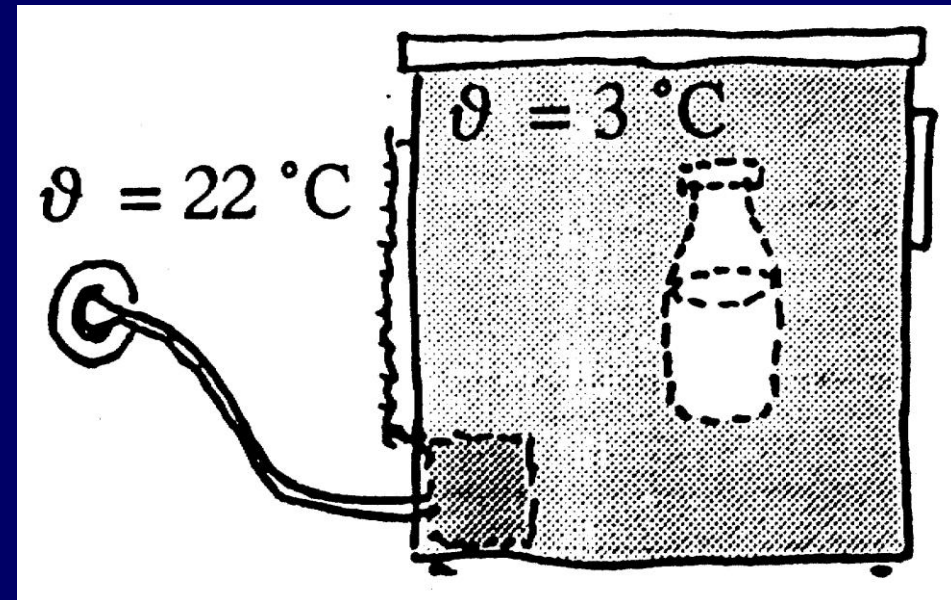


### 3. Wärmepumpen (Entropiepumpen)

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

Eine Wärmepumpe befördert Entropie von kalt nach warm

(... von Stellen niedrigerer zu Stellen höherer Temperatur)



## *(Gedanken-) Experiment*

Wie viel Entropie (Wärme) können wir aus einem Stück Käse herausholen?

## 4. Absolute Temperatur

---

Die tiefste Temperatur, die ein Gegenstand haben kann, ist  $-273,15\text{ °C}$ .

Bei dieser Temperatur enthält er keine Entropie mehr.

Die tiefste Temperatur, die ein Gegenstand haben kann, ist 0 Kelvin (Symbol:  $T$ )



## *Phänomen*

Bleistiftmine an Dynamot

## *Beobachtungen*

Die Bleistiftmine wird heiß, so heiß, dass sie glüht.

## *Erklärung?*

*Phänomen Kerze*

*Phänomen Hände reiben*

*Bremsendes Fahrrad: Aufnahmen mit einer  
„Wärmebildkamera“*



# 5. Entropieerzeugung

---

## Entropie entsteht

- wenn ein elektrischer Strom durch eine Bleistiftmine oder einen Draht fließt
- in einer Flamme
- durch Reibung.

# 5. Entropieerzeugung

## *Aufgabe*

Wie kann man einen Gegenstand (z. B. heißen Tee) kühlen?

## *Beobachtung*

Allen Kühlverfahren ist gemeinsam: der Tee wird kälter, gleichzeitig wird es anderswo wärmer.

## *Erklärung*

Entropie kann erzeugt werden, aber nicht vernichtet.