

Marcus Rutz-Lewandowski

Matthias Laukenmann

# Schülervorstellungen zur Wärmelehre



## Entropie – schülerzentriert

- Präkonzepte der Schüler in Erfahrung bringen
- Präkonzepte nutzen
- Präkonzepte zerschlagen



# Inhalt

1. Begriffsbildung: Entropie und Temperatur
2. Der Temperaturunterschied als Antrieb für Entropieströme
3. Die Wärmepumpe
4. Entropieerzeugung

# „Wärme“ in der Alltagssprache



- Was meinen die Pinguine jeweils, wenn sie von „Wärme“ sprechen“?
- Was passiert, wenn der Pinguin seine Wärmflasche mit ins Bett nimmt?



## Schülerlösungen

- Würde der rechte Pinguin dem linken, die Hälfte seines Wassers in der Wärmflasche abgeben, so würden beide Wärmeflaschen die selbe Temperatur, jedoch nur halb so lang haben.

Die Wärmflasche ist zwar genau so warm, aber nach dem Umfüllen steckt weniger Wärme drin.



## Schülerlösungen

- Die Pinguine sind der Meinung, dass Wärme eine Einheit ist.
- Der rechte Pinguin ist der Meinung, dass die Wärmeleitfähigkeit vom Volumen abhängig ist.

?



## Schülerlösungen

- > Die Flasche bleibt länger warm, da die Flasche und der Körper sich gegenseitig wärmen, und die Decke die angesammelte Wärme zusätzlich speichert.  
Außerdem isoliert sie die Wärme vor der Ausströmung.

Die Wärme wird über Nacht an die Umgebung abgegeben.

## Schülerlösungen

→ Da der Pinguin die Wärmeflasche an sich drückt (Körperkontakt) müsste sie ja (wie beim Impuls durch Reibung) ein Teil der Wärme verlieren.





## Öffnen und Schließen durch Veränderung des Auftrags:

### **Offene Variante:**

- Was meinen die Pinguine jeweils, wenn sie von „Wärme sprechen“?
- Was passiert, wenn der Pinguin seine Wärmflasche mit ins Bett nimmt?



## Engere Variante:

Bei den zwei Pinguinen hat der Begriff „Wärme“ anscheinend verschiedene Bedeutung. Dies ist auch in unserer Alltagssprache so. Untersuche, ob in den folgenden Sätzen der Wärmebegriff des linken oder rechten Pinguins gemeint ist.

- Drinnen ist es wärmer als draußen!
- Die Wärme geht von der Herdplatte in den Topf. Im Topf wird das Wasser warm.
- Ganz schön warm heute.
- Gib mir einen großen Becher Kaffee, ich muss mich aufwärmen!
- Dein Kaffee ist heißer als meiner!
- Wenn ich die Wärmflasche an meine Füße packe, geht die Wärme in meine Füße.



## Entropie und Temperatur werden begrifflich separiert:

Die korrekte physikalische Bezeichnung für den Wärmebegriff des linken Pinguins kennst du sicherlich?! Das, was der rechte Pinguin mit „Wärme“ meint, heißt in der Physik **Entropie**. Übersetze zwei der Sätze aus Aufgabe 1 in physikalische Fachsprache.

„Die Entropie geht von der Herdplatte in den Topf. Im Topf steigt die Temperatur des Wassers“



## Fazit: „Wärme“ in der Alltagssprache



### Entropie

- Wärmemenge
- steckt in Körpern drin
- kann von einem auf den anderen Körper übergehen
- kann sich verteilen
- ...

### Temperatur

- Wärmezustand
- wird an einem Punkt gemessen
- kann sich nicht verteilen
- ...



# Entropie und Temperatur

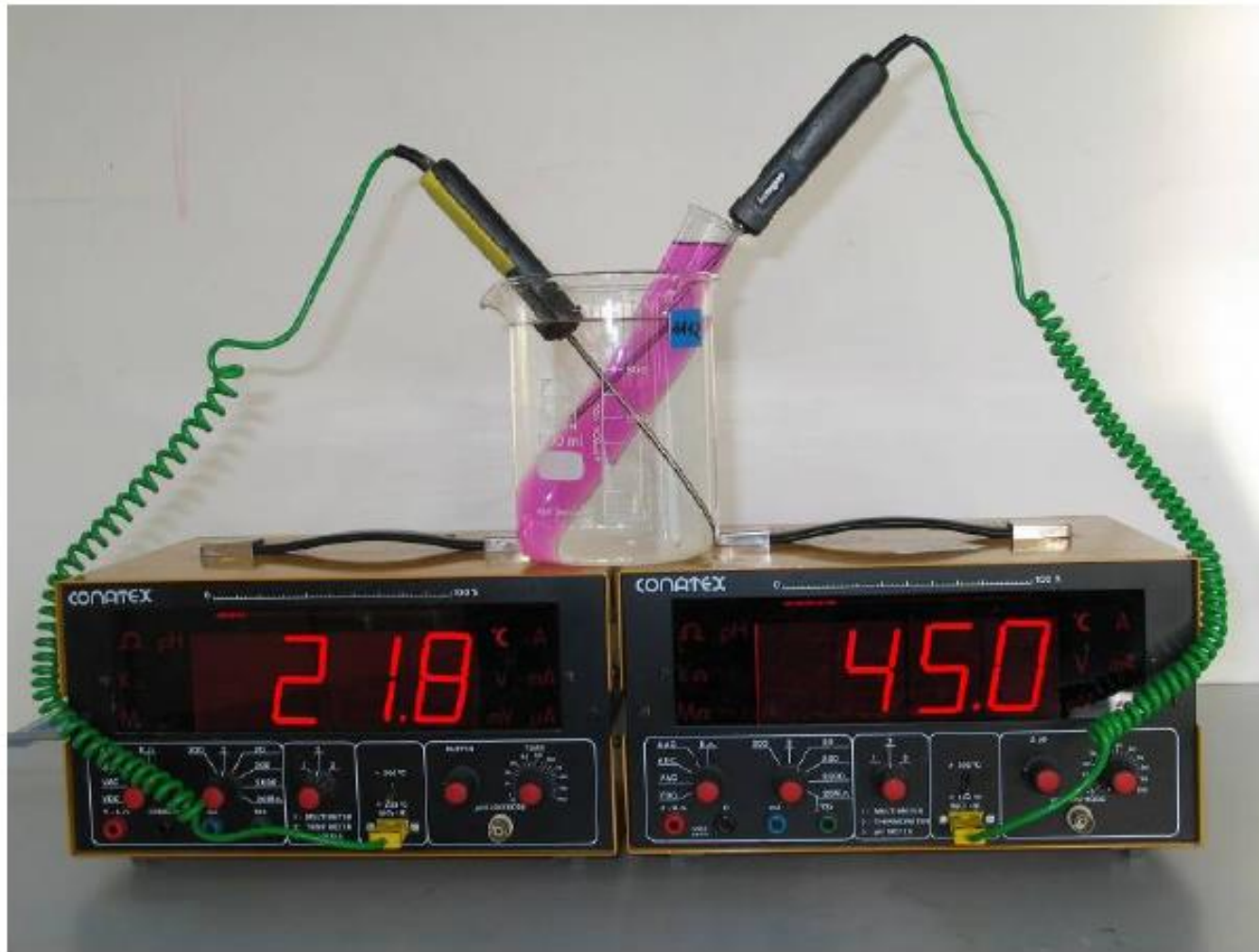
Name	Symbol	Einheit	Formel	Messgerät
Temperatur	$\vartheta$	$^{\circ}\text{C}$	--	Thermometer
Entropie	S	Ct oder J/K	--	--

Ein Körper enthält um so mehr Entropie,

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

## 2. Der Temperaturunterschied als Antrieb für Entropieströme

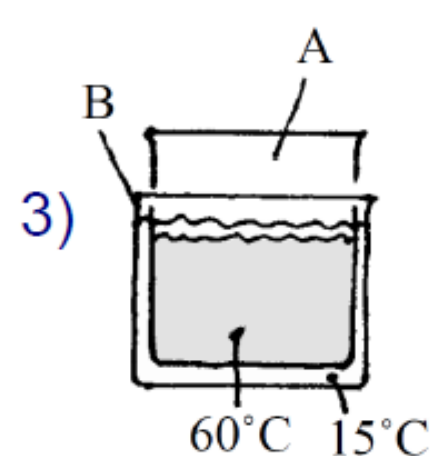
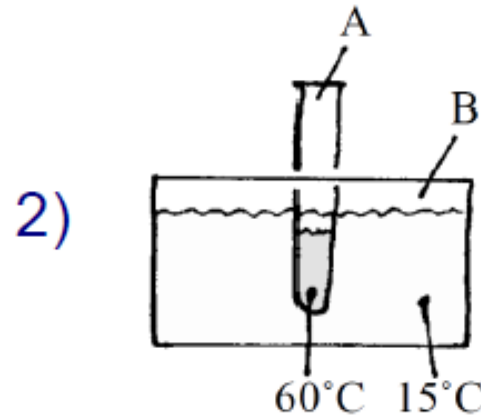
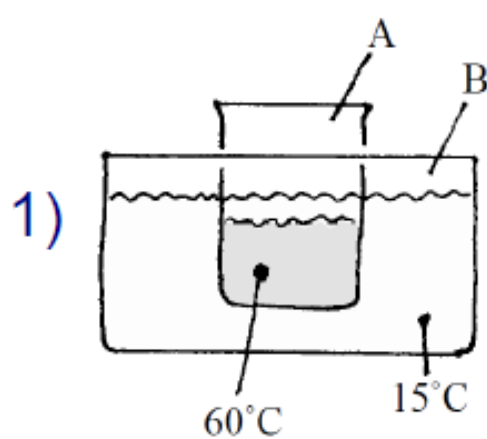




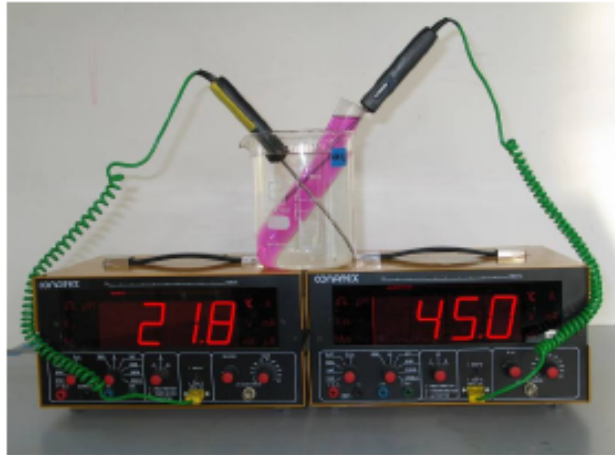


Miss bei den folgenden Experimenten jeweils in regelmäßigen Abständen die Temperaturen in beiden Behältern und schreibe deine Beobachtung auf. Beantworte dann die folgenden Fragen:

- In welchem Behälter steckt zu Beginn mehr Entropie?
- Was passiert mit der Entropie?
- In welchem Behälter steckt am Ende mehr Entropie?







Die Entropie strömt von selbst von der Stelle mit hoher Temperatur zur Stelle mit niedriger Temperatur und zwar so lange, bis in beiden Gefäßen gleiche Temperatur herrscht.

Der Temperaturunterschied ist ein Antrieb für den Entropiestrom.

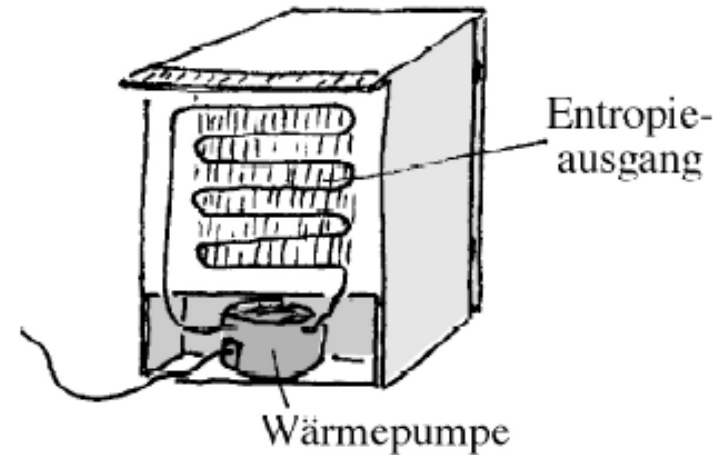
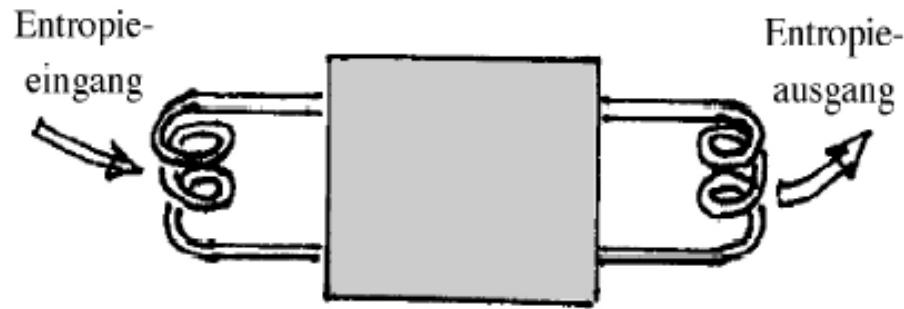


**Strom-Antriebs-Konzept**

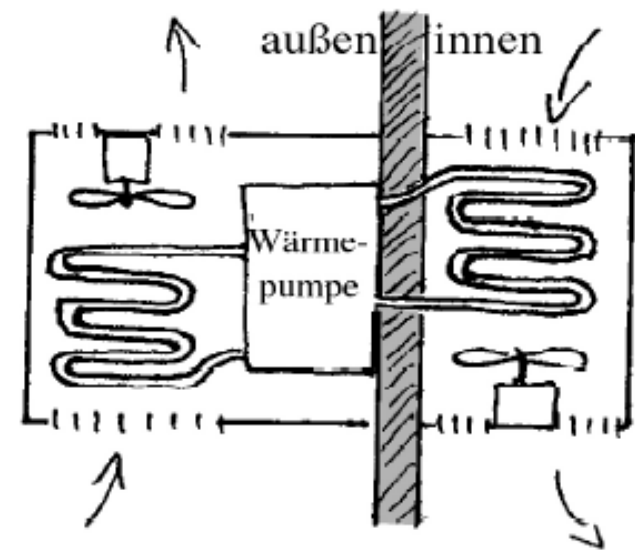
## 3. Die Wärmepumpe



- Warum ist der Kühlschrank eine „Entropiepumpe“?
- Vergleiche Entropiepumpe und Luftpumpe.



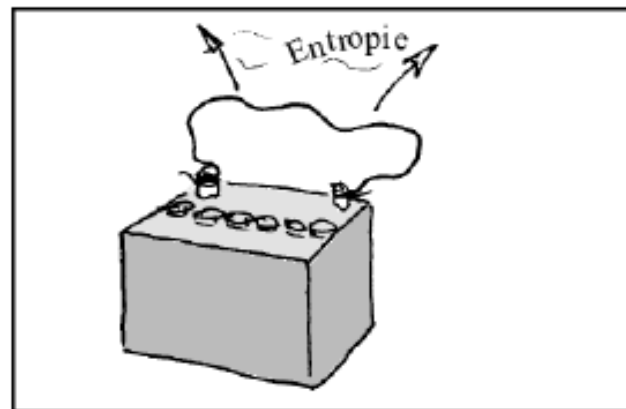
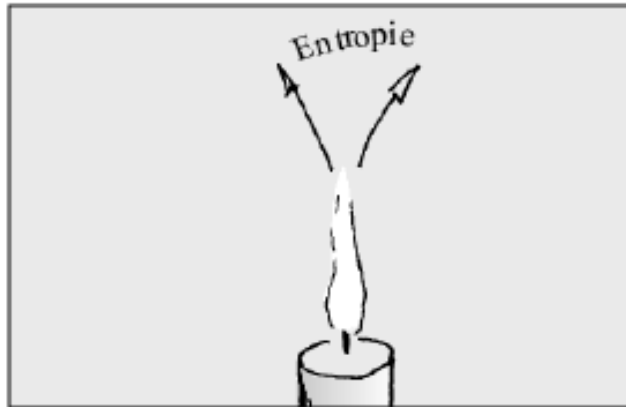
Eine Wärmepumpe befördert Entropie von Stellen niedriger zu Stellen höherer Temperatur.



# 4. Entropieerzeugung



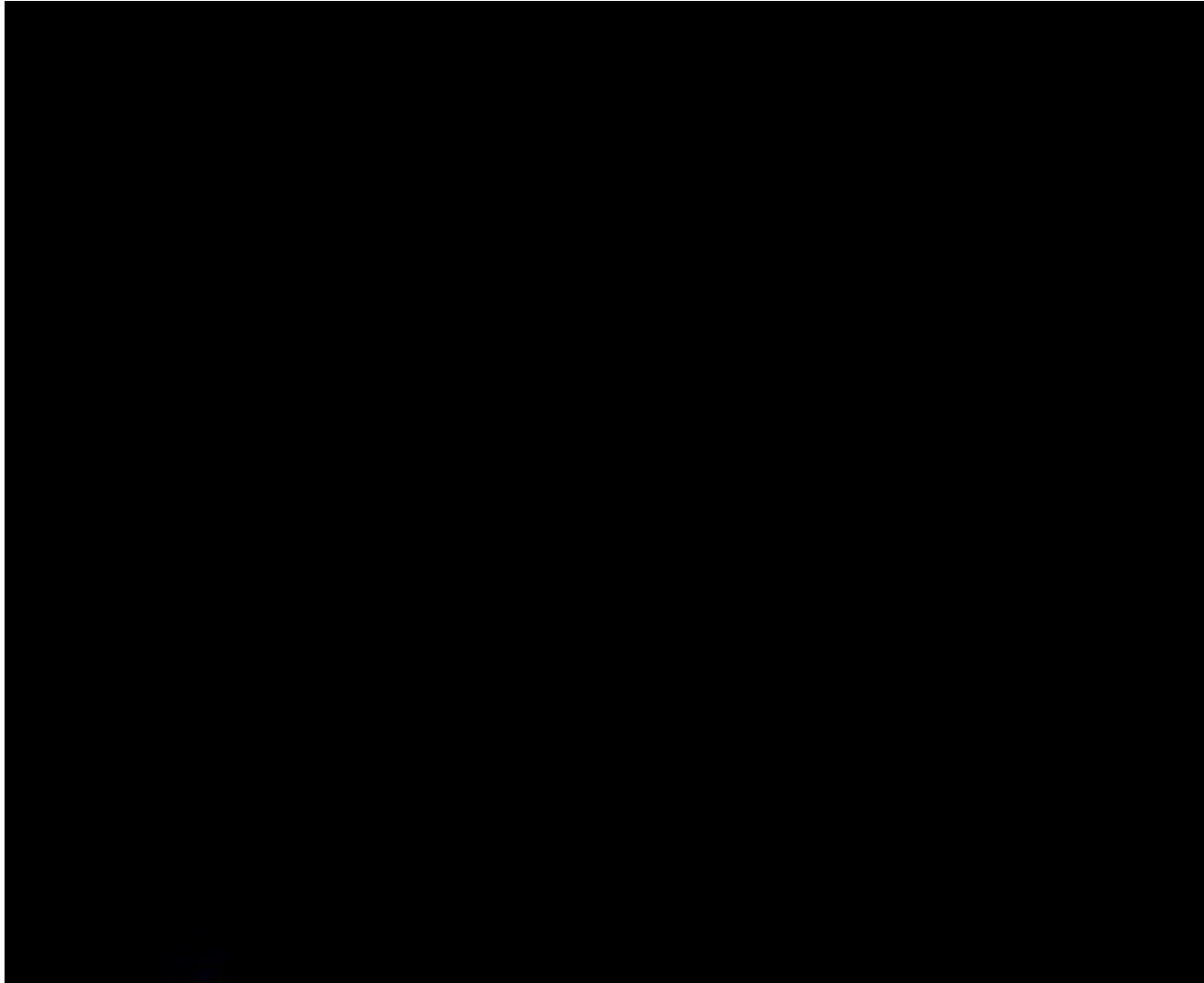
- Wie wärmen sich die Pinguine auf?
- Woher kommt jeweils die Entropie?



## 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.

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





# Ausblick

1. Begriffsbildung: Entropie und Temperatur
2. Der Temperaturunterschied als Antrieb für Entropieströme
3. Die Wärmepumpe
4. Entropieerzeugung
5. Die absolute Temperatur
6. Die Entropiestromstärke
7. Der Wärmewiderstand
8. Entropietransporte



**[marcus@rutz-lewandowski.de](mailto:marcus@rutz-lewandowski.de)**



# 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.

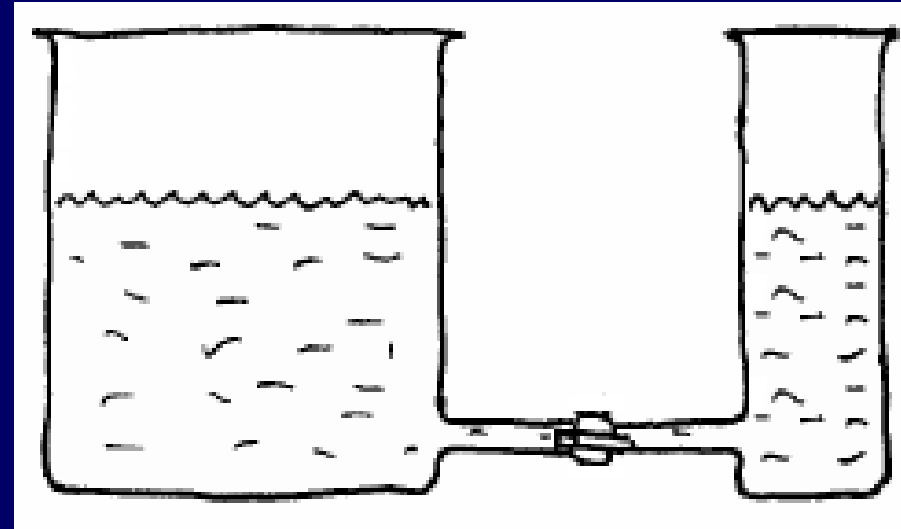
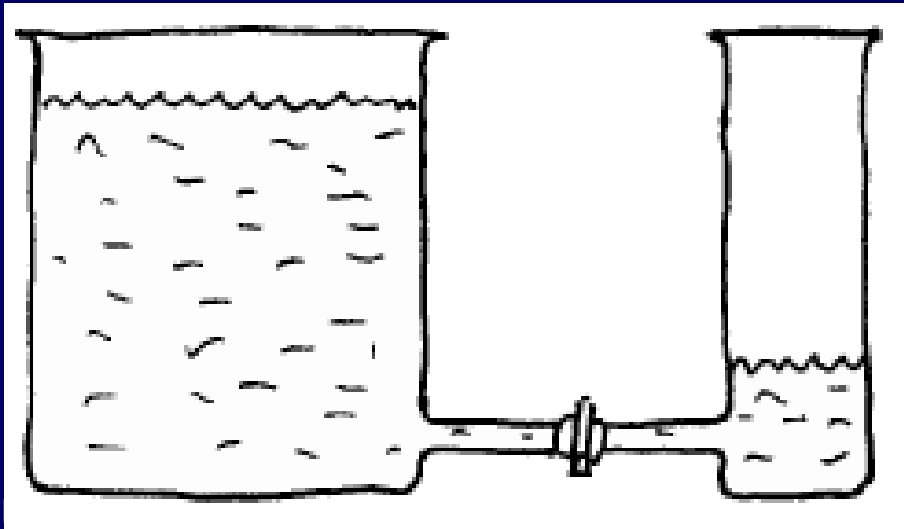
# Wärmelehre

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:  $\vartheta$

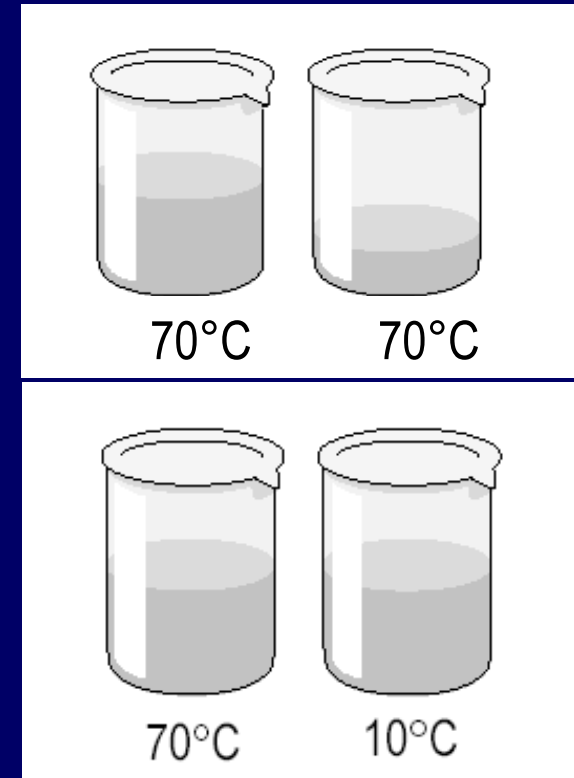
Die Entropie gibt an, wie viel Wärme ein Gegenstand enthält.

Einheit: Carnot (Ct)

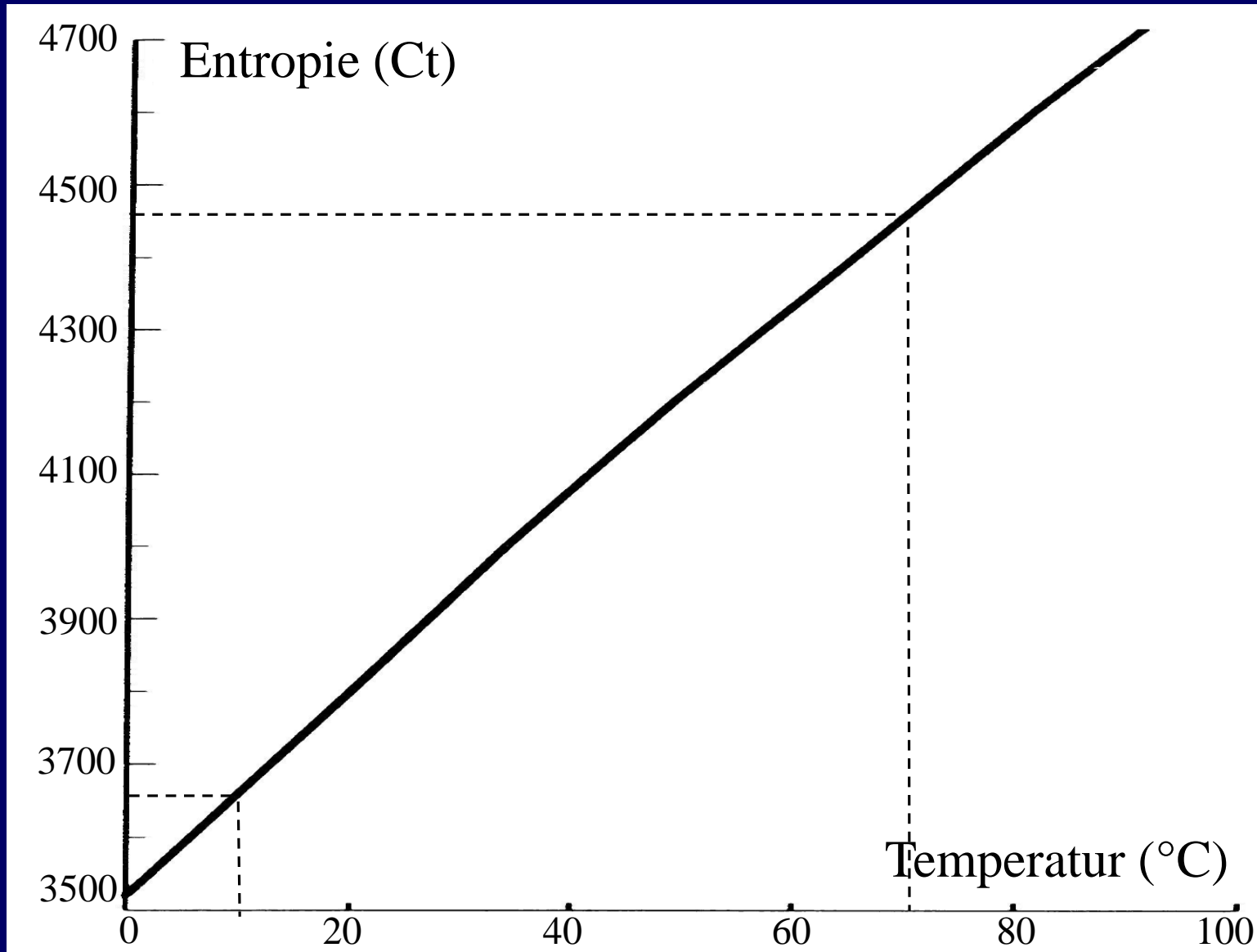
Symbol:  $S$

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*

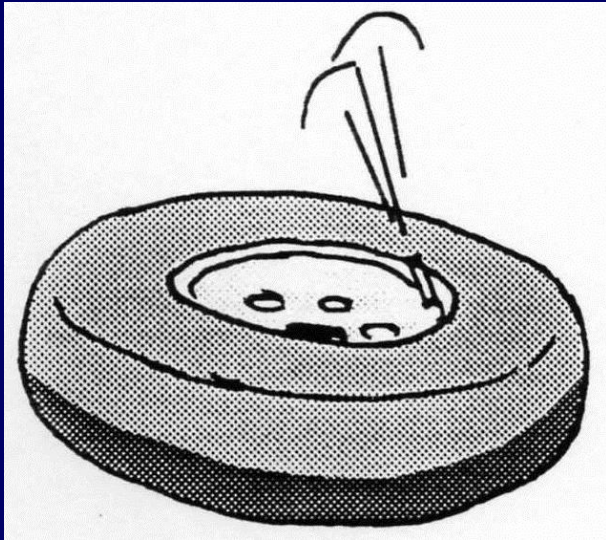
Peltier-Modul an Dynamot

### *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.

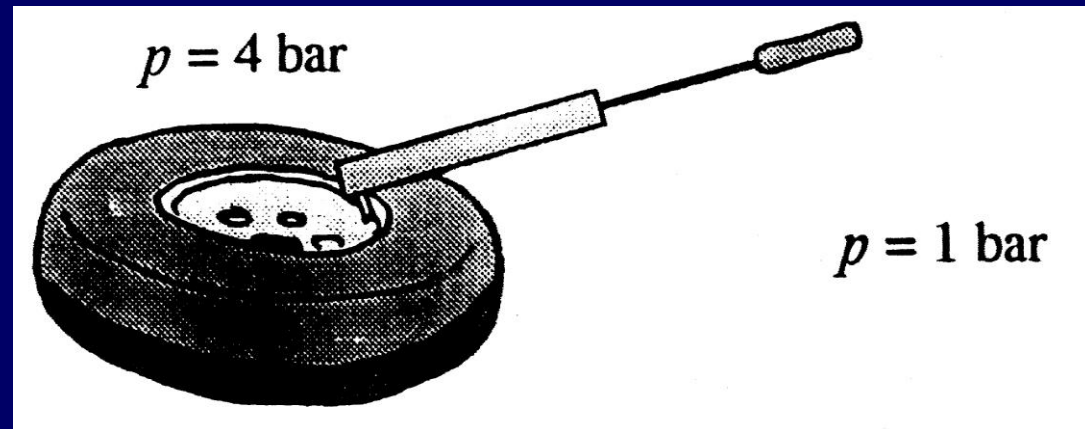
### *Erklärung?*

*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.



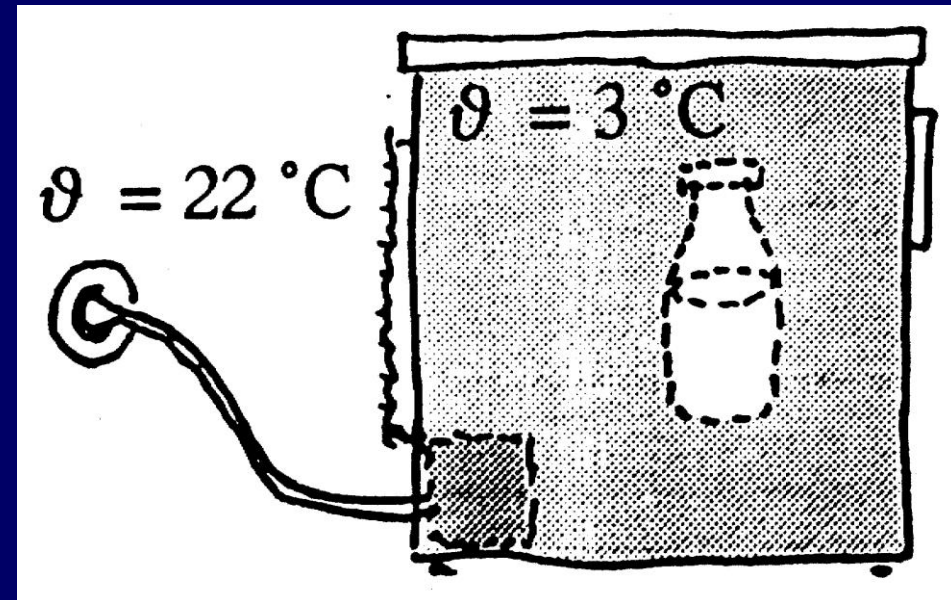


### 3. Wärmepumpen (Entropiepumpen)

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?

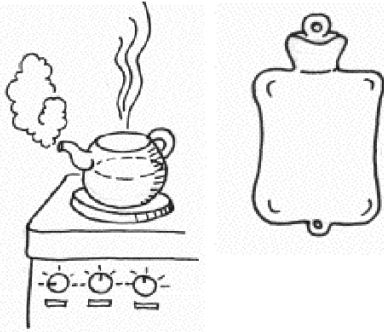
## *Beobachtung*

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

## *Erklärung*

Entropie kann erzeugt werden, aber nicht vernichtet.

## Tante Erna spricht über ihre Wärmeflasche



Das ist meine Wärmeflasche.

Ich stelle dann Wasser auf den Herd, auf Stufe 6, erwärme das und gieße das Wasser in meine Wärmeflasche. Dann ist die Wärme da drin.

Wenn ich sie gerne wärmer hätte, dann stelle ich den Herd auf Stufe 12, bis das Wasser kocht.

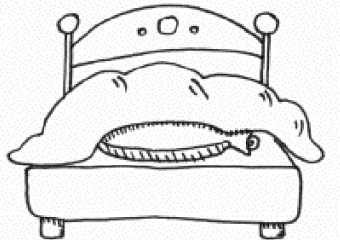
Höher geht es ja nicht.

Wenn ich die Wärmeflasche ins Federbett packe, dann bleibt sie lange warm, draußen kühlt sie schnell ab.

Halte ich meine Füße daran, so werden sie wohliger warm.

Die Wärmeflasche hat zwei Seiten. Bei der glatten verbrenne ich mir die Füße; die mit den Rippen ist angenehm.

Letztlich war mein Herd kaputt, und da habe ich das Wasser mit einem Holzfeuer erwärmt.



## Fragen zu Tante Ernas Wärmeflasche

1. Was hat Tante Erna in Ihrer Wärmeflasche?
2. Wie kommt die Wärme in den Wasserkessel?  
Wo kommt sie her?
3. Wieso wird das Wasser nicht beliebig warm?
4. Wieso kühlt die Wärmeflasche wieder ab?  
Wohin geht die Wärme?
5. Kann man die Wärme, Temperatur, Energie erzeugen?  
Wenn ja, wie geht das?
6. Übersetze den Tante-Erna-Bericht in die physikalische Fachsprache.