

Entropie phänomenal  
- neue Experimente  
zur anschaulichen Einführung

***MNU 2008 Kaiserlautern***

Horst Petrich

Dieter Plappert

Alexander Schweimler

Seminar für Didaktik und Lehrererbildung (Gymnasien) Freiburg

# Entropie phänomenal

## neue Experimente zur anschaulichen Einführung

- Fachdidaktische Erwägungen
- Unterrichtsgang mit Unterrichtsbausteinen und Experimenten

### Material:

- Entropielehre II Heiner Schwarze et al. Aulis-Verlag Köln
- Analogieserie [www.conatex.de](http://www.conatex.de)
- Dampfkraftwerk [www.laborplan.de](http://www.laborplan.de)
- Energiewerke [www.opitec.de](http://www.opitec.de)
- [www.plappert-freiburg.de/physik](http://www.plappert-freiburg.de/physik)

# Die drei Entropiebegriffe in der Physik

- Thermodynamischer Entropiebegriff
- Statistischer Entropiebegriff
- Informationstheoretischer Entropiebegriff

**verschiedene gleichwertige  
Theorien  
im Hintergrund**

**Welcher „Entropiebegriff“ soll zur  
zur Einführung in Sek I  
dienen?**

keine *physikalische* Frage sondern eine  
*didaktische!*

- Bildungsstandards B.-W. fordern Entropiebegriff lassen Weg offen!
- Didaktische Grundsätze der Bildungsstandards beachten

# „didaktische Grundsätze“

## Bildungsstandards Physik B.-W.

Am Anfang eines Physikverständnisses stehen die **Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler**, ...

**Phänomene** führen zu **physikalischen Fragestellungen**.

**Erklärungen** werden in **Bildern**, Modellen und Experimenten **veranschaulicht** und **schrittweise** mithilfe der **physikalischen Fachsprache** gefasst.

## 6 Stufen der physikalischen Begriffsbildung

1. Präkonzepte
2. Ausgangsphänomene/Ausgangsfragen
3. Idee der physikalischen Größe
4. typische Werte und Maßeinheiten
5. Umgang mit Messgeräten
6. Quantitative Beziehung („Formeln“) zu anderen physikalischen Größen

**zuerst:  
qualitative  
Begriffsbildung**

# Präkonzepte

## Martin Wagenschein

„Das physikalische Denken des Knabenalters“

Auch was sonst über typische Denkformen der Vorpupertät berichtet wird, erscheint mir physikalisch legitim. So das „Denken in Substanzbegriffen“. Wenn Kinder etwa die *Wärme* für einen **Stoff** halten oder doch für etwas „Stoffartiges“,.....

(die Suche nach dem Stofflichen)

# „Wärmestoffvorstellung“

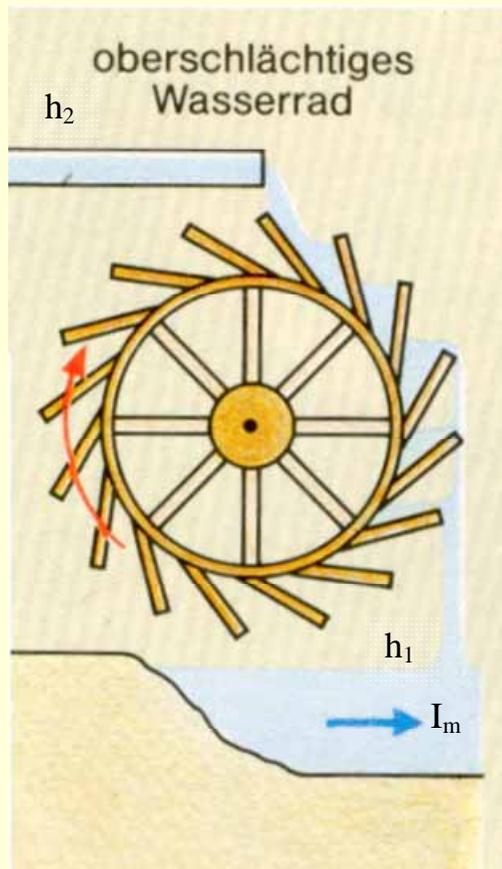


Weiterführende Untersuchungen bestätigen, dass Schülerinnen und Schüler dazu neigen, sich **stoffliche Wärmeverstellungen** zu bilden:

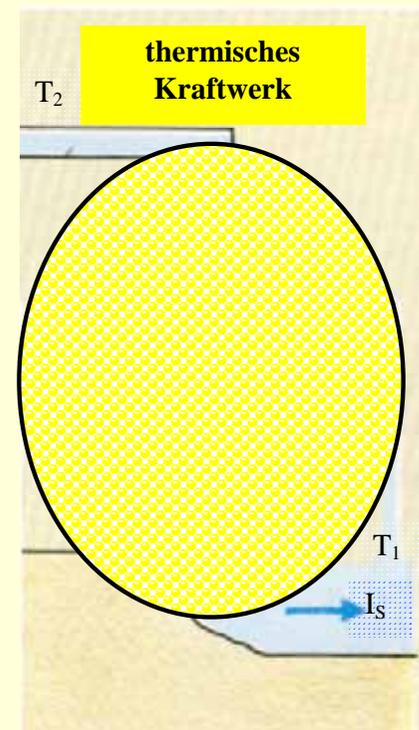
- In den Untersuchungen gibt es viele Hinweise auf **Stoffvorstellungen**.
- So vergleichen Schülerinnen und Schüler Wärme mit Stoffen wie Rauch, Dampf oder häufig auch mit Luft. Weiterhin scheint die Wärmestoffvorstellung für viele Schüler der Schuljahre 5 bis 10 durchaus einleuchtend zu sein.



# Carnot: Entropie als „Wärmestoff“



$$P = \Delta h \cdot g \cdot I_m$$



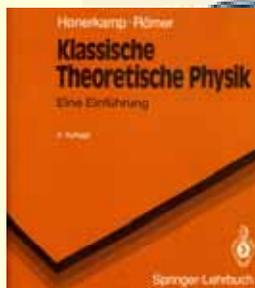
$$P = \Delta T \cdot I_S$$

# Entropie als „Wärmestoff“

Im zwanzigsten Jahrhundert – insbesondere in der damals entwickelten Thermodynamik der irreversiblen Vorgänge – nimmt die Entropie konkretere Eigenschaften an:

- räumlichen Verteilung,
- Dichte und Stromdichte
- Differenzialgleichungen wie für ein fließfähiges, die Materie durchdringendes Medium.
- Entropie tritt nicht nur als abstrakte Funktion auf, sie erscheint als physikalisches Objekt, nach dessen Eigenschaften, Verhalten und Wirkungen man fragen kann. Das erlaubt es, in einer ganz anderen Art über Entropie zu reden und zu denken („*immaterielles Fluidum*“)

# Thermodynamischer Entropiebegriff in Sek I

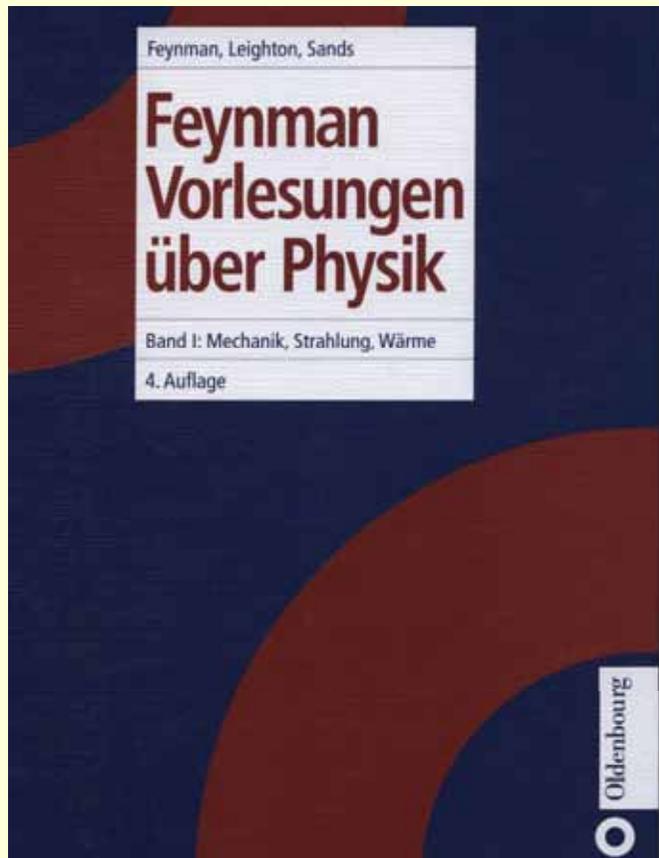


Honerkamp, Römer:

Klassische Theoretische Physik S.  
157

- die Hauptsätze lassen sich anschaulich aus Erfahrungstatsachen gewinnen,
- die Aussagen gelten allgemein, unabhängig von mikrophysikalischen Annahmen,
- ist leichter anzuwenden (z.B. Prozesschemiker),
- die Hauptsätze können nicht streng aus mikrophysikalischen Gleichungen hergeleitet werden....

# Richard P. Feynman:



Atomhypothese...

dass alle Dinge aus Atomen, aus kleinen Teilchen aufgebaut sind, die sich permanent bewegen,...

# „Entropie“ im Anfangsunterricht

- stoffartig
- ist enthalten
- kann strömen
- kann Energie transportieren
- kann erzeugt werden  
(wie die Gasen im Sprudel)

**Entropie**  
**phänomenal**  
aber

# Statistische, informationstheoretische Entropie in Sek I ?

Der Übergang von der „anschaulichen Makrophysik“ in die „quantenphysikalische Mikrophysik“ kann bei den Inhalten „**Atomhülle, Atomkern**“ thematisiert werden. Hier kann als „Exkurs“ auf den statistischen und den informationstheoretischen Entropiebegriff eingegangen werden.

# Was ist „Wärme“?

„Wärme“ ist ein Wort der **Alltagssprache**. Es deckt sich zum Teil mit mindestens vier verschiedenen physikalischen Größen:

- physikalischen Größe **Energie** („thermische Energie“),
- physikalischen Größe **Temperatur**,
- physikalischen Größe **Entropie** und
- „**Wärmeempfindung**“.

**„Wärme“ bleibt Wort der Alltagssprache und wird nicht als Name für eine physikalische Größe verwendet.**

# Zwei zentrale Aspekte des Entropiebegriffs

- **Wärmekraftmaschinen:**

Entropie als „Erhaltungsgröße“

→ Differenzierung Energie - Entropie

- **Irreversible Vorgänge:**

Entropie kann erzeugt, aber nicht vernichtet werden.

# Energie vor Entropie

Der Energiebegriff („1. Hauptsatz“) wird in Unterrichtseinheiten entwickelt, z.B. Elektrizitätslehre, die die Schülerinnen und Schüler vor der Wärmelehre kennen lernen.

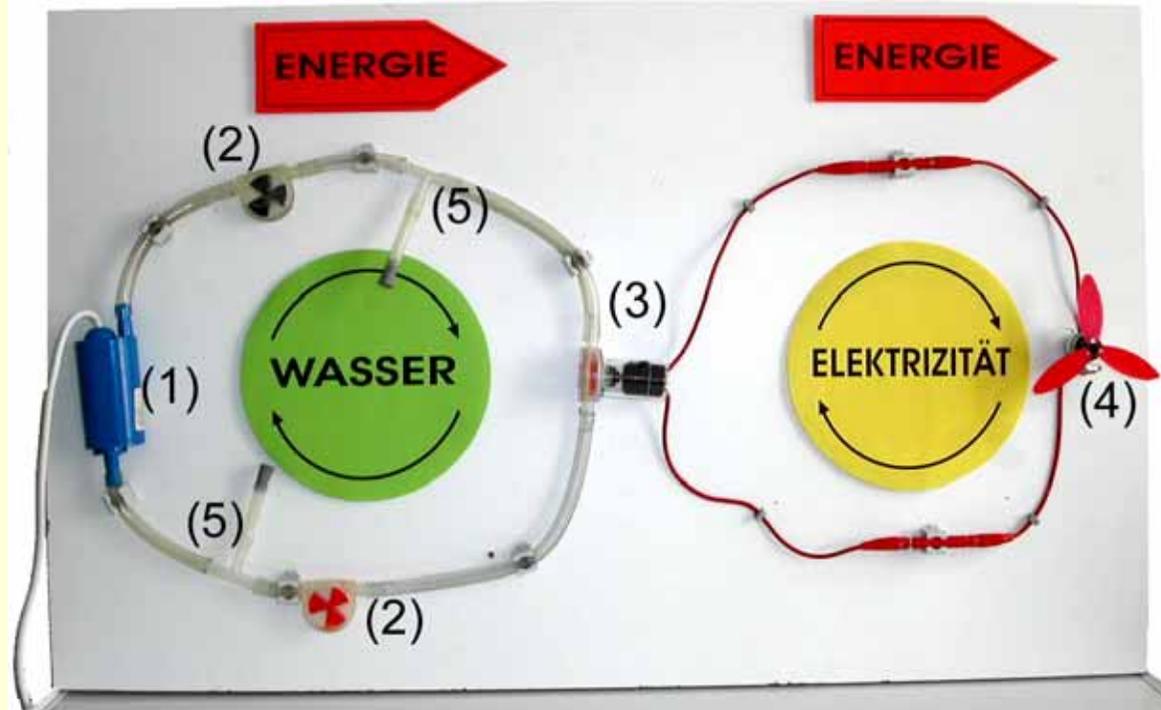
Unterrichtsgang  
„Wärmelehre“ in Sek I  
mit Unterrichtsbausteinen und  
Experimenten

**Vorwissen:**

Zwei grundlegende Konzepte  
des Physikunterrichts:

# Bildhafter Stromkreis

[www.conatex.com](http://www.conatex.com)



Der innere Zusammenhang von Wasserstrom und elektrischem Strom wird äußerlich sichtbar verbildlicht.

# Zentrale Regel

Energie und die zweite am  
Energietransport beteiligte Größe  
(Wasser, Elektrizität,...) kann immer dort  
am besten unterschieden werden, wo sich  
ihre **Wege trennen oder vereinen:**

Im Energie-Träger-Stromkreis geht die  
**Energie** von einer Station zur anderen,  
das **Wasser** aber strömt im **Kreis**.

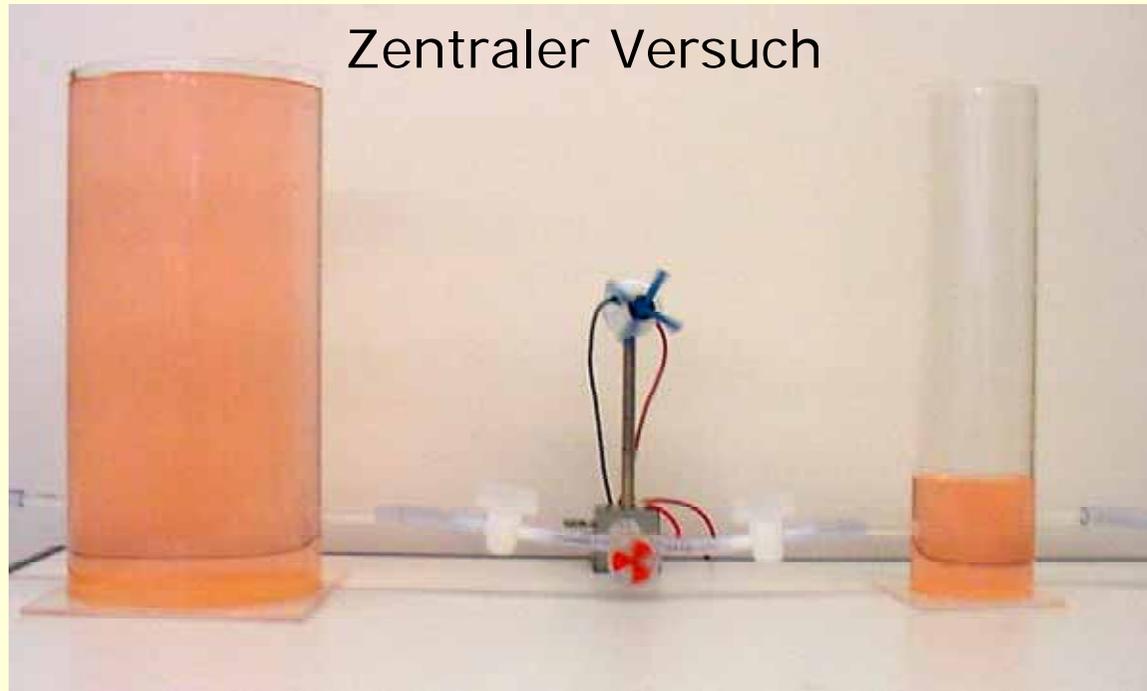
## Idee der physikalischen Größe

- Wasser, Elektrizität, Kartoffeln, Licht, Wind, Heizöl, Benzin,... **transportieren Energie**, ...
- *...bildhaft ausgedrückt*, sie haben die **Funktion** eines „**Energieträger**“.
- Die Pumpe belädt das Wasser mit Energie, der Wassergenerator lädt Energie von Wasser auf Elektrizität um,....

„Auf der Karte sind 50 Punkte“

**Energieträger -  
"funktional"**



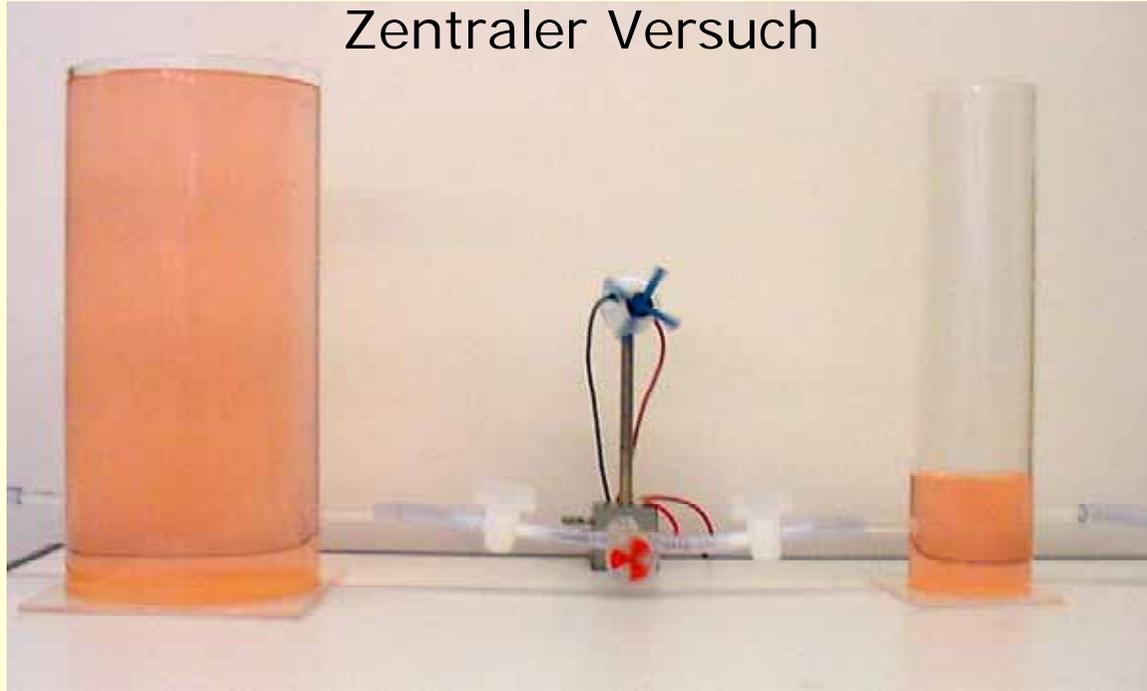


Mit dem strömenden Wasser strömt **Energie**.  
Sie kann mit einem Wassergenerator vom Wasser auf den  
Träger Elektrizität übertragen (umgeladen) werden.  
Im Generator geht die **Energie** einen anderen Weg als  
das Wasser.

**„Energie-Träger-Konzept“**

**„Energie-Transport-Konzept“**

## Zentraler Versuch



Das Wasser strömt von **hohem zu tiefem Druck**, solange eine **Druckdifferenz** vorhanden ist.

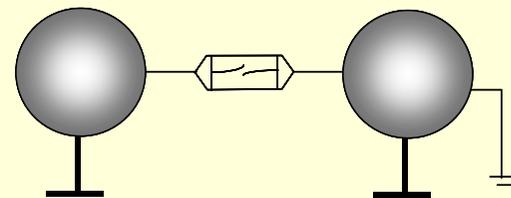
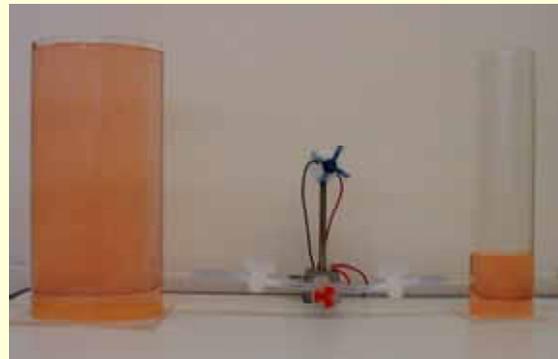
Die **Druckdifferenz** treibt den Wasserstrom an

**Das Strom-Antrieb-Konzept**

Lernzirkel  
„Strom-  
Antrieb-  
Konzept“

Entropielehre II

Antreiben → Energie  
umladen / übertragen



Pumpen → Energie aufwenden



# Einstieg I

## Wegen der Hitze erste Kraftwerke abgeschaltet

STUTTGART (BZ). Nach Angaben des Landesumweltministeriums sind wegen der anhaltenden Hitze und dem dadurch aufgeheizten Flusswasser die ersten Kraftwerke an Rhein und Neckar vom Netz gegangen oder haben ihre Leistung gedrosselt. Weil die Wassertemperatur im Rhein bereits 27 Grad erreicht, drohen auch für das Atomkraftwerk Philippsburg Betriebseinschränkungen. Die Betreiberin Energie Baden-Württemberg hat deshalb beantragt, auch noch bei 29 Grad den Block I betreiben zu dürfen. Dem hat das Umweltministerium unter Auflagen zugestimmt.

BZ 29.7.06

### Teammitglieder

sind.....

Bearbeitet die Fragen in Eurer Gruppe!  
Schreib wesentliche Gesichtspunkte stichwortartig auf!

Überlegt Euch, wie Ihr Eure Ergebnisse präsentieren wollt.

### **Fragen:**

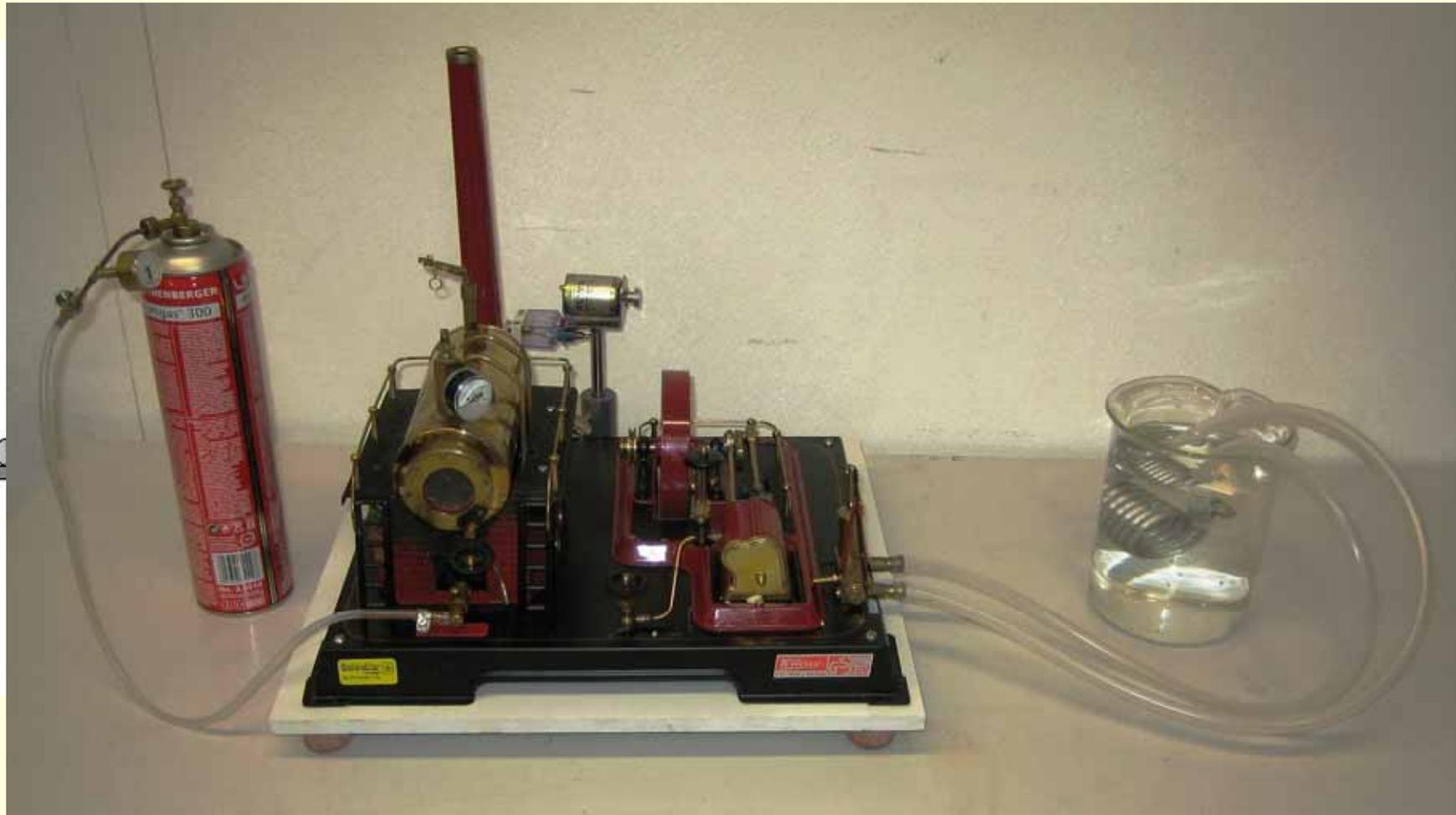
- Warum erwärmen Atomkraftwerke Flüsse oder benötigen Kühltürme?
- Kann man die Kühlung nicht einfach abschalten?
- Wie funktioniert ein Kohle- bzw. Atomkraftwerk?

# Funktionsweise von thermischen Kraftwerke



Warum wird eine Kühlung benötigt?

# Funktionsweise von thermischen Kraftwerke



Warum wird eine Kühlung benötigt?

# Modelldampfkraftwerk



**nur mit heiß und kalt  
gehts halt**

**Warum heiß und kalt?**



Energiewerk [www.energie-technik.com](http://www.energie-technik.com) 13.- €

Lernzirkel → phänomenale Entropie



nur mit heiß und kalt  
gehts halt  
Warum heiß und kalt?

# ThermoSchülerSet [www.opitec.com](http://www.opitec.com)



**nur mit heiß und kalt  
gehts halt  
Warum heiß und kalt?**

**Wer treibt den "Wirbel" an?  
Woher bekommt er seine Energie?**



# Antrieb eines Hurrikans



Warum geht's nur mit **heiß** und **kalt**?

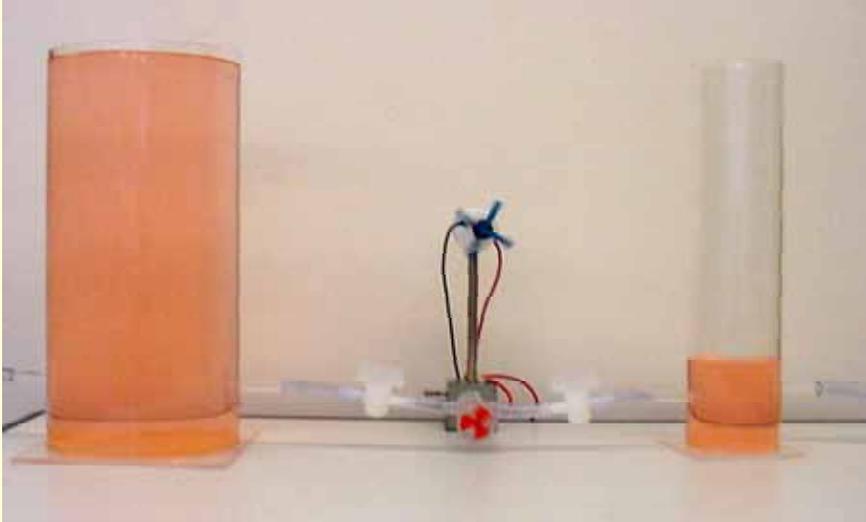
„ein thermisches Kraftwerk kann  
nur mit einer

Temperaturdifferenz

angetrieben werden“

**verstehen heißt  
verbinden.**

# Analogiebetrachtingen



Vergleiche!! Was entspricht sich?

Die **Druckdifferenz** treibt den **Wasserstrom** an.  
Energie wird vom Wasser abgeladen und strömt zum Propeller.

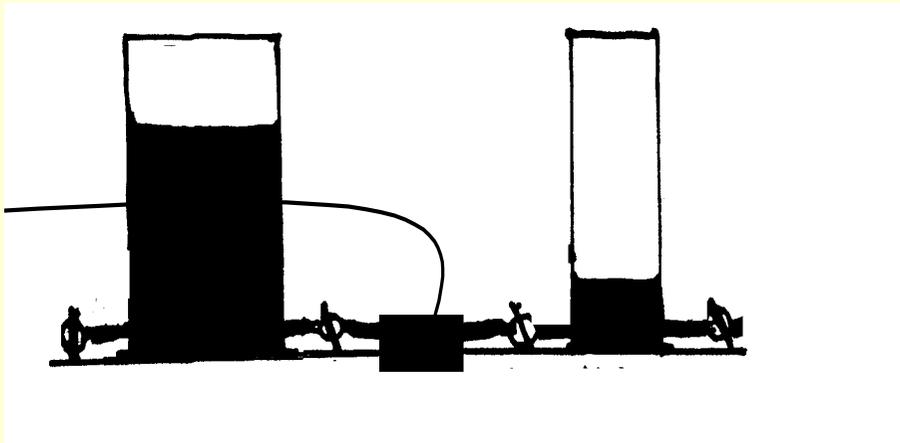
Die **Temperaturdifferenz** treibt den **X-strom** an.  
Energie wird vom **X** abgeladen und strömt zum Propeller.

# Was ist Entropie?

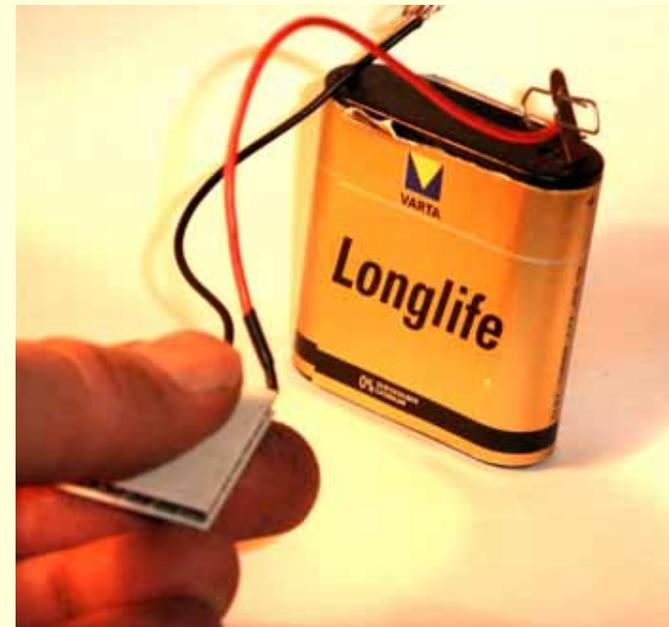
Entropie ist das,

- was durch das Thermokraftwerk hindurchströmt,
- von dem die Energie abgeladen wird,
- ein Entropiestrom wird von einer Temperaturdifferenz angetrieben,
- Entropie strömt von allein von hoher zu tiefer Temperatur,
- Wasser hoher Temperatur enthält mehr Entropie...

# Entropiepumpe



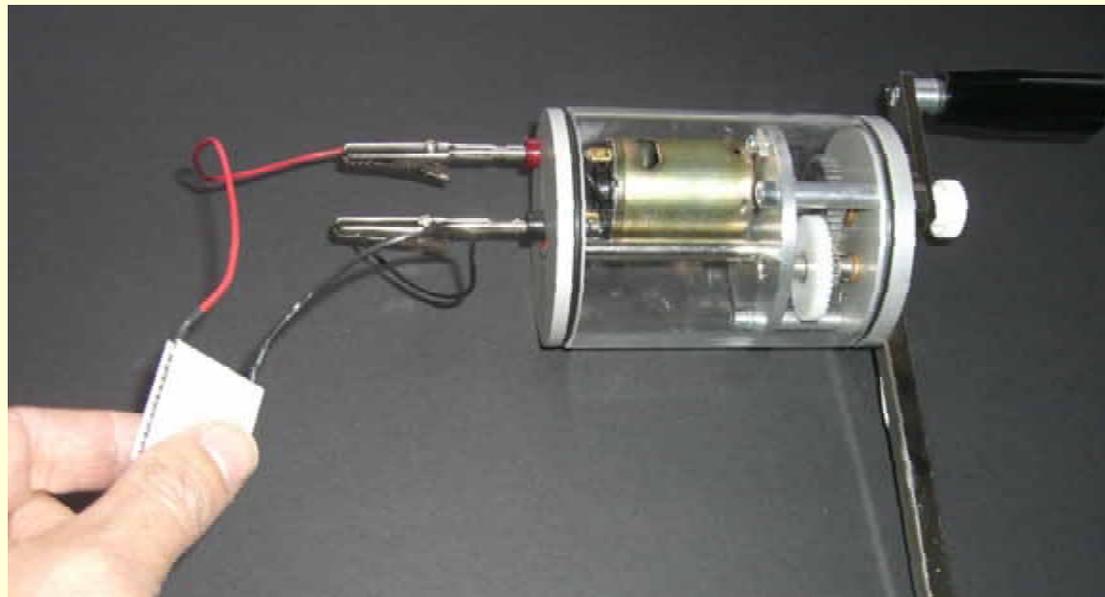
Wasser wird gepumpt, es entsteht eine Druckdifferenz



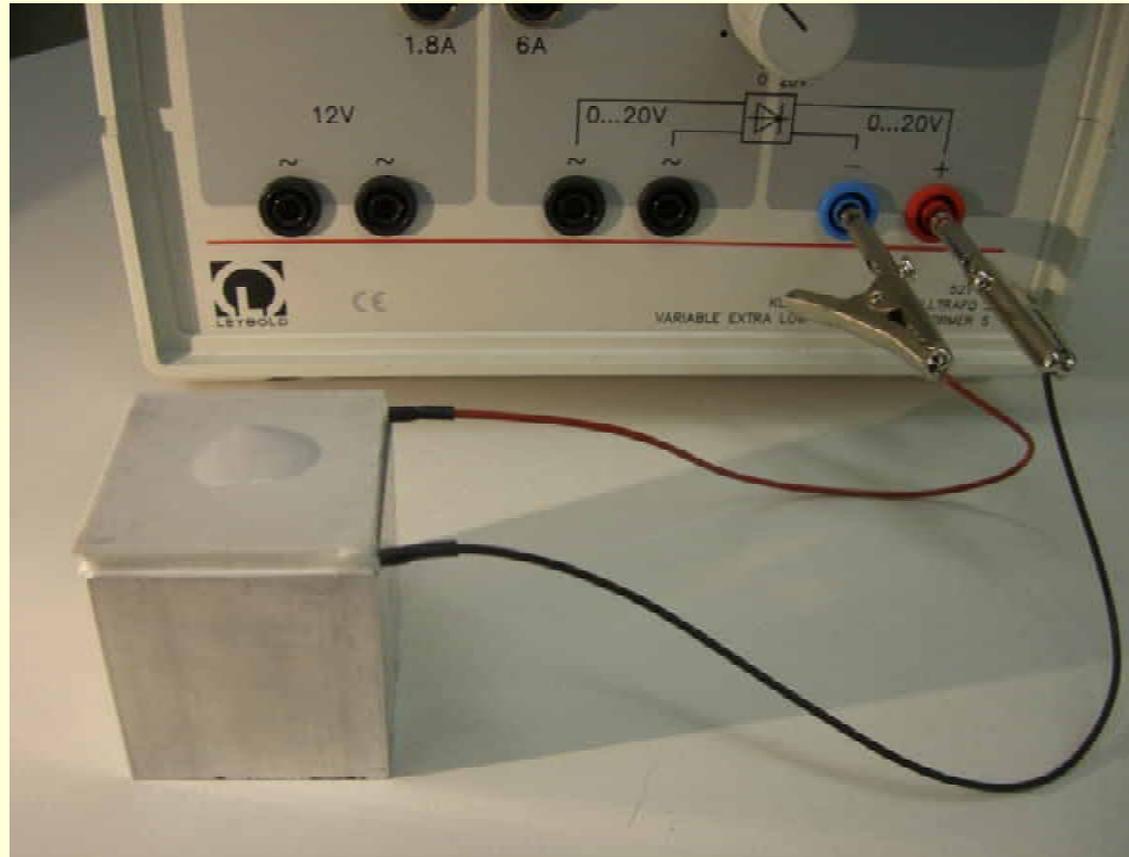
**Entropie** wird gepumpt, es entsteht eine **Temperaturdifferenz**

# Entropiepumpe

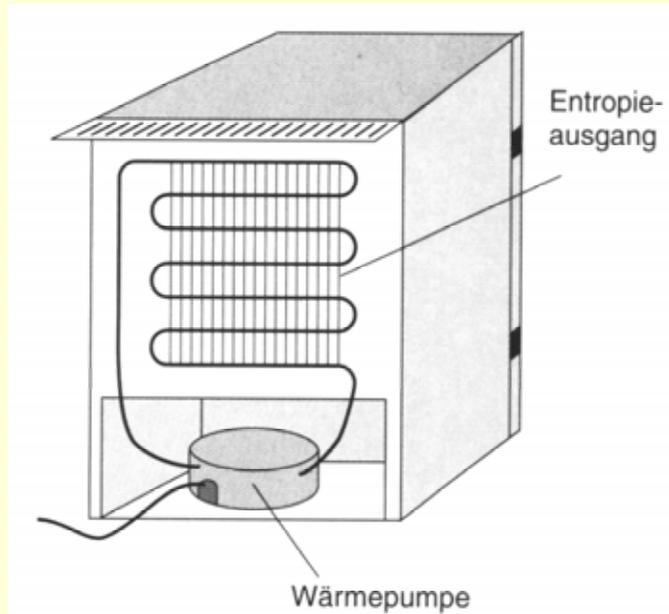
Je nach Drehrichtung des Dynamot wird einmal die obere Seite des Thermoelements warm bzw. die untere Seite kalt und umgekehrt.



# Entropiepumpe extrem



# Kühlschrank als Entropiepumpe



- **Arbeitsauftrag:**

- Vergleiche
- Luftpumpe
  - Wasserpumpe
  - Elektrizitätspumpe
  - Entropiepumpe

Zeichne jeweils ein Energieflussbild !

- **Textarbeit**

- Entropiepumpe
- absolute Temperatur

# Klimaanlage als Entropiepumpe



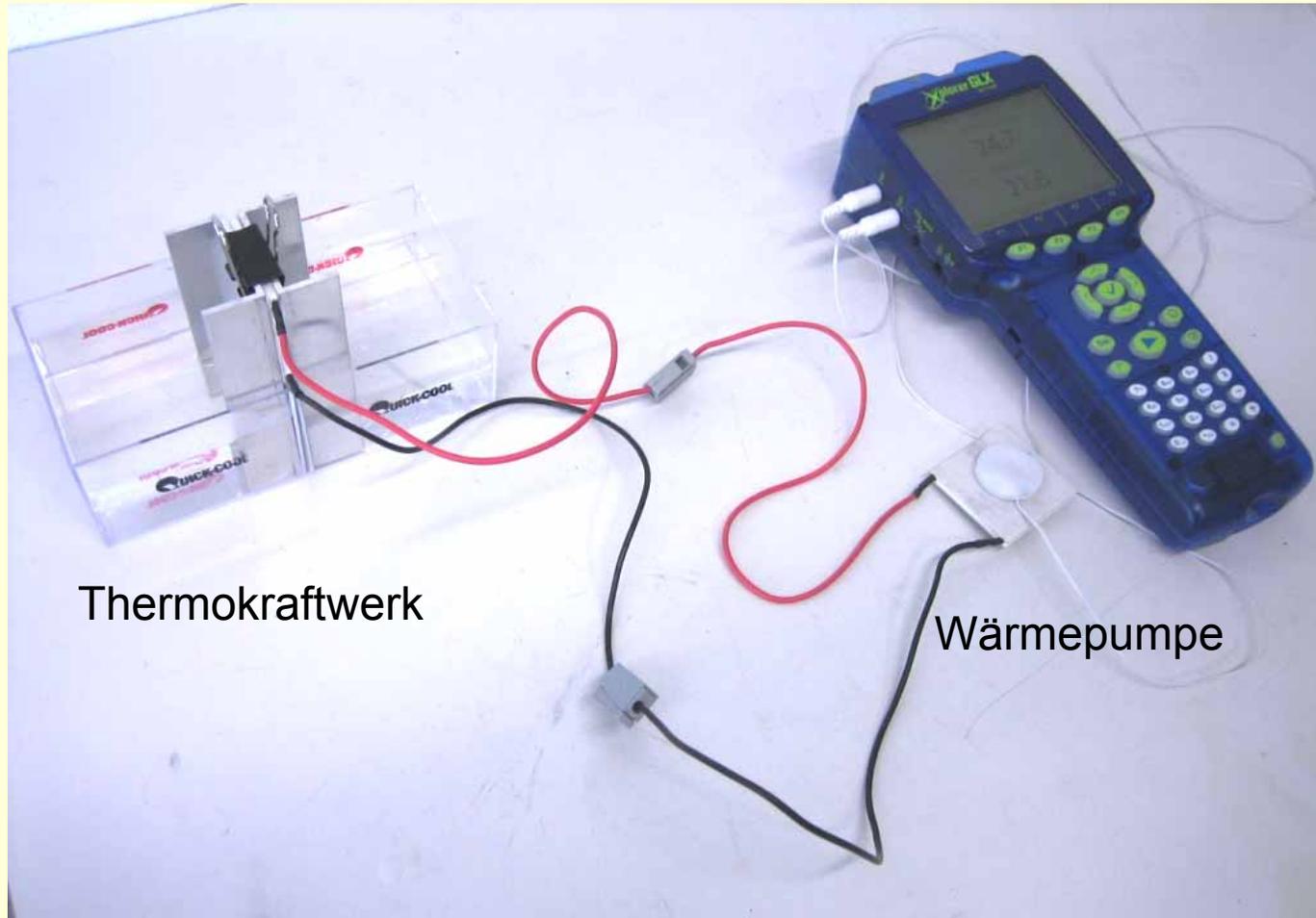
Viele  
quantitative  
Beispiele  
in

**Entropielehre II**

# Sind elektrische Wärmepumpen sinnvoll?



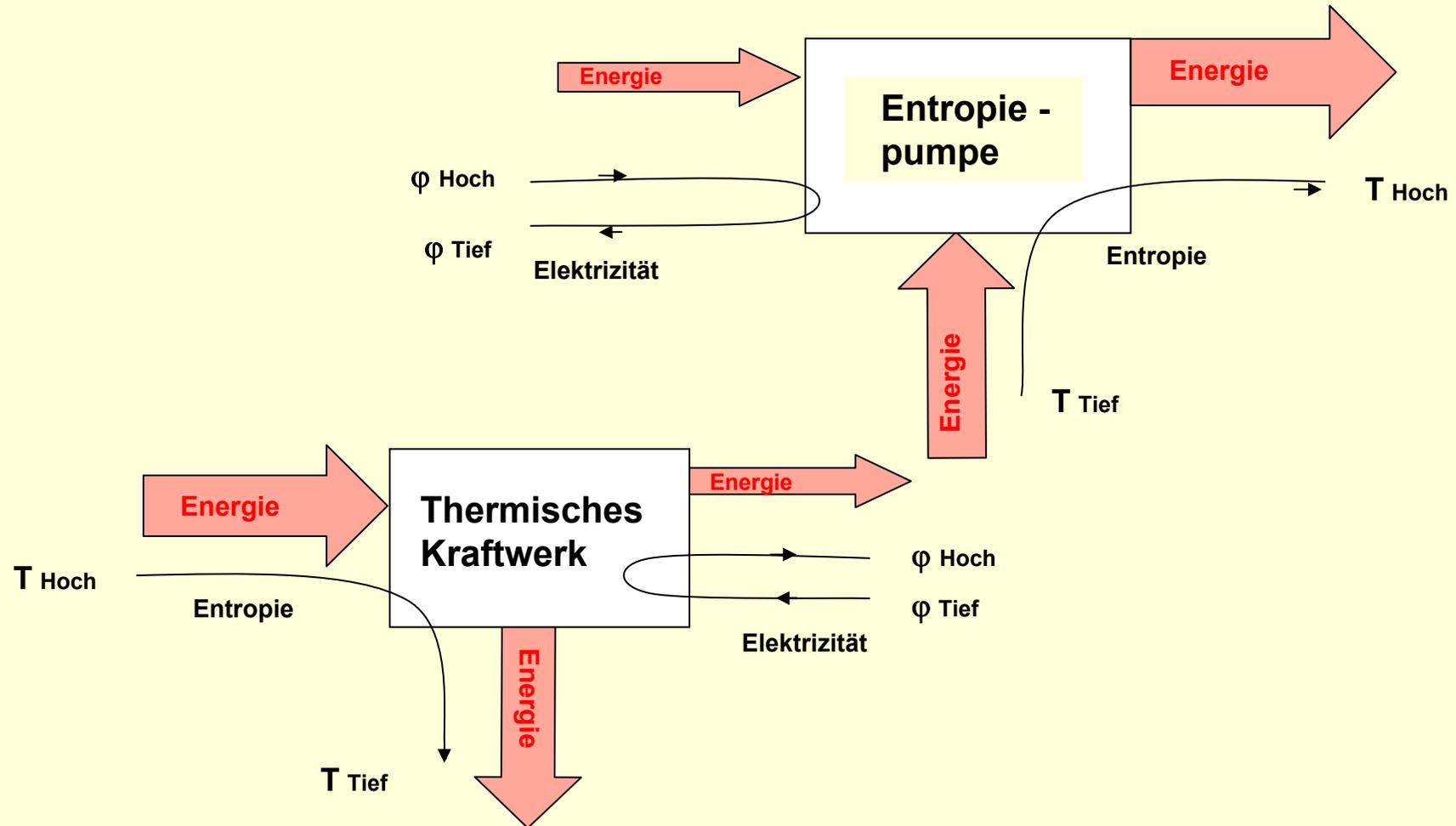
# Modellversuch



Thermokraftwerk

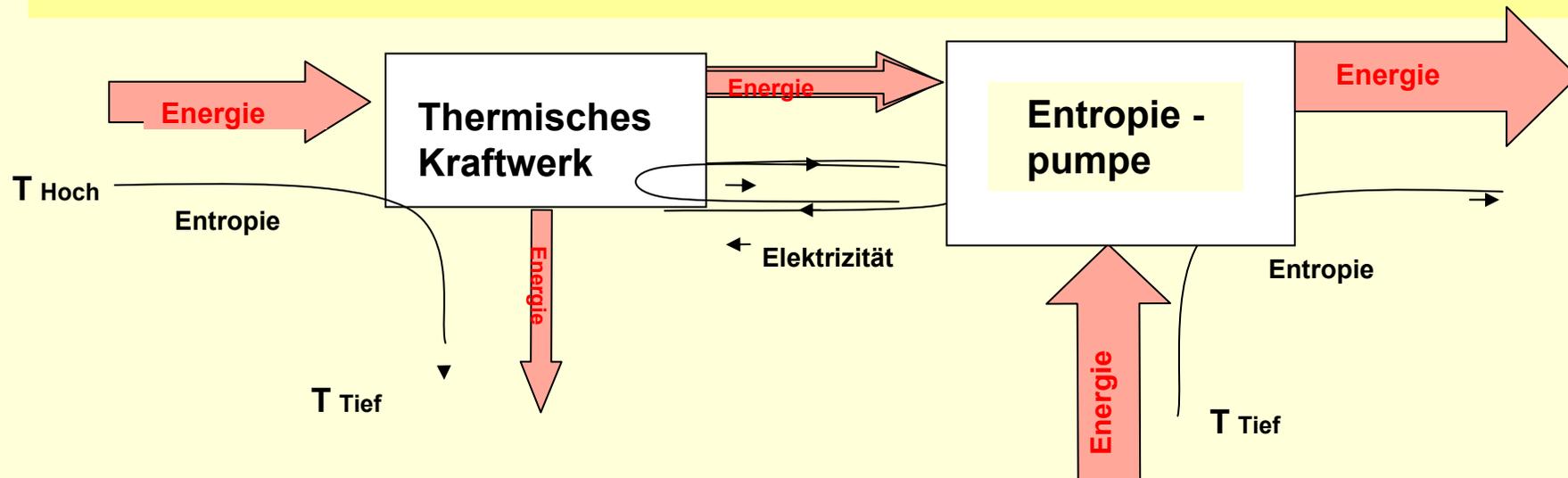
Wärmepumpe

# Energieflussbilder

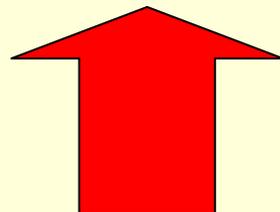


# Elektrische Wärmepumpe

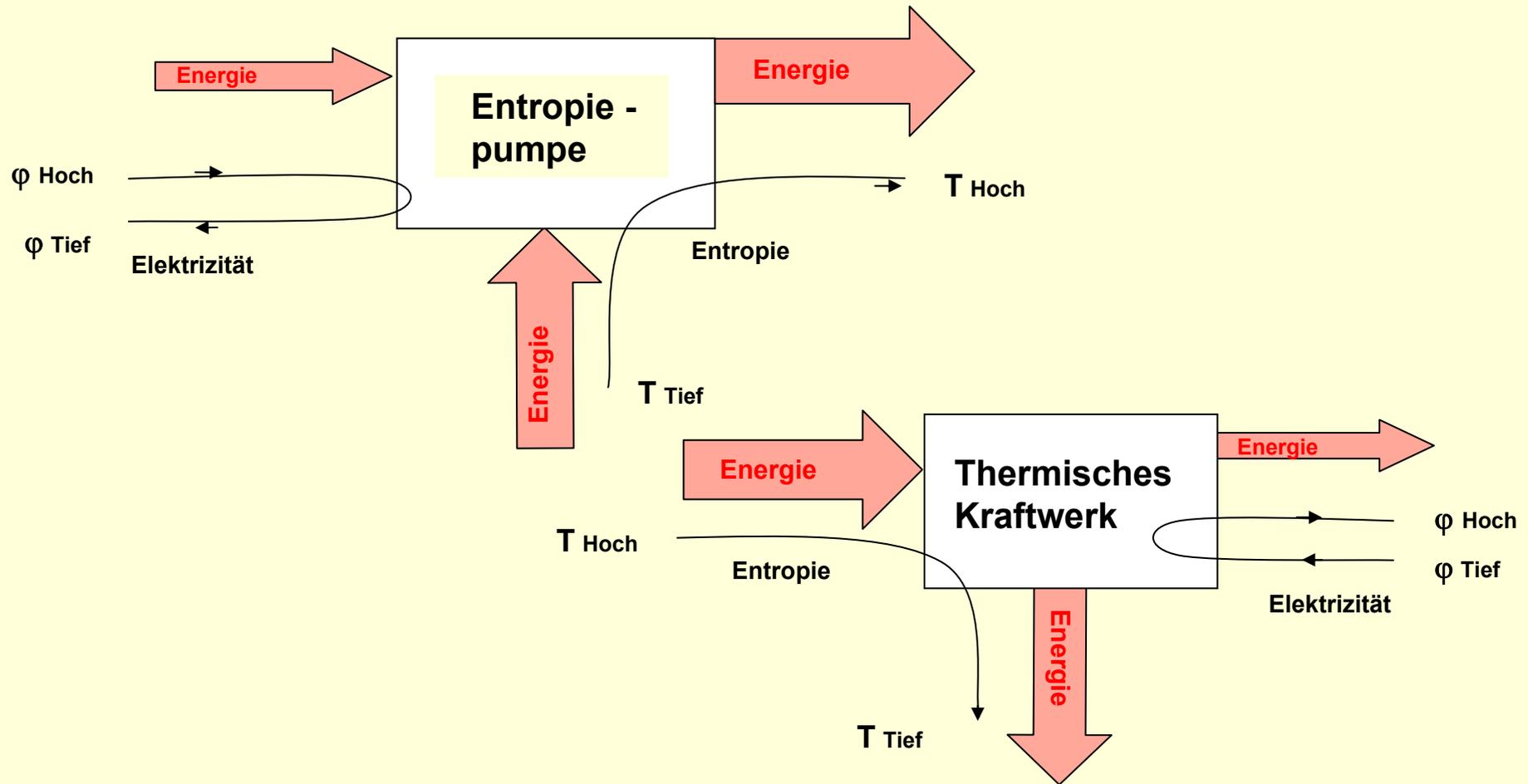
Je größer die Temperaturdifferenz des Kraftwerks  
und  
je kleiner die Temperaturdifferenz der Wärmepumpe sind,  
desto besser ist der Gesamtwirkungsgrad!



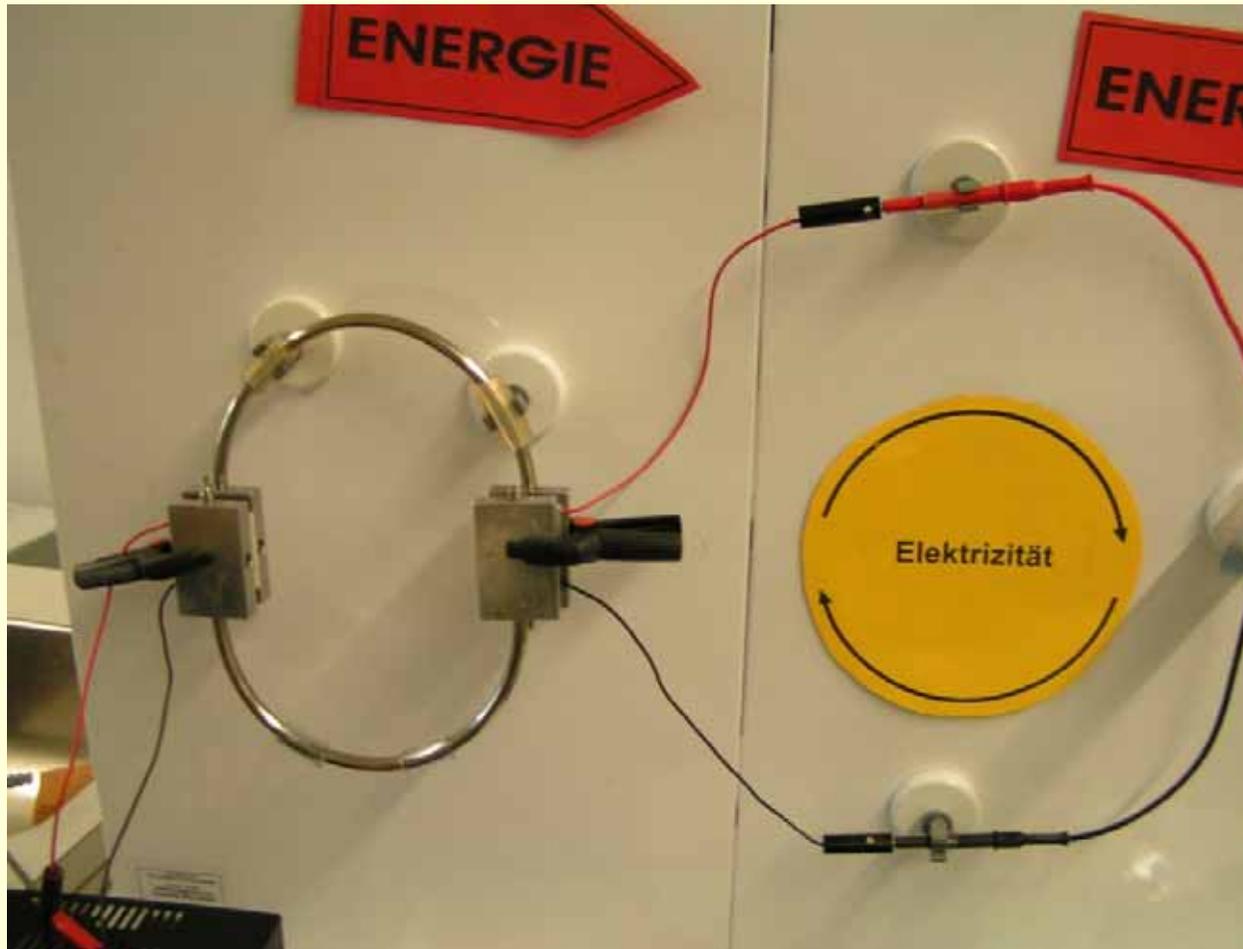
# Theoretischer „Energiefaktor“ einer elektr. Wärmepumpe bei Reversibilität



# Energieflussbilder

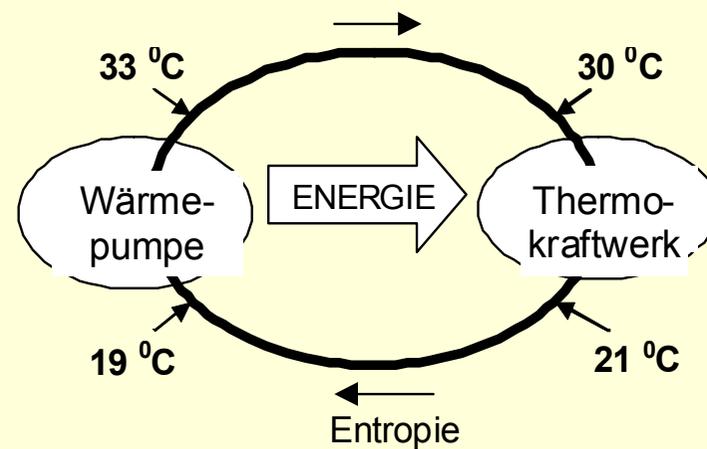
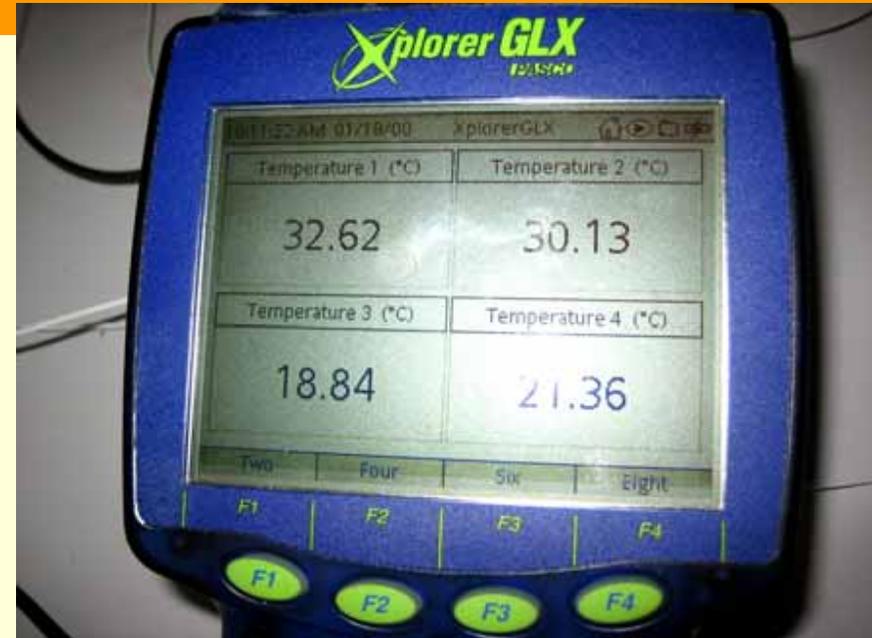


# Der neue Entropiestromkreis

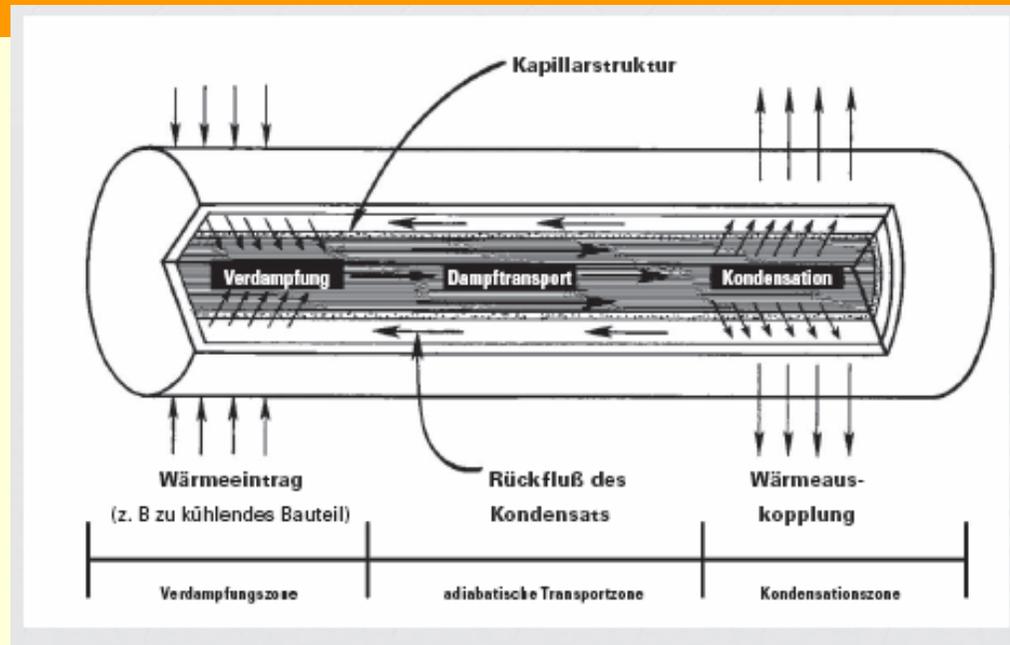


Energie und Entropie strömen auf verschiedenen Wegen!!!

# „thermischer Energie-Träger-Stromkreis“

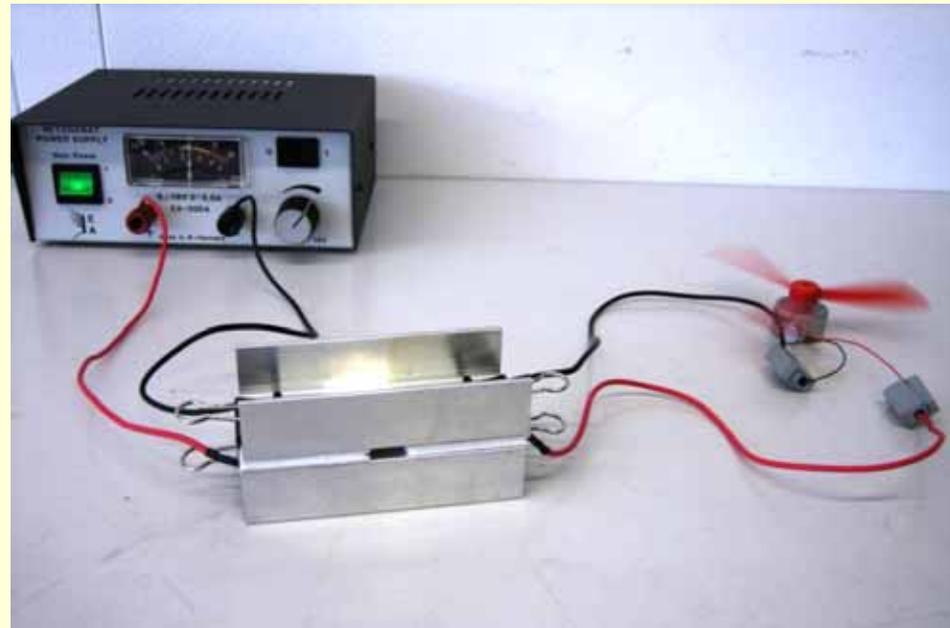
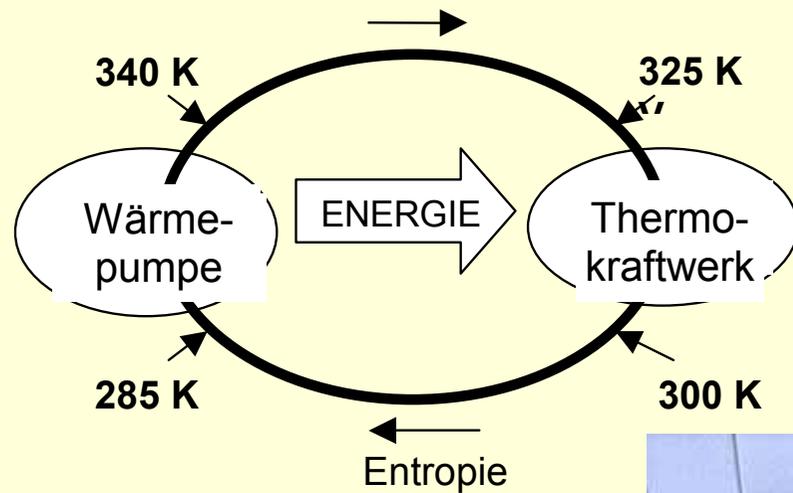


# Heatpipe



Eine Heatpipe oder ein Wärmerohr ist ein Bauteil, mit dem Wärme sehr effizient von einem Ort zu einem anderen transportiert werden kann. Es kann eine um 2 bis 3 Größenordnungen (100 bis 1000 mal) höhere Wärmemenge transportieren als ein Bauteil gleicher geometrischer Abmessungen aus massivem Kupfer.

# „Entropiestromkreis im ThermoSet“



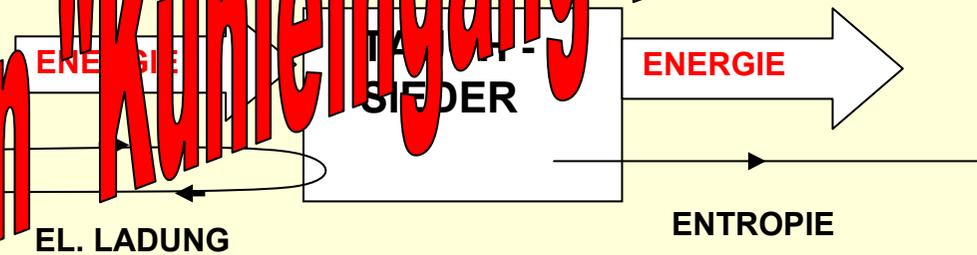
# Stromkreise



Woher bekommt der Tauchsieder  
seine Entropie ??



Es gibt keinen "Kühleingang"





Eine Bleistiftmine wird zwischen zwei Klappstiften gespannt, einer Dynamot angeschlos, er wird so lange gedreht bis sie glüht (Film)

Woher bekommt die Bleistiftmine ihre Entropie?

Besteht die Gefahr, dass du unterkühlst?

**Es gibt keinen "Kühleingang".  
Entropie wird erzeugt!!!**

Entropie kann zwar erzeugt aber  
nicht vernichtet werden



**Es gibt keinen  
Tauchgefrierer!**  
**"Irreversibilität"**

Wird kann den Tauchgefrierer antreiben?

Kann der Tauchsich den Propeller antreiben?

Entropie kann zwar erzeugt aber  
nicht vernichtet werden



Es gibt keinen Schiffsantrieb, der die zum Antrieb benötigte Energie durch Abkühlen dem Meer entnimmt.

Entropie kann zwar erzeugt aber  
nicht vernichtet werden

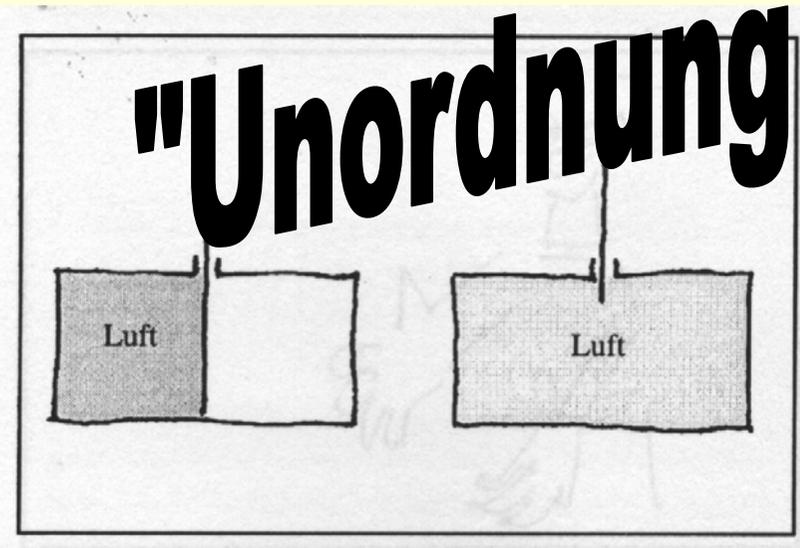
**"Irreversibilität"**  
**"Richtung der Zeit"**



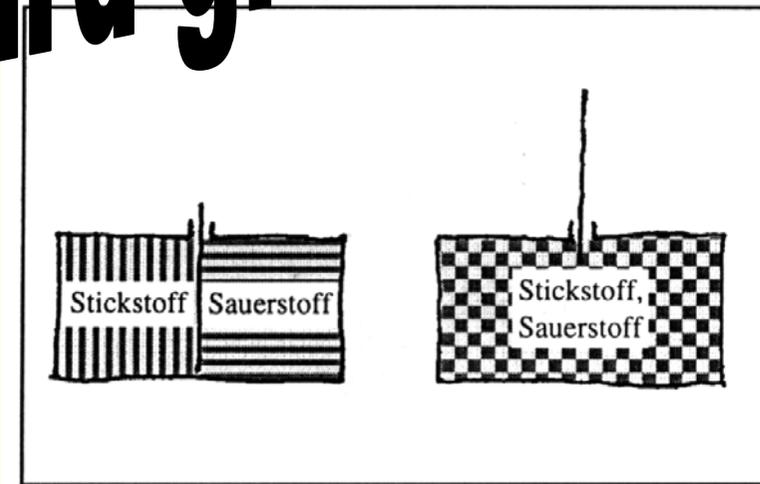
Aufwärts brennende Kerzen, die die Luft der  
Umgebung abkühlen und die dabei Energie in frisch  
gebildetem Kerzenwachs speichern, gibt es nicht!

# Irreversible Prozesse - Entropieerzeugung

**"Unordnung wird größer"**



Bei der Expansion ins  
Vakuum entsteht Entropie



Beim Mischen von Gasen  
entsteht Entropie

# Wikipedia: Entropie und "Unordnung"

## Problematik des Begriffs *Entropie* [Bearbeiten]

In populärwissenschaftlichen Büchern, aber auch in vielen Lehrbüchern wird die Entropie mit Unordnung gleichgesetzt. Diese Analogie trifft für einige Systeme zu, z.B. besitzt ein geordneter Kristall eine viel geringere Entropie als seine Schmelze. Für andere Systeme ist diese Betrachtung eher problematisch, z.B. besitzt eine geordnete Biomembran in Wasser eine höhere Entropie als ihre ungeordneten, in Wasser gelösten Bestandteile.

# Wikipedia: Entropie und "Unordnung"

Das Problem besteht in erster Linie darin, dass der umgangssprachliche Begriff *Unordnung* nicht eindeutig definiert ist und die Entropie kein Maß für die Symmetrie des Systems darstellt, sondern für die Anzahl der mikroskopisch erreichbaren Zustände *unabhängig* von ihrem wie auch immer definierten Ordnungsgrad. Insbesondere in Lehrbüchern der theoretischen Physik wird der Begriff *Unordnung* deshalb gemieden.

# Ziel: Reduzierung der Entropieerzeugung!

Durch technische Mittel  
versucht der Mensch  
die Entropieproduktion  
der Natur zu  
minimieren und die  
somit gewonnene  
Energie intelligent zu  
nutzen.



# Aus einem Portfolio Kl. 10

„.... Und hiermit kann ich direkt meinen letzten wichtigen Inhalt anschließen, nämlich die Zusammenhänge zwischen Hydraulik, Elektrizitätslehre und Thermik. In allen drei Gebieten gibt es ständig Überschneidungen, die in Tabellen festgehalten wurden. Z. B. Druckdifferenz, elektrische Potenzialdifferenz und Temperaturdifferenz. Es sind zwar verschiedene Bezeichnungen, aber im Prinzip erfüllen alle dieselben Faktoren, dieselbe Aufgabe, in ihrem Gebiet.

# Aus einem Portfolio Kl. 10

Das war eine interessante und auch beeindruckende Feststellung, da man hier sieht, wie nahe diese drei Themen doch miteinander zusammenhängen. Außerdem erleichtert es das Verständnis, da „verstehen“ das Verbinden mit schon bekannten Dingen bedeutet, also die Funktion eines Faktors auf ein weiteres physikalisches Gebiet.“

# Neue Experimente und Materialien

Aulis: Unterricht Physik Band 22:  
**Entropielehre II** erscheint Frühsommer 2008

Conatex: **„thermischer Energie-Träger-Stromkreis“**

Conatex: **„Quick-Cool-ThermoSchülerSet“**

[www.opitec.com](http://www.opitec.com) **Bausatz „Energierwerke“ 13.- €**

[www.laborplan.de](http://www.laborplan.de) **Modell-Dampfkraftwerk**

Alle Anleitungen und mehr zu finden unter

**[www.plappert-freiburg.de/physik](http://www.plappert-freiburg.de/physik)**



# Lösungshinweise Aufg. 2

Carnot: Entropie als „Wärmestoff“



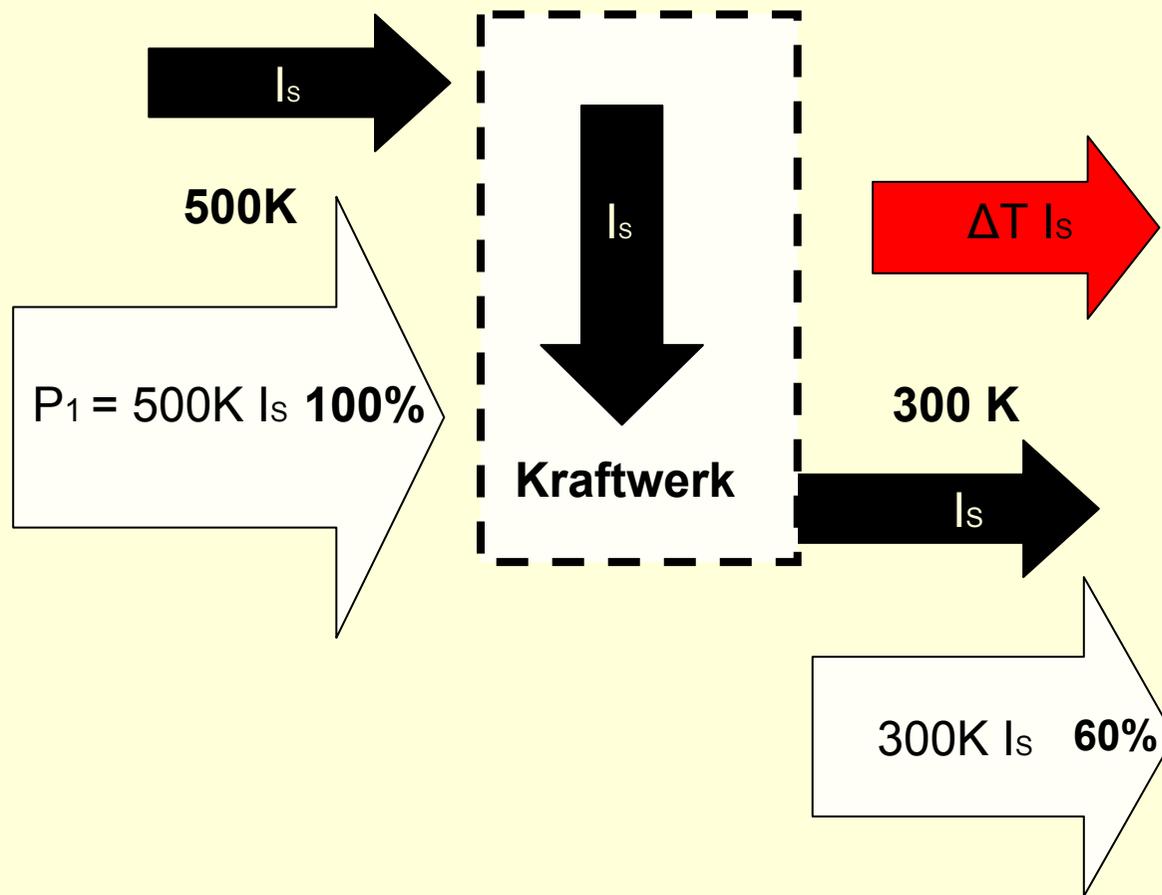
**die Temperaturdifferenz  
nicht die Druckdifferenz  
ist entscheidend**

$P = \rho \cdot g \cdot I_m$

$P = \Delta T \cdot I_S$

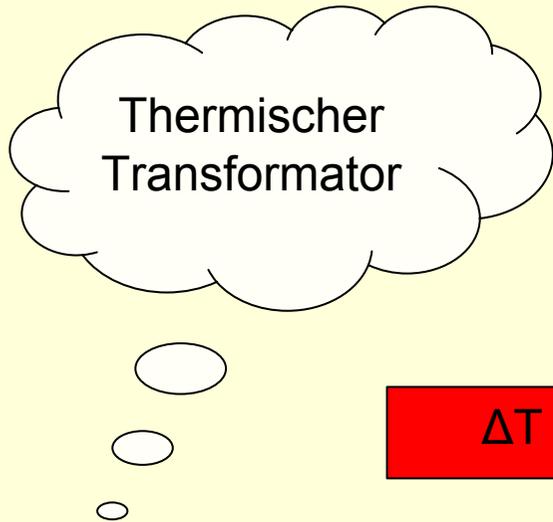
# Lösungshinweise Aufg. 3

## Carnot: Entropie als „Wärmestoff“



# Lösungshinweise Aufg. 3

## Carnot: Entropie als „Wärmestoff“

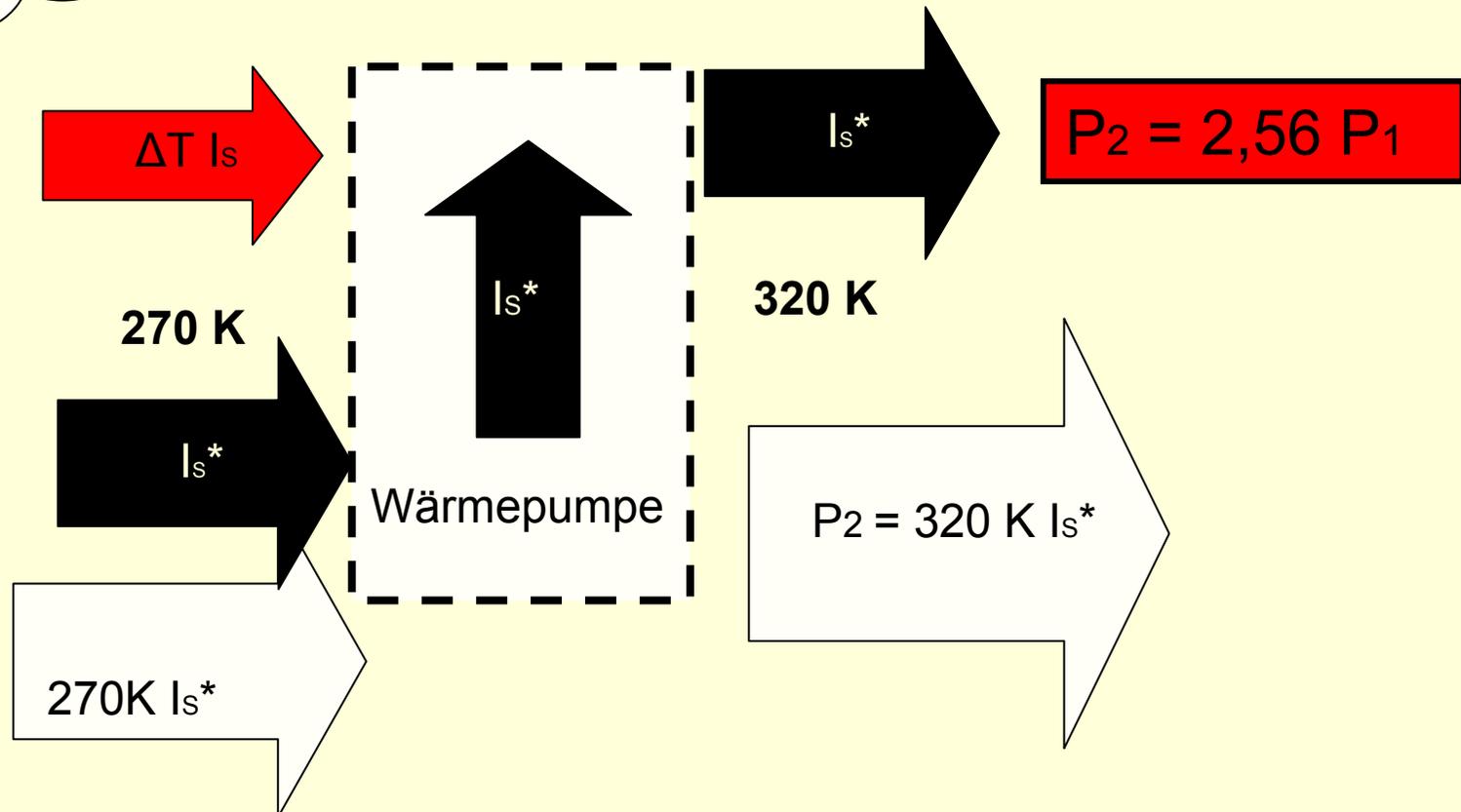


$$U \cdot I = U^* \cdot I^*$$

$$\Delta T \cdot I_s = \Delta T^* \cdot I_s^*$$

$$I_s^* = 4 I_s$$

$$200 \text{ K} \cdot I_s = 50 \text{ K} \cdot I_s^*$$



# Theoretischer Energiefaktor einer elektr. Wärmepumpe bei Reversibilität

