

Energie und Entropie im Kontext von Wärme­kraftwerken

Dieter Plappert

Mai 2011

Seminar für Didaktik und Lehrerbildung
(Gymnasien) Freiburg

Energie und Entropie

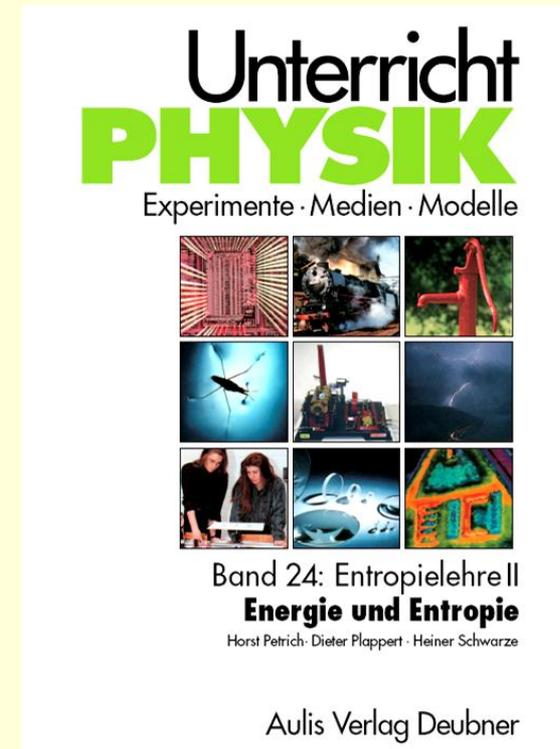
fachdidaktische Grundlagen - Unterrichtsbeispiele

Material:

- Entropielehre II Heiner Schwarze et al.
- Analogieserie www.conatex.com
- Dampfkraftwerk www.laborplan.de
- Energiewerke www.opitec.de
- Stirlingmotoren www.exergia.de
- www.plappert-freiburg.de/physik

- www.bne-portal.de

Mails an post@plappert-freiburg.de



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 aber Weg offen!
- Didaktische Grundsätze der Bildungsstandards beachten

„didaktische Grundsätze“

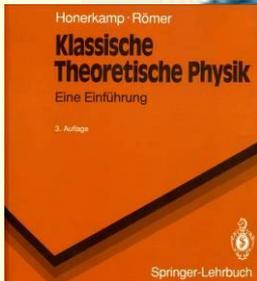
Bildungsstandards Physik B.-W.

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.

Thermodynamischer Entropiebegriff in Sek I



- 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....

Honerkamp,Römer:

Klassische Theoretische Physik S.
157

„Entropie“ im Anfangsunterricht

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

Aufwachen!



Energie – aktuell



Wie können die 17 AKWs ersetzt werden?

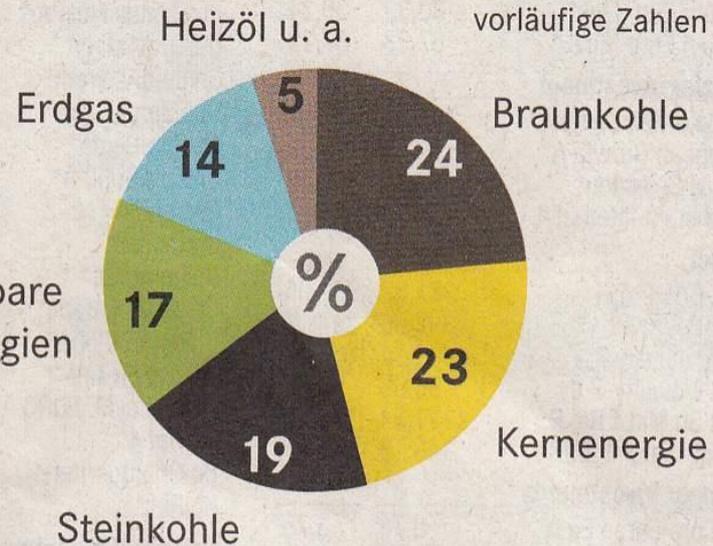
Woher kommt die elektrische Energie?

Woher kommt der Strom?

Anteile an der Stromerzeugung
in Deutschland in Prozent 2010



erneuerbare
Energien

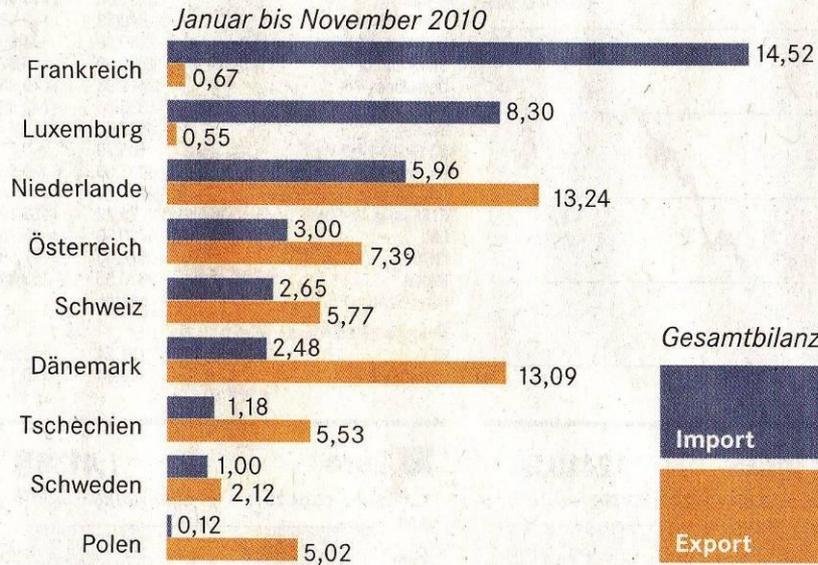


GRAFIK/DRE

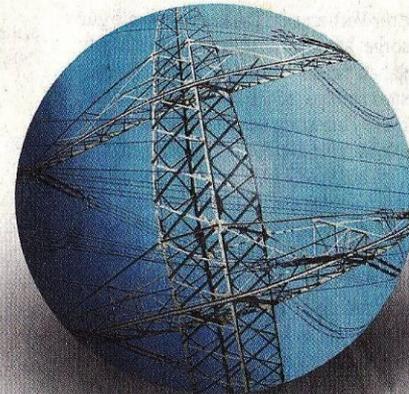
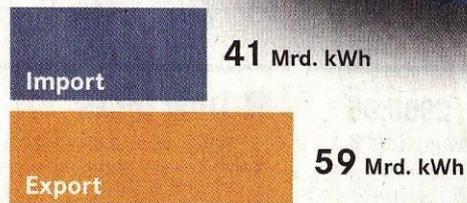
QUELLE: AGEB

Export von elektr. Energie

Stromtausch mit dem Ausland in Milliarden Kilowattstunden



Gesamtbilanz 2010



Wohin geht die elektrische Energie?

■ Wohin geht der Strom? Anteile am Stromverbrauch in Deutschland 2010

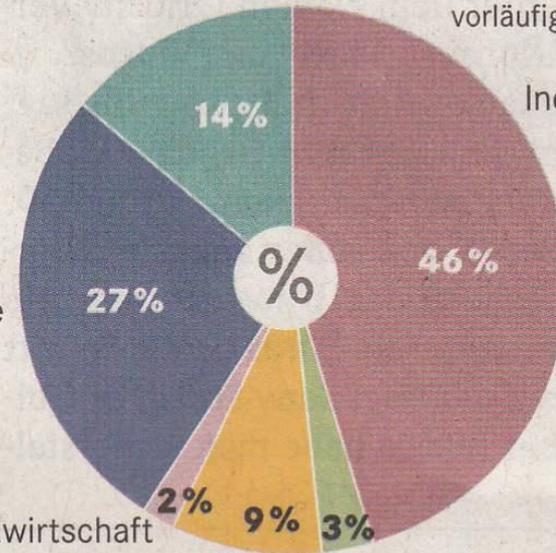


Haushalte

Landwirtschaft

Öffentliche
Einrichtungen

Handel u.
Gewerbe



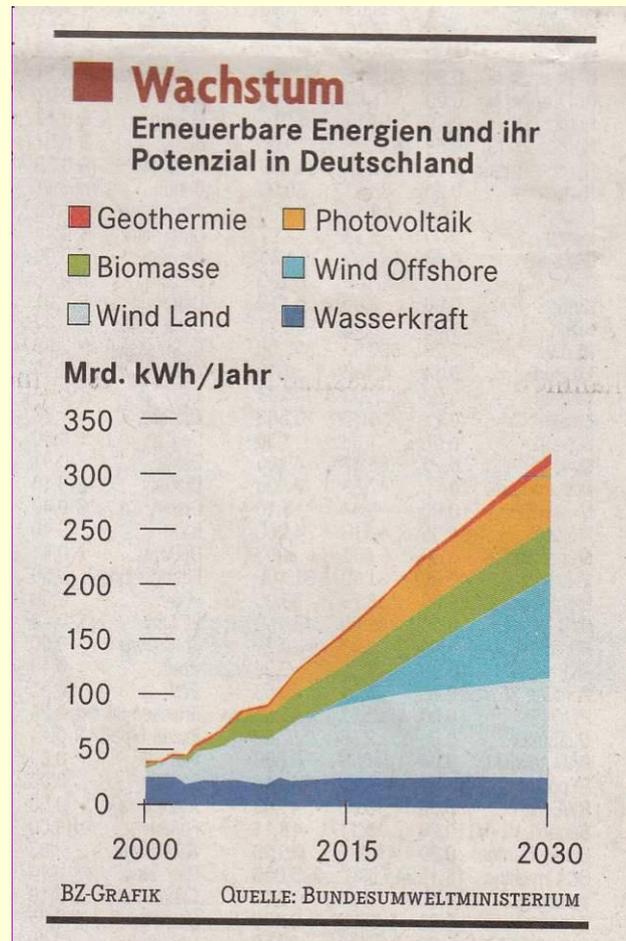
rundungsbedingte
Differenzen,
vorläufige Zahlen

Industrie

BZ-GRAFIK/REC

QUELLE: AGEB

Potenzial der erneuerbaren Energie



17 AKWs können ersetzt werden?

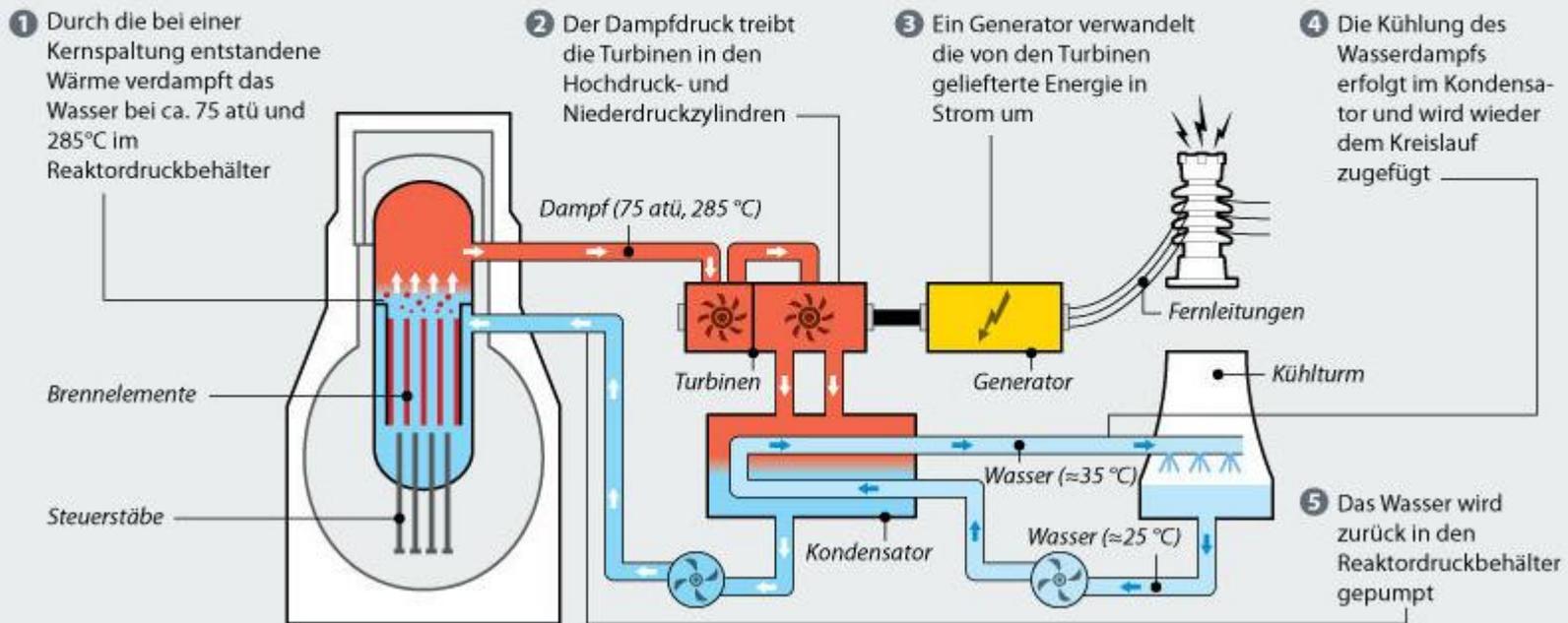
- 8 alte AKWs können ohne Energieimporte vom Netz bleiben.
- Schon in Bau befindlich „konventionelle“ Kraftwerke können 3 AKWs demnächst ersetzen.
- Durch Nutzung von Windenergie können bis 2015 drei weitere ersetzt werden.
- Durch höhere Energieeffizienz können bis 2020 10 AKWs ersetzt werden (Wuppertalinstitut)

Warum der Kondensator?

Wie funktioniert ein Siedewasserreaktor?

BWR (Boiling Water Reactor) ist ein Siedewasserreaktor.

Reaktoren dieses Typs werden in allen sechs Blöcken des Atomkraftwerks Fukushima-1 eingesetzt



Bildungsstandards Physik (BW)

Der Physikunterricht soll so aufgebaut sein, dass die Lernenden in der Lage sind, an der zukunftsfähigen Gestaltung der Weltgesellschaft – im Sinne der Agenda 21 – aktiv und verantwortungsvoll mitzuwirken und im eigenen Lebensumfeld einen Beitrag zu einer gerechten, umweltverträglichen und nachhaltigen Weltentwicklung zu leisten.

Energieeffizienz

8. Grundlegende physikalische Größen

Neben dynamischen Betrachtungsweisen kennen die Schülerinnen und Schüler die Erhaltungssätze und können sie vorteilhaft zur Lösung physikalischer Fragestellungen einsetzen. **Die Schülerinnen und Schüler kennen technische Möglichkeiten zum „Energiesparen“ und zur Reduzierung von „Entropieerzeugung“.**

Die Schülerinnen und Schüler können mit weiteren grundlegenden physikalischen Größen umgehen:

Inhalte

- *Energie (Energieerhaltung)*
- *Entropie (Entropieerzeugung)*

(Bildungsstandards Physik Klasse 10)

2005 bis 2014 UNESCO-Weltdekade "Bildung für nachhaltige Entwicklung"

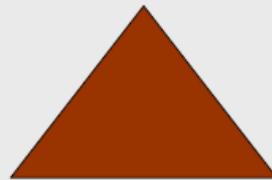
Wärmekraftwerke

Die drei Säulen der Nachhaltigkeit

- Ökologie
- Ökonomie
- Soziales, gerade auch im Hinblick auf weltweite Gerechtigkeit

Soziale Gerechtigkeit

Ökologische
Verträglichkeit



Wirtschaftliche
Effizienz

Interdisziplinäre Betrachtung von Problemstellungen und Planungen,
weil eine Disziplin allein den Anforderungen nicht Herr wird!

Einstieg

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.

B7 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?

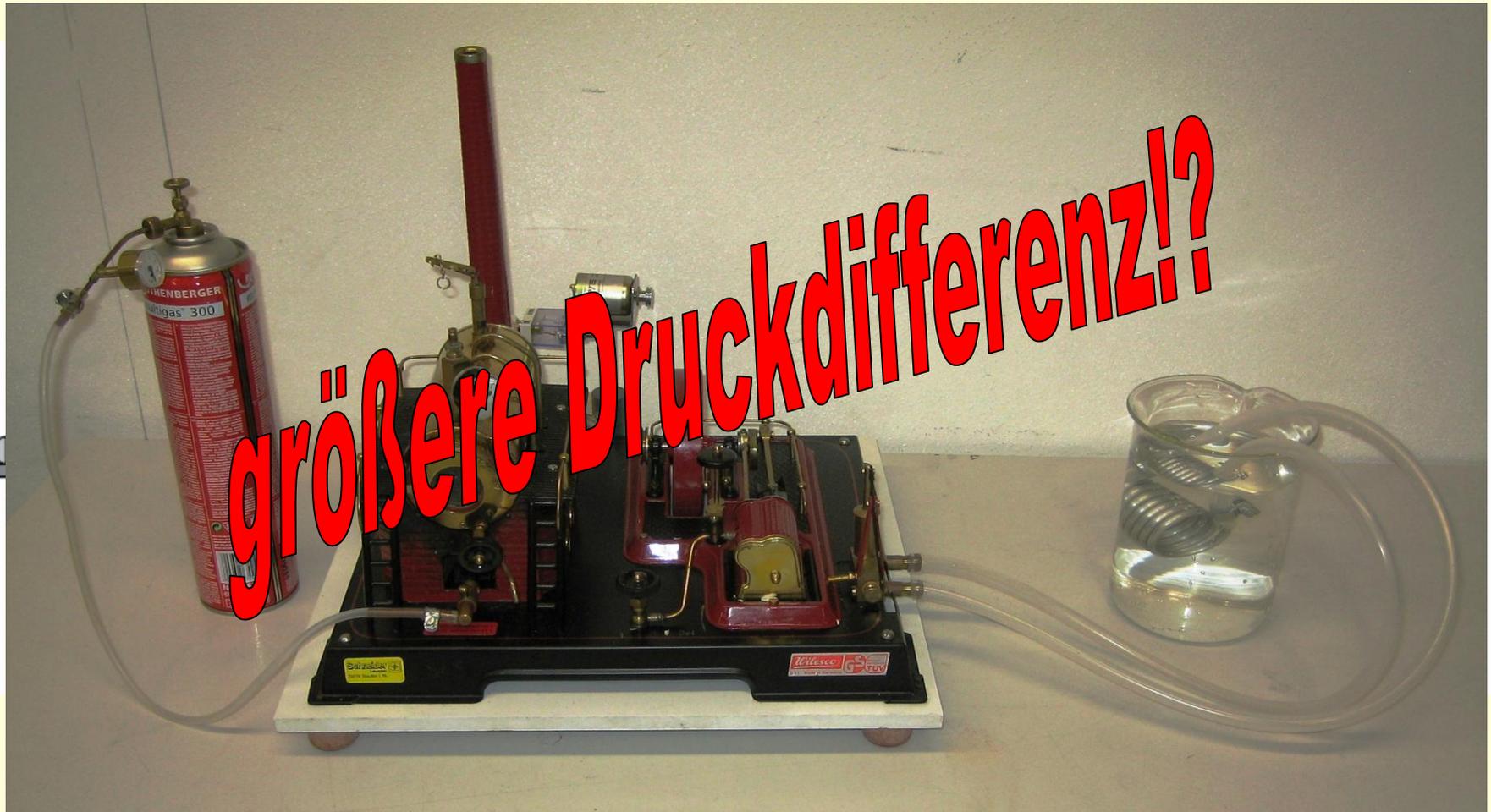
Funktionsweise von thermischen Kraftwerke



Warum wird eine Kühlung benötigt?

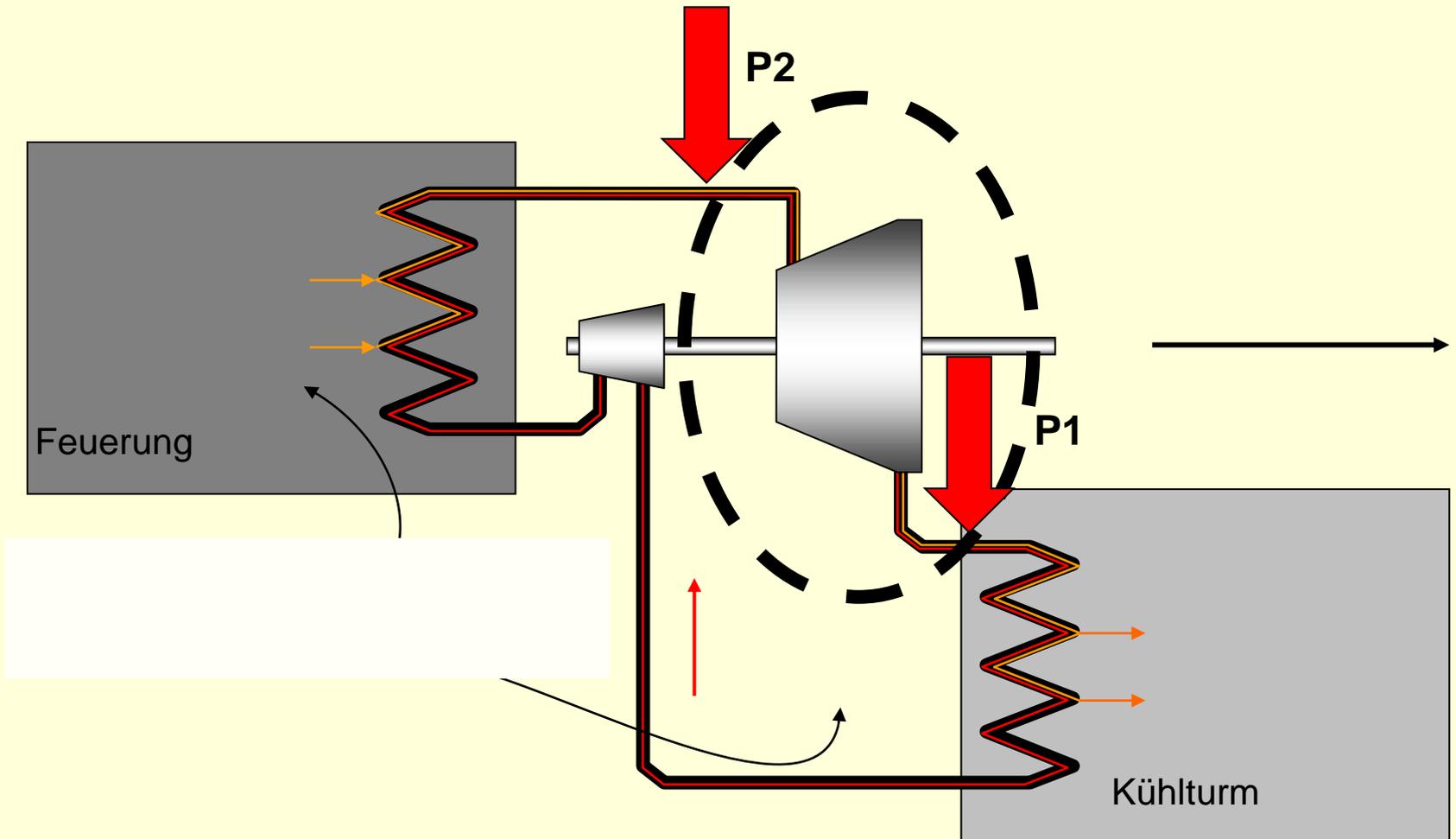
Funktionsweise von thermischen Kraftwerke

www.laborplan.de

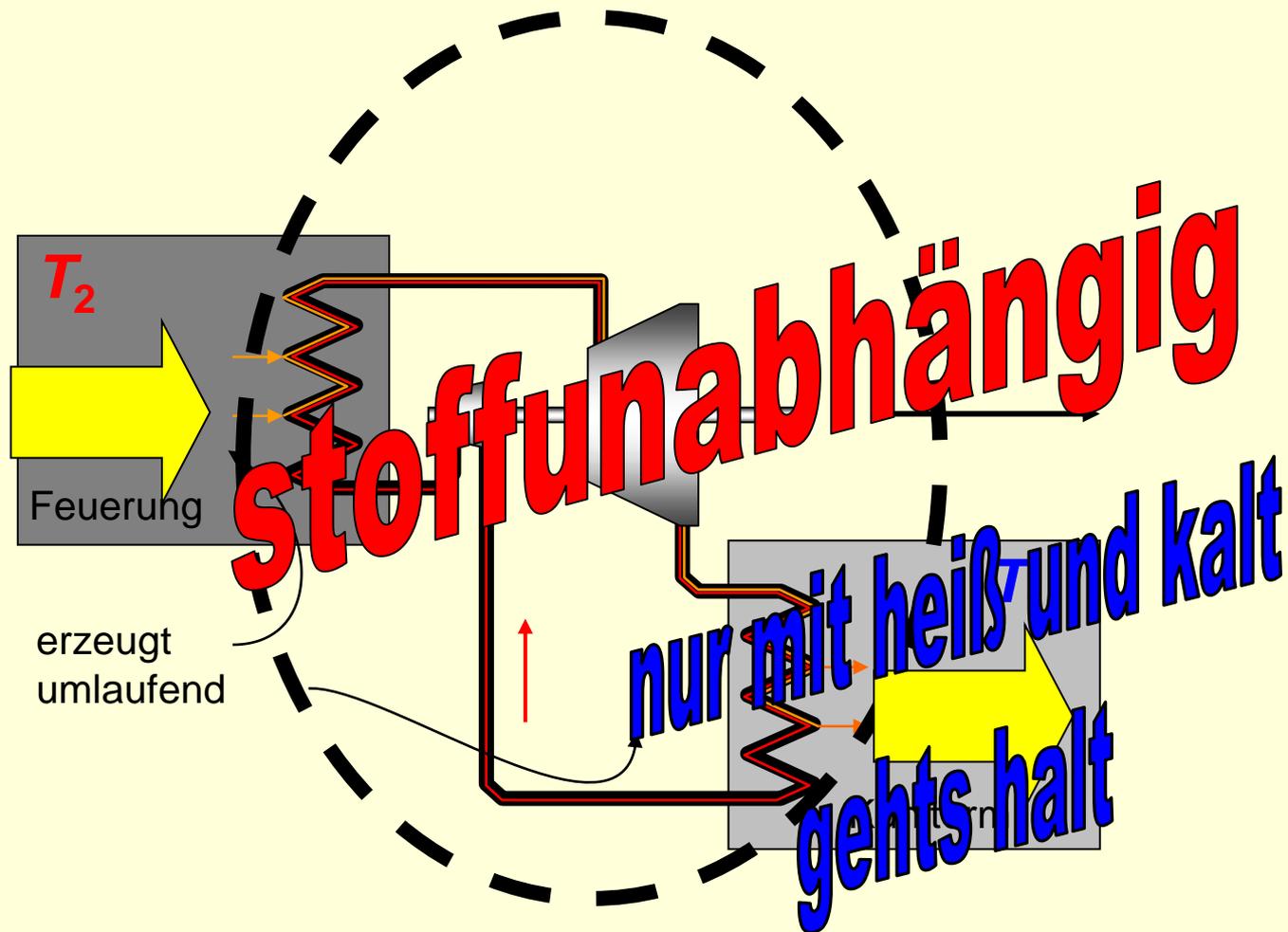


Warum wird eine Kühlung benötigt?

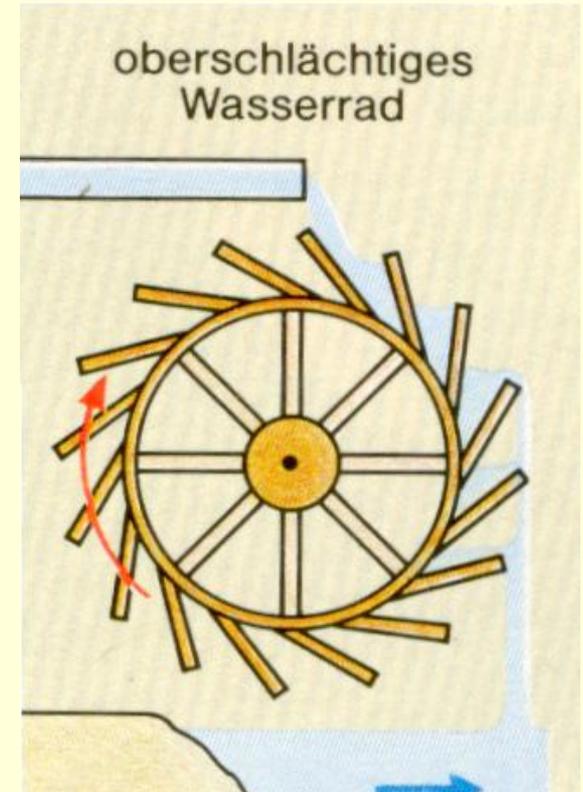
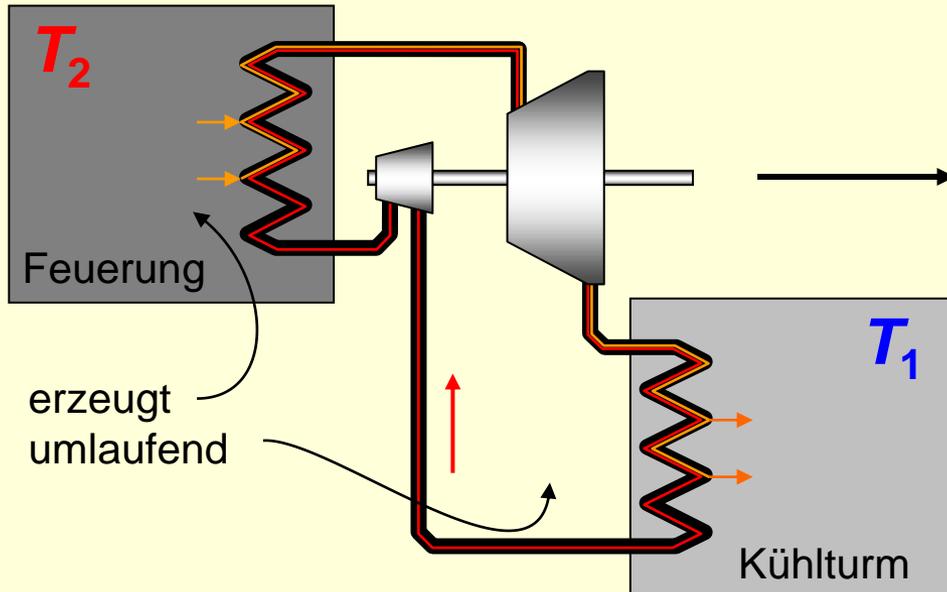
Ist die Druckdifferenz entscheidend?



Carnot: es kommt auf die Temperaturdifferenz an!



Carnot's Idee



Wie Wasser bei der Wassermühle eine Höhendifferenz herunterfällt, „fällt“ ein „Wärmestoff“ bei einem thermischen Kraftwerk eine Temperaturdifferenz herunter.

Die nutzbare Energie ist um so größer, je größer die Differenz ist.

Thermisches Kraftwerk „Quick Cool“

www.conatex.com

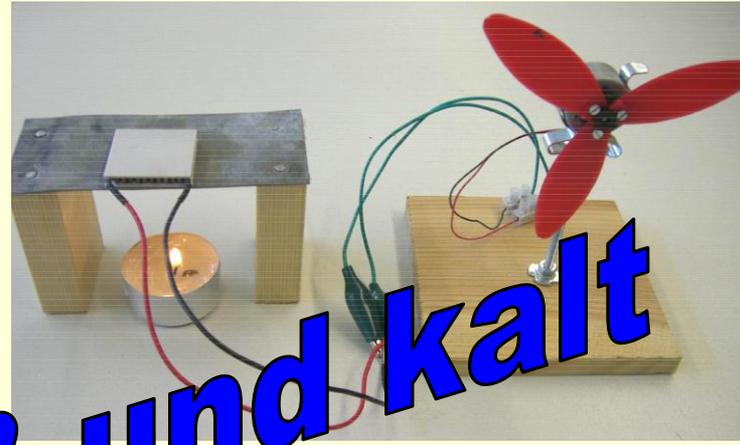
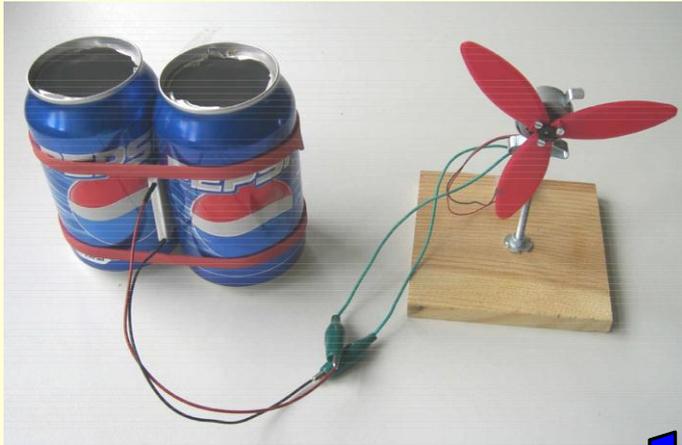


Stirlingmotor

www.exergia.de

**nur mit heiß und kalt
gehts halt**

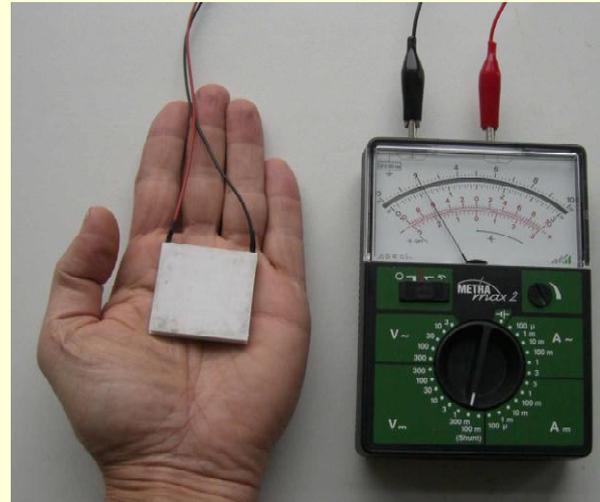




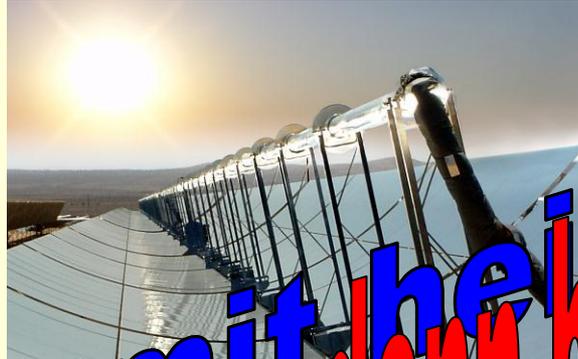
Energiewerk www.energetec.com 13.- €

Lernzirkel → phänomenale Entropie

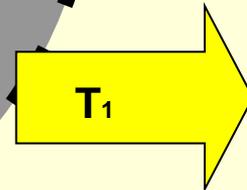
nur mit heiß und kalt gehts halt



Thermische Maschine



nur mit heiß und kalt
Warum denn heiß und kalt?
eigentlich halt



„Nur mit heiß und kalt - geht's halt!“

„ein thermisches Kraftwerk kann nur mit einer Temperaturdifferenz angetrieben werden“

Verstehen? heiß
warum?
verbinden.

Energie vor Entropie

Der ***Energiebegriff*** („1. Hauptsatz“) wurde in den Unterrichtseinheiten ***vor der Wärmelehre*** entwickelt, z.B. Elektrizitätslehre, Mechanik,....

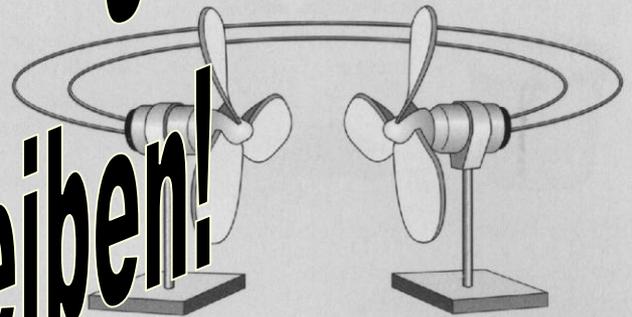
Die geniale Maschine

Weitere Projekte aus dem 16. bis 18. Jahrhundert



Maschinen können
nichts
antreiben!

ohne eigenen Antrieb

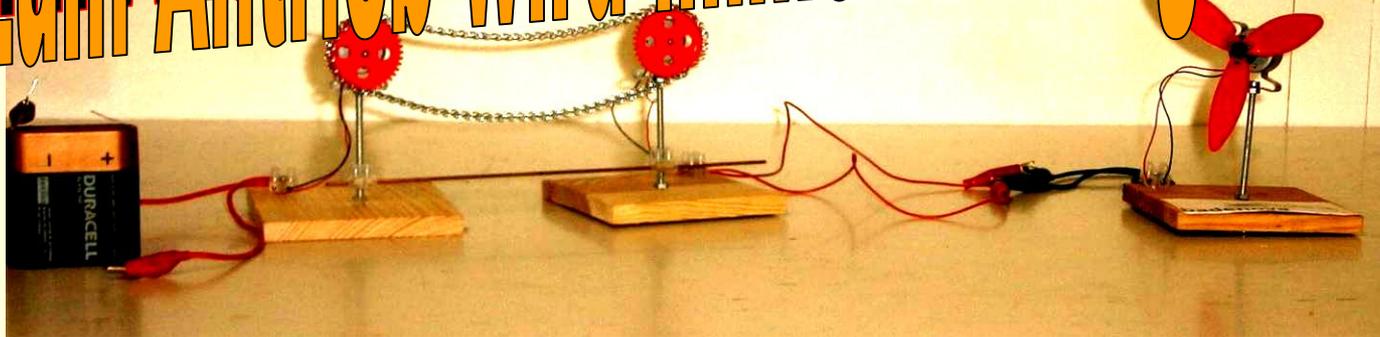


Schülerexperimente

www.opitec.de



zum Antrieb wird immer "Energie" benötigt

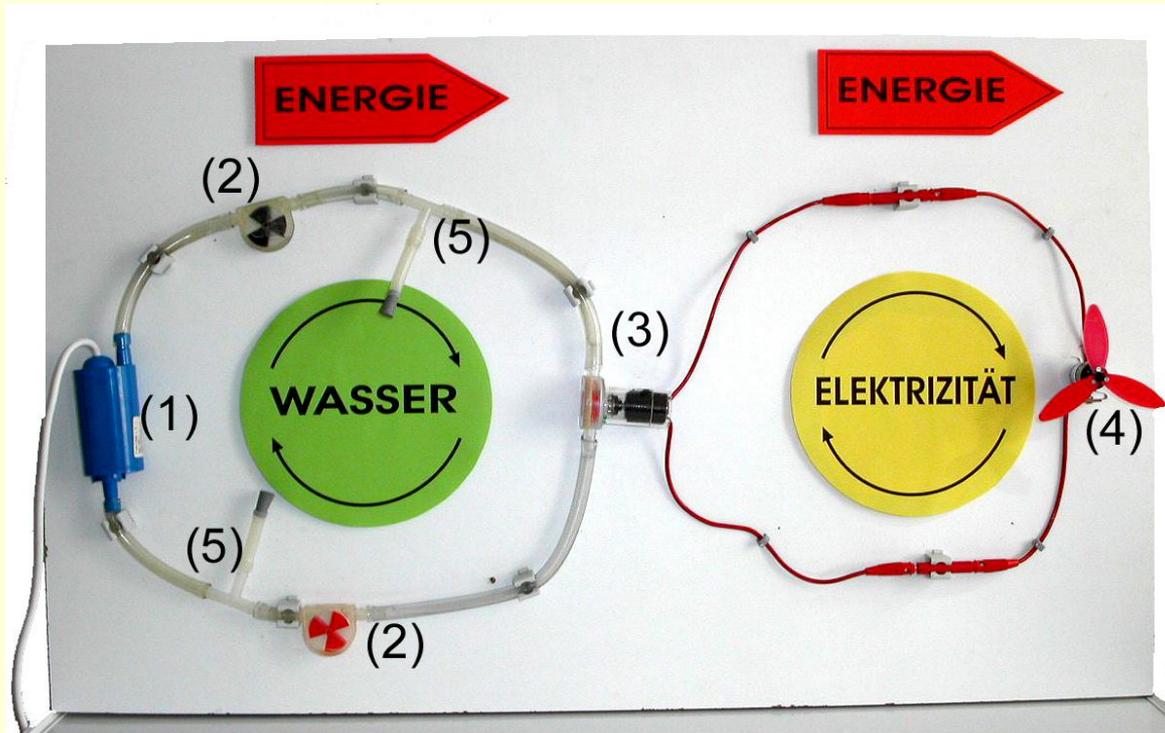


www.plappert-freiburg.de/physik

13.00 €

Bildhafter Stromkreis

www.conatex.com



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

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“



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**:

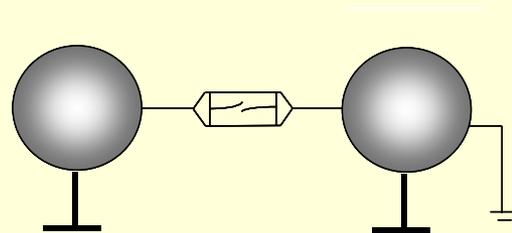
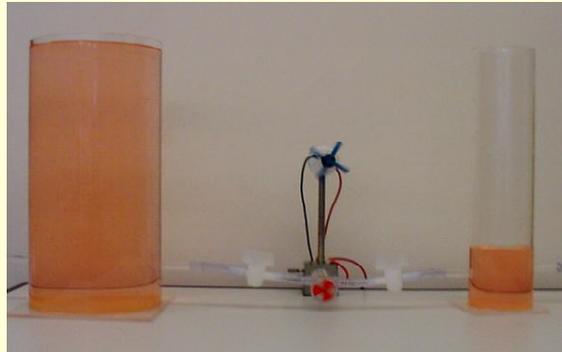
Im Energie-Träger-Stromkreis geht die **Energie** von einer Station zur anderen, das **Wasser** aber strömt im **Kreis**.

Energie-Träger-Konzept

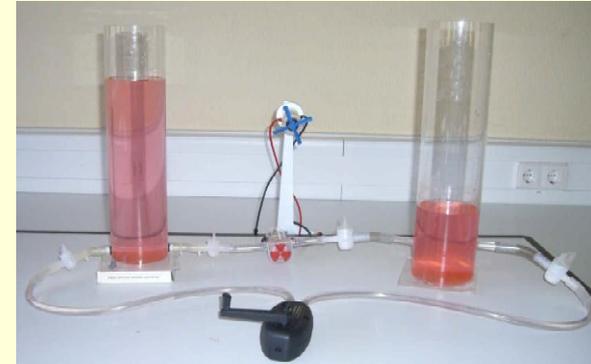
Lernstationen
„Strukturen und
Analogien“

**Strom –
Antrieb-
Widerstand-
Konzept**

Antreiben → Energie
umladen / übertragen



Pumpen → Energie aufwenden



Entropie verstehen....

.... heißt in diesem Unterrichtsgang,
verbinden mit....

- Energie-Träger-Konzept
- Strom – Antrieb - Widerstandkonzept

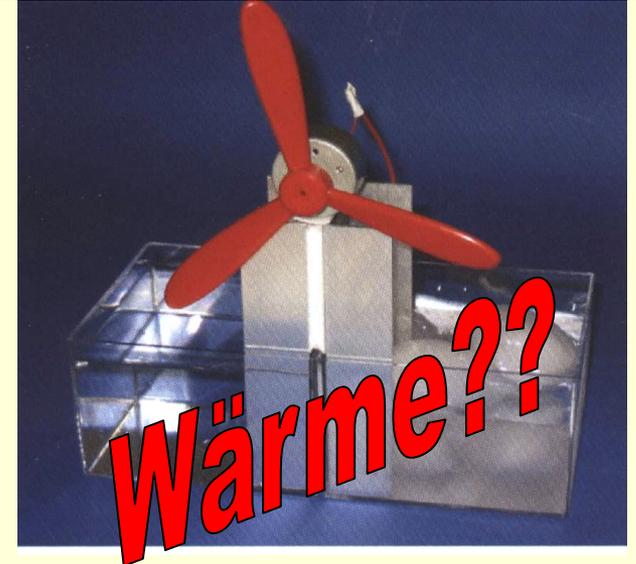
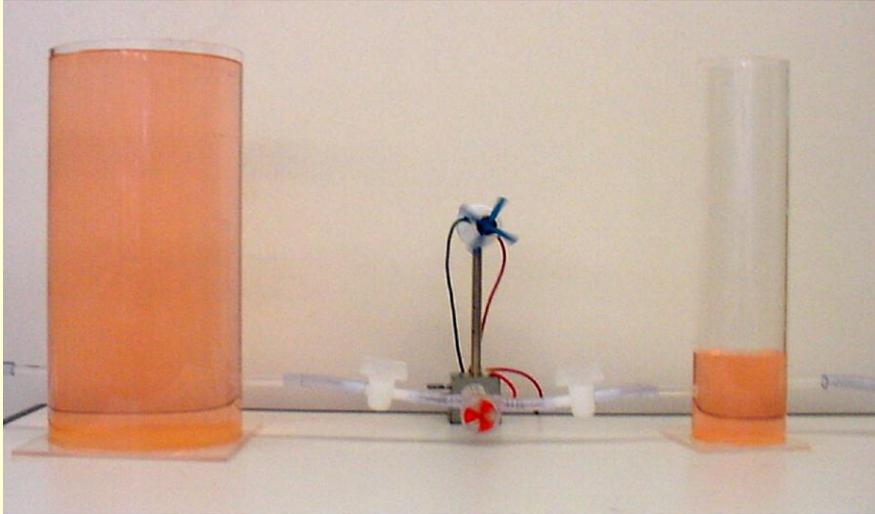
„Nur mit heiß und kalt - geht's
halt!“

„ein thermisches Kraftwerk kann
nur mit einer
Temperatur**differenz**
angetrieben werden“

warum?

Analogiebetrachtungen

www.conatex.com



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 „Wärme“?

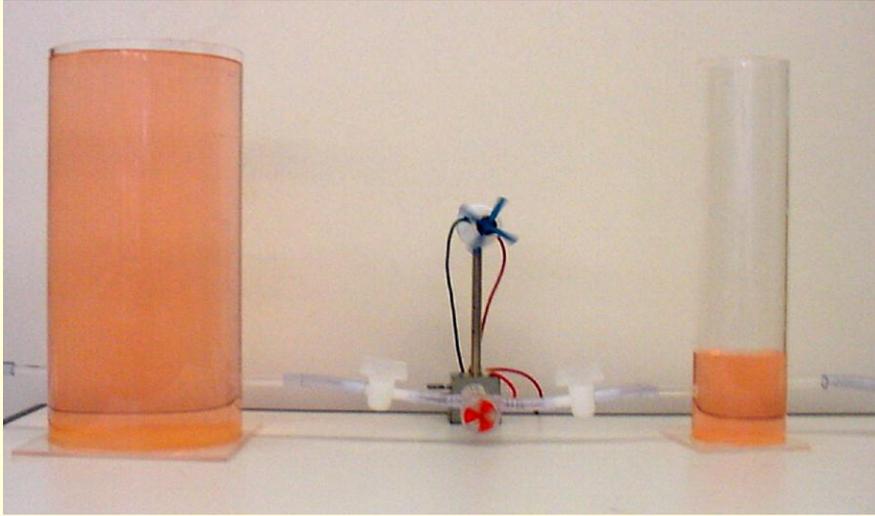
„Wärme“ ist ein Wort der **Alltagssprache**. Es deckt sich zum Teil mit mindestens vier verschiedenen physikalischen Größen:

- 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.

Analogiebetrachtungen

www.conatex.com



Vergleiche!! Was entspricht sich?

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

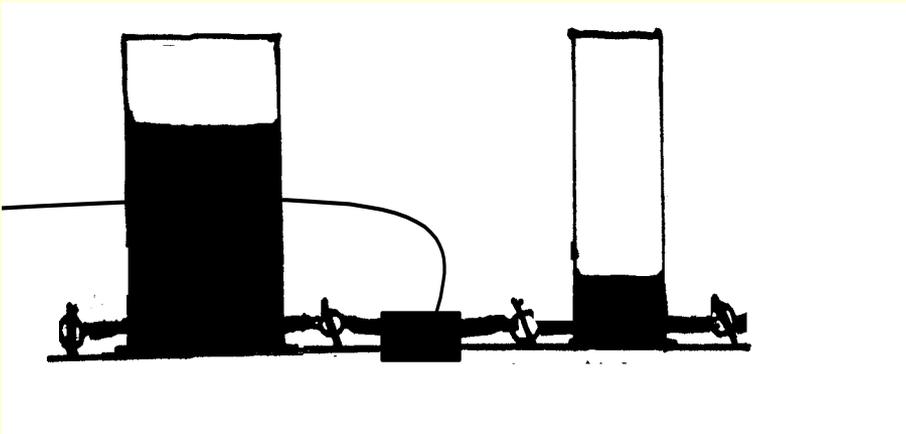
Die **Temperaturdifferenz** treibt den **Entropiestrom** an. Energie wird vom **Entropiestrom** abgeladen und strömt zum Propeller.

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



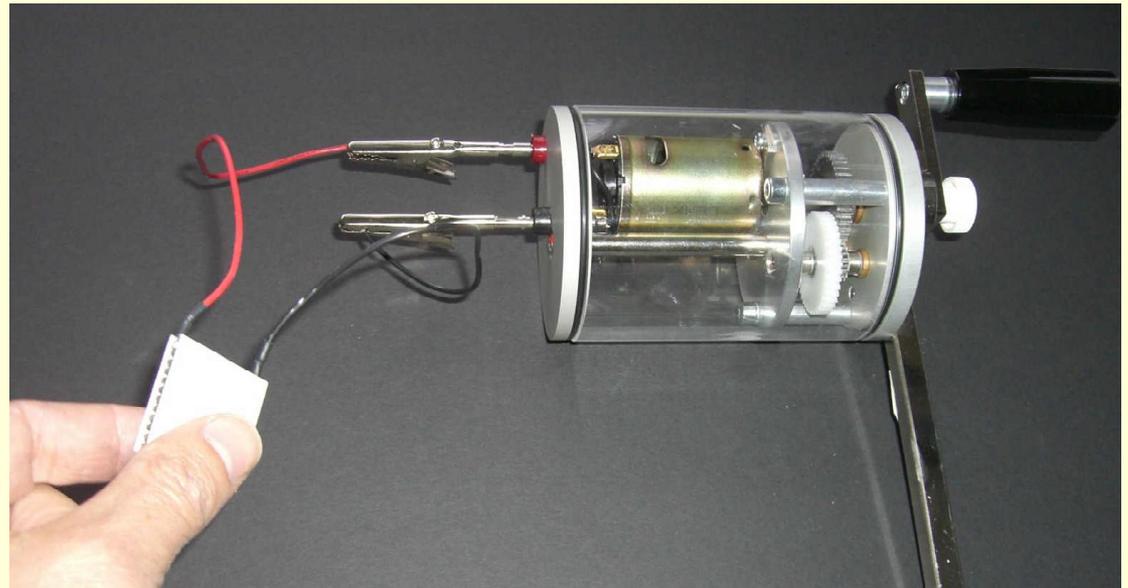
Wasser wird gepumpt, es entsteht eine Druckdifferenz



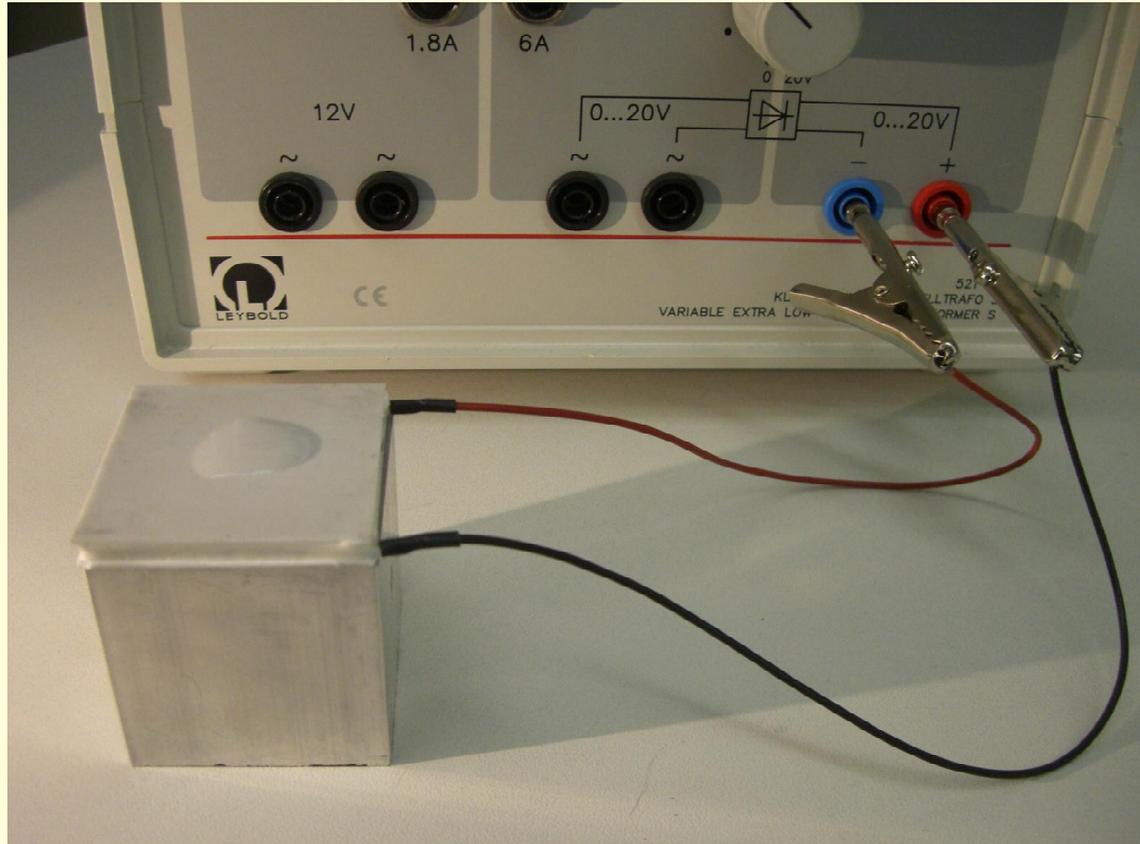
Entropie wird gepumpt, es entsteht eine **Temperaturdifferenz**

Entropiepumpe

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

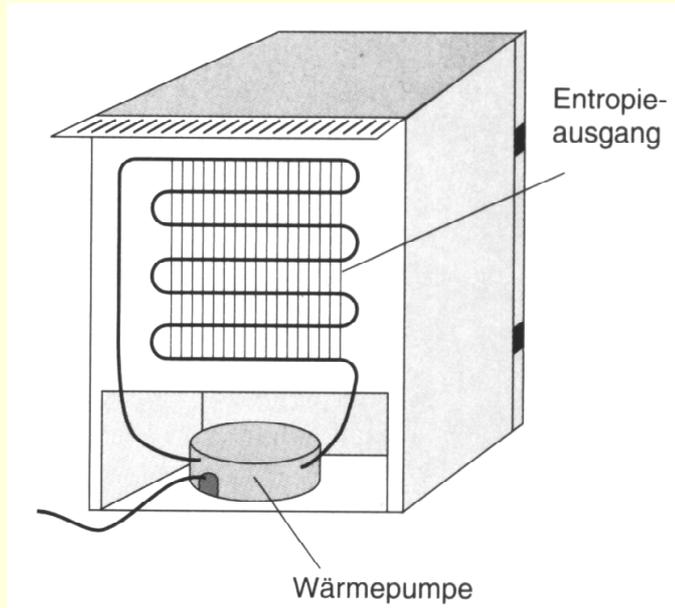


Entropiepumpe extrem



Wasser wird zu Eis!!

Kühlschrank als Entropiepumpe



- **Arbeitsauftrag:**

- Vergleiche
- Luftpumpe
 - Wasserpumpe
 - Elektrizitätspumpe
 - Entropiepumpe

Zeichne jeweils ein Energieflussbild !

- **Textarbeit**

- Entropiepumpe
- absolute Temperatur

Klimaanlage als Entropiepumpe



Viele
quantitative
Beispiele
in

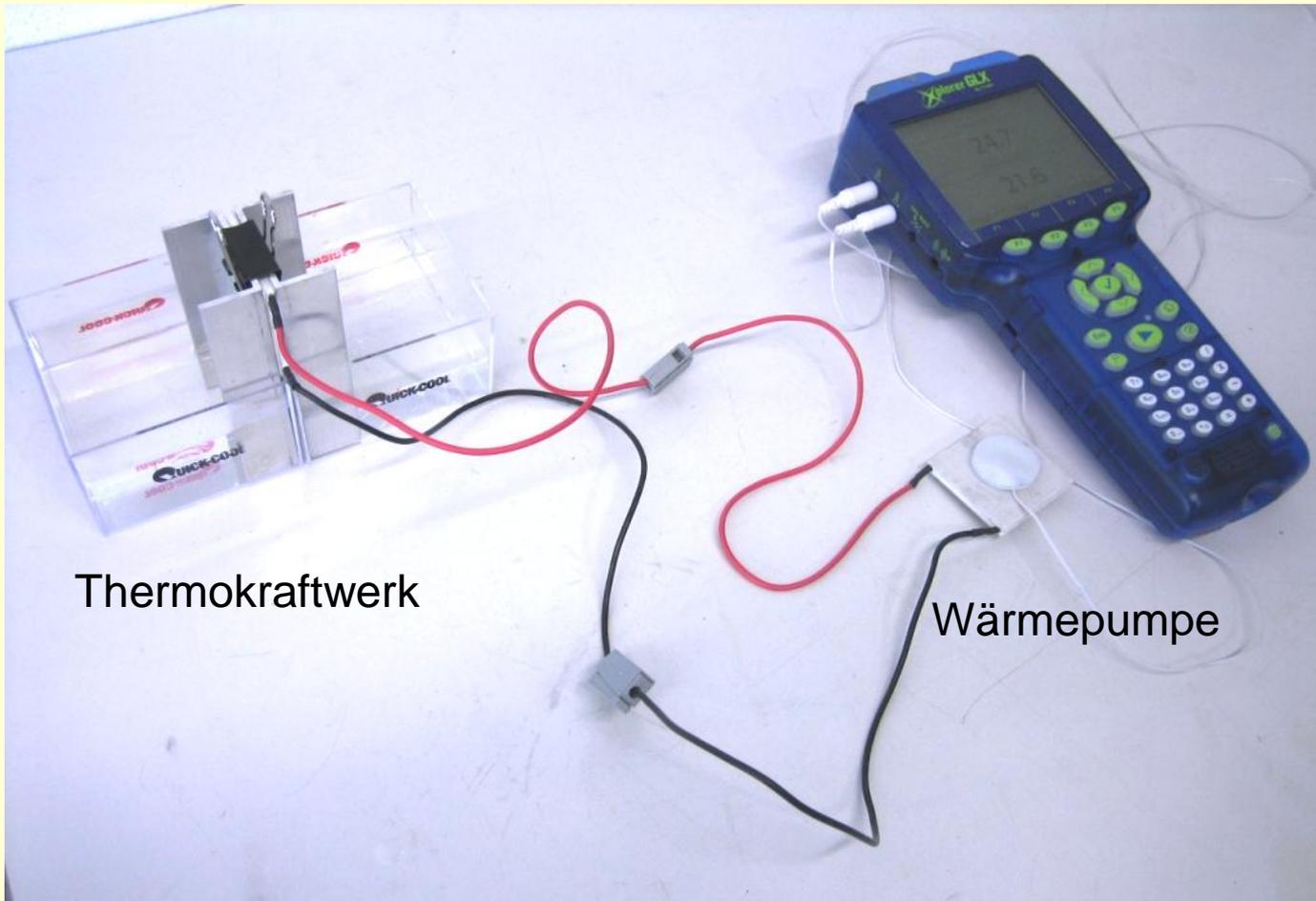
Entropielehre II

Sind elektrische Wärmepumpen sinnvoll?



Modellversuch

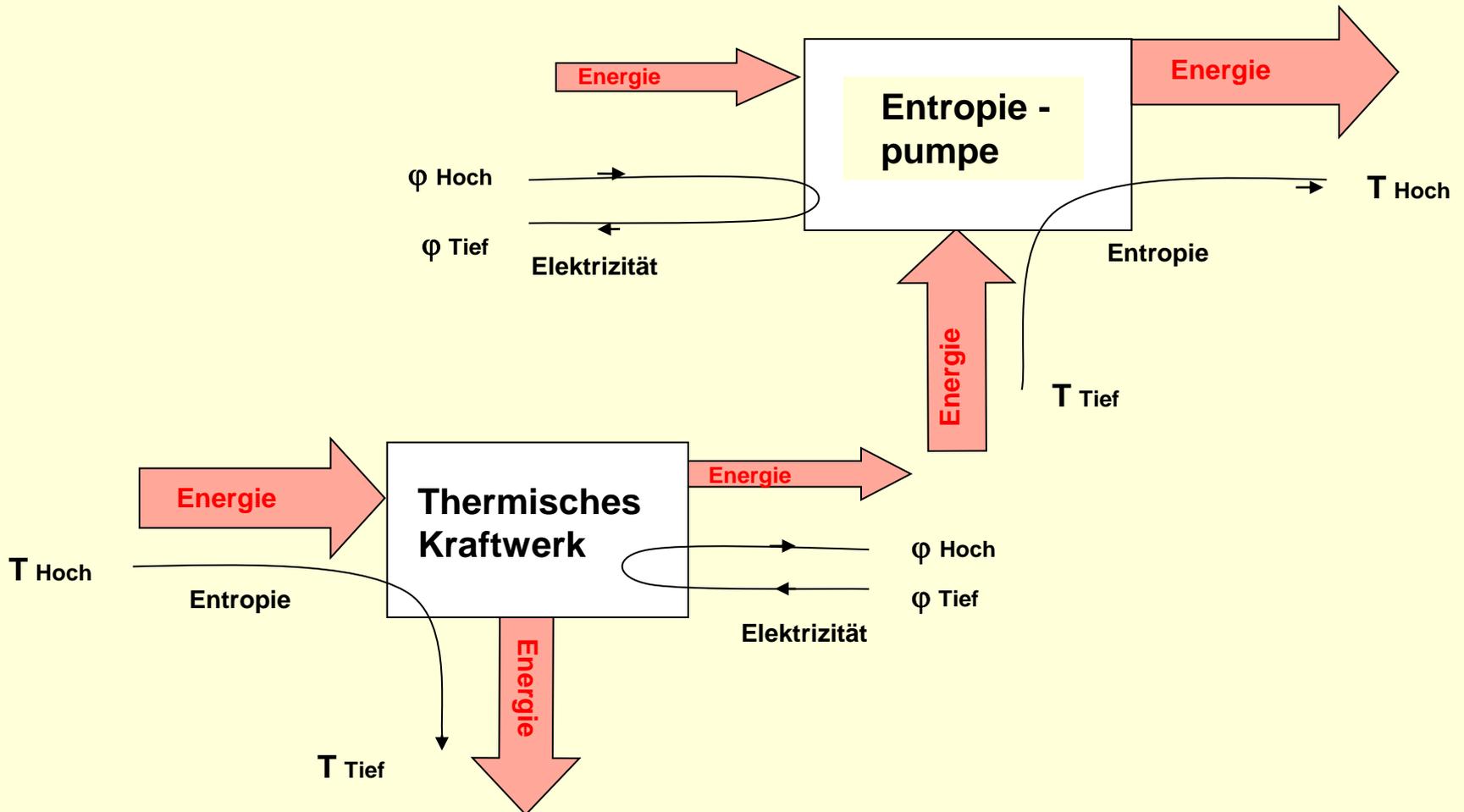
www.conatex.com



Thermokraftwerk

Wärmepumpe

Energieflussbilder



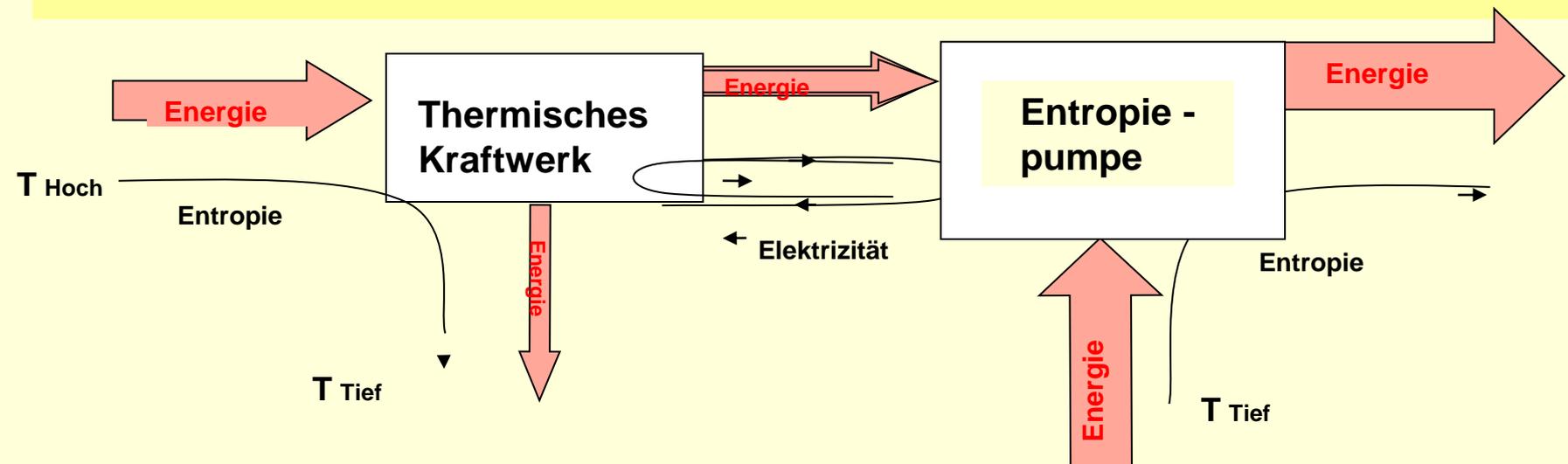
Elektrische Wärmepumpe

Je größer die Temperaturdifferenz des Kraftwerks

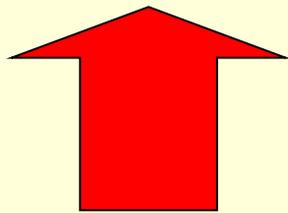
und

je kleiner die Temperaturdifferenz der Wärmepumpe sind,
desto besser ist der Gesamtwirkungsgrad!

ch



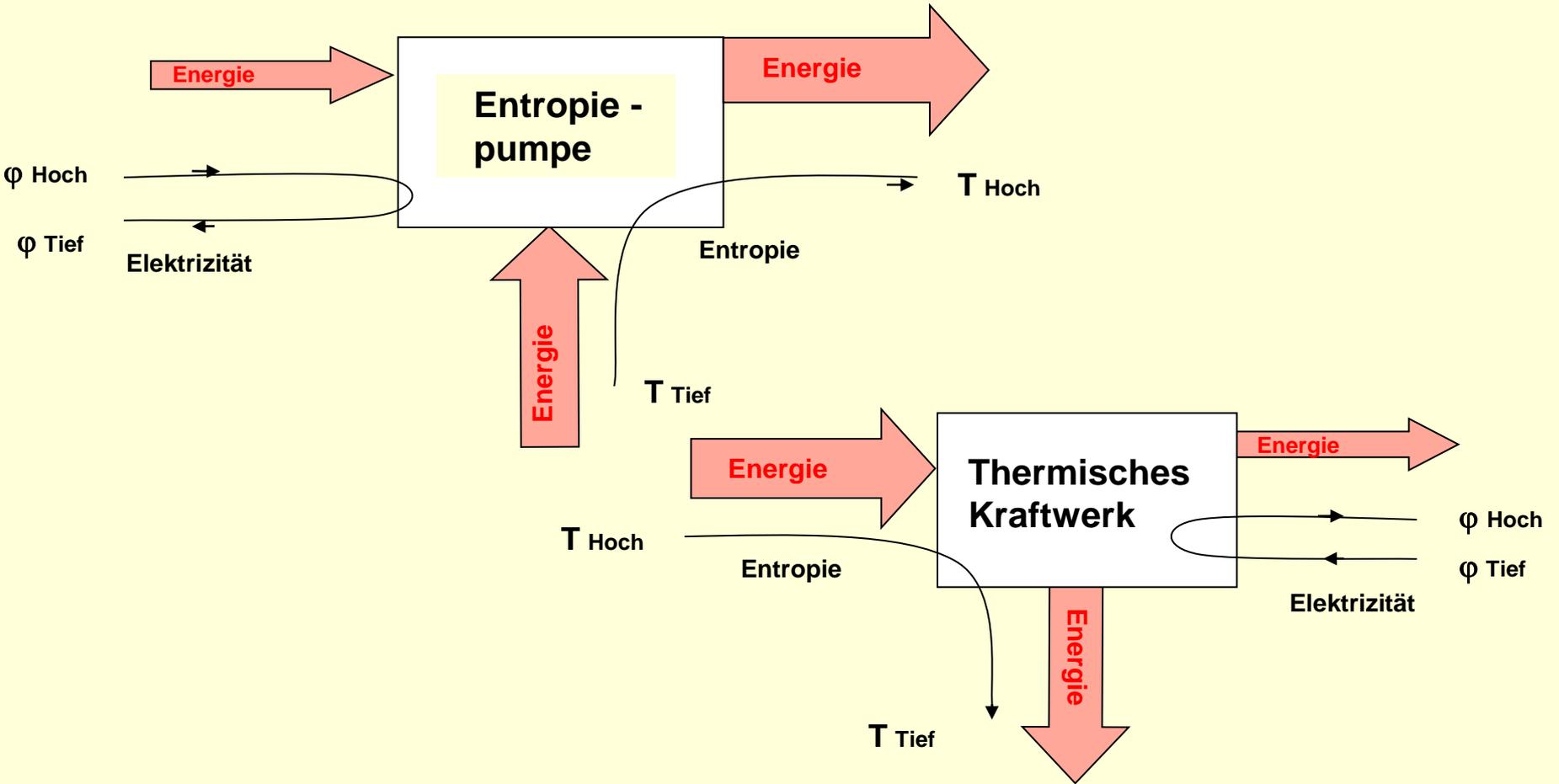
Theoretischer „Energiefaktor“ einer elektr. Wärmepumpe bei Reversibilität



sinnvoll?

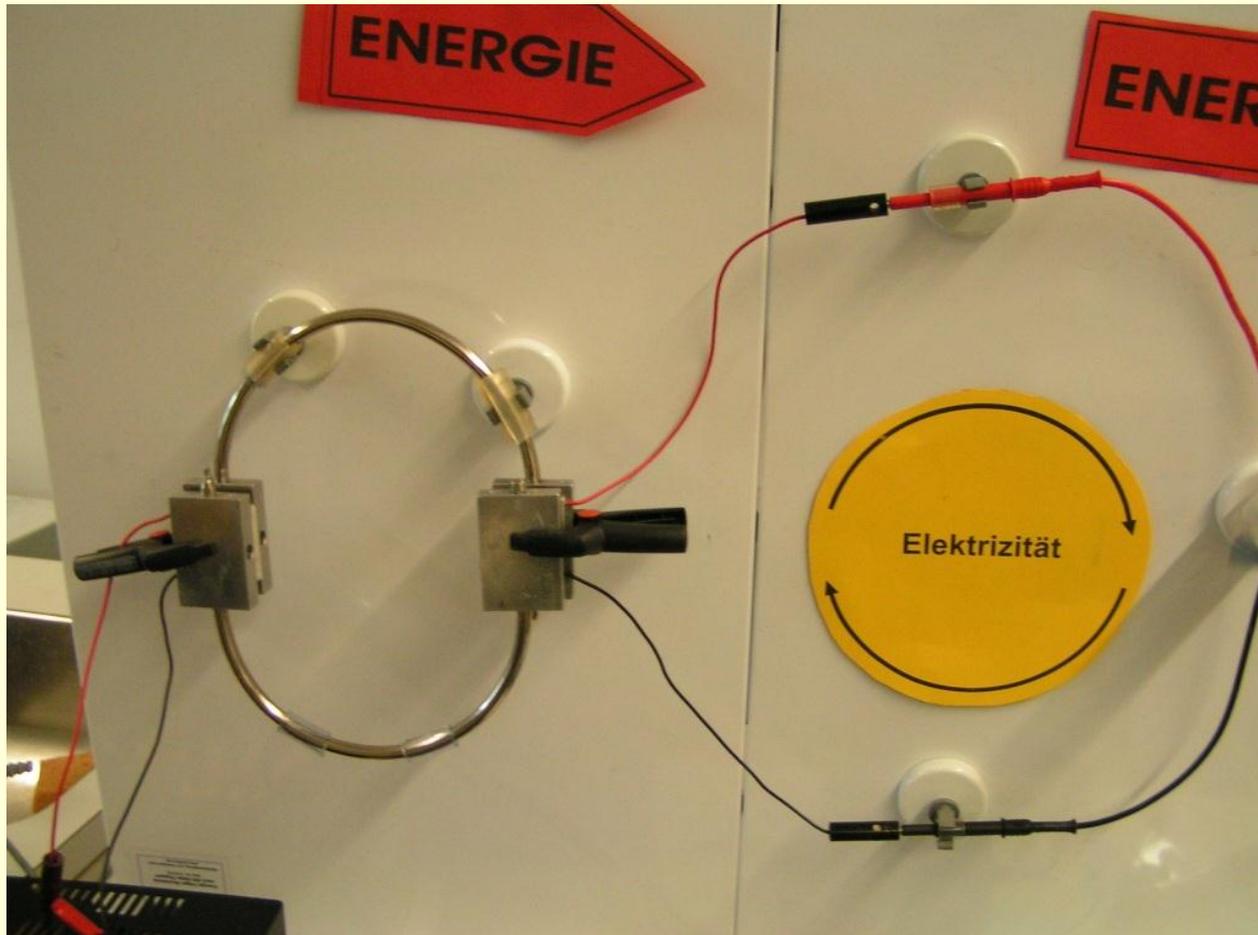
2,6

Energieflussbilder



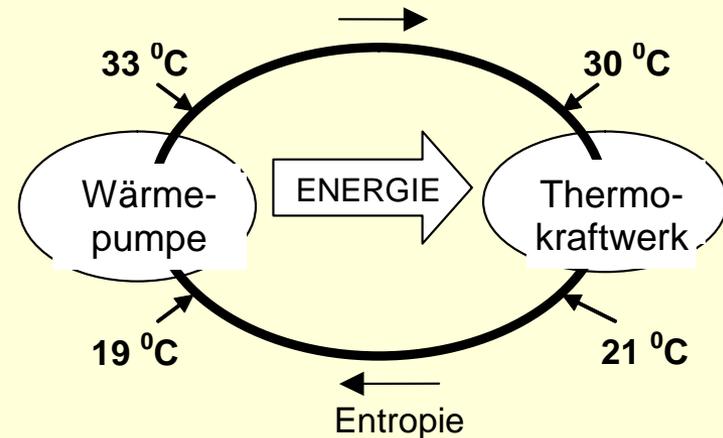
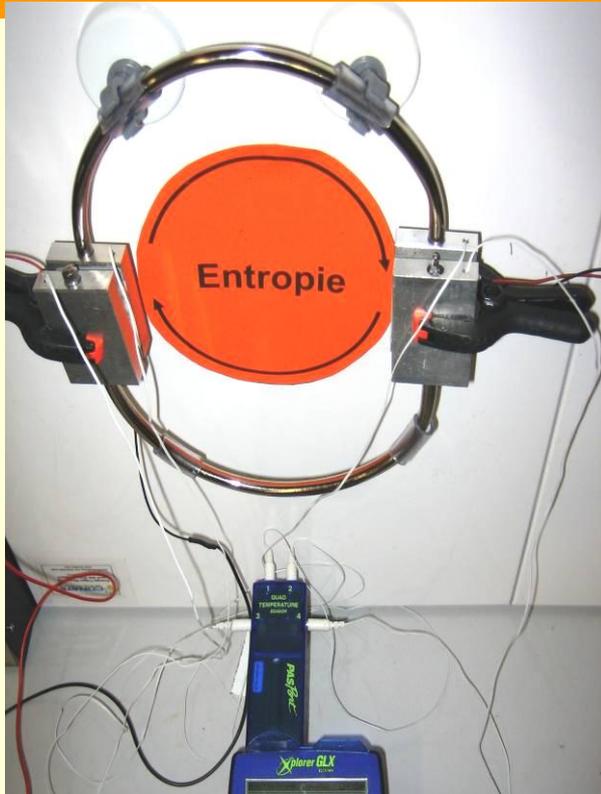
Der neue Entropiestromkreis

www.conatex.com

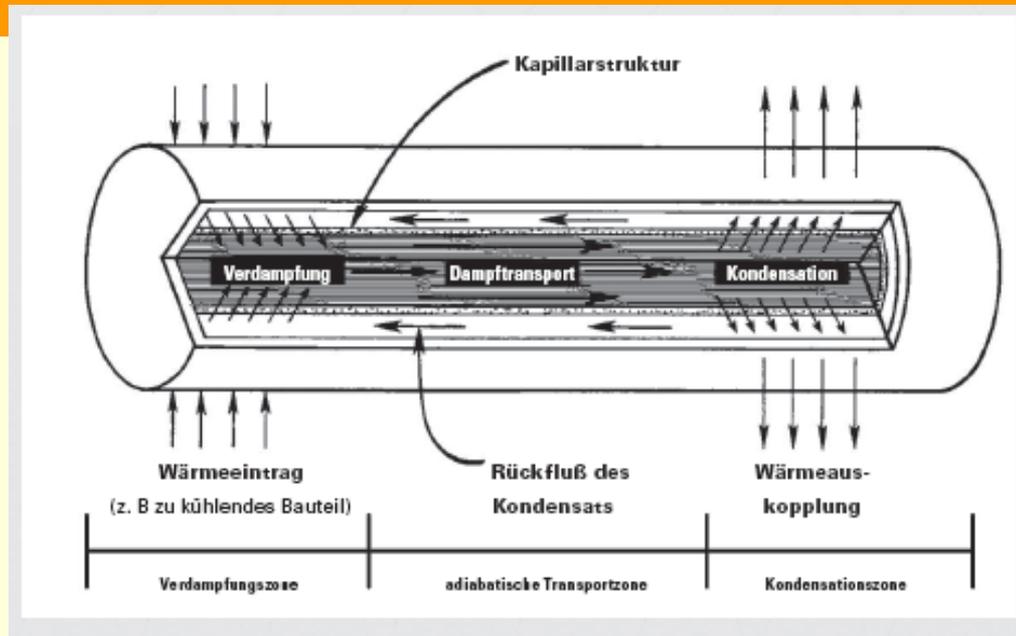


Energie und Entropie strömen auf verschiedenen Wegen!!!

„thermischer Energie-Träger-Stromkreis“



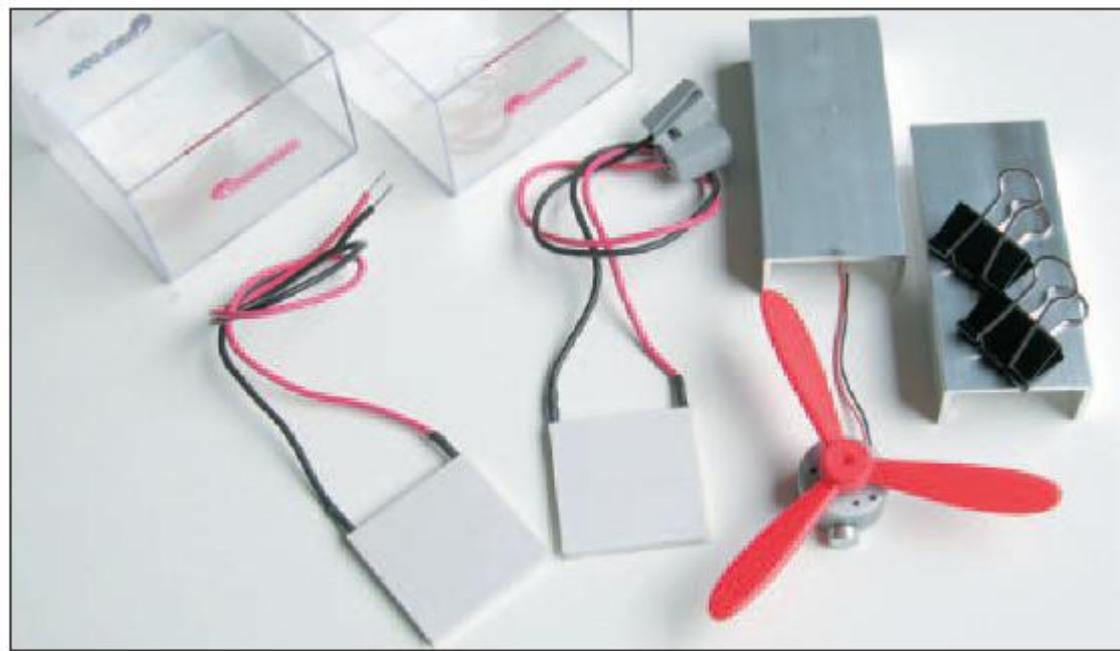
Heatpipe



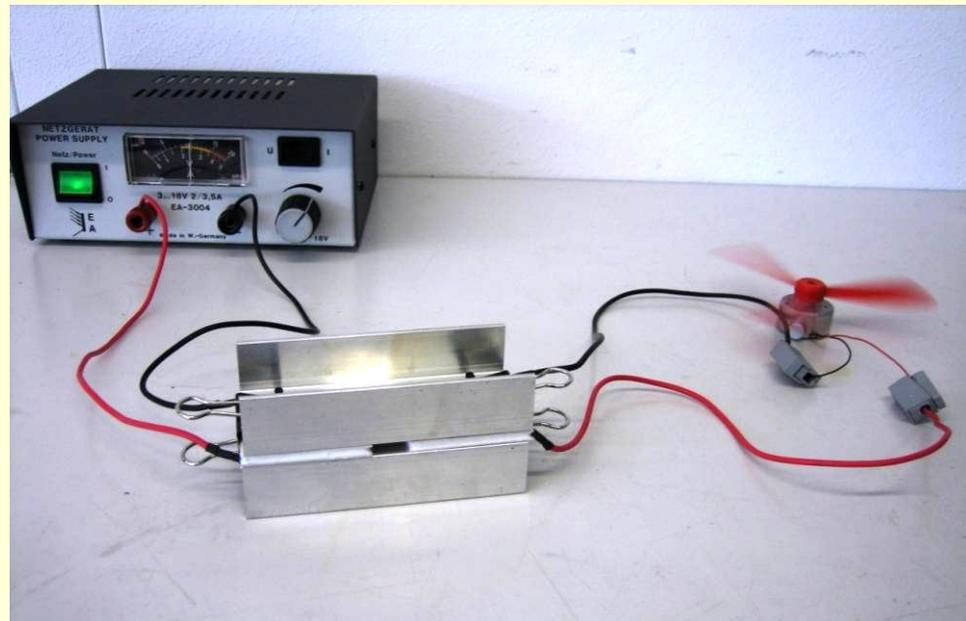
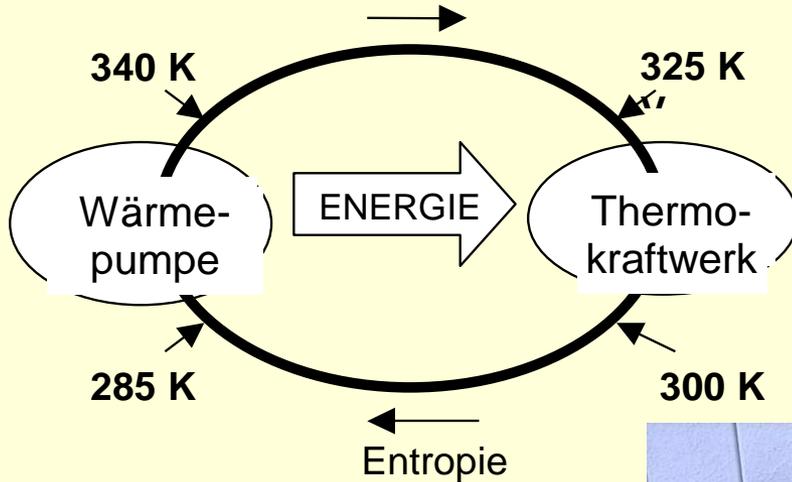
Eine Heatpipe oder ein Wärmerohr ist ein Bauteil, mit dem Wärme sehr effizient von einem Ort zu einem anderen transportiert werden kann. Es kann eine um 2 bis 3 Größenordnungen (100 bis 1000 mal) höhere Wärmemenge transportieren als ein Bauteil gleicher geometrischer Abmessungen aus massivem Kupfer.

„Quick-Cool-ThermoSchülerSet“

www.conatex.com



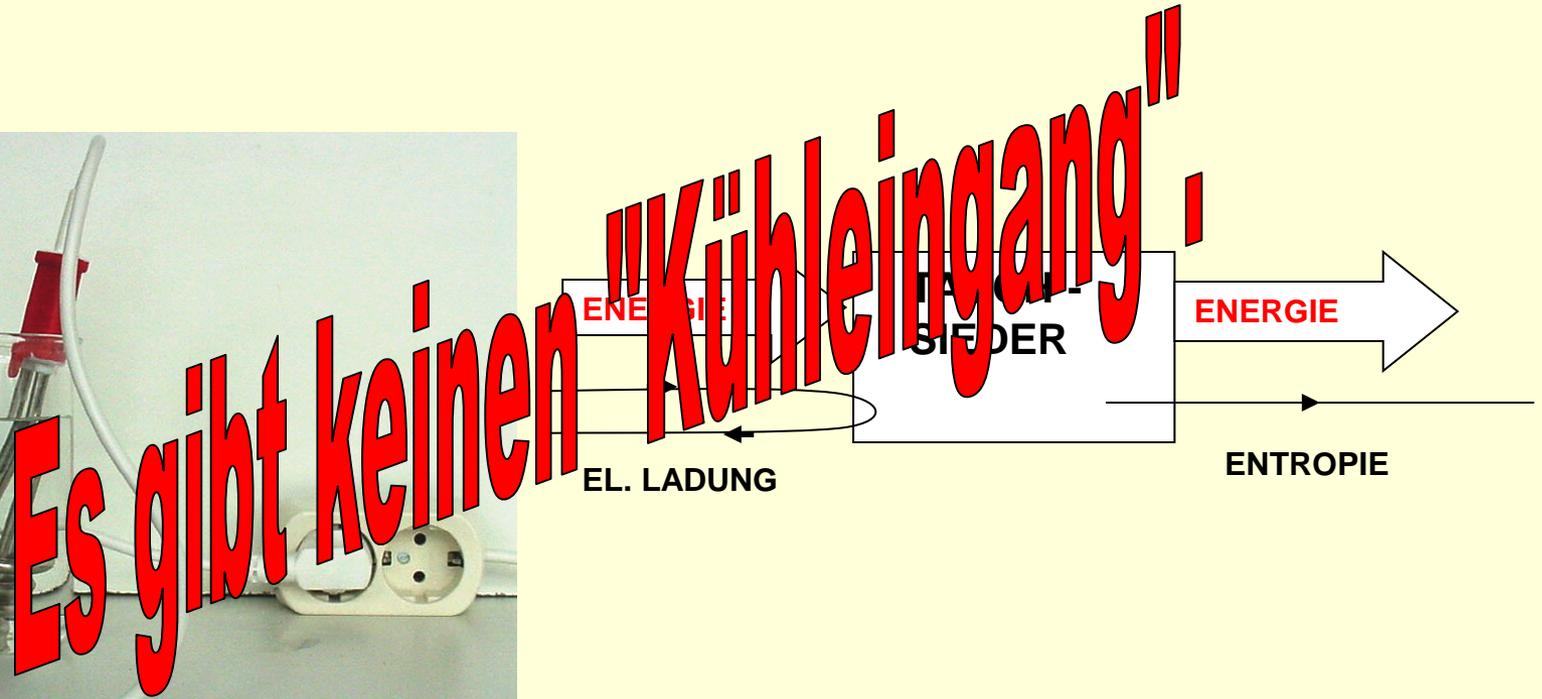
„Entropiestromkreis im ThermoSet“



Stromkreise



Woher bekommt der Tauchsieder
seine Entropie ??





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

Eine Bleistiftmine $\varnothing = 1\text{ mm}$ wird zwischen zwei Klappklemmen gespannt, ein Dynamo angeschlossen, er wird so lange gedreht bis sie geht (Film)

Woher bekommt die Bleistiftmine ihre Entropie?

Besteht die Gefahr, dass du unterkühlst?

Entropie kann zwar erzeugt aber nicht vernichtet werden



Es gibt keinen
Tauchgefrierer!
"Irreversibilität"

Wird kann den Tauchgefrierer antreiben?

Kann der Tauchsieder 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.

Funktionsweise von thermischen Kraftwerke

www.laborplan.de

Die erzeugte Entropie verlässt bei Umgebungstemperatur das Kraftwerk durch den „Kühlausgang“; deshalb kann keine weitere Energie abgeladen werden – Energie geht „verloren“

**intelligente
Energienutzung?**

Warum wird eine Kühlung benötigt?

Chemische Energietransporte



Ziel:
reversible Energieumsetzung
"ohne Canot"

Brennstoffzelle –

technische Anwendung: „regenerative Energieversorgung“

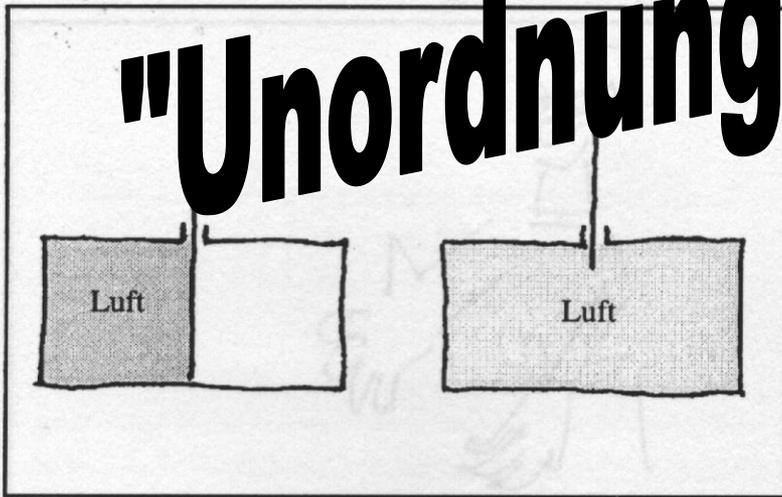
Entropie kann zwar erzeugt aber nicht vernichtet werden

"Irreversibilität"
"Richtung der Zeit"

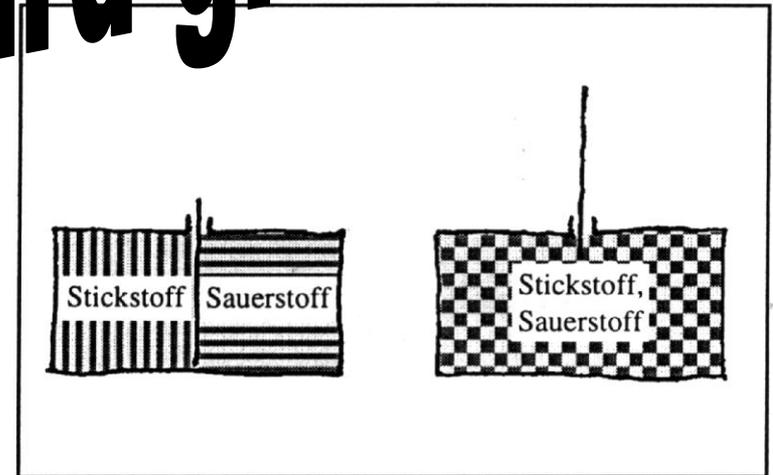
Aufwärts brennende Kerzen, die die Luft der Umgebung abkühlen und die dabei Energie in frisch gebildetem Kerzenwachs speichern, gibt es nicht!

Irreversible Prozesse - Entropieerzeugung

"Unordnung wird größer"



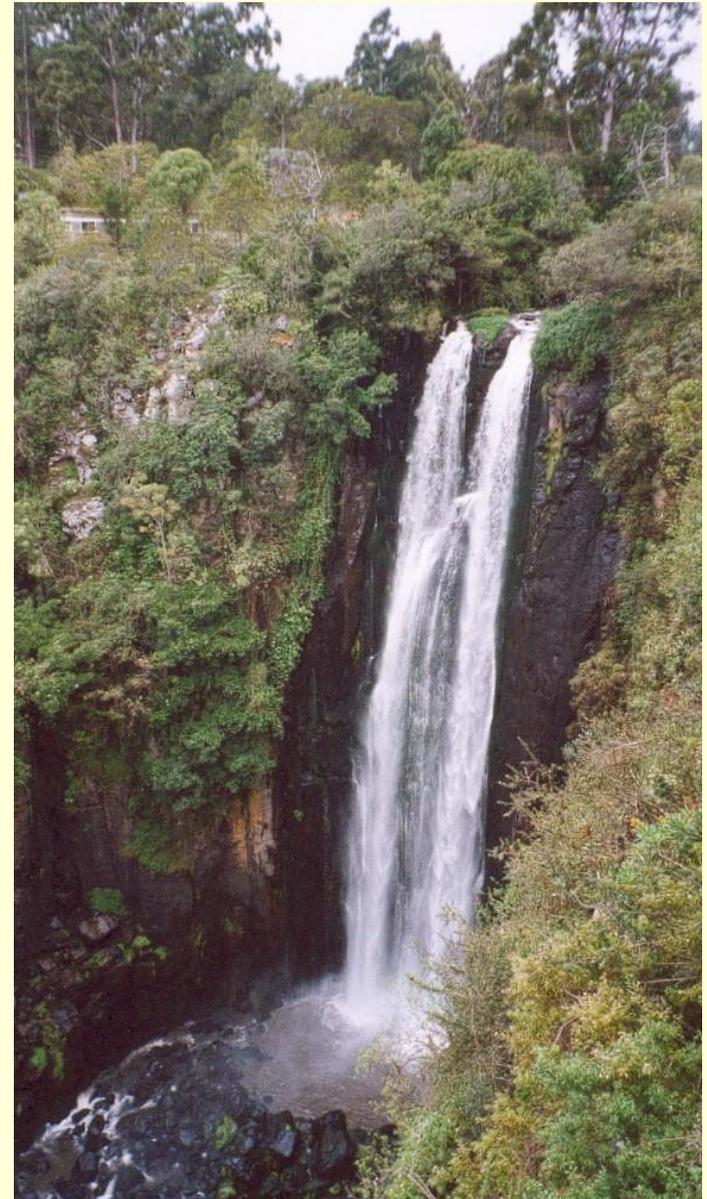
Bei der Expansion ins
Vakuum entsteht Entropie



Beim Mischen von Gasen
entsteht Entropie

Ziel: Reduzierung der Entropieerzeugung!

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



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.“

Der elegante Umgang mit der Energie



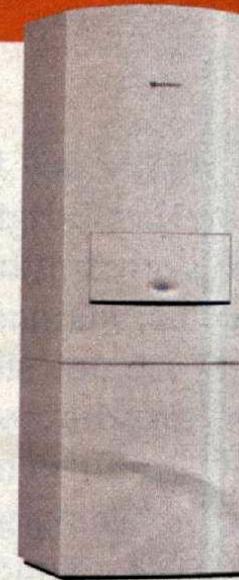
Der Ökologe Ernst Ulrich von Weizsäcker ist kein Asket. „Ich bin nicht dafür, dass man frieren muss“, erklärt er seinen Gastgeberinnen. „Aber Unmengen an Energie dafür zu verschwenden ist einfach furchtbar unelegant.“ Schüler-Talkshow "Nachgefragt" am Rotteck-Gymnasium BZ 12.12.2009

Mini-Blockheizkraftwerke

KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG

Neuentwicklungen fürs Eigenheim

Für Mini-Blockheizkraftwerke, die gleichzeitig Strom und Wärme erzeugen, gibt es seit letztem Jahr hohe Investitionszuschüsse. Verschiedene Heizungshersteller arbeiten an kleinen Geräten zur Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), die damit in naher Zukunft auch in normalen Einfamilienhäusern zum Einsatz kommen könnten. Bosch Thermotechnik hat die Markteinführung eines Geräts, das mit einem mit Erdgas betriebenen Stirlingmotor arbeitet, für 2011 angekündigt. In Kooperation mit der Firma Honda, die in Japan und den USA mehr als 80.000 Mikro-KWK-Anlagen verkauft hat, will Vaillant ein speziell für den europäischen Marktes konzipiertes Gerät anbieten.



Ab 2011 auf dem Markt: Stirling-Heizgerät

www.energieverbraucher.de



Energie im Überfluss

Wüstenstrom

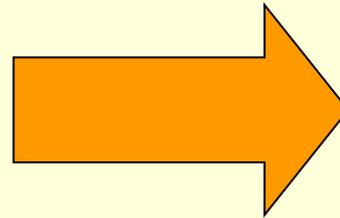


Das Ganze sehen...Systemdenken!



Naturwissenschaft

Idee



Anschauen
Beobachten
Beschreiben
Messen
Experimentieren
Systematisieren
Erklären

...



„Zukunftsfähiges Deutschland in einer globalisierten Welt“

Wo stehen wir?

die **kollektive Verdrängung** scheint vorüber nun aber greift **kollektive Schizophrenie** um sich..

Wir sind ausgerüstet mit Wissen (z.B. Ursachen und Folgen der Klimaänderung..), doch untüchtig zum Handeln:

....immer mehr Billigflieger,
Kohlekraftwerke, Abwarkprämie,
Heizpilze,....



Nov. 2008

Was ist eine zeitgemäße Bildung?

Das Bildungssystem
ein "System" sein

- **Systemischem Denken** erkennen.
- **Team-Lernen:** Das Lernen, Schüler miteinander
- **Selbstführungs- und** Handeln durch hohe Nutzen des Gesamten lenken.
- **Mentale Modelle** Denken und Handeln (z.B. mechanistisch Konkurrenz,.... gar

Peter Spiegel

Eine humane Weltwirtschaft

Erfolgsfaktor

Mensch

Patmos
rat



Organismus –

Teil und Ganzen

er werden Mit-

g: Es gelingt das
auf Ziele zum
systeme zu

nen wie unser
ells abhängig ist
Macht und
, Vernetzung,..)

2005 bis 2014 UNESCO-Weltdekade "Bildung für nachhaltige Entwicklung"

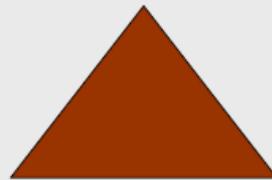
Wärmekraftwerke

Die drei Säulen der Nachhaltigkeit

- Ökologie
- Ökonomie
- Soziales, gerade auch im Hinblick auf weltweite Gerechtigkeit

Soziale Gerechtigkeit

Ökologische
Verträglichkeit



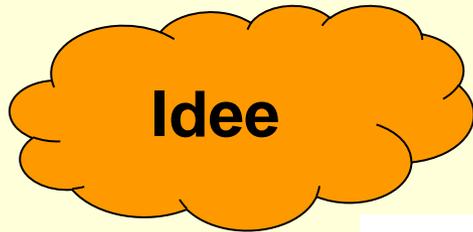
Wirtschaftliche
Effizienz

Interdisziplinäre Betrachtung von Problemstellungen und Planungen,
weil eine Disziplin allein den Anforderungen nicht Herr wird!



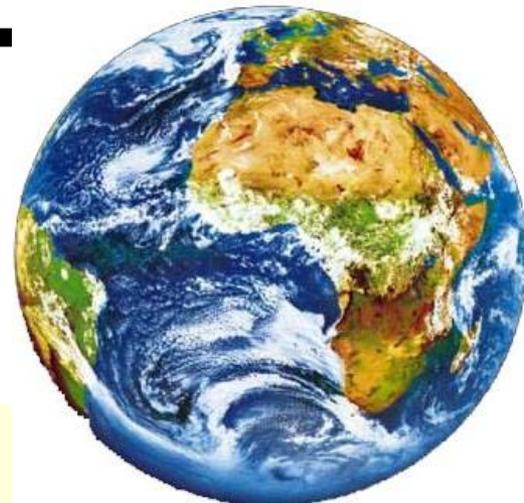
www.bne-portal.de

Nachhaltige Technik



Kultur des Handelns

Sinnvolles
Handeln



Das Schaeffer-Mischdampf-Kraftwerk

DAS SCHAEFFER-MISCHDAMPF-KRAFTWERK.
DIE IDEE DES KRAFTWERKS:
GENIAL EINFACH.

Es wird der Wirkungsgrad für einen Rankine-Kreisprozess berechnet, der mit einem Gemisch aus Wasser- und Benzoldampf als Arbeitsmittel geführt wird. Diese Berechnung zeigt, dass ***der Wirkungsgrad in solch einem Fall deutlich über dem Carnot-Wirkungsgrad liegt***. Damit wird nachgewiesen, dass durch die Veränderung von Stoffeigenschaften des Arbeitsmittels in einem Kreisprozess, der 2. Hauptsatz der Thermodynamik überwunden werden kann.

Fazit: Es gibt selbst heute noch Ingenieure, die die Entropie als begrenzenden Faktor nicht zur Kenntnis nehmen!

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.