

## 107.7102 Quick-Cool-ThermoSchülerSet

nach Prof. Dieter Plappert, Freiburg i.Br.

### 1. Didaktische Vorbemerkungen

In einem kumulativ aufgebauten Physikunterricht spielen wenige grundlegende Konzepte eine zentrale Rolle, die in möglichst vielen Bereichen angewandt werden können. Wie in [1] und [2] ausführlich beschrieben sind das „Energie-Träger-Konzept“ und das „Strom-Antrieb-Konzept“ (Anhang 1) geeignet, sehr viele Phänomenbereiche miteinander zu vernetzen. Durch den neu konzipierten „thermischen Energie-Träger-Stromkreis“ (108.0703) und dem neu entwickelten „Quick-Cool-ThermoSchülerSet“ (107.7102) gelingt es den Schülerinnen und Schülern die zuvor in anderen Gebieten entwickelten Konzepte fast wie selbstverständlich auf Erscheinungen der Wärmelehre zu übertragen. Durch Fragestellungen aus ihrer Erfahrungswelt gelingt es ihnen nicht nur den thermodynamischen Entropiebegriff anschaulich zu bilden und gegen den Energiebegriff abzugrenzen, sondern diesen auch selbständig auf neue Fragestellungen anzuwenden: „Sind elektrische Wärmepumpen ökologisch sinnvoll?“ „Warum brauchen thermische Kraftwerke eine Kühlung?“ „Warum kann die thermische Energie der Weltmeere nicht für unsere Energieversorgung verwendet werden?“ Auf dem auf diese Weise im Physikunterricht eingeführten Entropiebegriff kann auch in anderen Naturwissenschaften, z. B. in der Chemie der Kursstufe, gewinnbringend zurückgegriffen werden. In [3] und [4] ist ein entsprechender Unterrichtsgang ausführlich beschrieben.

### 2. Das Quick-Cool-ThermoSchülerSet

Das Quick-Cool-ThermoSchülerSet besteht aus

- zwei Peltierelementen (1),
- zwei Aluprofilen (2),
- zwei Behältern (3),
- zwei Kammern (4),
- einem Motor mit Propeller (5) mit einem Magnet zur Befestigung des Motors.

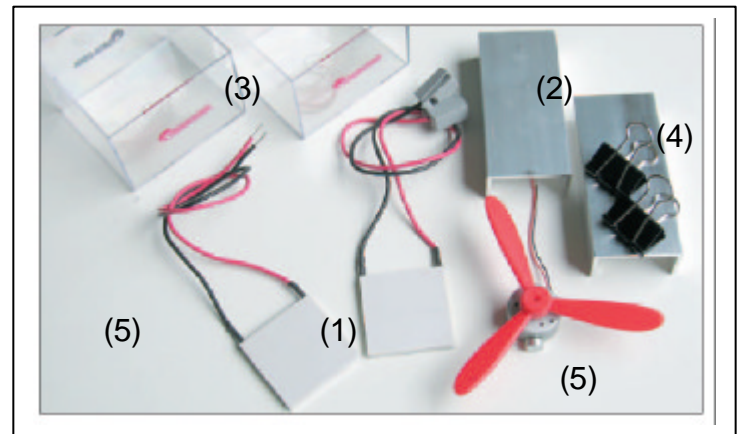


Abb. 1: Die Bestandteile des Quick-Cool-ThermoSchülerSets

### 3. unterrichtliche Voraussetzungen

Sinnvoll ist es, die im Folgenden dargestellten Inhalte vor der Behandlung der hier beschriebenen Versuchsreihe zu behandeln. Natürlich können diese Versuche auch in anders aufgebauten Unterrichtsgängen gewinnbringend eingesetzt werden.

Ein allgemeiner *Energiebegriff* wird eingeführt: immer wenn sich etwas bewegt, wenn etwas geheizt wird, ... wird Energie benötigt, die Energie kommt immer irgendwo her, geht immer irgendwo hin. Außerdem werden z.B. mithilfe des hydraulischen Energie-Träger-Stromkreises (Abb. 2) oder des in Abbildung 3 dargestellten „Wasserkraftwerks“ die Begriffe **Energie und Energieträger** differenziert und die zentrale Regel formuliert: Energie und Träger können immer dann klar voneinander unterschieden werden, wenn sie *verschiedene Wege* nehmen.

In Abbildung 1 strömen Wasser und Elektrizität im Kreis, es werden jeweils *zwei* Verbindungen benötigt. Die Energie strömt zunächst mit dem Wasser bzw. mit dem Wasserstrom bis zum Wassergenerator, dann mit der Elektrizität bzw. dem elektrischen Strom weiter zum Lüfter. Wasser und Elektrizität nehmen jedoch einen anderen

Weg. Sie haben die Aufgabe eines „Energieträgers“: das Wasser wird in der Pumpe mit Energie beladen, es trägt die Energie zur „Turbine“ des Wassergenerators. Dort wird die Energie vom Wasser auf Elektrizität umgeladen. Das Wasser strömt dann zur Pumpe zurück, um von neuem mit Energie beladen zu werden. Entsprechend strömt die Energie vom Wassergenerator mit der Elektrizität zum Elektromotor des Lüfters...

In Abbildung 2 strömt das Wasser von einem Behälter in den anderen, die Energie wird jedoch von der Turbine vom Wasser abgeladen und strömt danach mit der Elektrizität zum Motor, zum Propeller. Detaillierte Ausführungen sind in [1] und in der Betriebsanleitung zum hydraulischen Energieträgerstromkreis zu finden.

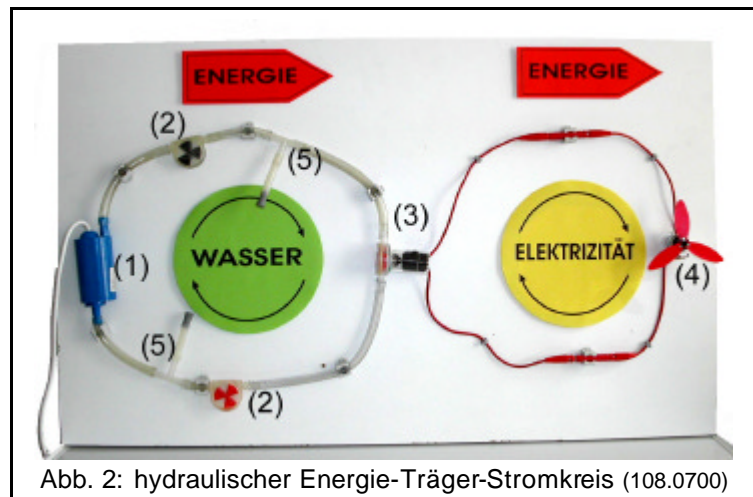


Abb. 2: hydraulischer Energie-Träger-Stromkreis (108.0700)

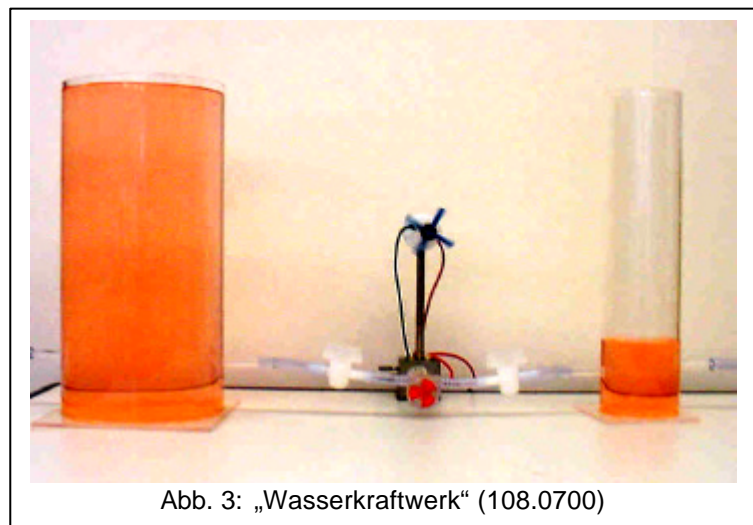


Abb. 3: „Wasserkraftwerk“ (108.0700)

#### 4. Beispiele für Versuchsanordnungen

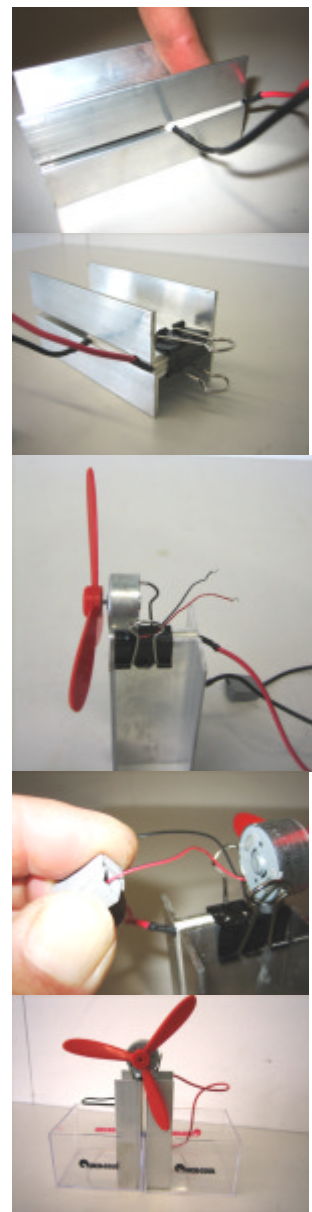
Im Folgenden werden als Anregung zur Erstellung eigener Arbeitsblätter einige der vielen möglichen Versuchsanordnungen beschrieben. Ich würde mich freuen, wenn Sie mir weitere Beispiele als Anregung zur Ergänzung der Betriebsanleitung zusenden. (post@plappert-freiburg.de).

##### 4.1. Thermische Kraftwerke

**Frage:** Müssen thermische Kraftwerke immer gekühlt werden?

##### Versuchsaufbau:

1. Lege das mit den Anschlussklemmen versehene Peltierelement auf ein Aluminiumprofil, dann das andere Aluminiumprofil auf das Peltierelement. Die Anschlüsse sollen seitlich heraus schauen.
2. Mit der Kammer das Peltierelement zwischen den Peltierelementen festklemmen.
3. Den Magneten ganz vorne an der Klammer befestigen. Den Motor darauf geheftet, nachdem den Propeller auf der Achse gedrückt wurde. Der Propeller muss sich frei drehen können.
4. Die Anschlüsse von Motor und Peltierelement verbinden. Dazu die Klemme ganz eindrücken und das Kabel des Motors in die freigewordene Öffnung **tief** hineinstecken.
5. Die Behälter nebeneinander stellen und die Aluminiumprofile über die Behälterränder ziehen, so dass in jedem Behälter ein Profil steht.



### Versuchsdurchführung:

- Fülle beide Behälter zunächst mit kaltem, anschließend mit warmen (etwa 50 °C) und dann den einen Behälter mit warmen und den anderen mit kaltem Wasser.
- Fülle anschließend einen Behälter mit kaltem Wasser aus dem Wasserhahn und den anderen Behälter mit Eis- Wasser.
- Beschreibe und erkläre den Versuchsablauf.

### Weitere Fragen:

- Ergänze die folgenden Sätze: „Je größer ..... ist, desto ..... dreht sich der Lüfter. Daran kann man erkennen, dass je ..... ist, der Lüfter umso mehr Energie bekommt.“
- Beschreibe die Entsprechungen und die Unterschiede des hier aufgebauten „thermischen Kraftwerks“ und der in Abbildung 3 und 4 dargestellten „Wasserkraftwerke“.
- Beschreibe die Entsprechungen und die Unterschiede des hier aufgebauten „thermischen Kraftwerks“ und des in Abbildung 5 dargestellten Kohlekraftwerks.

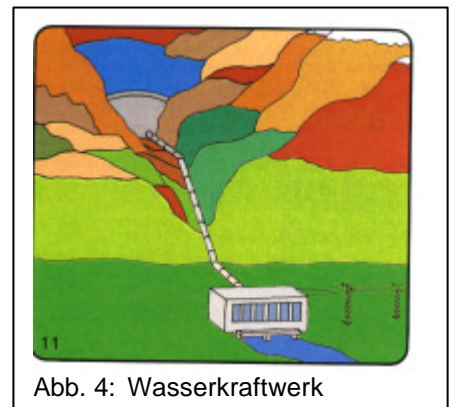


Abb. 4: Wasserkraftwerk

**Anmerkungen:** Hintergründe zur Physik thermische Kraftwerke sind in Anhang 2 zu finden.

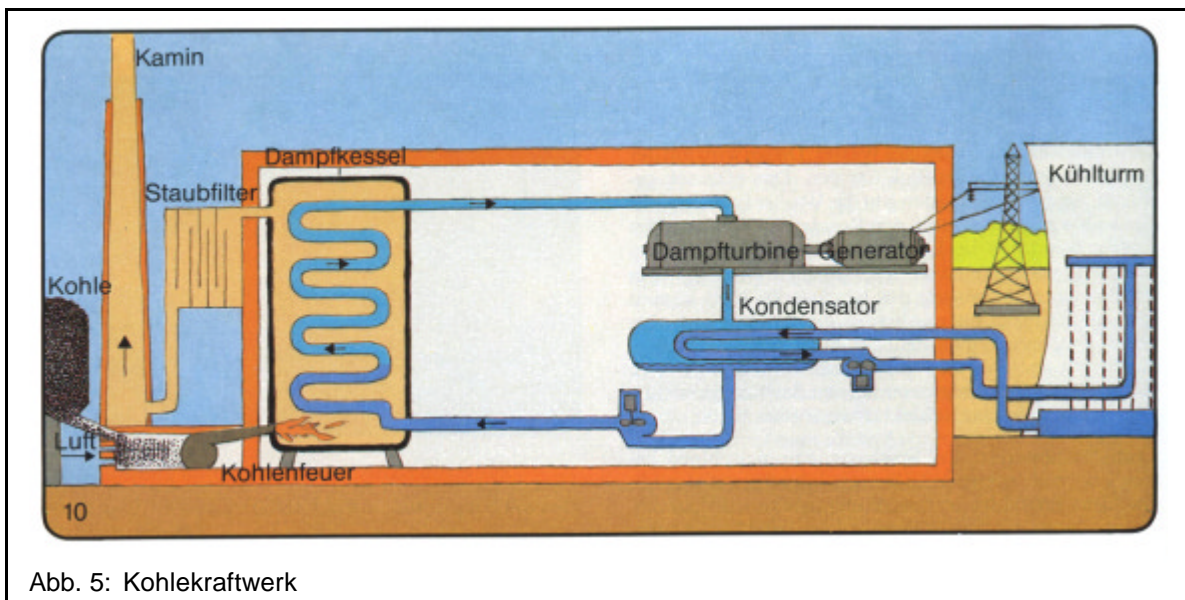


Abb. 5: Kohlekraftwerk

**Ergebnisse:**

- Je größer die Temperaturdifferenz ist, umso mehr Energie wird im Peltierelement abgeladen werden,
- Es muss ein „Energieträger“ vom warmen Wasser, durch das erste Aluminiumprofil, durch das Peltierelement, durch das zweite Aluminiumprofil in das kalte Wasser strömen.
- Dieser Energieträger wird in der Physik „Entropie“ genannt.
- Im thermischen Kraftwerk wird umso mehr Energie von der Entropie geladen, je größer die Temperaturdifferenz ist.
- Auch bei einem Kohlekraftwerk kommt es auf die Temperaturdifferenz zwischen Kessel und Kühlwasser an.
- Je größer die Temperaturdifferenz ist, umso mehr Energie wird im Kraftwerk von der Entropie abgeladen, umso größer ist der Wirkungsgrad eines thermischen Kraftwerks.
- Der „Kühlausgang“ eines Kraftwerks hat eine dem Wasserabfluss eines Wasserkraftwerks analoge Bedeutung: dort strömt die Entropie aus dem Kraftwerk heraus, in den Fluss bzw. den Kühlturm.

**4.2. Entropie strömt**

**Frage:** Woran kannst du den Entropiestrom in Versuch 4.1. erkennen?

**Versuchsaufbau:** wie Versuch 4.1. zusätzlich Thermometer und Stoppuhr (Abb. 6)

**Versuchsdurchführung:**

- Fülle den einen Behälter mit warmen (etwa 50 °C) und den anderen mit kaltem Wasser.
- Miss jede Minute die Temperatur des Wassers in beiden Behältern und stelle den Temperaturverlauf geeignet grafisch dar.
- Aus welchen Beobachtungen kannst du schließen, dass Entropie vom warmen zum kalten Wasser strömt?
- Beschreibe den analogen hydraulischen Versuch. Kann man dort das Wasser strömen sehen?
- Wiederhole den Versuch, jedoch soll die Menge des warmen Wassers (etwa 50 °C) nur halb so groß sein wie die des kalten Wassers. Sage voraus, was sich am Versuchsaufbau ändern wird und begründe deine Voraussage.

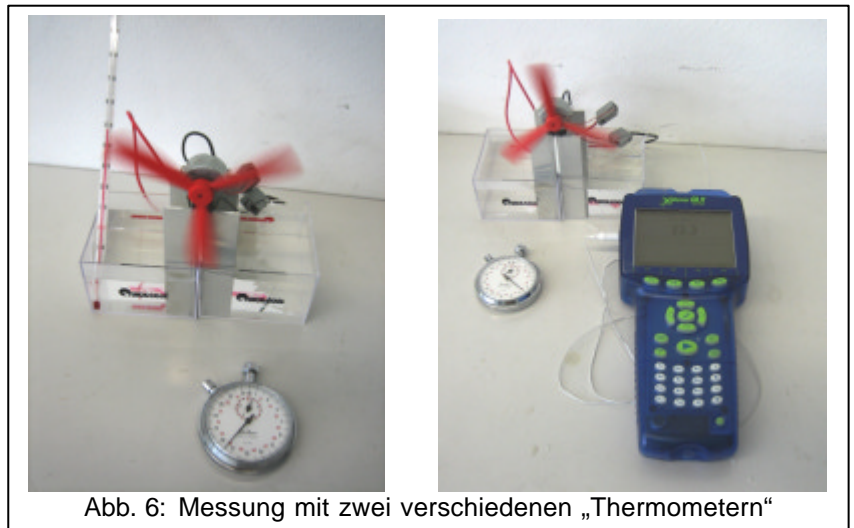


Abb. 6: Messung mit zwei verschiedenen „Thermometern“

- Vervollständige den folgenden Sätze: „Je höher die Temperatur des Wassers ist, umso ..... Entropie enthält das Wasser, je größer die Menge des Wassers ist, umso ..... Entropie enthält das Wasser.“

### Ergebnisse:

- Dass Entropie strömt, können wir aus den folgenden Beobachtungen schießen: die Temperatur des Wassers in dem einen Behälter nimmt ab, die des anderen zu; beide Behälter sind durch die Aluprofile miteinander verbunden.
- Je höher die Temperatur des Wassers ist, umso mehr Entropie enthält das Wasser.
- Je größer die Wassermenge ist, umso mehr Entropie enthält das Wasser bei derselben Temperatur.
- Je größer die Temperaturdifferenz ist, desto mehr Entropie strömt pro Zeiteinheit von dem einen Behälter zum anderen, desto größer ist die Stärke des Entropiestroms.

### 4.3. Das Peltierelement als „Wärmepumpe“

Manche Bauteile können wie etwa Motor und Dynamo in unterschiedlicher „Richtung“ verwendet werden.

**Frage:** Kann das Peltierelement auch „umgekehrt“ betrieben werden?

#### 1. Versuchsaufbau: Abbildung 7 (mit Flachbatterie)

##### Versuchsdurchführung:

- Nimm das Peltierelement zwischen die Finger und beschreibe deine Beobachtungen.
- Erkläre deine Beobachtungen.

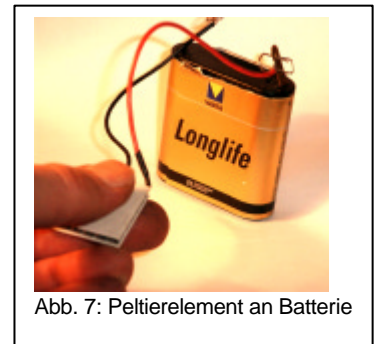


Abb. 7: Peltierelement an Batterie

#### 2. Versuchsaufbau: wie Abbildung 8 mit

Thermometer und Stoppuhr.

Das Peltierelement wird mit Gleichstrom (maximal 6 A und 15 V) betrieben.

##### Versuchsdurchführung:

- Fülle beide Behälter zur Hälfte mit kaltem Wasser.
- Schalte das Netzgerät ein, miss jede Minute die Temperatur des Wassers in beiden Behältern und stelle den Temperaturverlauf geeignet grafisch dar.
- Beschreibe und erkläre den Versuchsablauf.

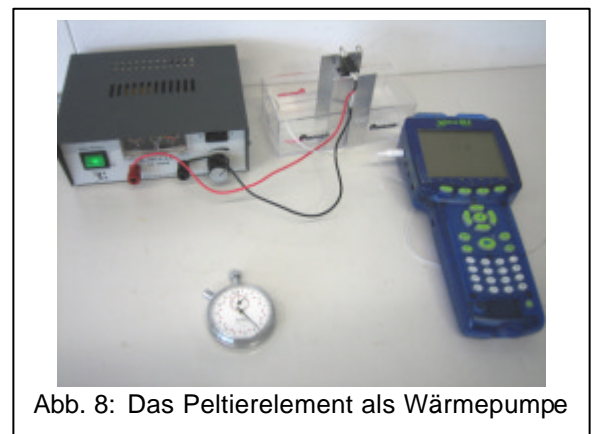


Abb. 8: Das Peltierelement als Wärmepumpe

**weitere Fragen:**

- Die Erhöhung der Wassertemperatur in dem einen Behälter ist größer als die Temperaturerniedrigung in dem anderen. Kannst du dir das erklären? In 4.8. kommen wir auf diese Frage zurück.
- Erläutere den folgenden Satz: „Jeder Kühlschrank ist eine Entropiepumpe!“
- Peltierelemente werden in Computern zur Kühlung von Prozessoren eingesetzt. Begründe, warum trotzdem auf der Rückseite eines Computers Abwärme ankommt.
- Erläutere den folgenden Satz: „Ist die Klimaanlage eines Autos im Sommer eingeschaltet, so verbraucht das Auto mehr Benzin!“
- Überleg dir, was passiert, wenn man mit einer Entropiepumpe einen Gegenstand „entropieleer“ pumpt.

**Ergebnisse:**

- Peltierelemente können als Entropiepumpe betrieben werden; sie pumpen Entropie entgegen einer Temperaturdifferenz. Dazu benötigen sie Energie.
- Ein Kühlschrank ist eine Entropiepumpe: aus dem Inneren des Kühlschranks wird Entropie auf die Rückseite des Kühlschranks gepumpt.
- Zur Kühlung eines Computers kann ein Peltierelement die Entropie vom Prozessor weg zur Rückseite des Computers pumpen.
- Klimaanlage sind Entropiepumpen, die zum Antrieb Energie benötigen.
- Der absolute Temperaturnullpunkt ( $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ist zugleich auch der Entropienullpunkt jedes Gegenstandes.

**4.4. Wasser schnell gefroren**

**Frage:** Kann man mit dem Peltierelement einem Wassertropfen so viel Entropie entziehen, dass er gefriert?

**Versuchsaufbau:** Abbildung 9 mit massivem Aluklotz und kleinem Wassertropfen auf der Oberseite des Peltierelements.

**Versuchsdurchführung:**

Schalte das Netzgerät ein; das Peltierelement wird mit Gleichstrom (maximal 6 A und 15 V) betrieben.

- Beschreibe und erkläre den Versuchsablauf.

**Ergebnis:**

- Das Peltierelement kann so viel Entropie aus dem Wasser heraus pumpen, dass es nach kurzer Zeit gefriert.

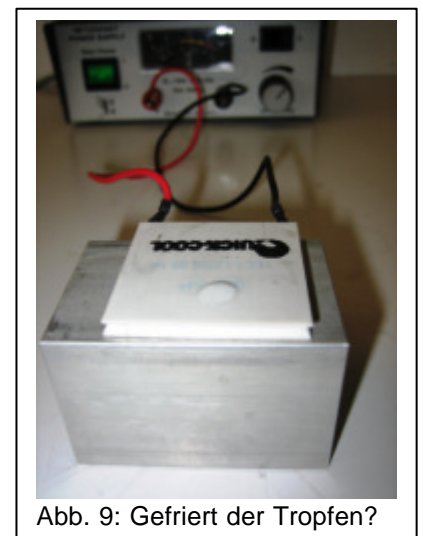


Abb. 9: Gefriert der Tropfen?

#### 4.5. Der Entropiestromkreis

**Frage:** Kann aus zwei Peltierelementen ein Entropiestromkreis aufgebaut werden?

**Versuchsaufbau:** Abbildung 10

#### Versuchsdurchführung:

Schalte das Netzgerät ein; das Peltierelement wird mit Gleichstrom (maximal 6 A und 15 V) betrieben.

- **Achtung: Das Peltierelement darf nicht zu heiß werden - Verbrennungsgefahr!**
- Fühle bzw. miss die Temperaturen der Aluprofile.
- Entferne die „Rückleitung“ des Entropiestromkreises für kurze Zeit. Beschreibe deine Beobachtungen.
- Beschreibe, was sich bei einem Wasserstromkreis, einem elektrischen Stromkreis und einem Entropiestromkreis entspricht und was nicht.

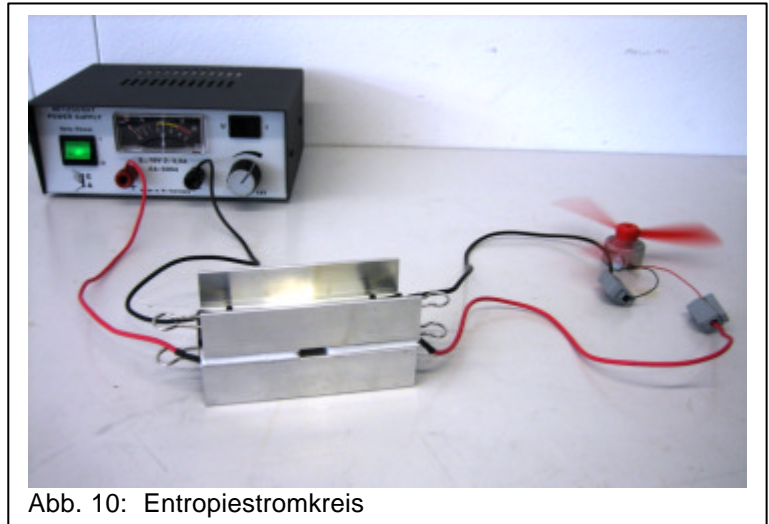


Abb. 10: Entropiestromkreis

#### Ergebnisse

- Aus zwei Peltierelementen und zwei „Wärmeleitern“ kann ein Entropiestromkreis aufgebaut werden kann.
- Abbildung 11 zeigt das zugehörige Energieflussbild.
- Die Entropie strömt im Kreis, die Energie dagegen von einem Peltierelement zum anderen.
- Je größer die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Keramikflächen der Peltierelemente ist, desto schneller dreht sich der Propeller, desto mehr Energie wird übertragen.

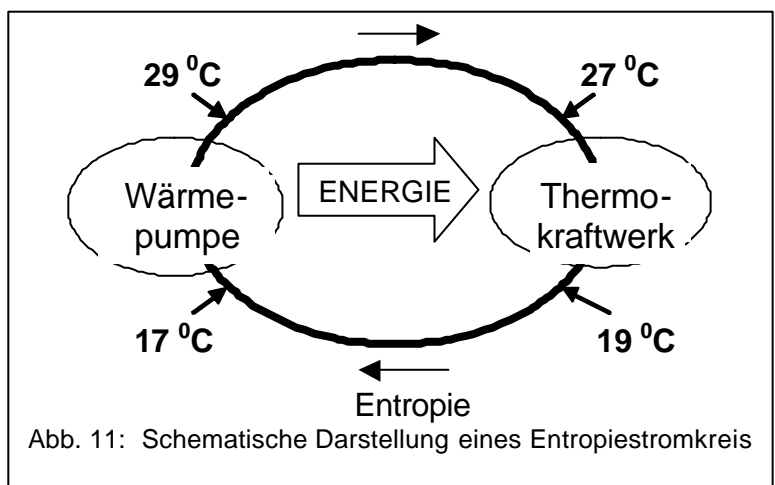


Abb. 11: Schematische Darstellung eines Entropiestromkreises



### 4.6. „Thermotransformator“

**Frage:** Hat der in Abbildung 12 dargestellte Versuchsaufbau einen Sinn?

**Versuchsaufbau:** Abbildung 13. Es wird zusätzlich ein elektronisches Thermometer benötigt.

#### Versuchsdurchführung:

- Fülle den einen Behälter mit warmen (etwa 60 °C) und den anderen mit kaltem Wasser.
- Fühle bzw. miss die Temperatur der beiden Keramikflächen des 2. Peltierelements.
- Begründe, dass dieser Versuchsaufbau im Prinzip im Sommer als „solargetriebene Klimaanlage“ verwendet werden kann.
- Erläutere den folgenden Satz: „Dieser Versuchsaufbau entspricht im Prinzip einer „elektrisch betriebenen Wärmepumpe“, wie sie heute oft zu Heizzwecken eingesetzt wird.“
- Versuche zu begründen, warum eine „elektrisch betriebenen Wärmepumpe“ nicht notwendiger Weise ein Unsinn ist.

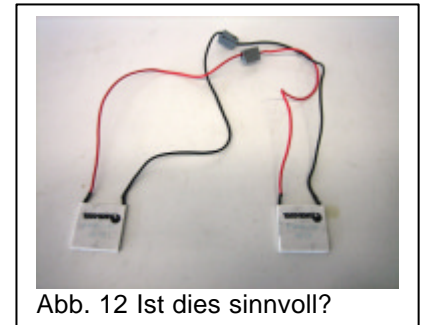


Abb. 12 Ist dies sinnvoll?

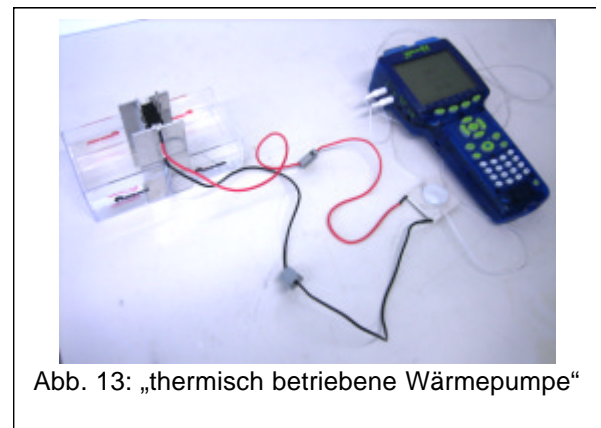


Abb. 13: „thermisch betriebene Wärmepumpe“

#### Ergebnisse

- Im ersten Peltierelement wird von einem Entropiestrom Energie abgeladen. Diese Energie wird benützt, um mit dem 2. Peltierelement Entropie zu pumpen.
- Wird mit einem geschwärzten Peltierelement vom Entropiestrom des Sonnenlichts Energie abgeladen, so könnte mit dieser Energie eine Entropiepumpe an anderer Stelle als Klimaanlage betrieben werden.
- Die Energie, mit der eine „elektrisch betriebene Wärmepumpe“ zu Heizzwecken betrieben wird, stammt zu einem großen Teil von thermischen Kraftwerken her. Dort wird sie von einem Entropiestrom abgeladen. Mit dieser Energie kann dann beim Heizen mit einer „Wärmepumpe“ Entropie aus dem Erdreich in das Haus gepumpt werden. In [4] ist hierzu eine quantitative Abschätzung zu finden.

#### 4.7. Messung der Entropiestromstärke

**Frage:** Was kann man an der Spannung eines Peltierelements erkennen?

**Versuchsaufbau:** Abbildung 14, das Peltierelement ist auf das Aluprofil geklemmt, die Temperatur des Aluprofil dient als Referenz, Multimeter als Spannungsmesser (mV); es werden zusätzlich zwei Messstrippen („Krokokabel“) benötigt.

#### Versuchsdurchführung:

- Lege deine Handfläche auf die Keramikfläche des Peltierelements und miss die Spannung.
- Wiederhole den Versuch aber lege dieses Mal verschiedene Materialien zwischen Hand und Keramikfläche, wie etwa Papiertaschentuch, Holzbrett, Alufolie, Styroporplatte... und miss die Spannung.
- Begründe, dass die hier gemessene Spannung anzeigt, ob die Stärke des Entropiestroms groß oder klein, bzw. ob das Material zwischen Hand und Peltierelement Entropie gut oder schlecht leitet.
- Verdopple die Dicke der Materialschicht. Beschreibe und erkläre den Versuchsablauf.
- Nenne 5 gute und 5 schlechte Entropieleiter!



Abb. 14: Untersuchung der Entropieleitfähigkeit

#### Ergebnisse

- Je größer die Stärke des Entropiestroms ist, der durch ein Peltierelement hindurch fließt, desto größer ist die am Peltierelement gemessene („Leerlauf“-)Spannung.
- Ein Peltierelement kann zur Messung der Entropiestromstärke und zum Vergleich der Entropieleitfähigkeit verschiedener Materialien verwendet werden.

**Anmerkung:** In [4] ist eine Anleitung zur quantitativen Messung der Entropiestromstärke zu finden.

### 4.8. „Entropie kann erzeugt aber nicht vernichtet werden!“

**Frage:** Worin liegt der grundsätzliche Unterschied der in Abbildung 15 dargestellten Arten der „Wärmeerzeugung“.

**Versuchsaufbau:** Abbildung 16, mit zusätzlicher Styroporplatte und einem Netzgerät.

**Versuchsdurchführung:**

- Betreibe das Peltierelement nacheinander bei beiden Anordnungen als Wärmepumpe, so dass sich die Temperatur der oberen Fläche des Peltierelements erhöht. (Netzgerät: maximal 6 A und 12 V).

**Achtung: Das Peltierelement darf nicht zu heiß werden - Verbrennungsgefahr!**

- Begründe, wie es sein kann, dass bei der Versuchsanordnung mit Styroporplatte Entropie aus dem Peltierelement herausströmt; der Entropieeingang des Peltierelements ist doch durch die Styroporplatte verstopft.
- Entferne bei beiden Versuchsanordnungen die Klammer, schließe den Lüfter an und stelle auf die obere Fläche einen mit warmen Wasser (etwa 50<sup>0</sup> C). Beschreibe und begründe den unterschiedlichen Versuchsablauf.

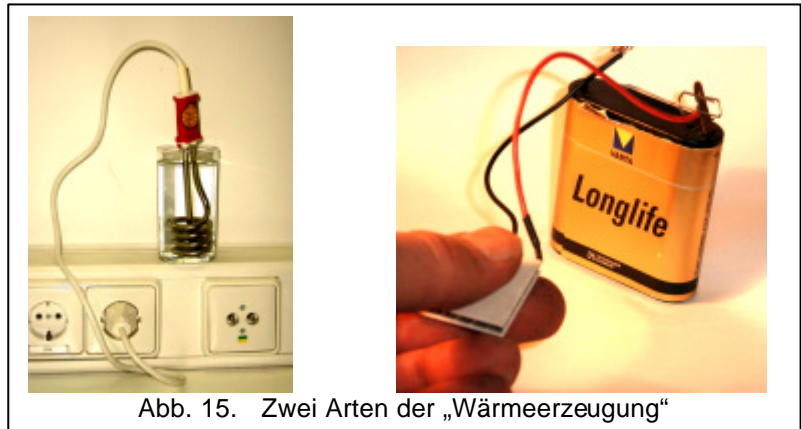


Abb. 15. Zwei Arten der „Wärmeerzeugung“

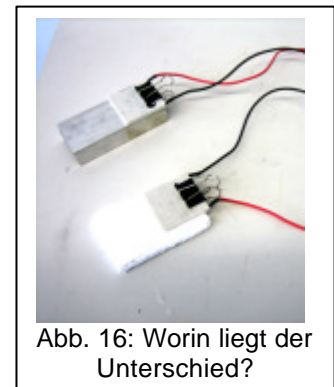


Abb. 16: Worin liegt der Unterschied?

**weitere Fragen:**

- Begründe, warum jedes thermische Kraftwerk einen „Kühlausgang“ benötigt.
- Begründe, warum ein Schiff in der Südsee nicht mit der „Wärme“ des Meers angetrieben werden kann.
- Erläutere die folgende Aussage: „Energieverbrauch heißt nicht, dass Energie verschwindet sondern nur, dass immer ein bestimmter Teil der eingesetzten Energie wegen der Entropieerzeugung nicht mehr genutzt werden kann, also „verloren geht“.

**Ergebnisse**

- Entropie kann erzeugt aber nicht vernichtet werden.
- Irreversible Vorgänge sind wegen der Entropieerzeugung irreversibel.
- Irreversible Vorgänge können nur unter Energiezufuhr rückgängig gemacht werden.

## 5. einige zusätzliche Versuche zur Einführung des Energiebegriffs

Die Bauteile des Quick-Cool-ThermoSchülerSets ermöglichen viele weitere Versuchsanordnungen. Im Folgenden seien einige exemplarisch genannt, die zu einer elementaren Einführung eines anschaulichen Energiebegriffs genutzt werden können.

### 5.1. „Wie kann der Lüfter angetrieben werden?“

**Versuchsaufbau:** Abbildung 17 (Lüfter ohne Peltierelement), zusätzlich mit Flachbatterie, Solarzelle, Krokokabel

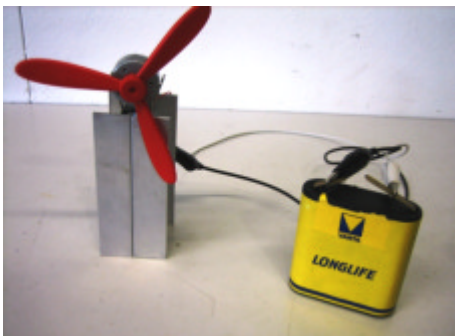
#### Versuchsdurchführung:

- Versuche den Lüfter auf möglichst viele unterschiedliche Arten anzutreiben.

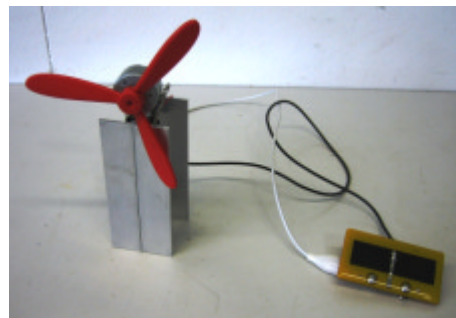
#### Ergebnisse:

- Der Lüfter braucht wie alle Maschinen „Etwas“ zum Antrieb.
- Das, was zum Antrieb benötigt wird, nennt man **Energie**.
- Elektrizität (elektrische Ladung), Licht, Wind, „Wärme“ (Entropie),... transportieren Energie;
- Licht, Wind, „Wärme“ (Entropie),... haben die Funktion eines **Energieträgers**.
- Energie strömt von einer Stelle zu einer anderen, z. B. von der Sonne mit dem Energieträger Licht zur Solarzelle, von dort mit dem Energieträger Elektrizität zum Lüfter, von dort mit dem Wind ins Zimmer, ... .

#### Mögliche Versuchsaufbauten



Antrieb mit Batterie



Antrieb mit Solarzelle



Antrieb mit Thermoelement

### Anhang1 :

#### Das „Energie-Träger-Konzept“

Energie strömt nie allein, bzw. wird nie allein ausgetauscht, sondern immer mit einer zweiten physikalischen Größe zusammen. Diese zweite Größe kennzeichnet die „äußere Erscheinungsform“ des Energietransports. Um die Energie klar von den begleitenden Größen zu unterscheiden, wurde der in Abbildung 1 dargestellte Versuchsaufbau [4] entwickelt, durch den die Schülerinnen und Schüler diesen Unterschied bildhaft erleben können: Eine mit einem Netzgerät verbundene Pumpe (1) treibt Wasser an, das Wasser einen „Wassergenerator“ (3) und dieser einen elektrischer „Lüfter“ (4). Da ein Propeller zum Antrieb Energie benötigt, kann der „Weg“ der Energie zurückverfolgt werden: sie kommt vom „Wassergenerator“, von der Pumpe, vom Netzgerät bzw. von einem Kraftwerk,... Die Energie ist das, was durch alle Stationen hindurch geht. Dies wird durch die Energiepfeile symbolisiert (Abb. 2). Auf diese Weise wird der „Erhaltungsaspekt“ der Energie betont.

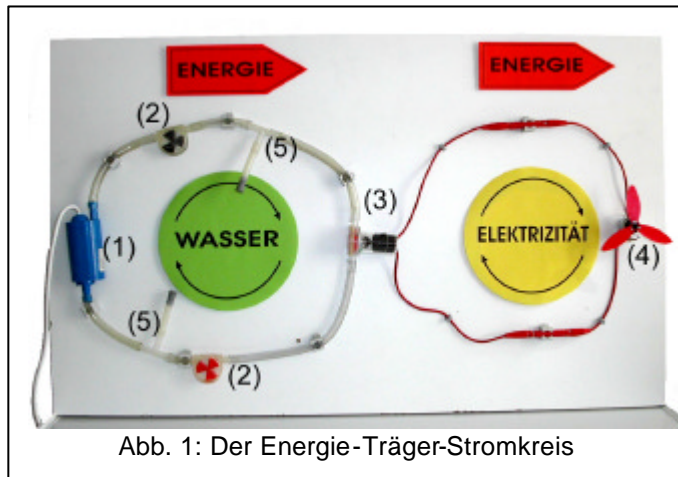


Abb. 1: Der Energie-Träger-Stromkreis

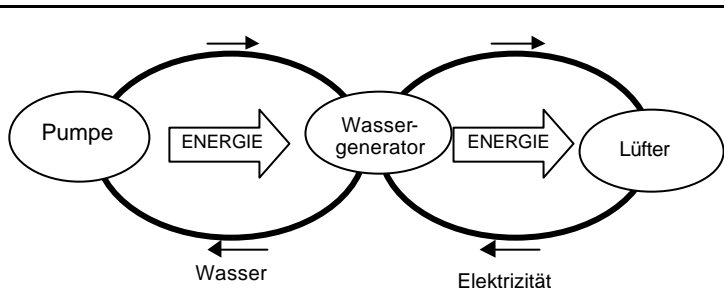
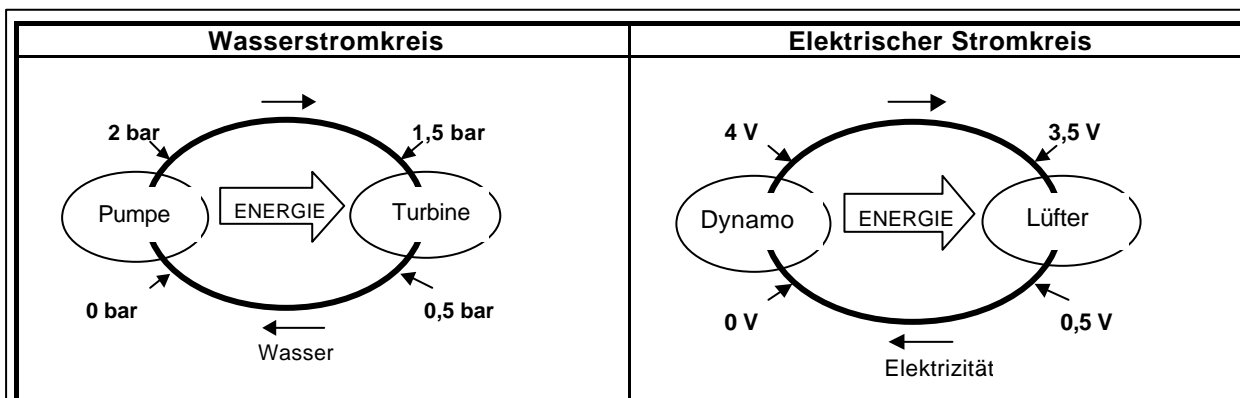


Abb. 2: Energie ist das, was hindurch strömt!  
Wasser und Elektrizität strömen im Kreis.

Das Wasser und die Elektrizität nehmen dagegen *andere Wege*: sie strömen im Kreis.



**Hinweis:** Die angegebenen Werte des Drucks beziehen sich auf den am „Eingang“ der Pumpe gewählten Nullpunkt. Der Druck nimmt längs des Leiters ab, da wir hier von Schläuchen mit nicht zu vernachlässigendem Widerstand ausgehen.

**Hinweis:** Die angegebenen Werte des elektrischen Potentials beziehen sich auf den am „Eingang“ des Dynamos gewählten Nullpunkt. Das elektrische Potential nimmt längs des Leiters ab, da wir hier von Kabeln mit nicht zu vernachlässigendem Widerstand ausgehen.

Abb. 3: Die Analogie von Wasserstrom- und elektrischem Stromkreis

Deshalb werden zwischen Pumpe und Turbine *zwei* Schläuche, zwischen Generator und Lüfter *zwei* Kabel benötigt. Dass die Energie und die zweite am Energietransport beteiligte physikalische Größe *unterschiedliche Wege* nehmen, ist ein entscheidendes Kriterium, durch das wir die Energie von den sie begleitenden Größe unterscheiden können. Die Tatsache, dass Energie nie alleine strömen kann, sondern immer zusammen mit einer zweiten Größe strömen muss, können wir durch das „*Energie-Träger-Bild*“ verbildlichen. Die zweite physikalische Größe hat die Aufgabe eines „Energieträgers“: in der Pumpe wird Energie auf den Energieträger Wasser, im Generator auf den Energieträger Elektrizität geladen. Das Wasser bzw. die Elektrizität transportieren die Energie zum Wassergenerator bzw. zum Lüfter. Dort wird sie auf einen nächsten Energieträger „umgeladen“. Das Wasser bzw. die Elektrizität strömen durch die zweite Verbindung zurück, um von Neuem mit Energie beladen zu werden.

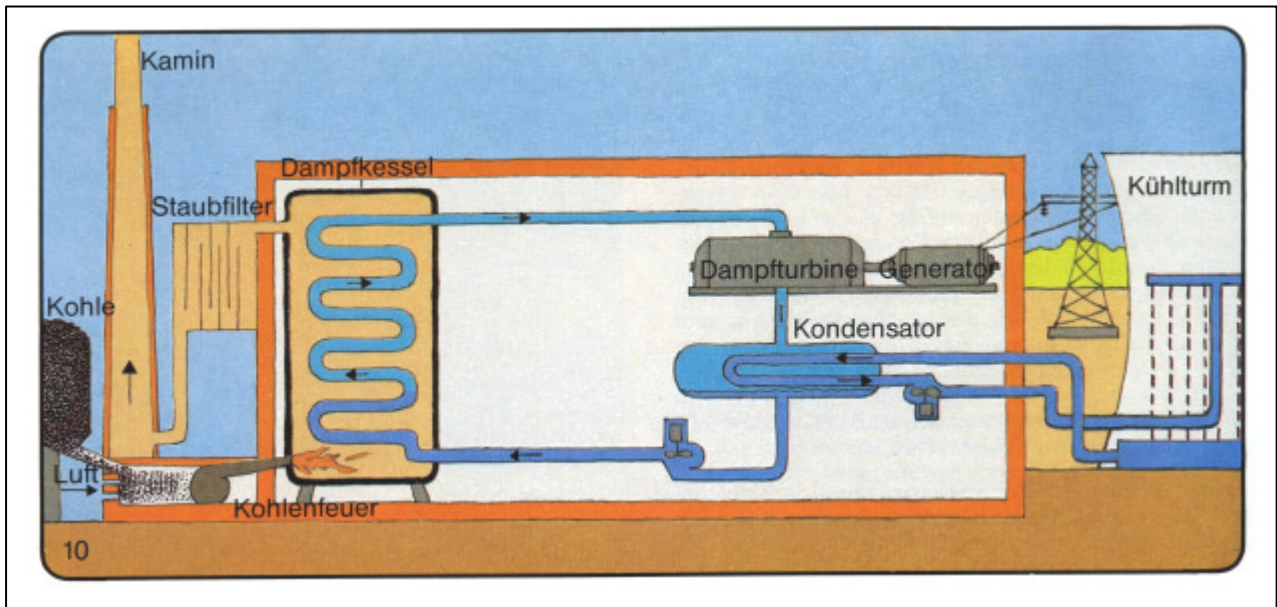
Fragen wie: „Worin unterscheidet sich eigentlich das Wasser in Abbildung 1 vor und nach dem Wassergenerator?“ „Worin unterscheidet sich die Elektrizität vor und nach dem Lüfter?“ führen zu den Begriffen „Druck  $p$ “ und „elektrisches Potenzial  $\phi$ “. Beide physikalische Größen haben eine analoge Bedeutung: sie geben an, wie viel Energie von dem jeweiligen Energieträger transportiert wird. Ihre Differenz  $\Delta p$  bzw.  $\Delta \phi$  gibt an, wie viel Energie in einem System vom Wasser bzw. von der Elektrizität aufgeladen, bzw. abgeladen wird. In der angegebenen Literatur wird ausführlich dargelegt, wie diese im Anfängerunterricht bildhaft eingeführten Konzepte im weiterführenden Unterricht immer weiter geschärft und präzisiert werden können. In Abbildung 3 und 4 ist das Energie-Träger-Konzept übersichtsartig zusammengefasst.

Wasserstromkreis	Elektrischer Stromkreis
Es strömt Energie von der Pumpe zur Turbine.	Es strömt Energie vom Dynamo zum Motor.
Das Wasser ist der Energieträger.	Die Elektrizität ist der Energieträger
Die Pumpe belädt das Wasser mit Energie.	Der Dynamo belädt die Elektrizität mit Energie
Die Turbine lädt Energie vom Wasser ab.	Der Motor lädt Energie von der Elektrizität ab.
Die <b>Druckdifferenz</b> $Dp$ gibt an, wie viel Energie in einem Umlader auf bzw. vom Wasser abgeladen wird.	Die <b>Differenz des el. Potentials</b> $Dj = U$ ( <b>el. Spannung</b> ) gibt an, wie viel Energie in einem Umlader auf bzw. von der Elektrizität abgeladen wird.
Die <b>Energiestromgleichung</b> $I_E = Dp \cdot \dot{V}_W$ gibt die <b>Stärke des Energiestroms</b> an, der in einem Umlader mit einem Wasserstrom verbunden bzw. von einem Wasserstrom getrennt wird.	Die <b>Energiestromgleichung</b> $I_E = U \cdot I_Q$ gibt die <b>Stärke des Energiestroms</b> an, der in einem Umlader mit einem elektrischen Strom verbunden bzw. von einem elektrischen Strom getrennt wird.

Abb. 3: Das Energie-Träger-Konzept

## Anhang 2 zur Physik thermischer Kraftwerke

Im Prinzip sind alle thermischen Kraftwerke gleich aufgebaut: in einem Kessel wird Wasser verdampft, der Dampf treibt Turbinen an und wird im Kondensator kondensiert; das dabei entstehende Wasser wird durch eine Speisewasserpumpe in den Kessel zurücktransportiert.

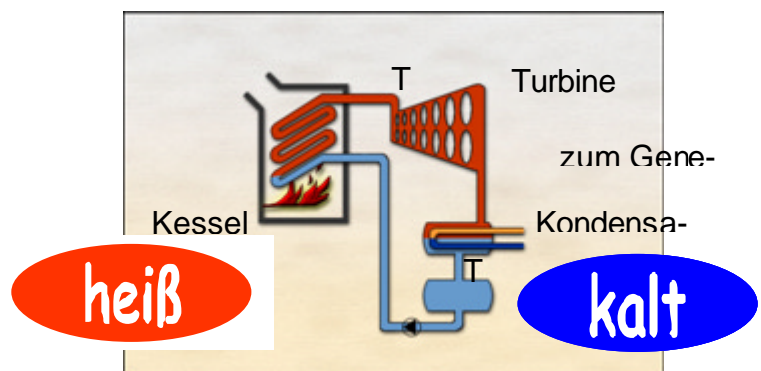


Nur ein Teil der zugeführten Energie kann von der Turbine vom Dampf abgeladen werden. Das Verhältnis von genutzter zu zugeführter Energie wird üblicherweise der Wirkungsgrad genannt. Der Wirkungsgrad von Kohlekraftwerk beträgt etwa 40 %, der eines Kernkraftwerks etwa 30 %. Die Überlegungen von Sadi Carnot (...) führten zu der Überzeugung, dass der Wirkungsgrad nicht von den Druckdifferenzen zwischen Eingang und Ausgang der Turbine sondern ausschließlich von der Temperaturdifferenz zwischen Eingang und Ausgang der Turbine abhängig ist. Carnots Überlegung ist in (Material historisch) dargestellt.

### Wozu braucht ein thermisches Kraftwerk einen Kühlturm?

#### Energiebetrachtung:

Im Kessel wird beim Verbrennen die Energie der Brennstoffe zum Erhitzen und Verdampfen des Wassers verwendet. Ein Teil dieser Energie (Kernkraftwerk 30 %, Kohlekraftwerk 40%) wird in der Turbine vom Dampf „abgeladen“, zum Generator geleitet und dort anschließend mit dem elektrischen Strom weitertransportiert. Ein Großteil der Energie verlässt

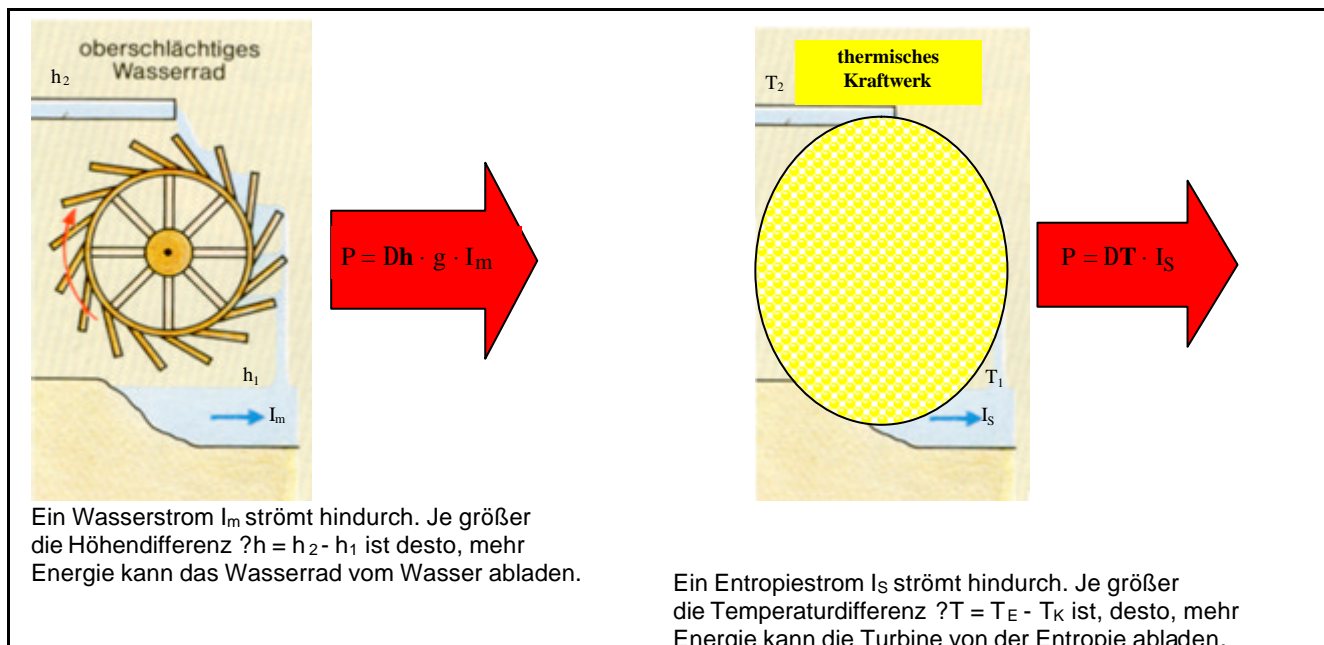


mit dem Kühlwasser des Kondensators das Kraftwerk ungenutzt<sup>1</sup>. Carnot hat theoretisch gezeigt, dass das Verhältnis von nutzbarer zu eingesetzter Energie umso größer ist, je größer die Differenz der Temperatur des Dampfes  $T_E$ , der in die Turbine eintritt und der Temperatur des Dampfes  $T_K$ , mit der er im Kondensator kondensiert, ist. Alle praktischen Versuche, den Wirkungsgrad durch die Wahl von geeigneten Stoffen zu verbessern, die bei gleicher Temperaturdifferenz größere Druckdifferenzen erzeugen, waren zuvor gescheitert.

### Entropiebetrachtung (nach Carnot):

Die Energie strömt mit der Entropie, zusammen durch die Turbine. Je größer die Temperaturdifferenz  $\Delta T = T_E - T_K$  ist, desto mehr Energie lädt die Turbine von der Entropie ab, so wie ein Wasserrad von strömendem Wasser umso mehr Energie abladen kann, je größer die Höhendifferenz  $\Delta h = h_2 - h_1$  zwischen Ein- und Ausgang ist.

Die Entropie, die das Kraftwerk verlässt, wurde im Kraftwerk erzeugt; in erster Linie beim Verbrennen der Brennstoffe. Die Entropie kann dann nicht mehr vernichtet werden; wie eine Art „Wärmestoff“ verlässt sie das Kraftwerk durch den Kühlausgang.



<sup>1</sup> Dass ein Teil der bei der Verbrennung umgesetzten Energie mit den erwärmten Abgasen das Kraftwerk verlässt (5 - 10 %), sei bei den nachfolgenden Betrachtungen vernachlässigt.



## Literatur:

- [1] Plappert, D.: Der Energiebegriff - die Verzahnung der Naturwissenschaften durch eine gemeinsame Fachsprache, Praxis der Naturwissenschaften Physik 6/55, September 2006
- [2] Plappert, D.: Verständliche Elektrizitätslehre, Praxis der Naturwissenschaften Physik 7/52, Oktober 2003
- [3] Plappert, D.: Kumulatives Lernen - die Bildung des Entropiebegriffs in der Sek I, Praxis der Naturwissenschaften Physik 4/53, Juni 2004
- [4] Petrich Horst, Plappert, Dieter, Schwarze Heiner: Entropielehre II; Unterricht Physik Auls Verlag Deubner Köln, erschein Anfang 2008