

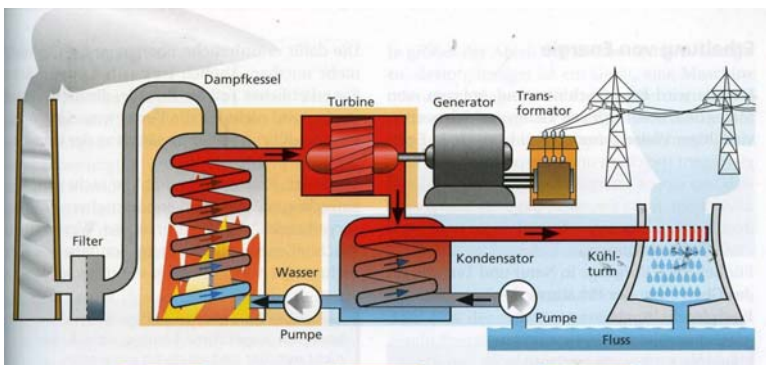
## Versuchsanleitung

### Modell-Dampfkraftwerk mit Gasantrieb [170721] nach Dieter Plappert

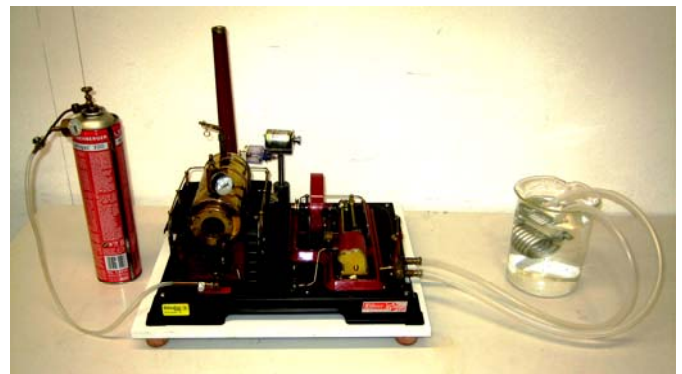
#### 1. Didaktische Vorbemerkungen

Es rattert, zischt und pfeift... unser Modell-Dampfkraftwerk ist wieder einmal im Einsatz. Die Schülerinnen und Schüler sind begeistert. Das Modell-Dampfkraftwerk enthält alle wesentlichen Elemente eines richtigen thermischen Kraftwerks: Kessel, Kondensator und Speisewasserpumpe. Nur statt mit einer Turbine wird die Energie durch einen Kolben im Zylinder vom Dampf abgeladen - ein komplettes thermisches Kraftwerk auf einem einzigen Tisch. Die mit diesem Modell-Dampfkraftwerk durchgeführten Versuche sind beeindruckend, sie bleiben in guter Erinnerung. Dasselbe gilt für die Unterrichtsinhalte, die in diesem Zusammenhang behandelt werden, wie etwa

- die Funktionsweise einer Dampfmaschine
- die Einführung des Energiebegriffs
- historische Betrachtungen zu den Themen: Entwicklung von thermischen Kraftmaschinen, industrielle Revolution
- die Funktion von thermischen Kraftwerken, wie Kohle-, Gas-, Solar- und Kernkraftwerken
- Kondensatorbetrieb und Abwärmeproblematik
- Betrachtungen zum 2. Hauptsatz der Thermodynamik
- die Einführung des Entropiebegriffs
- der Wirkungsgrad und seine Messung .



Schema eines Kohlekraftwerks



Modellkraftwerk mit denselben Komponenten

#### 2. Vorteile des gasbetriebenen Modell-Dampfkraftwerks

Statt mit einem Trockenbrennstoff wird die Dampfmaschine mit Gas betrieben. Dazu wird der Esbitbrenner durch einen Gas-Keramikbrenner ersetzt.

Der Gasbetrieb hat verschiedene Vorteile:

- durch das Gasventil kann die Brennstoffzufuhr sehr genau dosiert werden,
- beim Löschen der Gasflamme entsteht keine Geruchsbelästigung,
- die dem Modell-Dampfkraftwerk zugeführte Energiemenge kann durch das Ermitteln der zugeführten Gasmenge (wiegen) recht genau bestimmt werden.

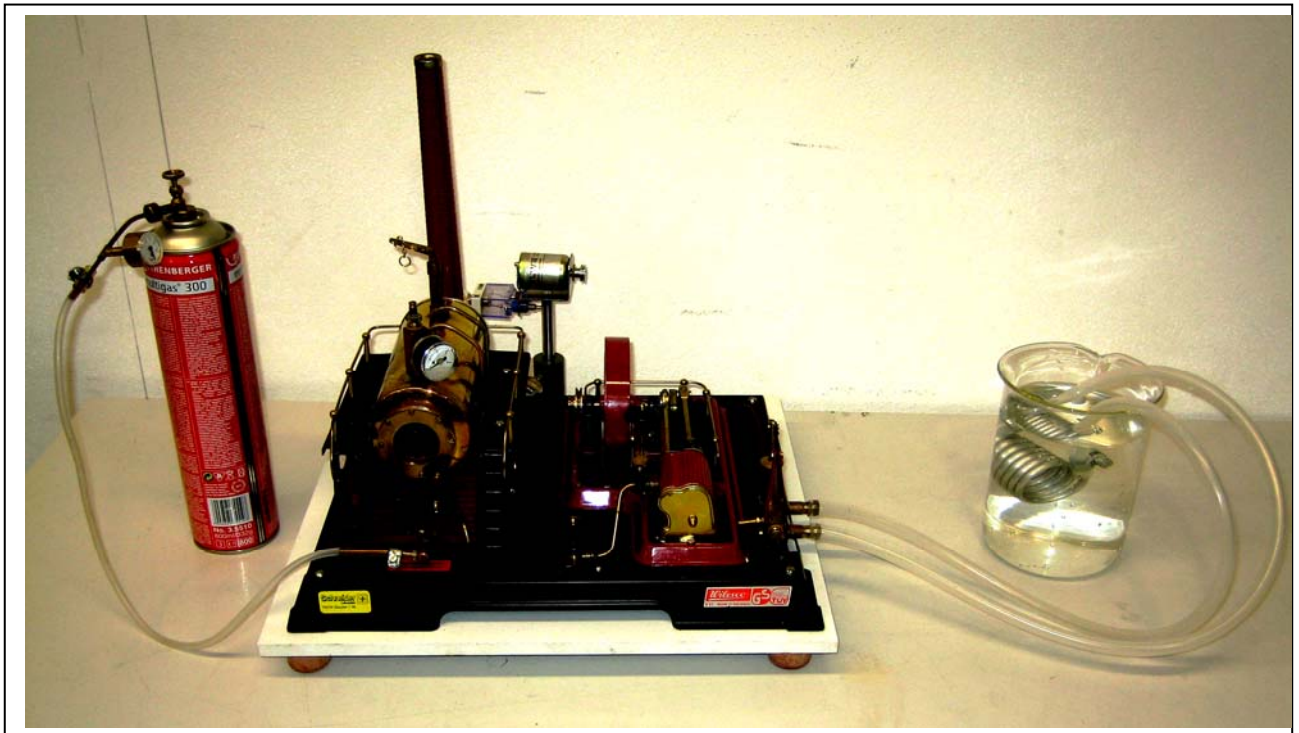
An die vorhandene Speisewasserzuleitung kann an einer Olive ein 8 mm - Silikonschlauch angeschlossen werden, durch den mit der Speisewasserpumpe Wasser aus einem Behälter (z.B. Becherglas) in den Kessel gepumpt werden kann. An der zweiten Olive endet die Abdampfleitung. An diese beiden Rohrstützen kann die Aluminiumwendel angeschlossen und in einen Kühlwasserbehälter (Becherglas) getaucht werden, so dass wie bei allen thermischen Kraftwerken ein geschlossener Dampf-Wasser-Kreislauf entsteht.

### 3. Der Betrieb des Modell-Dampfkraftwerks im „Auspuffbetrieb“

Vor dem ersten Entzünden der Gasflamme wird der Kessel vor den Augen der Schüler mit Wasser gefüllt. An die Speisewasserzuleitung wird ein 8 mm-Silikonschlauch angeschlossen, durch den mit Hilfe der Speisewasserpumpe Wasser aus einem Behälter (z.B. Becherglas) in den Kessel gepumpt wird. (Selbstverständlich kann über den Füllstutzen auf dem Kessel vorher schon eine Grundmenge Wasser eingegeben werden.)

**Es muss dabei so viel Wasser zugeführt werden, dass die Maschine nie mit leerem Kessel betrieben wird; die Lötstellen des Kessels wären augenblicklich zerstört! Das wird i.d.R. erreicht, wenn im Kesselschauglas der Wasserspiegel sichtbar ist.** Unter den Abdampfausgang wird die beigefügte Schale gestellt, um den kondensierten Abdampf aufzufangen. Nachdem die Gasflamme entzündet ist, beginnt sich beim Erwärmen die im Kessel vorhandene Luft auszudehnen; das Manometer zeigt einen Druckanstieg an. Erst wenn das Wasser siedet, beginnt sich die Dampfmaschine gleichmäßig zu drehen. Nun kann mit Hilfe eines „Riemens“ eine Maschine, z.B. ein „Hammerwerk“ oder ein „Generator“ angeschlossen werden. Mit dieser Anordnung kann die Funktionsweise und der Nutzen einer Dampfmaschine erläutert werden, der Energiebegriff eingeführt werden (siehe 5), der Wirkungsgrad ermittelt werden (siehe 7),...

### 4. Der Betrieb des Modell-Dampfkraftwerks im „Kondensatorbetrieb“ mit geschlossenem Wasserkreislauf



#### 4.1. Versuchsaufbau:

- Der Kessel der Maschine wird mit Wasser gefüllt (vgl. 3).
- Die Maschine wird zunächst im Auspuffbetrieb betrieben (vgl. 3).
- Wenn sich das Schwungrad der Maschine kräftig dreht, wird der Abdampf durch einen der Silikonschläuche durch den Kondensator geleitet. Das zunächst offene Ende des 2. Anschlusschlauches mündet in die Auffangschale, um den kondensierten Abdampf aufzufangen. Der Abdampf erwärmt den Kondensator und treibt in dieser Phase die Luft aus dem Kondensator heraus. **Dieser Prozess sollte so lange fortgesetzt werden, bis der Kondensator heiß ist und deutlich sichtbarer „Wasserdampf“ aus dem 2. Anschlusschlauch herauskommt.**
- Die Gaszufuhr wird nun so gedrosselt werden, dass sich das Schwungrad der Dampfmaschine gerade noch dreht und das am Generator angeschlossene Lämpchen gerade noch leuchtet.
- Dann wird der 2. Anschlusschlauch mit dem Stutzen der Speisewasserpumpe verbunden, so dass ein geschlossener „Wasser-Dampf-Kreislauf“ entsteht.



Der 2. Anschluss wird erst mit der Pumpe verbunden, wenn „weißer Dampf“ aus dem Schlauch strömt!

- Nun wird der Aluminiumkühler in ein vorbereitetes Becherglas mit kaltem Wasser getaucht. Dazu können die Silikonschläuche in die Hand genommen werden.
- Nach kurzer Zeit kann der Kühler wieder aus dem Kühlwasser genommen werden um Veränderungen im Lauf des Dampfkraftwerks beobachten zu können.
- Nach einiger Zeit kann mit der Speisewasserpumpe das kondensierte Wasser in den Kessel zurückgepumpt werden. Wir haben wie bei allen gängigen thermischen Kraftwerken einen geschlossenen Wasserkreislauf.

#### 4.2. Beobachtungen

Bei der Durchführung dieses Versuchs kann das Folgende beobachtet werden:

1. Fließt Kühlwasser durch den Kondensator, dreht sich das Schwungrad der Dampfmaschine schneller, die Lampe leuchtet heller.
2. Im Kühler beginnt Wasser zu kondensieren; der Kühler heißt aus diesem Grund „Kondensator“.
3. Die zusammengedrückten Anschlusschläuche des Kondensators zeigen an, dass im Kondensator ein erheblicher Unterdruck entsteht. Dieser kann durch ein zusätzlich eingebautes T-Stück mit angeschlossener Manometer gemessen werden. (s. Abb.)
4. Wird der Kühler aus dem „Kühlwasserbehälter“ herausgenommen, verlangsamt sich der Lauf des Schwungrads, die Lampe leuchtet schwächer, der Druck steigt; wird der Kühler wieder in das Kühlwasser getaucht, wiederholt sich der Effekt.\*
5. Wird der Kühler in siedendes „Kühlwasser“ gehalten, ist die „Kühlwirkung“ viel geringer, das Schwungrad bewegt sich nur unmerklich schneller.

\* Nach einiger Zeit nimmt der Kühleffekt ab, was auf Undichtigkeiten der Versuchsanordnung zurückzuführen ist. Wird der Anschlusschlauch an der Speisewasserpumpe entfernt und die inzwischen eingedrungene Luft wieder „herausgeblasen“, kann der Kühleffekt von Neuem demonstriert werden, nachdem der Schlauch wieder an der Speisewasserpumpe angeschlossen wurde.

#### 4.3 Ergebnisse

- Obwohl dem Modell-Dampfkraftwerk nicht mehr Brennstoff d.h. Energie zugeführt wurde, liefert es „mehr Energie ab“, wird mehr Energie nutzbar. Im Kondensatorbetrieb wird also die Energie des Brennstoffs besser genutzt.
- Durch das Kühlen des Kondensators steigt die Temperatur des „Kühlwassers“ im Becherglas, „Abwärme“ wird abgeführt.
- Das Verhältnis von der in einem Gerät genutzten Energie zu der in das Gerät hineinströmenden Energie wird „**Wirkungsgrad**“ des Geräts genannt. Der Wirkungsgrad unseres Dampfkraftwerks wurde also erheblich größer, indem wir die Temperatur des „Wärmeausgangs“ verringert haben. Experimentelle Untersuchungen und theoretische Überlegungen haben gezeigt, dass der Wirkungsgrad jedes „thermischen Kraftwerks“ umso größer ist, je größer die Temperaturdifferenz zwischen „Wärmeeingang“ und „Wärmeausgang“ der ist.

#### 4.4. Messung der Temperaturen des Dampfes am Ein- und Ausgang der Dampfmaschine

Ein Thermofühler kann wie abgebildet an der Öleinlassschraube angebracht werden. Ein zweiter Thermofühler kann direkt hinter der Dampfmaschine in die Abdampfleitung mit dem beigefügten T-Stück eingebaut werden. Auf diese Weise kann quantitativ gezeigt werden, dass der Abdampf im Kondensatorbetrieb eine tiefere Temperatur hat, dass die Temperaturdifferenz im zwischen Dampf ein- und Dampf ausgang im Kondensatorbetrieb größer wird. Es wird auf diese Weise deutlich, dass der Wirkungsgrad



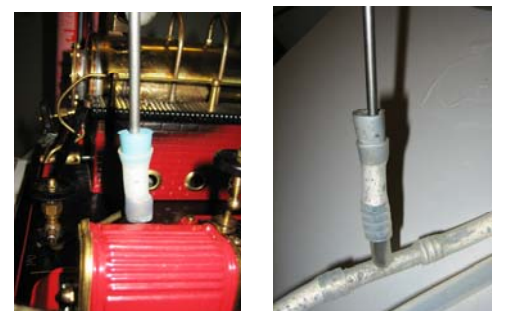
Zusammengedrückte Anschlusschläuche beim Kondensatorbetrieb



Druckmessung



Temperaturmessung an Ein- und Ausgang der Dampfmaschine



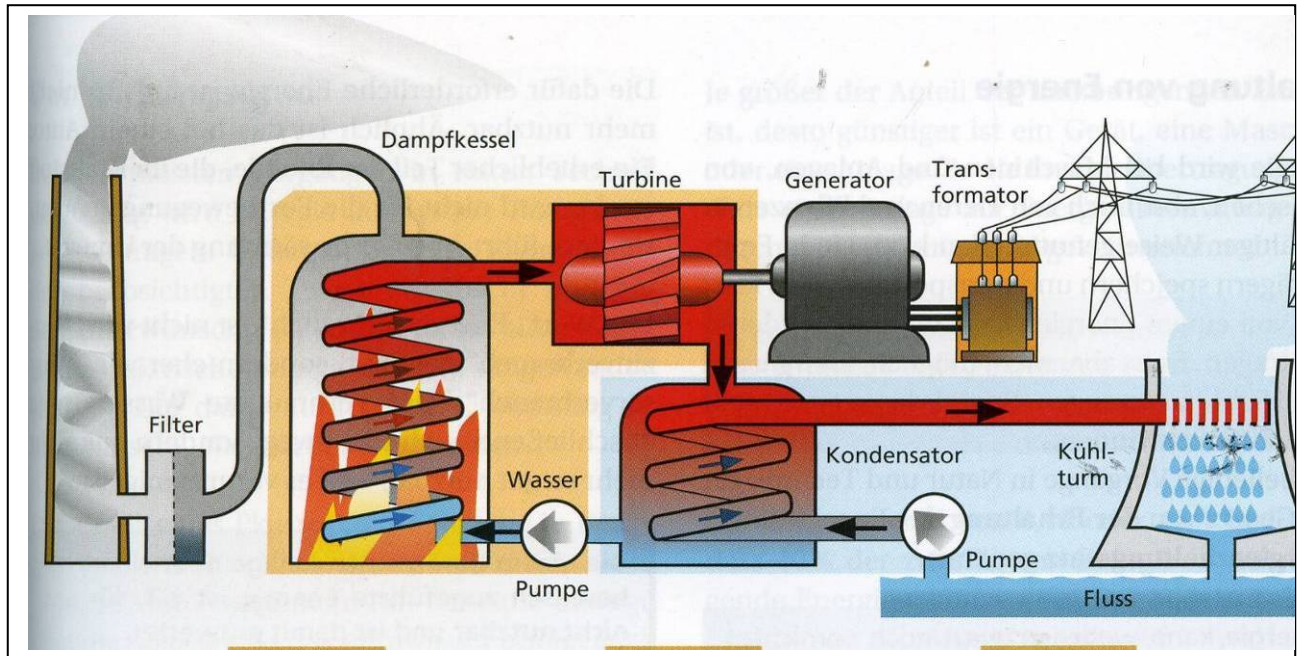
Mit einem Metallbohrer können die beigefügten Gummistopfen dem Temperaturfühler entsprechend durchbohrt werden.

der Dampfmaschine von dieser Temperaturdifferenz abhängt, dass die Temperaturdifferenz des Dampfes anzeigt, wie viel Energie die Dampfmaschine vom Wasserdampf „abgeladen“ zur weiteren Nutzung hat.

## 5. Einige Bemerkungen zur Physik thermischer Kraftwerke

Hier seien einige grundlegende Bemerkungen zur Physik thermischer Kraftwerke angefügt. Diese Grundlagen werden in [1 und 2] vertieft. Dort werden außerdem konkrete Unterrichtsgänge vorgeschlagen, wie z.B. ausgehend von der Untersuchung thermischer Kraftwerke die Schüler im Physik- oder Technikunterricht angeregt werden können, sich einen anschaulichen Entropiebegriff zu bilden.

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.

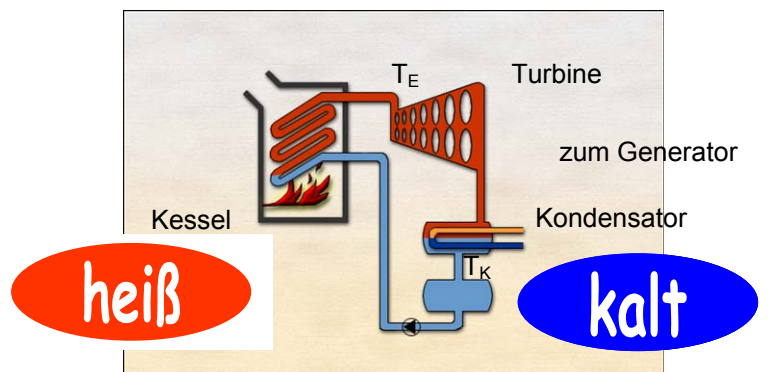


Nur ein Teil der zugeführten Energie kann von der Turbine vom Dampf abgeladen werden. Das *Verhältnis* von *genutzter* zu *zugeführter* Energie wird üblicherweise *der Wirkungsgrad* genannt. Der Wirkungsgrad von Kohlekraftwerk beträgt etwa 40 %, der eines Kernkraftwerks etwa 30 %. Die Überlegungen des Physikers Sadi Carnot führten zu der Überzeugung, dass der Wirkungsgrad nicht wie die damaligen Ingenieure vermutet hatten von den Druckdifferenzen zwischen Eingang und Ausgang der Turbine, sondern ausschließlich von der Temperaturdifferenz zwischen Turbinen-Eingang und -Ausgang abhängig ist.

### 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.

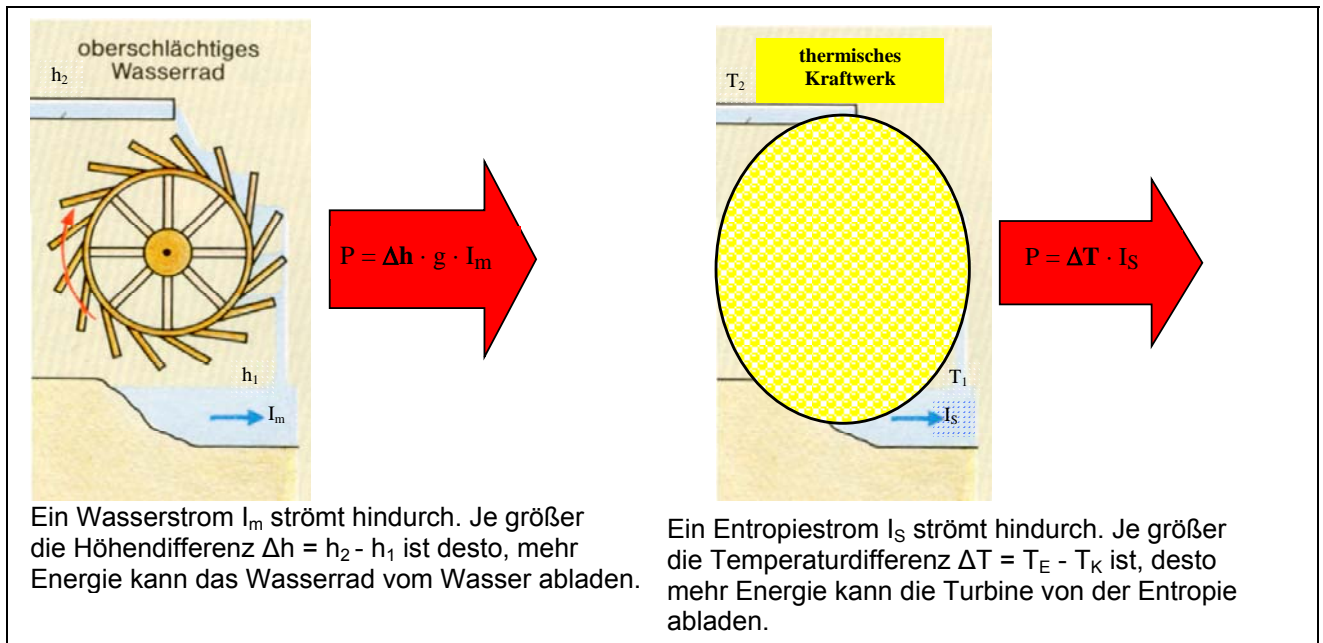


<sup>1</sup> Dass ein Teil der bei der Verbrennung umgesetzten Energie mit den erwärmten Abgasen das Kraftwerk verlässt (5 - 10 %), sei bei den nachfolgenden Betrachtungen vernachlässigt.

### Betrachtung nach Carnot:

Die Energie strömt mit einem „Wärmestoff“ zusammen durch die Turbine. Je größer die Temperaturdifferenz  $\Delta T = T_E - T_K$  ist, desto mehr Energie lädt die Turbine von dem „Wärmestoff“ ab. Carnot vergleicht die Dampfmaschine mit einem Wasserrad: je größer die Höhendifferenz  $\Delta h = h_2 - h_1$  zwischen Ein- und Ausgang ist, desto mehr Energie kann ein Wasserrad vom strömendem Wasser abladen

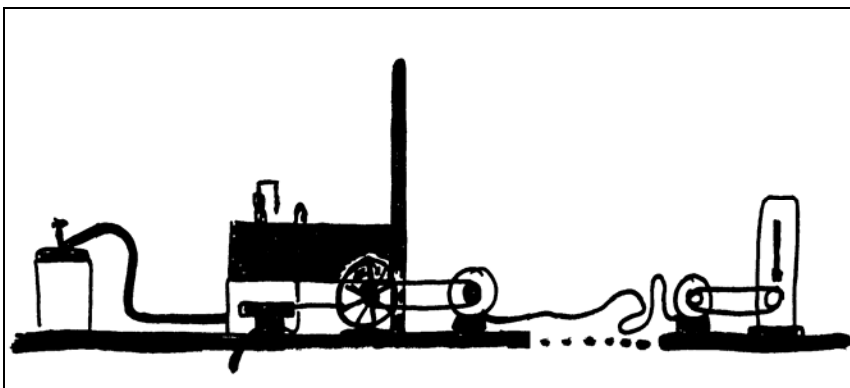
Wie das Wasser am Ausgang wieder aus dem Wasserkraftwerk herausströmen muss, so muss der Wärmestoff aus dem thermischen Kraftwerk wieder herausfließen. Deshalb benötigen thermische Kraftwerke Kühlausgänge. Dieser herausfließende „Wärmestoff“ trägt Energie ungenutzt aus dem Kühlausgang des Kraftwerks heraus. Vollständig verstehen kann man den ganzen Sachverhalt erst, wenn man sieht, dass der von Carnot postulierte Wärmestoff im Prinzip ein bildliche Veranschaulichung der thermodynamischen Größe „Entropie“ ist, die bei der Verbrennung erzeugt wird und wegen des 2. Hauptsatzes Thermodynamik nicht wieder vernichtet werden kann, sondern durch den Kühlausgang das Kraftwerk verlassen muss.



### 5. Eine mögliche Einführung der physikalischen Größe **Energie** im Physikunterricht

Da die Energie eine alle Gebiete umfassende Größe ist, sollte sie nicht eingengt in einem Gebiet, sondern allgemeiner eingeführt werden. Es sei hierfür in aller Kürze ein möglicher Weg beschrieben:

Ein „Hammerwerk“, das für eine Fabrik steht, soll angetrieben werden. In unserem Versuchsaufbau wird es



von einem Motor, der Motor von einem Dynamo, der Dynamo von einer Dampfmaschine und die Dampfmaschine von einem Gasbrenner angetrieben. Das Hammerwerk braucht „etwas“, was es antreibt. Dieses „etwas“ bekommt das Hammerwerk vom Motor, dieser vom Dynamo, dieser von der Dampfmaschine und diese vom Gasbrenner.

Wird das Hammerwerk im Versuch abgebremst, so wird

auch die Bewegung der Dampfmaschine verlangsamt. Um die ursprüngliche Drehgeschwindigkeit wieder zu erhalten, muss der Gasbrenner stärker „aufgedreht“ werden; das abgebremste Hammerwerk braucht mehr von dem „etwas“, der Gasbrenner muss stärker aufgedreht werden, damit er mehr von dem „etwas“ liefern kann.

Dieses „etwas“, was hier übertragen wird, nannte man früher „Kraft“, was heute noch an „Kraftwerk“ und „Kraftfahrzeug“ zu erkennen ist; heute wird dieses „etwas“ **Energie** genannt.

Alle Erfahrungen der Physiker haben gezeigt, daß Energie nicht aus dem Nichts erschaffen werden oder sich nicht in Nichts auflösen kann, sondern daß die Energie immer irgendwo herkommt und immer irgendwo hinget.

Betrachten wir den oben beschriebenen Versuch, so stellen wir fest: Energie wird immer von einer Stelle zu

einer anderen von einem „Energieträger“ transportiert (hier: ... Propangas-Sauerstoff, Brenner-Flamme, Wasser-Dampf, Kolben, Pleuelstange, Kurbelwelle mit Schwungrad, Treibriemen, Elektrizität, Treibriemen... )

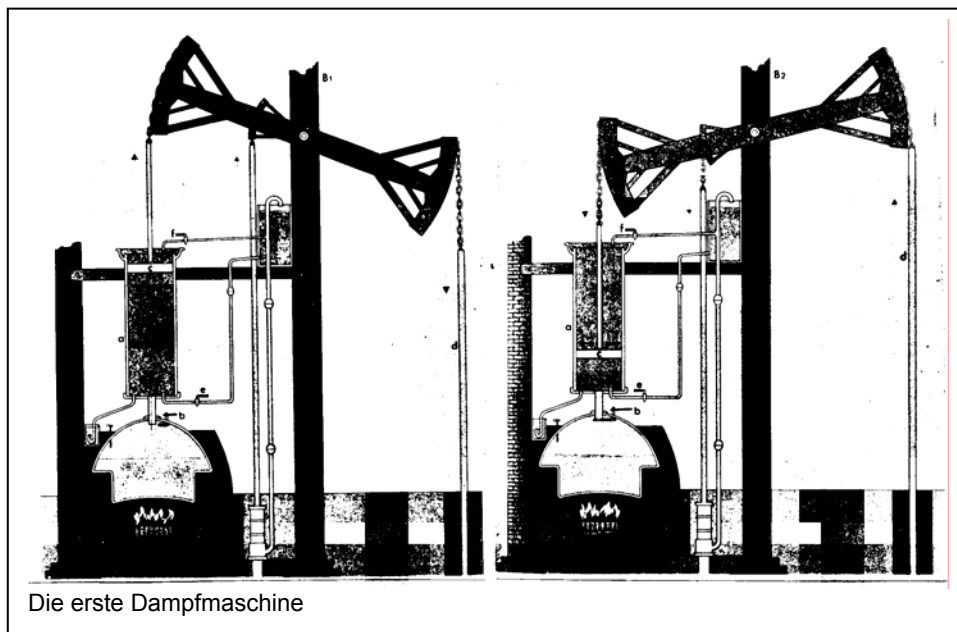
In Gasbrenner, Dampfmaschine, Generator, Motor und Hammerwerk wechselt die Energie ihren Träger, wir können sie Energie-Umlade-Stationen oder kurz „Energieumlader“ nennen.

Eine ausführliche Darstellung zur Einführung des Energiebegriffs ist in [3] zu finden.

## 6. Einige Betrachtungen zur Entwicklungsgeschichte thermischer Energieumlader

### 6.1. Die Entwicklung der Dampfmaschine

Durch das Verdampfen und anschließende Kondensieren von Wasserdampf können sehr große Kräfte zur Wirkung kommen. Diese Kraftwirkung wurde in den ersten „atmosphärischen Dampfmaschinen“ ausgenutzt. Die Abbildung zeigt ein erstes Modell von Thomas Newcomen (1663-1729), dem Erfinder der Dampfmaschine.



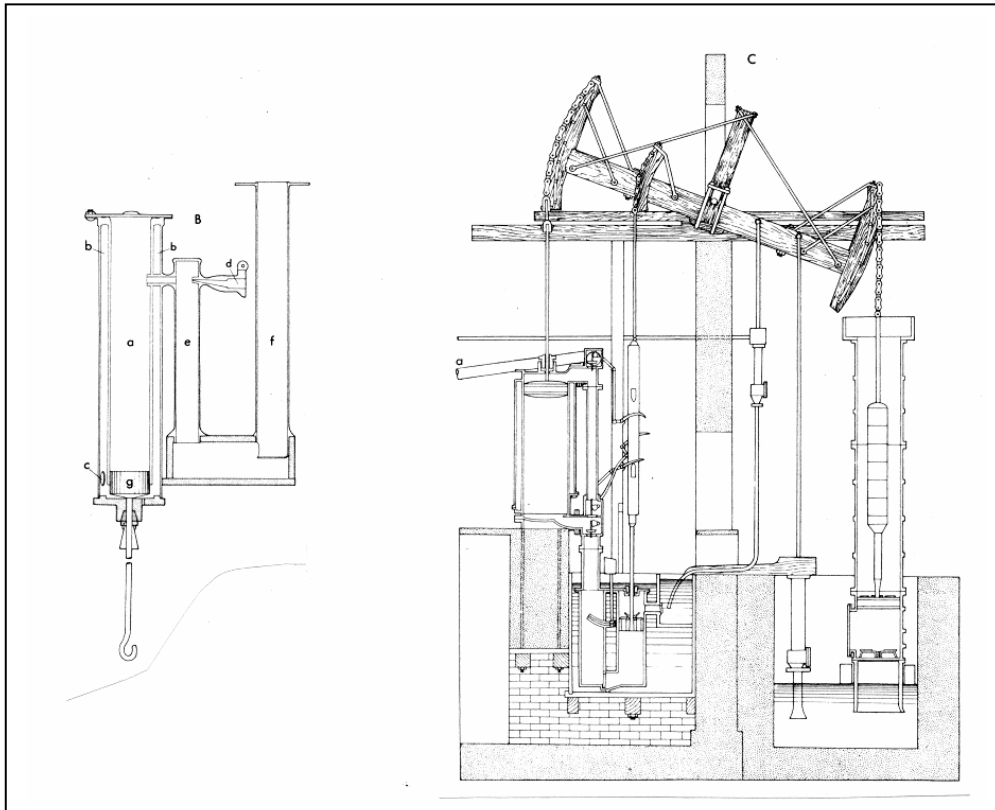
**A.** Th. Newcomens atmosphärische Dampfmaschine arbeitete folgendermaßen: (1) Dampf strömte durch das Ventil (b) in den Zylinder (a); der Kolben (c) wird durch die Dampfkraft (die nicht besonders groß war) nach oben gedrückt, so dass der Kolben größtenteils durch das Gewicht der Pumpenstange (d) nach oben bewegt wurde. Der Kolbenhub begann, wenn das Ventil (b) geschlossen wurde. (2) In diesem Augenblick wurde das andere Ventil (e) geöffnet und kaltes Wasser in den Zylinderraum gesprüht, so daß der Dampf kondensieren konnte. Der äußere Luftdruck bewegte nun den Kolben nach unten. Wenn der Kolben gut an die Zylinderwand angeschlossen war, war der Zylinderteil, in dem der Dampf kondensierte, fast luftleer. Eine Schwierigkeit gab es bei dieser Maschine, nämlich die Rauheit der Innenwand des Zylinders. Dieser war gegossen, da es keine Maschinen gab, ihn zu bearbeiten. Der Kolben wurde daher so gut wie möglich mit Leder- oder Seildichtungen abgedichtet. Um die Dichtwirkung zu verbessern wurde Wasser als Dichtungsmittel verwendet. Man ließ zu diesem Zweck auch Wasser aus dem Hahn (f) auf den Kolben tröpfeln oder sprühen. Bedingt durch diese unvollkommenen Mittel konnte bei jedem Kolbenhub nur die Hälfte des theoretisch zur Verfügung stehenden Energiepotentials genutzt werden.

Da der „Arbeitszylinder“ von Takt zu Takt abwechselnd heiß und kalt sein mußte, war der Wirkungsgrad dieser Maschine äußerst schlecht. James Watt (1736-1819) hatte die großartige Idee, heiß und kalt durch einen zusätzlichen **Kondensator** zu trennen (siehe Abb.10). Die Energienutzung der Dampfmaschine wurde so wesentlich verbessert, dass dem „Siegeszug“ dieser Maschine in der Zeit der „industriellen Revolution“ nichts mehr im Wege stand.

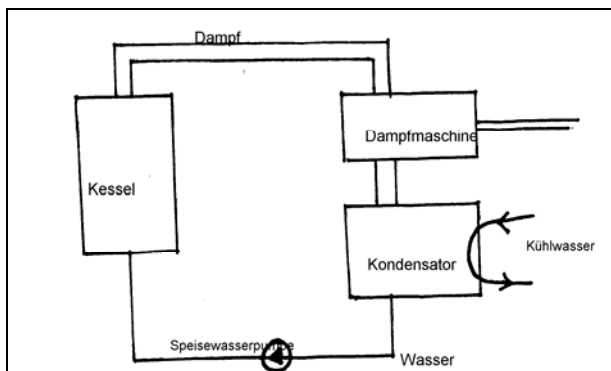
#### **B.** J. Watts Dampfmaschine mit einem Kondensator.

Um den Zylinder (a) war ein Mantelrohr (b) angebracht, in das der Dampf an der Stelle (c) eingelassen wurde. Anschließend strömte er über einen Hahn in den Zylinderraum (a). Die Luft, die aus dem Zylinder (a) verdrängt wurde, gelangte durch das Ventil (d) in den Kondensator (e). Sobald der Zylinder (a) vollständig

mit Dampf gefüllt war, wurde der Dampfahn geschlossen und der Kolben im Pumprohr (f) von Hand betätigt. Der Dampf, der in den Raum (e) strömte, kondensierte sofort, weil die Teile (e) und (f) mit kaltem Wasser gekühlt wurden; dadurch entstand ein Unterdruck, der den Kolben (g) nach oben bewegte.



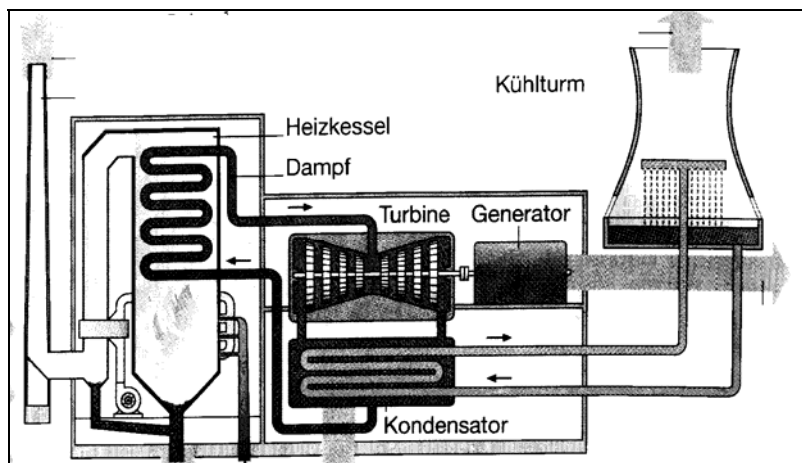
C. Die sogenannte Cornwallmaschine von J. Watt mit einem Kondensator. (a) Dampfzufuhrleitung vom Dampferzeuger.



Schematischer Aufbau einer Dampfmaschine mit geschlossenem Wasserkreislauf

Die Nachfolger von James Watt begannen, nachdem die technischen Möglichkeiten zur Herstellung von Zylindern und Dampferzeugerkessel wesentlich verbessert waren, die „Kraft des überspannten Dampfes“, also Dampf mit Überdruck zu nutzen. Es entstanden Dampfmaschinen mit geschlossenem Wasserkreislauf. Das im Kondensator verflüssigte Wasser wurde von einer dampfgetriebenen „Speisewasserpumpe“ in den Kessel zurückgepumpt. Solche Dampfmaschinen wurden in Schiffen und Schnellzuglokomotiven noch bis vor etwa 40 Jahren verwendet.

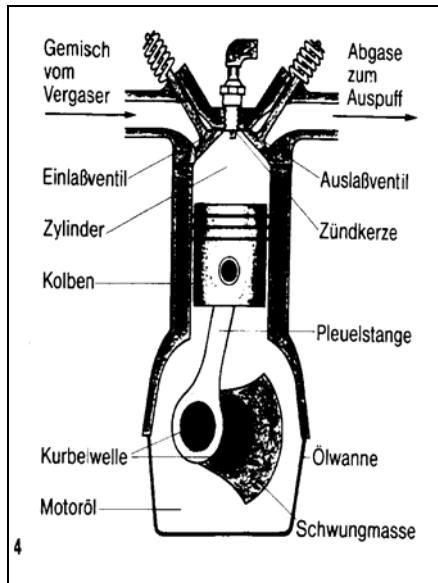
## 6.2. Wärmekraftwerke



Ersetzen wir in einer Dampfmaschine mit geschlossenem Wasserkreislauf den Arbeitszylinder durch eine Dampfturbine, die einen Generator antreibt, so erhalten wir ein „Wärmekraftwerk“, wie es heute als Kohle-, Öl-, Gas- und Kernkraftwerk eingesetzt wird.

Der schematische Aufbau eines Kohlekraftwerkes

### 6.3. Der Automotor



Ein weiterer Nachkomme der Dampfmaschine ist der Automotor, bei dem der Brennstoff (Benzin-Luftgemisch) direkt in den Arbeitszylinder gesaugt wird und dort verbrennt. Der Kolben treibt dann die „Schwungmasse“ und über eine Welle die Autoräder an.

Der schematische Aufbau eines Automotors

## 7. Praktikumsversuch **Energieströme durch eine Modelldampfmaschine**

### Ziele:

Es soll verdeutlicht werden, dass Energie immer irgendwo herkommt, dass Energie immer irgendwo hinget, dass Energie zum Strömen unterschiedliche „Energieträger“ benutzt, dass in Systemen, in denen die Energie von einem Energieträger auf einen anderen umgeladen wird („Energieumlader“), ein Teil der Energie auf unerwünschte Energieträger gelangt und somit „verloren geht“, dass der „Wirkungsgrad“ eines Systems angibt, wie groß der Anteil der einströmenden Energie ist, der auf den gewünschten Energieträger umgeladen wird.

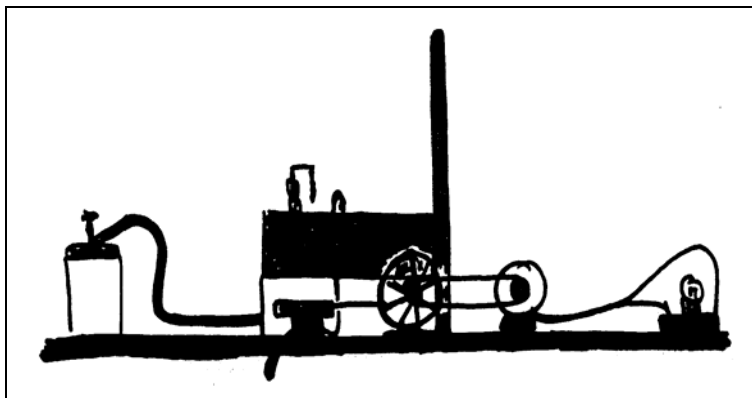
### Material:

Modelldampfmaschine  
Gasbehälter mit Silikonverbindungsschlauch  
Glühlampe (4 V; 0,04 A)  
Lampenfassung E10  
Transmissionsriemen  
Präzisionswaage

Gasbrenner  
Dynamo (Generator)  
Glühlampen (z.B. 4 V; 0,2 A)  
Verbindungskabel  
elektr. Leistungsmesser  
Stoppuhr

### Vorversuch:

Baue die skizzierte Anordnung auf. Fülle den Tank der Dampfmaschine zu einem Viertel mit Wasser.



**Kontrolliere während der Durchführung des Versuches immer wieder den Wasserstand; ohne Wasser wird der Kessel vom Gasbrenner zerstört!**

Heize die Dampfmaschine ein. Stelle den Gasbrenner so ein, dass sich das Schwungrad der Dampfmaschine gleichmäßig dreht.

### Aufgaben:

- Beschreibe den Weg, den die Energie nimmt und gib die verwendeten Energieträger an!



- Schraube die Glühlampe aus der Fassung; beschreibe und begründe die Veränderung der Drehung des Schwungrads.
- Schraube eine stärkere Lampe z.B. 4 V / 0,2 A in die Lampenfassung; beschreibe und begründe die Veränderung der Drehung des Schwungrades.
- Trotz der stärkeren Glühlampe soll das Schwungrad der Dampfmaschine sich so schnell wie mit der schwächeren Glühlampe drehen. Was musst du tun?

### **Messversuch:**

Der Gasbrenner soll so eingestellt sein, dass sich das Schwungrad der Dampfmaschine mit angeschlossener stärkerer Glühlampe gleichmäßig dreht.

- Baue den Leistungsmesser (elektr.) ein und ermittle die Stärke des Energiestroms, der durch die Kabel zur Glühlampe geleitet wird. Lies hierzu in der Gerätebeschreibung des Leistungsmessers nach!
- Ermittle mit der Waage, wieviel Gramm [g] Gas den Brenner in einer Minute verlassen und berechne mit diesen Angaben die Stärke des Gasstroms in [g/s].

### **Auswertung:**

Verbrennt 1 g Propangas unter Sauerstoffzuführung, so werden 46 kJ Energie abgegeben.

- Berechne die Wattzahl des Gasbrenners.
- Berechne den Wirkungsgrad der Dampfmaschine in %.

### **Zusätzliche Aufgaben:**

Verbessere den Wirkungsgrad der Dampfmaschine, indem du den „Abdampf“ in einen wassergekühlten Kondensator leitest

- Ermittle durch neue Messungen den Wirkungsgrad der Dampfmaschine im „Kondensatorbetrieb“.
- Erläutere den folgenden Satz: „Der Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine ist um so größer, je größer der Unterschied zwischen der Temperatur der in die Maschine hineinströmenden Wärme und der Temperatur der aus der Maschine herausströmenden Wärme ist.“

## **8. Literatur**

- [1] Dieter Plappert: Kumulatives Lernen - die Bildung des Entropiebegriffs in Sekundarstufe I, Praxis der Naturwissenschaften Physik 4/53, Juni 2004
- [2] Heiner Schwarze et al.: Entropielehre II, Unterricht Physik Aulisverlag Deubner, Frühsommer 2008
- [3] Dieter Plappert: Der Energiebegriff – die Verzahnung der Naturwissenschaften durch eine gemeinsame Fachsprache, Praxis der Naturwissenschaften Physik 6/55, Juni 2004

## **9. Vertrieb / Bezugsquelle:**



Naturwissenschaftliche und technische Einrichtungen - Lehrmittel - Planungen  
**79219 Staufen** Krozinger Straße 18 - Tel. 07633 / 81417 - Fax 07633 / 50825  
[www.laborplan.de](http://www.laborplan.de) e-Mail: Schneider.Laborplan@t-online.de