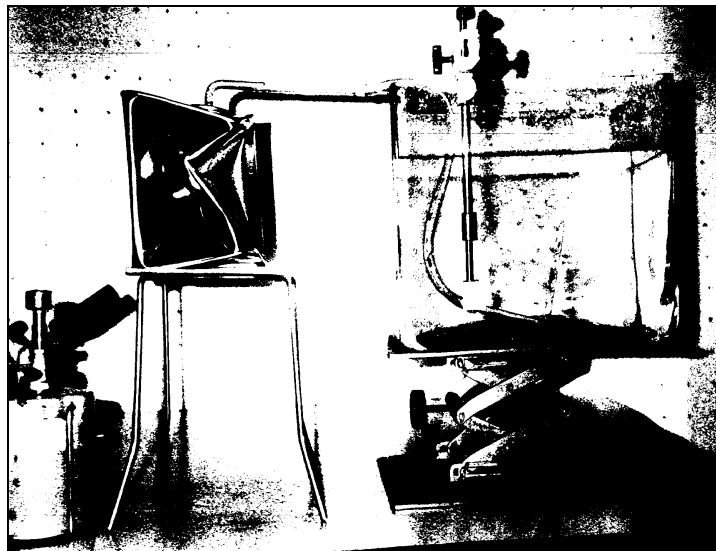


Ein Streifzug durch die Wärmelehre

Beispiel eines phänomenorientierten Physikunterrichts



1. Ein phänomenorientierter Physikunterricht

Das Staunen über ein unerwartetes Geschehen in der Natur, die Neugierde, der Wille dieses Geschehen zu verstehen, kann für jeden Menschen, insbesondere für Kinder der Ausgangspunkt für naturwissenschaftliches Beobachten und Denken sein. Immer genaueres Beobachten mit immer schärferem Nachdenken über diese Beobachtungen führt zu immer präziseren naturwissenschaftlichen Begriffen, die logisch aufeinander bezogen ein Begriffsgebäude ergeben, durch das einzelne Aspekte des Naturgeschehens immer besser beschrieben und verstanden werden können. Gleichzeitig führt der Tatendrang des Menschen dazu, die auf diese Weise gewonnenen Naturgesetze nach seinen Vorstellungen anzuwenden. Der Mensch wurde so zum Schöpfer der technischen Welt, in der wir heute leben.

Ein auf entsprechende Weise aufgebauter Physikunterricht kann einerseits die Schüler durch die am Anfang stehenden Versuche motivieren und andererseits sie anleiten, das genaue Beobachten und exakte Nachdenken zu üben. Mit den Schülern zusammen werden die physikalischen Begriffe entwickelt, die anschließend auf neue Erscheinungen in der Natur und Technik angewendet werden. Dabei werden sie immer lebendiger. Die begriffliche Fachsystematik steht hier also nicht am Anfang, sondern eher als Ziel am Ende des Unterrichtsgangs.

Die Phänomene, die in der Wirklichkeit auftreten, enthalten meist nicht nur eine einzige physikalische Gesetzmäßigkeit, sondern mehrere zugleich. Ein erster wichtiger Schritt besteht deshalb im Unterrichtsgang darin, diese komplexen Phänomene schrittweise in einfachere Erscheinungen zu zergliedern, um deren Gesetzmäßigkeiten nacheinander zu erarbeiten. Am Ende wird dann das ursprüngliche Phänomen als Zusammenspiel der einzelnen Gesetzmäßigkeiten verstanden.

Die Schüler erleben so, wie Naturwissenschaft aus der Naturbeobachtung heraus entsteht, und wie die im Unterricht gefundenen Gesetzmäßigkeiten überall in der uns umgebenden Natur und Technik wiederzufinden sind.

Ein solcher Unterrichtsaufbau soll hier am Beispiel der Wärmelehre skizziert werden. Er ist als Grundlage geeignet für das im „Bildungsplan für das Gymnasium“ genannte fächerverbindende Thema der Klasse 9 „Naturwissenschaft, Technik und sozialer Wandel“.

2. Ein einführender Versuch

V1: Erster Kanisterversuch

A (Versuchsaufbau):

- (1) Blechkanister (z.B. Speiseöl aus einer Gaststätte),
- (2) Dreifuß,
- (3) Bunsenbrenner,
- (4) Gummistopfen mit einem Glasrohr,
- (5) PVC-Schlauch,
- (6) wassergefülltes Aquarium,
- (7) Halterung aus Stativmaterial,
- (8) Glasrohr mit gezogener Spitze,
- (9) Ständer.

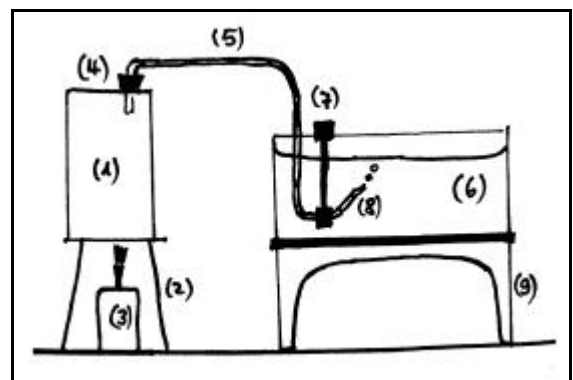


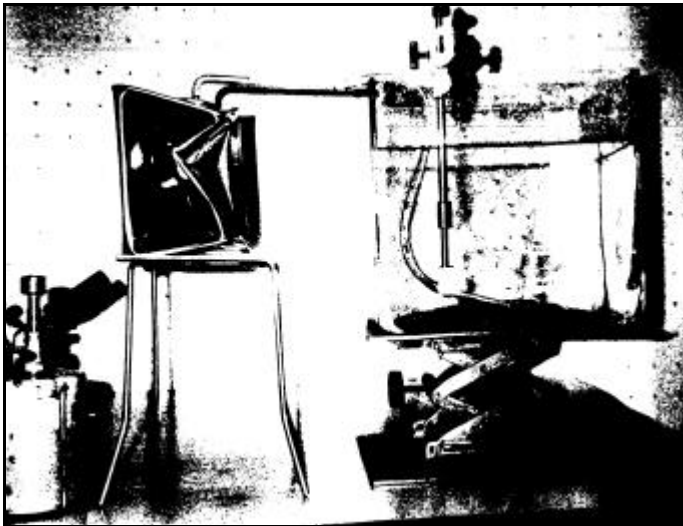
Abb.1: Vor dem Versuch

B (Versuchsdurchführung und Beobachtungen):

Vor dem eigentlichen Versuch wird in den Kanister eine kleine Menge kaltes Wasser gefüllt, bei einem 5 l-Kanister etwa 50 cm³. **Der Kanister wird dann so auf den Dreifuß gestellt, daß die Flammen direkt den Kanisterboden treffen können.** Der Bunsenbrenner wird in Betrieb gesetzt und unter den Kanister geschoben.

Beobachtungen:

Wasser, welches in das Glasrohr (8) gedrungen war, entweicht, der Wasserspiegel bewegt sich auf die Glasspitze zu. Erreicht er das Ende, beginnen Blasen zu entstehen, zunächst große, die an die Wasseroberfläche steigen; dabei entsteht ein „blubberndes“ Geräusch. Der Kanister wird etwas nach außen gebeult, es kann dabei ein Knacken zu hören sein. Im Lauf der Zeit kommt eine kleinere Blasenart hinzu; die großen Blasen werden seltener, die kleinen häufiger. Sie werden um die Spitze herum „versprüht“ und verschwinden, bevor sie die Wasseroberfläche erreichen; dabei entsteht ein „knatterndes“ Geräusch, dessen „Ton“ immer höher und gefährlicher klingt. Nach einiger Zeit treten keine großen Blasen mehr auf, nur noch kleine. Wird nun der Bunsenbrenner ausgedreht, so kommt auch die Bildung der kleinen Blasen nach kurzer Zeit zu einem Ende. Einige Zeit später wird der Kanister nach innen gebeult, es kann dabei ein erneutes Knacken auftreten. An der Glasspitze (8) tritt Wasser in das Glasrohr ein, der



Wasserspiegel bewegt sich zunächst im Glasrohr, dann im PVC-Schlauch in Richtung Kanister, den er nach einiger Zeit erreicht. Dann kann es sein, daß man das Auftreffen des Wassers auf dem Kanisterboden hört. Der Kanister verformt sich stark, und es beginnt ein kräftiger Wasserstrom in den Kanister zu strömen. Nach einiger Zeit kommt der Vorgang zum Erliegen (Abb. 2).

Abb. 2: Nach dem Versuch

C (Erklärungen, Gesetzmäßigkeiten, weitere Fragen):

Wir teilen den Ablauf des Versuchs in die folgenden 4 Phasen ein:

Mit eingeschaltetem Bunsenbrenner:

- I: Das Entstehen der großen Blasen
- II: Das Entstehen der kleinen Blasen

Mit abgeschaltetem Bunsenbrenner:

- III: Wasser steigt in den Kanister zurück
- IV: „Implosion“

Für den Versuchsablauf haben viele Schüler die folgende einfache Erklärung:

„Durch das Erhitzen wird die Luft im Kanister erwärmt, sie dehnt sich dabei aus und verläßt in Blasen den Kanister. Durch das Abkühlen zieht sich die Luft im Kanister wieder zusammen. Dadurch entsteht im Kanister ein Unterdruck, so daß der äußere Luftdruck das Wasser in den Kanister drückt. Erreicht das Wasser den Kanister, so wird die Luft im Kanister durch das kalte Wasser schnell abgekühlt. Dadurch wird der Unterdruck im Kanister so groß, daß der äußere Luftdruck den Kanister zusammendrückt.“

Diese vorläufige Erklärung soll im weiteren genauer untersucht und präzisiert werden. Dazu führen wir detailliertere Versuche durch und ermitteln die einzelnen Gesetzmäßigkeiten. Als erstes wollen wir nun das Ausdehnungsverhalten verschiedener Stoffe bei Wärmeeinwirkung untersuchen.

3. Die thermische Ausdehnung von festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen

Hier kann der übliche Unterrichtsstoff behandelt werden, wie etwa

- das Ausdehnungsverhalten der verschiedenen Stoffe
- Definition und Messung der Temperatur
- Definition und Messung der Dichte eines Stoffs
- Definition und Messung des Drucks in Gasen, insbesondere „Luftdruck“
- Präzisierung der Begriffe „Überdruck“ und „Unterdruck“

Im folgenden sollen hierzu einige Versuche ausgeführt werden:

V2: Volumenänderung durch „äußere Kräfte“

A:

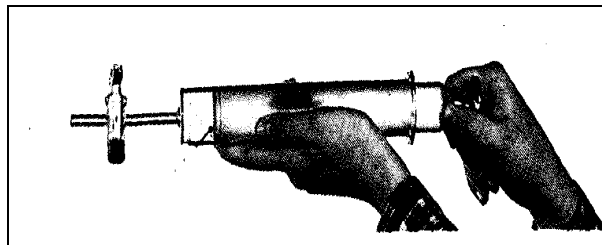


Abb.3:

Der

Kolbenprober wird zusammengedrückt

B:

Ein Kolbenprober mit verschließbarer Spitze wird nacheinander gefüllt mit einem festen Stoff (Glaskügelchen, Schrotkügelchen), einer Flüssigkeit (Wasser, Benzin) und einem Gas (Luft, Propangas). Der Hahn wird geschlossen. Es soll sich nur der zu untersuchende Stoff im Zylinder befinden. Der Kolbenprober wird dann so stark wie möglich zusammengedrückt.

C:

Das Volumen eines Gases lässt sich leicht durch äußere Kräfte verändern, bei flüssigen und festen Stoffen gelingt das so wenig, daß eine Volumenänderung nur im Labor mit feinsten Meßgeräten nachgewiesen werden kann.

Zahlenbeispiele:

Auf den senkrecht nach oben stehenden Kolben sei ein Gewichtsstück der Masse 1 kg gestellt. Dann ergeben sich die folgenden Volumenänderungen:

Luft bei Zimmertemperatur 50%

Eisen bei Zimmertemperatur 0,00005 %

V3: Die Lichtwippe

Die Lichtwippe wird von einem Teelicht bzw. Öllämpchen angetrieben, der Motor ist eine Feder aus Bimetall. Die Männchen wippen im gemütlichen Takt, solange die Flamme brennt.

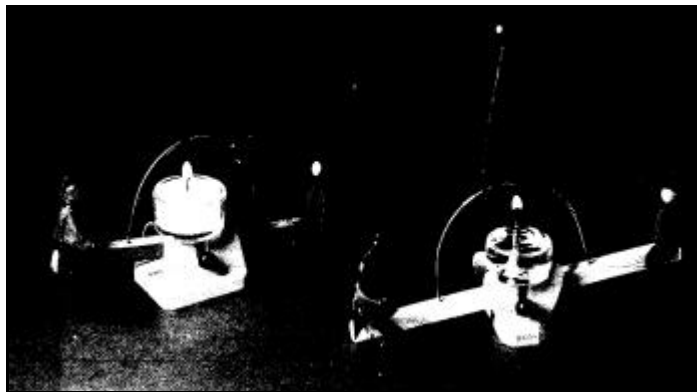
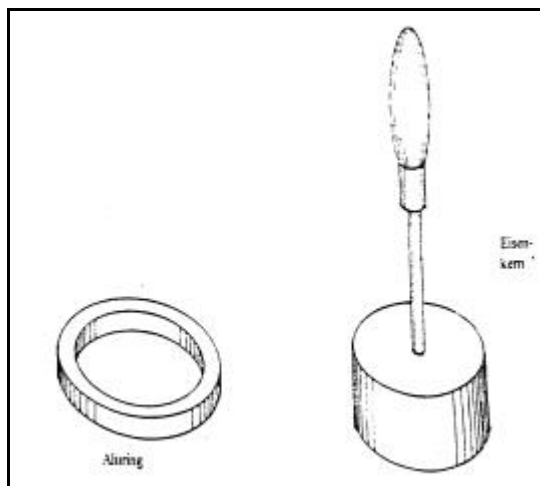


Abb. 4: Die Lichtwippe von Kraul

V4: Der Schrumpfring

Das Aufschrumpfen von Teilen ist in der Technik ein gängiges Befestigungsverfahren, das z.B. bei Lagern, Zahnrädern und Laufreifen von Eisenbahnrädern usw. angewendet wird.

Die Anordnung zur Demonstration dieses Sachverhaltes besteht aus zwei Teilen:

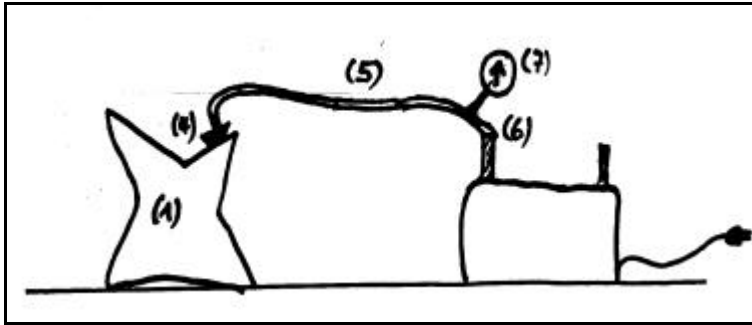
- dem Schrumpfring aus Aluminium und
- dem Eisenkern mit Handgriff.

Abb.5: Der Schrumpfring von LEU

V5: Das Ausbeulen des deformierten Kanisters

Um den verformten Kanister für die nächsten Versuche wieder verwenden zu können, wollen wir ihn durch diesen Versuch möglichst wieder in seine Ausgangsform zurückbringen.

A:



- (1) verformter Kanister,
- (4) Gummistopfen mit Glasrohr,
- (5) PVC-Schlauch,
- (6) „Druckausgang“ einer Vakuumpumpe,
- (7) ein mit einem T-Stück angeschlossenes Manometer

Abb.6: Der Kanister wird durch Preßluft ausgebeult

B:

Die Vakuumpumpe bläst Luft in den Kanister, der Luftdruck im Kanister wird so groß, daß die Kanisterwände nach außen gedrückt werden.

Anmerkung: Der Gummistopfen sollte nicht zu fest in den Kanister gedrückt werden, damit er bei zu großen Druck herausfliegen kann.

V6: Die „Volumenvergrößerung“ der Luft beim Kanisterversuch

A:

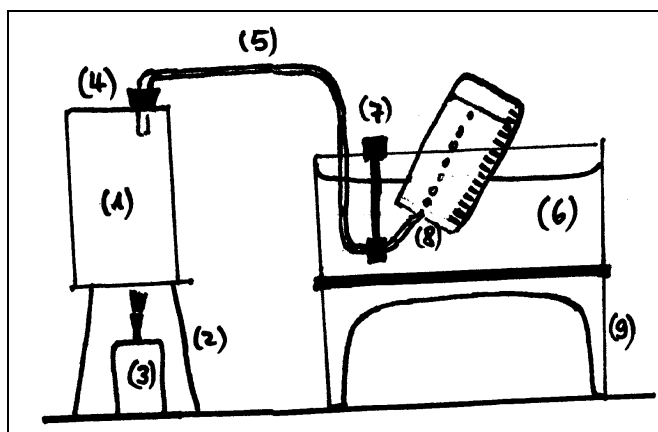


Abb. 7: Die Messung der beim Erhitzen des Kanisters austretenden Luftmenge

B:

Ein wassergefüllter Meßzylinder wird so über das Glasrohr (8) gehalten, daß alle austretenden Luftblasen aufgefangen werden können.

Der Versuch wird wie V1, jedoch ohne Wasser im Kanister durchgeführt und abgebrochen, wenn keine Luftblasen mehr austreten. Es kann auf diese Weise das

Volumen ΔV der aus dem Kanister ausgeströmten Luftmenge gemessen werden.

C:

Mit Hilfe der Gleichung des idealen Gases

$$p \cdot V = n \cdot k \cdot T,$$

wobei p der Druck, V das Volumen, n die Stoffmenge und T die (absolute) Temperatur des Gases und k die Boltzmannkonstante sind,

kann die Temperatur T_2 der erhitzten Luft im Kanister abgeschätzt werden:

Da in diesem Versuch der Druck p und das Volumen V der Luft im Kanister immer denselben Wert behalten, und nur die Stoffmenge n sich im Laufe der Erwärmung von der Ausgangstemperatur T_1 zu der Endtemperatur T_2 ändert, gilt:

$$(1) \quad p \cdot V = n_1 \cdot k \cdot T_1 = n_2 \cdot k \cdot T_2 = p \cdot V,$$

wobei n_1 die Luftmenge bei T_1 und $n_2 = n_1 - \Delta n$ die Luftmenge bei T_2 im Kanister sind.

Daraus folgt:

$$(2) \quad T_2 = \frac{n_1}{n_2} T_1 = \frac{n_1}{n_1 - \Delta n} T_1.$$

Erweitern wir (2) mit $\frac{kT_1}{p}$, so erhalten wir

$$(3) \quad T_2 = \frac{\frac{n_1 kT_1}{p}}{\frac{n_1 kT_1}{p} - \Delta n \frac{kT_1}{p}} T_1.$$

In (3) können wir nun $n_1 \frac{kT_1}{p} = V$ setzen, was aus (1) folgt.

Da die Luft im Meßbecher schnell wieder auf die Ausgangstemperatur T_1 abkühlt, gilt außerdem $\Delta n \frac{kT_1}{p} = \Delta V$.

Formen wir (3) entsprechend um, so erhalten wir

$$(4) \quad T_2 = \frac{V}{V - \Delta V} T_1.$$

Mit Hilfe dieser Beziehung können wir nun die mittlere Temperatur T_2 der erhitzten Luft im Kanister berechnen.

4. Der zweite Kanisterversuch

Nachdem wir das physikalische Ausdehnungsverhalten der verschiedenen Stoffe geklärt haben, kommen wir wieder auf unseren Ausgangsversuch zurück und besprechen mit den Schülern die Frage, welche Rolle das Wasser spielte, das vor der Durchführung des Versuchs in den Kanister gefüllt worden war. Die Schüler vermuten, daß dieses Wasser für den Ablauf des Versuchs keine Bedeutung hat. Wir wollen deshalb den Kanisterversuch ein zweites Mal aber ohne Wasser im Kanister durchführen.

V7: Der Kanisterversuch ohne Wasser

A: Derselbe Versuchsaufbau wie in V1; es wird jedoch ein zweiter Bunsenbrenner benötigt.

B (Kurzfassung):

1. große Blasen entweichen; die Blasenbildung nimmt langsam ab, bis sie ganz aufhört, obwohl der Bunsenbrenner weiter in Betrieb ist.
2. Erhitzen wir den Kanister zusätzlich durch den zweiten Bunsenbrenner, so treten zunächst weitere große Blasen auf; aber auch dann hört die Blasenbildung bald wieder auf; es entstehen in diesem Versuch keine kleinen Blasen.
3. Nachdem die beiden Bunsenbrenner abgedreht worden sind, steigt nach einiger Zeit wieder Wasser durch den Schlauch in den Kanister.
4. **Nach dem Auftreffen des Wassers auf den Kanisterboden beult sich der Kanister plötzlich sehr stark nach außen, es treten viele Blasen aus der Glasspitze aus, zunächst große, dann nur noch kleine, begleitet von dem aus V1 bekannten „knatternden“ Geräusch.** Nach einiger Zeit hört die Blasenbildung auf.
5. Einige Zeit später beginnt der Wasserspiegel von Neuem langsam durch den Schlauch zum Kanister zurückzusteigen.
6. **Beim Einströmen des Wasser in den Kanister wird er dieses Mal ähnlich wie in V1 stark nach innen verbeult, und es fließt ein kräftiger Wasserstrom in den Kanister.**

C:

Es wurde deutlich, daß das Wasser im Kanister für den Ablauf des Versuches eine entscheidende Rolle spielt.

Mit den bisher bekannten physikalischen Gesetzmäßigkeiten können wir nur die folgenden Abschnitte des Versuchs verstehen:

1. Die Dichte der Luft verkleinert sich bei der Temperaturzunahme; da das Volumen des Kanisters konstant bleibt, entweicht die überschüssige Luft in großen Luftblasen. Sobald sich ein Wärmegleichgewicht eingestellt hat, steigt die Temperatur der Kanisterluft nicht weiter, die Dichte der Luft bleibt konstant und es treten keine Luftblasen mehr aus.
2. Durch den zweiten Bunsenbrenner verschiebt sich das Wärmegleichgewicht, die Temperatur der Luft nimmt weiter zu. Überschüssige Luft verläßt solange den Kanister, bis sich ein neues Wärmegleichgewicht eingestellt hat.

Welche Rolle spielt aber das Wasser am Beginn des Versuchs?

Was passiert im 2. Kanisterversuch, wenn das Wasser zum erstenmal auf den heißen Kanisterboden trifft?

Das Wasser verdampft!

Im nächsten Abschnitt wollen wir nun die physikalischen Gesetzmäßigkeiten untersuchen, die beim Verdampfen eine Rolle spielen.

5. Aggregatzustände und Phasenübergänge

Neben den üblichen Inhalten sollte in dieser Unterrichtseinheit auf das Folgende besonders hingewiesen werden:

1. Wasserdampf ist ein unsichtbares Gas.
2. Nach dem Verdampfen bei 100°C und normalem Luftdruck nimmt eine bestimmte Menge Wasser einen fast 2000 mal so großen Raum ein. Verdampft 1 cm³ flüssiges Wasser, so nimmt es als Dampf unter diesen Bedingungen ein Volumen von etwa 2 l ein! Diese „Volumenzunahme“ können wir uns bildhaft durch einen Würfel veranschaulichen:

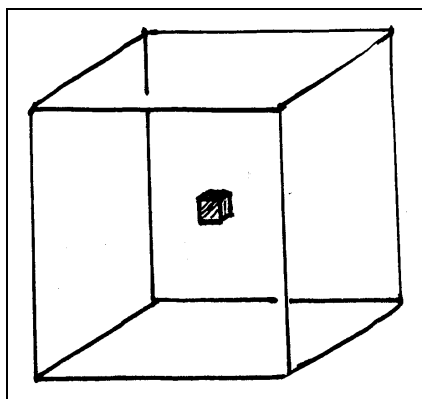


Abb.8: Rauminhalt derselben Wassermenge als Dampf und als Flüssigkeit

6. Die vollständige Erklärung des Kanisterversuchs

Zunächst die Erklärung des 2. Kanisterversuchs (V7) in Kurzfassung:

1. große Blasen: Luft entweicht (vergleiche V7 C:1.)
2. weitere große Blasen: Luft entweicht (vergleiche V7 C: 2.)
3. Ohne Bunsenbrenner sinkt nun die Temperatur der Kanisterluft, der Druck nimmt ab, die Druckdifferenz von Innen- und Außendruck treibt das Wasser in den Kanister.
4. Das auf den heißen Kanisterboden treffende Wasser verdampft plötzlich („**Dampfexplosion**“); dabei würde das Volumen des Wassers sich verzehntausendfachen, wenn der Druck konstant bliebe. Da der Druckausgleich wegen der dünnen Glasspitze nicht so schnell möglich ist, erhöht sich der

Innendruck; das am Kanisterboden gebildete Wasserdampfgas drückt zunächst die Luft, die sich noch im Kanister befindet, durch den Schlauch hinaus (große Blasen) und tritt dann selbst als kleine „Dampfblasen“ aus der Glasspitze aus. In diesen Blasen kondensiert an den Grenzflächen Wasserdampf zu flüssigem Wasser, die Blasen werden kleiner, „kollabieren“ und verschwinden ganz. Die zusammenbrechenden Blasen verursachen das „knatternde Geräusch“.

5. Der Kanister ist jetzt nur noch mit Wasserdampf gefüllt. Die Temperatur des Wasserdampfes nimmt ab, die so entstehende Druckdifferenz von Innen- und Außendruck (vergl. 3.) treibt das Wasser zum zweiten Mal in den Kanister zurück.
6. Tritt das kalte Wasser in den Kanister, so kühlt sich der Wasserdampf, der sich im Kanister befindet, so sehr ab, daß er zu kondensieren beginnt; Bei konstantem Druck würde sein Volumen etwa auf den 2000. Teil schrumpfen; da der Druckausgleich aber nicht so schnell möglich ist, sinkt der Innendruck schlagartig, bis auf etwa $1/50$ bar; im Innern des Kanisters entsteht ein recht großes „Vakuum“ (der Druck in einer „vakuumverpackten Kaffeedose“ beträgt immerhin noch etwa $1/10$ bar). Der äußere Luftdruck drückt nun den Kanister mit einer riesigen Kraft zusammen. (Die Kraft, mit der die äußere Luft auf 1 cm^2 Kanisterfläche drückt ist so groß wie die Gravitationskraft, die auf ein 1 kg -Stück wirkt, also etwa 10 N . Berechnen wir die Oberfläche des Kanisters, so können wir die Kraft abschätzen, mit der die äußere Luft insgesamt auf den Kanister drückt. Bei einen 5l-Kanister sind das einige $10\,000 \text{ N}$.)

Damit haben wir auch die Erklärung des 1. Kanisterversuch (V1):

- I: Luftblasen entweichen
- II: Das Wasser am Kanisterboden siedet; der dabei entstehende Wasserdampf verdrängt die Luft. Nach einiger Zeit treten nur noch Dampfblasen aus der Glasspitze.
- III: wie 6.5.
- IV: wie 6.6.

7. Die Entwicklung der Dampfmaschine

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

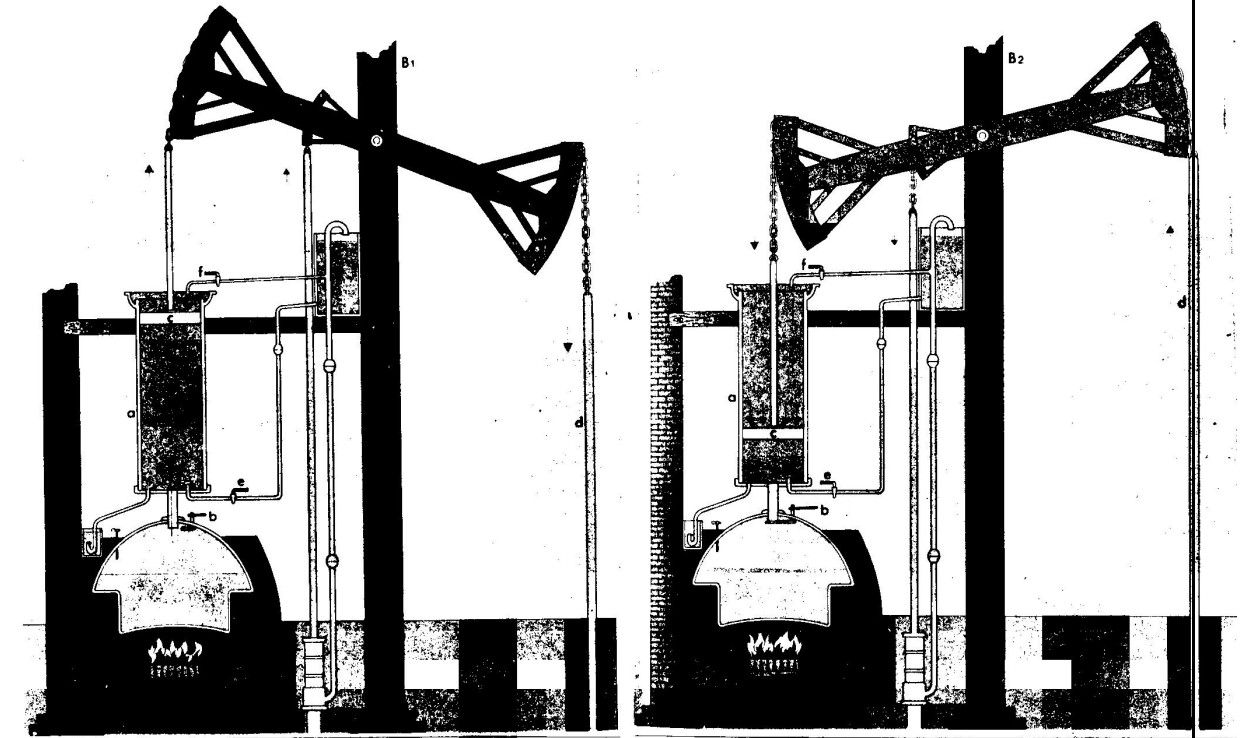
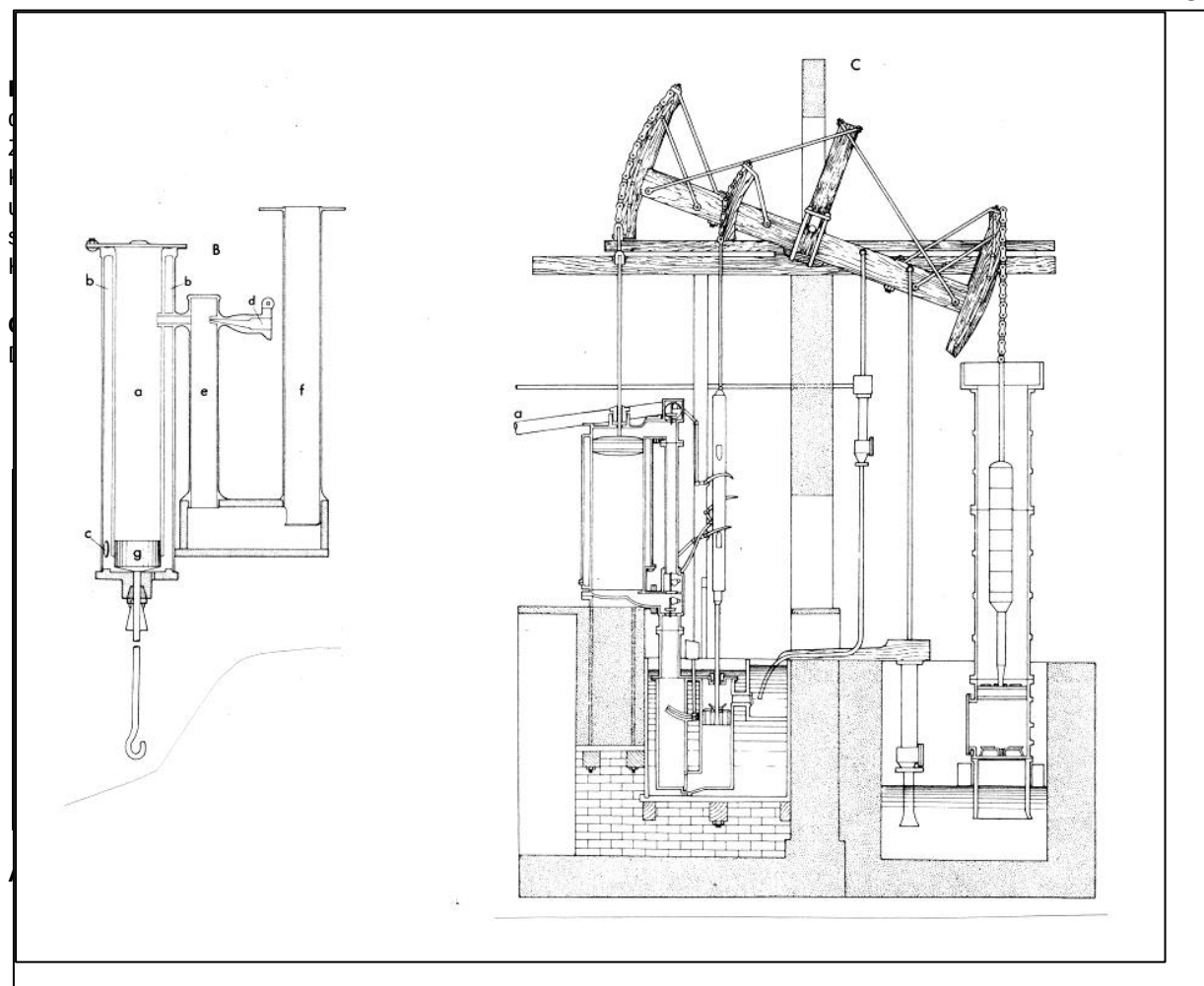


Abb.9: Die erste Dampfmaschine:

Th. Newcomens atmosphärische Dampfmaschine arbeitete folgendermaßen: (1) Dampf strömte durch das Ventil (b) in den Zylinder (a); der Kolben (c) wurde durch die Dampfkraft nach oben gedrückt, die nicht besonders groß war, 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 anschoß, 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 bohren. 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 Zwecke 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.



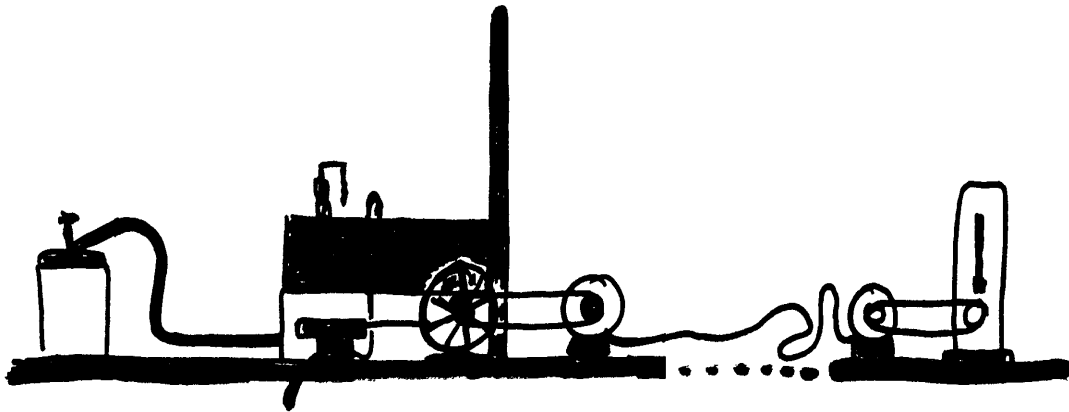
10. Eine mögliche Einführung des Energiebegriffs

V8: Der Grundversuch_

A:

Abb.14: Ein „Hammerwerk“ wird auf unterschiedliche Weise angetrieben

B:



Ein „Hammerwerk“, das in diesem Versuch an Stelle einer Fabrik steht, wird auf verschiedene Weise angetrieben: von einem Wasserrad, von einer Dampfmaschine. Seit Ende des letzten Jahrhunderts kann durch Dynamo (bzw. Generator) und Elektromotor das Hammerwerk weit entfernt vom Wasserrad bzw. von der Dampfmaschine betrieben werden. Auf diese Weise ist eine große Freiheit der Standortwahl von Fabriken entstanden.

C:

Das Hammerwerk „braucht etwas, das es antreibt“. In allen Versuchen kommt „das“ irgendwo her, wird nur auf unterschiedlichem Wege übertragen. „Das“, was hier übertragen wird, nannte man früher „Kraft“, was heute noch in „Kraftwerk“ und „Kraftfahrzeug“ zu erkennen ist; heute wird „das“ jedoch Energie genannt. Im 4. Beispiel tragen „Propangas und Sauerstoff“ die Energie in das Kraftwerk, der Treibriemen überträgt sie an den Dynamo, die strömende Elektrizität an den Elektromotor, der Riemen an das Hammerwerk. Alle Erfahrungen der Physiker haben gezeigt, daß Energie nicht aus dem Nichts erschaffen werden oder sich in Nichts auflösen kann, sondern daß die Energie immer irgendwo herkommt und immer irgendwo hingehet (beim Hammerwerk z.B. in warme Luft, denn die Hammer erzeugen Wärme, siehe V9).

Energie wird immer von einer Stelle zu einer anderen von einem „**Energieträger**“ transportiert (hier: ... Propangas-Sauerstoff, Dampf, Treibriemen, Elektrizität; Treibriemen, warme Luft,...)...

Die Einführung des Energiebegriffs auf diesem Weg kann hier nur angedeutet werden. Ausführlicher ist das in der im Anhang angegebenen Literatur zum „Karlsruher Physikkurs“ geschehen.

V9: Eisenschmieden

Mit einem Hammer schlagen wir kräftig auf einen großen Zimmermannsnagel. Der Nagel wird durch die Schläge geschmiedet und sehr heiß. Werden Wassertropfen auf den Nagel gespritzt, so kann es zischen.

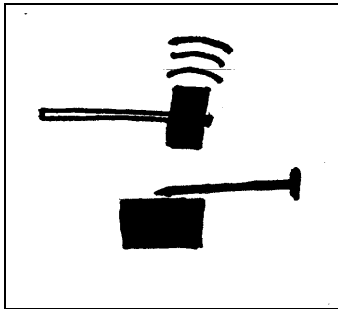


Abb.15: Ein Nagel wird geschmiedet

11. Der „Wärmeausgang“ von Wärmekraftmaschinen

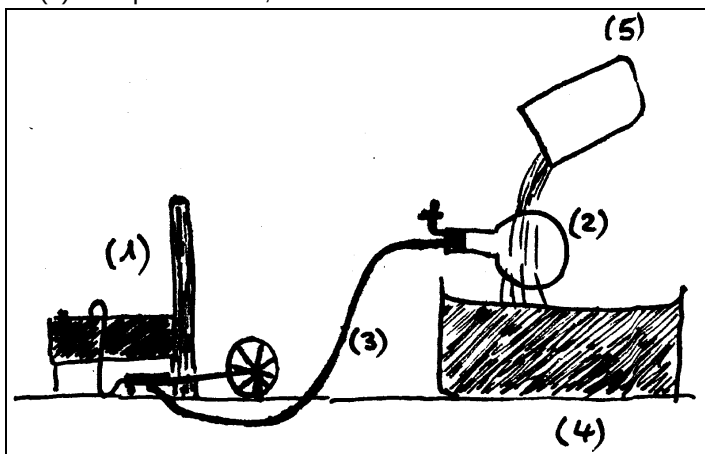
In diesem Abschnitt soll untersucht werden, warum beispielsweise alle Wärmekraftwerke „Wärmeausgänge“ benötigen (z.B. riesige Kühltürme).

V10: Der Wärmeausgang einer Dampfmaschine

A:

-

(1) Dampfmaschine,



Kondensator

(2) Erlenmeyerkolben,
(3) PVC-Schlauch,
(4) wassergefülltes Aquarium,
(5) Becherglas

Am Abdampfausgang einer Dampfmaschine (1) wird ein dünner PVC-Schlauch angebracht, der zu einem Erlenmeyerkolben führt. Der Gummistopfen, mit dem der Kolben verschlossen ist, hat eine zweite Bohrung, an der ein Glasrohr mit Hahn angebracht ist.

Abb.16: Eine Dampfmaschine mit

B:

Die Dampfmaschine soll bei offenem Hahn so lange laufen, bis sie gleichmäßig arbeitet. Dann wird der Hahn geschlossen. Die Dampfmaschine läuft unverändert weiter. Dann wird der Kolben über das Aquarium gehalten. Mit einem Becher wird kaltes Wasser aus dem Aquarium geschöpft und über den dampferfüllten Kolben gegossen. Die Dampfmaschine beginnt sich schneller und kräftiger zu drehen. Mit der Zeit steigt die Temperatur des Wassers im Aquarium.

C:

Obwohl der Dampfmaschine nicht mehr Brennstoff zugeführt wurde, liefert sie mehr Energie; durch das Kühlwasser kondensiert der Dampf im Kolben, es entsteht ein Unterdruck, die Energie des Brennstoffs wird durch den „Kondensatorbetrieb“ besser genutzt. Durch das Kühlen des Kondensators steigt die Temperatur des Wassers im Aquarium.

Das Verhältnis von der in einem Gerät genutzten Energie zu der in dem Gerät hineinströmenden Energie wird der „**Wirkungsgrad**“ des Geräts genannt. Der Wirkungsgrad unserer Dampfmaschine wurde also größer, indem wir die Temperatur des „Wärmeausgangs“ verkleinert haben. Experimentelle Untersuchungen und theoretische Überlegungen haben gezeigt, daß der Wirkungsgrad jeder Wärmekraftmaschine um so größer ist, je größer die Temperaturdifferenz zwischen „Wärmeeingang“ und „Wärmeausgang“ der Wärmekraftmaschine ist. Diese Tatsache können wir durch den folgenden Vergleich verstehen:

Ein Wasserkraftwerk kann um so mehr Energie eines Flusses nutzen, je größer der Unterschied der Höhe Δh des „Wassereingangs“ und des „Wasserausgangs“ ist.

Ein Wärmekraftwerk kann um so mehr Energie eines „Wärmestroms“ nutzen, je größer der Unterschied der Temperatur ΔT des „Wärmeeingangs“ und des „Wärmeausgangs“ ist.

Dieser Vergleich stammt von S. Carnot (1796-1832); statt „Wärmestrom“ sprechen wir heute von einem „Entropiestrom“; die Entropie strömt von hoher zu niedriger Temperatur. Je größer die Temperaturdifferenz ΔT ist, desto mehr Energie wird vom Entropiestrom abgeladen.

Durch weitere Versuche kann die Entropie als Energieträger im Unterricht lebendig gemacht werden. Man kann dann mit den Schülern erarbeiten, daß die Entropie der einzige Energieträger ist, der zwar erzeugt aber nicht mehr vernichtet werden kann. Diese Unsymmetrie kann dann als Ursache für die „Entwertung der Energie“ und der „Eindeutigkeit“ der Zeitrichtung erscheinen.

Diese Gesichtspunkte zu vertiefen würde aber auch den Rahmen dieses Streifzuges durch die Wärmelehre sprengen. Sie sind teilweise in der zum „Karlsruher Physikkurs“ angegebenen Literatur ausgeführt.

12. Zusammenfassung

Schrittweise werden in dem beschriebenen Unterrichtsgang zunächst komplexe Phänomene in einfachere zergliedert, die dann genauer untersucht werden. Der Ausgangsversuch wird am Ende als Zusammenspiel der einzelnen Gesetzmäßigkeiten erlebt. Viele Erscheinungen der die Schüler umgebenden Natur und Technik können im Unterricht behandelt werden. Die im Unterricht gelernten Gesetze und Begriffe erscheinen so nicht nur brauchbar für das Verständnis der alltäglichen Welt, sondern sie werden immer lebendiger.

Die Schattenseiten der Technik, die durch die Anwendung der von den Naturwissenschaftlern erkannten Gesetze entstanden sind, wurden in den letzten Jahrzehnten immer deutlicher. Es stellte sich heraus, daß die Zusammenhänge in der Natur noch wesentlich komplexer sind, als die Naturwissenschaftler geahnt hatten. Deshalb ist es gerade heute notwendig, daß auch im Physikunterricht nicht nur einfache, meist „künstliche“ Erscheinungen, sondern auch komplexe Zusammenhänge untersucht werden. Nur das unvoreingenommene präzise Beobachten einer gesamten Erscheinung und das umfassende Nachdenken über diese Beobachtungen kann uns zu Erkenntnissen führen, die uns helfen, die anstehenden Zukunftsprobleme zu lösen.

Bezugsquellen:

Kanister:

Geeignet sind 5 l-Kanister für Speiseöl (Gaststätten) und Lösungsmittel (Maler). Manche Bierfässer sind ungeeignet, da sie innen mit Kunststoff überzogen sind. Der Bezug von Kanistern ist auch über Fa. Leybold möglich.

Lichtwippe:

Walter Kraul GmbH, Neufahrner Weg 2, 82057 Icking.

Interessant sind auch die Optik-Schüler-Kästen „Licht und Schatten“ und „Licht und Farben“, deren Einzelteile als Klassensätze preiswert erworben werden können.

Schrumpfring:

LEU, Rotebühlstr. 133, 70197 Stuttgart

Stirlingmotor:

Opitec, Postfach 20, 97232 Giebelstadt-Sulzdorf

Interessant sind auch die vielen anderen Bausätze, die für Schülerübungen preiswert eingesetzt werden können.

„Dynamo-Motor“:

Maxon Motor, Wardeinstr. 3, 81825 München

Motornummer: 2332.966-12.216-200 Preis etwa 160 DM

Strömungswächter:

Bürkle, Basler Str. 83, 79540 Lörrach

Lebensmittelfarbe rot:

Leybold Nr. 30942

„Der Karlsruher Physikkurs“:

Abteilung für Didaktik der Physik, Universität, 76128 Karlsruhe

F. Herrmann, „Physik, ein Lehrgang für die Sekundarstufe 1“, Band 1 und Band 2, sowie einen Band „Unterrichtshilfen für den Lehrer“.

Preis für alle Bände zusammen: 20 DM