

Der Energiebegriff

– die Verzahnung der Naturwissenschaften durch eine gemeinsame Fachsprache

D. Plappert

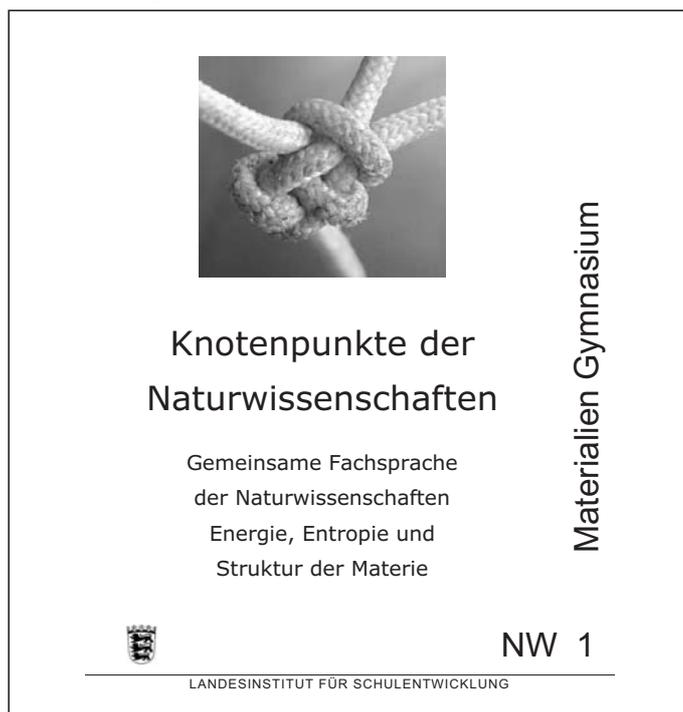
1 Einleitung

Immer deutlicher tritt die Notwendigkeit ins Bewusstsein, die verschiedenen Naturwissenschaften stärker miteinander zu verzahnen. Dies setzt voraus, dass die im Unterricht der einzelnen Naturwissenschaften verwendete Fachsprache und die zentralen Konzepte aufeinander abgestimmt werden. Die Ergebnisse, die in fächerübergreifenden Gesprächen der naturwissenschaftlichen Bildungsstandard-Gruppen in Baden-Württemberg erreicht wurden, sollen hier vorgestellt werden. Am Beispiel des Energiebegriffs soll exemplarisch gezeigt werden, wie die Einführung eines naturwissenschaftlichen Begriffs von der Alltagssprache ausgehend schrittweise hin zu einem quantitativ gefassten Fachbegriff erfolgen kann und wie sich dabei die einzelnen naturwissenschaftlichen Fächer gegenseitig nicht nur befruchten sondern auch gegenseitig tragen können.

2 Knotenpunkte der Naturwissenschaft

Die naturwissenschaftlichen Bildungsstandard-Gruppen in Baden-Württemberg haben sich vier Jahre lang regelmäßig

Abb. 1: Knotenpunkte der Naturwissenschaft



getroffen, um die Fachbegriffe und Konzepte der unterschiedlichen Fachdisziplinen aufeinander abzustimmen. Das in [1] veröffentlichte Ergebnis (Abb. 1 und 2) konnte aufgrund der vertrauensvollen Zusammenarbeit erreicht werden, die sich durch die vielen Gespräche entwickelt hatte. Es konnten Missverständnisse und Ängste abgebaut werden. Durch das leichte Modifizieren einiger der in den verschiedenen Fächern verwendeten Begriffe und Konzepte konnten diese an Allgemeingültigkeit gewinnen und so den Schülerinnen und Schülern den Zugang zu den Naturwissenschaften erleichtern. Die Diskussionen um gemeinsame Begrifflichkeiten deckten einige Unschärfen auf. Manche Begriffe (insbesondere aus dem Graubereich zwischen Umgangssprache und Fachsprache) wurden sogar unter den Fachleuten gleicher Fächer unterschiedlich interpretiert. Im Unterricht fällt dies dem einzelnen Fachlehrer nicht auf – wohl aber den Schülern, die von einer Vielzahl von Lehrern unterrichtet werden. Die Diskussionen in dieser fächerübergreifenden Arbeitsgruppe zeigten, dass sich die Beschäftigung mit den Konzepten der jeweils anderen Disziplin lohnt. Die Umsetzung dieser Ergebnisse an der Schule setzt die prinzipielle Bereitschaft der Kooperation und Kompromissbereitschaft voraus. Dem Aufwand stehen fruchtbare Diskussionen mit den Kolleginnen und Kollegen und neue Sichtweisen und Erkenntnisse gegenüber.

Abb. 2: Inhaltsverzeichnis der Knotenpunkte

VORWORT	5
1 KNOTENPUNKTE DER NATURWISSENSCHAFTEN	7
1.1 KNOTENPUNKT SYSTEME	8
1.1.1 Ordnungssysteme	8
1.1.2 Bezugssysteme	9
1.1.3 Dynamische Systeme	10
1.1.3a Regulation von dynamischen Systemen	11
1.1.3b Kreisläufe	12
1.2 KNOTENPUNKT ENERGIE	13
1.3 KNOTENPUNKT STOFFE UND TEILCHEN	15
1.4 KNOTENPUNKT GRÖßEN UND GRÖßENSYMBOLS	17
2 FACHSPRACHE	21
2.1 ENERGIE	22
2.1.1 Wichtige Begriffe	22
2.1.2 Begriffe und Formulierungen, die präzisiert werden sollen	26
2.1.3 Verzichtbare Begriffe	27
2.2 STROM, STROMSTÄRKE, ANTRIEB, WIDERSTAND	28
2.2.1 Analogien	28
2.2.2 Strom – Antrieb – Widerstand: Energiefluss	29
2.3 ENTROPIE	30
2.3.1 Wärme, Temperatur, thermische Energie	30
2.3.2 Übersicht zur weiteren Vereinheitlichung der Sprechweisen	37
2.4 STRUKTUR DER MATERIE (MODELL-EBENE)	38
2.5 STOFFE	39
2.6 REAKTIONEN	40
ANHANG 1: ZUM PHYSIKALISCHEN ENTROPIEBEGRIFF	42
ANHANG 2: BEISPIELE FÜR DIE ANWENDUNG VON ENTROPIE-BETRACHTUNGEN	43
ANHANG 3: WIRKUNGSGRAD	44
ANHANG 4: ENTROPIE UND "UNORDNUNG"	44
ANHANG 5: GIBBS-HELMHOLTZ-GLEICHUNG	45
3 MODELLE ZUR BESCHREIBUNG DER STRUKTUR VON MATERIE	46
3.1 VORBEMERKUNG	46
3.2 MODELLE ZUM DISKONTINUIERLICHEN AUFBAU DER MATERIE	47
3.2.1 Naturphänomene	48
3.2.2 Physik	48
3.2.3 Chemie und Biologie	49

Im ersten Abschnitt des Heftes mit der Überschrift „Knotenpunkte der Naturwissenschaften“ sind die gemeinsamen Themen und Konzepte der Naturwissenschaften sowie die verwendeten Größen tabellarisch zusammengestellt. Die Übersicht (Exzerpt der Bildungsstandards) soll zum einen auf die Berührungspunkte in den Naturwissenschaften aufmerksam machen, zum anderen die zeitliche und inhaltliche Planung des Unterrichts unterstützen.

Die in den einzelnen Fächern verwendete Fachsprache kann bei Schülerinnen und Schülern unnötige Verständnisprobleme aufbauen, wenn sie unzureichend an die Umgangssprache anknüpft und wenn sie in den gemeinsamen „Knotenpunkten“ uneinheitlich eingesetzt wird. Begriffsbildung verlangt von den Schülerinnen und Schülern einen Konstruktionsprozess. Dieser wird durch eine einheitlich verwendete Fachsprache unterstützt und durch unterschiedliche Sprechweisen eher behindert. Der zweite Abschnitt „Fachsprache“ gibt hier Hilfestellung und enthält Vorschläge zu einer Begriffsreduktion.

Bei der Diskussion um eine gemeinsame Fachsprache geht es u. a. um die Fragen:

- Werden in den Naturwissenschaften für gleiche Sachverhalte auch die gleichen Formulierungen verwendet? Weiß die eine Fachschaft überhaupt, welche Sprachregelungen in der anderen Fachschaft getroffen wurden?
- Wenn sich in den Fachsprachen der Disziplinen unterschiedliche Terminologien eingebürgert haben, wird den Schülerinnen und Schülern auch der jeweilige Zusammenhang zwischen den konkurrierenden Begriffen vermittelt?
- Kann die Flut von Fachbegriffen reduziert werden?
- Korrespondieren umgangssprachliche oder pseudowissenschaftliche Formulierungen mit der Fachwissenschaft?

Hauptsächlich geht es um die Vermeidung unbedachter Formulierungen, die bei Schülerinnen und Schülern ein falsches Bild vermitteln und um die Einführung von Formulierungen, die den wissenschaftlichen Hintergrund stärker hervortreten lassen.

3 Schrittweise vom Qualitativen zum Quantitativen – zur Begriffsbildung im naturwissenschaftlichen Unterricht

Der didaktische Weg zur Einführung physikalischer Sachverhalte wird in den Bildungsstandards Physik von Baden-Württemberg [2] auf die folgende Weise beschrieben: „Am Anfang eines Physikverständnisses steht die Auseinandersetzung mit den Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler, die sie in den Unterricht mitbringen. Phänomene führen zu physikalischen Fragestellungen. Erklärungen werden in Bildern, Modellen und Experimenten veranschaulicht und schrittweise mithilfe der physikalischen Fachsprache gefasst. Das im Rahmen der physikalischen Grundbildung an speziellen Beispielen erworbene Wissen über Fakten und begriffliche Strukturen sowie die dabei entwickelten Fähigkeiten müssen auf neue Fragestellungen anwendbar sein“. Eine Folge davon ist, dass die Begriffsbildung zunächst auf einer eher qualitativen Stufe verbleibt und erst bei der weiteren Schärfung des Begriffs mehr und mehr die quantitative Stufe erreicht. Dieser Weg unterscheidet sich damit erheblich von der Art, wie traditionell

physikalische Größen im Unterricht eingeführt werden, indem sie

- entweder von anderen physikalischen Größen, den so genannten Basisgrößen, abgeleitet oder
- durch eine Messvorschrift definiert werden, die aus dem Dreischritt („Einheit“, „Gleichheit“, „Vielfachheit“) besteht.

Aus lernpsychologischen Gründen ist dieser Weg für einen Anfangsunterricht ungeeignet und überhaupt nicht konsequent durchführbar.

Interessant in diesem Zusammenhang ist vielleicht, dass *Richard P. Feynman* genau diesen Weg in seinem Hochschulbuch „Vorlesungen über Physik“ [3] für Anfänger und Fortgeschrittene zur Einführung des Energiebegriffs wählte: Seine Ausgangsfrage „Was ist Energie“ ist der Anlass, die Idee der physikalischen Größe Energie zunächst verbal zu umreißen, die Erhaltungseigenschaft der Energie durch Analogiebetrachtungen plausibel zu machen um danach den Energiebegriff schrittweise zu quantifizieren.

4 Die Stufen der physikalischen Begriffsbildung

Der im Bildungsplan 2004 [2] beschriebene „didaktische Weg“ soll schematisch in „sechs Stufen der Begriffsbildung“ eingeteilt werden. Diese sechs Stufen können im Prinzip bei der Einführung jeder physikalischen Größe im Unterricht unterschieden werden. Es ist jedoch nicht daran gedacht, dass die hier genannten Stufen immer zwangsläufig hintereinander erreicht werden sollen. Im realen Unterricht sind die Übergänge oft fließend. Trotzdem kann diese gedankliche Einteilung des Begriffsbildungsprozesses in Stufen zur Reflexion des eigenen Tuns hilfreich sein. In [4] wurde dies für die Größen Energie, Energiestromstärke, Wasserstromstärke, Druck, elektrische Stromstärke, elektrisches Potenzial, elektrische Spannung, Impuls und Entropie dargestellt. Im Folgenden sollen diese unterschiedenen Stufen zunächst kurz erläutert werden. Anschließend sollen sie helfen, den vorgeschlagen Weg zur Bildung des Energiebegriffs verständlich zu machen.

4.1 Präkonzepte

Die physikalische Begriffsbildung nimmt ihren Ausgangspunkt bei den Präkonzepten der Schülerinnen und Schüler. Diese werden aufgegriffen. Der Physikunterricht muss durch Phänomene und Fragestellungen Anreize geben, dass sich die Schülerinnen und Schüler ihre Begriffe in Richtung der physikalischen Begriffe hin schrittweise entwickeln können. Je nach Aufbau des Physikunterrichts liegen „Präkonzepte“ auch aus zuvor behandelten Unterrichtseinheiten vor, mit denen die neuen physikalischen Größen vernetzt werden: Die Schülerinnen und Schüler können so kumulatives Wissen aufbauen.

4.2 Ausgangsphänomene – Ausgangsfragen

Das Kennen lernen von Erscheinungen in Natur und Technik und das genaue Beobachten stehen in einem Anfangsunterricht natürlicherweise im Zentrum. Aus lernpsychologischen und insbesondere lernökonomischen Gründen sollte die Auswahl der dabei betrachteten Phänomene nicht willkürlich sein und auch nicht nur dadurch bestimmt sein, dass die Phänomene spektakulär sind. Das zentrale

Auswahlkriterium sollte vielmehr sein, ob die Schülerinnen und Schüler im Laufe des weitem Unterrichts aus den betrachteten Beispielen zentrale methodische oder begriffliche physikalische Konzepte herauschälen können oder nicht. In [5], [6] und [7] wurde ausführlich dargestellt, wie dies für die physikalischen Größen elektrische Stromstärke, Spannung, Impuls und Entropie geschehen kann.

4.3 Idee der physikalischen Größe

Eigenschaften und Beziehungen zu anderen physikalischen Größen werden zunächst verbal beschrieben. Dadurch werden die Begriffe schrittweise geschärft und miteinander vernetzt.

4.4 Typische Werte und Maßeinheiten

Wenn sinnvolle Fragestellungen es erfordern, werden die Maßeinheiten und typische Messwerte ermittelt oder genannt.

4.5 Umgang mit Messgeräten

Durch das Ermitteln sinnvoller Werte der betrachteten Größe wird eine weitere quantitative Stufe der Begriffsbildung erreicht.

4.6 Quantitative Beziehung („Formeln“) zu anderen physikalischen Größen

Mit zunehmender Schärfe der physikalischen Begriffsbildung und Fragestellung kann es an einzelnen Beispielen sinnvoll werden, die eigentliche quantitative Stufe zu erreichen, jedoch nicht als Selbstzweck sondern immer durch sinnvolle konkrete Fragestellungen begründet.

5 Die Bildung des Energiebegriffs

5.1 Präkonzepte

Energie ist ein Begriff unserer Alltagssprache. Seine Bedeutung deckt sich jedoch nur zum Teil mit dem des naturwissenschaftlichen Fachbegriffs. Wind, Strom, Kraft, Licht, Wärme, ... und viele andere alltagssprachliche Begriffe haben eine große Schnittmenge mit dem physikalischen Energiebegriff. Es kommt nun darauf an, aus diesem alltagssprachlichen Begriffen den physikalischen Energiebegriff herauszuschälen, ihn einerseits immer schärfer zu konturieren, ihn aber andererseits immer besser mit den verwandten alltagssprachlichen Begriffen zu verbinden. Hierbei kann die Unterscheidung zwischen der Energie und den die Energietransporte begleitenden „Energieträger“ hilfreich sein.

5.2 Ausgangsphänome – Ausgangsfrage

Hier seien zwei mögliche Ausgangsfragen angeführt, die im Unterricht, z. B. in einer Gruppenarbeit, bearbeitet werden können:

- Versuche die Funktionsweise der in Abb. 4 dargestellten Maschine zu verstehen und erläutere, ob es eine solche Maschine gibt und welchen Vorteil sie hat im Vergleich zu vielen anderen Maschinen.
- Treibe den Lüfter (Abb. 5) des Bausatzes [8] auf möglichst unterschiedliche Arten an.

Rot-Grün will mehr Wind zu Strom machen

Der Bundestag verabschiedet mit den Stimmen der Regierungsparteien das Gesetz zu erneuerbaren Energien. Ökostrom soll weiter durch feste Preise gefördert werden



Berlin – Ökostrom aus Windenergie, Sonne oder Biomasse wird weiter über Fixpreise gefördert. Die Kosten dafür sollen auf den Strompreis umgelegt werden. Windräder werden weiter, wenn auch gedrosselt gefördert.

...

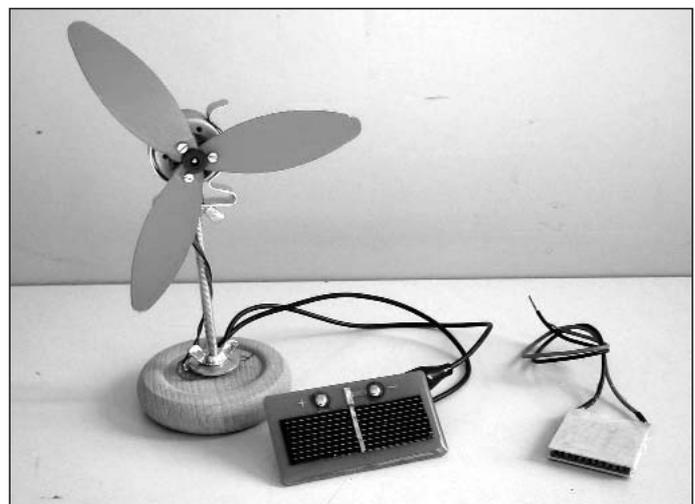
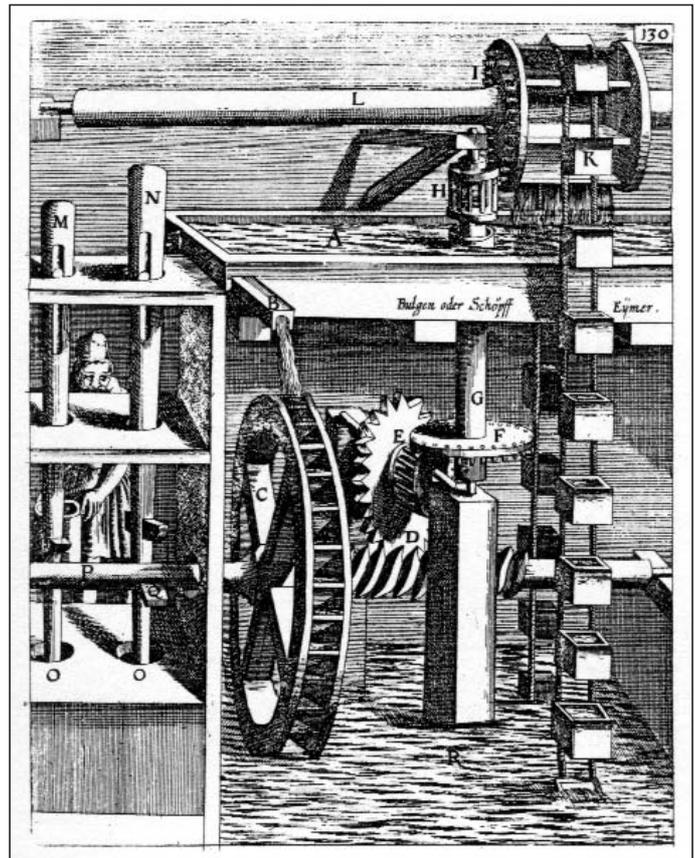
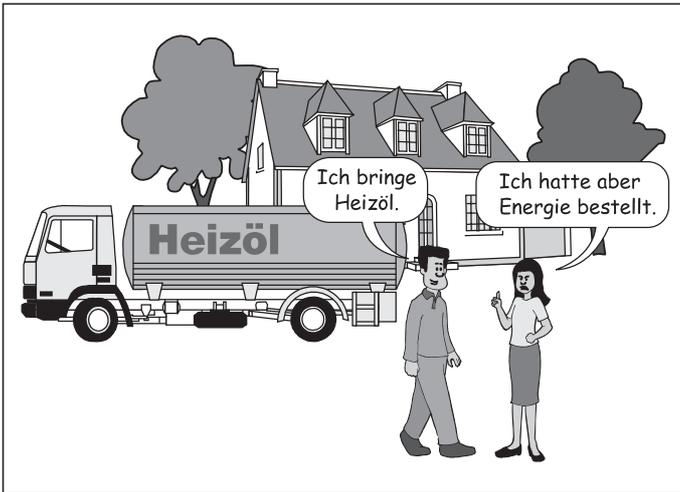


Abb. 3 (oben): Wie kann Wind zu Strom werden? (Quelle: *Die Welt* vom 24. Juli 2006)

Abb. 4 (Mitte): Eine geniale Maschine

Abb. 5 (unten): Der Lüfter wird auf verschiedene Weise angetrieben.



werden, aber es wird immer ein Antrieb benötigt (z.B. Licht, Wind, warm und kalt, elektrischer Strom, ...).

Wir fassen zusammen:

- Zum Heizen, zum Beleuchten, zum Fahren, zum Musikhören, zum Leben, ... brauchen wir immer „Etwas“. Dieses „Etwas“ kommt immer irgendwo her. In der Naturwissenschaft wird dieses „Etwas“ *Energie* genannt. Im Folgenden werden wir immer mehr Eigenschaften der Energie kennen lernen und dadurch immer genauer wissen, was in der Naturwissenschaft mit Energie gemeint ist.

5.3 Die Idee der physikalischen Größe Energie

Im Folgenden seien einige der Eigenschaften der physikalischen Größe Energie aufgelistet, die die Schülerinnen und Schüler durch den nachfolgenden Unterricht kennen lernen können. Ein solcher Unterricht ist in [5] ausführlicher beschrieben. Dabei kann der in Abb. 7 dargestellte „Energie-Träger-Stromkreis“ vorteilhaft eingesetzt werden. Er verbildlicht, äußerlich sichtbar, den Zusammenhang von Wasserstrom, elektrischem Strom und strömender Energie: Das Drehen des Propellers zeigt an, dass Energie von der Pumpe zum Propeller strömt, dass das strömende Wasser und die strömende Elektrizität diesen Energietransport bewirken, dass Energie von einer Station zur nächsten immer weiter strömt und das Wasser und Elektrizität im Kreis strömen.

Wir fassen zusammen:

- Energie strömt von einer Stelle zu einer anderen.
- Reine Energie gibt es nicht (Abb. 6); zum Transport wird immer etwas Zweites, z. B. Kohle, Wasser, Licht, elektrischer Strom, ... benötigt.
- Die Eigenschaften der Energie und der zweiten am Energietransport beteiligte Größe (Wasser, Licht, Wind, Elektrizität, ...) können immer dort am besten unterschieden werden, wo sich ihre Wege trennen oder vereinen: an der Pumpe, am Wassergenerator, am Föhn, am Windkraftwerk, an der Glühlampe, an der Solarzelle, am Elektromotor, am Dynamo, ...
- Wasser, Elektrizität, Kartoffeln, Licht, Wind, Heizöl, Benzin, ... transportieren Energie, wir können sie als Energieträger¹⁾ bezeichnen. (Energie-Träger-Konzept)
- Im Energie-Träger-Stromkreis strömt die Energie von einer Station zur nächsten weiter, das Wasser und die Elektrizität strömen aber im Kreis (Abb. 8).
- Die Pumpe belädt das Wasser mit Energie, der Wassergenerator lädt Energie von Wasser auf Elektrizität um, ...

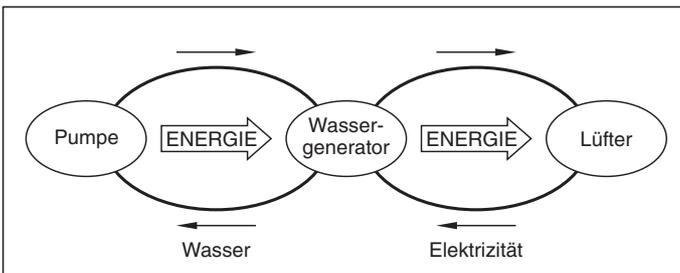
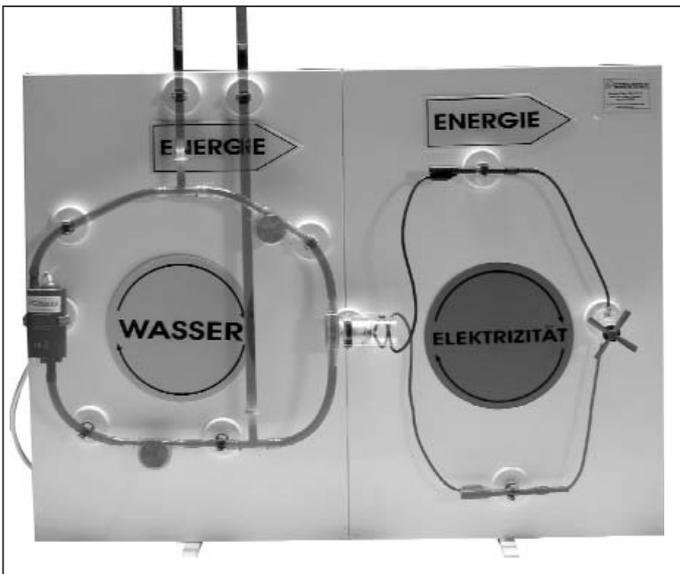


Abb. 6 (oben): Energie ohne Träger gibt es nicht!

Abb. 7 (Mitte): Der Energie-Träger-Stromkreis [9]

Abb. 8 (unten): Der Energietransport schematisch dargestellt

Bemerkungen

Viele Schülerinnen und Schüler erwarten zunächst, dass die in Abb. 4 dargestellte Maschine wirklich funktioniert. Erst durch das Unterrichtsgespräch wird ihnen bewusst, dass dies eine Maschine wäre, die ohne „äußeren“ Antrieb etwas anderes antreiben könnte. Solche Maschinen, die Perpetuum mobile genannt werden, wurden bis heute nicht gefunden. Die Physiker sind davon überzeugt, dass es solche Maschinen nicht gibt, dass jede Maschine „Etwas“ als Antrieb braucht. Ebenso ist es mit dem Lüfter (Abb. 5). Er kann zwar auf die verschiedensten Weisen angetrieben

5.4 Typische Werte und die Maßeinheiten der Energie

Ausgangssituation: Die Lehrerin [13] bringt verschiedene Lebensmittel und Früchte mit in den Unterricht und stellt die folgenden Fragen:

- „Was enthält am meisten Energie?“
- „Wie viel Energie benötigt der Mensch eigentlich an einem Tag zum Leben?“

Bei manchen Lebensmitteln stehen Energiewerte aufgedruckt. Als Maßeinheit für Energie können die Schülerinnen und Schüler kJ und kcal ermitteln.

Eine erste Größenordnung von Energiewerten wird für die Schülerinnen und Schüler erlebbar, wenn sie wie in Abbn. 9

¹⁾ Das native Energieträgerbild („Rucksackmodell“) wird zunächst unwidersprochen akzeptiert. An geeigneten Stellen im weiterführenden Unterricht wird es im „funktionalen Sinn“ analog der CD als Datenträger präzisiert.

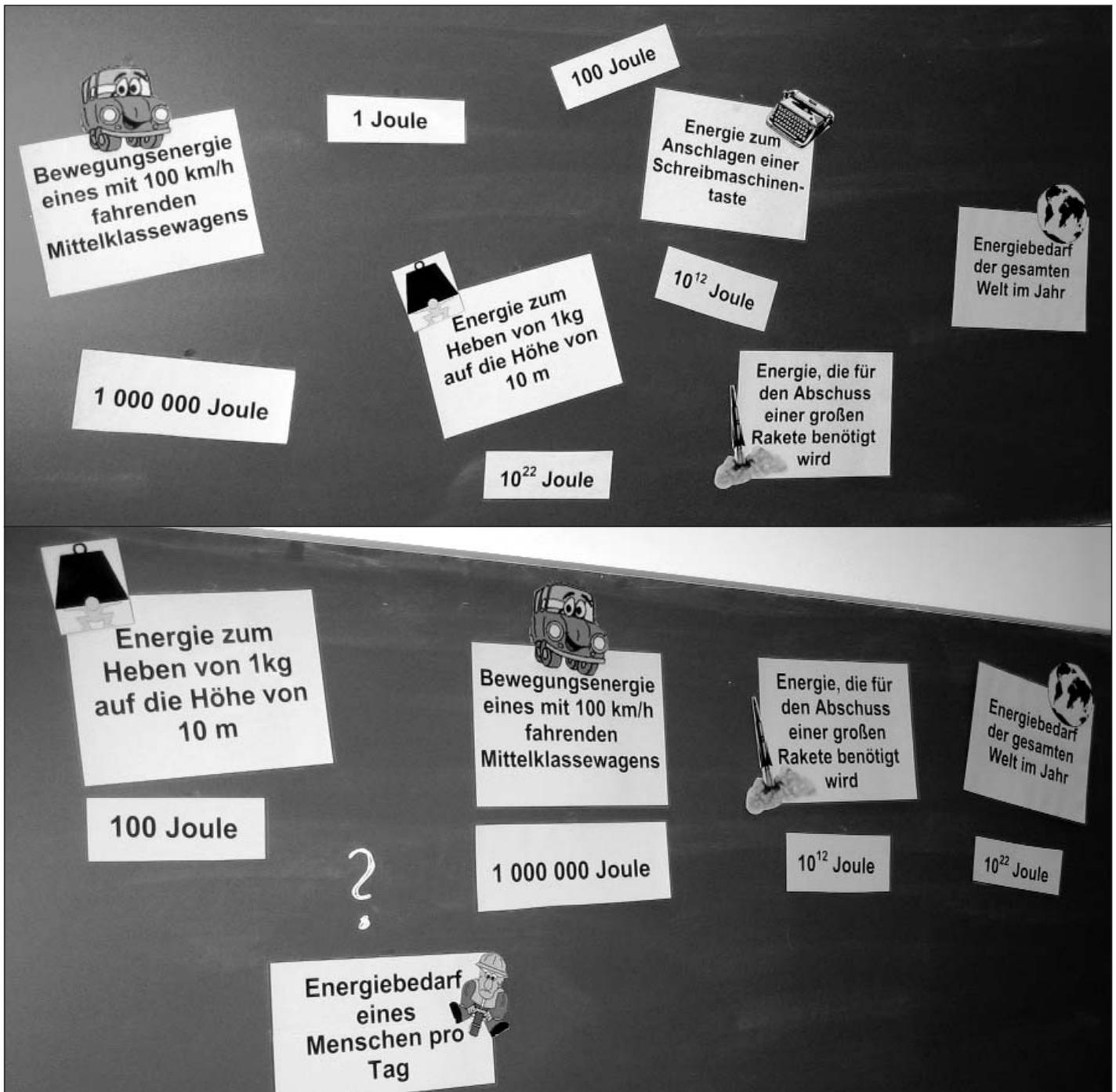


Abb. 9 (oben): Die Energiewerte müssen geordnet werden

Abb. 10 (unten): Wie viel Energie braucht der Mensch?

und 10 dargestellt verschiedene Energiewerte zuordnen. Um den durchschnittlichen Energiebedarf des Menschen abzuschätzen, notieren die Schülerinnen und Schüler die Menge an Essen und Trinken, die sie innerhalb eines Tages zu sich nehmen. Mithilfe geeigneter Nährstofftabellen aus dem Internet ermitteln sie dann ihren persönlichen Energiebedarf des jeweiligen Tages. Der Klassendurchschnitt kann ermittelt und mit dem typischen Durchschnittswert 10.000 kJ pro Tag verglichen werden.

Eine andere entsprechende Fragestellung könnte sein:

- „Wie groß ist der Energiebedarf bei euch Zuhause?“ Für den Vergleich der unterschiedlichen Energiewerte ist es sinnvoll, den Energiebedarf auf 1 m² Wohnfläche zu beziehen.

5.5 Umgang mit Messgeräten

Messgeräte zur Ermittlung des elektrischen Energieumsatzes werden heute oft zur Ermittlung des Stand-by-Betriebs elektrischer Geräte verwendet. Die Energiemenge, die eine Kerze, ein Gasbrenner benötigt, kann durch das Ermitteln der Masse des verbrauchten Brennstoffs und dem „Energiegehalt“ des Brennstoffs (Kerzenwachs 30 kJ/g, Propangas 46 kJ/g) errechnet werden. Ein Experiment dazu zeigt Abb. 11.

In diesem Zusammenhang ist es zum Vergleich sinnvoll, die Energieangabe auf die Zeit 1 s zu beziehen. Dabei kann die Maßeinheit 1 W als „Abkürzung“ von 1 J/s eingeführt werden. Die Wattzahl eines Gerätes gibt an, wie viel Energie pro Sekunde durch das Gerät hindurchströmt.

Anmerkung

Der Name der zugehörigen physikalischen Größe „Leistung“ oder „Energiestromstärke“ kann im Unterricht an späterer Stelle eingeführt werden.

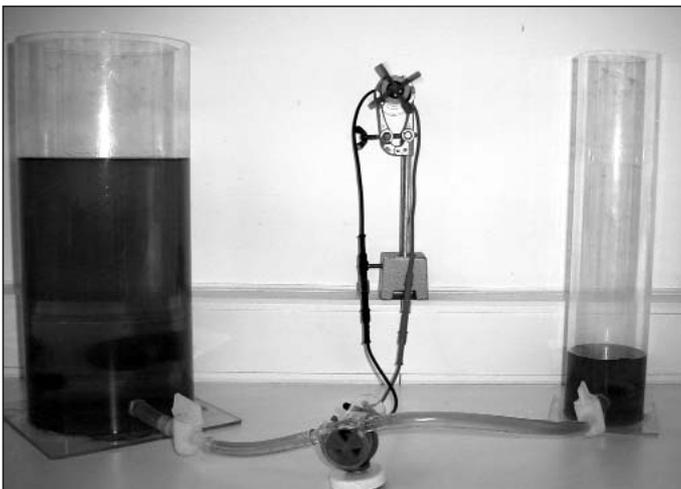
5.6 Quantitative Beziehung („Formeln“) zu anderen physikalischen Größen

Im Anfängerunterricht ist es sinnvoll, quantitative Aufgaben im Sinne von „Sachkundeaufgaben“ zu bearbeiten; die Formalisierung des Rechenprozesses, insbesondere die Anwendung von Formeln, sollte erst dann erfolgen, wenn vom Mathematikunterricht diese Möglichkeit sicher zur Verfügung gestellt ist. Dann können die zuvor eher quantitativ eingeführten physikalischen Begriffe zur quantitativen Beschreibung der jeweiligen physikalischen Phänomene weiterentwickelt werden. Diese „Mathematisierung der physikalischen Fachsprache“ kann dann auch mit den Schülerinnen und Schülern an geeigneten Stellen reflektiert werden.

Zur Vermeidung unnötiger Fachbegriffe wird in dem Kontenpapier vorgeschlagen, einheitliche Bezeichnungen der Energieformen, z. B. elektrische Energie, chemische Energie, thermische Energie, mechanische Energie, ... zu verwenden und auf die Bezeichnung „Wärme“ und „Arbeit“ zu verzichten.

Abb. 11 (oben): Ermittle die Wattzahl einer Kerze

Abb. 12 (unten): Ein zentraler Versuch [9]



Außerdem soll die Energieerhaltung als durchgängiges Prinzip ernst genommen werden. Die Beziehungen

$$E = mgh,$$

$$E = \frac{1}{2}mv^2,$$

$$E = \frac{1}{2}Ds^2,$$

$$E = \frac{1}{2}UQ^2, \dots$$

geben dann an, wie viel Energie beim Heben im Gravitationsfeld, beim Beschleunigen im bewegten Körper, beim Spannen in der Feder, beim Laden im elektrischen Feld, ... gespeichert wurde. Wichtig ist, dass die Quantifizierung für die Schülerinnen und Schüler nicht als Selbstzweck erscheint, sondern immer als eine Möglichkeit, sinnvolle komplexere Fragestellungen zu bearbeiten.

Im Folgenden seien zwei solche Fragestellungen exemplarisch genannt:

- „Ist eine elektrisch betriebene Wärmepumpe trotz der im Kraftwerk anfallenden Abwärme vom energetischen Standpunkt aus sinnvoll?“
- „Eine Glühlampe soll an eine 4,5 V-Flachbatterie angeschlossen werden. Wie kann die Glühlampe bestimmt werden, die mit dieser Batterie am hellsten leuchtet?“

Zusammenfassung

Die physikalische Größe Energie wurde in folgenden Schritten quantifiziert:

- Maßeinheit
- typische Werte
- Einfaches Rechnen mit typischen Werten
- Anwenden erster Messgeräte
- formale Quantifizierung bei sinnvollen Fragestellungen

6 Die Verzahnung der Naturwissenschaften durch geeignete grundlegende Konzepte

Neben der Angleichung der Fachsprache kann die Kenntnis und die Anwendung gemeinsamer Konzepte die Verbindung der Naturwissenschaften verstärken. Hierbei sind sicher das „Energie-Träger-Konzept“ und das „Strom-Antrieb-Konzept“ von besonderer Bedeutung. Beide Konzepte seien zunächst aus dem physikalischen Blickwinkel dargestellt. Anschließend soll gezeigt werden, wie mithilfe beider Konzepte die Verbindung zu den anderen Naturwissenschaften hergestellt werden kann.

6.1 Das „Energie-Träger-Konzept“

In Abb. 12 ist der Aufbau eines zentralen Versuchs dargestellt. Zwei mit Wasser unterschiedlich hoch gefüllte Behälter sind durch einen Schlauch miteinander verbunden, in den ein Wassergenerator eingebaut ist. Werden die Hähne geöffnet, beginnen sich der Wassergenerator und der angeschlossene Lüfter zu drehen.

Der Versuch verdeutlicht:

- Energie wird mit dem strömenden Wasser geliefert.
- Im Generator nimmt die Energie einen *anderen Weg* als das Wasser: sie strömt zum „Lüfter“, das Wasser in den zweiten Behälter.
- Ist die Höhendifferenz, d. h. die *Druckdifferenz* zu klein, dann steht nicht mehr genügend Energie zur Verfügung, die Drehung des Propellers kommt zum Erliegen.

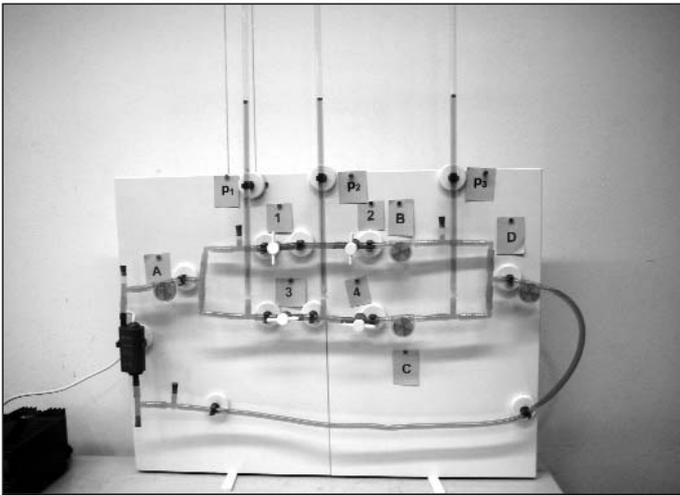


Abb. 13: Wasserstromkreis als Vorführexperiment [9]

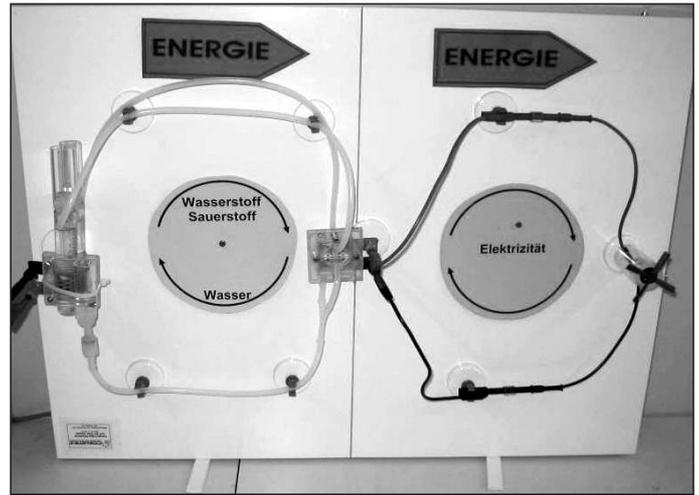


Abb. 15: Der chemische Energie-Träger-Stromkreis [9]

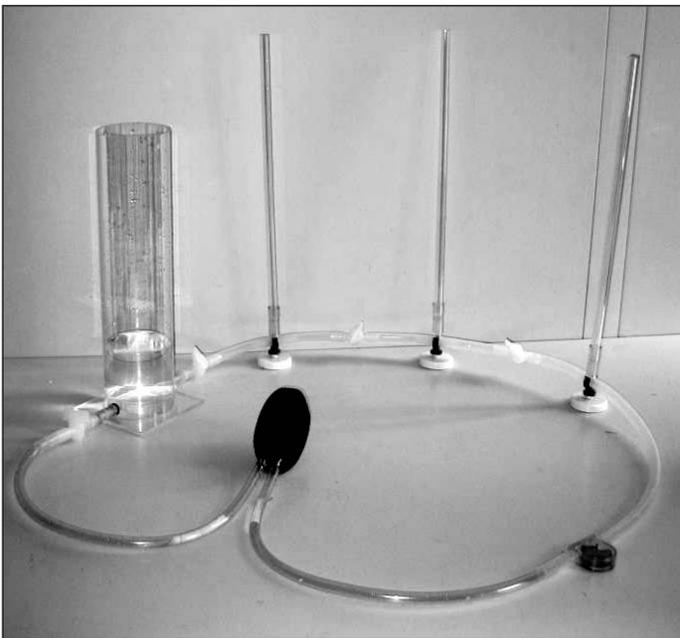
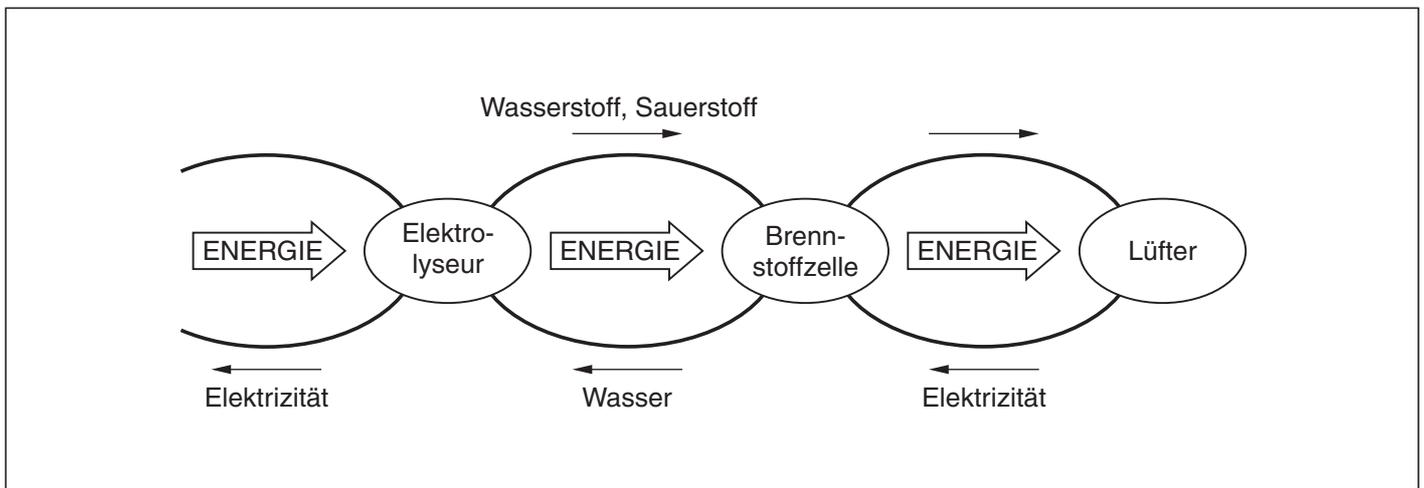


Abb. 14: Schülerübungen mit Wasserströmen [9]

6.2 Das Strom-Antrieb-Konzept

Dieser zentrale Versuch kann auch das zweite Konzept veranschaulichen:

Abb. 16: Schematische Darstellung des Energietransports



- Das Wasser strömt „von allein“ von hohem zu tiefem Druck.
- Es strömt, solange eine Druckdifferenz vorhanden ist.
- Die Druckdifferenz ist der Antrieb des Wasserstroms.
- Die Stärke des Wasserstroms hängt von der Druckdifferenz und der Größe des Strömungswiderstands ab. Der Strömungswiderstand kann durch das Zudrehen der Hähne oder durch das Zudrücken des Silikon-schlauches vergrößert werden.

6.3 Die Verbindung der beiden Konzepte

Beim Betrachten geschlossener Wasserstromkreise, z. B. im Demoexperiment (Abb. 13) oder im Schülerpraktikum (Abb. 14) können die Schülerinnen und Schüler erleben, dass der Druck an Stellen mit großem Strömungswiderstand stark abnimmt. Daran ist zu erkennen, dass bei großem Strömungswiderstand viel Energie vom Wasser geladen wird. Diese wird entweder wie beim Wassergenerator auf einen anderen Energieträger zur weiteren Nutzung umgeladen oder sie führt zur Erhöhung der Temperatur des strömenden Wassers. Nimmt der Druck beim Strömen des Wassers zu, muss das Wasser unterwegs angetrieben werden.

So werden „Antrieb“ und „Strömungswiderstand“ mit „Energiezufuhr“ bzw. „Energieabgabe“ verbunden. Auf diese Weise werden die beiden zentralen Konzepte mit-

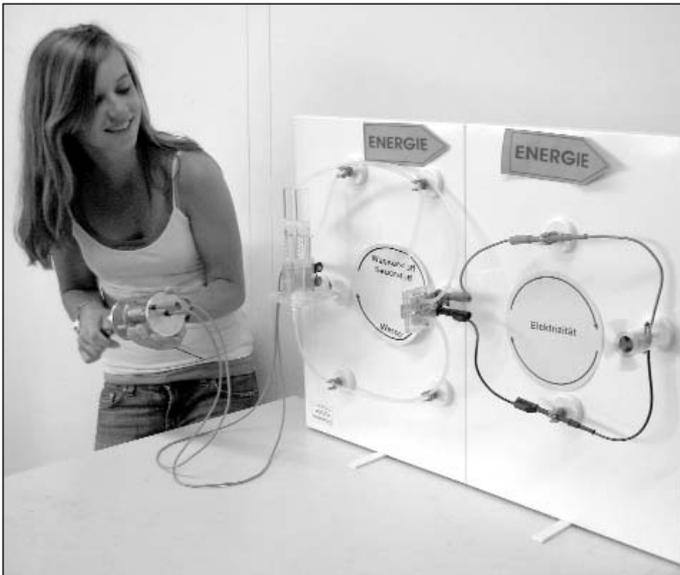


Abb. 17: Entscheidend ist, „wer kurbelt“, d.h., wer die Energie für den chemischen Energietransport liefert!

einander in Verbindung gebracht und es wird dabei eine neue Masche des begrifflichen Netzes geknüpft.

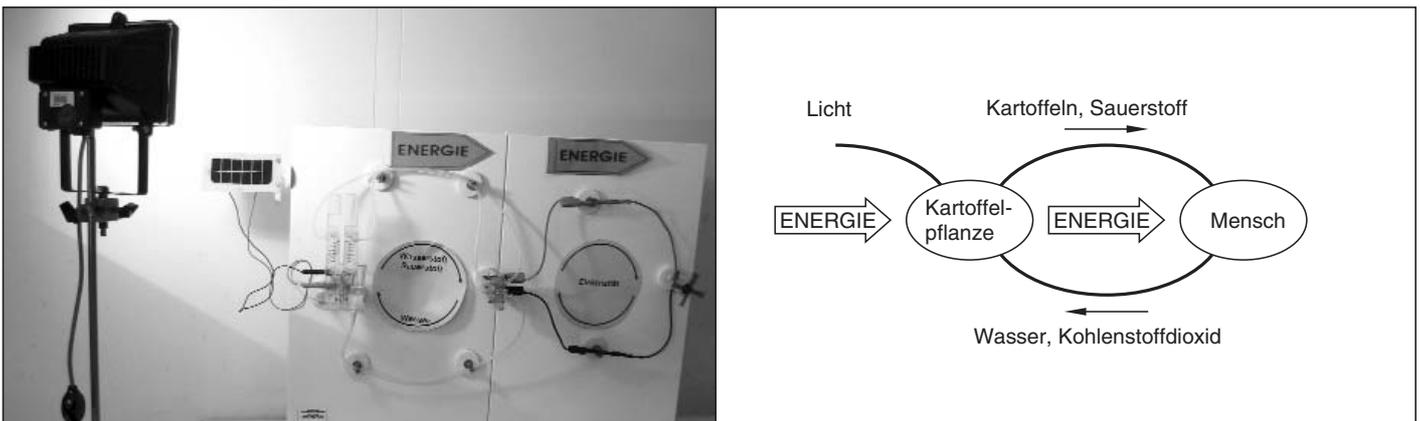
7 Die Übertragung der grundlegenden Konzepte auf die anderen Naturwissenschaften

Das „Energie-Träger-Konzept“ und das „Strom-Antrieb-Konzept“ können auf die anderen Naturwissenschaften übertragen werden. Dadurch werden die Naturwissenschaften nicht nur stärken miteinander verzahnt, sondern es wird „kumulatives“ Lehren und Lernen über die Fächergrenzen hinweg möglich. Im Folgenden soll angedeutet werden, wie dies mithilfe des neu konzipierten chemischen Energie-Träger-Stromkreises möglich wird.

7.1 Antrieb durch Brennstoffzellen

Leitfrage: Beurteile die folgende Aussage: „Experten aus der Chemie- und Automobilindustrie optimieren Brennstoffzellen, die Autos nur noch mit Wasserstoff antreiben. Das ist eines von zahlreichen Beispielen, wie die Chemie hilft, alternative Energiequellen zu erschließen. Damit werden wir alle unabhängig von Öl und Gas.“ (GEO 04/2006 auf Seite 39).

Abb. 18: Der Energietransport in der Nahrungskette



Lösungshinweise

- Zum Fahren benötigen Autos Energie.
- Üblicherweise wird diese mit den Energieträgern Benzin und Diesel geliefert.
- Autos mit Brennstoffzellenantrieb können die Energie im Prinzip mit Wasserstoff bekommen.
- Es bleibt aber die Frage, woher der Wasserstoff kommt, wie er gebildet wird, ... Die zur Beantwortung dieser Frage entscheidenden Zusammenhänge können mithilfe des chemischen Energie-Träger-Stromkreis durchschaubar gemacht werden.

7.2 Der chemische Energie-Träger-Stromkreis

Der Aufbau des chemischen Energie-Träger-Stromkreises [9] entspricht dem „hydraulischen Energie-Träger-Stromkreis“ (Abb. 7). Die Wasserpumpe wurde durch einen Elektrolyseur (Elektrolysezelle) und der Wassergenerator durch eine Brennstoffzelle ersetzt.

Leitfrage: „Wie wird die Energie beim chemischen Energie-Träger-Stromkreis vom Elektrolyseur zur Brennstoffzelle transportiert?“

Mit einem Netzgerät, einem Handgenerator oder einer Solarzelle wird der Elektrolyseur so lange betrieben, bis sich der Propeller deutlich dreht. Das Drehen des Propellers zeigt an, dass dort Energie ankommt. Die Energie kann nur vom Netzgerät, dem Handgenerator oder der Solarzelle kommen, die dann zum Elektrolyseur, zur Brennstoffzelle und zum Lüfter strömt. Somit ist der Weg des Energiestroms identifiziert.

Zwischen Elektrolyseur und Brennstoffzelle wird der Energiestrom von stofflichen Strömen begleitet: Im Elektrolyseur werden Wasserstoffgas und Sauerstoffgas gebildet. Bei dieser chemischen Reaktion verschwindet Wasser. Die im Elektrolyseur gebildeten Gase strömen durch die zwei getrennten Schläuche zur Brennstoffzelle. Dort findet die umgekehrte chemische Reaktion statt: Wasserstoffgas und Sauerstoffgas verschwinden, Wasser wird gebildet. Bei der chemischen Reaktion im Elektrolyseur wird Energie aufgenommen. Bei der Umkehrreaktion in der Brennstoffzelle wird diese Energie wieder abgegeben, auf Elektrizität bzw. elektrischen Strom umgeladen und zum Lüfter transportiert. Bei diesem chemischen Energietransport strömt der Energieträger in einem geschlossenen Stromkreis: Wasserstoff und Sauerstoff werden aus Wasser im Elektrolyseur gebildet, strömen zur Brennstoffzelle, bilden Wasser, das zum Elektrolyseur zurückströmt. Diese Stoffströme spielen beim chemischen Energietransport dieselbe

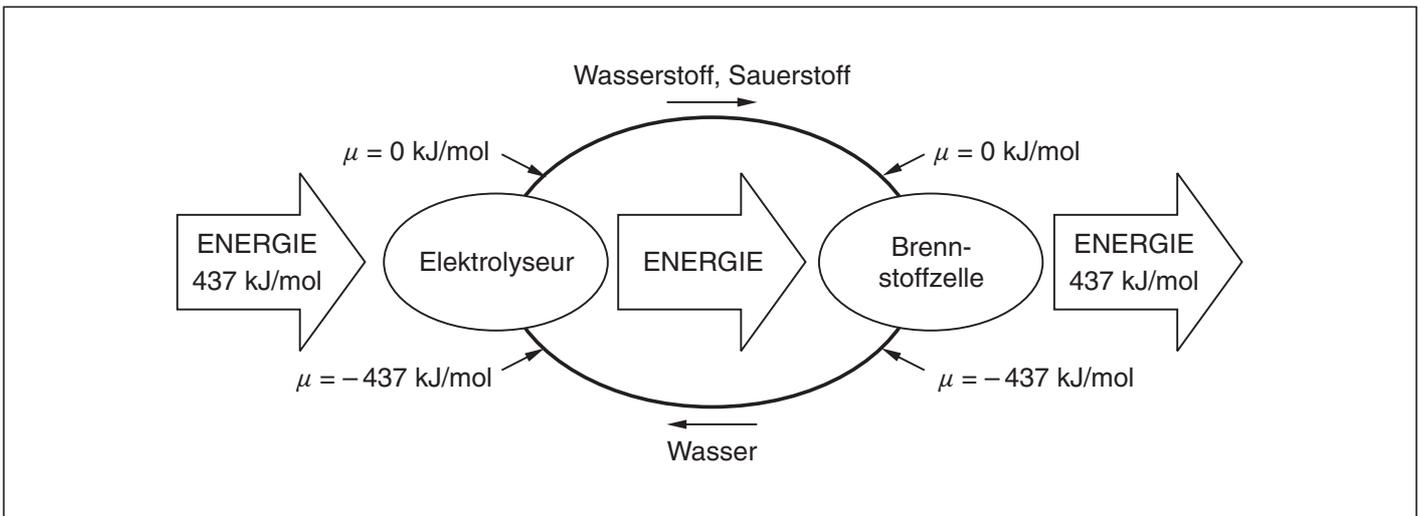


Abb. 19: quantitative Beschreibung des Energietransports

Rolle wie Wasser und Elektrizität beim hydraulischen und elektrischen Energietransport: sie transportieren Energie von einer Stelle zu einer anderen, sie haben die Funktion eines „Energieträgers“.

Durch entsprechende Handbewegungen können die unterschiedlichen Wege von Energie („linear“) und der Energieträger („im Kreis“) anschaulich verdeutlicht werden. Pfeile symbolisieren diese unterschiedlichen Wege.

7.3 „Wer kurbelt?“ Das ist die entscheidende Frage!

Nun wollen wir klären, „ob mithilfe von Wasserstoff alternative Energiequellen erschlossen werden können“. Wasserstoffgas kommt in der Natur nicht in großen Mengen vor. Der chemische Energie-Träger-Stromkreis verdeutlicht, dass Wasserstoff mithilfe einer chemischen Reaktion nur unter Energiezugabe erzeugt werden kann. Die entscheidende Frage lautet deshalb, *woher diese Energie kommt, welche Energiequellen diese Energie liefern*. Von daher ist die Aussage, dass Wasserstoff hilft, alternative Energiequellen zu erschließen, dass wir durch Wasserstoff unabhängiger von Öl und Gas werden, so nicht richtig, denn es könnte ja sein, dass diese Energie von Atomkraftwerken oder Braunkohlekraftwerken und nicht von Fotovoltaikanlagen geliefert wird.

7.4 Chemische Energietransporte in biologischen und geografischen Systemen

Der chemische Energie-Träger-Stromkreis kann im Unterricht für die Schülerinnen und Schüler ein grundlegendes Beispiel für die Vielzahl der Stoffkreisläufe werden, die in Natur und Technik mit Energietransporten verbunden sind. Abb. 18 zeigt vereinfacht den Nahrungskreislauf des Menschen. Die Solarzelle steht im Experiment anstelle des Blatts (Photosynthese).

8 Abschließende Bemerkungen

Es würde den Rahmen dieser Darstellungen sprengen, wenn der Brückenschlag zu den Begriffen und Konzepten der Chemie weiter vertieft werden würde. In [11] und [12] wird gezeigt, wie das *chemische Potenzial* μ als die Größe eingeführt werden kann, die wie z. B. der Druck p und das

elektrisches Potenzial ϕ angibt, wie viel Energie ein Träger transportiert bzw. deren Differenz angibt, wie viel Energie in einem System bei einer entsprechenden chemischen Reaktion auf- bzw. abgeladen wird, analog der Druckdifferenz Δp und der elektrische Potentialdifferenz $\Delta\phi$, die der elektrischen Spannung U entspricht. Das *chemische Potenzial* wird in der Chemie üblicherweise *molare freie Standardbildungsenthalpie* genannt. In der angegebenen Literatur wird auch ausgeführt, wie das „Strom-Antrieb-Konzept“ auf chemische Reaktionen übertragen werden kann, dass die Differenz des chemischen Potentials als Antrieb einer chemischen Reaktion betrachtet werden kann und wie der chemische Energietransport, wie in Abb. 19 dargestellt, schrittweise immer weiter quantifiziert werden kann.

Literatur

- [1] NW1 als Datei unter <http://www.ls-bw.de/allg/publikationen/online> oder als LS-heft NW1 zu beziehen bei Landesinstitut für Schulentwicklung Rotebühlstr. 131, 70197 Stuttgart, Fax: 0711/6642-102
- [2] Bildungsstandards Baden-Württemberg, Physik, Gymnasien; www.bildungsstandards-bw.de
- [3] R.P. Feynmann, R.B. Leighton, M. Sands: Vorlesungen über Physik Band I, 2001 Oldenbourg Verlag München
- [4] Dieter Plappert: Umsetzungsbeispiele zu den Bildungsstandards Physik, LS-heft Ph 41, zu beziehen bei Landesinstitut für Schulentwicklung, Rotebühlstr. 131, 70197 Stuttgart, Fax: 0711/6642-102
- [5] Dieter Plappert: Verständliche Elektrizitätslehre, PdN-PhiS 7/52 (2003)
- [6] Dieter Plappert: Kumulatives Lernen – die Bildung des Entropiebegriffs in Sekundarstufe I, PdN-PhiS 4/53 (2004)
- [7] Dieter Plappert: Impuls von Anfang an – zur Einführung physikalischer Größen, PdN-PhiS 1/54 (2005)
- [8] Versuchsanleitung des Bausatzes „Energiewerke“, durch den handlungsorientiert der Energiebegriff eingeführt werden kann, unter www.plappert-freiburg.de/physik, Bestellung unter www.opitec.de Bausatz Nr. 123.987 zu 12,90 €
- [9] Analogieserie zu beziehen bei: Conatex, Postfach 1407, 66514 Neunkirchen, 06821/94110, www.conatex.com
- [10] Dieter Plappert: physikalische Konzepte angewandt auf chemische Reaktionen, PdN-PhiS 3/54 (2005)
- [11] Seitz, Steinbrenner, Zachmann, LS-heft NW2, Stuttgart 2006. Zu beziehen bei Landesinstitut für Schulentwicklung Rotebühlstr. 131, 70197 Stuttgart, Fax: 0711/6642-102
- [12] Seitz, Steinbrenner, Zachmann: Chemische Reaktionen – physikalisch beschrieben, PdN-PhiS 2/55 (2006)
- [13] Ich danke Jasna Schultheiß für diese Anregung

Anschrift des Verfassers:

StD Dieter Plappert, Staatliches Seminar für Didaktik und Lehrerbildung, Kunzenweg 21, 79117 Freiburg