

Kann man mit einem Teelicht eine Kanne Kaffee kochen?

Alfons Reichert



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Vorstellen des Problems.....	4
3. Lösung des Problems.....	5
3.1 Energieinhalt	5
3.2 Energieverluste.....	7
3.3 Erweiterung	10
4. Übungsaufgaben	13
5. Literatur.....	16

1. Einleitung

Die TIMSS-Studie über das Leistungsvermögen deutscher Schüler im internationalen Vergleich hat an den Tag gebracht, dass unsere Schüler zwar über ein solides Fachwissen verfügen, jedoch hinter den Schülern anderer Länder, vor allem dem Nachwuchs aus Japan, hinterherhinken, wenn sie dieses Wissen dazu einsetzen sollen, Probleme zu lösen. Daraus kann man nur den Schluss ziehen, dass es endlich an der Zeit ist, mit den Schülern Problemlösungsstrategien einzuüben. Eine zusätzliche Motivation erzielt man als Lehrer dann, wenn die Problemstellungen aus der Alltagserfahrung der Schüler stammen. Die in diesem Skript aufgeworfene Fragestellung erfüllt diese Bedingungen in geradezu idealer Weise. Außerdem lassen sich mit ihr zusätzlich noch eine ganze Reihe interessanter Aspekte zum Thema Energie erarbeiten, einem physikalischen Begriff, der zurzeit wieder in aller Munde ist und nie an Aktualität verlieren wird, da ohne Energie kein Leben auf der Erde existieren kann.

Stolberg, im August 2002 und im April 2020

2. Vorstellen des Problems

Als Einstieg erzähle ich den Schülerinnen und Schülern eine kleine wahre Begebenheit. Vor einigen Jahren tobte an einem kalten Winterabend ein heftiger Schneesturm, der die Elektrizitätsversorgung meiner Heimatstadt völlig lahm legte. Es dauerte Stunden, bis der Strom wieder zur Verfügung stand. Zwischendurch wurde es ziemlich kalt im Haus. Schließlich benötigt auch die Heizung Strom. Irgendwann nach zwei bis drei Stunden hatten meine Frau und ich den Wunsch, etwas Warmes zu uns zu nehmen. Aber weder der Herd noch die Kaffeemaschine funktionierten. Da meinte ich, wir könnten es ja mal mit Teelichtern versuchen. Meine Frau hielt das für ziemlich absurd.

Auch die Schülerinnen und Schüler quittieren den Vorschlag meist mit einem verständnislosen Kopfschütteln und dem Kommentar: Das funktioniert niemals. Als Gründe für ihr Nein führen sie meist an:

- Es dauert viel zu lange.
- Die Energieverluste sind zu hoch.
- Das Teelicht liefert viel zu wenig Energie.

Bei einer kleinen Umfrage unter Bekannten stimmte die Mehrzahl der Gefragten spontan den Schülern zu. Nur einige Physikkollegen wollten sich nicht ganz festlegen. In der Tat ist die Antwort vom physikalischen Standpunkt aus betrachtet nicht ganz so einfach, wie es auf den ersten Blick scheint. Dabei kommt der dritten Begründung sicherlich eine besondere Bedeutung zu. Liefert das Teelicht beim Verbrennen grundsätzlich nicht genügend Energie, so sind die beiden anderen Gründe jedenfalls belanglos. Daher muss der erste Schritt zur Lösung des Problems darin bestehen, den Energieinhalt eines Teelichtes zu bestimmen. Kennen die Schüler das Gesetz, mit dem sie die Energie berechnen können, die nötig ist, um einen Stoff zu erwärmen, so können sie den Aufbau und den Ablauf des benötigten Versuches selbst planen.

3. Lösung des Problems

Man erwärmt mit einem Teelicht einige Minuten lang eine bestimmte Menge Wasser und misst die Temperaturerhöhung. Zugleich wiegt man das Teelicht vor und nach dem Erwärmen, um die Masse des verbrauchten Kerzenwachses zu erhalten. Aus den Versuchsergebnissen kann man die vom Teelicht abgegebene Energiemenge errechnen und anschließend das Ergebnis auf ein ganzes Teelicht hochrechnen. Man könnte auch das gesamte Teelicht verbrennen, aber das dauert bei einer Brenndauer von mehreren Stunden viel zu lange.

3.1 Energieinhalt

Versuch:

Geräte:

- 1 Becherglas 250 ml
- 1 Thermometer, wenn möglich mit Genauigkeit 0,1 °C
- 1 Stativ
- 1 Doppelmuffe
- 1 Klemme
- 1 elektronische Waage, Genauigkeit 0,01 g
- 1 Teelicht
- 1 Messzylinder 100 ml
- 1 Feuerzeug
- 1 Stoppuhr

Aufbau:

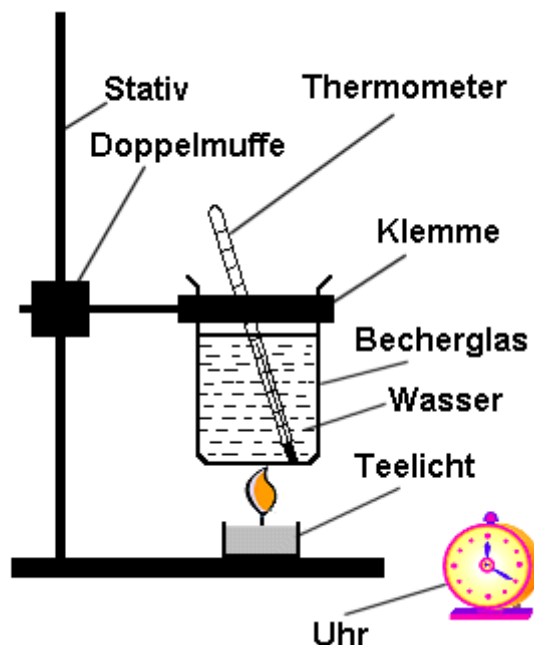


Abb. 1: Versuchsaufbau

Durchführung:

Man befestigt das Becherglas am Stativ und füllt es anschließend mit Hilfe des Messzylinders mit $V = 200$ ml Wasser. Dann wiegt man das Teelicht, zündet es an und erwärmt damit $t = 5$ min lang das Wasser. Dabei sollte die Spitze der Flamme den Boden des Glases gerade

berühren. Eventuell muss man das Becherglas ein wenig höher oder tiefer hängen. Danach wiegt man das Teelicht erneut. Außerdem misst man die Temperatur des Wassers vor und nach dem Erwärmen. Während des Erwärmens sollte man es mehrere Male etwa mit dem Thermometer umrühren. Um die gesamte vom Teelicht abgegebene Energie ermitteln zu können, benötigt man außerdem noch die Gesamtmasse des Kerzenwachses in einem Teelicht. Dazu nimmt man ein neues Teelicht aus der Metallhülle, entfernt den Docht und wiegt es.

Ergebnisse:

Man erhält folgende Messergebnisse:

$$m(\text{Teelicht vorher}) = 14,92\text{g}$$

$$m(\text{Teelicht nachher}) = 14,77\text{g}$$

$$m(\text{Kerzenwachs im Mittel}) = 14,5\text{g}$$

$$T(\text{Wasser vorher}) = 20,3^\circ\text{C}$$

$$T(\text{Wasser nachher}) = 25,2^\circ\text{C}.$$

Auswertung:

Es werden

$$\Delta m(\text{Teelicht}) = 14,92\text{g} - 14,77\text{g} = 0,15\text{g}$$

Kerzenwachs verbrannt. Das Wasser erwärmt sich um

$$\Delta T(\text{Wasser}) = 25,2^\circ\text{C} - 20,3^\circ\text{C} = 4,9^\circ\text{C}.$$

Daraus folgt für die von 0,15 g Kerzenwachs abgegebene Energie:

$$W = m * c * \Delta T = 200\text{g} * 4,18\text{J}/(\text{g} * ^\circ\text{C}) * 4,9^\circ\text{C} = 4096\text{J}.$$

Mit Hilfe eines einfachen Dreisatzes erhält man für die insgesamt zur Verfügung stehende Energie eines Teelichtes:

$$W(\text{Teelicht}) = \frac{14,5\text{g} * 4096\text{J}}{0,15\text{g}} = 395,9\text{kJ}.$$

Als nächstes gilt es zu klären, wie viel Wasser man mit dieser Energie zum Kochen bringen könnte. Dabei nehmen wir an, das Wasser habe zu Beginn eine Temperatur von $T_1 = 20,3^\circ\text{C}$ (s.o). Seine Endtemperatur beträgt $T_2 = 100^\circ\text{C}$. Daraus folgt:

$$m(\text{Wasser}) = \frac{395900\text{J}}{4,18\text{J}/(\text{g} * ^\circ\text{C}) * 79,7^\circ\text{C}} = 1188\text{g}.$$

Die Energie, die ein Teelicht liefert, reicht immerhin aus, um ca. $V = 1,2\text{ l}$ Wasser von $20,3^\circ\text{C}$ zum Kochen zu bringen. Das entspricht etwa 6 - 7 Tassen Kaffee. Also müssen wir auch die anderen Begründungen der Schülerinnen und Schüler genauer unter die Lupe nehmen.

Doch zuvor sind noch ein paar Anmerkungen zu obigem Experiment notwendig.

- Der Versuchsaufbau und die Durchführung sind so einfach, dass man das Experiment problemlos als Schülerversuch durchführen kann.
- Die Erwärmungszeit sollte möglichst kurz gewählt werden, um die Energieverluste an die Umgebung so gering wie möglich zu halten.
- Man kann bei der Auswertung natürlich auch die Energie berücksichtigen, die das Becherglas aufnimmt. Dazu muss man zusätzlich das leere Becherglas wiegen. Allerdings erwärmt sich wegen der kurzen Zeit das Glas nicht gleichmäßig, da Glas die Wärme schlecht leitet. Daher erzielt man nur scheinbar eine größere Genauigkeit, wenn man annimmt, dass die Temperatur des Glases genauso stark steigt wie die des Wassers. Und die genaue mittlere Temperaturerhöhung des Glases lässt sich nur schwer ermitteln.
- Statt das Teelicht zu wiegen, könnte man im Prinzip die vom Teelicht abgegebene Energie auch dadurch ermitteln, dass man seine Brenndauer heranzieht. Auf manchen Packungen wird sie mit ca. $t = 4,5 \text{ h}$ angegeben. Die vom Teelicht in $t = 5 \text{ min}$ abgegebene Energie lässt sich mit dieser Angabe in einem Dreisatz auf das gesamte Teelicht hochrechnen. Man erhält

$$W = \frac{4,5 * 60 \text{min} * 4096 \text{J}}{5 \text{min}} = 221,2 \text{kJ},$$

also erheblich weniger. Das Teelicht brennt offensichtlich nicht während der gesamten Zeit mit gleichbleibender Flamme. Das zeigt sich auch daran, dass man je nach Teelicht manchmal bereits nach $t = 3 \text{ min}$ eine Erwärmung um $\Delta T = 4,9 \text{ }^\circ\text{C}$ erhält bei gleicher verbrauchter Menge an Kerzenwachs. Andererseits würde man für die Brenndauer aufgrund obiger Messergebnisse finden:

$$t = \frac{14,5 \text{g} * 5 \text{min}}{0,15 \text{g}} = 483 \text{min} = 8,06 \text{h}.$$

Der Weg, den Energieinhalt des Teelichtes über die Masse zu ermitteln, ist also wesentlich zuverlässiger und genauer.

3.2 Energieverluste

Kommen wir auf die beiden anderen eingangs aufgeführten Begründungen der Schülerinnen und Schüler zurück. Die Zeitfrage ist durch den Versuch bereits geklärt. Um die Kanne Wasser zum Kochen zu bringen, muss das ganze Teelicht verbrannt werden. Das dauert im Schnitt mehr als $t = 4,5 \text{ h}$, aber je nach Leistung des Teelichtes auch erheblich länger. Man müsste in der Tat sehr lange auf den Kaffee warten.

Die Frage nach den Energieverlusten ließe sich auf dreierlei Art klären:

- Man führt den Versuch mit einem Stövchen und einer Kaffeekanne, in die man $V = 1,19 \text{ l}$ Wasser füllt, tatsächlich durch. Da die Versuchsdauer über 4 Stunden be-

trägt, scheidet der Versuch für die Schule aus. Man könnte die Schüler das Experiment allenfalls als Hausexperiment durchführen lassen.

- Man stellt ein kleines Gedankenexperiment an. Angenommen, das Wasser kocht. Ist die Kanne nicht isoliert, so hat es sich nach $t = 4,5$ h bereits auf Zimmertemperatur abgekühlt. Folglich wird beim Erwärmen mit dem Teelicht das Wasser irgendwann eine Temperatur erreichen, bei der es seine Energie genauso schnell an die Umgebung verliert, wie es sie vom Teelicht erhält.
- Man führt den Versuch mit einem Teelicht möglichst großer Flamme mit möglichst wenig Wasser durch.

Aus der dritten Überlegung ergibt sich folgender Schülerversuch:

Versuch:

Geräte:

Man benutzt die gleichen Geräte wie beim Versuch in Kapitel 3.1.

Aufbau:

Der benötigte Versuchsaufbau entspricht dem aus Kapitel 3.1.

Durchführung:

Man füllt $V = 100$ ml Wasser ins Becherglas, erwärmt das Wasser mit einem Teelicht, rührt ab und zu mit dem Thermometer um und liest alle 5 Minuten die Temperatur des Wassers ab. Man fasst die Werte in einer Tabelle zusammen und erstellt anschließend mit Excel ein Messdiagramm.

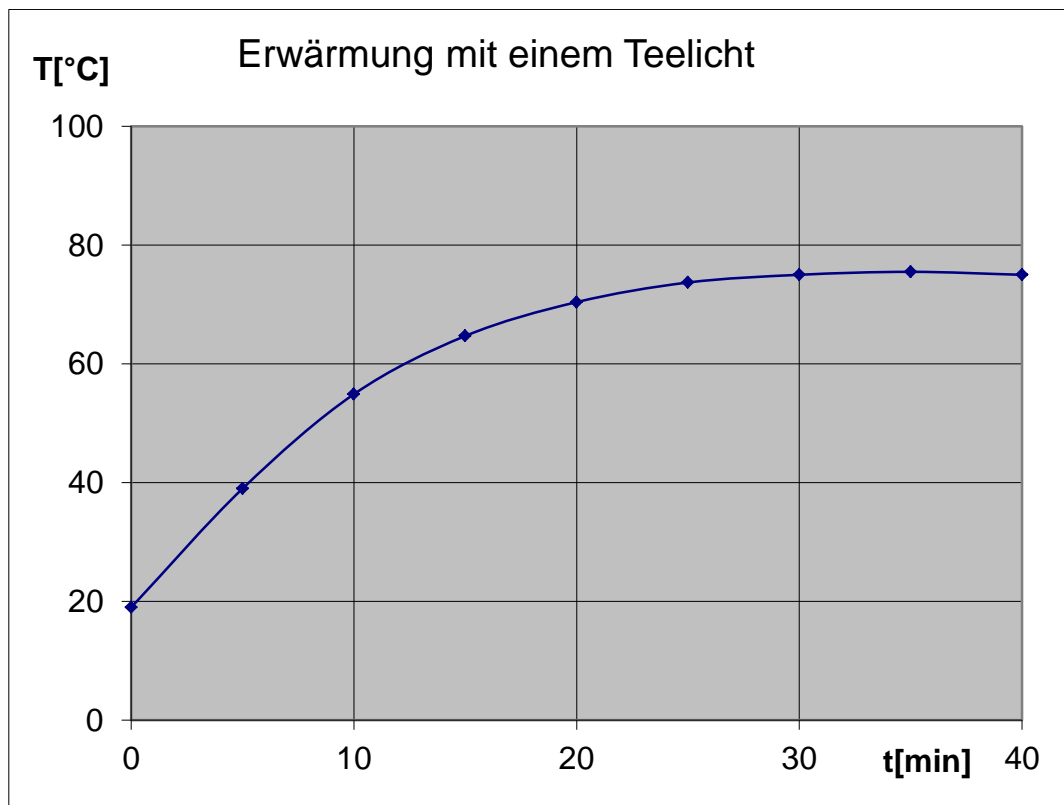


Abb.1: Ergebniskurve des Versuches

Ergebnis:

Man erhält Tabelle 1 und das Excel-Diagramm in Abb.1. Beide bestätigen in glänzender Weise die Überlegungen des Gedankenexperimentes.

t[min]	0	5	10	15	20	25	30	35	40
T[°C]	19,0	39,0	54,9	64,7	70,4	73,7	75,0	75,5	75,0

Tabelle 1: Messwerte

Anmerkung:

In Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur und der Größe der Flamme des Teelichtes erreicht man eine Endtemperatur, die zwischen 55°C und 75°C liegt. Um weitere Aussagen über den Einfluss der Energieverluste zu erhalten, bieten sich die folgenden Abwandlungen des Versuches an.

Versuchsvarianten:**Geräte:**

Man benötigt die Geräte aus Kapitel 3.1, zusätzlich einen enghalsigen Erlenmeyerkolben, ein Uhrglas und mehrere Teelichter.

Aufbau:

Der grundsätzliche Versuchsaufbau entspricht bis auf kleine Abänderungen dem aus Kapitel 3.1.

Durchführung:

Man führt die folgenden beiden Versuchsvarianten durch:

- Man erwärmt $V = 100$ ml Wasser mit zwei oder vier Teelichtern gleichzeitig, rührt dabei ab und zu mit dem Thermometer um und liest alle 5 Minuten die Temperatur ab.
- Man erwärmt $V = 100$ ml Wasser mit zwei Teelichtern in einem enghalsigen Erlenmeyerkolben statt in einem Becherglas und deckt den Kolben zusätzlich mit einem Uhrglas ab.

Ergebnisse:

Die beiden Teilversuche liefern folgende Ergebnisse:

- Mit zwei Teelichtern erreicht man nach 20 Minuten eine Endtemperatur von $T_1 = 82$ °C, mit vier Teelichtern nach 15 Minuten eine Endtemperatur von $T_2 = 96$ °C. In beiden Fällen kocht das Wasser nicht.
- Beim Versuch mit dem enghalsigen Erlenmeyerkolben und den zwei Teelichtern beginnt das Wasser nach ca. 25 Minuten zu Köcheln bei einer Temperatur von $T_3 = 99$ °C.

Folgerungen:

Die Wärmeverluste sind ab einer gewissen Temperatur offenbar recht groß und zwar vor allem dadurch, dass Wasser verdunstet. Der Wasserdampf führt einen großen Teil der zugeführten Energie nach außen ab, da das Wasser eine hohe Verdampfungswärme besitzt. Man sollte also Wasser stets bei geschlossenem Deckel kochen, um die Wärmeverluste möglichst

gering zu halten. Eine Schülerin kommentierte das Ergebnis mit den Worten: „Ich koche ja auch keine Spaghetti bei geöffnetem Deckel.“

Also lautet die vorläufige abschließende Antwort auf unsere Frage:

Die Energie eines Teelichtes reicht grundsätzlich aus, um eine Kanne Kaffee zu kochen. Allerdings müsste man das Kaffeewasser in einem isolierten und geschlossenen Gefäß erwärmen. Mit einer normalen Kaffeekanne gelingt es nicht, da ab einer bestimmten Temperatur die Energieverluste an die Umgebung zu groß werden. Teelichter sind also zum Warmhalten des Kaffees geeignet, nicht jedoch zum Kaffeekochen.

3.3 Erweiterung

Aufbauend auf diesem Ergebnis lassen sich weitere interessante Aspekte diskutieren.

- Warum erreicht man mit zwei oder mehr Teelichtern eine höhere Endtemperatur beim obigen Versuch?
- Was macht eine Kaffeemaschine anders als ein Teelicht?
- Warum sind kleine Gasbrenner, etwa Campingkocher, besser geeignet als ein Teelicht?

Die Antworten auf die erste, zweite und zum Teil auch auf die dritte Frage münden im Begriff der Leistung. Dazu stellen wir eine kleine Rechnung an. Mit der im Versuch in Kapitel 3.1 ermittelten Energie errechnet sich die Leistung eines Teelichtes zu

$$P(\text{Teelicht}) = \frac{4096\text{J}}{300\text{s}} = 13,7\text{W}.$$

Die Leistungen der Teelichter unterliegen allerdings erheblichen Schwankungen. So errechnet sich mit den Messwerten aus Tabelle 1 in Kapitel 3.2 eine Leistung

$$P(\text{Teelicht}) = \frac{4,18\text{J}/(\text{g} * ^\circ\text{C}) * 100\text{g} * 20^\circ\text{C}}{300\text{s}} = 28\text{W}.$$

Werte zwischen ca. 10 W und 30 W sind je nach Güte des Doctes durchaus möglich, wie die Ergebnisse zahlreicher Schülerversuche zeigen.

Eine Kaffeemaschine trägt die Aufschrift $P = 900\text{ W}$. Sie ist also in der Lage, die benötigte Energie in viel kürzerer Zeit zur Verfügung zu stellen. Deshalb wird der Kaffee schneller erwärmt als er sich abkühlt. Die Maschine braucht für $V = 1,19\text{ l}$ Wasser nur

$$t = \frac{395900\text{J}}{900\text{W}} = 439,9\text{s} = 7,33\text{min}.$$

Das entspricht durchaus der Realität. Nachmessen mit einer Kaffeemaschine ergab eine Zeit von ca. 8 min, wobei man beachten muss, dass auch bei der Kaffeemaschine unvermeidliche

Wärmeverluste auftreten. Außerdem entspricht die auf der Maschine angegebene Leistung der aufgenommenen elektrischen Leistung und nicht der abgegebenen thermischen Leistung. Rein physikalisch lässt sich also die Ausgangsfrage ganz einfach beantworten.

Die Energie des Teelichtes reicht aus, um eine Kanne Kaffee zu kochen, nicht aber seine Leistung.

Um mit Teelichtern die gleiche Leistung zu erzielen wie mit einer Kaffeemaschine, müsste man bei der kleinsten Leistung des Teelichtes

$$z = \frac{900W}{13,7W} = 66$$

Teelichter unter die Kanne stellen. Das dürfte aber aus Platzgründen ziemlich schwierig werden. Bei größerer Leistung der einzelnen Teelichter käme man mit weniger Teelichtern aus. Aber sie würden sich gegenseitig aufheizen, so dass viel Wachs schmilzt und verdampft. Es könnte ein großer Brand entstehen. Man sollte den Versuch aus Sicherheitsgründen auf keinen Fall durchführen.

Bei der Antwort auf die dritte Frage kommt noch ein weiterer Gesichtspunkt ins Spiel. In Campingkochern dient Propangas als Energielieferant. Propan hat einen höheren Heizwert als Kerzenwachs. Der Heizwert gibt bekanntlich an, wie viel Energie frei wird, wenn man 1 kg des betreffenden Stoffes vollständig verbrennt. Dazu ist es erforderlich, den Stoff im reinen Sauerstoffstrom in einem Kalorimeter zu oxidieren. Da in unserem Versuch die Energieverluste dadurch gering gehalten wurden, dass sich die Temperatur nur geringfügig erhöhte, kann man aus dem Versuchsergebnis den Heizwert von Kerzenwachs zumindest näherungsweise errechnen, auch wenn der Wachs wahrscheinlich nicht vollständig verbrannt ist, wie Rußspuren am Glas zeigen. Man findet aus den Ergebnissen aus Kapitel 3.1:

$$\text{Heizwert(Wachs)} = \frac{395,9 \text{ kJ}}{0,0145 \text{ kg}} = 27303 \text{ kJ/kg.}$$

Einen Literaturwert konnte ich nicht finden. Im Vergleich zu anderen Werten¹⁾ erscheint er jedoch durchaus realistisch. Er liegt jedenfalls wesentlich niedriger als der von Propan mit 50000 kJ/kg.

Zum Abschluss der kleinen Unterrichtsreihe kann man die Schüler noch die Tabellen über die Heizwerte und die Brennwerte für Nahrungsmittel im Mittelstufenphysikbuch Dorn-Bader¹⁾ auswerten lassen. Daraus ergeben sich eine Reihe weiterer interessanter Aspekte, die man durch ein paar Anmerkungen zum Umweltschutz und zur Energieversorgung etwa wie folgt ergänzen kann.

- Manche Physiker und Politiker sehen im Wasserstoff den Energieträger der Zukunft. Zum einen entsteht bei seiner Verbrennung nur Wasser. Ferner besitzt er, wie man der Tabelle entnehmen kann, einen sehr großen Heizwert. Das würde die benötigte Lagerkapazität im flüssigen Zustand erheblich verringern, wenn auch die Lagerung sich insgesamt erheblich schwieriger gestaltet als bei Benzin oder Heizöl, da Wasserstoff unter normalen Bedingungen gasförmig ist und nur mit erheblichem Aufwand verflüssigt werden kann. Zurzeit forscht man jedoch intensiv an sogenannten Festkörperspeichern für Wasserstoff.

- Aus der Tabelle der Heizwerte geht außerdem hervor, dass Holz ein sehr schlechter Energieträger ist. Aber vor allem in der dritten Welt wird es noch häufig zum Heizen und Kochen benutzt. Hier wäre es sinnvoll, verstärkt auf die Solarenergie umzusteigen, zumal in vielen Entwicklungsländern die Sonneneinstrahlung erheblich größer ist als bei uns. Außerdem müsste dann nicht so viel Wald abgeholzt werden. Der Kohlendioxidgehalt der Luft würde gleich in doppelter Hinsicht gesenkt.
- Nicht zuletzt kann man den Einsatz von Teelichtern zum Warmhalten von Kaffee oder Tee als einen, wenn auch sehr bescheidenen Beitrag ansehen, nachwachsende Rohstoffe als Energieträger zu nutzen. Schließlich verbraucht man dann keinen Strom, um eine elektrische Warmhalteplatte zu betreiben. Vom energetischen Standpunkt aus betrachtet wäre es allerdings noch günstiger, eine isolierte Warmhaltekanne zu benutzen, damit die einmal zugeführte Wärme nicht so schnell an die Umgebung verloren geht.
- Der Heizwert, oder wie man bei Nahrungsmitteln sagt, Brennwert ist aber auch bei der Ernährung von größter Bedeutung. Viele Leute in den Industrieländern leiden unter Übergewicht, da sie zu viele energiereiche Lebensmittel zu sich nehmen, vor allem Fette und Kohlenhydrate. Energieärmere Kost wie Obst und Gemüse wären der Gesundheit wesentlich förderlicher. Ihr (die Schüler) solltet also rechtzeitig auf eine ausgewogene Ernährung achten.

4. Übungsaufgaben

1. Aufgabe

- Bestimmen Sie die Leistungen verschiedener Teelichter mit dem Versuch aus Kapitel 3.1 und vergleichen Sie die Ergebnisse miteinander. Erläutern Sie die Unterschiede.
- Erkundigen Sie sich im Physikbuch oder im Internet, wozu der Docht dient. Führen Sie dazu folgenden kleinen Versuch durch:

Zünden Sie ein Teelicht an. Lassen sie es einige Minuten brennen. Blasen Sie die Flamme aus und halten sie sofort ein brennendes Feuerzeug oder Streichholz in die Nähe des Dochtes, ohne ihn zu berühren. Beschreiben und deuten Sie Ihre Beobachtungen.

- Wiederholen Sie den Versuch aus Kapitel 3.1 statt mit einem Teelicht mit einem Spiritusbrenner, wie er z.B. für Schülerversuche in der Wärmelehre verwendet wird. Vergleichen Sie die Ergebnisse beider Versuche miteinander. Berechnen Sie die Leistung des Spiritusbrenners.
- Erkundigen Sie sich im Physikbuch oder im Internet nach dem Heizwert von Brennspritus und vergleichen Sie ihn mit dem in Kapitel 3.3 ermittelten Heizwert für Kerzenwachs. Deuten Sie das Ergebnis.

2. Aufgabe

Mit einem Teelicht der Leistung $P = 25 \text{ W}$ erhitzt man $m = 300 \text{ g}$ Wasser $t = 5 \text{ min}$ lang. Das Kerzenwachs hat einen Heizwert $H_z = 27300 \text{ kJ/kg}$. Berechnen Sie

- wie viel Energie das Teelicht abgibt.
- um wie viel $^{\circ}\text{C}$ sich das Wasser erwärmt.
- wie viel g Kerzenwachs benötigt werden.

3. Aufgabe

In einem Wasserkocher erwärmt man $m = 2 \text{ kg}$ Wasser von $T_1 = 20^{\circ}\text{C}$ auf $T_2 = 98^{\circ}\text{C}$. Man benötigt $t = 6 \text{ min}$.

- Berechnen Sie die benötigte Energie, um das Wasser zum Kochen zu bringen.
- Errechnen Sie die Leistung des Wasserkochers.
- Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit der Aufschrift auf dem Kocher. Deuten Sie das Ergebnis. Schauen Sie sich das Innenleben des Kochers an.
- Diskutieren Sie, was man beim Garen von Speisen mit Wasser beachten sollte, um sie möglichst verlustfrei zuzubereiten.
- Erläutern Sie, ob eine Herdplatte, ein Gasherd oder ein Tauchsieder besser geeignet ist, um Wasser möglichst ohne Wärmeverluste zu erhitzen.

Lösungen

1. Aufgabe

- Die Teelichter brennen mit sehr unterschiedlich großer Flamme. Entsprechend schwankt ihre Leistung zwischen etwa $P = 10 \text{ W}$ und $P = 30 \text{ W}$. Das liegt vor allem am Docht.
- Der Docht überführt das flüssige Wachs in den gasförmigen Zustand. Er dient sozusagen als Vergaser. Nur gasförmige Stoffe können mit offener Flamme brennen, da nur sie sich mit dem Luftsauerstoff genügend vermischen können. Feststoffe glimmen nur. Flüssigkeiten verdampfen, bevor sie verbrennen. Das beweist der kleine Versuch. Hält man ein brennendes Feuerzeug oder Streichholz in die Nähe des soeben erloschenen Dochtes, so springt die Flamme auf den Docht über, da sich die Wachsdämpfe entzünden. Außerdem riecht es nach Kerzenwachs.
- Mit dem Spiritusbrenner beginnt das Wasser nach ca. 10 Minuten zu kochen. Er hat eine wesentlich größere Leistung als das Teelicht. Sein Docht ist viel größer. Da Brennspritus außerdem flüssig ist, lässt er sich viel leichter verdampfen. Für die Leistung des Brenners erhält man aus dem Versuchsergebnis:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{c * m * \Delta T}{t} = \frac{4,18 \text{ J/g} * ^\circ\text{C} * 200 \text{ g} * 79,7^\circ\text{C}}{600 \text{ s}} = 111 \text{ W}.$$

Sie ist rund fünfmal größer als die eines Teelichtes. Aber auch sie kann je nach Docht erheblich schwanken wie bei den Teelichtern.

- Der Heizwert von reinem Ethanol beträgt $H_z = 30000 \text{ kJ/kg}$. Da Brennspritus etwa 3 % Wasser enthält, dürfte sein Heizwert etwas geringer sein. Damit haben Kerzenwachs und Brennspritus fast den gleichen Heizwert. Das ist nicht verwunderlich, da beide Stoffe als Kohlenwasserstoffe mit einem Sauerstoffanteil chemisch verwandt sind.

2. Aufgabe

- Es gilt für die abgegebene Energie W :

$$W = P * t = 25 \text{ W} * 300 \text{ s} = 7500 \text{ J}.$$

- Mit dieser Energie erwärmt sich das Wasser um

$$\Delta T = \frac{7500 \text{ J}}{4,18 \text{ J/(g} * ^\circ\text{C)} * 300 \text{ g}} = 6^\circ\text{C}.$$

- Man benötigt

$$m = \frac{7500 \text{ J}}{27300 \text{ J/g}} = 0,274 \text{ g}$$

Kerzenwachs.

3. Aufgabe

- Die benötigte Energie W beträgt:

$$W = c * m * \Delta T = 4,18 \text{ J/g} * ^\circ\text{C} * 2000 \text{ g} * 78^\circ\text{C} = 652080 \text{ J}.$$

b) Damit hat der Wasserkocher eine Leistung

$$P = \frac{652080J}{360s} = 1811W.$$

- c) Auf dem Kocher wird die Leistung mit $P = 1810 \text{ W}$ angegeben. Die gemessene Leistung stimmt sehr gut mit dieser Angabe überein. Beim Wasserkocher treten fast keine Wärmeverluste auf. Sein Wirkungsgrad beträgt nahezu 100%. Er enthält eine Heizspirale, die ganz von Wasser umspült wird. Daher wird fast die gesamte elektrische Energie ans Wasser weitergegeben. Nur das leichte Gehäuse muss miterwärmt werden.
- d) Gart man Speisen in einem Kochtopf mit Wasser, sollte man den Topf geschlossen halten, damit wenig Wasser verdampft. Außerdem sollte man die Heizleistung der Platte stark reduzieren, wenn das Wasser kocht. Es sollte nur köcheln, um möglichst wenig Wärme über den Wasserdampf abzuführen.
- e) Die Heizspirale sollte direkt ins Wasser eintauchen, um die Wärmeverluste an die Umgebung zu minimieren. Das ist bei Tauchsiedern und Wasserkochern der Fall. Beim elektrischen Herd geht Wärme an die Luft und an den Topf verloren. Das gleiche gilt für Gasherde.

5. Literatur

1) Dorn-Bader, Physik Sekundarstufe I, Schroedel-Verlag Hannover, S. 250