

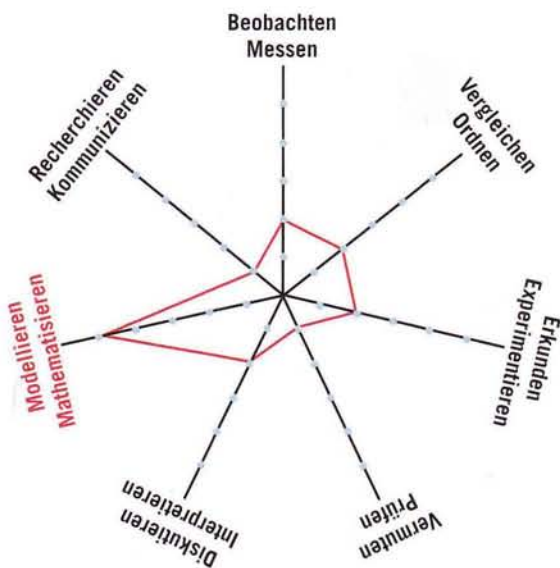


Lutz Stäudel

## Wie lässt sich der Grundumsatz des menschlichen Körpers messen?

Modellierung eines (dynamischen) Systems mit Hilfe einer Reaktionsgleichung

Chemische Reaktionsgleichungen stellen typische naturwissenschaftliche Idealisierungen dar, zugleich sind sie hochgradig formalisiert. Aber gerade deswegen eignen sie sich zur Beschreibung von komplexen Stoffumsätzen jeder Art. Zusammen mit dem Wissen um den Massenerhalt bei Reaktionen lassen sich mit ihrer Hilfe auch komplizierte Systeme modellieren, von denen man zunächst nur In- und Output kennt.



### Zum Kopieren

- ▶ MATERIAL 1, S. 120 liefert Informationen zum Stoffwechsel und fordert die Schüler auf, sich zu überlegen, wie man den Ruheumsatz des Menschen messen könnte.
- ▶ MATERIAL 2, S. 121 enthält gestufte Lernhilfen, die auch weniger leistungsfähigen Schülern helfen sollen, für die Aufgabe von Material 1 eine Lösung zu finden.

„Kalorien zählen“ ist eine verbreitete Gewohnheit schon unter Mittelstufenschülern, Folge einer oft übertriebenen Orientierung an medial vermittelten Schönheits- (und Schlankheits-) Idealen oder bittere Notwendigkeit angesichts zunehmender Übergewichtigkeit schon in Kindheit und in Jugendjahren. Dabei spielt es offenbar keine Rolle, dass es eigentlich Kilo-Kalorien sind, die man eifrig aufsummiert, und dass es „Kalorien“ als

Maßeinheit für die (Wärme-) Energie schon lange nicht mehr gibt und man korrekt eigentlich Joule zählen müsste (vgl. **Kasten S. 117**).

Aus Informationsmaterialien z. B. der Deutschen Gesellschaft für Ernährung ([www.dge.de](http://www.dge.de)) oder anderen Quellen (z. B. [www.lauftipps.de](http://www.lauftipps.de)) kann man Richtwerte für den Energieumsatz beim Menschen in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht und Art der Tätigkeit entnehmen.

Teils werden diese Richtwerte in Tabellen vorgestellt, teils lassen sie sich mittels einer in eine Webseite integrierten Formel berechnen. Weil nicht erst bei extremer körperlicher Beanspruchung der Umsatz deutlich höher ist als bei Ruhe unterscheidet man üblicherweise zwischen Grundumsatz und Leistungsumsatz.

Für Jugendliche ist die Angabe solcher Richtwerte übrigens mit einigen Problemen verbunden, da sowohl Wachstum wie auch körperliche Veränderungen während der Pubertät den Bedarf deutlich beeinflussen und zeitlich stark schwanken lassen.

### Das „System Mensch“ modellieren

Die Auseinandersetzung mit den entsprechenden Tabellen (vgl. z. B. **Tabelle S. 118**), verknüpft mit „Kalorienangaben“ zu einer Vielzahl von Grundnahrungsmitteln und zubereiteten Lebensmitteln, führt regelmäßig zu der Frage, wie man überhaupt solche Werte ermitteln kann. Während es noch relativ einfach erscheint, die in einem Zuckerwürfel verfügbare Energiemenge bezogen auf seine Verbrennungsprodukte  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  durch Verbrennung in einem Kalorimeter zu bestimmen, so stellt die Messung z. B. des Grundumsatzes eines lebenden Menschen ein gedanklich und technisch schwieriges Problem dar (vgl. **Kasten S. 119**).

Dies kann Ausgangspunkt für die Aufgabe sein, den Energieumsatz vom „System Mensch“ mittels einer einfachen chemischen Gleichung zu „modellieren“ und daraus eine experimentelle Möglichkeit abzuleiten, den Energieumsatz indirekt mit chemischen Methoden zu messen. Alternativ und zur Einführung des Modellierens als spezifische naturwissenschaftliche Vorgehensweise kann die Übertragung der Verbrennungsgleichung und die anschließende Ableitung einer Erfassungsmethode für einen Energie-äquivalenten Parameter auch in der Art einer Musterlösung erfolgen, an die sich dann die Bearbeitung eines anderen Problems anschließt.

### Aufgabenstellung und Einsatz gestufter Lernhilfen

Die Aufgabe (vgl. **Material 1**) folgt dem bekannten Muster der PISA-Formate: In einem längeren Eingangstext wird einerseits der Kontext beschrieben, aus dem die Fragestellung stammt, zum an-

## Kalorien und Joule

Eine Kilokalorie ist die Energiemenge, die notwendig ist, um 1 Liter Wasser von  $14,5^\circ\text{C}$  auf  $15,5^\circ\text{C}$  bei normalem Atmosphärendruck zu erwärmen.

Die Einheit Kalorie wurde aufgrund internationaler Vereinbarungen durch die Einheit Joule abgelöst, weil diese besser geeignet ist, verschiedene Energiearten ineinander umzurechnen.

In der Praxis werden immer noch beide Einheiten verwendet.

**1 Kilokalorie (kcal)  $\hat{=}$  4,184 Kilojoule (kJ).**

Vereinfacht rechnet man, insbesondere im Ernährungsbereich,  $1 \text{ kcal} \approx 4 \text{ kJ}$ .

deren werden Informationen gegeben, die zur Lösung der Aufgabe herangezogen werden können. Benötigte Vorkenntnisse sind

- die Analogie von Verbrennung und Stoffumsatz zur Energiegewinnung in den Zellen
- Kenntnis der Möglichkeit, aus einem Formelumsatz auf die insgesamt freigesetzten Energiemengen zu schließen
- der Massenerhalt bei chemischen Reaktionen sowie die Proportionalität von Edukten und Produkten
- der Nachweis von  $\text{CO}_2$  mittels Kalkwasser sowie die Möglichkeit der quantitativen Ausfällung von  $\text{CaCO}_3$

Weil man nicht als sicher voraussetzen kann, dass alle Schüler über diese Vorkenntnisse in gleicher Weise verfügen, kann die Aufgabe ohne Verlust von Komplexität durch gestufte Lernhilfen ergänzt werden (vgl. **Material 2**). Damit können auch weniger leistungsfähige Schüler zu einem befriedigenden Ergebnis kommen (zur Beschreibung der Unterrichtsmethode vgl. Leisen 2003).

### Auswertung der Ergebnisse

Nach Bearbeitung der Aufgabe in Dreier- oder Vierergruppen werden die Ergebnisse im Plenum präsentiert und verglichen. Die Diskussion sollte auf zwei Ebenen erfolgen:



Körpergewicht	Ruheumsatz	Mäßige körperliche Bewegung	Leichte körperliche Tätigkeit	Mittelschwere körperliche Tätigkeit	Schwere körperliche Tätigkeit
kg	kJ	kJ	kJ	kJ	kJ
40	4050	4450	5200	6050	6400
50	5050	5650	6500	7550	9200
60	6050	6800	7800	9050	11050
70	7050	7800	9100	10550	12900
80	8050	9100	10400	12050	14750
90	9050	10200	11700	13550	16600

**Tabelle: Energiebedarf bei unterschiedlich starker körperlicher Tätigkeit in Abhängigkeit vom Körpergewicht**

Zum einen muss verdeutlicht werden, dass die entwickelte Methode nur einen ungefähren Anhaltspunkt für den realen Energieumsatz im Körper liefert. Da im Verdauungstrakt die Nahrung nur teilweise so aufgespalten wird, dass die Produkte ins Blut gelangen können, liegt der tatsächliche Wert für die Energiebereitstellung in den Zellen deutlich unter dem experimentell bestimmten.

Zum anderen kann nach Abschluss der inhaltlichen Diskussion mit den Schülern das Vorgehen thematisiert und als Modellierung identifiziert werden: Sie haben auf dem Weg zu ihrer Lösung einen aus anderen Bereichen bekannten Zusammenhang, der zu einer abstrakt formulierbaren Reaktionsgleichung führte, auf eine neue Fragestellung angewandt und dieses Problem dadurch gewissermaßen modelliert. Aus dieser Übertragung konnte dann mit Hilfe weiterer bekannter Fakten – z. B. der Nachweisreaktion von  $\text{CO}_2$  mittels Kalkwasser – ein Verfahren abgeleitet werden, mit dessen Hilfe eine quantitative Aussage möglich wird.

Um die Vorstellung dessen, was Modellieren bedeutet, weiter zu klären, können die Unterschiede zwischen einer Verbrennung und der Energiegewinnung in den Zellen herausgearbeitet werden. So finden Verbrennungen bei viel höheren Temperaturen statt, als sie einer Zelle zuträglich wären. Weiterhin beschreibt die Verbrennungsgleichung nur Anfangs- und Endzustand – noch dazu in verkürzter Form. Damit ist sie letztlich nur bedingt ein Modell für den Grundumsatz des menschlichen Körpers.

Zudem kann man die Lerngruppe weitere Beispiele finden lassen, bei denen eine ähnliche Über-

tragung stattfindet und so Aussagen über einen Wirkungszusammenhang oder sinnvolle Maßnahmen zulässt. Geeignete (und den Schülern oft schon bekannte) Beispiele hierfür sind:

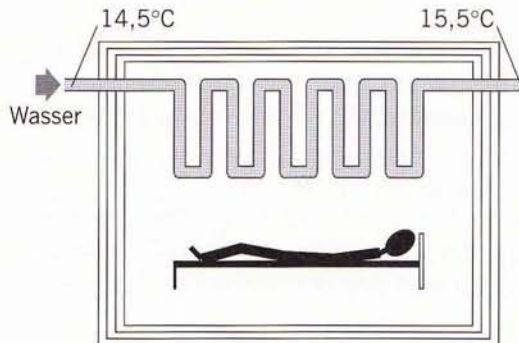
- die Versauerung von Böden durch Emissionen aus Verkehr, Industrie und Hausbrand,
- der Ausstoß von  $\text{CO}_2$  und der Treibhauseffekt (vgl. Stäudel/Werber/Freiman 2002, S. 82 ff).

#### Literatur

- Leisen, J. (Hrsg.): Methoden-Handbuch deutschsprachiger Fachunterricht (DFU). Loseblattwerk, Bonn 2003
- Stäudel, L./Werber, B./Freiman, T.: Lernbox: Naturwissenschaften – verstehen und anwenden. Friedrich Verlag, Seelze 2002.

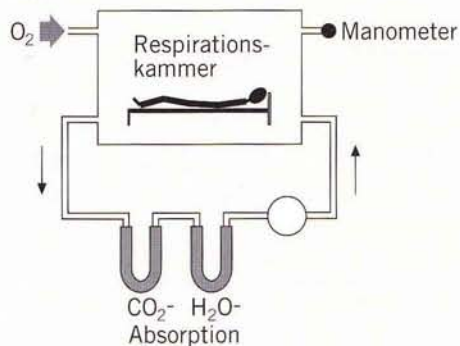
## Und wie wird der Grundumsatz technisch gemessen?

Tatsächlich gibt es verschiedene Möglichkeiten, den Grundumsatz von Lebewesen zu messen. Eine davon ist die **direkte Kalorimetrie**, wobei die Wärme gemessen wird, die ein Mensch während einer bestimmten Zeit in einer geschlossenen Kammer abgibt (vgl. **Abbildung 1**).



**Abbildung 1:** Grundumsatzmessung durch direkte Kalorimetrie

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Stoffwechsel durch **Messung von Sauerstoff-Aufnahme und Kohlenstoffdioxid-Abgabe** zu bestimmen. Die ersten Versuche dazu waren allerdings technisch noch sehr aufwändig (vgl. **Abbildung 2**): Wiederum wurde ein geschlossener Behälter verwendet, eine so genannte Respirations-Kammer, in der aber die ausgeatmeten Stoffwechselprodukte  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  absorbiert und anschließend analysiert wurden.



**Abbildung 2:** Messung von  $\text{O}_2$ -Aufnahme und  $\text{CO}_2$ -Abgabe

Heute sind einfache Geräte im Handel, durch die lediglich der Atem der untersuchten Person geleitet wird,  $\text{CO}_2$ - und Sauerstoffgehalt der Atemluft werden spektroskopisch bestimmt. Aus dem so genannten **Respiratorischen Koeffizienten**, der direkt am Gerät abgelesen werden kann, wird der Grundumsatz berechnet.



## Wie viel Energie verbraucht ein Mensch, wenn er ruht?

Jeder Mensch muss essen. Besonders die im Essen enthaltenen **Kohlenhydrate und Fette** liefern die Energie zum Leben. Je größer die körperliche Anstrengung, desto mehr Energie wird umgesetzt. Aber auch im Ruhezustand – z. B. während des Schlafs – werden im Körper Kohlenhydrate und Fette energetisch verwertet. So können die Organe weiter arbeiten und die Körpertemperatur von 37 °C wird konstant erhalten.

Der **Blutkreislauf** spielt eine wichtige Rolle bei diesen Prozessen: Das Blut bringt sowohl die Energiestoffe in die Zellen, wo sie gebraucht werden, wie auch den Sauerstoff. Und es transportiert das bei der Umsetzung gebildete Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) wieder ab, das schließlich über die Lunge ausgeatmet wird.

Zunächst konnte man nur Vermutungen über diese Prozesse im Körper anstellen. Tatsächlich sind die stattfindenden Reaktionen sehr kompliziert und vielfältig. Aber den Gesamtvorgang konnte man sehr bald beschreiben. Dabei stellte man eine chemische Gleichung auf, die eine Verbrennung beschreibt:



Auch war schon bald klar, dass die maximal gewinnbare Energie aus den Prozessen in den Zellen höchstens so groß sein kann wie bei der direkten Verbrennung: Aus einer Formeleinheit Glucose (180 g) sind das 30.060 kJ. (100 g = 16.700 kJ)

Lange Zeit erschien es schwierig zu messen, wie viel Energie ein Mensch bei Beanspruchung und in Ruhe umsetzt. Aber eines Tages hatte jemand eine geniale Idee ...

### AUFGABE

- ▶ Was meint ihr, wie hat der Wissenschaftlicher versucht, den Energieumsatz in Ruhe zu messen?

**Hilfe:** Benutze zur Beantwortung die Lernhilfen in Material 2.

## Lernhilfen

---

### L1

Versucht, im Text die Informationen zu finden, die für die Beantwortung der Frage wichtig sein könnten, und ordnet sie.

---

### L2

Denkt darüber nach: Was sagt die Reaktionsgleichung für die Verbrennung aus? Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Menge der Stoffe und der bei der Reaktion in Summe bereitgestellten Energie?

---

### L3

Fertigt eine Skizze an mit einem Menschen im Zentrum und mit allen Größen, die ihr aus dem Text über den Stoffwechsel entnommen habt.

---

### L4

Es ist schwierig, die in den Zellen gewonnene Energie zu messen. Welche vom Körper aufgenommenen bzw. abgegebenen Stoffe lassen sich anstelle der Energie erfassen?

---

### L5

Versucht euch zu erinnern, wie man  $\text{CO}_2$  nachweist. Wie könnte man den gebildeten Niederschlag anschließend messen?

---

### L6

Skizziert eine Versuchsanordnung, bei der das von einem Menschen ausgeatmete  $\text{CO}_2$  erfasst, als  $\text{CaCO}_3$  ausgefällt und anschließend gewogen werden kann.

---

### L7

Wie kann man aus dem gewogenen  $\text{CaCO}_3$  auf die umgesetzte Energiemenge schließen?

Aus  $\text{CaOH}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$  folgt: 1 g  $\text{CaCO}_3$  entspricht x g absorbiertes  $\text{CO}_2$   
 Aus  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$  folgt: 6  $\text{CO}_2$  entsprechen 1  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$   
 Aus 100 g  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  entsprechen 16.700 kJ folgt: y g  $\text{CaCO}_3$  entsprechen z kJ

## **IMPRESSUM**

Reinders Duit/Harald Gropengießer/Lutz Stäudel

### **Naturwissenschaftliches Arbeiten**

Unterricht und Material 5-10

2. Auflage 2007

© Erhard Friedrich Verlag GmbH,  
30926 Seelze-Velber

### **Redaktion**

Dr. Stefanie Krawczyk  
Anne Meyhöfer

### **Realisation**

Beate Franck-Gabay/André Klemm,  
Friedrich Medien-Gestaltung

### **Verlag**

Erhard Friedrich Verlag GmbH  
Im Brande 17, 30926 Seelze-Velber

### **Druck**

Jütte-Messedruck Leipzig GmbH, Printed in Germany

### **Vertrieb**

Friedrich Leserservice  
Postfach 10 01 50, D-30917 Seelze  
Telefon 0511/40 00 4-0  
Telefax 0511/40 00 4-219  
leserservice@friedrich-verlag.de

**Bestell-Nr. 92366**

Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten.  
Die als Material bezeichneten Unterrichtsmittel dürfen bis zur  
Klassen- bzw. Kursstärke vervielfältigt werden.

**Besuchen Sie uns im Internet unter [www.friedrichonline.de](http://www.friedrichonline.de)**

# Inhalt

REINDERS DUIT, HARALD GROPEGIEBER, LUTZ STÄUDEL

## Naturwissenschaftliches Arbeiten

Eine Einführung

4

LUTZ STÄUDEL

## Die Spinnennetz-Methode

Analyse naturwissenschaftlicher Arbeitsformen im Unterricht

9

## 1. BEOBACHTEN UND MESSEN \_\_\_\_\_ 10

JÖRG ZABEL

### Was tut das Tier?

Beobachten und Deuten lernen anhand von Verhaltensprotokollen

Biologie ab Klasse 7

12

ELKE PETER

### Der Ölfläschchen-Versuch

Beobachtungen formulieren und kritisch bewerten

Chemie ab Klasse 8

18

GERMAN HACKER

### 1 Milka – eine vorläufige Einheit der Kraft

Zum Messen in den Naturwissenschaften

Physik ab Klasse 8

24

## 2. VERGLEICHEN UND ORDNEN \_\_\_\_\_ 30

LUTZ STÄUDEL

### Der Gelbe Sack

Vergleichen und Klassifizieren anhand abstrakter Eigenschaften

Chemie ab Klasse 8

32

MARCUS HAMMANN

### Tiere ordnen

Ein Methodentraining zum kriteriengeleiteten Vergleichen

Biologie Klasse 5

38

GUNNAR FRIEGE

### Stromkreise „sortieren“

Vergleichen, Kategorien entwickeln und Ordnen im Physikunterricht

Physik ab Klasse 9

47

## 3. ERKUNDEN UND EXPERIMENTIEREN \_\_\_\_\_ 52

MARTIN STAMME, LUTZ STÄUDEL

### Die Zustandsformen des Wassers

Erfahrungen rekonstruieren durch Experimentieren

Chemie ab Klasse 6

54

ROLF HEROLD, SIEGFRIED BUREK, STEPHAN SPÄTH

### Heimversuche

Gelegenheiten für eigenständiges Experimentieren

Physik ab Klasse 8

60

ELKE PETER

### Was brauchen Kressesamen zum Keimen?

Experimente als Schiedsrichter

Biologie ab Klasse 5

64

## 4. VERMUTEN UND PRÜFEN \_\_\_\_\_ 70

TANJA RIEMEIER

### Alpenveilchen in der Tinte

Vorhersagen prüfen durch Versuche

Biologie ab Klasse 7

72



**HARALD GROPEGIEBER, DIRK KRÜGER**

**Hautatmung beim Menschen**

Einem kleinen Versuch naturwissenschaftlichen Geist einhauchen

Biologie ab Klasse 7

78

**GUNNAR FRIEGE, KLAUS MIE**

**Elektrische Black-Boxen**

Hypothesen bilden und prüfen

Physik ab Klasse 9

82

**5. DISKUTIEREN UND INTERPRETIEREN**

88

**LUTZ STÄUDEL**

**Gasentwicklung von Brausetabletten**

Versuchsergebnisse deuten und eine Lösungshypothese entwickeln

Chemie/Biologie  
ab Klasse 9

90

**SANDRA FRIEDRICH, WOLFGANG RUPPERT**

**Leben aus der Uruppe**

Einen Zeitungsartikel aus naturwissenschaftlicher Perspektive lesen

Chemie/Biologie  
ab Klasse 8

97

**MICHAEL KOMOREK, REINDERS DUIT, HELGA STADLER**

**Ein chaotisches System erklären**

Von Beobachtungen und Vermutungen zum  
Argumentieren und Interpretieren

Physik ab Klasse 9

100

**6. MODELLIEREN UND MATHEMATISIEREN**

104

**JÖRG ZABEL**

**Wie funktioniert die Bauchatmung?**

Funktionsmodelle veranschaulichen Prozesse

Biologie ab Klasse 7

106

**DOMINIK LEIB**

**Die Wanne ist voll, juchhuhu ...**

Von der Analyse eines Funktionsgraphen zur Interpretation

Alle Fächer  
ab Klasse 8

113

**LUTZ STÄUDEL**

**Wie lässt sich der Grundumsatz des menschlichen Körpers messen?**

Modellierung eines (dynamischen) Systems mit Hilfe  
einer Reaktionsgleichung

Chemie/Biologie  
ab Klasse 9

116

**SILKE MIKELSKIS-SEIFERT, ANTJE LEISNER**

**Lernen über Teilchenmodelle**

Das Denken in Modellen fördern

Physik ab Klasse 8

122

**7. RECHERCHIEREN UND KOMMUNIZIEREN**

128

**JORGE GROB**

**Lichtintensität und Pupillenweite**

Wie entsteht aus Messdaten eine aussagefähige Grafik?

Biologie ab Klasse 9

130

**SINUS NATURWISSENSCHAFTEN HESSEN**

**Lautes Denken**

Beim Sprechen die Gedanken klären

Chemie ab Klasse 7

138

**AUSBlick**

**LUTZ STÄUDEL**

**Unterrichtsentwicklung in der Fachgruppe**

Praktische Hinweise für die Fachgruppen-Diskussion

142