Martin Buchholz

Energie

Wie verschwendet man etwas, das nicht weniger werden kann?

Springer

Energie – Wie verschwendet man etwas, das nicht weniger werden kann?

Martin Buchholz, geboren in Bochum, studierte an der TU Braunschweig und der University of Glasgow (UK) Maschinenbau. Weil er gute Erklärungen immer schon einem „Das steht halt so in der Norm“ vorzog, begann er nach dem Studium seine Arbeit in Forschung und Lehre am Institut für Thermodynamik der TU. Seine Aktivitäten als Science Slammer (Deutscher Meister 2010) sowie als Entwickler von Lernsoftware und Lernvideos ergänzen sich gut mit seinen Bemühungen, jedes Jahr neuen Studierenden in Braunschweig die Thermodynamik näherzubringen.

Martin Buchholz

Energie – Wie verschwendet man etwas, das nicht weniger werden kann?

Springer

Martin Buchholz
Braunschweig, Deutschland

ISBN 978-3-662-49741-8 ISBN 978-3-662-49742-5 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-49742-5

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016
Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.
Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.
Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Planung: Margit Maly
Zeichnungen: Dr. Maren Lütge

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist Teil von Springer Nature
Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg

Inhaltsverzeichnis

1 **Einleitung** 1

2 **Einheiten** 5
2.1 Einheiten sind nicht sexy 5
2.2 Der Unterschied zwischen Arbeit und Leistung . 7
2.3 Die Einheiten für Energie: Joule und kWh 12
2.4 Energie ist mehr als nur Strom 21
2.5 Auch Temperatur will gemessen werden 24

3 **Exergie, Anergie und die hohe Kunst der Energieverschwendung** 27
3.1 Ich bin ein Energieverschwender. Sie auch? 27
3.2 Die Bedeutung der Umgebung 32
3.3 Exergie & Anergie – zwei ungleiche Schwestern 35

4 **Entropie. Was ist das? Und vor allem . . . wozu braucht man es?** 39
4.1 Wozu braucht ein Kraftwerk Kühltürme? 40
4.2 Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik 43
4.3 Maximaler Arbeitsgewinn 48
4.4 Entropie & Zeit im Gleichschritt 57
4.5 Na gut. Doch noch eine Deutung der Entropie . 64

4.6 Evolution versus Entropie: Kreationisten und die Unordnung 68
4.7 A und Ω – vom Urknall bis zum Wärmetod 72

5 Reale Energiewandlungsprozesse und deren Grenzen 75

5.1 Energiewandlung im Alltag 75
5.2 Umwandlung von Wärme zu Arbeit 81
5.3 Direkte Umwandlung von chemisch gebundener Energie zu Arbeit 88
5.4 Umwandlung zwischen elektrischem Strom und mechanischer Arbeit 92
5.5 Umwandlung von chemisch gebundener Energie in Wärme 93
5.6 Umwandlung von Arbeit zu Wärme 94
5.7 Umwandlung von Arbeit zu „Kälte“ 101
5.8 Umwandlung von Arbeit zu chemisch gebundener Energie 110
5.9 Umwandlung von Licht zu Arbeit 113
5.10 Umwandlung von Arbeit zu Licht 117

6 Das Perpetuum mobile – Energiewandlung jenseits aller Grenzen 119

6.1 Die Geschichte vom Perpetuum mobile 119
6.2 Verschwörung allüberall 123
6.3 Wie man ein Perpetuum mobile widerlegt 125
6.4 Historische Fehlschläge 130
6.5 Waren die früher alle so dumm? 138
6.6 Unheimliche Maschinen der dritten Art 140
6.7 Scheinbare Perpetuum Mobiles 144
Literatur 159

7 Die Energiewende 161

7.1 Wirtschaftliche Betrachtung 170

7.2 Zurück zur Technik 182
7.3 Das Stromnetz der Zukunft: Schwankende Nachfrage trifft auf schwankendes Angebot . . . 185
Literatur 221

8 Energie „sparen" im Alltag 223
8.1 Konkrete Maßnahmen zur Senkung des Stromverbrauchs 226
8.2 Alles neu kaufen? 239
8.3 Effizienter heizen 239
8.4 Indirekter Energieverbrauch 244

Sachverzeichnis 247

1
Einleitung

„Energie ist ein Thema, das alle interessiert." Dachte ich zumindest lange, weil ich von mir auf andere geschlossen habe. Fälschlicherweise. Dass diese These nicht stimmt, merke ich in Gesprächen mit Freunden, aber erstaunlicherweise auch mit Studenten, die später Ingenieure werden wollen, immer wieder. Also revidiere ich meine Aussage: „Energie ist ein Thema, das alle interessieren *sollte*."

Schließlich betrifft das Thema *Energie* unsere Lebensqualität in vielfältiger Weise: Eine gesicherte Energieversorgung sorgt – in Kombination mit vielen Haushaltsgeräten und Maschinen – dafür, dass wir so wenig selber körperlich arbeiten müssen wie keine Generation vor uns. Gleichzeitig bedroht die herkömmliche Energiebereitstellung in Kraftwerken und Automotoren unsere Gesundheit bzw. unsere Umwelt und die aktuelle Energiewende spüren wir im Portemonnaie. Damit sollte die Frage der Relevanz eigentlich geklärt sein; sind doch *Wohlbefinden*, *Umweltschutz* und *Geld* Themen, die fast niemanden kalt lassen.

Aber wem sage ich das: Da Sie ganz offensichtlich dieses Buch aufgeschlagen haben und bereits die Einleitung lesen, vermute ich, dass Sie das Thema auch spannend finden. Also geht es für Sie eigentlich nur noch darum, was Sie in diesem

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016
M. Buchholz, *Energie – Wie verschwendet man etwas, das nicht weniger werden kann?*,
DOI 10.1007/978-3-662-49742-5_1

Buch erwartet und warum Sie sich ausgerechnet mit mir zusammen Gedanken dazu machen sollten.

Energie war für mich schon im Physikunterricht die interessanteste aller Größen, da die Energieerhaltung für alle Prozesse – völlig egal um welches Thema es ging – gültig ist. Trotz eines außergewöhnlich guten Physiklehrers in der Oberstufe hatte ich als Schüler aber immer das Gefühl, dass mir ein Puzzlestück fehlte. Wo bleibt denn die Energie eines Gegenstandes, nachdem er vom Tisch auf den Boden gefallen ist? Und warum kann er nicht wieder von alleine nach oben fliegen, wenn die Energie doch angeblich nicht verloren gegangen ist?

Erst im Studium begegnete mir dann das Fach *Thermodynamik*, von dem ich zwar vorher noch nie etwas gehört hatte, das mir aber dafür endlich Antworten auf meine Fragen lieferte. Und je mehr ich verstand, umso mehr hatte ich auch Lust, anderen das zu erklären, was mir vorher leider niemand erklärt hatte; und zwar nicht nur Studenten, für die ich auch heute noch Lehrveranstaltungen an der TU Braunschweig halte, sondern auch für ganz normale Leute, die keine besondere Affinität zu technischen Sachverhalten haben.

So sind im Laufe der Jahre einige Kurzvorträge entstanden, mit denen ich 2010 sogar deutscher Meister im *Science Slam* wurde und von denen einige über Hunderttausend Mal im Internet angeklickt wurden.

Das vorliegende Buch ist eine von diesen Vorträgen beeinflusste Sammlung von Texten zum Thema Energie: Ich betrachte die physikalischen Grundlagen dieser Größe und scheue mich sogar nicht einmal, etwas zum Thema „Einheiten“ zu schreiben, obwohl das doch angeblich immer

langweilig ist. Später wird die leider viel zu wenig bekannte Größe *Entropie* vorgestellt; eine wichtige Grundlage für das Verständnis ganz alltäglicher Vorkommnisse: Wir alle wissen, dass man ein 1000-Teile-Puzzle schneller zerlegt, als dass man es wieder zusammensetzt. Milch und Kaffee lassen sich leichter mischen als wieder trennen. Zeit läuft vorwärts, aber nie zurück. Der Grund ist in allen drei Fällen die Entropie.

Vor allem aber begrenzt die Entropie die Möglichkeiten, verschiedene Energieformen nach Belieben ineinander umzuwandeln. Deshalb untersuche ich verschiedene solcher Wandlungsprozesse zwischen Wärme, Arbeit, Strom, Licht, … und erkläre, wie sie funktionieren und bis zu welcher Grenze das jeweils gehen kann. Jenseits dieser Grenzen gibt es dann nur noch den unerfüllbaren Menschheitstraum des *Perpetuum mobile*, dem ich, weil er so schön ist, ebenfalls ein Kapitel widme.

Mit diesem ganzen, für manchen Leser vielleicht neuen Wissen wende ich mich zum Schluss der Energiewende zu. Deren Probleme und mögliche Lösungsansätze versuche ich so unpolitisch und neutral wie möglich zu diskutieren, bevor ich dann ganz am Ende noch auf ein paar Möglichkeiten hinweise, wie sich der Energieumsatz im eigenen Haushalt reduzieren lässt.

Manche Kapitel bauen dabei aufeinander auf, insbesondere die Lektüre der Kapitel zwei bis vier lohnt sich, wenn Sie die folgenden Kapitel wirklich begreifen möchten. Die übrigen Kapitel können Sie gerne auch selektiv oder in anderer Reihenfolge lesen.

Dabei habe ich mich immer bemüht, die Texte so zu schreiben, dass sie trotz inhaltlicher Korrektheit un-

terhaltsam bleiben und möglichst wenige Leser durch üppige Rechnungen oder überflüssiges Fachvokabular verschrecken. Die fachlich relevanten Begriffe, ohne die man wirklich nicht auskommen kann, habe ich in zusätzlichen Kurztexten erläutert, die Sie bei Bedarf lesen können, aber nicht müssen. Oft lohnt sich das Lesen solcher Begriffserklärungen allerdings, weil selbst so vertraute Begriffe wie *Wärme* in der Physik mitunter eine andere Bedeutung haben, als Sie vielleicht vermuten.

Das sollte für eine Einleitung reichen. Los geht's mit dem Inhalt. Oder um es mit den Worten von Captain Jean-Luc Picard, dem Star-Trek-Helden meiner Jugend, zu sagen: Energie!

2
Einheiten

2.1 Einheiten sind nicht sexy

Lieber Leser, ich kenne Sie nicht. Ich weiß nicht, ob Sie Schüler sind oder Maschinenbau studieren, bereits Physik studiert, eine Ausbildung zum Bankkaufmann oder aber einen Magister in Kunstgeschichte gemacht haben. Deshalb weiß ich auch nicht, was Sie wissen. Ich kann also nicht einschätzen, was für Sie völlig neu und was ein alter Hut ist.

Wenn Sie bereits wissen, wie man Joule in Kilowattstunden umrechnet, was der Unterschied zwischen Leistung und Arbeit ist und wieso eine Brennwertheizung einen Wirkungsgrad von über 100 % haben kann, wartet auf Sie in diesem Kapitel nur eine hoffentlich launige Wiederholung. Wenn Sie aber zu den 90 % der Bevölkerung gehören, die keinen Zusammenhang zwischen den Zahlen sehen, die a) auf Ihren Lampen stehen, b) auf Ihrem Stromzähler und c) auf Ihrem Gaszähler, dann sollte das folgende Kapitel Ihnen einige erhellende Momente bieten, die Sie für das weitere Buch (und vielleicht sogar für Ihr weiteres Leben) gut gebrauchen können.

Das Thema *Einheiten* hört sich eventuell nicht allzu sexy an; aber erinnern Sie sich bitte daran, wie das viel-

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016
M. Buchholz, *Energie – Wie verschwendet man etwas, das nicht weniger werden kann?*,
DOI 10.1007/978-3-662-49742-5_2

leicht ebenfalls nur mittelmäßig spannende Erlernen von 26 Buchstaben im Grundschulalter Sie in die Lage versetzt hat, aufregende Romane oder gar dieses Buch hier zu lesen. Und ich verspreche Ihnen: Sie müssen sich hier nur mit einer Handvoll Einheiten beschäftigen. Geben Sie ihnen eine Chance!

Wozu braucht man denn überhaupt Einheiten?

Um eine physikalische Größe wie Energie, Länge oder Stromstärke vermessen und in Rechnungen nutzen zu können, muss man für sie eine geeignete Einheit finden und gegebenenfalls verschiedene Einheiten ineinander umrechnen können. Eine *Einheit* ist dabei ein eindeutig definierter Wert der jeweiligen Größe. Alle anderen Werte dieser Größe werden als Vielfache der einmal gewählten Einheit angegeben.

Die Länge einer Strecke z. B. beschreiben wir mit der Einheit *Meter*. Das lässt uns leicht erkennen, welcher von zwei Wegen der längere ist: nämlich derjenige, der aus mehr einzelnen Metern besteht! Unser Vermögen (oder unser Einkommen) bemessen wir in Euro. Wer mehr Euros besitzt, ist – zumindest von einem rein monetären Standpunkt betrachtet – die reichere Person.

Schwieriger wird es, wenn ich 1000 € besitze und ein australischer Freund 1200 australische Dollar. Ein kleines Kind würde die Frage, wer mehr Geld besitzt, ganz einfach beantworten: 1200 ist mehr als 1000. Um die Frage als Erwachsener, der um die Existenz von Wechselkursen weiß, beantworten zu können, muss ich eine Umrechnung vornehmen. Bei einem Kurs von beispielsweise 2 A$/€, also zwei australischen Dollar die ich pro Euro bekomme, kann ich das

Vermögen meines Freundes in (1200 A$) / (2 A$/€) = 600 € umrechnen. Wenn ich es dann mit meinem Vermögen vergleiche, erkenne ich erfreut, dass ich der wohlhabendere von uns beiden bin.

2.2 Der Unterschied zwischen Arbeit und Leistung

Ich kann Ihnen nicht in den Kopf schauen; aber ich vermute, dass Sie beim Thema Energie an Einheiten wie Joule (gut in der Schule aufgepasst), Kilowattstunden (schon mal die Stromrechnung gelesen), Watt (das steht auf Lampen) und Kalorien (allen Diätfreunden vom Aufdruck auf der Lebensmittelverpackung bekannt) denken.

Bevor wir nun aber darüber reden, wie diese Einheiten ineinander umgerechnet werden können, müssen wir leider erst noch eine weitere wichtige Sache klären, die auf den ersten Blick etwas detailverliebt und kleinkariert aussehen mag: Den Unterschied zwischen Arbeit bzw. Energie auf der einen und Leistung auf der anderen Seite.

Viele Menschen werfen diese beiden Größen durcheinander und selbst im Kundenmagazin eines Energieversorgers habe ich vor kurzem ein Interview gelesen, in dem jemand eine Windanlage anpries, die angeblich „eine elektrische Leistung hat, die dem Stromverbrauch unsere ganzen Stadt für 45 Minuten entspricht".

Bevor ich darauf eingehe, warum diese Aussage Unsinn ist, möchte ich aber lieber erstmal einen Witz zur Auflockerung einstreuen:

Abb. 2.1 Auch der Manta kommt bis Berlin, egal ob mit 90 oder 190 km/h. Die wenigsten verwechseln Geschwindigkeit mit Reichweite, leider aber viele Leistung mit Arbeit

Sagt ein Mantafahrer in Dortmund zu seiner Freundin: „Boah, meine neue Karre fährt 190!" Antwortet die Freundin: „So'n Mist – nur 190? Nach Berlin kommste damit abba nich."

Fanden Sie das witzig? Ich nicht. Zumindest nicht so besonders. Das liegt wahrscheinlich daran, dass wir nicht einmal einer unter Umständen wenig intellektuellen Lebenspartnerin eines Mantafahrers aus Dortmund zutrauen, *km/h* und *km*, also die Einheiten für Geschwindigkeit und Entfernung, zu verwechseln.

Warum erzähle ich Ihnen dann diesen faden Witz? Weil diese beiden Größen, *Geschwindigkeit* und *Entfernung*, eine schöne Analogie zu *Leistung* und *Arbeit* darstellen. Wenn ich eine bestimmte Zeit mit einer gleichbleibenden Geschwindigkeit fahre, habe ich in dieser Zeit eine Strecke zurückgelegt, die sich als Produkt aus Geschwindigkeit und Zeit leicht berechnen lässt: In 2 Stunden Fahrt mit 100 km/h lege ich $2\,\text{h} \cdot 100\,\text{km/h} = 200\,\text{km}$ zurück.

Und genauso gilt: Wenn ich eine bestimmte Zeit lang eine gleichbleibende Leistung erbringe, dann habe ich dabei eine genau definierte Arbeit verrichtet, nämlich das Produkt aus Zeit und Leistung. Wenn eine Herdplatte über zwei Stunden eine Leistung von 2000 Watt, also zwei Kilowatt, abgibt, hat sie insgesamt eine Wärmemenge (= Energie) von $2\,\text{h} \cdot 2000\,\text{W} = 4000\,\text{Wh}$ bzw. 4 Kilowattstunden (kWh) abgegeben.

Beachten Sie bei diesem Beispiel, dass es sich bei den umgangssprachlichen „Stundenkilometern" (Geschwindigkeit) um Kilometer *pro* Stunde handelt, während es sich bei der vom Herd in meiner Küche abgegeben Wärme in Kilowattstunden (Energie) um Kilowatt (Leistung) *mal* Stunden (Zeit) handelt.

Leistung ist Arbeit pro Zeit, so wie Geschwindigkeit – ganz analog – Strecke pro Zeit ist.

Energie, Wärme und Arbeit

Ein paar zusätzliche Anmerkungen für Besserwisser und solche, die es noch werden wollen:

Vielleicht ist Ihnen aufgefallen, dass ich bisher etwas schwammig von „Energie, Wärme und Arbeit" als das geredet habe, was man bekommt, wenn man eine gewisse Zeit eine gewisse Leistung erbringt. Sind diese drei Größen denn dasselbe? Ja und Nein! Alle drei Größen haben die gleichen Einheiten (z. B. kWh oder Joule), aber eine jeweils etwas andere Bedeutung, die man ruhig verwechseln darf, solange man nicht a) ein kompetenter Besserwisser sein möchte oder b) eine Prüfung in Thermodynamik bestehen muss.

Sie wollen es ganz genau wissen? Na dann: Energie beschreibt den *Zustand* eines Systems. Ein Liter Benzin hat eine gewisse Energie, ein heißer Stein eine andere. Ein Kubikmeter Wasser ein einem Bergsee hat mehr Energie als die gleiche Menge Wasser in einem Becken am Fuße des Berges. Energie beschreibt einen Systemzustand, ohne etwas darüber auszusagen, wie es zu diesem Zustand gekommen ist. Die Begriffe „Arbeit" und „Wärme" hingegen beschrieben jeweils einen *Prozess*: Wenn ich einen Stein hochhebe und in ein Regal auf Höhe meines Kopfes lege, verrichte ich Arbeit an dem Stein. Wenn ich ein brennendes Feuerzeug unter ein Stück Metall halte, so dass es warm wird, dann führe ich ihm Wärme zu. Sobald dieser Prozess aber vorbei ist, sobald ich den Stein hochgehoben bzw. das Stück Metall erwärmt habe, gibt es diese Arbeit und diese Wärme nicht mehr. Der Prozess des Hebens bzw. Erwärmens ist abgeschlossen und damit spielen auch die Größen, die ihn beschrieben haben, keine Rolle mehr. Dafür kann man aber jetzt eine Aussage über den – nun veränderten – Zustand des Systems machen: Der Stein hat mehr Energie als vorher; ebenso das heiße Stück Metall. Weil wir Arbeit bzw. Wärme zugeführt haben (Prozess), hat sich die Energie des Systems (Zustand) verändert.

Man kann *Energie* und *Arbeit* vielleicht mit den Begriffen *Kontostand* und *Überweisung* vergleichen: Aufgrund einer Überweisung (Prozess) ändert sich mein Kontostand (Zustand). Niemals würde ich aber sagen: „Ich habe viele Überweisungen auf meinem Konto", sondern lediglich: „Mein Kontostand ist hoch". Ebenso wenig sollte man sagen: „In dem System steckt viel Arbeit oder Wärme.", sondern besser „In dem System ist viel Energie gespeichert".

Diesen Unterschied zu verstehen lohnt sich. Er ist aber bei Weitem nicht so relevant wie der Unterschied zwischen Arbeit/Energie und Leistung.

Zusätzliche Anmerkung: „Arbeit" kann sowohl mechanische Arbeit als auch elektrischer Strom sein. Elektrischer Strom kann ebenfalls Arbeit verrichten und auch elektrischer Strom beschreibt einen Prozess des Energietransports und existiert nur im Moment der Übertragung.

Vielleicht fragen Sie sich jetzt, warum ich so lange auf dem Unterschied zwischen Arbeit und Leistung herumreite? Vielleicht sind Sie der Meinung, dass das doch sowieso jedem klar sei. Als Gegenargument möchte ich noch mal das Energieversorgermagazin anführen, das über eine Windkraftanlage berichtet, die „eine elektrische Leistung hat, die dem Stromverbrauch unsere ganzen Stadt für 45 Minuten entspricht".

Das ist Quatsch. Hier versucht jemand offensichtlich die Leistungsangabe eines Windrades mit der Energie ins Verhältnis zu setzen, die eine Stadt in 45 Minuten verbraucht. Das ist ebenso unsinnig, als würde ein Autoverkäufer zu Ihnen sagen: „Die Geschwindigkeit dieses Autos ist hoch genug, um unsere schöne Stadt von Norden nach Süden zu durchqueren."

Wie hätte aus diesem vermurksten Satz eine sinnvolle Aussage werden können? Indem zwei Leistungen oder aber zwei Energien vergleichen worden wären. Also z. B.: „Die Leistung des Windrades reicht im Mittel für den Leistungsbedarf von 500 Haushalten", oder eben: „Die Energie, die das Windrad in vier Jahren erzeugt, reicht, um unsere gesamte Stadt für einen ganzen Tag mit Strom zu versorgen".

Sie sehen also, es lohnt sich, auf den Unterschied zwischen Arbeit und Leistung hinzuweisen und dafür zu werben, dass er ernst genommen wird. Werden nämlich Texte wie der oben erwähnte gedruckt, sind die Leser bestenfalls verwirrt und werden schlimmstenfalls in ihrem Vorurteil bestätigt, dass das mit der Energie alles irgendwie viel zu kompliziert und überhaupt nicht nachvollziehbar ist.

Ich hoffe daher, dass der Praktikant, der den Satz mit dem Windrad verbrochen hat, künftig nur noch die Seite mit den

Kochrezepten betreuen darf. Zumindest so lange, bis er in einem Rezept erwähnt, dass in einen Kuchen zwei Eier pro Minute gehören …

2.3 Die Einheiten für Energie: Joule und kWh

Aber zurück zu den Einheiten: Die grundlegende Einheit für Energie ist Joule (J). Ein Joule ist die Energie, die man mindestens benötigt, um ein Kilogramm um 10 cm nach oben zu heben. Oder um 0,24 g Wasser um 1 °C zu erwärmen.

Vielleicht fragen Sie sich an dieser Stelle, warum Sie diese Einheit, also Joule, aus Ihrem Alltag nicht kennen, wenn das die „grundlegende Einheit" der Energie sein soll. Nun, das liegt im Wesentlichen daran, dass es zwei andere Einheiten für Energie gibt, die aus historischen Gründen deutlich populärer sind und im Alltag die Einheit Joule verdrängen:

Das eine ist die insbesondere aus dem Nahrungsmittelbereich bekannte „Kalorie" (lateinisch calor = Wärme). Eine Kalorie (cal) ist eine alte Einheit und bezeichnet die Wärme bzw. Energie, die benötigt wird, um 1 g Wasser um 1 °C zu erwärmen. Damit ist eine Kalorie das 4,2-fache eines Joules (4,186 J = 1 cal). Das Tausendfache einer Kalorie, also eine *Kilo*kalorie (kcal), reicht wie in Abb. 2.2 dargestellt aus, um 1 kg, d. h. einen Liter Wasser um 1 °C zu erwärmen. Um die Verwirrung in Bezug auf die korrekten Einheiten für Energie zu vervollständigen, sagt man umgangssprachlich meist „Kalorie", wenn man *Kilo*kalorie meint.

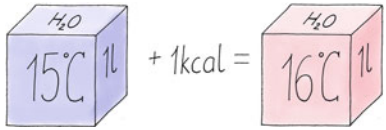

Abb. 2.2 Eine Kilokalorie (1 kcal) reicht aus, um einen Liter Wasser um ein Grad Celsius zu erwärmen

Einheiten – Übersicht

Energie bzw. Arbeit:

J = Joule
kJ = Kilojoule (= 1000 J)
kWh = Kilowattstunde (= 3600 kJ)
cal = Kalorie (= 4,186 J)
kcal = Kilokalorie (= 4,186 kJ)

Zeit

s = Sekunde
h = Stunde (= 3600 s)

Leistung

W = Watt (= 1 J/s)
kW = Kilowatt (= 1 kJ/s)

Strecke und Geschwindigkeit

m = Meter
km = Kilometer (= 1000 m)
m/s = Meter pro Sekunde
km/h = „Stundenkilometer", eigentlich Kilometer pro Stunde (= 3,6 m/s)

Masse

g = Gramm
kg = Kilogramm (= 1000 g)
t = Tonne (= 1000 kg)

Temperatur

°C = Grad Celsius
K = Kelvin (0 °C = 273,15 K; ohne „Grad"!)

Falls Sie nicht zu den glücklichen Menschen gehören, die sich noch nie Gedanken über ihre Figur machen mussten, so wissen Sie vielleicht, dass ein Erwachsener pro Tag ca. 2000–2500 „Kalorien" zu sich nehmen sollte, da das seinem Energiebedarf entspricht. (Isst man mehr, füllt man seine Energiespeicher – setzt also Fett an.)

Falls Sie gut im Kopfrechnen sind, merken Sie hier sofort, dass es sich natürlich um 2000 *Kilokalorien* handeln muss, da sonst die aufgenommene Energie gerade einmal reichen würde, um 2 kg Wasser (= 2 Liter = empfohlene Tages-Trinkmenge) um 1 °C zu erwärmen. Eine kurze Überlegung zur Temperatur eines kühlen Pils oder einer Cola und zur Temperatur unserer flüssigen Ausscheidungen zeigt, dass das nicht der Realität entsprechen kann.

Wenn wir das Toilettenthema nun sowieso schon streifen, können wir unser neu erworbenes Wissen auch noch sinnvoller anwenden: Wir können nämlich zeigen, dass man aus einem normalen Getränk ein Diätgetränk machen kann, allein dadurch, dass man es kalt genug trinkt. Angenommen ein Getränk enthält als Nährwert 50 kcal pro Liter, also 50 kcal pro kg (1 l Wasser wiegt 1 kg), dann reicht die Energie des Getränks aus, dass unser Körper damit die gleiche Menge Wasser um 50 °C erwärmen kann. Wenn Sie Ihren Körper nun als Durchlauferhitzer für Kaltgetränke sehen und wissen, dass das Getränk Ihren Körper bei ca. 37 °C wieder verlässt, dann bedeutet das, dass Sie das in Abb. 2.3 gezeigte Getränk bei 37 °C − 50 °C = −13 °C ohne Reue, also faktisch ohne Energiezufuhr trinken können.

Bedauerlich dabei ist nur, dass nichtalkoholische Getränke bei −13 °C schon gefroren sind und dass die im Beispiel gewählten 50 kcal/l ziemlich wenig sind. Bereits eine 50/50-

Abb. 2.3 Eine stark verdünnte Apfelschorle kann bei niedrigen Temperaturen kalorienneutral sein. Die für unseren Körper verfügbare Energie reicht gerade, um das Getränk auf Körpertemperatur zu erwärmen

Apfelschorle müsste auf etwa −200 °C abgekühlt werden, um kalorienneutral zu sein, und eine Cola würde selbst am absoluten Nullpunkt (−273 °C) noch dick machen.

Vielleicht interessieren Sie sich aber beim Essen nur für den Geschmack und nicht für die Auswirkungen auf Ihre Figur. Vielleicht kümmern Sie sich folglich auch nicht um Kalorien, haben noch nie etwas von Joule gehört und fragen sich jetzt, in welcher Einheit Energie denn sonst einen Platz in Ihrem Leben gefunden haben könnte? Nun, in der Regel in Form der bereits weiter vorne erwähnten Kilowattstunden (kwh). Als Erinnerung: Eine Kilowattstunde ist die Energie, die man erhält, wenn man eine Stunde lang eine Leistung von einem Kilowatt (kW) erbringt. Oder zehn Stunden lang 0,1 kW = 100 W = eine helle altmodische Glühbirne. Die älteren Leser werden sich an diese inzwischen in der EU verbotenen Leuchtmittel noch erinnern.

Aber was ist denn eigentlich ein Kilowatt bzw. ein Watt? 1 W ist eine Leistung von einem Joule pro Sekunde. Wenn Sie beispielsweise jede Sekunde 1 kg um 10 cm anheben,

Tab. 2.1 Beispiele für Energiemengen

	kWh	kJ
Arbeit des menschlichen Herzens pro Schlag	–	0,001
Energie, um einen Liter Wasser 10 m hochzupumpen	–	0,098
Wärme, um 1 kg Wasser um 1 °C zu erwärmen	0,001	4,2
Energieinhalt einer Mignon-Zelle (AA-Batterie)	0,0033	12
Stahlträger (1000 kg) auf ein hohes Haus (50 m) heben	0,136	490
Elektrische Energie, um eine 10-W-LED 100 h zu betreiben	1	3600
Täglicher Stoffwechsel-Grundumsatz eines Erwachsenen	1,95	7000
Verbrennungswärme 1 kg Rohöl	11,6	41.900
Jährliche Stromproduktion einer 10 m^2 großen Photovoltaikanlage	1000	3.600.000
Elektrischer Jahresbedarf 2-Personen-Haushalt	3000	10.800.000

erbringen Sie eine Leistung von 1 W; heben Sie das Kilogramm jede Sekunde um 100 m hoch, leisten Sie 1 kW.

Und wenn Sie das eine Stunde lang gemacht haben, also 60 Minuten à 60 Sekunden = 3600 Sekunden lang ein Kilogramm jeweils einmal pro Sekunde 100 m hochgehoben haben, wenn Sie also das Kilogramm 360.000 m = 360 km bis ins All nach oben befördert haben, dann haben Sie 1 kWh geleistet. Alternativ könnten Sie mit einer kWh natürlich auch einen Kleinwagen mit einer Masse von einer Tonne (= 1000 kg) um 360 m anheben.

Ein anderes – etwas realistischeres – Beispiel ist das Erwärmen eines Fläschchens Milch für ein Kleinkind in der

Tab. 2.2 Beispiele für Leistungen

	In W	In MW
Menschliches Herz	1,5	–
Dauerleistung eines Menschen	80	–
Profiradfahrer am Berg	400	0,0004
1 PS (Leistungsangabe bei Autos)	735	0,0007
Waschmaschine	2500	0,0025
Höchstleistung eines Pferdes	15.000	0,015
Antriebsleistung Mittelklasseauto	90.000	0,09
Antriebsleistung ICE 3	8.000.000	8
Kernkraftwerk	1.000.000.000	1000
Strahlungsleistung der Sonne auf die Erde	$1{,}74 \cdot 10^{17}$	174.000.000.000

Mikrowelle: Wenn Sie 200 ml Milch für 30 Sekunden in eine Mikrowelle mit 800 W stellen, erwärmt sich die Milch von z. B. 6 °C auf 34,6 °C:

In einer halben Minute werden bei der Einstellung „800 W“ von der Mikrowelle $30\,\text{s} \cdot 800\,\text{J/s} = 24.000$ Joule an die Milch abgegeben. Pro Gramm Milch sind das $24.000\,\text{J} / 200\,\text{g} = 120\,\text{J/g}$. Wie Sie wissen, benötigt man 4,2 J, um ein Gramm Milch (genauer: Wasser) um 1 °C zu erwärmen. Also können Sie mit 120 Joule ein Gramm Milch um $120 / 4{,}2 = 28{,}6\,°\text{C}$ erwärmen. Falls die Milch in Ihrem Kühlschrank 6 °C haben sollte, hat sie nach dem Erwärmen $6\,°\text{C} + 28{,}6\,°\text{C} = 34{,}6\,°\text{C}$. Insgesamt haben Sie dann dafür eine Energie von gerade einmal 0,00667 kWh benötigt, da Sie den 120sten Teil einer Stunde die Leistung 0,8 kW erbracht haben: $0{,}8 \cdot 1/120 = 0{,}00667$.

Abb. 2.4 Strom ist nicht teuer! Energie zum Preis eines Kinobesuchs reicht theoretisch aus, um mehrere Autos aufs Matterhorn zu heben

Eine solche Kilowattstunde an Elektrizität bzw. „Strom" kostet übrigens ca. 26 Cent. Finden Sie da wirklich noch, dass Strom zu teuer ist? Eine Flasche erwärmen für 0,2 Cent, einen Kleinwagen aufs Matterhorn heben für drei Euro? Ich halte das für ein Schnäppchen! Das einzige, was Sie sich fragen sollten, ist, wofür zum Geier Sie eigentlich in Ihrem Haushalt eine Energiemenge aufwenden, mit der man jeden Tag unter Umständen gleich mehrere Autos in die Berge schicken könnte. Und falls Sie nun feststellen, dass Sie nichts machen, das diesem Energieaufwand nahe kommt, können Sie anfangen, über die Energieeffizienz Ihrer Geräte nachzudenken. Also darüber, was Ihre Geräte den ganzen Tag aus der Energie so machen, die Sie ihnen so freigiebig zuführen.

Nachdem wir gesehen haben, wie viel Energie in 1 kWh steckt, können wir Erbsenzähler das der Vollständigkeit hal-