



Energie

Ein zentraler Begriff der Naturwissenschaften und des naturwissenschaftlichen Unterrichts

Von Reinders Duit

Der Energiebegriff ist zweifellos ein zentraler Begriff der Physik. Er ist ein Begriff, der in allen Gebieten dieser Wissenschaft eine wichtige Rolle spielt, der es gestattet, viele Gebiete unter einem einheitlichen Gesichtspunkt zu betrachten. Er ist aber auch ein Begriff, der in den anderen Naturwissenschaften eine wichtige Rolle spielt, der es somit erlaubt, vielfältige Vernetzungen zwischen den Naturwissenschaften herauszuarbeiten ([1], [2]). Der Unterricht über Energie soll den Schülerinnen und Schülern einerseits Grundideen eines der zentralen Begriffe der Naturwissenschaften und der mit diesem Begriff verbundenen Denk- und Arbeitsweisen (wie das Denken im Rahmen der Energieerhaltung) vermitteln. Andererseits geht es darum, das Problem der Energieversorgung verständlich zu machen und Schülerinnen und Schüler zum energiesparenden Verhalten anzuregen.

In den Bildungsstandards Physik für den mittleren Schulabschluss ([3], [4]) spielt der Energiebegriff die Rolle eines Basisbegriffs für den Kompetenzbereich Fachwissen. Aspekten der Energieversorgung und der Rolle des Energiebegriffs für die Ent-

wicklung von Kompetenzen im Bereich Erkenntnisgewinnung wird in den kurzen Erläuterungen zur Rolle des Energiebegriffs (s. **Tab. 1**) dabei eine wichtige Rolle zugeordnet.

Grundideen des Energiebegriffs

In vier Grundideen lassen sich die wichtigsten Kennzeichen des Energiebegriffs zusammenfassen (**Abb. 1**). Sie werden die Energie-Quadriga, also das Energie-Vierergespinn „Transport – Umwandlung – Erhaltung – Entwertung“ genannt.

- *Energietransport* steht für die Tatsache, dass Energie von einem System auf ein anderes übergehen kann.
- *Energieumwandlung* kennzeichnet den Wandel der Manifestationen, in denen uns Energie entgegentritt.
- *Energieerhaltung* bedeutet, dass sich bei jedem Transport und jeder Umwandlung eine Größe berechnen lässt, die sich nicht ändert. Während also Transport und Umwandlung die Veränderungen im Fluss der Ereignisse kennzeichnen,

Energie	Beispiele
Nutzbare Energie kann aus erschöpfbaren und regenerativen Quellen gewonnen werden.	fossile Brennstoffe, Wind- und Sonnenenergie, Kernenergie
Für den Transport und bei der Nutzung von Energie kann ein Wechsel der Energieform bzw. des Energieträgers stattfinden. Dabei kann nur ein Teil der eingesetzten Energie genutzt werden.	Generator, Motor, Transformator, Wirkungsgrad, Entropie, Abwärme, Energieentwertung
Die Gesamtheit der Energien bleibt konstant.	Pumpspeicherwerk, Akkumulator, Wärmepumpe (Kühlschrank)
Bei Körpern unterschiedlicher Temperatur findet ein Energiefluss von alleine nur von höherer zu niedrigerer Temperatur statt.	Wärmeleitung, Strahlung

Tab. 1: Bildungsstandards im Fach Physik für den mittleren Schulabschluss ([3], S. 9)

steht Erhaltung für das Konstante, das sich trotz aller Veränderungen finden lässt.

- **Energieentwertung:** Häufig beschränkt man den Energiebegriff auf die bislang erläuterte Trias, d. h., man spart den Aspekt der Entwertung aus bzw. weist diesen dem Entropiebegriff zu. Dass hier die Entwertung unter die Grundideen des Energiebegriffs eingereiht wird, hat vor allem den folgenden Grund: Energie bleibt bei allen Umwandlungen erhalten, der Betrag der Energiesumme der beteiligten Systeme ändert sich also nicht. Aber das bedeutet nicht, dass sich mit den verschiedenen Energieformen, die während der Prozesse durchlaufen werden, das Gleiche anfangen ließe. Es gibt sogenannte wertvolle und weniger wertvolle Energieformen. Zu den wertvollen zählen die kinetische Energie, die potentielle Energie oder die elektrische Energie. Sie alle lassen sich vollständig in alle anderen Energieformen umwandeln. Dies gilt nicht für die innere Energie, jedenfalls nicht für den Teil, welcher der thermischen Bewegung der kleinsten Teilchen zuzuordnen ist. Je höher die Temperatur ist, desto größer ist der Verwendungswert, d. h., desto größer ist der Anteil der inneren Energie, der vollständig in andere Energieformen umgewandelt werden kann. Bei allen Prozessen, die in der Realität ablaufen, nimmt also der so verstandene Gebrauchswert der Energie ab.

Die beschriebenen Grundideen der Energie-Quadrige beziehen sich grundsätzlich auf alle Prozesse, bei denen Energie im Spiel ist. Für Prozesse, bei denen quantenphysikalische Aspekte berücksichtigt werden müssen, treten

- *Quantisierung* und
- *Lokalisierbarkeit*

als weitere Kennzeichen der Energie hinzu.

Ziele des Unterrichts über Energie

Die in **Abbildung 1** aufgeführten Grundideen sind zunächst vorwiegend fachliche Elementaria des Energiebegriffs. Gelingt es, diese Grundideen zu vermitteln, so haben die Schülerinnen und Schüler einen adäquaten Einblick in einen zentralen Begriff der Physik und die mit ihm verbundenen physikalischen Denk- und Arbeitsweisen (Erkenntnismethoden) gewonnen.

Die Grundideen erlauben aber darüber hinaus, Probleme der Energieversorgung deutlich herauszuarbeiten. Zum Verständnis

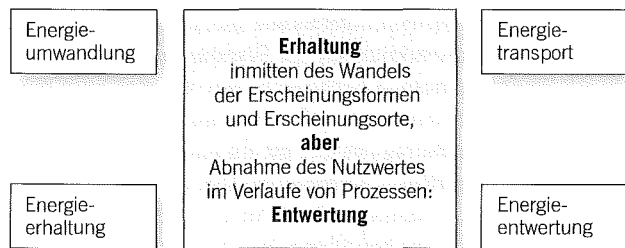


Abb. 1: Die Energiequadrige – Grundideen des Energiebegriffs [5]

dieser Probleme gehört z. B. die Einsicht, dass Energie nicht einfach aus Nichts erzeugt werden, sondern nur aus in bestimmten Formen gespeicherter Energie „gewonnen“ werden kann, die ihrerseits aus bestimmten Prozessen stammt. Das Zusammenspiel von Umwandlung und Erhaltung weist auch darauf hin, dass Energie nach Gebrauch nicht einfach verschwunden ist und deshalb außer Acht gelassen werden kann. Energie kann nicht vernichtet werden, nur in andere Erscheinungsformen umgewandelt und „umgeleitet“, d. h. an andere Orte transportiert werden. Die Grundidee der Energieentwertung spielt im hier diskutierten Zusammenhang eine wesentliche Rolle. Probleme der Energieversorgung gibt es nur deshalb, weil Energie bei jedem Vorgang entwertet wird und nach Gebrauch nicht mehr den ursprünglichen Nutzen hat.

Aus einem weiteren Grund ist Energieentwertung wichtig: Prozesse der realen Welt lassen sich ohne Energieentwertung nicht beschreiben. Erhaltung ist für die Schülerinnen und Schüler nur dann verständlich, d. h. in Übereinstimmung mit ihren Erfahrungen zu bringen, wenn sie gewissermaßen durch die Entwertung relativiert wird: Energie bleibt zwar erhalten, ändert sich also in ihrem Betrag im Verlaufe von Prozessen nicht, aber ihr Nutzwert nimmt ab.

Der abstrakte Energiebegriff

Energie kann als abstrakte Bilanzierungsgröße im folgenden Sinne angesehen werden: In einem System I sind gewisse Zustandsgrößen definiert, eine davon ist die Energie. Was auch

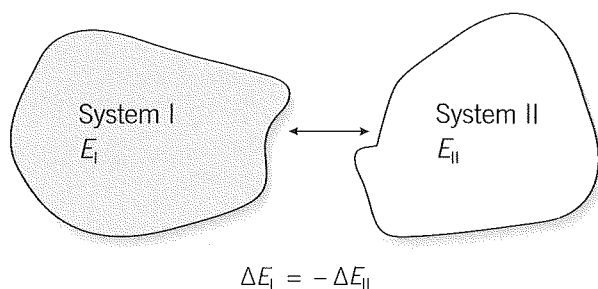


Abb. 2: Veranschaulichung zum abstrakten, mathematischen Energiebegriff

immer innerhalb des Systems geschieht, die Zustandsgröße Energie ändert sich nicht, das Einsetzen von Messwerten in die entsprechenden Energieformeln führt also immer zum gleichen Betrag für die Energie. Führt dies einmal nicht zu diesem Betrag, so muss nach Umwandlungen im System gesucht werden, die sich bisher verborgen gehalten haben, oder es liegt eine Wechselwirkung mit einem anderen System II vor. Ist dies der Fall, so nimmt der Betrag der Energie in einem System ab, im anderen genau um diesen Betrag zu (s. Abb. 2).

Die Vorstellung des Energieflusses

Das Denken im Rahmen eines abstrakten Energiebegriffs (s. Abb. 2) fällt vielen Schülerinnen und Schülern sehr schwer. Man verwendet deshalb gerne Energieflussdiagramme (s. Abb. 3), in denen man sich Energie als etwas Fließendes vorstellen kann. Die abstrakte Energiebilanz wird als Fluss interpretiert, Energie fließt von einem System zum anderen.

Diese Veranschaulichung legt die Vorstellung nahe, sich Energie ganz konkret als einen Stoff zu denken, als etwas also, das wie eine reale Flüssigkeit strömt. Dabei gerät aus dem Blick, dass Energie „real“ in unserer Welt (wie z. B. ein Tisch) nicht vorkommt, sondern zu den „Bildern“ zählt, die wir uns von der realen Welt machen. Allerdings erlaubt die Vorstellung des Energieflusses, sich die Idee der Energieerhaltung, die Schülerinnen und Schülern nur schwer zugänglich ist (s. u.) zu veranschaulichen: Wer sich Energie als einen unzerstörbaren Stoff denkt, hat eine tragfähige Basis zum Verständnis der Idee der Energieerhaltung gewonnen.

Weitere Veranschaulichungen

Häufig wird Energie als Fähigkeit angesehen, etwas zu verändern, bzw. als Fähigkeit, Prozesse in Gang zu setzen. Mit derartigen Vorstellungen sind in der Regel tiefgreifende Missverständnisse verbunden. Zwar ist Energie nötig, wenn Prozesse ablaufen bzw. Veränderungen in Gang gesetzt werden sollen. Aber die Energie bestimmt nicht allein, welche Prozesse tatsächlich ablaufen. In der großen Fabrik der Natur hat die Energie die Stelle des Buchhalters inne, die Energie sorgt dafür, dass gewissermaßen Soll und Haben stimmen. Der Direktor, also der Richtungsweisende, ist die Entropie [6]. Das eingangs vorgestellte Konzept der Energie-Quadrige (Abb. 1) begegnet den genannten Missverständnissen mit der Grundidee der Energieentwertung.

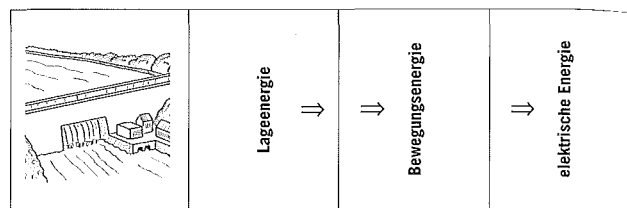


Abb. 3: Beispiel für ein Energieflussdiagramm

Lernschwierigkeiten

Untersuchungen zeigen, dass sich der Erfolg langjährige Unterrichts, in dem der Energiebegriff eine wichtige Rolle gespielt hat, in bescheidenen Grenzen hält ([7], [8], [9]). Es gelingt offenbar nur recht eingeschränkt, die Schülerinnen und Schüler zu Vorstellungen vom Energiebegriff zu führen, die es erlauben, den Begriff und die mit ihm verbundenen Denk- und Arbeitsweisen zu verstehen und anzuwenden. Ein tragfähiges Verständnis von Problemen der Energieversorgung scheint auf dieser Basis nur sehr eingeschränkt möglich zu sein.

Energie im Alltag: ein Wort mit vielen Bedeutungen

Beim Lernen vieler physikalischer Begriffe erweisen sich die Bedeutungen der Begriffsnamen im Alltag als schwerwiegendes Lernhemmnis. Das gilt auch für den Energiebegriff. Energie ist zu einem sehr geläufigen Wort in der Alltagssprache geworden. Auch wenn man vom Gebrauch dieses Wortes im esoterischen Bereich absieht, ist es im Unterricht ein wenig tückisch, an den Alltagsgebrauch von Energie anzuknüpfen. Denn dort bedeutet Energie häufig etwas, was die Physik mit „Freier Energie“ bezeichnet. Energie ist ein „universeller Treibstoff“, der benötigt wird, um Maschinen laufen zu lassen. Auch der elektrische Strom zählt neben Stoffen wie Benzin und Phänomenen wie Wärme und Licht zu diesen Treibstoffen.

Es überwiegt die Nutzung des Treibstoffes Energie im technischen Bereich. Dass Energie auch etwas mit Nahrung zu tun hat, ist selten bewusst. Weiterhin ist so verstandene Energie eine Art Luxusartikel: Für ein Leben wie in der Steinzeit benötigt man keine „Energie“.

Der Energiebegriff des Alltags bietet also durchaus Anknüpfungspunkte für den physikalischen Energiebegriff. Der Aspekt der Erhaltung aber ist ihm fremd, während der Aspekt Entwertung ihm recht nahe liegt. Interessant ist, dass Assoziationen von Schülerinnen und Schülern zum physikalischen Terminus Energie auch am Ende des 10. Schuljahres noch stark von den genannten Alltagsbedeutungen geprägt sind [7].

Vorstellungen zu Energieerhaltung und Energieumwandlung

Viele Untersuchungen (u. a. [10]) haben gezeigt, dass Schülerinnen und Schüler große Schwierigkeiten haben, das Wechselspiel von Erhaltung und Umwandlung zu verstehen. Häufig

ist das physikalische Wissen über Energiewandlungen reduziert auf die Kenntnis vieler Energieformen (wie elektrische Energie, kinetische Energie, Wärmeenergie). Die Grundidee der Umwandlung von einer Erscheinungsform in die andere scheint nur in wenigen Fällen erworben zu werden. Ähnliches gilt für die Grundidee der Energieerhaltung. Mit ihr wird selten argumentiert, sie wird kaum angewendet, Vorgänge zu deuten. In einem Interview stimmten z. B. manche Schülerinnen und Schüler zu, dass ein hochgehobener Stein potentielle Energie habe und dass sich diese beim Herunterfallen in kinetische Energie verwandele. Schließlich bliebe Energie ja erhalten. Wo die Energie nach dem Aufprall bleibt, war aber keinem Interviewten klar [9]. In vielen einführenden Lehrgängen spielt die potentielle Energie (auch Höhenenergie genannt) die Rolle eines wichtigen Musterbeispiels für eine Energieform. Untersuchungen haben aber gezeigt, dass viele Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten haben, hochgehobenen Körpern Energie zuzuordnen [7]. Auch Schüler der Sekundarstufe II billigten z. B. dem fließenden Wasser in der Turbine eines Kraftwerks Energie zu, nicht aber dem gestauten Wasser im Stausee [11].

Der traditionelle Weg zum Energiebegriff

Es gibt eine Vielzahl von Wegen zum Energiebegriff [7]. Viele von ihnen sind entwickelt worden seit den ersten Bemühungen in den 1960er- und 1970er-Jahren, dem Energiebegriff im Physikunterricht die Bedeutung zuzuweisen, die er in der Physik besitzt.

Erstaunlich ist allerdings, dass der traditionelle Weg immer noch recht häufig gewählt wird. Bei diesem Weg wird zunächst der Kraftbegriff eingeführt, über den Arbeitsbegriff führt dann der Weg zum Energiebegriff. Energie wird dabei eng mit Arbeit verknüpft (u. a. „Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten“). Begründet wird die Wahl des traditionellen Weges häufig damit, dass der Kraftbegriff einfacher zu erlernen sei als der Energiebegriff und dass der Arbeitsbegriff dem Energiebegriff eine anschauliche Grundlage bieten könne. Diese Argumente sind heute nicht mehr haltbar. Untersuchungen zeigen erstens, dass es beim Erlernen des Kraftbegriffs große Schwierigkeiten gibt [12], die nicht geringer sind als beim Energiebegriff. Zweitens erweist sich der Arbeitsbegriff nicht als Stütze des Energiebegriffs. Er bietet auch keinen anschaulichen Zugang zu diesem Begriff. Denn er verbindet ihn mit mechanischen Vorgängen. Diese werden aber nur selten als Beispiele genannt, wenn man die Schülerinnen und Schüler fragt, was Energie für sie bedeutet.

Mit dem traditionellen Weg sind zwei Hauptprobleme verbunden. Erstens steht er in der Gefahr, den Energiebegriff allzusehr auf die Mechanik zu beschränken. Es kommt dann die Eigenschaft dieses Begriffs nicht zum Tragen, völlig verschiedenartige Vorgänge unter einem einheitlichen Gesichtspunkt betrachten zu können. Zweitens erschwert dieser Weg ein Verständnis des zweiten Hauptsatzes und damit des Aspektes der Energieentwertung. Wie bereits diskutiert, stehen alle Bemühungen, Energie als eine Fähigkeit zu sehen, etwas zu bewirken, in dieser Gefahr.

Leitlinien zur Einführung des Energiebegriffs

Zweifellos hat sich der Unterricht zum Energiebegriff in den vergangenen zwei Jahrzehnten stark verändert. Energie ist zu einem zentralen Begriff im Physikunterricht geworden, in manchen Lehrplänen dient er als Leitlinie. Die neuen Standards für den mittleren Schulabschluss erklären Energie zum Basiskonzept im Kompetenzbereich Fachwissen (s. o.). Dies bedeutet, dass der Energiebegriff über die Schuljahre Schritt für Schritt eingeführt und weiterentwickelt werden muss. Dies sollte so geschehen, dass mithilfe des Basiskonzepts Energie Vernetzungen der verschiedenen Teilgebiete der Physik herausgearbeitet werden und dass die wichtigen mit dem Energiebegriff verbundenen Erkenntnismethoden zum Tragen kommen. Darüber hinaus sollte das Potenzial des Energiebegriffs, Verbindungen zwischen den naturwissenschaftlichen Fächern zu erarbeiten, nachdrücklich genutzt werden. Die drängenden Probleme der Energieversorgung z. B. können nur in fachübergreifender Zusammenarbeit verständlich gemacht werden.

Die eingangs diskutierten Grundideen der Energie-Quadriga bieten eine tragfähige Grundlage für die schrittweise Entwicklung des Energiebegriffs im Physikunterricht. Sie repräsentieren die Kernideen des naturwissenschaftlichen Energiebegriffs und tragen zugleich Lernschwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler Rechnung. Alle Grundideen sollten von vornherein eine Rolle spielen, um die vorgestellten Lernschwierigkeiten zu vermeiden.

Anmerkung

Der hier vorgelegte Artikel basiert auf bereits publizierten Arbeiten, insbesondere auf [5] und [13]. Einige Formulierungen wurden wörtlich übernommen.

Literatur

- [1] Duit, R. (Hrsg.): Der Energiebegriff im Physik- und Chemieunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie* 28 (1980), Heft 11.
- [2] Kattmann, U.: Der Energiebegriff im Biologieunterricht der Sekundarstufe I. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie* 28 (1980), Heft 11, S. 44–48.
- [3] Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Physik für den mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004. Neuwied: Luchterhand, 2004.
- [4] Schecker, H.: Die Bildungsstandards Physik – Orientierungsrahmen für den Unterricht. In: *Unterricht Physik* 18 (2007), Heft 97, S. 4–11.
- [5] Duit, R.: Zur Elementarisierung des Energiebegriffs. In: *Unterricht Physik* 2 (1991), Heft 6, S. 12–19.
- [6] Auerbach, E.: *Die Weltherrin und ihr Schatten*. Jena: G. Fischer, 1913.
- [7] Duit, R.: Der Energiebegriff im Physikunterricht. Kiel: IPN – Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, 1986.
- [8] Duit, R.: Energievorstellungen. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie* 34 (1986), Heft 13, S. 7–9. (Reprint in: Müller, R.; Wodzinski, R.; Hopf, M.: *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis, 2004, S. 189–191.)
- [9] Kesidou, S.; Duit, R.: Students' conceptions of basic ideas of the second law of thermodynamics. In: *Journal of Research in Science Education* 30 (1993), p. 85–106.
- [10] Brook, A.: Children's understanding of ideas about energy: a review of the literature. In: Driver, R.; Millar, R. (eds.): *Energy Matters*. Leeds: Centre for Studies in Science and Mathematics Education. The University of Leeds, 1985, p. 33–45.
- [11] Schenk, B.: Was verstehen Schüler der SII unter dem Begriff Energie? In: *Physica Didactica* 9 (1982), S. 61–70.
- [12] Wodzinski, R.: Lernschwierigkeiten in der Mechanik. In: Müller, R.; Wodzinski, R.; Hopf, M.: *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis, 2004, S. 107–113.
- [13] Duit, R.: Unterricht über Energie – Ziele, Lernschwierigkeiten, Wege. *Praxis der Naturwissenschaften Physik* 36 (1987), Heft 3, S. 41–44.