

Der Energiebegriff im Anfangsunterricht

R. Kienle, G. Kirchgeßner

1 | Einführung

Ohne Zweifel ist der Energiebegriff von zentraler Bedeutung im naturwissenschaftlichen Unterricht. Zum einen spielt er im Theoriegebäude der Physik eine herausragende Rolle, zum anderen ist er der vielleicht wichtigste physikalische Fachbegriff außerhalb der Physik. Und auch im Alltag kommen die Schülerinnen und Schüler mit dem Energiebegriff in Berührung: der Vater klagt über steigende Energiepreise, die Mutter beschwert sich über die Energieverschwendung durch pausenlos laufende Computer und die große Schwester zählt die „Kalorien“. Aufgrund dieser Bedeutung sollte der Energiebegriff möglichst früh im Physikunterricht eingeführt werden. Das erfordert einerseits eine dem Alter entsprechende didaktische Reduktion, andererseits muss der so eingeführte Energiebegriff fachwissenschaftlich tragfähig sein, so dass im folgenden Unterricht darauf aufgebaut werden kann.

Laut den Bildungsstandards für das Gymnasium in Baden-Württemberg [1] sollen die Schülerinnen und Schüler am Ende der 8. Klasse mit der grundlegenden physikalischen Größe Energie umgehen können, Strukturen und Analogien zwischen verschiedenen Energiespeichern bzw. verschiedenen Energietransporten erkennen können und die Grundlagen der Energieversorgung, auch der regenerativen, kennen. Die Begriffe Arbeit, Energieformen und Leistung werden in diesem Bildungsplan nicht erwähnt.

2 | Energie und Arbeit im bisherigen Unterricht

Der klassische Energiebegriff ist sowohl durch die Mechanik als auch durch die Terminologie der phänomenologischen Thermodynamik stark geprägt. Daraus resultieren für den traditionellen Physikunterricht zum einen eine sehr mechanistische Ausrichtung des Energiebegriffs, zum anderen eine strenge Unterscheidung zwischen Arbeit und Wärme als Prozessgrößen einerseits und Energie als Zustandsgröße andererseits. In der Thermodynamik ist die Energie eine extensive (mengenartige) Zu-

standsgröße eines Systems, die nur vom momentanen Zustand des Systems abhängt, nicht aber vom Weg, auf dem dieser Zustand erreicht wurde. Dagegen sind die verrichtete Arbeit und die ausgetauschte Wärme Prozessgrößen, welche ausschließlich bei Zustandsänderungen auftreten und in der Folge wegbahängig sind. Auf Schülerinnen und Schüler wirkt diese Trennung künstlich; den meisten bleibt sie für immer unverständlich. In älteren Schulbüchern findet man Sätze wie „Energie wird in Form von Arbeit (bzw. Wärme) übertragen“. Eine klare Abtrennung zwischen den Prozessgrößen Arbeit und Wärme und der Zustandsgröße Energie erfolgt aber nicht. Es wird nicht klar, warum die Energie beim Prozess der Übertragung mit einem anderen Begriff bezeichnet wird, zumal Energie, Arbeit und Wärme alle dieselbe Einheit haben. Auch die Beschreibung von Alltagssituationen mit dem Arbeitsbegriff ist oftmals schwierig und widerspricht den Erfahrungen der Schülerinnen und Schüler (siehe Abb. 1).

Der traditionelle Physikunterricht legt großen Wert auf die Unterscheidung der Energieformen. Diese Einteilung ist allerdings nicht so eindeutig, wie sie auf den ersten Blick erscheint. Zusätzlich sind die Be-

zeichnungen oftmals verwirrend, wie etwa bei der Lageenergie. Fachwissenschaftlich spricht man von Lageenergie (oder potenzieller Energie), wenn die Kräfte im betrachteten System konservativ sind, denn dann hängt die Energie eines Systems nur von der gegenseitigen Lage der beteiligten Körper ab. Der Begriff Lageenergie sagt nichts darüber aus, von welcher Natur das Kraftfeld ist (z. B. gravitativ oder elektrostatisch). In der Schule wird jedoch die potenzielle Energie eines Körpers im Schwerfeld als Lageenergie bezeichnet, die eines geladenen Teilchens im elektrischen Feld dagegen meistens als elektrische Energie. Auch die Spannungsenergie ist streng genommen eine Form der Lageenergie. Während also der Begriff Lageenergie in einer sehr eingeschränkten Bedeutung eingesetzt wird, wird der Begriff der elektrischen Energie in geradezu inflationärer Weise verwendet: Einmal ist damit die potenzielle Energie eines geladenen Teilchens gemeint, ein anderes Mal die gesamte Feldenergie (z. B. eines Kondensatorfeldes). Auch die im elektrischen Stromkreis übertragene Energie wird meistens elektrische Energie genannt und nicht fachwissenschaftlich korrekt elektrische Arbeit. Dies entspricht einem Trend in den neueren

Abb. 1: Die Beschreibung von Alltagssituationen mit dem Arbeitsbegriff widersprechen oftmals den Erfahrungen der Schülerinnen und Schüler: Auch das Tragen einer Last über eine horizontale Strecke ist anstrengend, aber im physikalischen Sinne wird keine Arbeit verrichtet.



Schulbüchern, wonach auf die Unterscheidung in Zustands- und Prozessgrößen verzichtet wird (siehe z. B. [2], [3]). So wird nun von Wärmeenergie gesprochen, womit dann sowohl die übertragene Energiemenge, als auch die gespeicherte thermische Energie gemeint sein kann. Oft werden dann auch noch die Begriffe innere Energie und chemische Energie eingeführt. Besonders problematisch, wenn nicht gar fachlich inkorrekt sind Begriffe wie Motorenenergie oder Muskelenergie [3]. Ob die Schüler diese vielen ähnlichen Energieformen auseinander halten können, ist sehr fraglich. Insgesamt bleibt eine verwirrende Begriffsvielfalt, die sich Experten vielleicht erlauben können, die aber beim Schüler zu gravierenden Verständnisschwierigkeiten führen kann.

Der traditionelle Weg zur Energie geht von den mechanischen Arbeitsformen aus und führt über die goldene Regel der Mechanik, dem mechanischen Energieerhaltungssatz und der Reibung schließlich zum allgemeinen Energiebegriff. Dieser Weg ist lang und abstrakt, und er nimmt keine Rücksicht auf die Alltagsvorstellungen der Schülerinnen und Schüler zum Energiebegriff.

Ein alternativer Unterrichtsgang kann sich am Karlsruher Physikkurs orientieren [4]. Hier steht der Energiebegriff ganz am Anfang des Physikunterrichts. Es ist uns ein besonderes Anliegen aufzuzeigen, wie auch im eher traditionell ausgerichteten Unterricht Grundgedanken des Karlsruher Physikkurses sinnvoll eingebunden werden können. Einen ähnlichen Unterrichtsgang findet man auch in [5] und in [6].

3 | Die Energie im Karlsruher Physikkurs

● Bei der Einteilung der Energie in Formen haben wir es mit zwei Klassen zu tun: Erstens den **Speicherformen (das entspricht den traditionellen Energieformen) und zweitens den Austauschformen (das wären die Prozessgrößen)**. Der Austausch von Energie eines Systems mit seiner Umgebung kann auf verschiedene Arten erfolgen, etwa in Form von mechanischer Arbeit oder elektrischer Arbeit oder in Form von Wärme. Der Karlsruher Physikkurs baut darauf auf, dass bei jeder Form von Energieübertragung noch eine andere extensive Größe übertragen wird. Das bedeutet, dass der Energiestrom immer von einem Strom einer weiteren extensiven Größe begleitet wird.

Die Vorstellung, dass eine mengenartige Größe „strömen“ oder „fließen“ kann, wird in der Karlsruher Physik bewusst verwendet. Kinder entwickeln sehr früh das **Konzept von der „Konstanz der Dinge“**. Sie wissen ganz genau, dass Wasser, das aus einem löchrigen Eimer fließt, nicht verschwindet, sondern zum Beispiel im Boden versickert. Durch die Verwendung dieses Bildes wird der Energieerhaltungssatz vorbereitet: Beim rollenden Ball geht keine Energie verloren, sie „versickert“ nur irgendwie in der Umgebung. Ein traditionell ausgebildeter Physiker empfindet die allzu anschauliche Vorstellung von Energie als strömender Flüssigkeit möglicherweise als problematisch. **Nun behauptet die Karlsruher Physik aber nicht, dass die Energie (oder eine sonstige mengenartige Größe) etwas Stoffliches sei.** Eine mengenartige Größe verhält sich jedoch in bestimmten Aspekten wie ein Fluidum. Die Energie ist wie die meisten mengenartigen Größen eine Erhaltungsgröße. Die in einem System enthaltene Energie kann sich nur dadurch ändern, dass Energie die Grenze des Systems überschreitet oder in anderen Worten über die Systemgrenze „fließt“. Wie für jede in diesem Sinne fließende Größe lässt sich auch für die Energie eine Stromstärke $I_E = d_E/dt$ definieren.

Falk, Herrmann und Schmid [3] haben gezeigt, dass jeder Energiestrom von einem Strom einer anderen mengenartigen Größe X begleitet ist – oder anders ausgedrückt: **Immer wenn Energie strömt, dann strömt noch mindestens eine weitere mengenartige Größe, wie z.B. die elektrische Ladung Q , die Entropie S , der Impuls p usw. Kurz: „Energie fließt nie allein.“**

Im Karlsruher Physikkurs werden nun die Energieströme nach der mengenartigen Größe X (i. e. Q, S, p, \dots) charakterisiert, die neben der Energie noch übertragen wird. In einem anschaulichen Bild wird die Größe X als *Träger* der Energie betrachtet. Die Energie wird in dieser Modellvorstellung, bildlich gesprochen, getragen von der elektrischen Ladung Q , von der Entropie S , vom Impuls p etc.

Zu jedem Strom einer extensiven Größe X gehört eine intensive Größe ξ (zu Q das elektrische Potenzial ϕ , zu S die Temperatur T , zu p die Geschwindigkeit v etc.). Die intensive Größe ξ verknüpft den Trägerstrom I_X mit dem Energiestrom I_E gemäß $I_E = \xi I_X$. **Bildlich gesprochen gibt die intensive Größe an, mit wie viel Energie der Träger beladen ist.**

4 | Zentrale Lernziele zum Energiebegriff

● Wie oben ausführlich dargelegt, sollte der Energiebegriff im Anfangsunterricht wesentlich mehr umfassen, als nur die mechanischen Aspekte. Die wesentlichen fachlichen Ziele im Zusammenhang mit dem Energiebegriff sind unseres Erachtens:

- Energie ist eine mengenartige Größe.
- Es gibt Speicher für Energie. Allein kommt die Energie niemals vor.
- Energie kann übertragen werden. Dabei wird stets noch etwas anderes übertragen.
- Energie erscheint uns immer in einem anderen Gesicht.
- Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden.
- Energie ist je nach Träger mehr oder weniger wertvoll.

Die Einführung der Energieformen ist für die Entwicklung des Energiebegriffs nicht erforderlich. Das Auswendiglernen von Fachbegriffen führt nicht automatisch zu einem besseren physikalischen Verständnis. Über die rein fachlichen Lernziele hinaus streben wir eine Auseinandersetzung mit den für das Individuum und für die Gesellschaft relevanten Themen an. Insbesondere möchten wir:

- Einen Einblick in die Problematik der Energieversorgung geben.
- Ein Verständnis für die Notwendigkeit eines effizienten Umgangs mit Energie erreichen.
- Die Bedeutung der Energieaufnahme bei der Ernährung bewusst machen.

5 | Sprechweisen im Unterricht

● Für traditionell ausgebildete Kolleginnen und Kollegen ist die Sprechweise der Karlsruher Physik ungewohnt. Oft wird der Eindruck erweckt, dass es sich beim Karlsruher Physikkurs um eine ganz andere Physik handelt, die mit der traditionellen Physik nicht vereinbar ist. Unserer Meinung nach können aber sehr wohl wesentliche Konzepte aus der Karlsruher Physik im gewöhnlichen Unterricht übernommen werden. Wir zeigen anhand ausgewählter Beispiele, wie Sprechweisen verwendet werden können, die nah genug an den Sprechweisen der traditionellen Physik liegen und dennoch die Konzepte der Karlsruher Physik aufnehmen.

Wir betrachten zuerst einen Versuch zur Energieübertragung (siehe Abb. 2). Im Kas-

ten 1 sind verschiedene denkbare Sprechweisen aufgeführt. Die fachwissenschaftlich korrekte Formulierung a) legt großen Wert auf die Unterscheidung in Zustands- und in Prozessgrößen. Allerdings erschweren die vielen Begriffe zur Beschreibung des Energietransports das Verständnis bei den Schülern. Im traditionellen Unterricht wird heute wohl eher die Formulierung b) verwendet. Die Unterscheidung in Zustands- und Prozessgrößen wird nicht berücksichtigt. Die Begriffe für Energieformen werden auf den Prozess der Energieübertragung angewendet. Das entspricht zwar nicht ganz der Fachsprache, dafür ist die Formulierung aber deutlich schülernäher als a). Allerdings ist zweifelhaft, ob die Schüler im Anfangsunterricht die Bedeutung der Attribute mechanisch, elektrisch und thermisch verstehen. Die Formulierungen c) und d) kommen ohne Energieformen aus. Sie orientieren sich an der Umgangssprache (mit der Drehbewegung, mit dem elektrischen Strom, mit der Wärme, mit dem Licht), ohne fachlich falsch zu sein. In der Sprechweise e) werden die Träger der Karlsruher Terminologie verwendet. Sie setzt voraus, dass die entsprechenden Größen (Drehimpuls, Entropie) bekannt sind. Die Formulierung f) bedient sich eines sehr anschaulichen Bildes vom Aufladen, Abladen und Umladen der Energie. Die Frage, wie weit dieses naive Energieträgermodell tragfähig ist, bearbeitet D. Plappert [8] in diesem Heft.

Eine Gegenüberstellung von traditioneller Darstellung und Karlsruher Beschreibung zeigt die Tab. 1.

Für das Verständnis der Vorgänge bei der Energieübertragung sind neben schülergemäßen Formulierungen Energieflussbilder von großem Nutzen (Abb. 3). Wir empfehlen im Anfangsunterricht die Energieübertragung zu beschreiben (mit der Drehbe-

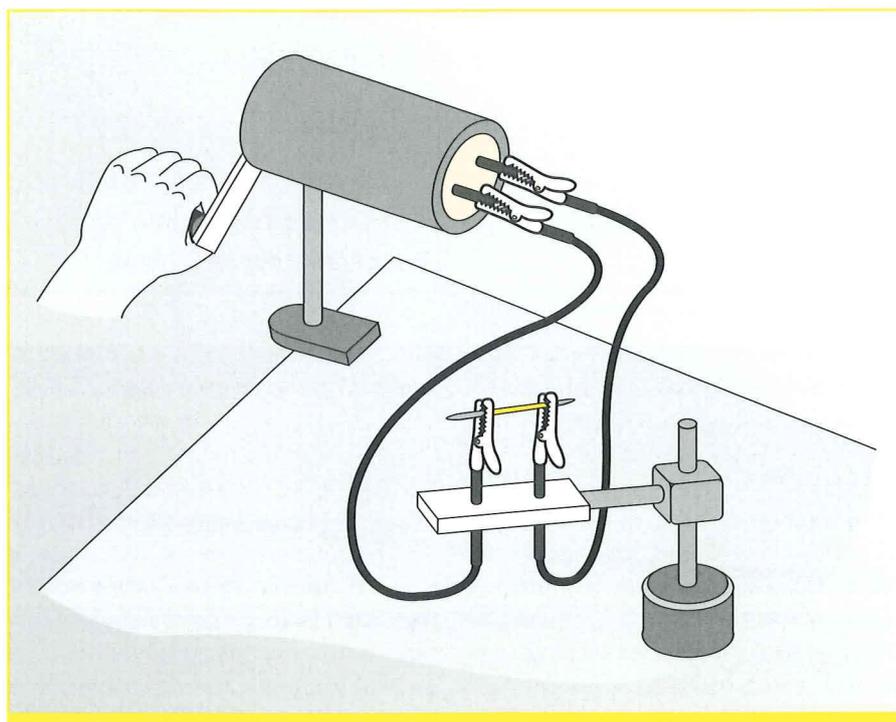


Abb. 2: Schülerversuch zur Energieübertragung

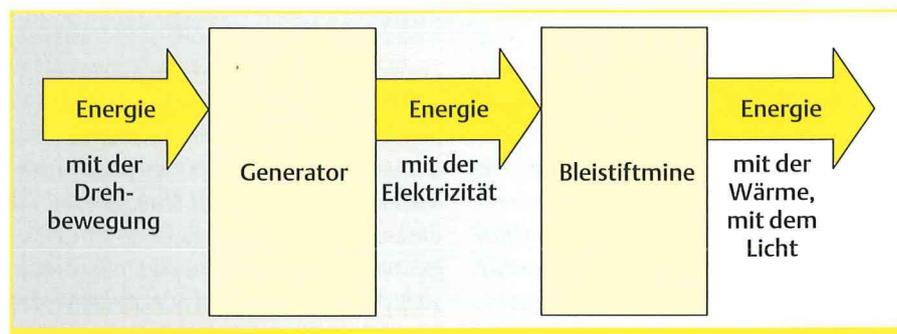


Abb. 3: Energieflussdiagramm zum Versuch aus Abb. 2

wegung, mit der Wärme, mit der bewegten Luft etc) und verzichten auf Pfeile für die Energieträger, da die Flussrichtung des Trägers nicht immer einsichtig ist. (So fließen die elektrische Ladung und der Drehimpuls eigentlich im Kreis im Gegensatz zum Licht und zur Wärme.)

Eine andere Situation ist die Betrachtung von Energiespeichern (gespannte Feder beim Darda-Auto, verdrehtes Gummi bei der magischen Dose, Wasser im Stausee, rotierender Jojo usw.). Um ein Auto zu beschleunigen, benötigt man Energie. Nach traditioneller Betrachtungsweise wird die

Kasten 1: Verschiedene Sprechweisen

- Durch Verrichtung von mechanischer Arbeit fließt elektrische Ladung im Stromkreis. Die fließende Ladung überträgt Energie in Form von elektrischer Arbeit auf die Bleistiftmine. Dadurch erhöht sich die innere Energie der Bleistiftmine. Die glühende Mine gibt die Energie in Form von Wärme und Licht an die Umgebung ab.
- Im Generator wird mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt. Der elektrische Strom überträgt die elektrische Energie auf die Bleistiftmine. Dort wird die elektrische Energie in thermische Energie und Lichtenergie umgewandelt und an die Umgebung abgegeben.
- Durch die Drehbewegung wird Energie auf den Generator übertragen. Die Energie wird mit dem elektrischen Strom auf die Bleistiftmine übertragen und von dort mittels Wärme und Licht an die Umgebung abgegeben.
- Mit der Drehbewegung fließt Energie in den Generator. Die Energie fließt mit dem elektrischen Strom vom Generator zur Bleistiftmine. Von dort fließt die Energie mit Wärme und Licht in die Umgebung.
- Mit dem Drehimpuls fließt Energie in den Generator. Die Energie fließt mit der Elektrizität vom Generator zur Bleistiftmine. Von dort fließt die Energie mit der Entropie und dem Licht in die Umgebung.
- Energie fließt mit dem Träger Drehimpuls in den Generator. Dort wird die Energie vom Träger Drehimpuls abgeladen und auf den Träger Elektrizität geladen. Die mit Energie beladene Elektrizität fließt zur Bleistiftmine. Dort wird die Energie vom Träger Elektrizität auf die Träger Entropie und Licht umgeladen und die Elektrizität fließt unbeladen zum Generator zurück.

traditionell	Karlsruher Physikkurs
Mechanische Arbeit	
Energieübertragung mittels Kraft	Energie fließt mit dem Impuls.
Energieübertragung mittels Drehmoment	Energie fließt mit dem Drehimpuls.
Elektrische Arbeit	Energie fließt mit der Elektrizität.
Wärme	Energie fließt mit der Entropie.

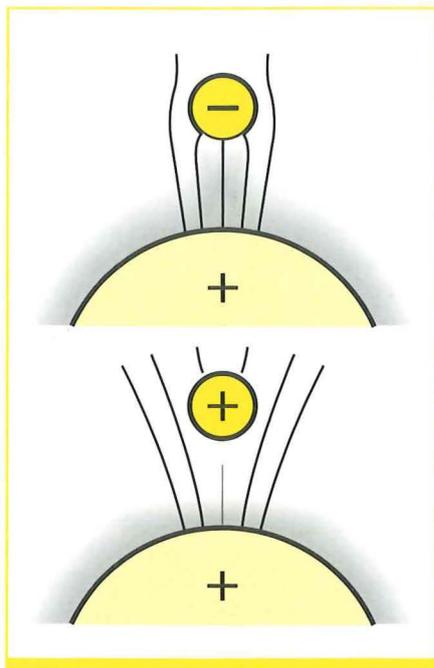
Tab. 1: Energieübertragung traditionell und nach KPK

traditionell	Karlsruher Physikkurs
Kinetische Energie	
der Translation	Energie ist gespeichert im bewegten Körper.
der Rotation	Energie ist gespeichert im rotierenden Körper.
Potenzielle Energie	
einer gespannten Feder	Energie ist gespeichert in der gespannten Feder.
im Schwerfeld	Energie ist gespeichert im Schwerfeld.
im elektrostatischen Feld	Energie ist gespeichert im elektrostatischen Feld.
Thermische Energie	Energie ist gespeichert im heißen Körper.

Tab. 2: Energieformen bzw. -speicher traditionell und nach KPK

Energie mittels Kraft längs eines Weges übertragen. Nach dem Karlsruher Physikkurs fließt Impuls in das Auto (genauer: der Motor pumpt Impuls aus der Straße bzw. aus der Erde in das Auto) und mit dem Impuls fließt auch Energie in das Auto. Wie man auch sagt, immer „steckt Energie im bewegten Auto“. Für den Anfangsunterricht reicht das; der Begriff Bewegungs-

Abb. 4: Änderung des elektrischen Feldes einer positiv geladenen Kugeloberfläche durch Anwesenheit einer zweiten Ladung.



energie lässt sich später zwanglos als Abkürzung der Sprechweise einführen. Mit der gespannten Feder ist es ähnlich. Zum Spannen einer Feder benötigt man Energie. Ob die Energie „mittels Kraft längs eines Weges“ auf die Feder übertragen wird oder „mit dem Impuls in die Feder strömt“, das Ergebnis ist dasselbe: „in der gespannten Feder steckt Energie“.

Etwas komplizierter ist der Sachverhalt bei einem angehobenen Körper. Wir fragen uns, wo steckt eigentlich die Energie? Im angehobenen Körper? Im System Erde – Körper? Zur Klärung betrachten wir zuerst den elektrostatischen Fall. Ein negativ geladenes Kügelchen soll von einer positiven Kugeloberfläche entfernt werden (Abb. 4a). Einige Feldlinien enden am Kügelchen. Wenn das Kügelchen weiter angehoben wird, dann verlängern sich diese Feldlinien. Wir erkennen nun, wo die Energie steckt: Der felderfüllte Raum bzw. die Feldenergie insgesamt hat sich durch das Anheben des geladenen Kügelchen vergrößert. Lässt man das Kügelchen wieder los, dann wird es durch die Feldkräfte beschleunigt: die ins Feld gesteckte Energiemenge fließt wieder in das Kügelchen. Betrachten wir zum Vergleich ein positives Kügelchen im Feld der positiven Kugeloberfläche. Das Kügelchen wird von der Oberfläche weg beschleunigt. Dabei fließt Energie aus dem Feld in das Kügelchen und folglich hat sich die Feldener-

gie insgesamt verringert. Tatsächlich ist direkt unter dem positiven Kügelchen das Feld abgeschwächt (Abb. 4b).

Der Fall des Gravitationsfeldes verhält sich prinzipiell genau so, mit einem wesentlichen Unterschied: Es gibt zwei Vorzeichen für die elektrische Ladung, aber nur ein Vorzeichen für die Masse. Als Veranschaulichung dient ein Gedankenexperiment: Ein volles Containerschiff (ca. 100 000 t) wird um 100 m angehoben. Wenn man nun mit einem Probekörper unter dem Schiff das Schwerfeld ausmisst, so wird man für g einen geringeren Wert messen; der Probekörper wird ja von der Erde und vom Schiff angezogen; die resultierende Schwerkraft ist also reduziert. Der prinzipielle Feldlinienverlauf gleicht also dem zweier gleichnamiger Ladungen. Doch während im elektrostatischen Fall die Feldenergie in diesem Fall abgenommen hat, hat sie im gravitativen Fall zugenommen, da die Energiedichte des Gravitationsfeldes negativ ist, im Gegensatz zum elektrischen Feld [9]. Dass das so sein muss, kann man sich leicht klar machen: Wenn die ganze Masse einer Galaxie in einem Ort vereint ist, dann ist der energetisch niedrigste Zustand erreicht, gleichzeitig aber ist das Feld am stärksten.

Wenn die Masse dagegen weiträumig verteilt ist, die Anordnung also viel Energie enthält, dann ist das Feld am schwächsten. Das Anheben eines Körpers lässt sich energetisch also folgendermaßen beschreiben: Durch das Anheben fließt Energie in den Körper und von dort weiter in das Gravitationsfeld. Dadurch wird der Wert der gravitativen Feldenergie um einen winzigen Betrag erhöht. Lässt man den Körper los, dann fließt die zuvor ins Feld gesteckte Energiemenge aus dem Feld wieder in den Körper.

Für Schüler im Anfangsunterricht kann ein stark vereinfachendes Modell herangezogen werden. Der energetische Aspekt des Schwerfelds wird im Karlsruher Physikkurs mit einer unsichtbaren Feder veranschaulicht: Hebt man einen Körper an, dann ist es so, als ob eine Feder gespannt wird, die die Energie abgibt, wenn man den Körper wieder loslässt. Eine offensichtliche Schwierigkeit dieses Modells kann leider nicht einfach behoben werden: Je höher der Körper angehoben wird, desto stärker müsste die Feder ziehen!

Tab. 2 zeigt abschließend eine Gegenüberstellung von Energieformen und Karlsruher Sprechweise.

6 | Skizze eines möglichen Unterrichtsgangs

6.1 Einführung des Energiebegriffs

Der Einstieg in das Thema Energie sollte behutsam erfolgen und an die Alltagsvorstellungen der Schülerinnen und Schüler anknüpfen. Solche Vorstellungen sind ohne Zweifel vorhanden, sei es aus der familiären Umgebung (Ermahnungen der Eltern zum Energiesparen, Nährwertangaben bei Lebensmitteln etc.), den Medien (siehe aktuelle Klimadiskussion) oder dem Unterricht in verwandten Fächern, insbesondere in Biologie (Ernährung, Photosynthese etc.); sie müssen nur noch mit einem geeigneten Arbeitsauftrag hervorbracht werden. Dabei sollen sich die Jugendlichen aktiv mit dem Alltagsbegriff Energie auseinandersetzen. Dies kann mit einer Hausaufgabe erreicht werden, bei der die Jugendlichen ihre Eltern und Geschwister zum Thema Energie interviewen und dann zu diesen Aussagen selbst Stellung nehmen sollen; außerdem sollen die Schülerinnen und Schüler „etwas Energie mitbringen“ (Kasten 2). Die Hausaufgabe bietet vielerlei Diskussionsanlass: Wichtige Aspekte des Energiebegriffs werden dadurch schon angeschnitten. Selbstverständlich sind auch physikalisch fragwürdige Aussagen dabei, wie z. B. „Energie kann mit verschiedenen Methoden erzeugt werden“ oder „Es wird bald keine Energie mehr geben.“ In der Diskussion kommt man bald darauf, dass zwischen Energie und dem Träger unterschieden werden muss. Gewisse Energieträger gehen sehr wohl bald zur Neige. Aber wie ist das mit der Energie an und für sich? Kann Energie verloren gehen? Was ist eigentlich mit „Energieverbrauch“ und „Energieerzeugung“ gemeint? Diese Fragen können als Motivation für die Unterrichtseinheit dienen.

Der zweite Teil der Hausaufgabe verdeutlicht, dass Energie immer an einen Träger gebunden ist. Wir wollen das noch vertiefen. Dazu sollen die Schülerinnen und Schüler in Gruppenarbeit sammeln, wozu Lebewesen, Fortbewegungsmittel, Geräte etc. Energie brauchen und wie sie diese erhalten. Die Klasse erkennt, dass Lebewesen und Geräte die Energie mit den unterschiedlichsten Trägern erhalten: Die Tiere mit der Nahrung, die Pflanzen mit dem Licht (das ist nicht sofort klar), Autos mit dem Sprit, die meisten Haushaltsgeräte mit dem elektrischen Strom, die Heizung mit Öl, Gas oder Holz usw.

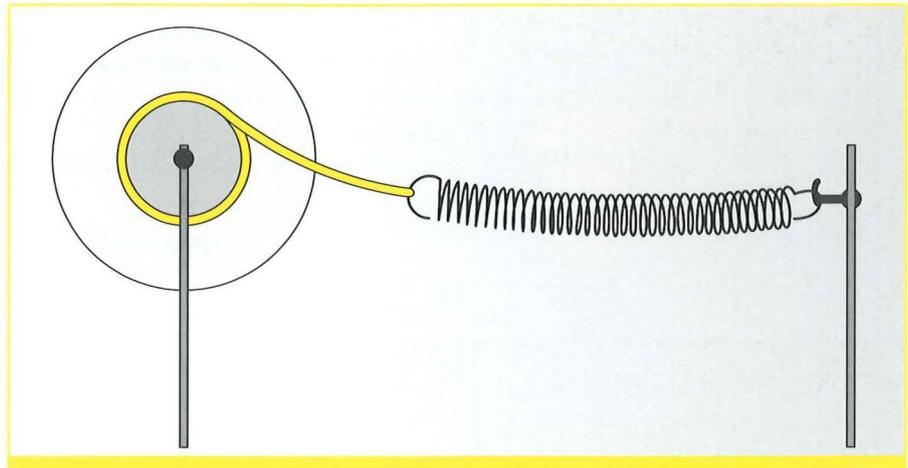


Abb. 5: Demonstrationsversuch zum Energieerhaltungssatz: Die Energie fließt zwischen Feder und Schwungrad hin und her.

6.2 Mengenartigkeit und Einheit

Die Mengenartigkeit folgt ganz einfach anhand von Schokoladentafeln. Dabei kann auch gleich die Einheit Joule (bzw. Kilojoule) eingeführt werden. Da im Zusammenhang mit der Ernährung immer noch in kcal (meistens fälschlicherweise auch noch als „Kalorien“ bezeichnet) gerechnet wird, sollten die alten Einheiten cal und kcal ebenfalls angesprochen werden. Damit die Schüler eine Vorstellung für die Einheit der Energiemenge bekommen, ist ein anschaulicher Versuch sinnvoll: Um einen Würfelzucker mit ca. 10 kcal Energie zu „verbrauchen“, muss man mit dem Dynamot eine 20-Watt-Lampe etwa zehn Minuten betreiben (bei einem angenommenen Wirkungsgrad von etwa 25%). Die Jugendlichen sind überrascht, wie sehr sie sich dafür anstrengen müssen. Insbesondere Schülerinnen interessieren sich in diesem Alter für ihren täglichen Energiebedarf und den Nährwertangaben auf Nahrungsmitteln. Leicht lässt sich diese Zielgruppe mit geeigneten Themen wie „Grundumsatz und Leistungsumsatz“ beim Menschen erreichen. Allerdings ist die Ernährung durchaus ein heikles Thema, da besonders bei Mädchen Essstörungen vorkommen. Wichtig ist der Verweis auf den hohen Grundumsatz: Ohne ausreichende Energiezufuhr ist auf Dauer die Gesundheit massiv gefährdet. Für eine breitere Diskussion des Themas Energie und Ernährung würde sich eine fächerübergreifende Zusammenarbeit mit Biologie und Sport sehr gut eignen.

6.3 Energieübertragung

Zur Energieübertragung bietet sich folgender einfacher Freihandversuch an: Über einem Teelicht wird Wasser zum Sieden gebracht. Offensichtlich hat die Energie der

Kerze abgenommen und die Energie des Wassers zugenommen. Also wurde Energie von der Kerze auf das Wasser übertragen. Man könnte auch schon sagen: Energie fließt von der Kerze zum Wasser. Weitere Freihandversuche, z. B. Putt-Putt-Boot (Energie wird von der Kerze auf die Bewegung des Boots übertragen) oder ein rotierendes Rad mit Fahrraddynamo und Lampe (Energie wird von der Bewegung des Rads auf die Lampe übertragen) zeigen, dass die Energie viele Gesichter hat.

6.4 Energiespeicher

Außer den schon bekannten Energiespeichern (z. B. Benzin, Schokolade, Batterie) interessieren uns in der Physik noch weitere Energiespeicher. Diese können in Freihandversuchen oder in kurzen Überlegungen schnell bestimmt werden. Wohin wird die Energie beim Putt-Putt-Boot übertragen? Woher kommt die Energie bei der Fahrradlampe? Woher kommt sie beim Darda-Auto? Wir erkennen: Im bewegten Körper steckt Energie. Und: In der gespannten Feder steckt Energie. Wasser aus einem Stausee wird zur Erzeugung von Elektrizität verwendet. Woher stammt die Energie? Zum Anheben einer Last benötigt man Energie. Man kann die Energie wieder „herausholen“, z. B. indem man die Last an eine Schnur bindet und damit einen Generator antreibt (Freihandversuch). Aus diesen Betrachtungen kann die Vorstellung vom Schwerfeld als Energiespeicher entwickelt werden.

6.5 Energieerhaltung

Das Gesetz der Energieerhaltung ist durch die Vorstellung von Energie, die übertragen werden kann, didaktisch schon gut vorbereitet – bei einem Unterricht, der den

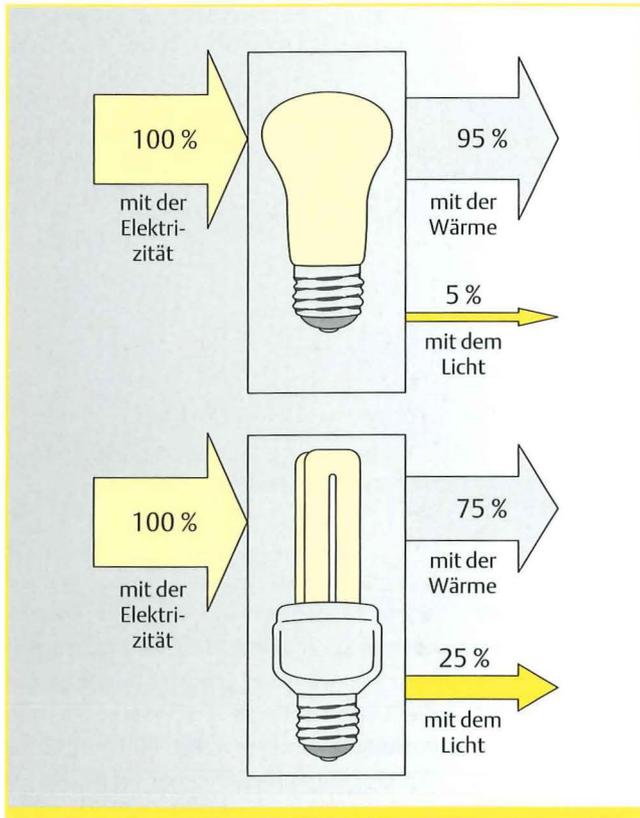


Abb. 6: Zum Wirkungsgrad (Glühlampe und Energiesparlampe im Vergleich)

Was ist der Unterschied zwischen einer 75 W-Glühlampe und einer 15 W-Energiesparlampe? Wie kann es sein, dass beide gleich hell leuchten? Die Erklärung gelingt am einfachsten mit dem Energieflussdiagramm (Abb. 6): bei der Glühlampe werden nur 5% der hineinströmenden Energie mit dem sichtbaren Licht abgegeben; bei der Energiesparlampe sind es immerhin 25%. Durch Anfassen spüren die Schüler, dass die Glühlampe tatsächlich viel wärmer als die Energiesparlampe ist.

6.8 Energieversorgung und effizienter Umgang mit Energie

Ein moderner Physikunterricht darf die aktuelle Diskussion zur Energieproblematik nicht außer Acht lassen. Dabei muss die Umsetzung das Alter der Schülerinnen und Schüler berücksichtigen. Ziel ist eine Sensibilisierung für das Thema, ohne dabei die Schülerinnen und Schüler zu ängstigen. Wichtig ist, dass die Schüler erfahren, welche Möglichkeiten zum Energiesparen sie selbst in ihrem Umfeld haben. Ein gutes Betätigungsfeld ist dabei die Schule selbst (siehe z. B. die Umwelt- und Klimaregeln am Ganerben-Gymnasium in Künzelsau, [10]). Die verschiedenen Möglichkeiten der Energieversorgung (Wasser-, Wind-, Kohle-, Kernkraftwerk und Solarenergie) können zum einen in Form von Modellversuchen (siehe Lernzirkel) und zum anderen in Form von Rechercheaufträgen behandelt werden. Dabei sollen sich die Schüler auch mit den Folgen der Energieversorgung auseinandersetzen und Vor- und Nachteile der verschiedenen Kraftwerkstypen diskutieren.

7 | Fazit

Der hier skizzierte Unterrichtsgang wurde mit insgesamt sechs 7. Klassen an zwei baden-württembergischen Gymnasien von fünf Lehrkräften getestet. Ohne eine systematische Evaluation durchgeführt zu haben, sind wir der Überzeugung, dass sich der Unterrichtsgang im Wesentlichen bewährt hat und die Schülerinnen und Schüler die Grundideen des Energiebegriffs verstanden haben. Die Behandlung der Energie vor der Kraft, ja vor der Mechanik überhaupt, ist für die Schülerinnen und Schüler kein Problem, wenn man an den Alltagsvorstellungen anknüpft und diese geeignet weiterentwickelt. Dieser Beitrag möchte einen möglichen Weg zur Einführung der Energie im Anfangsunterricht aufzeigen, wir behaupten nicht, dass es der einzig gangbare Weg ist.

Schwerpunkt auf die Energieformen legt, könnte dieser Umstand eher verdeckt sein. Es empfiehlt sich nun ein Versuch, bei dem die Energie zwischen zwei auch räumlich getrennten Systemen hin- und herfließt. Ein solcher Freihandversuch kann mit einem Schwungrad und einer langen, weichen Feder leicht aufgebaut werden (Abb. 5). Auch wenn bei diesem Versuch etwas Energie in die Umgebung abfließt, so ist den Schülern doch sehr schnell klar, dass Energie weder vernichtet noch erzeugt werden kann. Weitere Freihandversuche und Beispiele, etwa die Unmöglichkeit eines Perpetuum Mobiles, verdeutlichen diesen für die Physik so zentralen Satz. Die wesentlichen fachlichen Ziele sind hiermit erreicht. Zur Vertiefung werden weitere, auch längere Übertragungsketten betrachtet (z. B. Solarzelle plus Lüfter, Kohlekraftwerk, Windrad, usw.). Bei allen realen Energieübertragungsketten fließt Energie in die Umgebung ab. Aus diesem Grund kommt am Ende einer solchen Kette immer weniger Energie an, als am Anfang hinein gesteckt wurde.

6.6 Wertvolle und wertlose Energie

Mit elektrisch übertragener Energie kann man die unterschiedlichsten Geräte betreiben: Je nach Gerät erhält man Hitze, Licht, Schall, Bewegung usw. Energie, die mit der Elektrizität kommt, kann also ohne Schwie-

rigkeiten auf viele andere Träger umgeladen werden. Dagegen kann die Energie, die in heißem Wasser steckt, nur mit großem Aufwand und auch nur unvollständig auf andere Träger umgeladen werden. Aus diesem Grund ist elektrisch übertragene Energie viel wertvoller und teurer als Energie, die mit der Wärme kommt. Völlig wertlos wird die Energie, wenn sie fein verteilt in die Umgebung fließt.

6.7 Energiestromstärke und Wirkungsgrad

Messungen zum Energieverbrauch¹ elektrischer Geräte können überraschende Ergebnisse aufzeigen (für Schüler allemal, manchmal auch für Lehrer und Physiker!): Haarföhn, Schreibtischlampe, Vergleich Wasserkocher mit Kochplatte und Topf, Computer (auch Stand-by-Modus, Ruhezustand), allgemein Geräte im Stand-by-Modus, Netzteile, die häufig ständig eingesteckt sind, usw. Der Haarföhn braucht besonders viel Energie. In jeder Sekunde strömen 1600 J Energie in den Föhn und natürlich auch wieder heraus (hinein mit der Elektrizität und heraus mit der warmen, bewegten Luft).

Wir sagen, die Energiestromstärke durch den Föhn beträgt $1600 \text{ J/s} = 1600 \text{ W}$.

¹ Wir sprechen nun von Energie- „Verbrauch“ wie von Wasser-„Verbrauch“. Selbstverständlich wird Energie nicht verbraucht im Sinne von vernichtet.

Energie

1. Befrage zwei bis drei Menschen aus deiner Umgebung (Eltern, Onkel, Tanten etc.) was sie über das Thema „Energie“ wissen. Notiere im Werkstattheft, was sie sagen. Schreibe außerdem auf, was du davon hältst.
2. Bringe in die nächste Stunde etwas "Energie" mit. Erläutere im Heft, was du warum mitbringst.

1. Ich habe meine Mutter, Vater und Schwester gefragt, was sie über Energie wissen:

- Körper braucht Energie
- in einer Batterie wird Energie gespeichert
- Bewegungen benötigen Energie
- Energie ist kostbar
- ohne Energie geht auf der Welt fast nichts
- Es wird bald keine Energie mehr geben, wenn weiterhin soviel Strom verbraucht wird

2. (Wo steckt Energie?)

Im einem „Porzellanigel“ steckt Energie, da man ihn für Leistung (Bewegung) des Körpers „benutzt“.
Er liefert dem Körper Energie.

Im einer Batterie steckt Energie, die liefert vielen elektrischen Geräten Energie.

Kasten 2: Schülerarbeit

Literatur

- [1] Bildungsstandards für das Gymnasium in Baden-Württemberg
- [2] Fokus Physik, Gymn. Bd. 1, Cornelsen Verlag, Berlin, 2005
- [3] Dorn-Bader Physik 1, Schroedel, Braunschweig, 2005
- [4] F. Herrmann: Der Karlsruher Physikkurs, Ein Lehrbuch für die Sekundarstufe 1, Aulis Verlag Deubner, Köln, 2003
- [5] Impulse Physik 1, Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 2005
- [6] Physik, Lehrbuch für die Sek. 1, Bd. 1, Duden-Paetec, Berlin, 2000
- [7] G. Falk, F. Herrmann, G. B. Schmid: Energy forms or energy carriers? Am. J. Phys. 51, 1074 (1983)
- [8] D. Plappert: Zur Lokalisation von Energieströmen, in diesem Heft
- [9] F. Herrmann: Skripten zur Experimentalphysik, Physik 1 Mechanik, 1997
- [10] <http://www.ganerben-gymnasium.de/>

Anschriften der Verfasser

Dr. Reiner Kienle, Staatliches Seminar für Didaktik und Lehrerbildung (Gymnasien), John-F.-Kennedy-Straße 14/1, 74074 Heilbronn,
E-Mail: reiner_kienle@gmx.de
Georg Kirchgeßner, Fachberater für Physik am Regierungspräsidium Stuttgart, Gymnasium Eppingen, Adolf-Vielhauer-Straße 13, 75031 Eppingen,
E-Mail: georg.kirchgeßner@freenet.de

Einführung der Energie

in Jahrgangsstufe 7/8

R. Müller

1 | Einleitung

Mit der Einführung des achtjährigen Gymnasiums verschieben sich in den meisten Bundesländern die traditionellen Inhalte des Physikunterrichts „nach unten“. Fast alle Inhalte müssen in niedrigeren Jahrgangsstufen unterrichtet werden als bisher. Für viele Themen hat dies zur Folge, dass die gewohnten Unterrichtskonzepte nicht mehr greifen. Meist müssen z. B. Abstriche bei der Mathematisierung gemacht werden und quantitative Formulierungen von physikalischen Gesetzen durch qualitative oder halbquantitative ersetzt werden. Auch muss sich der Unterricht stärker als bisher an Alltagskontexten orientieren. Das Thema „Energie“ ist von dieser Entwicklung in besonderem Maße betroffen. Die Energie ist eines der Basiskonzepte in

den Bildungsstandards und begegnet daher den Schülerinnen und Schülern in vielen der neuen Lehrpläne schon relativ früh in der Sekundarstufe I. Wirft man einen Blick in die eingeführten Schulbücher, wird sehr schnell klar, dass das „Nach-unten-Durchreichen“ der traditionellen Unterrichtsinhalte keine Option ist. Die Inhalte des Unterrichts müssen grundsätzlich neu durchdacht werden.

Das hier vorgestellte Unterrichtskonzept für die Jahrgangsstufen 7/8 orientiert sich an Lernzielen, die in der Fachdidaktik schon seit vielen Jahren diskutiert werden [1, 2]. Duit benennt z. B. vier „Grundideen des Energiebegriffs“, die die wesentlichen in der Schule zu vermittelnden Aspekte des Begriffs Energie charakterisieren [2]:

- Energieumwandlung
- Energietransport

- Energieerhaltung
- Energieentwertung.

Ganz ähnliche Ziele werden auch von Kienle und Kirchgeßner [3] in diesem Heft formuliert, wenn sich auch die Ausformulierung des Unterrichtsganges in begrifflicher Hinsicht unterscheidet. Das hier vorgestellte Unterrichtskonzept greift auf Bestehendes zurück. Konkrete Unterrichtsvorschläge zum Thema Energie mit vielen ausgearbeiteten Materialien liegen z. B. in [4, 5] vor. Aus Platzgründen kann der Unterrichtsgang in diesem Artikel nur cursorisch dargestellt werden. In [6] finden sich die Ideen des Unterrichtsganges (angepasst an das niedersächsische Kerncurriculum) in detaillierterer Form. Dort findet man auch Beispiele und Aufgaben, in denen die in den Bildungsstandards geforderten prozessbezogenen Kompetenzen auf das Thema Energie bezogen werden.