

Prüfungslektion Physik

Datum: 19. April 1999
Ort: Gymnasium Münchenstein, Zi. 60
Klasse: 1BA
Zeit: 9.20 bis 10.05 Uhr
Kandidat: Michael Weiss
Examinator: Hans-Erich Erni
Experte: Karl Baumgartner
Methodiklehrkraft: Heinrich Schenkel

Thema: Gespeicherte Arbeit: Energie

Fachlicher Hintergrund

Leistet man an einem reibungsfreien mechanischen System Arbeit, so versetzt man das System in die Lage, zu einem späteren Zeitpunkt selbst Arbeit zu verrichten. Die Menge der am System geleisteten Arbeit ist gleich gross wie die Arbeitsmenge, die das System danach selbst verrichten kann. Die am System geleistete Arbeit wird also in diesem gespeichert. Diese gespeicherte Arbeit nennt man Energie.

Die Form der am System geleisteten Arbeit bestimmt die Form, in der die Energie im System gespeichert ist. Beispielsweise:

Hubarbeit	→	potentielle Energie
Beschleunigungsarbeit	→	kinetische Energie
Spannarbeit	→	Spannungsenergie

Diese drei Energieformen sind insofern gleichwertig, als man sie alle zur Leistung aller drei Arbeitsformen benutzen kann. In ein und demselben System können auch mehrere Energieformen gleichzeitig vorkommen. Die Summe der Energiemengen aller Energieformen in einem abgeschlossenen mechanischen System ist konstant. Systeme wie Pendel oder springende Bälle wandeln aber ständig Energie von einer Form in eine andere um.

In unserer Alltagswelt tritt kinetische Energie allerdings nie ganz ohne Reibungsarbeit auf, und dieser Arbeitsform entspricht keine mechanische Energieform. Daher kann aus keinem System alle an ihm geleistete Arbeit in Form von Arbeit wiedergewonnen werden. Das Prinzip der Energieerhaltung macht daher nur Sinn, wenn man feststellt, dass Reibung Wärme erzeugt, und dass Wärme selbst eine Form kinetischer Energie ist – wenn auch keine, die sich ohne weiteres in andere Energieformen umwandeln lässt.

Didaktische Überlegungen in bezug auf die Unterrichtseinheit "Arbeit – Energie – Leistung" im allgemeinen und die Lektion "Gespeicherte Arbeit – Energie" im speziellen

Der Energiebegriff ist äusserst vielschichtig und in vielerlei Zusammenhang den SchülerInnen bereits bekannt: Menschen und Tiere nehmen mit der Nahrung Energie auf, die sie zum Leben benötigen, Pflanzen bauen mit Sonnenenergie Traubenzucker auf, Autos brauchen zum fahren die Energie, die im Benzin steckt, die "Energie aus der Steckdose" kommt aus Kraftwerken (Wasserkraft, Atomkraft, ...) usw. Auch im Chemieunterricht ist der Energiebegriff schon gefallen (Aktivierungsenergie, exotherme / endotherme Reaktion, ...). Die SchülerInnen kennen den Energiebegriff aber auch aus zweifelhafteren Quellen wie Alltagssprache, Science-Fiction-

Filmen, eventuell sogar in esotherischem Zusammenhang. Dieses etwas diffuse Wissen auf eine solide Grundlage zu stellen, ist ein wesentliches Etappenziel, das ich in der Unterrichtseinheit "Arbeit – Energie – Leistung" verfolge. Ich sehe das als wesentlichen Schritt dahingehend, Fragen der Energieproblematik kompetent zu beurteilen.

Grundlage des Energiebegriffs ist der Arbeitsbegriff. Diesen habe ich in den vergangenen drei Lektionen mit der Klasse behandelt. Wir sind eingestiegen über kraftverstärkende Geräte (Flaschenzug, Hebel, usw.), haben dann Hubarbeit, Spannarbeit und Beschleunigungsarbeit berechnet, und zuletzt abgeschätzt, wieviel Arbeit die Schülerinnen und Schüler auf ihrem Schulweg leisten. Auf die Idee, diesen Wert mit dem Energiegehalt von Lebensmitteln zu vergleichen, ist die Klasse spontan selbst gekommen.

Energie ist deswegen so zentral, weil sie eine *Erhaltungsgrösse* darstellt. Dies wird aber nur einsichtig, wenn man auch die Wärmeenergie berücksichtigt. Daher kann ich die Wärme in einer Einführung in den Energiebegriff nicht weglassen, auch wenn die Details der Wärmelehre erst viel später zum Unterrichtsthema werden. Obwohl dies nicht die historische Entwicklung widerspiegelt, scheint es mir ausserdem sinnvoll, Wärme von Anfang an als ungeordnete kinetische Energie der Atome zu erklären.

Die heutige Lektion hat daher folgende Inhalte:

- Energie ist gespeicherte Arbeit (in doppeltem Sinn: 1. Die Arbeit, die man an einem System leistet, wird in diesem gespeichert, und 2. Die Energie ist die Fähigkeit eines Systems, Arbeit zu leisten¹)
- Arbeits- und Energieformen entsprechen sich
- Energieumwandlung geschieht, wenn ein System an sich selbst Arbeit leistet
- Aus keinem System kommt mehr Arbeit heraus, als hineingesteckt wurde
- Energie geht nicht verloren
- Wärme ist die ungeordnete kinetische Energie der Atome

Methodisches und Lektionsaufbau

Zum Einstieg zeige ich einige mechanische Systeme, die quasi von sich aus Arbeit leisten. In der anschliessenden Diskussion versuchen wir Gemeinsamkeiten zwischen den Versuchen zu finden: Ich habe (vor der Stunde) Arbeit hineingesteckt, und das befähigt die Systeme, nun Arbeit zu leisten. Die gespeicherte Arbeit nennt man Energie.

Dass keines der Systeme mehr Arbeit leisten kann, als ich zuvor hineingesteckt habe, erscheint den SchülerInnen wahrscheinlich so logisch, dass sie sich gar keine Gedanken darüber machen. Dem möchte ich mit einem Experiment entgegenwirken, in dem die Gesundheit eines Schülers oder einer Schülerin quasi von der Richtigkeit dieser Aussage abhängt: Hält das zurückschwingende Pendel tatsächlich rechtzeitig an, oder kann es auf einmal mehr Hubarbeit leisten, als ursprünglich hineingesteckt wurde?

Die somit gefestigte Erkenntnis wird nun noch einmal erschüttert, wenn ich demonstriere, dass ein hängendes Federpendel ein ums andere Mal Hubarbeit verrichtet – insgesamt viel mehr, als

¹ Hier ist die Wärme noch ausgeklammert!

ich anfänglich hineingesteckt habe. Wir erkennen daran, dass das Pendel Arbeit an sich selbst leistet, die Form seiner Energie also wandelt.

Um das erarbeitete Wissen zu festigen, zu sichern und zu systematisieren, verteile ich nun die entsprechende Seite aus dem Manuskript² und lasse sie lesen (beigefügtes Blatt "Arbeit, Energie, Leistung S. 4"). In diesem Text wird das gesagte verallgemeinert, und die Begriffe kinetische, potentielle und chemische Energie, sowie Spannungsenergie werden eingeführt.

Die folgende Unterrichtssequenz dient zur selbständigen aktiven und kreativen Auseinandersetzung mit dem bis jetzt erarbeiteten: In Partnerarbeit sollen die SchülerInnen auf Folie eine Situation zeichnen, in der eine Energieform in eine andere umgewandelt wird – oder Energie scheinbar verschwindet. Einige der Zeichnungen sehen wir uns direkt im Anschluss daran an, da es aber langweilig würde, 12 Arbeiten hintereinander anzusehen, sammle ich alle ein und kopiere sie in verkleinertem Format auf ein Blatt, das ich in der nächsten Lektion austeile.

Zur Überleitung zur letzten Unterrichtssequenz dienen die Situationen, in denen Energie scheinbar verschwindet. Es ist nicht anzunehmen, dass in allen so entdeckten Situationen die Entstehung von Wärme offensichtlich ist. Ich kann daher nur versuchen, plausibel zu machen, dass immer, wenn Energie scheinbar verloren geht, Wärme entsteht. Die Argumente, die ich dafür vorbringe und experimentell demonstriere, sind:

- Es ist offensichtlich, dass man mit Arbeit Wärme erzeugen kann (Feuermachen in der Steinzeit!)
- Ein Laserstrahl erzeugt ein Bild in Form eines beweglichen Musters, wenn er durch ein Glas mit Wasser geleitet wird, in dem ein Tröpfchen Kaffeerahm emulgiert ist. Die Bewegung ist in heissem Wasser sichtbar stärker als in kaltem Wasser. Auch wenn das Bild für die SchülerInnen weitgehend unverstanden bleibt, wird doch deutlich, dass die sichtbare Bewegung auf irgend eine Art die Teilchenbewegung widerspiegelt.
- Die Bewegung kleinster Teilchen wird offenbar nicht durch Reibung abgebremst: Das kann man erkennen, indem man die Brown'sche Bewegung von Rauchteilchen im Mikroskop betrachtet.

Sollte es die Zeit erlauben, streue ich zwischen die beiden Experimente noch eine literarische Behandlung der Energieumwandlung von Wilhelm Busch ein.

Als Hausaufgabe gebe ich den Manuskriptteil "Energie und Wärme" (Arbeit, Energie, Leistung S.5) zu lesen. Dort taucht als weiterer Begriff der Wirkungsgrad auf (nicht im thermodynamischen Sinn, sondern nur zur Quantifizierung von Verlusten in rein mechanischen Systemen).

Ausblick

Inhalt der nächsten Lektion wird es sein, Beispiele mechanischer Energieumwandlung quantitativ zu behandeln. Der Wärmebegriff wird dabei nur insofern von Bedeutung sein, als er die Rechtfertigung für die Einführung eines Wirkungsgrads bei der mechanischen Energieumwandlung bildet. Bei der Auswahl der Aufgaben werde ich nach Möglichkeit die von der Klasse gezeichneten Situationen der Energieumwandlung berücksichtigen, freilich nicht ausschliesslich. Mit dem Leistungsbegriff findet das Thema dann innerhalb der nächsten zwei Wochen einen vorläufigen Abschluss (inkl. Prüfung).

² In einer Umfrage, die ich mit der Klasse zur Unterrichtsqualität durchgeführt habe, kam der Wunsch nach einem Manuskript auf. Der bis jetzt bestehende Teil ist beigefügt.

Aufgabenstellungen für die Partnerarbeit

Pro Bank ist eine der folgenden Aufgaben zu bearbeiten:

Zeichnen Sie eine möglichst alltägliche Situation, in der kinetische Energie in potentielle Energie umgewandelt wird.

Zeichnen Sie eine möglichst alltägliche Situation, in der kinetische Energie in Spannungsenergie umgewandelt wird.

Zeichnen Sie eine möglichst alltägliche Situation, in der chemische Energie in kinetische Energie umgewandelt wird.

Zeichnen Sie eine möglichst alltägliche Situation, in der chemische Energie in potentielle Energie umgewandelt wird.

Zeichnen Sie eine möglichst alltägliche Situation, in der potentielle Energie in kinetische Energie umgewandelt wird.

Zeichnen Sie eine möglichst alltägliche Situation, in der potentielle Energie in Spannungsenergie umgewandelt wird.

Zeichnen Sie eine möglichst alltägliche Situation, in der Spannungsenergie in kinetische Energie umgewandelt wird.

Zeichnen Sie eine möglichst alltägliche Situation, in der Spannungsenergie in potentielle Energie umgewandelt wird.

Zeichnen Sie eine möglichst alltägliche Situation, in der potentielle Energie (zumindest scheinbar) verloren geht.

Zeichnen Sie eine möglichst alltägliche Situation, in der kinetische Energie (zumindest scheinbar) verloren geht.

Zeichnen Sie eine möglichst alltägliche Situation, in der Spannungsenergie (zumindest scheinbar) verloren geht.

Zeichnen Sie eine möglichst alltägliche Situation, in der chemische Energie (zumindest scheinbar) verloren geht.

Zeitlicher Ablauf

Inhalt der Sequenz	Dauer	Unterrichtsform	Material
Demonstration von Situationen, in denen Arbeit geleistet wird.	2'	Demoversuch	Dominosteine, Gummibälle, Federpendel, Trommelaffe, Rennautobahn
Diskussion des Erlebten	nach Bedarf	moderierend bis fragend-entwickelnd	—
Experiment: Mutprobe am Fadenpendel	2'	Demoversuch mit Schülerbeteiligung	Fadenpendel
Energieumwandlung am Federpendel	5'	fragend-entwickelnd	Federpendel
Theorieblatt "Energie"	3'	Einzelarbeit, Textstudium	Theorieblatt
Zeichenaufgabe, inkl. Präsentation	10', nach Bedarf mehr	Partnerarbeit	Folien, Folienstifte, Arbeitsaufträge, Hellraumprojektor
Energie und Wärme, Überleitung zu den Experimenten	3'	Lehrervortrag	—
Experiment Lichtstreuung	10'	Demoversuch	Laser, Gläser, dest. Wasser, Herdplatte, Topf, Spritze, Kaffeerahm, 2 Untersätze, Dunkelstoren
Experiment Brown'sche Bewegung	5'	Demoversuch mit Schülerbeteiligung	Mikroskop, Rauchkammer, Laser, 2 Schlauchklemmen, Zigarette, Feuerzeug