

Zwischen Relativitätstheorie und Anatomie

Energie, eine Galaxie für sich **Matthias Strathmann, Torsten Strathmann**

Selbst Einstein hat sich während der Entwicklung seiner Relativitätstheorie mehrfach verrechnet. Also Mut denjenigen, denen die Physik als unerreichbare Dimension erscheint.

Bereits in den letzten Beiträgen (pt_6 und pt 11_2008) haben wir auf die Problematik und die Schwierigkeit hingewiesen die unterschiedlichen physikalischen Begriffe zu unterrichten und deren Reihenfolge festzulegen.

Ogborn beschreibt bereits 1983 die Energie als eine eigene Galaxie. Auch aus diesem Grund wird die Energie nach den Themen Arbeit und Leistung als ein drittes und noch komplexeres Thema unterrichtet.



Foto: © Ilandrea - Fotolia.com

Problemstellung – Grundverständnis von Energie

Widmet man sich der Aufgabe physikalische Themen, hier die Energie, verständnisvoll sowie interessant zu unterrichten und arbeitet man sich durch die Literatur nach dem besten methodischen Vorgehen, wird man die Worte von N.J. Ogborn nie vergessen: »Wunder werden sofort erledigt; das Unmögliche dauert etwas länger«. Da fragt man sich durchaus zu Recht, wo man auf der Suche nach den besten Möglichkeiten Physik zu unterrichten beginnt.

Bedenken Sie, dass sich die Systeme des menschlichen Körpers nicht nur rein auf die »Biomechanik« (☺_S. 1310) beziehen, sondern dass ein weiterer Zweig der Physik, unter anderem aus der »Biophysik« (☺_S. 1310) besteht. Deshalb ist es durchaus relevant, nicht nur mechanische Aspekte des Bewegungsapparates zu betrachten. Aber nicht nur aus diesem Grund sollte Physik als Fach in der Physiotherapieausbildung an Bedeutung gewinnen.

Ein Grundverständnis über den Treibhauseffekt beispielsweise, das Pro und Contra von Kernkraftwerken oder die ökologische Energiegewinnung und

deren Bedeutung für unsere Umwelt sollte in der Erwachsenenbildung, egal in welcher beruflichen Sparte, weiter gefördert und gefordert werden (Ogborn 1983). Wahrscheinlich ist das Thema zur weltweiten Energieversorgung in den letzten Jahrzehnten noch nie so ausführlich diskutiert worden wie in der heutigen Zeit. Es vergeht fast kaum ein Tag, an dem die rasante Ölpreisentwicklung nicht im Rampenlicht der Medien steht. Jeder, der mobil ist, kann die Tendenzen täglich an den Tankstellen mitverfolgen, die schon fast im Stundentakt ihre Preise für Diesel- und Benzin Kraftstoffe ändern. Und zweifellos scheint auch bei den Schülern eine Art »Treibstoffvorstellung« zu dominieren, fragt man sie nach der Bedeutung des Wortes »Energie« im Alltagsgebrauch (vgl. Duit 1991).

Aber Energie ist natürlich mehr als »nur« eine Treibstoffvorstellung. Was meinen wir wirklich, wenn wir von Energie reden? Reden wir über die potenzielle, kinetische oder mechanische Energie? Oder von der Energie in Form von Nahrung, die wir täglich zu uns nehmen müssen, ohne die ein Leben gar nicht möglich wäre? Übrigens, Schüler verbinden mit dem Begriff Energie kaum Nahrung, weshalb vor allem in der Physiotherapieausbildung unserer Meinung nach diese Thematik tiefergründiger behandelt werden sollte; gerade in Bezug auf deren Energieträger wie Eiweiße, Kohlenhydrate und Fette, die unterschiedliche Energiewerte enthalten.

Und was passiert eigentlich mit der Energie nach ihrem »Gebrauch«? Klar scheint jedenfalls zu sein, dass Energie nicht aus dem Nichts entstehen kann. Und was ist eigentlich mit dem »Qi«? Letztendlich sind wir Westeuropäer überfordert, wenn wir von der Lebens-

energie reden, ohne die nichts existieren würde.

Sicherlich meinen wir oft das Gleiche, auch oft das Richtige, aber verstehen wir auch wirklich, was es bedeutet?

Als Lehrer, Dozent bzw. Ausbilder sollte man sich also darüber im Klaren sein, dass das Thema Energie ein sehr komplexes Konstrukt darstellt, möchte man seinen Unterricht – und das sollte man natürlich immer tun – unter didaktischen Gesichtspunkten zum Thema Energie aufbereiten.

Duit (1991) fasst die Elementaria des Energiebegriffs in vier Grundideen zusammen und nennt diese »Energiequadriga«:

- Energieumwandlung
- Energietransport
- Energieerhaltung
- Energieentwertung

Ziel des Unterrichts muss es dabei sein, diese Grundideen zu vermitteln, um den Schülern einen Einblick in einen zentralen physikalischen Begriff zu gewähren. Die Grundideen können in unterschiedliche Rahmen eingebettet sein; in sogenannte Energiekonzepte, wie sie Duit (1991) nennt. Die Schüler, so beschreibt er es weiterhin, müssen mit energetischem Denken vertraut gemacht werden, stets nachfragen, wo die Energie geblieben ist und in welcher Erscheinungsform sie auftritt. (Anregungen auch unter www.ipn.uni-kiel.de).

Mit diesem Beitrag möchten wir allen Lehrenden wieder eine Anregung geben, wie eine Unterrichtsstunde zur Reihe »Energie« aussehen könnte. Natürlich betonen wir immer, dass Sie letztendlich selbst entscheiden müssen, wie diese Stunde zu ihrer Lerngruppe passt und zu welchem Zeitpunkt es sinnvoll ist, diese Stunde in das Fach angewandte Physik und Biomechanik mit einzubetten.



Foto: © Guido Nexi – Fotolia.com

Betrachtung beim Karateschlag

Beobachtet man einen Karatekämpfer (Karateka), wie er mit der bloßen Hand ein Holzbrett oder sogar einen ganzen Holzstapel zertrümmert, könnte man glauben, dass es sich um einen Trick handelt.

Es stellt sich dabei die hochinteressante Frage, wie viel Energie aufgebracht werden muss, um ein Brett zu durchschlagen.

Diese Fragestellung könnte mit einer Schulklasse folgendermaßen erarbeitet werden:

Betrachten wir zunächst aus mechanischer Sicht die auftretenden Spannungsverhältnisse im Holzbrett, wenn es mit einer Kraft F in der Mitte belastet wird und auf zwei Stützen liegt (Abb. 1).

An der Brettobenseite treten Druckspannungen, an der Unterseite Zugspannungen auf. Die neutrale Faser des Bretts erfährt keine Spannungen. Da Holz mehr Druckspannung als Zugspannung aufnehmen kann, wird das Brett zuerst an der Unterseite einreißen. Entsteht erst einmal ein Riss im Brett, kann die- >>>

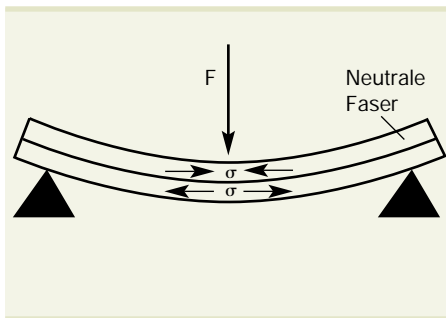


Abb. 1_Neutrale Faser beim Holzbrett



Abb. 2_Holzbrett mit Gewichtsbelastung nach Bruch

ses keine weiteren Spannungen mehr aufnehmen. Die Folge: Es wird ganz durchbrechen.

Bevor der Karateschlag aus energetischer Sicht betrachtet wird, ist es hilfreich zu prüfen, welche Kraft F auf das Brett ausgeübt werden muss, bis es zerbricht. Der Kraftbegriff ist den Schülern aus dem Unterricht bekannt und kann an dieser Stelle gleichzeitig wiederholt bzw. vertieft werden.

Fragestellung und Rechenweg

Wie groß ist die **Kraft F**, die zum Zerbrechen des Bretts notwendig ist?

Da in diesem Fall Druck- und Zugspannungen gleichzeitig auftreten, wird die Brechung des Bretts mit den Formeln für die Biegespannung aus dem Bereich der Mechanik angewendet. Bei dem Brett handelt es sich um herkömmliches

Kiefernholz, das es beispielsweise im Baumarkt gibt. Für den Versuch dient ein Brett mit folgenden Abmessungen:

Material: Kiefer

Länge (l_1) = 600 mm, Breite (b) = 30 mm, Höhe (h) = 10 mm.

Länge (l_2) = 560 mm, ist der Abstand zwischen den beiden Stützen zur Berechnung der Kraft.

σ_b = Biegespannung

M_b = max. Biegemoment

W_b = Widerstandsmoment

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \text{ umgestellt nach } M_b$$

$$M_b = W_b \times \sigma_b$$

Als ersten Schritt müssen nun zuerst M_b und W_b zum späteren Einsetzen in die Formel ermittelt werden.

Das Widerstandsmoment W_b errechnet sich aus:

$$W_b = \frac{b \times h^2}{6} = 500 \text{ mm}^3$$

$\sigma_b = 90 \text{ N/mm}^2$ wird gewählt aus Doppel S. E 111 für Kiefernholz.

Mit diesen Werten kann jetzt das max. Biegemoment M_b berechnet werden.

$$M_b = W_b \times \sigma_b = 45.000 \text{ Nmm} = 45 \text{ Nm}$$

Mit einer weiteren Formel für das max. Biegemoment aus Doppel S. C 9, den Standardfall 1 (bed. Auflagefläche auf zwei Stützen), kann man nach Umstellen die benötigte Kraft F berechnen, die zum Zerbrechen des Bretts erforderlich ist.

$$M_b = \frac{F \times l_2}{4} \quad F = \frac{4 \times M_b}{l_2} = 321 \text{ N}$$

Wir haben hierbei errechnet, dass eine Kraft von 321 N erforderlich ist, um ein Brett aus oben beschriebenem Material und mit den angegebenen Maßen, aufliegend auf zwei Stützen, zu zerbrechen.

Ein Experiment zur Bestätigung

Der berechnete Wert kann mit den Schülern experimentell überprüft werden. Wir haben das Holzbrett zwischen zwei Holzklötze (Stützabstand 560 mm) gelegt und es sukzessiv mit Hantelgewichten belastet, bis es gebrochen ist (Abb. 2). Das Brett brach bei 32 kg, was dem errechneten Wert entspricht. Man muss jedoch mit Abweichungen je nach Feuchtigkeitsgehalt und Holzqualität rechnen!

Energetische Sichtweise

Wie lässt sich nun der Karateschlag aus energetischer Sicht betrachten?

Grundideen und physikalische Grundlagen im Denken der »Energiequadriga« sollten den Schülern zu diesem Zeitpunkt vertraut sein. Es geht letztlich darum, wie Sie einen Unterricht zum Thema Energie interessant und motivierend gestalten können.

Gegenstand der Schüler-Lehrer-Diskussion könnte nun sein, wie sich ein Karateschlag beim Durchschlagen eines Bretts aus energetischer Sicht nachvollziehen lässt.

Zu Beginn ist zu klären, wie viel Energie aufgebracht werden muss, um das Holzbrett zu Bruch zu bringen.

Nach www.arsmartialis.com (vom 31. 10.2008) lässt sich die nötige Bruchenergie des Bretts mit folgender Formel berechnen:

$$\text{Bruchenergie} = E_{\text{Bruch}} = \frac{V \times \sigma^2}{2 \times E}$$

V = Volumen des Bretts

$$= l_1 \times b \times h = 1,8 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

σ = Bruchspannung für Kiefernholz aus Doppel S. E 111 (gewählt) = $35 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

E = Elastizitätsmodul Kiefer (gewählt) = $10500 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

$$E_{\text{Bruch}} = 10,5 \text{ Nm} = 10,5 \text{ J}$$

Es bietet sich hier auch ein kleiner Schülerversuch an. Taucht man eine Hand in ein Volumengefäß, das mit Wasser gefüllt ist, kann man über die Ausdehnung der Flüssigkeit die Masse der Hand rechnerisch bestimmen.

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad E_{\text{kin}} = 17,15 \text{ J}$$

Ergebnis und Diskussion

Da $17,15 \text{ J} > 10,5 \text{ J}$ ist, müsste die Energie ausreichen, um das Brett zu Bruch zu bringen. Den Versuch können Sie nun mit den Schülern durchführen.

Tipp: Der Schüler, der das Brett durchschlägt, sollte einen Arbeitshandschuh tragen, damit beispielsweise durch Holzsplitter keine Verletzungsgefahr besteht.

Uns ist bewusst, dass die Physik des Karateschlags in Wirklichkeit wesentlich komplexer ist. Die Berechnungen haben wir versucht, so einfach wie möglich zu halten, um sie auch mit Schülern in nachvollziehbaren Schritten erarbeiten zu können. Betrachten Sie das als didaktische Reduktion; alles andere würde zu weit führen, ist Hochschulniveau und bedingt unter anderem mathematische Differenzialgleichungen.

Natürlich geben die theoretische Herleitung und die praktische Durchführung genug Spielraum für eine anschließende Diskussionsrunde. Wir möchten Ihnen im Folgenden einige Leitfragen mit an die Hand geben, die uns für die Diskussion als sinnvoll erscheinen.

Nachdem die zu benötigende Bruchenergie des Bretts berechnet wurde, muss geprüft werden, wie viel Energie wir mit der Hand beim Schlag aufbringen können. Die Energie der Hand ist die kinetische Energie E_{kin} , die wir wie folgt berechnen:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

Die Masse (m) der Hand wird mit $0,7 \text{ kg}$ angenommen.

Man benötigt jetzt noch die Geschwindigkeit (v) der Handbewegung. Diese könnte man beispielsweise mit einem einfachen Lichtschrankenversuch bestimmen. Sollten keine Messmittel vorhanden sein, kann man mit den in Tabelle 1 angegebenen Werten weiter fortfahren.

Geht man davon aus, dass ein untrainierter Schüler einen Handkantenschlag mit 10 m/s nicht ausführen kann, sondern beispielsweise nur mit $\text{ca. } 7 \text{ m/s}$, berechnet sich die kinetische Energie wie folgt:

Tab. 1_Geschwindigkeiten der unterschiedlichen Bewegungen

Karateschlag	Spitzengeschwindigkeit in Meter pro Sekunde
Gerader Fauststoß	5,7 - 9,8
Hammerfaustschlag	10,0 - 14,0
Handkantenschlag	10,0 - 14,0
Hand- und Fußschlag	9,5 - 11,0
Fußstoß mit Körperdrehung	7,3 - 10,0
Gerader Fußstoß	9,9 - 14,4
Seitlicher Fußstoß	9,9 - 14,4

Werte aus www.arsmartialis.com



HINWEIS

Ein innovatives Konzept für den Biomechanikunterricht pt 6_2008, Seite 636

Die physikalischen Eigenschaften des Sportlerherzens pt 11_2008, Seite 1216

- Wiederholen der Energieformen.
- Umwandlung der Energieformen.
- Energie kann nie verloren gehen! Wo ist diese geblieben?
- Wird die kinetische Energie tatsächlich vollständig auf das Brett übertragen?
(In unserem Beispiel sind wir zur Vereinfachung davon ausgegangen! In Wirklichkeit ist das nicht ganz richtig; schließlich werden auch Haut, Muskulatur, Binde- und Fettgewebe, Knochen etc. verformt).
- Diskutieren Sie, warum das Brett bricht und nicht die Hand!
(Die Zugfestigkeit von Knochen ist wesentlich höher als die von Holz. Außerdem nehmen Bindegewebe, Muskeln oder Sehnen ebenfalls Energie auf).
- Holz ist ein Naturprodukt und unterliegt Schwankungen, die in der Berechnung nur schlecht berücksichtigt werden können, wie beispielsweise der Feuchtigkeitsgehalt oder die Qualität! Berücksichtigen Sie das bei der Versuchsdurchführung und lassen Sie die Schüler noch andere Faktoren nennen.

Viel Spaß beim Unterrichten. Probieren Sie es aus!

Wir übernehmen keine Haftung für entstandene Verletzungen! ■



LITERATUR

Beitz W, Küttner KH et al. 1990. *Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau*. 17. überarbeitete Aufl. Berlin: Springer Verlag

Felder H, Seel F. 1996. 8. *Angewandte Physik und Biomechanik*. Basel und Saarbrücken: o.V.

Dörner T, Feldkamp J, Kunze J et al. 2004. *Psychrembel, Klinisches Wörterbuch*. 260. Aufl. Berlin: De Gruyter

Duit R, 1991. *Zur Elementarisierung des Energiebegriffs*. NiU-Physik 2 (6): 12-9

Mathelitsch L. 1991. *Physik und Sport*. Wien: Verlag Tempsky

Ogborn NJ. 1983. *Physica Didactic* 10. Deutsche Fassung eines Vortrages auf der GIREF-Konferenz, 1981.

www.arsmartialis.com/spektrum/karate/html.

www.wikipedia.de



LESER FEEDBACK

t_strathmann@web.de

matthias.strathmann@gmx.de



TORSTEN STRATHMANN

seit 1996 Dipl.-Ing. Fachrichtung Maschinenbau. In 2004 Abschluss als Dipl.-Berufspädagoge mit dem Studienschwerpunkt Schule. Fachrichtung Metalltechnik und Physik. Unterrichtsschwerpunkt im Fach Physik in der Fachoberschule und Automatisierungstechnik in der Fachschule für Technik; Kinzig-Schule in Schlüchtern.



MATTHIAS STRATHMANN

seit 1998 Physiotherapeut B.Sc. Phys., freiberufliche Tätigkeit in mehreren orthopädischen Praxen, Dozent an einer Berufsfachschule für Physiotherapie mit dem Schwerpunkt angewandte Physik / Biomechanik und Trainingslehre. Redaktionsmitglied der pt.