



Von Formen zum Transfer

In der Mittelstufe gibt es verschiedene Ansätze, um das Energiekonzept zu vermitteln.

Knut Neumann

Das Energiekonzept ist in der Physik zentral. Mit seiner Hilfe lassen sich Probleme in vielen Sachgebieten und an deren Schnittstellen von der klassischen Mechanik bis zur modernen Quantenphysik elegant lösen. Das Energiekonzept spielt aber auch darüber hinaus eine wichtige Rolle. So erfordert der angemessene Umgang mit einigen der großen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts wie dem Klimawandel oder der Energiekrise ein entsprechendes Energieverständnis.

Der großen Bedeutung des Energiekonzepts stehen die Schwierigkeiten gegenüber, die Schülerinnen und Schüler mit seinem Verständnis haben. Dies liegt einerseits in der alltäglichen Verwendung des Begriffs Energie begründet und andererseits in der abstrakten Natur des physikalischen Energiekonzepts. Im Alltag ist oft von Energieerzeugung oder -verbrauch die Rede, oder Energie wird gleichgesetzt mit anderen physikalischen Konzepten: „Die Sonne hat viel Kraft.“ In der Folge kommen die Schülerinnen und Schüler mit einem breiten Spektrum von Vorstellungen zum Energiekonzept in den Schulunterricht. Sie setzen Energie mit menschlicher Aktivität gleich („Ich habe heute viel Energie!“), stellen sich Energie als eine Art universellen Treibstoff vor („Wir laden unser Auto mit

Solarenergie!“) oder verstehen Energie als Ressource, die für unsere Gesellschaft von zentraler Bedeutung ist („Wir brauchen mehr Windenergie!“) [1].

Die zentrale Bedeutung des Energiekonzepts leitet sich vor allem aus der abstrakten Eigenschaft ab, dass die Energie eines abgeschlossenen Systems erhalten bleibt. Dies setzt ein Verständnis davon voraus, wie, beziehungsweise in welchen Formen, sich Energie in einem System manifestieren kann; was es also heißt, dass sich diese Formen ineinander umwandeln oder dass Energie in einer gegebenen Form von einem Teil des Systems in ein anderes übergehen kann; dass dabei immer ein Teil der Energie in innere Energie des Systems umgewandelt wird, die Energie des Systems insgesamt aber erhalten bleibt – sofern es abgeschlossen ist [2].

Neuere Forschung zeigt, dass sich das Verständnis der Schülerinnen und Schüler von Energie schrittweise entwickelt – von einem durch Alltagserfahrungen geprägten Verständnis über eines der unterschiedlichen Energieformen, die sich ineinander umwandeln, bis hin zu einem Verständnis, dass und unter welchen Bedingungen Energie erhalten bleibt [3]. Diese Forschung weist aber auch auf eine Reihe von Schwierigkeiten im Verlauf dieser Entwicklung hin. So haben Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten, Energie als Eigenschaft eines Systems zu verstehen [4], inter-

pretieren die Dissipation von Energie als Umwandlung in Reibung [5] oder setzen Energieerhaltung mit dem Alltagskonzept des Energiesparens gleich [6]. Insgesamt erreicht in standardisierten Tests nur ein Drittel aller Schülerinnen und Schüler ein Energieverständnis, das ein physikalisch korrektes Verständnis der Energieerhaltung einschließt [3].

Die Ursache für diese Schwierigkeiten liegt mutmaßlich im weit verbreiteten Ansatz begründet, Energie in der Mittelstufe als Größe einzuführen, die sich in unterschiedlichen Formen manifestiert [7].

Die verschiedenen Formen der Energie

Der klassische universitäre Ansatz, Energie als die Fähigkeit eines Systems einzuführen, Arbeit zu verrichten, ist insbesondere für Schülerinnen und Schüler zu Beginn der Mittelstufe zu herausfordernd [8]. Infolge dieser Erkenntnis hat sich der Formen-Ansatz entwickelt: Ausgehend von der Einführung der Energie als Größe, die sich in unterschiedlichen Formen wie Bewegungs-, Lage-, chemische oder thermische Energie manifestiert, erarbeiten Lehrkräfte mit den Schülerinnen und Schülern die Umwandlung der Energie von einer Form in eine andere bzw. die Übertragung von Energie. Hierfür gilt es, die Energieerhaltung als Postulat einzuführen und anschließend auf die Dissipation von Energie einzugehen (z. B. [9]).

Dieser Formen-Ansatz ist heute in der Mittelstufe am weitesten verbreitet. Doch er steht seit Jahren in der Kritik, insbesondere aufgrund der scheinbar beliebigen Zahl möglicher Energieformen, die reines Auswendiglernen fördere und die Entwicklung eines wirklichen Energieverständnisses behindere [7]. Empirische Untersuchungen belegen, dass Schülerinnen und Schüler etwa dazu tendieren, potentielle Energie als Energie individueller Objekte statt Systemen von Objekten zu interpretieren [4] oder als Potential, Energie zu sein [10]. Zudem verstehen sie Energieerhaltung als Erhaltung der Energie in einzelnen Formen [9].

Transfer von System zu System

Die beobachteten Schwierigkeiten führten verschiedentlich zu dem Vorschlag, die Idee von sich ineinander umwandelnden Energieformen aufzugeben [11] und Energie als unitäre Größe einzuführen, die zwischen Systemen übertragen wird (System-Transfer-Ansatz) [12]. Trotz dieser Forderungen – zuletzt durch das K-12 Framework for Science Education der USA – wurde der System-Transfer-Ansatz bisher nicht für die Mittelstufe implementiert. Insbesondere gibt es keine Untersuchungen, inwieweit dieser Ansatz dem klassischen Formen-Ansatz überlegen ist. Daher wurde im Rahmen eines internationalen, von der National Science Foundation der USA geförderten Kooperationsprojekts der Michigan State University, des Weizman-Institute of Science in Israel und des Leibniz-Instituts für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (IPN) in Kiel der System-Transfer-Ansatz in einer dreimonatigen Unterrichtseinheit für die Jahrgangsstufe 7 implementiert und im Vergleich zum traditionellen Formen-Ansatz erforscht.

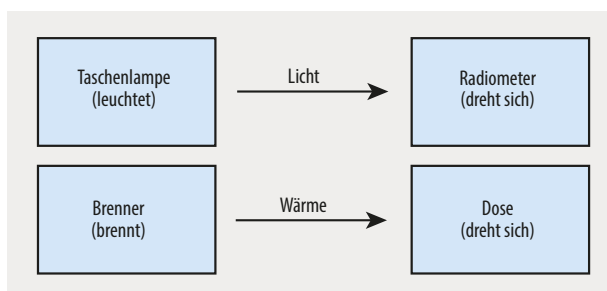


Abb. 1 Eine leuchtende Taschenlampe versetzt mit ihrem Licht ein Radiometer in Drehung, ebenso wie dies ein angeschalteter Bunsenbrenner mit seiner Wärme bei einer Getränkedose vollbringt.

Im System-Transfer-Ansatz werden alle Phänomene (oder allgemeiner: Probleme) als interagierende Systeme modelliert, zwischen denen Energie übertragen wird. Zur Beschreibung eines Phänomens oder zur Lösung eines Problems identifizieren die Schülerinnen und Schüler die beteiligten Systeme, charakterisieren die Änderungen in diesen Systemen infolge ihrer Interaktion und bestimmen die Richtung der Energieübertragung zwischen den Systemen.

In der entwickelten Unterrichtseinheit verwenden die Schülerinnen und Schüler eine einfache Notation: Ein System ist durch ein Rechteck repräsentiert, in dem die Bezeichnung des Systems und (in Klammern) der im System ablaufende Prozess festgehalten sind. Ein gerichteter Pfeil kennzeichnet die Interaktion zwischen Systemen. Mittels dieser Notation modellieren die Schülerinnen und Schüler zwei Phänomene: eine leuchtende Taschenlampe, welche die Drehung eines Radiometers bewirkt, und eine einfache Version eines Heronsballs (auch Aeolipile genannt), bei dem ein Bunsenbrenner eine mit Wasser gefüllte Getränkedose in Drehung versetzt (**Abb. 1**).

Die Feststellung, dass in beiden Phänomenen unterschiedliche Interaktionen die gleiche Wirkung – nämlich eine Drehbewegung – hervorrufen, führt zur Einführung einer neuen Größe, die sowohl auf das Radiometer als auch den Heronsball übertragen wird: die Energie. In der Folge untersuchen die Schülerinnen und Schüler weitere Phänomene der Energieübertragung, etwa den Stoß zweier Wagen, bei dem der eine Wagen nach einem Stoß schneller wird, der andere langsamer. Dies zielt auf die Erkenntnis, dass ein Phänomen mindestens zwei interagierende Systeme

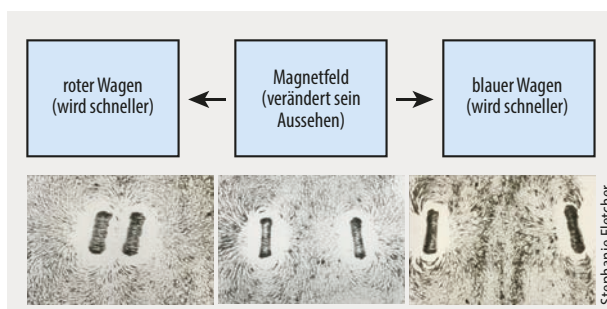


Abb. 2 Energie-Transfer-Modell: Zwei Wagen mit sich abstoßenden Magneten werden zusammengehalten und dann losgelassen (oben). Abhängig von der Entfernung zwischen den beiden Magneten an den Wagen verändert sich das Magnetfeld (unten).

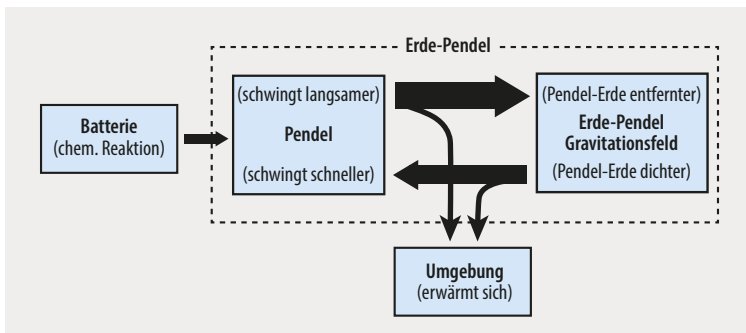


Abb. 3 Schwingt das elektrisch betriebene Jupiterpendel nach oben, wird es langsamer, der Abstand zwischen Erde und Pendel nimmt zu: Energie wird vom Pendel in das Gravitationsfeld zwischen Erde und Pendel transferiert. Ein Teil dieser Energie wird (u. a. aufgrund der Luftreibung) an die Umgebung abgegeben, die sich erwärmt. Schwingt das Pendel nach unten, verringert sich der Abstand zwischen Erde und Pendel, das Pendel wird schneller: Energie wird vom Gravitationsfeld zwischen Erde und Pendel auf das Pendel transferiert. Wieder nimmt die Umgebung einen Teil der Energie auf. Eine Batterie transferiert Energie auf das Pendel und kompensiert so die Summe der an die Umgebung abgegebenen Energie.

me involviert und dass durch die Interaktion die Energie in einem System ab- und im anderen zunimmt. Der Pfeil im Modell zeigt die Richtung des Energietransfers an. Das Modell ist damit ein Energie-Transfer-Modell.

Im nächsten Beispiel werden zwei Wagen mit sich abstoßenden Magneten zusammengehalten und dann losgelassen. Beide Wagen beschleunigen, d. h. auf beide Systeme wird Energie übertragen. Doch wo kommt diese Energie her? Aufgrund ihres Vorwissens postulieren die Schülerinnen und Schüler, dass es ein System geben muss, dessen Energie abnimmt und dass dieses System das magnetische Feld sein muss. Sie untersuchen die Struktur des magnetischen Feldes zwischen sich abstoßenden Magneten, um ihre Annahme zu belegen. In der Tat beobachten sie, dass sich die Struktur des magnetischen Feldes zwischen zwei Magneten verändert, wenn diese dichter zusammen oder weiter auseinandergebracht werden (**Abb. 2**).

Nachdem die Schülerinnen und Schüler Felder als eigenständige Systeme kennengelernt haben, auf die oder von denen Energie übertragen wird, untersuchen sie einen fallenden Ball (Gravitation), das Schießen eines Gummibands (Elastizität) oder das Brennen eines Gases (Chemische Reaktion). Dies versetzt sie in die Lage, auch komplexe Phänomene, wie ein elektrisch betriebenes Planetenpendel (Jupiterpendel), physikalisch korrekt zu beschreiben (**Abb. 3**).

Gemäß einer vergleichenden Untersuchung lernen Schülerinnen und Schüler mit dem System-Transfer-Ansatz etwa anderthalb mal so viel wie mit dem Formen-Ansatz [13]. Energie-Transfer-Modelle spielen hierbei eine wesentliche Rolle [14]. Studien weisen darauf hin, dass Schülerinnen und Schüler dabei durchweg über ein (wenn auch noch nicht quantitatives) Verständnis der Energieerhaltung verfügten [15] und besser auf zukünftiges Lernen über Energie vorbereitet waren [16].

Zusammenfassung und Ausblick

In der Summe legen die Untersuchungen nahe, dass ein Ansatz, der die Einführung verschiedener Energieformen

vermeidet und stattdessen Energie als unitäre Größe einführt und auf die Übertragung von Energie zwischen Systemen fokussiert, die Entwicklung des Energieverständnisses unterstützt. Dies schließt ein (physikalisch angemessenes) Verständnis der Energieerhaltung ein. Obwohl der System-Transfer-Ansatz auch die Einführung ebenso abstrakter System- und Feldkonzepte erfordert, profitieren auch leistungsschwächere Schülerinnen und Schüler.

Inwieweit der Ansatz auch die Entwicklung eines quantitativen Verständnisses der Energieerhaltung unterstützt, gilt es noch zu erforschen. Festzuhalten ist aber, dass der System-Transfer-Ansatz, obwohl er nicht explizit auf die Einführung von Energieformen setzt, vollständig kompatibel mit dem Formen-Ansatz ist. So zeigen Schülerinnen und Schüler, die nach dem System-Transfer-Ansatz unterrichtet wurden, keine unterschiedlichen Leistungen bei Aufgaben, die explizit Energieformen berücksichtigen, gegenüber solchen, die das nicht tun.

Literatur

- [1] H. Schecker und R. Duit, Schülervorstellungen zu Energie und Wärmekraftmaschinen, in: H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf und R. Duit (Hrsg.), Schülervorstellungen und Physikunterricht, Springer, Berlin Heidelberg (2018), S. 163
- [2] R. Duit, Naturwissenschaften im Unterricht Physik **18**, 4 (2007)
- [3] K. Neumann et al., J. Res. Sci. Teach. **50**, 162 (2013)
- [4] B. A. Lindsey, P. R. L. Heron und P. S. Shaffer, Am. J. Phys. **80**, 154 (2012)
- [5] J. Solomon, Sch. Sci. Rev. **65**, 225 (1983)
- [6] P. Black und J. Solomon, Life world and science world: Pupils' ideas about energy, in: G. Marx (Hrsg.), Entropy in the school, Proc. of the 6th Danube Seminar on Physics Education, Budapest, Roland Eotvos Physical Society (1983), S. 43
- [7] R. Millar, in: The Teaching and Learning of Energy K-12 (2014)
- [8] N. Hırça, M. Çalik und F. Akdeniz, J. Turk. Sci. Educ. **5**, 76 (2008)
- [9] J. C. Nordine, J. Krajcik und D. Fortus, Sci. Educ. **95**, 670 (2011)
- [10] M. M. Cooper und M. W. Klymkowsky, CBE – Life Sci. Educ. **12**, 306 (2013)
- [11] M. Elise, SSR **3**, 427 (1988)
- [12] G. Swackhammer, Cognitive Resources for Understanding Energy (2005)
- [13] D. Fortus et al., J. Res. Sci. Teach. **56**, 1341 (2019)
- [14] M. Kubsch et al., Int. J. Sci. Math. Educ. **18**, 1635 (2020)
- [15] M. Kubsch et al., Discip. Interdiscip. Sci. Educ. Res. **3**, 2 (2021)
- [16] M. Kubsch et al., Educ. Sci. **10**, 20 (2020)

Der Autor



Knut Neumann (FV Didaktik der Physik) hat an der Universität Düsseldorf Mathematik und Physik für das Lehramt an Gymnasien studiert. Anschließend promovierte er an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg in Didaktik der Physik. Seit 2008 ist er Professor für Didaktik der Physik am IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik

der Naturwissenschaften und Mathematik in Kiel, seit 2013 als Direktor der Abteilung für Didaktik der Physik.

Prof. Dr. Knut Neumann, IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik in Kiel, Abteilung für Didaktik der Physik, Olshausenstraße 62, 24118 Kiel