

### **Exergie – nutzbare Energie für Lebewesen**

#### **Biologie verstehen: Energie in Ökosystemen**

Der Energiefluss in Ökosystemen ermöglicht Leben auf der Erde. Aus produktionsbiologischer Sicht wird Solarenergie für die Primärproduktion genutzt und auf verschiedenen Trophieebenen verwertet – und entwertet. Die über Licht zugeführte Energie verlässt Ökosysteme hauptsächlich als Wärme.

Fachlich bedeutsam ist eine energetische Betrachtung von Ökosystemen u. a. deshalb, weil sie Erklärungen über die limitierte Anzahl von Trophiestufen innerhalb von Nahrungsnetzen ermöglicht. Gesellschaftlich relevant sind energiebezogene Überlegungen, welche die globale Ernährungssituation betreffen: Eine vegetarisch orientiertere Ernährung könnte der Unterernährung – gerade mit Blick auf die globale Bevölkerungszunahme – entgegenwirken (Casidy et al., 2012), weil breitere Energieflüsse für humane Lebensprozesse nutzbar würden.

Energie gilt fächerübergreifend als schwierig zu lernen und lehren (u. a. Quinn, 2014; Dauer et al., 2014). Ziel des Forschungsprojektes im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann, 2007; Gropengießer & Kattmann, 2009) ist die Entwicklung von Lernangeboten, mit denen Energie in Ökosystemen und somit auch energetische Aspekte der Welternährung fachlich angemessen verstanden werden können. Mit *Fachlicher Klärung* wird Energie daher zunächst für den ökologischen Kontext elementarisiert. Bisher wurden im Rahmen der Fachlichen Klärung drei akademische Lehrbuchtexte über Energie in Ökosystemen analysiert, um einen Zugang zu wissenschaftlichen Vorstellungen zu schaffen. Die Auswertung der Fachtexte erfolgte mithilfe der Qualitativen Inhaltsanalyse (Gropengießer, 2008) und der Systematischen Metaphernanalyse (Schmitt, 2005).

Vor dem Hintergrund der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Lakoff & Johnson, 1980; Gropengießer, 2007) wird deutlich, dass Wissenschaftler Energie oft metaphorisch verstehen. Vielfach wird Energie als substanzieller Bestandteil von Nahrung bzw. Biomasse verstanden, der innerhalb von Nahrungsketten weitergereicht und verbraucht werden kann (Odum 1999; Smith & Smith, 2009). Zudem stellen sich Wissenschaftler Energieübertragungen häufig als Fluss vor, Energie wird dabei als quasi-materielle Entität (vgl. Millar, 2005) begriffen. Es finden sich zudem Darstellungen, nach denen Energie durch Umwandlungen verschiedene Formen einnehmen kann. Die Idee der Umwandlung geht oftmals einher mit einer Vermischung stofflicher und energetischer Betrachtungsebenen. So stellen sich Wissenschaftler u. a. vor, dass Licht in Nahrung oder chemische Energie in Bewegung umgewandelt werden können (Odum 1999; Smith & Smith, 2009).

Physikdidaktische Studien haben offengelegt, dass auch Lernende Energie metaphorisch (Lancor, 2012) und zudem fachlich wenig angemessen verstehen (Watts, 1983; Gayford, 1986; Millar, 2005). Biologiedidaktische Untersuchungen zeigen, dass Lernende von sich aus nicht oder nur vage auf eine energetische Ebene rekurrieren, um ökologische Phänomene zu erläutern (Barman et al., 1995). Nach Schäfer (1983) assoziieren Schülerinnen und Schüler mit Energie häufig Attribute wie Mut, Tatkraft, mentale Stärke, Aktivität oder Bewegung. Burger & Gebhardt (2003) zeigen auf, dass Energie oftmals als Substanz begriffen wird, die von Lebewesen aufgenommen, depotartig gespeichert und für das Initiieren von körperlichen Vorgängen oder Wohlbefinden/Gesundheit verbraucht werden kann.

Für biologische Kontexte wird ein Energiebegriff benötigt, der über die Definition der mechanischen Arbeitsfähigkeit hinausgeht. Dabei ist es weniger bedeutsam, den ontologischen Status von Energie zu bezeichnen, als vielmehr den Fokus auf die Auswirkungen von Energie zu richten (Serway et al., 2006). Denn: Biologische Sachverhalte (globale Ernährung, begrenzte Anzahl von Trophiestufen in Nahrungsketten) lassen sich oftmals erst auf energie-

tischer Ebene erklären (vgl. Hewitt, 2001). Energieübertragungen innerhalb oder zwischen Organismen ermöglichen Leben (zelluläre Arbeit in Lebewesen). Energie lässt sich im biologischen Kontext qualitativ als Ausdruck des Vermögens begreifen, Lebensprozesse in Organismen zu initiieren. Der quantitative Aspekt dieser Größe gibt dabei Auskunft über den möglichen Umfang von Lebensprozessen (z. B. auf den jeweiligen Trophieebenen in Ökosystemen).

Eine energetisch orientierte Betrachtung biologischer Phänomene soll Erklärungsmöglichkeiten eröffnen. Dabei sind die ersten beiden Hauptsätze der Thermodynamik zu berücksichtigen, denen insbesondere die Vorstellung vom Energieverbrauch lernhinderlich gegenübersteht. Neben der Idee der Energieerhaltung ist vor allem der zweite Hauptsatz für die Betrachtung von Lebensvorgängen (spontan ablaufende, irreversible Prozesse) relevant: Lebensprozesse verursachen Wärme. Bei allen Energieübertragungen innerhalb von oder zwischen Organismen sinkt das Vermögen zum Initiieren von Lebensprozessen (Stoffwechsel in Zellen), während äquivalent Wärme auftritt (Energiedissipation). Dabei wird offenkundig, dass Energieübertragungen in der Biologie im Fokus von Nützlichkeit für Organismen bedeutsam sind.

Nach Fleischer (2008) kann Energie als fundamentaler und die Physik strukturierender, aber gleichwohl auch als ein in metaphorischer Weise überbeanspruchter Begriff angesehen werden. Tatsächlich interessiert man sich weder im Alltag noch in Naturwissenschaft und Technik wirklich für Energie – vielmehr läge der Fokus auf den im Sinne von Arbeitsfähigkeit nutzbaren Energien (Fleischer, 2008). Bei der Interaktion von Systemen mit ihrer Umgebung wird diese nutzbare Energie als Exergie definiert (Jørgensen, 1997). Nicht nutzbare Energieanteile werden als Anergie bezeichnet (Baehr, 1988). Unter Berücksichtigung der ersten beiden Hauptsätze der Thermodynamik kann übertragbare Energie nach Fleischer (2008) als Summe von Exergie und Anergie verstanden werden. Ein wesentlicher Vorteil des Exergiebegriffs bei der Analyse ökologischer Vorgänge liegt darin, ausschließlich die Bilanzierung von zellulärer Arbeitsfähigkeit zu betrachten, welche im Verlauf von Nahrungsketten abnimmt. Mit jedem realen Prozess (Lebensvorgänge in Zellen von Organismen) wird also Exergie genutzt und zugleich im energetischen Äquivalent in Anergie überführt (Fleischer, 2008).

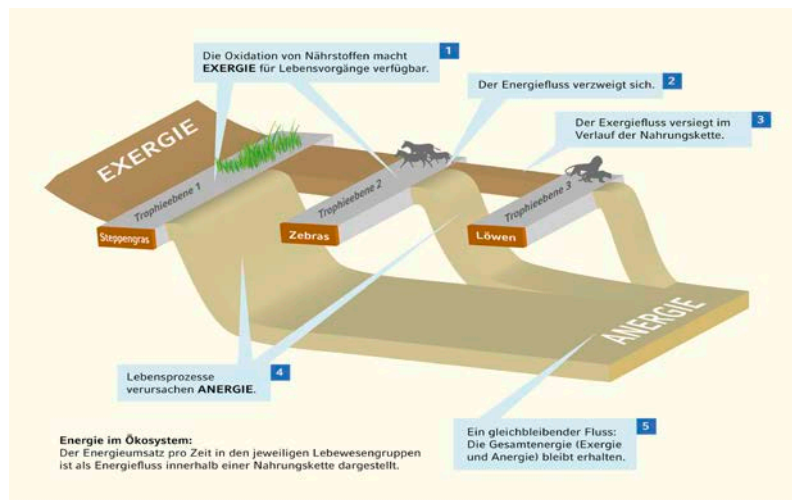


Abb. 1: Energie in Ökosystemen

Energie sollte nach Auffassung einiger Physiker nicht stofflich gedacht werden. Unser Denken legt jedoch eine materiell orientierte Vorstellung über Energie nahe, denn erfahrungsbasierte Kognitionen strukturieren unser Verständnis (Lakoff & Johnson, 1980; Gropengießer, 2007). Daher erweist sich die Fluss-Metaphorik als dienlich, um Verständnis zu erlangen. Fließen lässt sich begreifen als stetiger, ununterbrochener Vorgang. Fließen bedeutet strömend und ohne Stauung von einem Ort zu anderen zu gelangen. Zwar ist ein Fließgewässer materiellen Ursprunges, sinnlich wahrgenommen wird aber weniger der stoffliche Charakter des Wassers als vielmehr die spürbaren Auswirkungen der Fließbewegung. Diese Erfahrungen ließen sich auf Energieübertragungen in Ökosystemen übertragen. Die Grundideen des Energiebegriffs (Duit, 2014) wie Übertragung und Umwandlung, Dissipation und Erhalt sowie die quantitativen Gesichtspunkte können mithilfe von Energieflussdiagrammen anschaulich illustriert werden (vgl. Abb. 1).

#### Literatur

- Barman, C.R., Griffiths, A.K. & Okebukola, P.A.O. (1995): High school students' concepts regarding food chains and food webs: a multinational study. *International Journal of Science Education*, 17 (6), 775-782.
- Baehr, H.D. (1988): *Thermodynamik*. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York.
- Burger, J. & Gerhardt, A. (2003): Energie im biologischen Kontext. *MNU*, 56 (6), 324-329, *MNU* (7), 423-437, *MNU* (8), 496-502.
- Cassidy, E.S., West, P.C., Gerber, J.S. & Foley, J.A. (2013): Redefining agricultural yields: from tonnes to people nourished per hectare. *Environmental Research Letters*, 8 (3), 1-8.
- Dauer, J.M., Miller, H.K. & Anderson, C.W. (2014): Conservation of Energy: An Analytical Tool for Student Accounts of Carbon-Transforming Processes. In: Chen, R.F., Eisenkraft, A., Fortus, D., Krajcik, J., Neumann, K., Nordine, J. & Scheff, A. (Hrsg.): *Teaching and Learning Energy in K-12 Education*.
- Duit, R. (2014): Teaching and Learning the Physics Energy Concept. In: Chen, R.F., Eisenkraft, A., Fortus, D., Krajcik, J., Neumann, K., Nordine, J. & Scheff, A. (Hrsg.): *Teaching and Learning Energy in K-12 Education*.
- Fleischer, L.G. (2008): Reflexionen zur Triade Energie-Entropie-Exergie – eine universelle Qualität der Energie. LIFIS-Online. [http://www.leibniz-institut.de/archiv/fleischer\\_21\\_10\\_08.pdf](http://www.leibniz-institut.de/archiv/fleischer_21_10_08.pdf)
- Gayford, C.G. (1986): Some aspects of the problems of teaching about energy in school biology. *European Journal of Science Education*, 8 (4), 443-450.
- Gropengießer, H. (2007): Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In: Krüger, D. & Vogt, H. (Hrsg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Springer Verlag, Heidelberg, 105-116.
- Gropengießer, H. (2008): Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In: Mayring, P. & Gläser-Zikuda, M. (Hrsg.): *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse*, 2. Auflage, Beltz Verlag, Weinheim/Basel, 172-189.
- Gropengießer, H. & Kattmann, U. (2009). Didaktische Rekonstruktion – Schritte auf dem Weg zu gutem Unterricht. In Moschner, B., Hinz, R. & Wendt, V. (Hrsg.), *Unterrichten professionalisieren*. Cornelsen Scriptor, Berlin, 159-164.
- Hewitt, P. (2001): *Conceptual Physics*. 9th ed., Addison Wesley.
- Kattmann, U. (2007): Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In: Krüger, D. & Vogt, H. (Hrsg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Springer Verlag, Heidelberg, 93-104.
- Jørgensen, S.E. (1997): *Integration of Ecosystem Theories: a Pattern*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London.
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1980): *Metaphors We Live By*. The University of Chicago Press, Chicago/London.
- Lancor, R. (2012): Using Student-Generated Analogies to investigate Conceptions of Energy: A multidisciplinary study. *International Journal of Science Education*, 31 (1), 1-23.
- Millar, R. (2005): *Teaching about energy*. The University of New York. [www.york.ac.uk/media/educationalstudies/documents/research/Paper11Teachingaboutenergy.pdf](http://www.york.ac.uk/media/educationalstudies/documents/research/Paper11Teachingaboutenergy.pdf)
- Odum, E.P. (1999): *Ökologie* (3. Auflage).
- Quinn, H.R. (2014): A Physicists Musings about Teaching on Energy. In: Chen, R.F., Eisenkraft, A., Fortus, D., Krajcik, J., Neumann, K., Nordine, J. & Scheff, A. (Hrsg.): *Teaching and Learning Energy in K-12 Education*.
- Schäfer, G. (1983): Der Energiebegriff im ökologischen Kontext. *PdN (Biologie)*, 32 (7), 197-202.
- Serway, R., Faughn, J. & Vuille, C. (2006): *College Physics*. 7th ed., Brooks/Cole, Belmont CA.
- Smith, T.M. & Smith, R.L. (2009): *Ökologie* (6. Auflage). Pearson Studium, München.
- Schmitt, R. (2005): Systematic Metaphor Analysis as a Method of Qualitative Research. *The Qualitative Report*, 10 (2), 358-394.
- Watts, D.M. (1983): Some alternative views of energy. *Phys. Educ.*, 18 (5), 213-217.