

Marcus Kubsch¹
 Jeffrey Nordine¹
 David Fortus²
 Joseph Krajcik³
 Knut Neumann¹

¹IPN Kiel
²Weizmann Institute of Science
³Michigan State University

Lerntrajektorien im Energiekonzept

Energie ist ein hilfreiches Konzept um Phänomene zu erklären und neue Einblicke in diese zu erlangen. So führten energetische Betrachtungen von Phänomenen z.B. zum indirekten Nachweis von Gravitationswellen (Taylor, Fowler, & McCulloch, 1979). Bei diesen energetischen Betrachtungen wurde das Prinzip der Energieerhaltung ausgenutzt. Energie kann nicht verloren gehen oder erschaffen werden. Deshalb müssen bei der vollständigen Beschreibung eines Systems alle für Änderungen der Energie verantwortlichen Prozesse ausbalanciert sein. Scheint dies nicht der Fall zu sein, wurden relevante Prozesse und Systeme (Gravitationswellen) noch nicht beachtet. Ein tiefes und integriertes Verständnis von Energie wird als zentraler Aspekt von naturwissenschaftlicher Grundbildung angesehen (Chen u. a., 2014; Driver & Warrington, 1985; National Research Council, 2012; Reiss, Sälzer, Schiepe-Tiska, Klieme, & Köller, 2016). Folglich findet sich Energie auch als Basiskonzept in der Physik und Chemie wieder (Kultusministerkonferenz (KMK), 2004). Allerdings zeigen eine Reihe von Forschungsarbeiten, dass Schülerinnen und Schüler (SuS) viele Schwierigkeiten im Umgang mit dem Energiekonzept haben (siehe z.B. (Chabalengula, Sanders & Mumba, 2012; Duit, 1981)) und ein vollständiges integriertes Verständnis nur selten erlangt wird (Lee & Liu, 2010; Neumann, Viering, Boone & Fischer, 2013). Vor diesem Hintergrund erscheint es unbefriedigend, dass es zwar diverse Ansätze gibt wie Energie unterrichtet werden soll (z.B. Fortus u. a., 2012; Millar, 2011; Papadouris & Constantinou, 2016), allerdings wenig empirische Befunde zu den Ansätzen. Folglich ist es auch nicht verwunderlich, dass im Feld keine Einigkeit darüber herrscht, wie und wann Energie unterrichtet werden soll (Papadouris & Constantinou, 2016). Wir adressieren diese Forschungslücke indem wir untersuchen in wieweit SuS aus der Mittelstufe in einem neuen Ansatz ein integriertes Wissen über Energie entwickeln.

Wie lernen SuS über Energie?

Bevor wir weiter auf den neuen Unterrichtsansatz zu Energie eingehen klären wir zuerst, unter welchen Voraussetzungen SuS ein integriertes Wissen über Energie erlangen. In der Mittelstufe haben SuS zunächst verschiedene unverbundene Ideen über Energie aus dem Alltag und vorherigem Unterricht (Driver & Warrington, 1985; Duit, 2014). Mit diesen unverbundenen Ideen können SuS nur einzelne Aspekte von Phänomenen erklären und keine Verbindungen zwischen verschiedenen Phänomenen herstellen (diSessa, 1988). Um ein integriertes Wissen zu erlangen, müssen SuS Verbindungen zwischen Ideen entwickeln, neue Ideen aufnehmen und Verbindungen zwischen Ideen verändern und verfeinern. Werden nun ähnliche Ideen und Verbindungen wiederholt aktiviert, entwickeln sich Muster, die konzeptuelles Verständnis repräsentieren. So entstehen Netzwerke von Ideen, die ein integriertes Wissen repräsentieren (Linn, 2006). Erweisen sich nun bestimmte (Sub)Netzwerke von Ideen in verschiedenen Kontexten als hilfreich um Phänomene zu interpretieren und zu erklären, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass SuS diese auch in Zukunft aktivieren (Smith III, diSessa & Roschelle, 1994). Um ein integriertes Wissen über Energie auszubauen, müssen SuS also wiederholt in verschiedenen Kontexten Ideen über Energie aktivieren und damit Phänomene erfolgreich interpretieren und erklären.

Neue Wege Energie zu Unterrichten

Um ein integriertes Wissen über Energie aufbauen zu können, sollte für SuS also das Interpretieren und Erklären von Phänomenen mit Hilfe von Energie im Vordergrund stehen. Um Phänomene mit Hilfe von Energie zu interpretieren und zu erklären sind Energieänderungen in interagierenden Systemen zentral (Lehavi, Eylon, Hazan, Bamberger & Weizman, 2012; Quinn, 2014). „Klassische“ Unterrichtsansätze fokussieren dabei auf Änderungen von Energieformen. Wenn ein Ball fällt, wird potentielle Energie in kinetische Energie umgewandelt. Dabei wird ein Phänomen zu verschiedenen Zeitpunkten in Bezug auf die Verteilung der Energie auf verschiedene Energieformen analysiert. Im von uns entwickelten neuen Ansatz - der System-Transfer Perspektive - wird hingegen auf den Transfer von Energie zwischen Systemen fokussiert. Wenn ein Ball fällt, wird Energie vom System „Gravitationsfeld zwischen Ball und Erde“ zum System „Ball“ transferiert. Dabei läuft im System „Ball“ der Prozess „wird schneller“ ab und im System „Gravitationsfeld zwischen Ball und Erde“ der Prozess „abstand wird kleiner“ (Abb. 1).

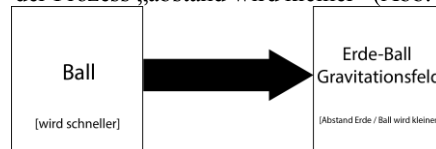


Abb. 1: Repräsentation des "Fallenden Balls" aus der System-Transfer Perspektive.

Während „klassische“ Ansätze also eher Phänomene in verschiedene Zustände unterteilen fokussiert die System-Transfer Perspektive stärker auf die Prozesse und Systeme im Phänomen. (Brewer, 2011) und (Swackhamer, 2005) argumentieren, dass Energie so für SuS zu einem Konzept wird, das beim Interpretieren und Erklären von Phänomenen hilft, da relevante Fragen wie z.B. „Wo kommt die Energie her?“ oder „Welcher Prozess läuft in diesem System ab?“ in den Vordergrund gerückt werden. Dies sollte die Entwicklung eines integrierten Wissens fördern. Wir konnten bereits Evidenz finden, dass SuS sich solche Fragen stellen, wenn sie versuchen Phänomene zu erklären (Kubsch & Nordine, 2017). Allerdings erfordert die System-Transfer Perspektive auch, dass Felder und Systeme als Konzepte eingeführt werden. Beide Konzepte stellen eine Herausforderung für SuS dar und könnten SuS überfordern (Bar, Zinn & Rubin, 2007; Lindsey, Heron & Shaffer, 2012). Es ist also fraglich, ob SuS in der Mittelstufe in der Lage sind ein integriertes Wissen über Energie aus der System-Transfer Perspektive aufzubauen. Wenn SuS im Verlauf einer Unterrichtseinheit über Energie aus der System-Transfer Perspektive erfolgreich ein integriertes Wissen über Energie entwickeln, sollte „Energietransfer“ dabei eine zentrale Position einnehmen und mit anderen relevanten Ideen wie z.B. Kraft oder Geschwindigkeit stark vernetzt sein. Wir haben dies als folgende Forschungsfrage formuliert: In wieweit entwickeln SuS ein integriertes Wissen von Energie um die Kernidee Energietransfer?

Methode

Das Konstrukt des integrierten Wissens beschäftigt sich im Kern mit der Entwicklung von Ideennetzwerken. Deshalb haben wir netzwerkanalytische Methoden verwendet um die Ideennetzwerke von SuS vor und nach der Unterrichtseinheit über Energie aus der System-Transfer Perspektive zu untersuchen. Dafür haben wir $N=30$ SuS der insgesamt ca. 300 Siebtklässler die an der Unterrichtseinheit teilgenommen haben interviewt. In den halbstrukturierten Interviews haben wir den SuS fünf verschiedene Phänomene (drei aus der Unterrichtseinheit, zwei die nicht Teil der Unterrichtseinheit sind) präsentiert und die SuS aufgefordert diese zu erklären. Nach der ersten Erklärung der SuS wurden sie immer gefragt, ob es noch weitere Erklärungsansätze gibt. Alle Interviews wurden transkribiert und mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring, 2014) wurden die Ideen, welche die SuS bei

der Erklärung eines Phänomens verwendet haben erfasst. Die Interviews wurden doppelt kodiert wobei wir eine gute Interrater Reliabilität (Cohens Kappa $\kappa = 0.85$) feststellen konnten. Mit Hilfe von netzwerkanalytischen Methoden (für eine Übersicht siehe z.B. (Grunspan, Wiggins, & Goodreau, 2014)) konnten wir nun für alle SuS Ideennetzwerke zum Prä- und Postzeitpunkt erstellen. So wird sichtbar welche Ideen SuS verwenden und welche Ideen SuS verbinden. Außerdem kann bestimmt werden, welche Ideen zentral in den Ideennetzwerken sind und ob sich Subnetzwerke von Ideen bilden.

Ergebnisse

Abbildung 2 zeigt die aus ersten Analysen resultierenden Ideennetzwerke der SuS vor und nach der Unterrichtseinheit. Die Kreise stellen die Ideen dar. Die Größe der Kreise zeigt wie häufig die Ideen verwendet wird. Die Linien zeigen die Verbindungen zu anderen Ideen auf. Je dicker die Linie, desto öfter werden die Ideen zusammen verwendet. Helle Kreise zeigen gut vernetzte Ideen an, dunkle Kreise isolierte Ideen. Man sieht, dass vor der Unterrichtseinheit die Idee Kraft so wie konkrete Größen wie Temperatur und Geschwindigkeit häufig verwendet und stark verbunden sind. Ideen zu Energie (Transfer, Forms) sind isoliert. Nach der Einheit werden die verwendeten Ideen insgesamt gleichmäßiger aktiviert und „Transfer“ ist eine gut vernetzte und häufig verwendete Idee geworden. Weitere Analysen zeigen zudem, dass vor der Unterrichtseinheit Subnetzwerke um die Ideenpaare Heat/Temperature, Particles/Speed und Gravity/Force bestanden haben. Diese Subnetzwerke haben sich nach der Unterrichtseinheit aufgelöst.

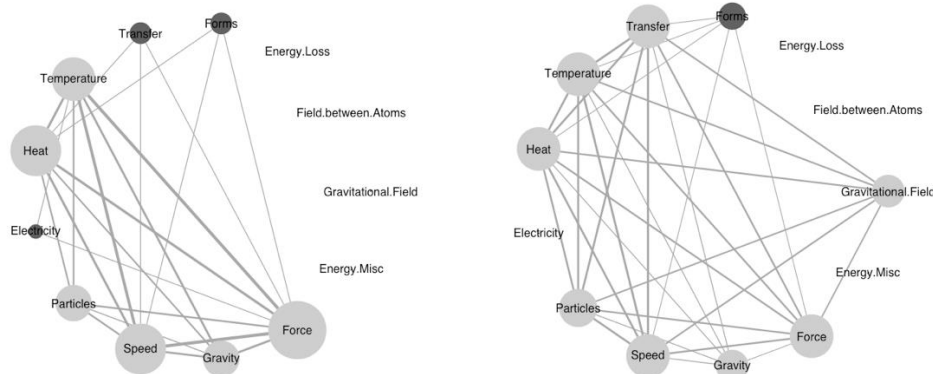


Abb. 2: Ideennetzwerke der SuS vor (links) und nach (rechts) der Unterrichtseinheit.

Diskussion und Ausblick

Die ersten Ergebnisse zeigen, dass die SuS im Verlauf der Unterrichtseinheit neue Ideen in ihre Ideennetzwerke aufgenommen haben (z.B. Transfer und Gravitational Field) sowie neue Verbindungen zwischen Ideen entwickelt und bestehende Verbindungen verändert haben. Zusammen mit der starken Eingebundenheit der Idee „Transfer“ in das Netzwerk zum Post-Zeitpunkt, spricht dies dafür, dass SuS im Laufe der Unterrichtseinheit ein integriertes Wissen über Energie entwickeln. Dabei ist „Transfer“ eine Kernidee, welche stark vernetzt ist. Die Idee eines Gravitationsfeldes scheint für die SuS kein Problem darzustellen, während Felder zwischen Atomen nicht in die Ideennetzwerke integriert werden. Somit bleibt die Rolle von Feldern in der System-Transfer Perspektive unklar und bedarf weiterer Erforschung. Im Allgemeinen zeigt sich hier aber erste Evidenz, dass die System-Transfer Perspektive ein für die Mittelstufe geeigneter Ansatz ist. Ein Vergleich mit anderen Ansätzen und tiefere Analysen der Netzwerke bleiben aber das Ziel zukünftiger Forschung. Die hier vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen des NSF geförderten ELeVATE Projektes durchgeführt. Die Autoren danken allen beteiligten.

Literatur

- Bar, V., Zinn, B. & Rubin, E. (2007). Children's ideas about action at a distance. *International Journal of Science Education*, 19(10), 1137–1157. <https://doi.org/10.1080/0950069970191003>
- Brewe, E. (2011). Energy as a substancelike quantity that flows: Theoretical considerations and pedagogical consequences. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 7(2), 20106. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.7.020106>
- Chabalengula, V. M., Sanders, M. & Mumba, F. (2012). Diagnosing Students' Understanding Of Energy And Its Related Concepts In Biological Contexts. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10(2), 241–266. <https://doi.org/10.1007/s10763-011-9291-2>
- Chen, R. F., Eisenkraft, A., Fortus, D., Krajcik, J., Neumann, K., Nordine, J. & Scheff, A. (2014). *Teaching and learning of energy in K-12 education*. Cham: Springer. Abgerufen von <http://gso.gbv.de/DB=2.1/PPNSET?PPN=783976232>
- diSessa, A. (1988). Knowledge in Pieces. In *Constructivism in the Computer Age*.
- Driver, R. & Warrington, L. (1985). Students' Use of the Principle of Energy Conservation in Problem Situations. *Physics Education*, 20(4), 171–176.
- Duit, R. (1981). Understanding Energy as a Conserved Quantity--Remarks on the Article by R. U. Sexl. *European Journal of Science Education*, 3(3), 291–301. <https://doi.org/10.1080/0140528810030306>
- Duit, R. (2014). Teaching and Learning the Physics Energy Concept. In *Teaching and Learning of Energy in K-12 Education* (S. 67–85). Abgerufen von http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-05017-1_5
- Fortus, D., Abdel-Kareem, H., Chen, J., Forsyth, B., Grueber, D., Nordine, J. & Weizman, A. (2012). Why do some things stop while others keep going. *Investigating and questioning our world through science and technology (IQWST)*. New York: Sangari Science.
- Grunspan, D. Z., Wiggins, B. L. & Goodreau, S. M. (2014). Understanding Classrooms through Social Network Analysis: A Primer for Social Network Analysis in Education Research. *Cell Biology Education*, 13(2), 167–178. <https://doi.org/10.1187/cbe.13-08-0162>
- Kubsch, M. & Nordine, J. (2017). Energietransferdiagramme als kognitive Unterstützung in der Mittelstufe. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*.
- Kultusministerkonferenz (KMK). (2004). *Bildungsstandards Physik-Mittlerer Schulabschluss*.
- Lee, H.-S., & Liu, O. L. (2010). Assessing learning progression of energy concepts across middle school grades. *Science Education*, 94(4), 665–688. <https://doi.org/10.1002/sce.20382>
- Lehavi, Y., Eylon, B., Hazan, A., Bamberger, Y. & Weizman, A. (2012). Focusing on changes in teaching about energy. In *Proceedings of The World Conference on Physics Education* (S. 485–492).
- Lindsey, B. A., Heron, P. R. L. & Shaffer, P. S. (2012). Student understanding of energy. *American Journal of Physics*, 80(2), 154. <https://doi.org/10.1119/1.3660661>
- Linn, M. (2006). The Knowledge Integration Perspective on Learning and Instruction. In *The Cambridge handbook of: The learning sciences*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Mayring, P. (2014). *Qualitative Content Analysis*. Beltz.
- Millar, R. (2011). Energy. In D. Sang (Hrsg.), *Teaching Secondary Physics* (2. Ed.). London: Hodder Education.
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education*. Washington, D.C.: The National Academies Press. Abgerufen von <http://www.worldcat.org/oclc/794415367>
- Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J., & Fischer, H. E. (2013). Towards a learning progression of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 162–188. <https://doi.org/10.1002/tea.21061>
- Papadouris, N. & Constantinou, C. P. (2016). Investigating middle school students' ability to develop energy as a framework for analyzing simple physical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(1), 119–145. <https://doi.org/10.1002/tea.21248>
- Quinn, H. R. (2014). A Physicist's Musings on Teaching About Energy, 15. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05017-1_2
- Reiss, K., Sälzer, C., Schiepe-Tiska, A., Klieme, E., & Köller, O. (Hrsg.). (2016). *PISA 2015: eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation*. Münster New York: Waxmann.
- Smith III, J. P., diSessa, A. A. & Roschelle, J. (1994). Misconceptions Reconceived: A Constructivist Analysis of Knowledge in Transition. *Journal of the Learning Sciences*, 3(2), 115–163. https://doi.org/10.1207/s15327809jls0302_1
- Swackhamer, G. (2005). *Cognitive Resources for Understanding Energy*.
- Taylor, J. H., Fowler, L. A., & McCulloch, P. M. (1979). Measurements of general relativistic effects in the binary pulsar PSR1913 + 16. *Nature*, 277(5696), 437–440. <https://doi.org/10.1038/277437a0>