

Ein epistemologischer Zugang zum Energiekonzept

Bereits seit langem werden naturwissenschaftsphilosophische und -historische Aspekte („Nature of Science“, NOS) als wichtiger Bestandteil einer naturwissenschaftlichen Grundbildung angesehen, sowohl auf Grund ihrer inhärenten Bedeutung als kennzeichnende Elemente der Naturwissenschaften als Kulturgut, als auch auf Grund ihrer Rolle als Voraussetzung für ein konzeptuelles Verständnis fachwissenschaftlicher Inhalte (Driver et al., 1996; Lederman, 2007). Driver et al. (1996) formulieren mehrere literaturbasierte Argumente für eine Implementierung von NOS im naturwissenschaftlichen Unterricht. Dabei nennen sie auch ein sogenanntes „lernpsychologisches Argument“, nach welchem ein adäquates NOS-Verständnis die Fähigkeit von Schülern befördern könnte, naturwissenschaftliche Konzepte miteinander zu verknüpfen und so kohärent ein Verständnis naturwissenschaftlichen Fachwissens zu erlangen. Mehrere Studien berichten von einem Zusammenhang zwischen NOS-Verständnis und anderen lernrelevanten Faktoren, wie etwa Selbstkonzept (z.B. Tsai et al., 2011), Interesse (z.B. Lin et al., 2013), Lernstrategien (z.B. Tsai, 1998) und anderen affektiven, motivationalen und kognitiven Variablen (z.B. Bell & Linn, 2000; Kishfe, 2012). Nur wenige Studien befassen sich hingegen mit der direkten Wirkung von NOS-Verständnis auf den Fachwissenserwerb. Peters (2012) berichtet, dass beim Vergleich zweier Unterrichtsansätze zu Elektromagnetismus Schüler, die explizit Unterricht zu bestimmten NOS-Aspekten erhielten, Schülern ohne diese explizite NOS-Instruktion sowohl bzgl. des Zuwachses im NOS-Verständnis, als auch im Erwerb von Fachwissen überlegen waren. Schwarz und White (2005) und Kim und Irving (2010) fanden hingegen keine entsprechende Wirkung von NOS auf den Fachwissenserwerb in den Bereichen Genetik bzw. Kraft und Bewegung. Insgesamt ist der Zusammenhang zwischen NOS-Instruktion und dem Erwerb konzeptuellen Verständnisses naturwissenschaftlicher Inhalte nur unzureichend systematisch untersucht (Lederman, 2007; Peters, 2012). Die im Folgenden beschriebene Studie untersucht die Wirkung einer an epistemologischen Aspekten orientierten Unterrichtseinheit über Energie, welche NOS-Aspekte und fachwissenschaftliche Aspekte sinnvoll miteinander verknüpft und vergleicht diesen Ansatz mit einem konventionellen Unterrichtsansatz über Energie.

Das Energiekonzept wird allgemein als zentrales Denkmodell in den Naturwissenschaften angesehen, Schüler zeigen damit allerdings häufig Schwierigkeiten (Driver & Warrington, 1985; Duit, 2013; Neumann et al., 2013). Oft sehen Schüler Energie als etwas quasi-materielles an, als eine Art Treibstoff, anstatt sie als theoretisches Konzept zu begreifen, welches von Wissenschaftlern formuliert wurde um damit Phänomene erklären und Vorhersagen treffen zu könnten (Duit, 2013). Um dem entgegenzuwirken sollte ein Unterricht über Energie neben den traditionellen fachwissenschaftlichen Aspekten (d.h. Energieformen, -umwandlungen, -erhaltung und -entwertung) auch epistemologische Aspekte über den Status, Nutzen und Wert des Konzepts vermitteln (Bächthold & Guedj, 2014). Papadouris und Constantinou (2011) haben eine Unterrichtseinheit entwickelt, die diesen epistemologischen Aspekten Rechnung trägt, indem sie Aspekte des Energiekonzepts mit NOS-Aspekten so verknüpfen, dass diese beiden Konzepte sich gegenseitig befördern. In einer entsprechenden Interventionsstudie konnten sie qualitativ zeigen, dass die teilnehmenden Schüler nach der Einheit ein adäquateres Verständnis von NOS, aber auch von Energie als theoretischem Denkmodell aufwiesen (Papadouris & Constantinou, 2014). Die im Folgenden beschriebene Studie zielt darauf ab, diese Ergebnisse quantitativ zu untermauern und die Lernzuwächse mit denen in einer entsprechenden Kontrollgruppe zu vergleichen.

Um die Wirkung eines epistemologischen Zugangs zum Energiekonzept auf das Verständnis von NOS sowie des Energiekonzepts zu untersuchen, wurde eine Interventionsstudie mit 209 Schülern der Jahrgangsstufen 10-12 durchgeführt. Die Schüler nahmen jeweils an einer von zwei Unterrichtseinheiten teil, welche jeweils einen Umfang von fünf 90-minütigen Abschnitten hatten. Schüler der Treatment-Gruppe ($n=102$; 6 verschiedene Gruppen) durchliefen eine Unterrichtseinheit, die in Teilen einer Sequenz von Papadouris und Constantinou (2011) folgt. In dieser Unterrichtssequenz werden ausgewählte NOS-Aspekte (Unterschied zwischen Beobachtung und Schlussfolgerung, Rolle von Kreativität und Erfindung für naturwissenschaftliche Forschungsprozesse, Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens) mittels generischer NOS-Aktivitäten (Lederman & Abd-El-Khalick, 1998) eingeführt und anschließend mit Aktivitäten verknüpft, die das Energieverständnis der Lernenden befördern sollen. Während der Einheit wurden die epistemologischen Aspekte des Energiekonzepts explizit diskutiert und mit den entsprechenden NOS-Aspekten verknüpft. Die in der Einheit angesprochenen epistemologischen Aspekte waren (1) das transphänomenologische und transdisziplinäre Wesen des Energiekonzepts, (2) der epistemische Nutzen von Energie als erklärungsmächtiges Denkmodell für die vereinigende Analyse physikalischer Systeme, und (3) der ontologische Status von Energie als ein abstraktes, theoretisches Konstrukt, welches von Naturwissenschaftlern vorgebracht wurde (und nicht als direkt beobachtbare und messbare Entität; siehe Bächthold & Guedj, 2014; Papadouris & Constantinou, 2011). Schüler der Kontrollgruppe ($n = 107$; 6 verschiedene Gruppen) durchliefen eine konventionelle Einheit über Energie, in welcher NOS-Aspekte und epistemologische Aspekte des Konzepts nicht explizit thematisiert wurden. Die Aktivitäten und Diskussionen zu den traditionellen fachwissenschaftlichen Energie-Aspekten waren dieselben wie in der Treatment-Gruppe. Die zusätzliche Unterrichtszeit wurde für weiterführende Aktivitäten und Diskussionen über Energie genutzt, so dass die gesamte Unterrichtszeit in beiden Gruppen gleich war. Alle Gruppen wurden von der gleichen Lehrperson (der Erstautor dieses Beitrags) unterrichtet.

Vor und nach den Unterrichtseinheiten wurden das NOS-Verständnis, sowie das Verständnis der epistemologischen Aspekte des Energiekonzepts (EAE) erfasst. Das NOS-Instrument umfasste 14 Likert-Items, welche von Kang et al. (2005), Kremer (2010), Liang et al. (2008) und Neumann (2011) adaptiert oder selbst entwickelt wurden. Das Verständnis der drei EAE wurde mittels acht offenen Aufgaben erfasst, welche selbst entwickelt oder verändert von Kang et al. (2005) und Papadouris und Constantinou (2014) übernommen wurden. Alle offenen Items wurden mittels eines Partial-Credit-Modells an Hand eines Kodiermanuals bewertet. Für das NOS-Instrument war die interne Konsistenz zufriedenstellend (stand. Cronbachs Alpha = .76). Für die EAE-Aufgaben war die interne Konsistenz etwas niedriger (stand. Cronbachs Alpha = .66), was an der geringeren Aufgabenzahl, wie auch an dem offenen Aufgabenformat liegen könnte. Abbildung 1 zeigt die Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle für das Verständnis von NOS und EAE vor und nach den entsprechenden Unterrichtseinheiten. Abhängige t-Tests zeigen, dass die Lernzuwächse für Schüler in beiden Gruppen signifikant sind, sowohl bzgl. NOS als auch EAE ($p < .001$). Um den Einfluss des Unterrichtsansatzes zu erfassen, wurden sowohl für NOS, als auch für EAE, repeated-measures ANOVAs durchgeführt. Für das NOS-Verständnis ergibt sich eine signifikante Interaktion zwischen Unterrichtsansatz und Lernzuwachs ($F(1,207) = 65.62, p < .001$, generalisiertes $\eta^2 = .057$). Im Durchschnitt zeigen Schüler in der Treatment-Gruppe einen höheren Verständnisszuwachs bzgl. NOS als in der Kontrollgruppe (siehe Abb. 1). Ein ähnlicher Interaktionseffekt zwischen Unterrichtsansatz und Verständnisszuwachs zeigt sich bei der Betrachtung des Verständnisses epistemologischer Aspekte des Energiekonzepts als abhängiger Variable ($F(1,207) = 15.27, p < .001$, generalisiertes $\eta^2 = .014$), wobei wiederum die Schüler in der Treatment-Gruppe durchschnittlich einen höheren Verständnisszuwachs aufweisen.

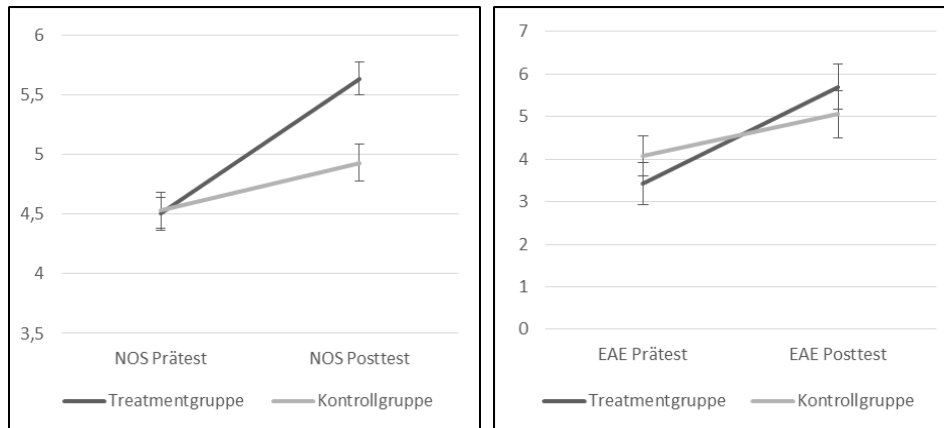


Abb. 1: Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle für Prä- und Posttests zum Verständnis von Nature of Science (NOS) bzw. epistemologischer Aspekte des Energiekonzepts (EAE)

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass ein epistemologischer Zugang zum Energiekonzept (Treatment-Gruppe) den Verständnisszuwachs der Schüler sowohl bzgl. NOS als auch bzgl. EAE im Vergleich zu einer konventionellen Einheit (Kontrollgruppe) befördern konnte. Der kleine, aber signifikante Verständnisszuwachs bzgl. NOS, der sich auch in der Kontrollgruppe zeigt, könnte darauf hinweisen, dass ein adäquates NOS-Verständnis in Teilen auch implizit vermittelt wird. Eine explizite Vermittlung mittels historischer Fallbeispiele und epistemischer Diskurse scheint allerdings deutlich effektiver darin zu sein, das NOS-Verständnis der Schüler zu verbessern, was durch Ergebnisse anderer Studien untermauert wird (z.B. Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002). Ein ähnlicher Effekt kann auch bei den Ergebnissen zum Verständnis der epistemologischen Aspekte des Energiekonzepts beobachtet werden. Die Kontrollgruppe zeigt auch hier einen signifikanten Verständnisszuwachs, obwohl die EAE nicht explizit thematisiert wurden. Die Anwendung des Energiekonzepts in verschiedenen Kontexten und das Erfahren der Erklärungsmächtigkeit scheinen auch implizit ein Bild des Wesens, des Nutzens und Wertes dieses Konzepts zu vermitteln. Nichtsdestotrotz können auch hier die explizite Vermittlung dieser Aspekte und die Verknüpfung mit Aspekten von NOS den Grad des Verständnisszuwachses deutlich erhöhen.

Insgesamt scheint für ein umfassendes konzeptuelles Verständnis von Energie, das neben traditionellen fachwissenschaftlichen Aspekten auch epistemologische Aspekte des Konzept umfasst (siehe Bächthold & Guedj, 2014; Papadouris & Constantinou, 2011), ein Zugang über ausgewählte NOS-Aspekte hilfreich zu sein. Damit Schüler verstehen, was Energie ist, und ihre Alltagsvorstellungen von der naturwissenschaftlichen Sichtweise auf das Konzept abgrenzen können, erscheint es wichtig ihnen ein Bild vom Wesen, dem Nutzen und Wert von Energie als theoretischem Denkmodell zu vermitteln. Die Ergebnisse der Studie stützen damit das sogenannte „lernpsychologische Argument“ von Driver et al. (1996), wonach ein adäquates NOS-Verständnis als Voraussetzung für naturwissenschaftliches Fachlernen dienen kann. Zumindest bzgl. der epistemologischen Aspekte naturwissenschaftlicher Konzepte scheint NOS-Instruktion ein sinnvoller Ansatz zu sein, sich diesen Aspekten zu nähern und sie für die Schüler sinnvoll einzuordnen. Die Ergebnisse untermauern damit auch die Studie von Papadouris & Constantinou (2014) und erweitern sie um quantitative Evidenz. Weitere Studien sollten nun in den Blick nehmen, inwieweit ein epistemologischer Zugang auch für andere naturwissenschaftliche Konzepte gewinnbringend sein kann und welche Aspekte von NOS sich besonders für einen Zugang zu Aspekten konzeptuellen Verständnisses eignen.

Literatur

- Bächtold, M., & Guedj, M. (2014). Teaching energy informed by the history and epistemology of the concept with implications for teacher education. In M. R. Matthews (Hrsg.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (S. 211–243). Dordrecht: Springer.
- Bell, P., & Linn, M. C. (2000). Scientific arguments as learning artifacts: Designing for learning from the web with KIE. *International Journal of Science Education*, 22(8), 797–817
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham: Open Univ. Press.
- Driver, R., & Warrington, L. (1985). Students' use of the principle of energy conservation in problem situations. *Phys. Educ. (Physics Education)*, 20(4), 171–176.
- Duit, R. (2013). Teaching and learning the physics energy concept. Retrieved from <http://esummit-msu.net/content/teaching-and-learning-physics-energy-concept>
- Kang, S., Scharmann, L. C., & Noh, T. (2005). Examining students' views on the nature of science: Results from Korean 6th, 8th, and 10th graders. *Science Education*, 89(2), 314–334
- Khishfe, R. (2012). Nature of science and decision-making. *International Journal of Science Education*, 34(1), 67–100
- Khishfe, R., & Abd-El-Khalick, F. S. (2002). Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 551–578
- Kim, S. Y., & Irving, K. E. (2010). History of science as an instructional context: Student learning in genetics and nature of science. *Science & Education*, 19(2), 187–215
- Kremer, K. (2010). *Die Natur der Naturwissenschaften verstehen - Untersuchungen zur Struktur und Entwicklung von Kompetenzen in der Sekundarstufe I* (Dissertation). Universität Kassel.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education*. Mahwah, N.J: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lederman, N. G., & Abd-El-Khalick, F. (1998). Avoiding de-natured science: Activities that promote understandings of the nature of science. In W. F. McComas (Hrsg.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies* (S. 83–126). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Liang, L. L., Chen, S., Chen, X., Kaya, O. N., Adams, A. D., Macklin, M., & Ebenezer, J. (2008). Assessing preservice elementary teachers' views on the nature of scientific knowledge: A dual-response instrument. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 9(1), 1–20.
- Lin, H.-s., Hong, Z.-R., & Chen, Y.-C. (2013). Exploring the development of college students' situational interest in learning science. *International Journal of Science Education*, 35(13), 2152–2173
- Neumann, I. (2011). *Beyond physics content knowledge: Modeling competence regarding nature of scientific inquiry and nature of scientific knowledge*. Berlin: Logos.
- 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
- Papadouris, N., & Constantinou, C. P. (2011). A philosophically informed teaching proposal on the topic of energy for students aged 11–14. *Science & Education*, 20(10), 961–979
- Papadouris, N., & Constantinou, C. P. (2014). An exploratory investigation of 12-year-old students' ability to appreciate certain aspects of the nature of science through a specially designed approach in the context of energy. *International Journal of Science Education*, 36(5), 755–782
- Peters, E. (2012). Developing content knowledge in students through explicit teaching of the nature of science: Influences of goal setting and self-monitoring. *Science & Education*, 21(6), 881–898
- Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165–205
- Tsai, C.-C. (1998). An analysis of scientific epistemological beliefs and learning orientations of Taiwanese eighth graders. *Science Education*, 82, 473–489.
- Tsai, C.-C., Jessie Ho, H. N., Liang, J.-C., & Lin, H.-M. (2011). Scientific epistemic beliefs, conceptions of learning science and self-efficacy of learning science among high school students. *Learning and Instruction*, 21, 757–769